



## อ่างเก็บน้ำและการวางแผนปฏิบัติการ (Reservoir Systems and Operation Planning)

ผศ. ดร. อาริยา ฤทธิมา  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



มหาวิทยาลัยมหิดล  
Mahidol University  
*Wisdom of the Land*

อ่างเก็บน้ำและการวางแผนปฏิบัติการ  
(Reservoir Systems and Operation Planning)



มหาวิทยาลัยมหิดล  
Mahidol University  
*Wisdom of the Land*

## อ่างเก็บน้ำและการวางแผนปฏิบัติการ (Reservoir Systems and Operation Planning)

พิมพ์ครั้งที่ 1

มีนาคม 2561

ผู้เขียน/จัดทำโดย

ผศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ : 02-889-2138 ต่อ 6384

แฟกซ์ : 02-889-2138 ต่อ 6388

อีเมลล์ : areeya.rit@mahidol.ac.th

ISBN : 978-616-468-009-8

@ 2561 สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย การนำรูปภาพและข้อความทั้งหมดในหนังสือไปตีพิมพ์ อ้างอิง และเผยแพร่ซ้ำไม่ว่าจะบางส่วนหรือทั้งหมดต้องได้รับการยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียน ขอขอบคุณภาพหน้าปกเขื่อนรัชชประภาจากคุณศิริพันธ์ ศรีทองคำ

โรงพิมพ์

บริษัท มิตรภาพการพิมพ์และสตีวดีโอ จำกัด

1 ถนนพระรามเก้า ซอยพระรามเก้า 59 (อิสสระชัย) เขตสวนหลวง

กรุงเทพมหานคร 10250

โทรศัพท์ : 02-187-2223-5

แฟกซ์ : 02-187-2226

อีเมลล์ : mittrapap2004@yahoo.com

## คำนำ (Preface)

ผู้เขียนได้แรงบันดาลใจในการเรียบเรียงหนังสือเรื่อง “อ่างเก็บน้ำและการวางแผนปฏิบัติการ (Reservoir Systems and Operation Planning)” นี้มาจาก รศ.ดร. วราวุธ วุฒิวิณิชย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการผลิตหนังสือที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนแก่นักศึกษา ตลอดจนเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจให้แก่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง โดยผู้เขียนได้รวบรวมองค์ความรู้ที่เรียนมา การตรวจเอกสารจากหนังสือ ตำรา และวารสารวิชาการทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อนำเสนอหลักทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้งาน ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่นักศึกษา หรือพัฒนาบุคลากรในสายงานที่เกี่ยวข้องสำหรับนำไปใช้ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการบริหารจัดการน้ำของประเทศต่อไป

ผศ.ดร.อารีญา ฤทธิมา  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
2561

## สารบัญ (Contents)

### คำนำ

### สารบัญ

#### 01-

#### อ่างเก็บน้ำ

##### (Reservoir)

- 001 คำจำกัดความของอ่างเก็บน้ำ
- 002 ความสำคัญของอ่างเก็บน้ำ
- 002 ประเภทของอ่างเก็บน้ำ
- 003 หน้าที่ของอ่างเก็บน้ำ
- 006 องค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำ
- 008 โชนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ
- 010 อ่างเก็บน้ำในประเทศไทย
- 013 เอกสารอ้างอิง

#### 02-

#### การวิเคราะห์ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

##### (Analysis of Reservoir Data)

- 001 หลักสมมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ
- 003 การสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำ
- 011 การวิเคราะห์ขอบเขต
- 012 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ
- 018 การวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ
- 023 การประมาณค่าผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจากโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา
- 030 เอกสารอ้างอิง

#### 03-

#### การออกแบบอ่างเก็บน้ำ

##### (Reservoir Design)

- 001 แนวคิดในการออกแบบอ่างเก็บน้ำ
- 002 เทคนิคในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ
- 011 เทคนิคในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมของอ่างเก็บน้ำ
- 014 เทคนิคในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การของอ่างเก็บน้ำ
- 014 หลักการคัดเลือกอ่างเก็บน้ำ
- 014 การวางแผนงานโครงการพัฒนาอ่างเก็บน้ำ
- 021 เอกสารอ้างอิง

#### 07-

#### การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

##### (Reservoir Sedimentation)

- 001 ตะกอนและกระบวนการเกิดตะกอน
- 002 ปริมาณตะกอนในแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำ
- 011 การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ
- 017 การสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ
- 028 เอกสารอ้างอิง

#### 08-

#### ไฟฟ้าพลังงานน้ำ-การปฏิบัติการ

##### อ่างเก็บน้ำ

##### (Hydropower-Reservoir

##### Operation)

- 001 ไฟฟ้าพลังงานน้ำ
- 005 การจัดประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ
- 010 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ
- 011 คำจำกัดความพื้นฐานของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ
- 013 ข้อมูลพื้นฐานในการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า
- 018 วิธีการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า
- 029 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า
- 033 เอกสารอ้างอิง

#### 09-

#### บทสรุปของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อความยั่งยืน (Summary of Reservoir Management for Sustainability)

- 001 สถานภาพปัจจุบันของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ
- 002 หลักการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำกับความยั่งยืน
- 005 เอกสารอ้างอิง

**04-  
การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ  
(Reservoir Operation)**

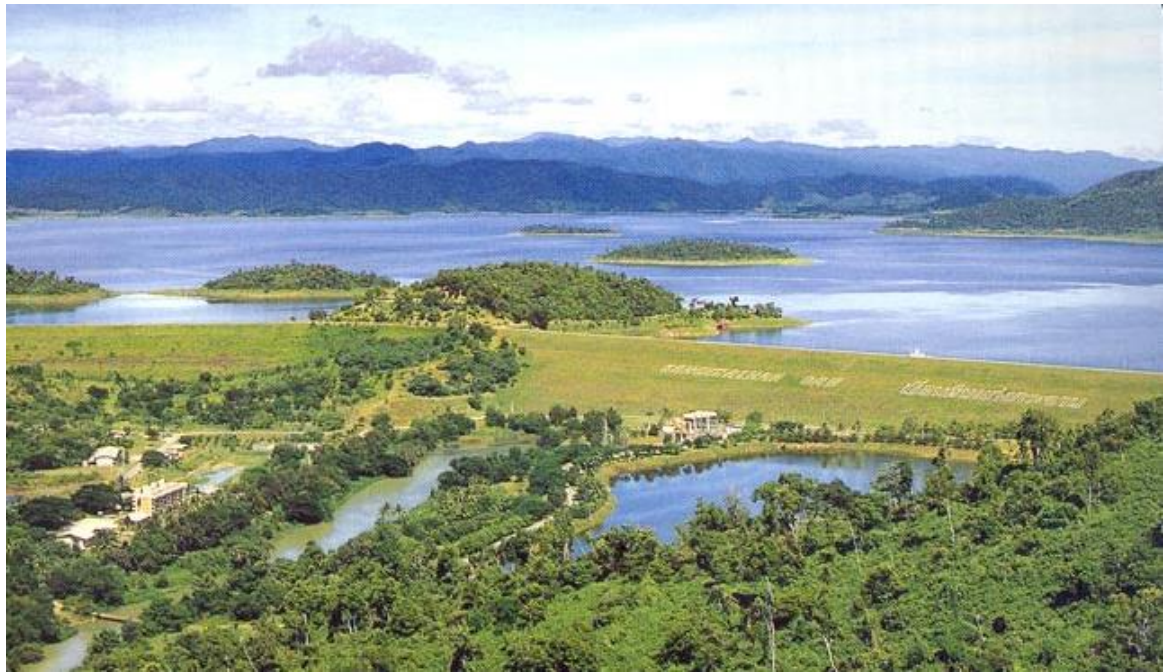
- 001 ปัญหาความขัดแย้งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 003 ปัญหาวิกฤตในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 004 แนวคิดพื้นฐานในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 007 โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 015 การปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง
- 030 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในสถานการณ์น้ำหลากวิกฤต
- 039 การบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ
- 045 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน
- 048 เอกสารอ้างอิง

**05-  
เทคนิคในการพัฒนาโค้งเกณฑ์  
ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ  
(Rule Curve Development  
Techniques)**

- 001 การพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น
- 020 การพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักว่างต่ำสุด
- 028 ผลการทดสอบการใช้งานของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 028 เอกสารอ้างอิง

**06-  
ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการ  
อ่างเก็บน้ำ  
(Reservoir Performance  
Indices)**

- 001 ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบดั้งเดิม
- 001 ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสมัยใหม่
- 006 การกำหนดสถานะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 009 การคำนวณค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- 011 เอกสารอ้างอิง





## 01 อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

งานพัฒนาและวางแผนการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำเป็นงานที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนจากเงื่อนไขข้อจำกัดทั้งทางกายภาพของระบบลุ่มน้ำ ความผันแปรของปริมาณน้ำต้นทุน ปัจจัยความต้องการน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต หรือแม้กระทั่งความหลากหลายของกิจกรรมการใช้น้ำหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ รวมถึงการบูรณาการความร่วมมือเพื่อบริหารจัดการน้ำจากหลายภาคส่วน หลายต่อหลายครั้งที่ผ่าน มาพบว่าปัญหาของการบริหารจัดการน้ำในประเทศไทยทั้งอุทกภัยและภัยแล้งเป็นผลโดยตรงจากการวางแผนการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำที่จำเป็นต้องสร้างดุลยภาพระหว่างการเก็บกักน้ำและจัดสรรน้ำทั้ง ทางด้านปริมาณและเวลาให้เหมาะสม ด้วยเหตุนี้หลักทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับอ่างเก็บน้ำจึงมีส่วน สำคัญในการเพิ่มความรู้ความเข้าใจต่อระบบและวางแผนงานพัฒนาอ่างเก็บน้ำให้เกิดประสิทธิภาพ

### 1.1 คำจำกัดความของอ่างเก็บน้ำ (Definition of Reservoir)

อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) คือพื้นที่เก็บกักน้ำขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น จากการสร้างเขื่อน (Dam) ซึ่งเป็นอาคารโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สร้างตัดขวางลำน้ำเพื่อควบคุม ปริมาณน้ำที่ไหลตามธรรมชาติ รวมถึงยกระดับน้ำหน้าเขื่อนให้สูงขึ้น ส่งผลให้พื้นที่เก็บกักน้ำเหนือเขื่อน กลายเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่สำหรับนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะหรือหลายอย่าง ประกอบกันเช่น การอุปโภคบริโภค การชลประทาน การอุตสาหกรรม การรักษาระบบนิเวศน์ทางด้าน ท้ายน้ำ การผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง การควบคุมคุณภาพน้ำ การคมนาคมทางน้ำ การประมง การ ควบคุมและบรรเทาน้ำท่วม แหล่งท่องเที่ยว และการผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น (วรารุช วุฒิวิณิชย์ และ คณะ, 2550) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 อ่างเก็บน้ำ

ที่มา : Wikipedia (2018a)



## 1.2 ความสำคัญของอ่างเก็บน้ำ (Needs for Reservoir)

อ่างเก็บน้ำถูกออกแบบขึ้นเพื่อทำหน้าที่เก็บกักน้ำในลำน้ำและผันไปใช้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่ตั้งไว้ ด้วยเหตุนี้อ่างเก็บน้ำจึงนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในงานพัฒนาแหล่งน้ำ รวมถึงงานบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเป็นอย่างยิ่ง หลายต่อหลายครั้งพบว่าอ่างเก็บน้ำมีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบและความเสียหายจากวิกฤตอุทกภัยหรือภัยแล้งรุนแรง หรือแม้กระทั่งยังเป็นส่วนสำคัญในการแก้ปัญหาภาวะวิกฤตด้านพลังงานไฟฟ้า แนวคิดของอ่างเก็บน้ำยังได้ถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันอยู่บ่อยครั้งยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ชุมชนเมืองซึ่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคขาดแคลนและมีความไม่แน่นอนสูง ผู้อยู่อาศัยจะใช้ภาชนะเพื่อสำรองน้ำเก็บไว้เมื่อมีน้ำประปาไหล และน้ำที่เก็บสำรองไว้จะถูกนำมาใช้ตามความต้องการในช่วงที่น้ำประปาไม่ไหล เป็นต้น ในอดีตโครงการพัฒนาอ่างเก็บน้ำได้มีการขยายตัวเป็นอย่างมากทั่วโลกจากการตระหนักถึงความสำคัญของอ่างเก็บน้ำในการเป็นแหล่งน้ำต้นทุนโดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ซึ่งเขื่อนและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ถูกออกแบบและก่อสร้างขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อกิจกรรมการใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้อย่างเพียงพอ อย่างไรก็ตามในการพัฒนาโครงการอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก ตลอดจนทรัพยากรมนุษย์ ทรัพยากรที่ดินและทรัพยากรอื่น ๆ ยิ่งไปกว่านั้นโครงการพัฒนาเหล่านี้ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประชากร และเศรษฐกิจโดยรวมในพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันเงื่อนไขของทรัพยากรทางการเงินที่มีอยู่อย่างจำกัดก็จำเป็นต้องตระหนักถึงผลประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับทั้งต่อโครงการและเศรษฐกิจโดยรวมอีกด้วย

## 1.3 ประเภทของอ่างเก็บน้ำ (Classification of Reservoirs)

หลักเกณฑ์ในการจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ขนาดของอ่างเก็บน้ำ และปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Jain & Singh, 2003) โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

### 1.3.1 การจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (Classification Based on Purposes)

การจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับจำนวนวัตถุประสงค์ของการนำน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์กล่าวคือ หากอ่างเก็บน้ำทำหน้าที่เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะจะเรียกว่า อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) และถ้าอ่างเก็บน้ำทำหน้าที่เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์หลาย ๆ อย่างจะเรียกว่า อ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose Reservoir)

### 1.3.2 การจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำตามขนาด (Classification Based on Size)

การจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของอ่างเก็บน้ำซึ่งแบ่งได้เป็น อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (Major Reservoir) อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง (Medium Reservoir) และอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก (Minor Reservoir)

Reservoir) ซึ่งโดยปกติแล้วการจัดแบ่งประเภทของอ่างเก็บน้ำตามขนาดนั้นจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละประเทศ อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยหากอ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเก็บกักสูงกว่า 100 ล้านลูกบาศก์เมตร จะเรียกว่าอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ และหากอ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเก็บกักอยู่ระหว่าง 1-100 ล้านลูกบาศก์เมตร จะเรียกว่าอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง และอ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเก็บกักต่ำกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร จะเรียกว่าอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, ม.ป.ป)

### 1.3.3 การจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำตามลักษณะของการเก็บกักน้ำ (Classification Based on Storage)

การจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะของการเก็บกักน้ำซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่อ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้ใช้ตลอดฤดูกาล (Seasonal Storage Reservoir) และอ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้ใช้ตลอดทั้งปี (Over-Year Storage Reservoir) สำหรับอ่างเก็บน้ำรูปแบบแรกจะพยายามเก็บกักน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำตลอดช่วงน้ำน้อย (Low Flow Period) อย่างไรก็ตามพบว่าความถี่ที่ระดับน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำประเภทนี้จะเพิ่มขึ้นและไหลล้นอ่างออกไปค่อนข้างสูง และส่วนใหญ่อ่างเก็บน้ำประเภทนี้ถูกสร้างขึ้นบริเวณแม่น้ำสาขาเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในพื้นที่ขนาดเล็ก ในขณะที่อ่างเก็บน้ำรูปแบบหลังนอกจากจะพยายามเก็บกักน้ำให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำในปีปัจจุบันแล้วยังต้องเก็บกักไว้ใช้ในปีถัดไปอีกด้วย ด้วยเหตุนี้ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในแต่ละปีจึงไม่ค่อยปรากฏสถานการณ์ที่น้ำจะเต็มอ่างและลดระดับลงทันทีจนมีน้ำไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อปริมาณความต้องการ

## 1.4 หน้าที่ของอ่างเก็บน้ำ (Function of Reservoirs)

อ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่สามารถตอบสนองความต้องการน้ำได้ในหลาย ๆ วัตถุประสงค์ (Jain & Singh, 2003) โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

### 1.4.1 การชลประทาน (Irrigation)

ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานเป็นปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโต รวมทั้งการระเหยในแปลงเพาะปลูกหรืออาจเรียกว่า การคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration) ซึ่งมีลักษณะของการนำน้ำไปใช้แล้วหมดไป (Consumptive Use) โดยมีน้ำที่เหลือใช้บางส่วนที่ถูกดึงกลับไปใช้ในระบบได้อีกในรูปของ Return Flow แต่คิดเป็นสัดส่วนไม่มากนัก ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันจะผันแปรตามฤดูกาลโดยขึ้นอยู่กับรูปแบบการเพาะปลูกพืช (Cropping Pattern) โดยทั่วไปแล้วปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในฤดูฝนจะไม่สูงนักเนื่องจากพืชใช้น้ำส่วนหนึ่งจากฝนใช้การ (Effective Rainfall) แต่จะมีปริมาณค่อนข้างสูงในช่วงฤดูแล้งและฤดูหนาวสำหรับบางประเทศ ความรุนแรงของสถานการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้นจึงขึ้นอยู่กับ

ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำในขณะนั้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างให้ได้มากที่สุด เพื่อให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำในปัจจุบัน

#### 1.4.2 การจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรม (Municipal and Industrial Water Supply)

โดยทั่วไปแล้วปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในช่วงเวลาหนึ่งปี ซึ่งแตกต่างจากวัตถุประสงค์เพื่อการชลประทานและการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งผันแปรตามช่วงฤดูกาลอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมจะขึ้นอยู่กับอัตราการขยายตัวของประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นตามเวลา นอกจากนี้ค่าปริมาณความต้องการน้ำสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง อาจกล่าวได้ว่าการคาดการณ์ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของประชากรและการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในอนาคตถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลหลักที่สำคัญในการวางแผนโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อประมาณการปริมาณความต้องการน้ำของโครงการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำขึ้น

#### 1.4.3 การผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydroelectric Power)

น้ำเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่น่ามาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในปัจจุบัน โดยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก และเป็นพลังงานที่สะอาดที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานน้ำถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปของไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower) โดยการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำผ่านอาคารโรงไฟฟ้าซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยกลไกที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานน้ำให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ก่อนที่จะปล่อยออกจากด้านท้ายน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมอื่น ๆ ต่อไป (Downstream Uses) ด้วยเหตุนี้วัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำอเนกประสงค์ ในปัจจุบันพบว่าเทคโนโลยีทางด้านไฟฟ้าพลังงานน้ำถูกพัฒนาขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับกับความต้องการในพื้นที่ชุมชนเมืองขนาดใหญ่จนกระทั่งไปถึงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในพื้นที่ชุมชนขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล มีการประมาณการว่าประมาณหนึ่งในสี่ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั่วโลกเป็นไฟฟ้าพลังงานน้ำ สำหรับข้อดีของไฟฟ้าพลังงานน้ำมีดังต่อไปนี้

- (1) เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่
- (2) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีอายุการใช้งานค่อนข้างยาว การปฏิบัติการและการบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย
- (3) ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือไม่มีการปล่อยพลังงานความร้อนและแก๊สอันตรายต่าง ๆ ออกมา

(4) ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำค่อนข้างสูงตั้งแต่ 90% ขึ้นไปเมื่อเปรียบเทียบกับไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ

(5) การควบคุมการเปิด-ปิดของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำทำได้ในเวลาอันสั้นโดยไม่ต้องสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะผันแปรตามฤดูกาล หรือแม้กระทั่งรายวันและรายชั่วโมงที่ปริมาณความต้องการไฟฟ้าไม่คงที่ในแต่ละวันหรือแต่ละชั่วโมง ทั้งนี้ความผันแปรจะขึ้นอยู่กับประเภทของความต้องการไฟฟ้าในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ภาคอุตสาหกรรม ภาคชุมชนเมือง และภาคเกษตรกรรม เป็นต้น ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในพื้นที่ชุมชนเมืองจะอยู่ในช่วงฤดูร้อน และในแต่ละวันปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงตอนเช้าและตอนกลางคืน

#### 1.4.4 การบรรเทาอุทกภัย (Flood Control)

อ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วมสร้างและออกแบบขึ้นมาเพื่อลดขนาดปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่ที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำโดยการหน่วงน้ำส่วนหนึ่งไว้ในอ่างก่อนที่จะปล่อยออกสู่ทางด้านท้ายน้ำในช่วงเวลาถัดไป ทั้งนี้เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำและทางด้านท้ายน้ำ ด้วยเหตุนี้ความสามารถในการรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างจึงเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วม อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างจะต้องน้อยกว่าความจุเก็บกักท้ายลำน้ำที่สามารถรับได้

#### 1.4.5 การคมนาคมทางน้ำ (Navigation)

อ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage Reservoir) สามารถเก็บกักน้ำเพื่อประโยชน์ในการคมนาคมทางน้ำได้โดยการปล่อยน้ำจากอ่างเพื่อรักษาระดับน้ำทางด้านท้ายลำน้ำที่จำเป็นต่อการสัญจรทางน้ำ ทั้งนี้ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการคมนาคมทางน้ำขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณของการจราจรทางน้ำเป็นสำคัญ นอกจากนี้อิทธิพลของความผันแปรของระดับน้ำรายฤดูกาล (Seasonal Variation of Water Level) ยังเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการคมนาคมทางน้ำที่แตกต่างกันกล่าวคือ ในช่วงฤดูฝนจะพบว่าระดับน้ำในลำน้ำส่วนใหญ่จะสูงพอที่จะสัญจรทางเรือได้ตลอดฤดูกาล หรือเกือบจะไม่มีความต้องการน้ำเพื่อการคมนาคมทางน้ำในช่วงฤดูฝนเลย อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการคมนาคมทางน้ำจะเกิดขึ้นสูงสุดในช่วงฤดูแล้งซึ่งจำเป็นต้องปล่อยน้ำจากอ่างเพื่อรักษาระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถใช้เป็นเส้นทางในการสัญจรทางเรือได้

#### 1.4.6 การผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Generation)

น้ำเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญในขั้นตอนของการหล่อเย็นในการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนเนื่องจากในกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนต้องต้มน้ำให้มีอุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดเป็นไอน้ำที่มี

แรงดันสูงเพียงพอที่จะใช้หมุนกังหันของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นไอน้ำและน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตไฟฟ้าแล้วจะถูกทำให้เย็นลงโดยผ่านกระบวนการหล่อเย็น (Cooling System) ซึ่งเป็นการนำน้ำจากโรงไฟฟ้ามาหล่อไว้ที่หอหล่อเย็น (Cooling Tower) และต้องใช้น้ำในปริมาณมากเพื่อปรับลดอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือนำกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งนับเป็นแนวทางการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดความคุ้มค่าและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

#### 1.4.7 การพักผ่อนหย่อนใจ (Recreation)

ประโยชน์ของการสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวจะพิจารณาจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นหลักเช่น การว่ายน้ำ การเล่นเรือ กีฬาทางน้ำ และกิจกรรมสันทนาการอื่น ๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตามกิจกรรมเหล่านี้ถือว่าเป็นผลพลอยได้ของการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ สำหรับแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นต้องพยายามรักษาปริมาณน้ำเก็บกักไว้ให้เต็มอ่างหรือใกล้เคียงเต็มอ่างมากที่สุดโดยเฉพาะในช่วงฤดูของการท่องเที่ยว การเพิ่มและลดลงอย่างรวดเร็วของระดับน้ำในอ่างถือได้ว่าเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก

#### 1.4.8 การควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Minimum Flow Maintenance)

บ่อยครั้งที่จำเป็นต้องปล่อยน้ำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำทางด้านท้ายตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ หรือควบคุมระดับน้ำต่ำสุดให้สูงพอที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของประชาชนและสัตว์น้ำ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำเช่น การประมง กีฬาทางน้ำ การท่องเที่ยว เป็นต้น โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำจะผันแปรตามฤดูกาล นอกจากนี้วัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมน้ำทางด้านท้ายน้ำนั้นยังถูกจัดให้มีความสำคัญเป็นลำดับแรก ๆ อีกด้วย

### 1.5 องค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำ (Components of Reservoir)

เขื่อน (Dam) และอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) เป็นองค์ประกอบที่มาคู่กันและมีความสัมพันธ์ทั้งในแง่ของการออกแบบและการบริหารจัดการ โดยเขื่อนถูกออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้นทำให้เกิดอ่างเก็บน้ำหรือปริมาตรเก็บกักในลำน้ำขนาดใหญ่ และทำหน้าที่หลักในการจัดสรรน้ำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำผ่านทางโครงสร้างอาคารทางออก (Outlet Structure) และทางระบายน้ำล้น (Spillway)

#### 1.5.1 เขื่อน-อ่างเก็บน้ำ (Dam-Reservoir)

เขื่อนที่ออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อเก็บกักน้ำในช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำมากมาเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำสำหรับนำมาใช้ประโยชน์เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงฤดูน้ำน้อย

เรียกว่า “เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dam)” ซึ่งด้านหน้าเขื่อนจะกลายเป็น “อ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage Reservoir)” ในความหมายโดยทั่วไปเขื่อนจะหมายถึงเขื่อนเก็บกักน้ำซึ่งมักตั้งอยู่บริเวณต้นน้ำเพื่อรับน้ำโดยตรงจากพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed Area) ตัวอย่างเขื่อนเก็บกักน้ำในประเทศไทยที่สำคัญเช่น เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ จ.กาญจนบุรี ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนบนของลุ่มน้ำแม่กลอง เขื่อนภูมิพล จ.ตาก ในลุ่มน้ำปิง และเขื่อนสิริกิติ์ จ.น่าน ในลุ่มน้ำน่าน เป็นต้น

สำหรับเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมน้ำท่วมโดยเฉพาะ (Flood Control) โดยจะหน่วงคลื่นน้ำหลากเอาไว้ในอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากก่อนที่จะค่อย ๆ ทอยปล่อยน้ำส่วนเกินออกไปในอัตราที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายทางด้านท้ายน้ำ จะเรียกว่า “เขื่อนชะลอน้ำ (Detention Dam)” และเรียกอ่างเก็บน้ำว่า “อ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservoir)” ด้วยเหตุนี้เขื่อนชะลอน้ำจึงช่วยควบคุมปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอย่างฉับพลันและช่วยป้องกันพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำไม่ให้เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรง โดยปกติแล้วเขื่อนกักเก็บน้ำจะทำหน้าที่เก็บกักน้ำควบคู่ไปกับช่วยชะลอน้ำท่วมด้วย

เขื่อนทดน้ำ (Diversion Dam) เป็นเขื่อนอีกประเภทหนึ่งที่สร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการทดน้ำหน้าเขื่อนให้มีระดับสูงขึ้นและผันน้ำเข้าระบบคลองส่งน้ำ (Canal Distribution System) สำหรับนำไปใช้ในพื้นที่ชลประทานที่อยู่บริเวณไกล ๆ ได้ โดยทั่วไปเขื่อนทดน้ำจะมีความสูงไม่มากนักและมีปริมาตรเก็บกักน้ำหน้าเขื่อนขนาดเล็กและเรียกอ่างเก็บน้ำประเภทนี้ว่า “อ่างเก็บน้ำเพื่อสร้างสมดุล (Balancing Reservoir)” และถูกจัดให้อยู่ประเภทเดียวกันกับฝายเก็บกัก (Storage Weir) ด้วยเหตุนี้ฝายทดน้ำจึงถูกนำมาใช้เรียกแทนเขื่อนทดน้ำ ยกตัวอย่างเช่น เขื่อนแม่กลอง และเขื่อนท่าทุ่งนา จ.กาญจนบุรี เป็นเขื่อนทดน้ำที่ออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อเสริมประสิทธิภาพและสร้างดุลยภาพในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองทางภาคตะวันตกของประเทศไทย เป็นต้น

### 1.5.2 ทางระบายน้ำล้น-อ่างเก็บน้ำ (Spillway-Reservoir)

ทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารประกอบของโครงสร้างตัวเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินจากอ่างเก็บน้ำไปยังท้ายน้ำในช่วงวิกฤตน้ำมากทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายต่อเสถียรภาพของตัวเขื่อน ทางระบายน้ำล้นโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทไม่ว่าจะเป็น ทางระบายน้ำล้นแบบไหลข้าม (Overflow Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบรางเท (Chute Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบไหลด้านข้าง (Side Channel Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบท่อ (Shaft Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบไซฟอน (Siphon Spillway) หรืออาจเป็นทางระบายน้ำล้นแบบมีประตูควบคุม (Controlled/Gated Spillway) และแบบไม่มีประตูควบคุม (Uncontrolled/Ungated Spillway) ซึ่งเหมาะกับประเภทของเขื่อน ตำแหน่งและลักษณะภูมิประเทศของแหล่งที่ตั้งเขื่อนที่แตกต่างกันออกไป อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการระบายผ่านทางระบายน้ำล้นในช่วงวิกฤตน้ำมากหรืออุทกภัยส่งผลต่อปริมาตรเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและความปลอดภัยของตัวเขื่อนเป็นสำคัญ

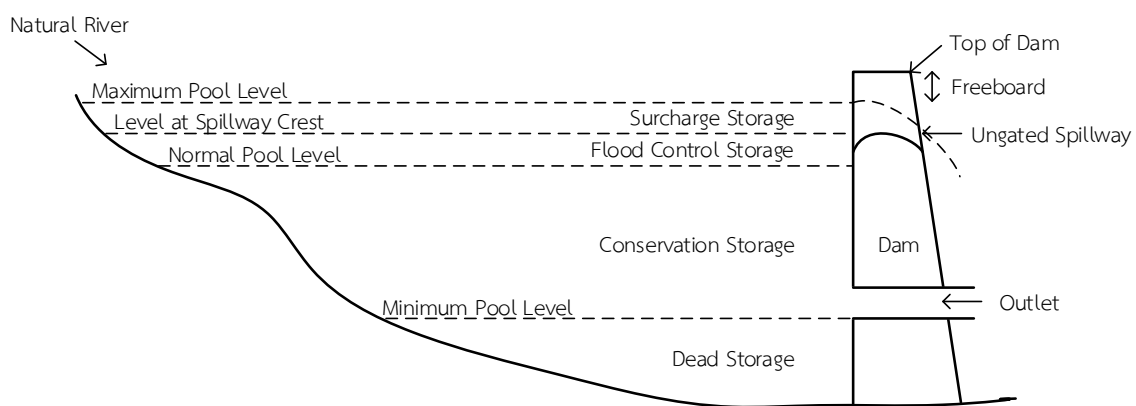


### 1.5.3 อาคารทางออก-อ่างเก็บน้ำ (Outlet Works-Reservoir)

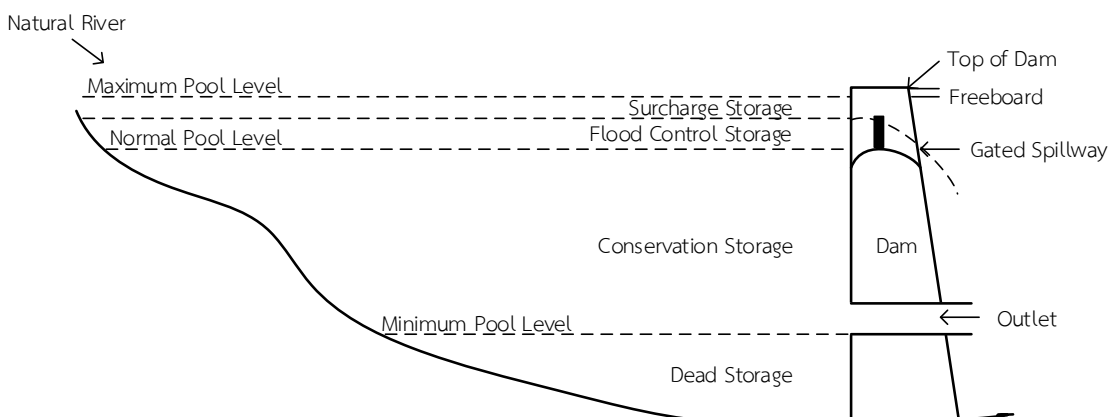
อาคารทางออก (Outlet Works) เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างตัวเขื่อนที่สำคัญเช่นเดียวกันซึ่งถูกออกแบบไว้สำหรับควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำหน้าเขื่อนเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำในช่วงปกติ โดยขนาดของอาคารทางออกจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำสูงสุดจากอ่างเก็บน้ำและเขตน้ำหน้าเขื่อน สำหรับลักษณะของอาคารทางออกที่พบเห็นกันโดยทั่วไปมีทั้งแบบท่อทางน้ำ (Sluiceway) และอาคารทางเข้า (Intake Tower)

### 1.6 โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Zone)

ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำทั้งแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway) และแบบมีประตูควบคุม (Gated Spillway) ประกอบด้วยโซนปริมาตรเก็บกักและระดับเก็บกัก (Jain & Singh, 2003; Karamouz et al., 2003) แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 โดยอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้



(a) อ่างเก็บน้ำแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway)



(b) อ่างเก็บน้ำแบบมีประตูควบคุม (Gated Spillway)

รูปที่ 1.2 โซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

### 1.6.1 โซนปริมาณเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone)

โซนปริมาณเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone) เป็นโซนที่อยู่ล่างสุดของอ่างเก็บน้ำโดย ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักไว้ในส่วนนี้เรียกว่า ปริมาณเก็บกักไม่ใช้การ/ปริมาณเก็บกักสูญเปล่า (Inactive Storage/Dead Storage) โดยปกติแล้วปริมาณเก็บกักส่วนนี้จะใช้เก็บกักตะกอนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและ ยังเป็นเฮตนน้ำต่ำสุดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นปริมาณเก็บกักต่ำสุดที่จะต้อง รักษาไว้เพื่อทัศนียภาพที่ดีในการท่องเที่ยว โดยส่วนใหญ่แล้วอาคารระบายน้ำออก (Outlet) จะติดตั้งอยู่ เหนือโซนปริมาณเก็บกักไม่ใช้การและจะไม่ปล่อยน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใด ๆ สำหรับปริมาณเก็บกักที่ อยู่เหนือปริมาณเก็บกักไม่ใช้การจะเรียกว่า ปริมาณเก็บกักใช้การ (Active/Live Storage)

### 1.6.2 โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone)

โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone) เป็นโซนที่อยู่ติดกับปริมาณเก็บกักไม่ใช้การและเป็นสัญญาณเตือน ว่าภาวะแห้งแล้งกำลังจะเกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงหน้าแล้งวิกฤตที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมี แนวโน้มลดลงจนถึงโซนนี้ การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะปล่อยตามความจำเป็นเท่านั้น

### 1.6.3 โซนปริมาณเก็บกักใช้การ (Active Storage Zone)

โซนปริมาณเก็บกักใช้การ (Active Storage/Conservation Zone) ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อเก็บ กักน้ำไปใช้สำหรับความต้องการน้ำในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตลอดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ ไม่ว่าจะเป็น เป็นการชลประทาน การอุปโภคบริโภค การผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปริมาณ เก็บกักน้ำหลักที่ถูกดึงไปใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำ

### 1.6.4 โซนปริมาณเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone)

โซนปริมาณเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone) เป็นโซนเก็บกักน้ำส่วนที่อยู่เหนือโซนปริมาณ เก็บกักใช้การซึ่งสำรองปริมาณอ่างเก็บน้ำส่วนหนึ่งไว้เพื่อป้องกันน้ำหลากขนาดใหญ่ที่จะไหลเข้าสู่อ่าง อย่างไรก็ตามหากเขื่อนถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมและบรรเทาอุทกภัยเป็นสิ่งสำคัญ อ่าง เก็บน้ำนั้นจะมีการออกแบบโซนปริมาณสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัย (Flood Control Reserve Storage Zone) เสริมเข้ามาเพิ่มการรองรับน้ำที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ การออกแบบโซนปริมาณเก็บกัก ส่วนเกินและโซนปริมาณสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัยนี้จะพิจารณาเงื่อนไขของข้อมูลกราฟน้ำท่วมสูงสุด ออกแบบ (Design Flood Hydrograph) และข้อจำกัดในการระบายน้ำทางด้านท้ายน้ำ ทั้งนี้ น้ำหลาก ส่วนเกินจะถูกหน่วงไว้ในโซนเก็บกักนี้ชั่วคราวเพื่อลดขนาดของน้ำท่วมสูงสุดก่อนที่จะค่อย ๆ ระบายออก ทางด้านท้ายน้ำในอัตราที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายและสำรองปริมาณอ่างเก็บน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำ หลากในช่วงเวลาถัดไป

### 1.6.5 ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level)

ระดับเก็บกักปกติหรือระดับเก็บกักใช้การปกติ (Normal Pool Level, NPL/Full Reservoir Level, FRL) เป็นค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำในการปฏิบัติงานตามปกติ (Normal Operation) ซึ่งน้ำจะถูกเก็บกักไว้สำหรับนำไปใช้ตามความต้องการน้ำต่าง ๆ รวมถึงปริมาณสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมบางส่วนหรือทั้งหมดที่ปล่อยผ่านอาคารทางออก ระดับนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับสันทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway) ปริมาตรที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักต่ำสุดและระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรใช้การ (Active Storage)

### 1.6.6 ระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Pool Level)

ระดับเก็บกักสูงสุดหรือระดับเก็บกักใช้การสูงสุด (Maximum Pool Level, Max. PL /Maximum Water Level, Max. WL) เป็นค่าระดับน้ำสูงสุดที่จะยอมให้เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่มีน้ำท่วมใหญ่เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง ปริมาตรอ่างเก็บน้ำที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักสูงสุดและระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage) และปริมาณสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Reserve Storage) ซึ่งเป็นปริมาตรอ่างที่ทำหน้าที่หน่วงคลื่นน้ำท่วมไม่ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำเร็วและมีอัตรามากเกินไปจนก่อให้เกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำ ในการออกแบบปริมาตรเก็บกักส่วนนี้จะต้องสัมพันธ์กับขนาดทางระบายน้ำล้น และคลื่นน้ำท่วมที่คาดว่าจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง

### 1.6.7 ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level)

ระดับเก็บกักต่ำสุดหรือระดับเก็บกักไม่ใช้การต่ำสุด (Minimum Pool Level, MPL/Dead Storage Level) เป็นค่าระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดที่จะสามารถเอาน้ำจากอ่างออกไปใช้ได้ ระดับนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับปากของอาคารทางออก (Outlet) ตัวที่อยู่ต่ำที่สุด ปริมาตรอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุดนี้เรียกว่า ปริมาตรสูญเปล่า (Dead Storage) ซึ่งจะไม่มีการนำปริมาณน้ำในส่วนนี้ไปใช้ โดยปกติแล้วปริมาตรสูญเปล่าเป็นปริมาตรอ่างที่เพื่อไว้สำหรับการตกตะกอน (Sedimentation) ในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ

## 1.7 อ่างเก็บน้ำในประเทศไทย (Reservoirs in Thailand)

งานเขื่อนและระบบอ่างเก็บน้ำในประเทศไทยได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันภายใต้ความดูแลของหน่วยงานหลักภาครัฐคือ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งมีหน้าที่จัดหาหน้าเพื่อกักเก็บรักษา ควบคุม และระบายน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม การพลังงาน การสาธารณสุข โภค และการอุตสาหกรรม (Wikipedia, 2018b) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจด้านกิจการพลังงานภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงพลังงาน อ่างเก็บน้ำในประเทศไทยในปัจจุบันครอบคลุมอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ขนาดกลาง

และขนาดเล็กทั่วทั้ง 25 ลุ่มน้ำของประเทศ สำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มีจำนวน 35 แห่ง มีปริมาตรเก็บกักใช้การรวม 47,320 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังสรุปไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่สำคัญในประเทศไทย

อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่	ที่ตั้ง	หน่วยงานรับผิดชอบ	ความจุเก็บกัก (ล้านลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรใช้การ (ล้านลูกบาศก์เมตร)
			สูงสุด	ปกติ	ต่ำสุด	
ภาคเหนือ						
ภูมิพล	อ.สามเงา จ.ตาก	กฟผ.	13,462	13,462	3,800	9,662
สิริกิติ์	อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์	กฟผ.	10,508	9,510	2,850	6,660
แม่จันตมบูรณ์ชล	อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่	กฟผ.	323	265	12	253
แม่กวางอุดมธารา	อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	กรมชลประทาน	295	263	14	249
กิวลม	อ.เมือง จ.ลำปาง	กรมชลประทาน	106	106	4	102
กิวคองหมา	อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง	กรมชลประทาน	209	170	6	164
แควน้อยบำรุงแดน	อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	กรมชลประทาน	1,080	939	43	896
แม่มอก	อ.เถิน จ.ลำปาง	กรมชลประทาน	110	110	16	94
รวม						18,080
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ						
ห้วยหลวง	อ.เมือง จ.อุดรธานี	กรมชลประทาน	136	136	7	129
น้ำอูน	อ.พังโคน จ.สกลนคร	กรมชลประทาน	780	520	45	475
น้ำพุง	อ.กุศบาก จ.สกลนคร	กฟผ.	200	165	8	157
จุฬารามณ์	อ.คอนสาร จ.ชัยภูมิ	กฟผ.	181	164	37	127
อุบลรัตน์	อ.อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น	กฟผ.	4,640	2,431	581	1,850
ลำปาว	อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	กรมชลประทาน	2,450	1,980	100	1,880
ลำตะคอง	อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	กรมชลประทาน	373	314	23	291
ลำพระเพลิง	อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา	กรมชลประทาน	242	155	1	154
มูลบน	อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	กรมชลประทาน	350	141	7	134
ลำแจะ	อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	กรมชลประทาน	325	275	7	268
ลำนางรอง	อ.โนนดินแดง จ.บุรีรัมย์	กรมชลประทาน	197	121	3	118
สิรินธร	อ.สิรินธร จ.อุบลราชธานี	กฟผ.	1,966	1,966	831	1,135
รวม						6,718
ภาคกลาง						
ป่าสักชลสิทธิ์	อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี และ อ.วังม่วง จ.สระบุรี	กรมชลประทาน	960	960	3	954
ทับเสลา	อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี	กรมชลประทาน	190	160	17	143
กระเสียว	อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี	กรมชลประทาน	390	240	40	200
รวม						1,297
ภาคตะวันตก						
ศรีนครินทร์	อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	กฟผ.	18,770	17,745	10,265	7,480
วชิราลงกรณ	อ.ทองผาภูมิ และ อ.สังขละบุรี จ.กาญจนบุรี	กฟผ.	11,000	8,860	3,012	5,848

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่	ที่ตั้ง	หน่วยงาน รับผิดชอบ	ความจุเก็บกัก (ล้านลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรใช้การ (ล้านลูกบาศก์เมตร)
			สูงสุด	ปกติ	ต่ำสุด	
รวม						13,328
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ						
ขุนด่านปราการชล	อ.เมือง จ.นครนายก	กรมชลประทาน	225	224	5	219
คลองสิียด	อ.ท่าตะเียบ จ.ฉะเชิงเทรา	กรมชลประทาน	450	420	30	390
บางพระ	อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	กรมชลประทาน	127	117	12	105
หนองปลาไหล	อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	กรมชลประทาน	206	164	14	150
ประแสร์	อ.วังจันทร์ จ.ระยอง	กรมชลประทาน	322	295	20	275
นฤปดินทรจินดา	อ.นาดี จ.ปราจีนบุรี	กรมชลประทาน	338	295	20	275
รวม						1,414
ภาคใต้						
แก่งกระจาน	อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี	กฟผ.	900	710	65	645
ปราณบุรี	อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์	กรมชลประทาน	490	391	18	373
รัชชประภา	อ.บ้านตาขุน จ.สุราษฎร์ธานี	กฟผ.	6,144	5,639	1,352	4,287
บางกลาง	อ.บันนังสตา จ.ยะลา	กฟผ.	1,590	1,454	276	1,178
รวม						6,483
รวมทั้งประเทศ						47,320

ที่มา : ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ กรมชลประทาน (2561)

จากฐานข้อมูลของคลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตรได้สรุปข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในประเทศไทยแยกรายภาคดังแสดงในตารางที่ 1.2 โดยมีจำนวน 448 แห่ง ในช่วงความจุตั้งแต่ 0.12-98 ล้านลูกบาศก์เมตร ความจุรวมกว่า 3,862 ล้านลูกบาศก์เมตร (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2561)

ตารางที่ 1.2 ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดกลางแยกรายภาคในประเทศไทย

ภาค	อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง (ปริมาตรตั้งแต่ 0.1-100 ล้านลูกบาศก์เมตร)		
	จำนวน (แห่ง)	ช่วงความจุ (ล้านลูกบาศก์เมตร)	ความจุรวม (ล้านลูกบาศก์เมตร)
ภาคเหนือ	70	0.54-96	777.40
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	265	0.12-98	1,747.47
ภาคกลาง	15	0.70-43.41	125.08
ภาคตะวันตก	8	4-50	132.05
ภาคตะวันออก	51	0.35-97	635.48
ภาคใต้	39	0.27-80	444.44
รวม	448		3,861.92

## เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. (ม.ป.ป). *มาตรฐานอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก*. กรุงเทพฯ: สำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น, กระทรวงมหาดไทย.
- วรารุช วุฒิวิณชัย, ทองเปลว กองจันทร์, และวัชระ เสือดี. (2550). *อุทกวิทยาประยุกต์ทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ กรมชลประทาน. (2561). *ตารางสรุปข้อมูลอ่างขนาดใหญ่ทั่วประเทศ*. สืบค้น 1 กุมภาพันธ์ 2561, จาก [http://water.rid.go.th/flood/flood/res\\_table.htm](http://water.rid.go.th/flood/flood/res_table.htm)
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2561). *ตารางสรุปสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง*. สืบค้น 1 กุมภาพันธ์ 2561, จาก [http://www.thaiwater.net/DATA/REPORT/php/show\\_sm\\_dam.php](http://www.thaiwater.net/DATA/REPORT/php/show_sm_dam.php)
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Banafsheh, Z. (2003). *Water resources system analysis*. New York: Lewis Publishers.
- Wikipedia. (2018a). *Reservoir*. Retrieved February 1, 2018 from <https://en.wikipedia.org/wiki/Reservoir#/media/File:Lakevyrnwysummer.jpg>
- Wikipedia. (2018b). *กรมชลประทาน*. Retrieved February 1, 2018 from [https://th.wikipedia.org/wiki/กรมชลประทาน\\_\(ประเทศไทย\)](https://th.wikipedia.org/wiki/กรมชลประทาน_(ประเทศไทย))



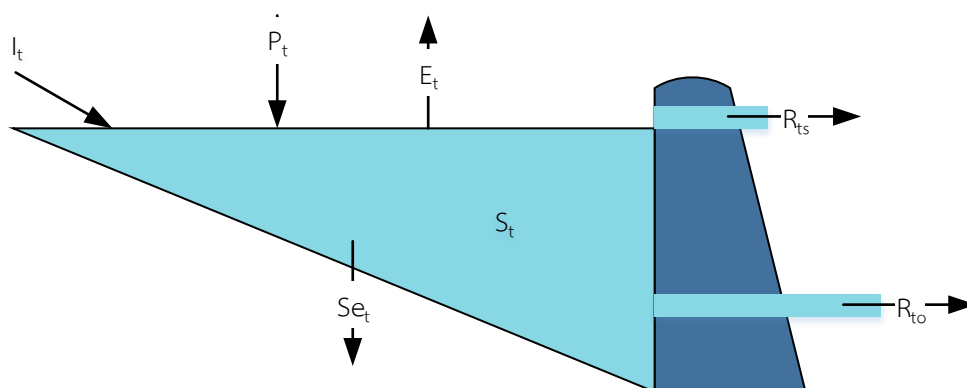


## 02 การวิเคราะห์ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ (Analysis of Reservoir Data)

ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrologic Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนามซึ่งถูกจัดเก็บและรวบรวมขึ้นสำหรับใช้อธิบายถึงกระบวนการทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้น อาจกล่าวได้ว่าข้อมูลทางอุทกวิทยานับเป็นข้อมูลป้อนเข้าที่สำคัญของแบบจำลองระบบเพื่อการออกแบบ วิเคราะห์ และใช้ในกระบวนการตัดสินใจในงานด้านวางแผนและบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำเหล่านี้จำเป็นต้องผ่านการวิเคราะห์และสังเคราะห์เบื้องต้นโดยอาศัยหลักการทางอุทกวิทยาและอุทกวิทยาประยุกต์ สำหรับรายละเอียดของการวิเคราะห์ข้อมูลอ่างเก็บน้ำที่สำคัญได้กล่าวไว้ในบทนี้

### 2.1 หลักสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Water Balance of a Reservoir)

หลักการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Balance Approach) นับเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญสำหรับประยุกต์ใช้ในงานด้านการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกแบบหาขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม (Reservoir Sizing) สำหรับใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตลอดจนทำการวิเคราะห์สมดุลน้ำเพื่อประกอบการวางแผนและบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้มีประสิทธิภาพ สำหรับหลักการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำนั้นเป็นลักษณะของการหาสมดุลของมวลน้ำทั้งหมดในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Mass Balance) โดยค่าผลต่างระหว่างเทอมผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Inflow) กับเทอมผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) ซึ่งจะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Change) ตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งจากแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (Surface Inflow and Groundwater Inflow) รวมถึงปริมาณฝนที่ตกลงอ่างเก็บน้ำ (Precipitation) โดยตรงนับได้ว่าเป็นตัวแปรหลักของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและยังเป็นแหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญของระบบอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำเป็นผลจากปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างตามเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้น ๆ โดยผ่านทางโครงสร้างของอาคารทางออก (Outlet Structure) ในช่วงของการปฏิบัติการปกติ (Normal Operation) และผ่านอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) ในช่วงของการปฏิบัติการในสภาวะน้ำหลาก (Refilled Operation) นอกจากนี้ยังรวมถึงข้อมูลปริมาณการสูญเสียน้ำทั้งจากการระเหยและการรั่วซึมออกจากอ่างเก็บน้ำดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ

สำหรับรูปแบบทั่วไปของสมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Balance Equation) มีลักษณะดังนี้ (วรารุช วุฒิวิชัย และคณะ, 2550)

$$S_{t+1} = S_t + I_t + P_t - R_t - E_t - Se_t \quad \text{-----}(2.1)$$

- เมื่อ
- $S_{t+1}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t+1
  - $S_t$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t
  - $I_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t
  - $P_t$  = ปริมาณฝนที่ตกลงอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t
  - $R_t$  = ผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำผ่านอาคารทางออก ( $R_{to}$ ) และอาคารระบายน้ำล้น ( $R_{ts}$ ) ในช่วงเวลา t ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยความต้องการน้ำและปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่
  - $E_t$  = ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t
  - $Se_t$  = ปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t

โดยสามารถประยุกต์ใช้สมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์สมดุลอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น สมดุลอ่างเก็บน้ำรายปี (Annual Reservoir Water Balance) สมดุลอ่างเก็บน้ำรายฤดูกาล (Seasonal Reservoir Water Balance) สมดุลอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Monthly Reservoir Water Balance) และสมดุลอ่างเก็บน้ำรายวัน (Daily Reservoir Water Balance) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาร่วมด้วยไม่ว่าจะเป็น ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักไว้บริเวณตลิ่ง (Bank Storage) ในช่วงที่ระดับน้ำเก็บกักในอ่างสูง หรือปริมาณน้ำที่สูญเสียออกไปจากบริเวณตลิ่ง (Bank Water Losses) ในช่วงที่ระดับน้ำเก็บกักในอ่างลดต่ำลง หรือปริมาณน้ำจากตลิ่งบางส่วนที่ไหล

กลับเข้ามาอ่างเก็บน้ำ (Return Flow Volume) อีกครั้ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำเก็บกักและปริมาณน้ำที่สูญเสียจากบริเวณตลิ่งนี้ถือว่ามีค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำอื่น ๆ ดังนั้นจึงมักไม่นำมาคิดในการวิเคราะห์สมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ

## 2.2 การสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Losses)

การสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Losses) นับเป็นตัวแปรที่สำคัญในสมการสมดุลอ่างเก็บน้ำ การสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ การระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Evaporation Losses) การรั่วซึมของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Seepage Losses) และการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Leakage through Dam) (Sivapragasam et al., 2009) โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

### 2.2.1 การระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Evaporation Losses)

การระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Evaporation Losses) เป็นกระบวนการที่น้ำจากผิวของอ่างเก็บน้ำได้รับพลังงานความร้อนทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำโดยเฉพาะบริเวณผิวน้ำที่รับพลังงานความร้อนโดยตรงลดลงอย่างรวดเร็วจนทำให้อนุภาคของน้ำหลุดลอยขึ้นสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ การสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการระเหยโดยปกติแล้วจะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวน้ำที่มีการระเหยกล่าวคือ อ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ผิวน้ำน้อยแต่มีความลึกของน้ำมาก ปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอ่างเก็บน้ำที่มีลักษณะตื้นและพื้นที่ผิวน้ำมีขนาดกว้าง นอกจากนี้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาไม่ว่าจะเป็นรังสีอาทิตย์ (Radiation) ความเร็วลม (Wind Speed) อุณหภูมิ (Temperature) ความดันไอ (Vapor Pressure) ของอากาศรอบ ๆ ผิวน้ำ ละติจูด (Latitude) ฤดูกาล (Season) เวลา (Time) ความชื้น (Humidity) และลักษณะภูมิอากาศ (Climate Condition) ยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยแทบทั้งสิ้น หรือแม้กระทั่งคุณภาพน้ำ (Water Quality) ก็ยังมีอิทธิพลต่ออัตราการระเหยกล่าวคือ น้ำที่มีสารละลายเจือปนมากอัตราการระเหยจะลดลงเมื่อเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ โดยทั่วไปหลักการคำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสียนั้นเนื่องมาจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำทำได้ค่อนข้างง่าย กล่าวคือ อาศัยข้อมูลอัตราการระเหยที่ทำการตรวจวัดจากภาตวัดการระเหย (Evaporation Pan) บริเวณที่ตั้งตัวเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำคูณด้วยสัมประสิทธิ์ของภาตวัดการระเหย (Pan Coefficient) จากนั้นแปลงค่าให้เป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียนั้นโดยการคูณด้วยพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้นดังแสดงวิธีการคำนวณในตัวอย่าง 2.1

**ตัวอย่างที่ 2.1** พื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำมีขนาด 20 ตารางกิโลเมตร และอัตราการระเหยจากภาตวัดการระเหยที่ตัวเขื่อนวัดได้ 1 เซนติเมตร ให้คำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียนั้นเนื่องมาจากการระเหยโดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของภาตวัดการระเหยเท่ากับ 0.80

**วิธีทำ** อัตราการระเหยจากผิวดินการระเหย = 1 เซนติเมตร  
 พื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำ = 20 ตารางกิโลเมตร  
 ปริมาณการระเหยของน้ำ =  $20 \times 1,000 \times 1,000 \times 0.01 \times 0.80$   
 = 160,000 ลูกบาศก์เมตร



ในการศึกษาสมดุลของน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำอาจกล่าวได้ว่าข้อมูลการเหยของน้ำเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและมีความลึกไม่มากซึ่งตั้งอยู่ที่เขตร้อนพบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยจะมีลักษณะแตกต่างกับระบบอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และมีความลึกมาก ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบหาขนาดความจุอ่างเก็บน้ำ รวมถึงกำหนดการปล่อยน้ำที่เหมาะสมจากอ่างเก็บน้ำจึงต้องอาศัยข้อมูลการระเหยมาพิจารณาร่วมด้วยเพื่อลดความเสี่ยงที่จะออกแบบและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำผิดพลาด จากการทบทวนเอกสารวรรณกรรมทางด้านการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Study) โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่า ไม่ได้ทำการศึกษาข้อมูลการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำอย่างลงลึกในรายละเอียดมากนัก ยกตัวอย่างเช่น Harboe และคณะ (Harboe et al., 1994) ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำรายเดือนเฉลี่ยและการรั่วซึมของน้ำโดยกำหนดให้สัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่ Shiau และ Lee (Shiau & Lee, 2005) ไม่ได้นำข้อมูลการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำใด ๆ มาพิจารณาในสมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำเลย หรือแม้กระทั่ง Ganji และคณะ (Guitjens, 1982) ที่ได้ศึกษาสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลการสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการระเหยเท่านั้น ด้วยเหตุนี้การศึกษาในปัจจุบันจึงให้ความสำคัญกับการพัฒนาแบบจำลองการสูญเสียน้ำทั้งจากการระเหยและการรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมาใช้ในการกำหนดการจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพิ่มมากขึ้น

สำหรับวิธีการในการประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มหลักได้แก่ (1) วิธีเอมไพริคัล (Empirical Method) (2) วิธีงบประมาณน้ำ (Water Budget Method) (3) วิธีงบประมาณพลังงาน (Energy Budget Method) (4) วิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method) และ (5) วิธีผสมผสาน (Combination Method)

### 2.2.1.1 วิธีเอมไพริคัล (Empirical Method)

มีผลงานวิจัยหลายชิ้นที่พยายามพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลอุณหภูมิตฤษฎี ข้อมูลอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำ เช่น Sivapragasam และคณะ (Sivapragasam et al., 2009) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยกำหนดให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Stage Depth) ข้อมูลพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Surface Area) ข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ข้อมูลจำนวน

ชั่วโมง (Sunshine Hour) และข้อมูลความเร็วลม (Wind Velocity) Senturk และคณะ (Senturk & Oruc, 2010) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำและข้อมูลอุตุ-อุตุนิยมวิทยา (Hydrometeorological Data) ในลักษณะการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยประยุกต์วิธีเชิงพลังงานจากสมการของ Penman เพื่อกำหนดตัวแปรอิสระซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย (Average Wind Speed) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมด (Total Radiation) นอกจากนี้ Knisel ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เพื่อหาตัวแปรที่สัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วมซึ่งครอบคลุมทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยและปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ โดยกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ ข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Stage) ข้อมูลฝน (Rainfall) ข้อมูลช่วงเวลาฝนตก (Duration of Rainfall) ข้อมูลฝนล่วงหน้า (Antecedent Rainfall) ข้อมูลการระเหยจากผิวดินการระเหย (Pan Evaporation) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Level) และข้อมูลสภาพความชื้นในอากาศ (Moisture Condition) จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำมีความสัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในอ่างค่อนข้างสูงในรูปแบบฟังก์ชันกำลัง (Power Function) เท่านั้น (Knisel, 1970)

### 2.2.1.2 วิธีงบประมาณน้ำ (Water Budget Method)

วิธีงบประมาณน้ำ (Water Budget Method) เป็นวิธีที่ง่ายในการคำนวณหาปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน รายฤดูกาล และรายปี ซึ่งการวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะอาศัยสมการอุทกวิทยาพื้นฐานดังแสดงในสมการ (Jensen, 2010)

$$I = O + \Delta S \quad \text{-----}(2.2)$$

- เมื่อ  $I$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Inflow) ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณฝนที่ตกลงบนผิวของอ่างเก็บน้ำ (Precipitation,  $P_i$ ) ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff,  $R_i$ ) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในลำน้ำ (Channel Inflow,  $Q_i$ ) ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลเข้ามา (Groundwater Inflow,  $G_i$ ) และปริมาณน้ำที่ผันมาจากแหล่งน้ำอื่นนอกเขตลุ่มน้ำ (Diversion Inflow,  $D_i$ )
- $O$  = ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) ประกอบไปด้วย ปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวของอ่างเก็บน้ำ (Evaporation,  $E$ ) ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลำน้ำ (Channel Outflow,  $Q_o$ ) ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลออก (Groundwater Outflow,  $G_o$ ) และปริมาณน้ำที่ผันออกไปยังแหล่งน้ำอื่นนอกเขตลุ่มน้ำ (Diversion Outflow,  $D_o$ )



$\Delta S$  = การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Storage Change)

สมการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำยังสามารถแสดงในหน่วยความลึกหรือปริมาตรของน้ำที่ระเหยไปจากพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้ดังนี้

$$E = P_i + R_i + Q_i + G_i + D_i - Q_o - G_o - D_o - \Delta S \text{ -----(2.3)}$$

โดยทุกตัวแปรจะแสดงค่าในหน่วยความลึกน้ำ (Depth) เช่น มิลลิเมตร นิ้ว เป็นต้น หรือหน่วยปริมาตร (Volume) เช่น ลูกบาศก์เมตร ลูกบาศก์ฟุต เป็นต้น ในช่วงเวลาที่พิจารณา อย่างไรก็ตามการประมาณค่าข้อมูลปริมาณน้ำใต้ดินทำได้ค่อนข้างยากในทางปฏิบัติ

### 2.2.1.3 วิธีงบประมาณพลังงาน (Energy Budget Method)

วิธีงบประมาณหรือวิธีของ Bowen พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของกฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Law) ซึ่งกำหนดให้พลังงานที่เข้ามา (Incoming Energy) เท่ากับพลังงานที่ออกไป (Outgoing Energy) ในระบบดังแสดงในสมการดังนี้

$$Q_t = Q_s + Q_a - Q_{sr} - Q_{ar} - Q_{br} - Q_c - Q_e \text{ -----(2.4)}$$

เมื่อ	$Q_t$	=	การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของอ่างเก็บน้ำ
	$Q_s$	=	รังสีคลื่นสั้นจากชั้นบรรยากาศที่ส่องมายังผิวน้ำ
	$Q_a$	=	รังสีคลื่นยาวจากชั้นบรรยากาศที่ส่องมายังผิวน้ำ
	$Q_{sr}$	=	รังสีคลื่นสั้นจากชั้นบรรยากาศที่สะท้อนออกไปจากผิวน้ำ
	$Q_{ar}$	=	รังสีคลื่นยาวจากชั้นบรรยากาศที่สะท้อนออกไปจากผิวน้ำ
	$Q_{br}$	=	รังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกไปจากผิวน้ำ
	$Q_c$	=	พลังงานในรูปของความร้อนที่สัมผัสได้ (Sensible Heat) ที่อ่างเก็บน้ำ
	$Q_e$	=	พลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำ

โดยหน่วยที่ใช้ในสมการที่ (2.4) คือ แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน ( $\text{cal.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ ) และยังเป็นสมการแบบสั้นของสมการงบประมาณพลังงานอีกด้วยเนื่องมาจากไม่พิจารณาปัจจัยของการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างตัวอ่างเก็บน้ำและตะกอนก้นอ่าง รวมถึงพลังงานสุทธิต่ออ่างเก็บน้ำที่ได้รับไว้โดยถือว่ามิต้าน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณา

สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำนั้นประมาณค่าจาก

$$Q_e = \rho_w L_v E \quad \text{-----}(2.5)$$

- เมื่อ  $\rho_w$  = ความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1,000 \text{ kgm}^{-3}$   
 $L_v$  = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ( $\text{Jkg}^{-1}$ )  
 $E$  = การระเหยของน้ำ ( $\text{mday}^{-1}$ )

วิธีบพลังงานยังอาศัยทฤษฎีที่พลังพลังงานความร้อนสัมผัสได้สัมพันธ์กับพลังพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำในรูปของอัตราส่วน Bowen (Bowen Ratio,  $\beta$ ) ดังนี้คือ

$$\beta = \frac{Q_c}{Q_e} = \gamma \frac{(T_s - T_a)}{(e_{sw} - e_d)} \quad \text{-----}(2.6)$$

- เมื่อ  $T_s$  = อุณหภูมิผิวน้ำ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_a$  = อุณหภูมิอากาศเหนือผิวน้ำ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $e_{sw}$  = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิผิวน้ำ (mbar)  
 $e_d$  = ความดันไอในอากาศเหนือผิวน้ำ (mbar)  
 $\gamma$  = ค่าคงที่ Psychrometric ( $\text{mbar } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

เมื่อรวมทั้ง 3 สมการข้างต้นจะได้สมการในการประมาณค่าการระเหยของน้ำดังนี้

$$E = \frac{Q_s + Q_a - Q_{sr} - Q_{ar} - Q_{br} - Q_t}{\rho_w L_v (1 + \beta)} \quad \text{-----}(2.7)$$

โดยเทอมของ  $Q_s$  และ  $Q_a$  ประมาณค่าจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สำหรับ  $Q_{sr}$  และ  $Q_{ar}$  เป็นสัดส่วนคงที่กับค่า  $Q_s$  และ  $Q_a$  ในขณะที่  $Q_{br}$  ประมาณค่าจากข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวน้ำโดยใช้กฎของ Stefan-Baltzmann (Stefan-Baltzmann Law) และ  $Q_t$  ประมาณค่าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นผิวน้ำในช่วงเวลาที่พิจารณา

#### 2.2.1.4 วิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method)

วิธีการเคลื่อนย้ายมวลเป็นวิธีการประมาณค่าการระเหยของน้ำโดยประยุกต์กฎของ Dalton (Dalton's Law) เนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากพื้นที่ผิวน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วลม (Wind Velocity) และความแตกต่างของความดันไอ (Vapor Pressure Deficit) ด้วยเหตุนี้สมการการประมาณค่าจึงอยู่ในรูปของ

$$E = f(u)(e_{sw} - e_d) \quad \text{-----}(2.8)$$

เมื่อ  $f(u)$  = ฟังก์ชันของความเร็วลม (Wind Speed,  $u$ ) ซึ่งวัดที่ระดับเหนือพื้นผิวดิน และโดยส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันของความเร็วลมจะอยู่ในรูปของ  $f(u) = a.u$  เมื่อ  $a$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)

โดยที่ค่า  $a$  เป็นค่าที่ผันแปรตามพื้นที่ศึกษาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างและขนาดของอ่างเก็บน้ำ ความสูงและตำแหน่งของสถานีวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สภาพอากาศ และอื่น ๆ เป็นต้น

#### 2.2.1.5 วิธีผสมผสาน (Combination Method)

การประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีนี้เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีงบประมาณพลังงาน (Energy Budget Method) และวิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method) เข้าด้วยกัน โดยตั้งข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ (Radiation Energy) และข้อมูลพลังงานอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Energy) เป็นข้อมูลหลักในสมการที่ใช้คำนวณ โดยมีสมการที่ใช้ในการประมาณค่าการระเหยที่ได้รับความนิยมดังนี้ (Soulтана & Vassilis, n.d.)

##### □ สมการของ Penman (Penman Equation)

สมการของ Penman ค่อนข้างได้รับความนิยมมากที่สุดในการประมาณค่าการระเหย เริ่มพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1948 โดยมีรูปแบบสมการดังนี้คือ

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Q_m - Q_t)}{\rho_w L_v} + \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) f(u)(e_{sa} - e_d) \quad \text{-----}(2.9)$$

เมื่อ  $\Delta$  = ความชันของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความดันไออิ่มตัวและอุณหภูมิอากาศ (Slope of the Saturation Vapor Pressure versus Air Temperature)

Curve,  $\text{mbar}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$e_{sa}$  = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิอากาศ (Saturation Vapor Pressure at Air Temperature, mbar)

$Q_m$  = รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (Net Radiation,  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ ) โดยที่

$$Q_m = Q_s - Q_{sr} + Q_a - Q_{ar} - Q_{br} \quad \text{-----}(2.10)$$

สมการของ Penman ประกอบด้วย 2 เทอมหลักได้แก่ เทอมของพลังงานแสงอาทิตย์ และเทอมพลังงานอากาศพลศาสตร์ เพื่อพิจารณาถึงพลังงานที่ถูกใช้ไปและพลังงานที่ช่วยให้เกิดความเร็วมและความแตกต่างของความดันไอน้ำในกระบวนการระเหยของน้ำ เริ่มแรก Penman ได้นำเสนอฟังก์ชันความเร็วมในรูปของ  $f(u) = 0.26(1+0.536u_2)$  แต่หลังจากนั้นได้ปรับเปลี่ยนสมการใหม่ในรูปของ  $f(u) = 0.26(0.5+0.536u_2)$  ซึ่งค่อนข้างเหมาะในการคำนวณค่าการระเหยจากพื้นที่ผิวน้ำเปิดขนาดใหญ่อย่างอ่างเก็บน้ำ

□ สมการของ Priestley-Taylor (Priestley-Taylor Equation)

สมการของ Priestley-Taylor เป็นการดัดแปลงสมการของ Penman ให้ง่ายต่อการประมาณการค่าการระเหยของน้ำมากยิ่งขึ้น โดยกำหนดให้ค่าการระเหยขึ้นอยู่กับเทอมของรังสีแสงอาทิตย์เป็นหลัก และพิจารณาว่าเทอมอากาศพลศาสตร์เป็นสัดส่วนคงที่กับการระเหยของน้ำทั้งหมดดังแสดงในรูปสมการดังนี้

$$E = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Q_m - Q_t)}{\rho_w L_v} \quad \text{-----}(2.10)$$

เมื่อ  $\alpha$  = พารามิเตอร์ของสมการโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.26 ซึ่งเทียบเท่ากับค่าที่ได้จากเทอมอากาศพลศาสตร์ประมาณ 21% ของการระเหยของน้ำทั้งหมด

ด้วยเหตุนี้การประยุกต์ใช้สมการ Priestley-Taylor นั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลความเร็วมเพื่อคำนวณค่าฟังก์ชันความเร็วมหรือ  $f(u)$  เหมือนกับสมการ Penman

□ สมการของ De Bruin (De Bruin Equation)

De Bruin ได้ดัดแปลงสมการของ Penman และใช้พารามิเตอร์  $\alpha$  ที่ได้จากสมการของ Priestley-Taylor เพื่อพัฒนาสมการในการประมาณค่าการระเหยใหม่โดยกำหนดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของเทอมอากาศพลศาสตร์เท่านั้นดังแสดงในรูปสมการ

$$E = \frac{\alpha}{\alpha-1} \left( \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} \right) \frac{f(u)(e_{s\alpha} - e_d)}{\rho_w L_v} \quad \text{-----(2.11)}$$

ซึ่งการนำสมการของ De Bruin ไปใช้นั้นไม่จำเป็นที่จะต้องอาศัยข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของอ่างเก็บน้ำ

### 2.2.2 การรั่วซึมของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Seepage Losses)

น้ำซึ่งถูกเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำในปริมาณมหาศาลส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวไปยังชั้นน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกลงไป ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำในรูปของการรั่วซึม (Reservoir Losses) ซึ่งถึงแม้จะคิดเป็นสัดส่วนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำก็ตาม โดยปกติแล้วปริมาณการรั่วซึมของน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ลักษณะโครงสร้างดิน ตลอดจนเส้นตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดิน และสามารถประยุกต์กฎของดาร์ซีสำหรับหาค่าปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำได้ อาจกล่าวได้ว่าการประมาณค่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมเป็นงานที่ค่อนข้างยากและโดยส่วนใหญ่จะหลีกเลี่ยงที่จะนำข้อมูลการรั่วซึมมารวมพิจารณา ยกเว้นบางอ่างเก็บน้ำที่ตั้งอยู่ในบริเวณชั้นดินที่มีการซึมผ่านของน้ำสูง ข้อมูลการรั่วซึมของน้ำนับได้ว่าเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากต่อปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการ ซึ่งการประมาณค่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่าง ปริมาณฝนที่ตกลงอ่าง รวมทั้งข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม วรารุช และคณะได้นำเสนอสมการที่ใช้ในการประมาณการปริมาณการรั่วซึมน้ำจากอ่างเก็บน้ำไว้ดังนี้ (วรารุช วุฒิวิณิชย์ และคณะ, 2550)

$$Se_t = BK.(S_{t+1} - S_t) \quad \text{-----(2.12)}$$

เมื่อ  $Se_t$  = ปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t

$S_{t+1}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t+1

$S_t$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t

BK = สัมประสิทธิ์ความจุตลิ่ง (Bank Storage Coefficient)

### 2.2.3 การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Leakage through Dam)

ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อน รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียในระหว่างการเปิดปิดบานประตูควบคุมและทางระบายน้ำล้น ถือได้ว่าเป็นการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นไปได้ยากมากที่จะทำการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียนี้โดยตรง ยกตัวอย่างเช่น การสูญเสียน้ำจากการเปิดปิดบานประตูหรือวาล์วโดยปกติแล้วจะขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบ การติดตั้ง และการบำรุงรักษา อย่างไรก็ตามอาจตั้งสมมุติฐานให้ปริมาณการสูญเสียน้ำผันแปรตามข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงได้ โดยทั่วไปแล้วปริมาณน้ำที่สูญเสียนี้จะมีค่าโดยประมาณตั้งแต่ 0.5%-4% ของปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านอาคารโครงสร้างชลศาสตร์ (Jain & Singh, 2003)

### 2.3 การวิเคราะห์ขอบเขต (Range Analysis)

การวิเคราะห์ขอบเขต (Range Analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่บ่งบอกถึงความผันแปรและสถานะของปริมาณน้ำในลำน้ำที่จะเก็บกักไว้ใช้ได้ ในที่นี้กำหนดให้  $X_i$  เป็นอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำของสถานีหลักเหนืออ่างเก็บน้ำ เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, n$  ซึ่งอาจจะเป็นอนุกรมเวลาของข้อมูลรายวัน รายสัปดาห์ หรือรายเดือนก็ได้ และ  $X_m$  เป็นอนุกรมเวลาของค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำดังนั้น

$$S_1 = \Delta X_1 = X_1 - X_m \quad \text{-----}(2.13)$$

เมื่อ  $S_1$  เป็นค่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณน้ำเก็บกักเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาแรกทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของ  $X_i$  และ  $X_m$  ด้วยเหตุนี้ค่า  $S_i$  จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาสิ้นสุด  $i$  ดังแสดงในสมการดังนี้คือ

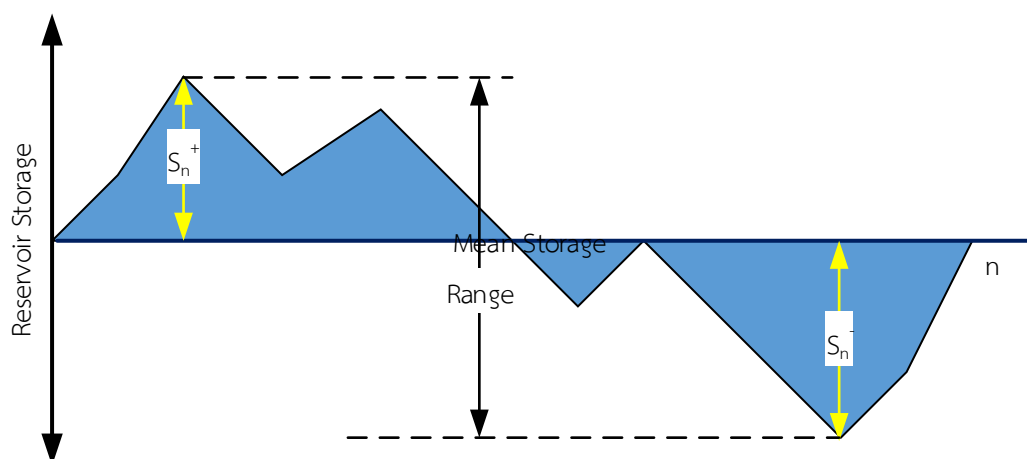
$$S_i = \Delta X_1 + \Delta X_2 \dots + \Delta X_i = \sum_{j=1}^i \Delta X_j \quad \text{-----}(2.14)$$

ค่าสูงสุดของ  $S_i$  ตลอดช่วงเวลา  $n$  กำหนดให้เป็น  $S_n^+$  และเรียกว่า ปริมาณน้ำเก็บกักส่วนเกินสูงสุด (Maximum Surplus) ในขณะที่ค่าต่ำสุดของ  $S_i$  ตลอดช่วงเวลา  $n$  กำหนดให้เป็น  $S_n^-$  และเรียกว่า ปริมาณน้ำเก็บกักขาดแคลนต่ำสุด (Minimum Deficit) ดังนั้นผลรวมของปริมาณน้ำเก็บกักส่วนเกินสูงสุดและปริมาณน้ำเก็บกักขาดแคลนต่ำสุดจะเรียกว่า ขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกัก (Storage Range) ดังแสดงในสมการที่ 2.15 และรูปที่ 2.2

$$R_n = S_n^+ + |S_n^-| \quad \text{-----}(2.15)$$



โดยส่วนใหญ่แล้วขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักที่วิเคราะห์ได้จะมีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่แสดงถึงปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำอย่างน้อยเท่ากับ  $X_m$  เพื่อรักษาความจุเก็บกักของน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักยังขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำ รวมถึงช่วงความยาวของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ กล่าวคือเมื่อช่วงความยาวของข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น ค่าขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักอาจจะเพิ่มสูงขึ้นหรือเท่าเดิมก็ได้



รูปที่ 2.2 ขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

Hurst และคณะ ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักที่ได้จากการวิเคราะห์โดยนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลมาร่วมพิจารณา ดังแสดงในสมการพบว่า ค่าขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักที่ปรับปรุงใหม่ในรูปของจะเพิ่มสูงขึ้นตามช่วงความยาวของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ (Jain & Singh, 2003)

$$\frac{R}{\sigma} = 0.5\sqrt{n\pi} = 1.25\sqrt{n} \quad \text{-----}(2.16)$$

## 2.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing Analysis)

การเคลื่อนตัวของไฮโดรกราฟน้ำท่วม (Flood Hydrograph) ผ่านอ่างเก็บน้ำเป็นปรากฏการณ์ที่แสดงถึงลักษณะการไหลในลำน้ำที่ไม่คงที่ (Unsteady Flow) อาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing) เป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำ (Reservoir Analysis) เนื่องจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบอ่างเก็บน้ำโดยการปรับระดับเก็บกักสูงสุดให้เหมาะสม รวมถึงการออกแบบทางระบายน้ำล้น (Spillway) อาคารทางออก (Outlet Works) ตลอดจนนำมาใช้ในการวิเคราะห์ขนาดของคลื่นน้ำท่วมที่มีผลต่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน สำหรับการ

วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำจะอาศัยสมการการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity Equation) เป็นสมการหลักในการคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งตามหลักการนั้นความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาและปริมาณน้ำที่ไหลออกไปเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำดังแสดงในสมการ (Chow et al., 1988; วราวุธ วุฒิวิชัย และคณะ, 2550)

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad \text{-----(2.17)}$$

- เมื่อ
- I = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow)
  - O = ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ (Outflow)
  - S = ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Storage)
  - t = เวลา (Time)


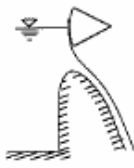
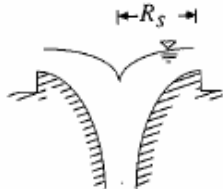
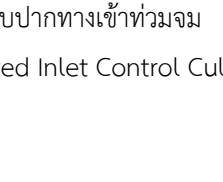
เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาสั้น ๆ  $\Delta t$  จะได้ความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากอ่างเก็บน้ำมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงเวลาดังกล่าว และเรียกความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่ไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำ (Inflow Peak Discharge-Outflow Peak Discharge) ว่า Attenuation ในขณะที่ความแตกต่างระหว่างเวลาที่อัตราการไหลสูงสุดของน้ำไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำ (Time to Peak of Inflow-Time to Peak of Outflow) จะเรียกว่า Translation ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ ปริมาณน้ำเก็บกัก และอัตราการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพภูมิประเทศของตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะโครงสร้างอาคารทางออก สำหรับเทคนิคในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำถูกพัฒนาขึ้นหลายวิธีได้แก่ วิธีโค้งสะสม (Mass Curve Method) วิธีพัลส์ (Puls Method) วิธีพัลส์ปรับปรุงใหม่ (Modified Puls Method) วิธีของวิสเลอร์-บราเทอร์ (Wisler-Brater Method) วิธีของกูดริช (Goodrich Method) วิธีของสเทนเบิร์ก (Steinberg Method) และวิธีค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient Method) ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธีพัลส์ปรับปรุงใหม่หรือเรียกอีกอย่างว่าวิธี Storage-Indication โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.4.1 หลักการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Storage-Indication

การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Storage-Indication ประยุกต์ใช้ได้กับอ่างเก็บน้ำที่มีโครงสร้างอาคารระบายน้ำล้นเป็นส่วนประกอบทั้งที่มีประตูควบคุมและไม่มีประตูควบคุมฝาย และอาคารทางออกแบบท่อ เป็นต้น โดยจะสมมติให้ปริมาณน้ำเก็บกักเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีน้ำไหลข้าม

สันฝายหรือทางระบายน้ำล้น สำหรับในกรณีที่ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นนั้นจะสามารถประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้นประเภทต่าง ๆ (Outflow,  $O$  หรือ  $Q$ ) โดยอาศัยข้อมูลระดับเสตน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น (Head,  $H$ ) เป็นหลักดังแสดงสมการในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปสมการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านทางระบายน้ำล้น

ประเภททางระบายน้ำล้น	สมการ
ทางระบายน้ำล้นสันมนแบบไม่มีประตูควบคุม (Uncontrolled Overflow Ogee Crest) 	$Q = CLH^{3/2}$ เมื่อ $Q$ = อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น (cfs) $C$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของทางระบายน้ำล้น $L$ = ความยาวของทางระบายน้ำล้น (ft) $H$ = ระดับเสตน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น (ft)
ทางระบายน้ำล้นสันมนแบบมีประตูควบคุม (Gate Controlled Ogee Crest) 	$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} CL (H_1^{3/2} - H_2^{3/2})$ เมื่อ $Q$ = อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น (cfs) $C$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของทางระบายน้ำล้นซึ่งผันแปรตามประเภทของประตูควบคุมและสันฝาย $L$ = ความยาวของทางระบายน้ำล้น (ft) $H_1$ = ระดับเสตน้ำเหนือขอบล่างของประตูควบคุม (ft) $H_2$ = ระดับเสตน้ำเหนือขอบบนของประตูควบคุม (ft)
ทางระบายน้ำล้นแบบมอร์นิ่งกลอรี (Morning Glory Spillway) 	$Q = C_0 (2\pi R_s) H^{3/2}$ เมื่อ $Q$ = อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น (cfs) $C_0$ = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งสัมพันธ์กับค่า $H$ และ $R_s$ $R_s$ = ความยาวรัศมีของทางระบายน้ำล้น (ft) $H$ = ระดับเสตน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น (ft)
ท่อลอดแบบปากทางเข้าท่วมจม (Submerged Inlet Control Culvert) 	$Q = C_d W D \sqrt{2gH}$ เมื่อ $Q$ = อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านท่อลอด (cfs) $C_d$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของท่อลอด $W$ = ความกว้างของท่อลอด (ft) $D$ = ความสูงของท่อลอด (ft)

นอกจากนี้ยังต้องทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เฉพาะของแต่ละอ่างเก็บน้ำใน 2 ลักษณะคือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกักและระดับเสदनน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น (Storage-Head Relationship) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้นและระดับเสदनน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น (Outflow-Head Relationship) รวมถึงจะต้องมีข้อมูลไฮโดรกราฟของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Hydrograph) และจำเป็นต้องทราบระดับเสदनน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้นเริ่มต้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์

จากนั้นอาศัยสมการการไหลแบบต่อเนื่องโดยพิจารณาในช่วงเวลา  $\Delta t$  ดังแสดงในสมการ

$$i - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{-----(2.18)}$$

เมื่อ  $i$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในช่วงเวลา  $\Delta t$   
 $O$  = ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในช่วงเวลา  $\Delta t$  หรือ

$$\frac{i_i + i_{i+1}}{2} - \frac{O_i + O_{i+1}}{2} = \frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} \quad \text{-----(2.19)}$$

โดยที่  $i$  เป็นช่วงเวลาที่พิจารณา (Time Interval) และที่  $i$  เท่ากับ 1 จะทราบค่าตัวแปร  $i_i$  และ  $i_{i+1}$  และ  $S_i$  เริ่มต้น ในขณะที่ตัวแปร  $O_{i+1}$  และ  $S_{i+1}$  เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นจะสามารถสร้างสมการใหม่โดยกำหนดให้เทอมของตัวแปรที่ทราบค่า (Known Terms) เท่ากับเทอมของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (Unknown Terms) ดังนี้

$$i_i + i_{i+1} + \frac{2S_i}{\Delta t} - O_i = \frac{2S_{i+1}}{\Delta t} + O_{i+1} \quad \text{-----(2.20)}$$

#### 2.4.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Storage-Indication

การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Storage-Indication แสดงตัวอย่างการคำนวณในตัวอย่างที่ 2.2 ดังนี้

**ตัวอย่างที่ 2.2** ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำแห่งหนึ่งโดยมีช่วงเวลาที่ไฮโดรกราฟของน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงสุด (Time to Peak) เท่ากับ 5 ชั่วโมง ทางระบายน้ำล้นมีขนาดความยาว 50 ฟุต และค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านเท่ากับ 3.0 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเก็บกักและปริมาณน้ำเก็บกัก

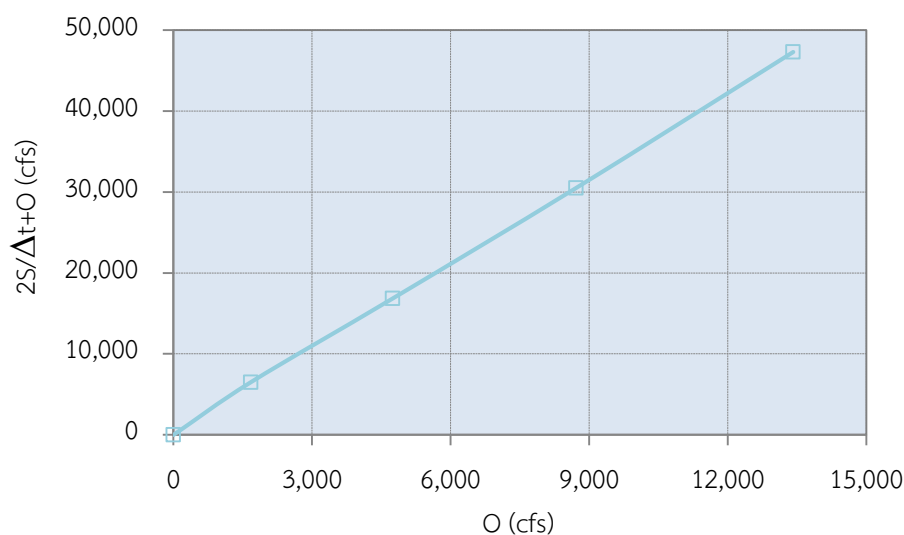
แสดงค่าในตาราง ให้ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำทุก 1 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ระดับน้ำที่เวลาเริ่มต้นอยู่เหนือสันทางระบายน้ำล้นที่ 5 ฟุต กำหนดให้ 1 เอเคอร์ฟุต เท่ากับ 43,560 ลูกบาศก์ฟุต

**ตารางที่ 2.2** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกัก อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น และระดับเฮดน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น

ระดับเหนือสันทาง ระบายน้ำล้น (Head-H, ft) <sup>1/</sup>	ปริมาณน้ำเก็บกักเหนือสัน ทางระบายน้ำล้น (Storage- S, acre-ft) <sup>2/</sup>	อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อย ผ่านทางระบายน้ำล้น (Outflow-O, cfs) <sup>3/</sup>	$2S/\Delta t$ (cfs) <sup>4/</sup>	$2S/\Delta t + O$ (cfs) <sup>5/</sup>
0	0	0	0	0
5	200	1,677	4,840	6,517
10	500	4,743	12,100	16,843
15	900	8,714	21,780	30,494
20	1,400	13,416	33,880	47,296

หมายเหตุ : 1/ และ 2/ เป็นค่าที่กำหนดมาให้ 3/ ปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น  $O = CLH^{3/2}$

**วิธีทำ** เมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟจะได้โค้งที่เรียกว่า Storage-Indication Curve ดังแสดงในรูปที่ 2.3



**รูปที่ 2.3** โค้ง Storage-Indication

ตารางที่ 2.5 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำ

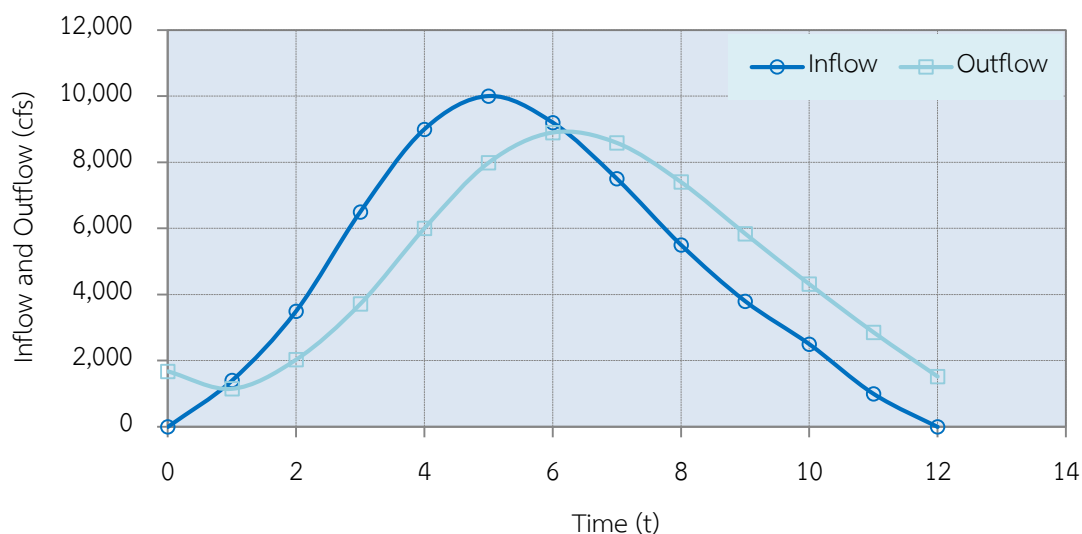
Time (t)	Interval (i)	Inflow (cfs, li)	li+li+1	2Si/ $\Delta$ t-Oi	2Si/ $\Delta$ t+Oi	Outflow (cfs, Oi)
0	1	0	1,400 <sup>4/</sup>	3,163 <sup>3/</sup>	6,517 <sup>2/</sup>	1,677 <sup>1/</sup>
1	2	1,400	4,900 <sup>5/</sup>	2,263 <sup>6/</sup>	4,563 <sup>7/</sup>	1,150 <sup>8/</sup>
2	3	3,500	10,000	3,099	7,163	2,032
3	4	6,500	15,500	5,667	13,099	3,716
4	5	9,000	19,000	9,157	21,167	6,005
5	6	10,000	19,200	12,179	28,157	7,989
6	7	9,200	16,700	13,573	31,379	8,903
7	8	7,500	13,000	13,095	30,273	8,589
8	9	5,500	9,300	11,287	26,095	7,404
9	10	3,800	6,300	8,905	20,587	5,841
10	11	2,500	3,500	6,577	15,205	4,314
11	12	1,000	1,000	4,359	10,077	2,859
12	13	0	0	2,319	5,359	1,520
				1,003	2,319	658
				435	1,003	284

หมายเหตุ : 1/-8/ เป็นลำดับขั้นตอนในการคำนวณ

1/, 2/, 8/ และค่าในคอลัมน์ Oi ทุกค่าได้จากการอ่านค่าโค้ง Storage-Indication หรือจากตาราง

3/ และค่าในคอลัมน์ 2Si/ $\Delta$ t-Oi เท่ากับค่าในคอลัมน์ (2Si/ $\Delta$ t+Oi) ลบด้วย 2\*Oi ในคอลัมน์สุดท้าย

จากผลการวิเคราะห์ในตารางข้างต้นจะได้ไฮโดรกราฟของน้ำที่ไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำตามรูปที่ 2.4 โดยมี Attenuation เท่ากับ 1,097 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาทีและ Transition เท่ากับ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบไฮโดรกราฟน้ำไหลเข้าและไฮโดรกราฟน้ำไหลออกเมื่อน้ำท่วมเคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ

## 2.5 การวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Analysis of Reservoir Critical Period)

ผลจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกในปัจจุบันได้ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการบริหารจัดการน้ำที่มีความรุนแรงมากขึ้นเป็นลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำอันเนื่องมาจากแนวโน้มความแปรปรวนของปริมาณฝน และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างซึ่งเป็นตัวแปรหลักของปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำที่มีสูงขึ้น และก่อให้เกิดเหตุการณ์วิกฤตของอ่างเก็บน้ำอยู่บ่อยครั้งซึ่งสร้างความเสียหายเป็นมูลค่ามหาศาลทั้งจากอุทกภัยและภัยแล้ง โดยทั่วไปในทางอุทกวิทยาสามารถอธิบายเหตุการณ์วิกฤตของอ่างเก็บน้ำได้โดยอาศัยข้อมูลอุทกวิทยาระยะยาวในอดีตมาทำการวิเคราะห์หรือที่เรียกว่า การวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Analysis of Reservoir Critical Period) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำถูกนำมาอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างทั้งในช่วงน้ำมากและน้ำน้อยเพื่อระบุถึงความรุนแรงของสถานการณ์น้ำ ณ ช่วงเวลานั้น ๆ แต่อย่างไรก็ดีการอธิบายในลักษณะดังกล่าวก็ไม่สามารถตอบคำถามในประเด็นการเกิดเหตุการณ์ในมิติด้านเวลาหรือความยาวนานของการเกิดเหตุการณ์ได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ให้ความสนใจในประเด็นนี้เพิ่มขึ้น รวมถึงมีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ใหม่ ๆ เพื่อใช้พยากรณ์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำสำหรับนำมาใช้ประกอบการวางแผนการจัดสรรน้ำและกำหนดแนวทางปฏิบัติในอนาคตอย่างมีหลักเกณฑ์ เหมาะสม และสามารถรับมือกับสถานการณ์น้ำที่ผันแปรได้อย่างเท่าทัน

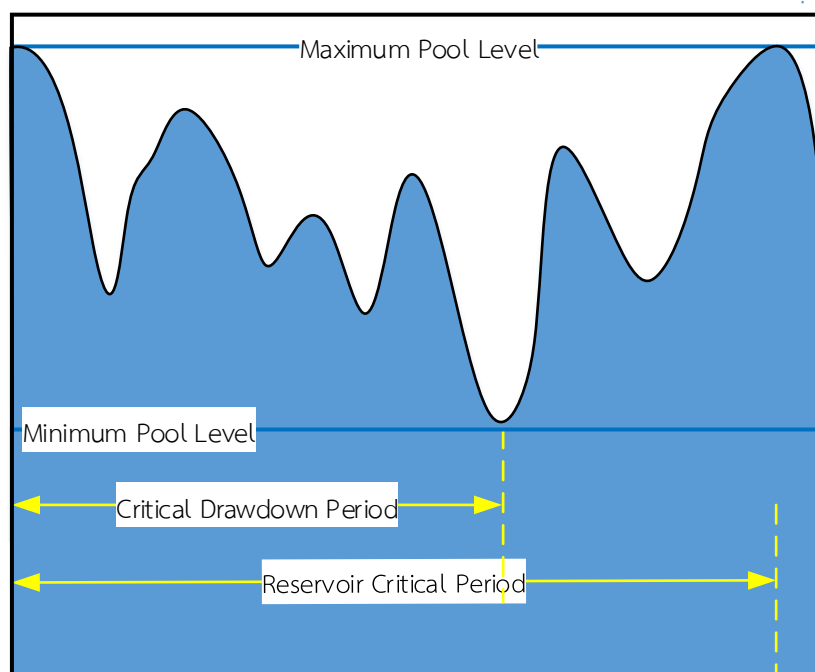


### 2.5.1 คำจำกัดความของช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Definition of Reservoir Critical Period)

ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period of Reservoir) หมายถึงช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างน้อยจนคาดว่าจะมีไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการหรือที่เรียกว่า ช่วงวิกฤตน้ำน้อย รวมถึงช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีปริมาณมากจนคาดว่าจะมีปริมาตรอ่างไม่เพียงพอที่จะรองรับน้ำดังกล่าวได้หรือที่เรียกว่าช่วงวิกฤตน้ำมากนั่นเอง ตัวชี้วัดที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงสถานการณ์น้ำในอ่างจะอ้างอิงจากข้อมูลระดับน้ำที่มีอยู่ในอ่าง ณ ช่วงเวลานั้น ๆ ว่ามีศักยภาพเพียงพอในการส่งน้ำไปใช้ใน ช่วงวิกฤตน้ำน้อยได้อีกหรือไม่ หรือจะสามารถรองรับน้ำได้อีกในปริมาณเท่าไรในช่วงวิกฤตน้ำมาก อย่างไรก็ตาม ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำได้ถูกอธิบายความหมายไว้ในอีกหลาย ๆ มุมมอง ในปี ค.ศ.1986 McMahon และ Mein ได้ให้จำกัดความช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำไว้ว่าเป็นช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ในสถานะน้ำเต็มอ่างกลับเข้าสู่สภาวะการพร่องน้ำ หลังจากนั้นหน่วยทหารช่างของกองทัพสหรัฐได้ให้คำจำกัดความใหม่ว่าเป็นช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ในสถานะน้ำเต็มอ่างเข้าสู่สภาวะการพร่องน้ำและกลับคืนสู่สถานะน้ำเต็มอ่างอีกครั้งหนึ่ง (Adeloye et al., 2003)

### 2.5.2 การวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Analysis of Reservoir Critical Period)

ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธีการกราฟโค้งสะสม (Mass Curve Analysis Method) (วารวูช วุฒิวิณชัย และคณะ, 2550) ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายและได้รับความนิยมมานาน ในหลักการแล้วสามารถทำได้โดยการสร้างโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิเทียบกับโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อวิเคราะห์ช่วงวิกฤตที่เกิดขึ้นในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีมากกว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างและช่วงที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยออก วิธีนี้นอกจากจะสามารถหาขนาดความจุและช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำได้แล้ว ยังสามารถหาค่าผลผลิตที่แน่นอนของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Firm Yield) ที่รับรองได้ว่าจะมีน้ำเพียงพอในช่วงวิกฤตได้อีกด้วย นอกจากนี้ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำยังสามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในอ่างในอดีตระยะยาวมาวิเคราะห์ตามคำจำกัดความข้างต้น โดยช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำจะเริ่มจากช่วงเวลาจากระดับน้ำเต็มอ่างหรือถึงระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ (Maximum Pool Level) และสิ้นสุดเมื่อระดับน้ำในอ่างเต็มอ่างเก็บน้ำอีกครั้งหนึ่งหลังจากผ่านช่วงเวลาจากระดับน้ำในอ่างลดลงจนกระทั่งต่ำสุด หรือลดลงถึงระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level) ของอ่างเก็บน้ำนั่นเอง และเรียกช่วงที่ระดับน้ำในอ่างสูงสุดถึงระดับน้ำต่ำสุดนี้ว่าช่วงน้ำลดวิกฤต (Critical Drawdown Period) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์นี้สามารถนำมาจัดแบ่งประเภทของระบบอ่างเก็บน้ำได้เป็น 2 ประเภทคือ (Adeloye & Montaseri, 1999)

□ ระบบเก็บกักน้ำไว้ใช้ปีต่อปี (Within Year Storage System) เป็นอ่างเก็บน้ำที่มีระดับน้ำผันแปรหลาย ๆ ครั้งในหนึ่งปี ระบบอ่างเก็บน้ำประเภทนี้จำเป็นที่จะต้องเก็บกักน้ำให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการตลอดช่วงเวลาของการขาดน้ำ โดยจะมีค่าช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำไม่เกิน 12 เดือน

□ ระบบเก็บกักน้ำไว้ใช้ข้ามปี (Over Year Storage System) เป็นอ่างเก็บน้ำที่มีช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำยาวกว่าประเภทแรก ทั้งนี้ระบบอ่างเก็บน้ำประเภทนี้จำเป็นต้องเก็บกักน้ำในปีปัจจุบันให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการในปีถัดไป โดยจะมีค่าช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำไม่น้อยกว่า 12 เดือน

### 2.5.3 แบบจำลองการพยากรณ์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Forecasting Model for Reservoir Critical Period)

แบบจำลองการพยากรณ์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำถูกพัฒนาเริ่มแรกโดย McMahon และ Mein ในปี ค.ศ.1986 ทั้งนี้เพื่อสร้างสมการหาค่าช่วงเวลาวิกฤตของอ่างเก็บน้ำในรูปความสัมพันธ์กับข้อมูลสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำรายปี (Annual Demand Ratio) ดังแสดงในสมการดังนี้คือ

$$CP = \alpha \theta^b \quad ; \quad \theta = \Phi + \phi Le + \delta Ra \quad \text{-----}(2.21)$$

เมื่อ CP	=	ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (ปี)
$\alpha$	=	สัดส่วนของปริมาณความต้องการน้ำรายปีซึ่งคำนวณจากปริมาณความต้องการน้ำรายปีหารด้วยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ยรายปี
a,b, $\Phi$ , $\phi$ , $\delta$	=	สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ
$\theta$	=	ตัวแปรตามซึ่งประกอบด้วย a และ b ที่ได้จากการประมาณค่า
Le	=	ช่วงความยาวของข้อมูล
Ra	=	ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลา

ต่อมาในปี ค.ศ. 1996 Vogel และ McMahon ได้พัฒนาสมการขึ้นมาใหม่โดยนำข้อมูลดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในรูปของความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลารายปี (Annual Time-Based Reliability) และพารามิเตอร์ความต้องการน้ำมาตรฐาน (Standardized Demand Parameter) มาใช้ อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบเก็บกักข้ามปีที่ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างรายปีมีลักษณะเป็นตัวแปรอิสระและมีการแจกแจงแบบปกติหรือการกระจายแบบกัมเบลเท่านั้น โดยมีสมการการพยากรณ์ดังนี้คือ

$$CP = \frac{Z_p^2}{4m^2} \quad \text{-----}(2.22)$$

เมื่อ $Z_p$	=	ตัวแปรมาตรฐานสำหรับการแจกแจงแบบปกติหรือกัมเบลที่ค่าความน่าเชื่อถือได้ของอ่างเก็บน้ำ P%
m	=	พารามิเตอร์ความต้องการน้ำมาตรฐาน = $\frac{1-\alpha}{CV}$
CV	=	สัมประสิทธิ์ความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี

ต่อมาในปีเดียวกัน Vogel และ McMahon ได้พัฒนาสมการข้างต้นใหม่โดยนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง (Serial Dependence) ของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายปีมาใช้ในสมการดังนี้

$$CP = \frac{Z_p^2}{4m^2} \left[ \frac{(1+\rho)}{1-\rho} \right] \quad \text{-----}(2.23)$$

เมื่อ  $p$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองลำดับที่ 1 ของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายปี

หลังจากนั้น Montaseri และ Adeloye ได้พัฒนาแบบจำลองเอมไพริกัลการถดถอย (Empirical Regression Model) ขึ้นในปี ค.ศ. 1999 โดยเชื่อมโยงแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) และแบบจำลองการถดถอยไม่เชิงเส้น (Non-Linear Regression Model) เข้าด้วยกันสำหรับหาค่าวิกฤตของอ่างเก็บน้ำในรูปความสัมพันธ์กับดัชนี  $m$  ช่วงความยาวของข้อมูล และดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลา และประยุกต์ใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำในประเทศอิหร่านและอังกฤษเป็นแห่งแรกซึ่งแบบจำลองที่พัฒนานี้สามารถทำนายค่าช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำได้ค่อนข้างดี (Montaseri & Adeloye, 1999) จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองการพยากรณ์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำถูกพัฒนาขึ้นในลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการการพยากรณ์โดยดึงข้อมูลที่สำคัญทั้งในด้านคุณลักษณะของปริมาณน้ำต้นทุน (Water Supply Side) ปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand Side) และประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indicator) มาใช้ร่วมกัน ในขณะที่เดียวกันแบบจำลองที่ได้ยังสะดวกรวดเร็วในการทำนายค่าและนำไปใช้งานอีกด้วย อย่างไรก็ตามการได้มาซึ่งสมการของการพยากรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการกำหนดกลุ่มตัวแปร (Variable Combination) ให้ครอบคลุมมากที่สุด สำหรับนำมาใช้จำลองผลการปฏิบัติงานและการวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานของสถานการณ์ที่เป็นไปได้จริงของระบบนั่นเอง

#### 2.5.4 แนวทางการประยุกต์ใช้ข้อมูลช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Applications of Reservoir Critical Period Data)

อาจกล่าวได้ว่าช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำเป็นข้อมูลที่แสดงถึงวัฏจักรที่น้ำถูกเติมเข้ามาในอ่าง-น้ำแห่งอ่าง (Refill-Drawdown Cycle) ของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อนำมากำหนดแนวทางบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น หากระบบอ่างเก็บน้ำมีรูปแบบของการเก็บกักน้ำไว้ใช้ข้ามปี ผู้ปฏิบัติงานอาจจำเป็นต้องเลือกใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมอย่างเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ Hedging ซึ่งมีแนวคิดที่จะลดการส่งน้ำในบางช่วงเวลาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในช่วงเวลาถัดไป ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะมีเพียงพอที่จะตอบสนองต่อปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายได้อย่างเต็มศักยภาพก็ตาม หรือหากระบบอ่างเก็บน้ำมีรูปแบบของการเก็บกักน้ำไว้ใช้ตามความต้องการปีต่อปี อาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเกณฑ์การปฏิบัติงานใหม่ เช่น นำกฎการจัดการน้ำส่วนเกิน (Surplus Management Rule) และกฎการจัดการการขาดน้ำ (Deficit Management Rule) มาประยุกต์ใช้เพื่อลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเหตุการณ์วิกฤต นอกจากนี้ข้อมูลช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำยังสามารถนำมาใช้กำหนดระดับของการศึกษาวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำได้กล่าวคือ ในกรณีอ่างเก็บน้ำถูกจัดให้อยู่ในประเภทของ

การเก็บกักน้ำข้ามปี หรือมีช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำมากกว่า 12 เดือน ข้อมูลอุทกวิทยารายปีอย่างเดียวก็น่าจะเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามถ้าระบบอ่างเก็บน้ำมีลักษณะเป็นทั้งการเก็บกักน้ำปีต่อปี และข้ามปีประกอบกัน จำเป็นที่จะต้องใช้อุทกวิทยารายปีที่มีความละเอียดมากขึ้นในลักษณะรายเดือน รายสัปดาห์ รายวัน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมพฤติกรรมจริงของระบบทั้งในส่วนของปริมาณความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมากที่สุด และในกรณีที่อ่างเก็บน้ำมีลักษณะของการเก็บกักน้ำเพื่อนำมาใช้ปีต่อปี อาจจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เฉพาะช่วงเหตุการณ์วิกฤตหรือช่วงแห้งแล้งรุนแรงก็ได้

## 2.6 การประมาณค่าผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจากโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Estimation of Water Yield Using Flow Duration Curve)

วิธีที่ได้รับความนิยมในการศึกษาความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำซึ่งเป็นข้อมูลหลักของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำก็คือการวิเคราะห์โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve, FDC) โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาเป็นกราฟที่แสดงค่าอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์เวลาที่ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด บางครั้งอาจเรียกว่า โค้งอัตราการไหล-ความถี่ (Flow-Frequency Curve, FFC) (Karamouz et al., 2003)

### 2.6.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Steps for Analyzing Flow-Duration Curve)

□ กรณีไม่ได้จัดแบ่งช่วงชั้นข้อมูลอัตราการไหล

(1) จัดเรียงข้อมูลอัตราการไหลจากมากไปหาน้อย หากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนมากควรจัดแบ่งช่วงชั้นข้อมูล (Class Interval) ทั้งนี้ข้อมูลอัตราการไหลที่นำมาวิเคราะห์อาจเป็นข้อมูลรายวัน รายสัปดาห์ รายสิบวัน หรือรายเดือนก็ได้

(2) ถ้าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวน  $N$  ข้อมูล ตำแหน่งพล็อต (Plotting Position) ของข้อมูลอัตราการไหลที่ค่าใด ๆ หรือช่วงชั้นใด ๆ จะสามารถประมาณค่าได้จาก

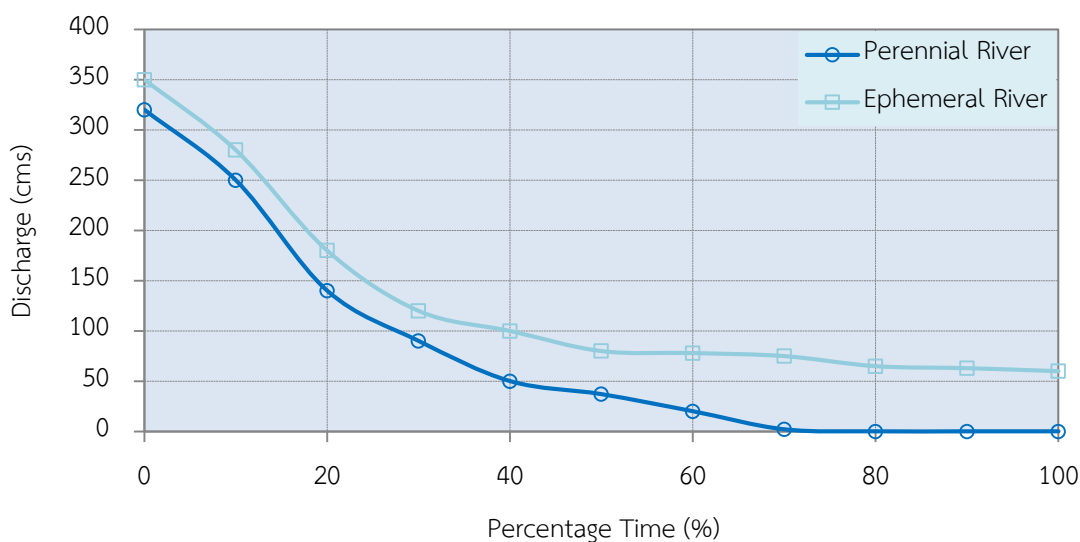
$$P_p = \frac{m}{(N + 1)} \times 100\% \quad \text{-----(2.24)}$$

เมื่อ  $P_p$  = เปอร์เซ็นต์โอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด (Exceedence Probability)

$m$  = ลำดับของข้อมูลอัตราการไหล

(3) ทำการพล็อตค่าข้อมูลอัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์เวลาที่ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดจะได้โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นโค้งอัตรา

การไหล-ช่วงเวลาของข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำแบบมีน้ำไหลตลอดปี (Perennial Stream) และลำน้ำแบบมีน้ำไม่แน่นอน (Ephemeral Stream) ทั้งนี้สามารถพล็อตค่าแกน X และ Y ในสเกลกึ่งล็อก (Semi-Log) หรือล็อก-ล็อก (Log-Log) ก็ได้ขึ้นอยู่กับขอบเขตของข้อมูล (Data Range) ที่นำมาพล็อตและการนำโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาไปประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาของลำน้ำแบบมีน้ำไหลตลอดปีและลำน้ำแบบมีน้ำไม่แน่นอน ที่มา : Jain & Singh (2003)

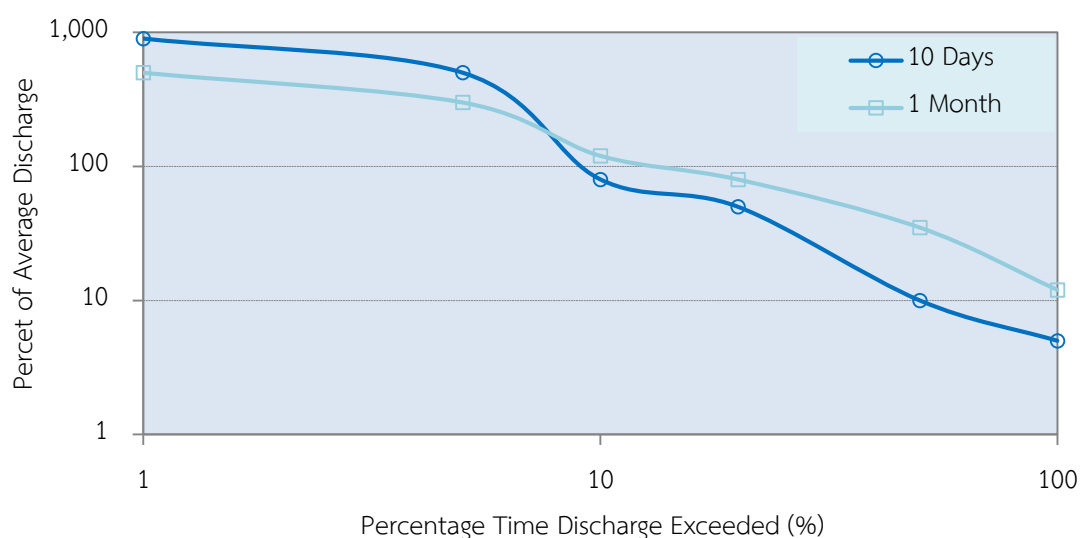
#### □ กรณีจัดแบ่งช่วงชั้นข้อมูลอัตราการไหล

การจัดเตรียมข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำเพื่อสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาให้มีความเหมาะสม และถูกต้องสูงจำเป็นต้องอาศัยช่วงข้อมูลอัตราการไหลตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป โดยขั้นตอนในการจัดเตรียมข้อมูลอัตราการไหลรายวันและการสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลามีดังนี้

- (1) กำหนดช่วงชั้นของข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 20-30 ชั้นขึ้นอยู่กับขนาดและช่วงความยาวของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์
- (2) แบ่งช่วงชั้นข้อมูลในแต่ละชั้น ชั้นละเท่า ๆ กัน โดยจัดแบ่งจากช่วงชั้นข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดจนถึงช่วงชั้นข้อมูลที่มีค่าน้อยสุด
- (3) นับความถี่ของข้อมูลและหาผลรวมความถี่ของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละช่วงชั้น
- (4) หาผลรวมของความถี่สะสมของข้อมูลในแต่ละช่วงชั้น
- (5) คำนวณหาโอกาสความน่าจะเป็นแบบมากกว่า (Exceedence Probability) โดยนำค่าผลรวมความถี่สะสมของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละช่วงชั้นในข้อ (4) ทหารด้วยความถี่รวมทั้งหมดของทุกช่วงชั้นข้อมูล
- (6) แปลงค่าโอกาสความน่าจะเป็นที่ได้จากข้อ (5) ให้กลายเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการคูณด้วย 100

(7) พล็อตค่าโอกาสความน่าจะเป็นที่ได้จากข้อ (6) เทียบกับค่าต่ำสุดของขอบเขตข้อมูลในแต่ละช่วงชั้นลงในกระดาษกราฟเส้นตรง (Linear Graph Paper) อย่างไรก็ตามสามารถสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาโดยการพล็อตค่าที่ได้ลงในกระดาษกราฟล็อกปกติ (Log Normal Probability Paper) แทนกระดาษกราฟเส้นตรงก็ได้

ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาในช่วงเวลาอื่น ๆ นอกเหนือจากรายวันเพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์ที่ช่วงเวลา 5 วัน 7 วัน 10 วัน 30 วัน 60 วัน 90 วัน 180 วัน และ 365 วัน ตามลำดับ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.7



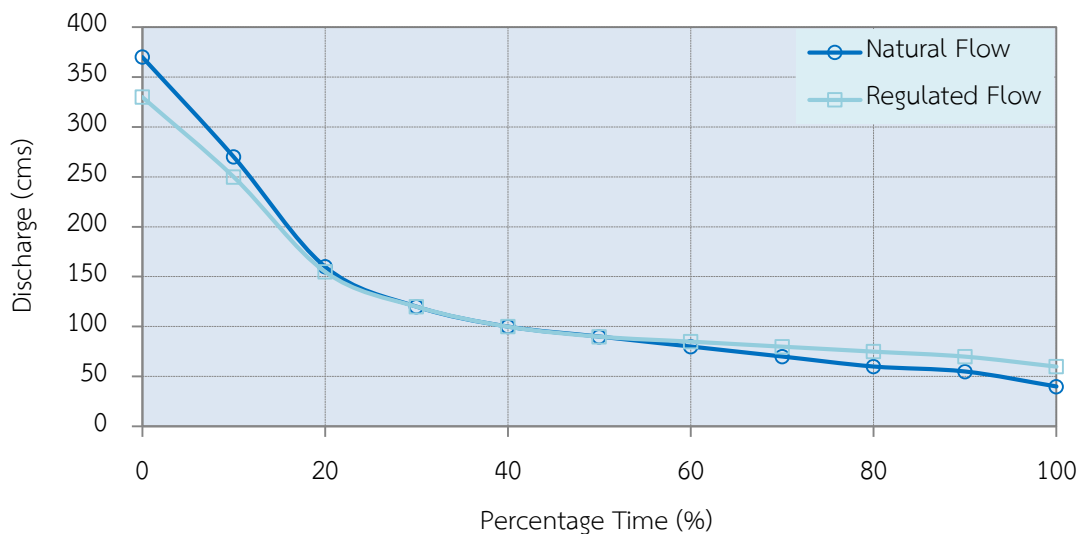
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาในช่วงเวลา 10 วันและ 1 เดือน  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

### 2.6.2 ลักษณะสำคัญของโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Characteristics of Flow-Duration Curve)

(1) ความลาดชันของโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ ยกตัวอย่างเช่น โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาของข้อมูลอัตราการไหลรายวันจะชันกว่าที่วิเคราะห์จากข้อมูลอัตราการไหลรายเดือนในลำน้ำเดียวกัน อันเนื่องมาจากข้อมูลรายเดือนถูกปรับให้เรียบ (Smoothing) ทำให้ค่าความแปรปรวนของข้อมูลอัตราการไหลรายเดือนลดลง

(2) ผลจากการสร้างอาคารชลศาสตร์ตัดขวางลำน้ำและควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Regulation) ส่งผลให้ลักษณะของข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.8





**รูปที่ 2.8** ผลกระทบของการสร้างอ่างเก็บน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงของโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

(3) โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงหากพล็อตลงในกระดาษกราฟสเกลล็อก นอกจากนี้โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาของแต่ละลำน้ำยังมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำนั้น ๆ กล่าวคือ หากโค้งที่ได้มีความลาดชันสูงแสดงว่าอัตราการไหลในลำน้ำมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ในทางกลับกันหากความลาดชันน้อยแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติทางกายภาพของกลุ่มน้ำไม่มีผลมากนักต่อข้อมูลอัตราการไหล ส่งผลให้ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำมีความแปรปรวนน้อยมาก นอกจากนี้ช่วงปลายของโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาที่มีความลาดชันน้อยยังแสดงถึงปริมาณการไหลฐาน (Base Flow) ในลำน้ำ ในขณะที่ช่วงเริ่มต้นของโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาที่มีความลาดชันน้อยบ่งบอกถึงลักษณะของกลุ่มน้ำที่มีที่ราบน้ำท่วมถึงขนาดใหญ่ (Large Flood Plain)

(4) เนื่องจากการสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาต้องทำการจัดเรียงลำดับของข้อมูลอัตราการไหลที่เกิดขึ้นใหม่จากมากไปหาน้อย ด้วยเหตุนี้ลำดับของข้อมูลที่สร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาจึงไม่ใช่ลำดับเวลาจริงที่วัดข้อมูลนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้ในการแปลความหมายจากโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาจึงต้องอาศัยความระมัดระวังเพื่อประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

### 2.6.3 การประยุกต์ใช้โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Applications of Flow-Duration Curve)

โค้งอัตราการไหล-เวลานำมาใช้เพื่อหาค่าอัตราการไหลในลำน้ำที่พิจารณา (Dependable Flow) ที่ระดับความน่าเชื่อถือได้ต่าง ๆ ในบางประเทศได้นำโค้งอัตราการไหล-เวลามาใช้ประกอบการ

วางแผนโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น อัตราการไหลที่ 75% Dependable Flow ถูกนำมาใช้ในการวางแผนโครงการชลประทาน และที่ 90% และ 100% Dependable Flow ถูกนำมาใช้ในการวางแผนโครงการไฟฟ้าพลังงานน้ำและโครงการจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ค่าอัตราการไหล-ช่วงเวลามาใช้ในงานอื่น ๆ เช่น

- (1) เพื่อประเมินศักยภาพในการพัฒนาระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำจากแม่น้ำ
- (2) เพื่อออกแบบระบบระบายน้ำ (Drainage Systems)
- (3) เพื่อใช้ในการศึกษาสำหรับการควบคุมและบรรเทา น้ำท่วม
- (4) เพื่อใช้ในการประมาณค่าปริมาณตะกอนและวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายปะปนในลำน้ำ
- (5) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำกับกลุ่มน้ำอื่น ๆ

**ตัวอย่างที่ 2.3** ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำที่ทำการตรวจวัดรายเดือนในช่วงปีน้ำตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 พฤษภาคม แสดงอยู่ในตารางที่ 2.6 ให้ทำการพล็อตโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาและประมาณค่าอัตราการไหลที่ 75% ของเปอร์เซ็นต์เวลาทั้งหมด และหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ข้อมูลอัตราการไหลมีขนาดสูงกว่า 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 2.6** ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำรายเดือน

เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ข้อมูลอัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	15	16	44	40	35	31	30	21	23	18	15	8

**วิธีทำ** ขั้นตอนการคำนวณแสดงในตารางที่ 2.7

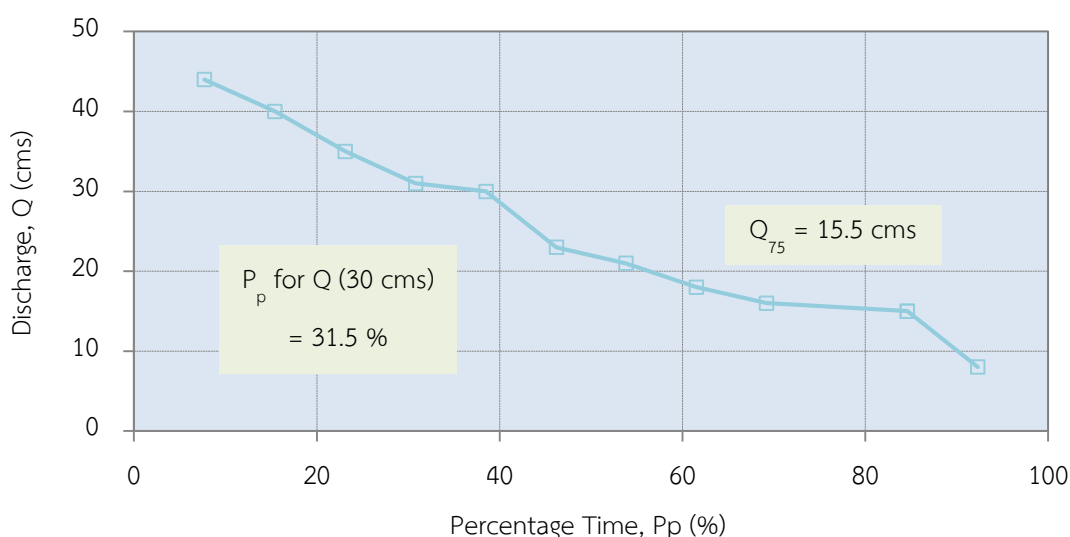
**ตารางที่ 2.7** ขั้นตอนการสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา

เดือน	ข้อมูลอัตราการไหลตรวจวัด (Discharge, Q)	จัดเรียงข้อมูลอัตราการไหลจากมากไปน้อย	ลำดับ m	เปอร์เซ็นต์เวลา Pp (%)
มิ.ย.	15	44	1	7.7
ก.ค.	16	40	2	15.4
ส.ค.	44	35	3	23.1
ก.ย.	40	31	4	30.8
ต.ค.	35	30	5	38.5
พ.ย.	31	23	6	46.2
ธ.ค.	30	21	7	53.8

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

เดือน	ข้อมูลอัตราการไหลตรวจวัด (Discharge, Q)	จัดเรียงข้อมูลอัตราการไหลจากมากไปน้อย	ลำดับ m	เปอร์เซ็นต์เวลา Pp (%)
ม.ค.	21	18	8	61.5
ก.พ.	23	16	9	69.2
มี.ค.	18	15	10	84.6
เม.ย.	15	15	11	84.6
พ.ค.	8	8	N=12	92.3

โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาที่ได้แสดงในรูปที่ 2.9 โดยค่าอัตราการไหลที่ 75% ของเปอร์เซ็นต์เวลาทั้งหมดเท่ากับ 15.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ข้อมูลอัตราการไหลมีขนาดสูงกว่า 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเท่ากับ 31.5%



รูปที่ 2.9 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาที่ได้กรณีไม่จัดแบ่งช่วงชั้นข้อมูลอัตราการไหล

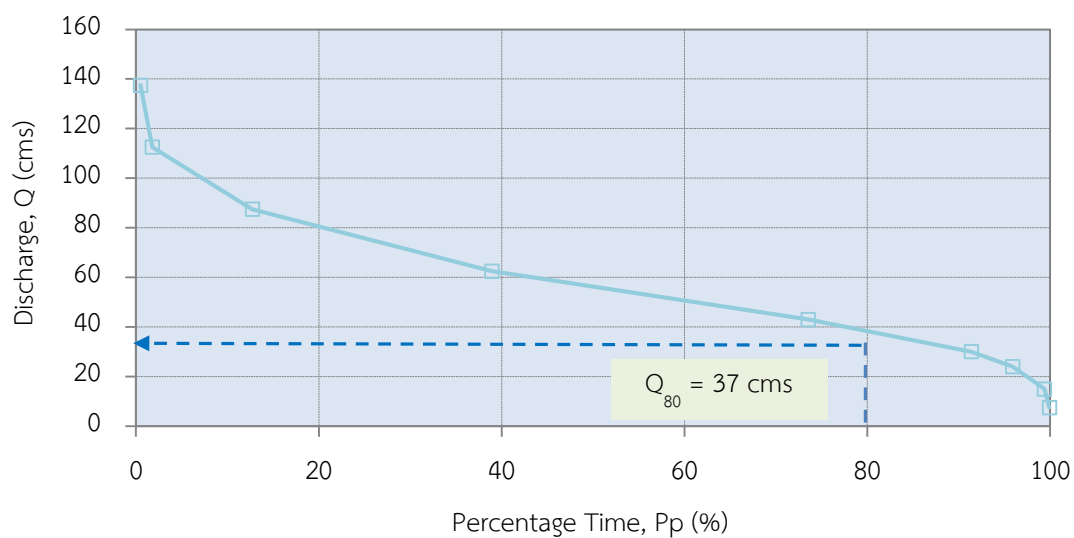
ตัวอย่างที่ 2.4 ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 1 แสดงการแบ่งช่วงชั้นของข้อมูลอัตราการไหลเฉลี่ยรายวันในลำน้ำแห่งหนึ่ง คอลัมน์ที่ 2-5 แสดงจำนวนความถี่ของข้อมูลที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2003 ให้ประมาณค่าอัตราการไหลที่ 80% ของเปอร์เซ็นต์ช่วงเวลาทั้งหมด

วิธีทำ ข้อมูลอัตราการไหลเฉลี่ยรายวันและขั้นตอนการคำนวณแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลอัตราการไหลเฉลี่ยรายวันและขั้นตอนการคำนวณโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา

ช่วงชั้นของข้อมูล อัตราการไหล	ความถี่ของข้อมูลอัตราการไหล				ผลรวมความถี่ ของข้อมูล	ความถี่สะสม ของข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ เวลา Pp (%)
	2000	2001	2002	2003			
1/	2/	3/	4/	5/	6/	7/	8/
125-150	0	1	4	2	7	7	0.48
100-124.9	2	5	8	4	19	26	1.78
75-99.9	20	52	40	48	160	186	12.72
50-74.9	95	90	100	98	383	569	38.92
40-49.9	140	125	117	124	506	1,075	73.53
30-39.9	71	75	65	50	261	1,336	91.38
20-29.9	15	10	20	21	66	1,402	95.90
10-19.9	15	8	10	18	51	1,453	99.38
5-9.9	7	0	1	0	8	1,461	99.93
ผลรวม	365	366	366	365	N=1,461		

โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาที่ได้แสดงในรูปที่ 2.10 โดยอัตราการไหลที่ 80% ของเปอร์เซ็นต์ช่วงเวลาทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 37 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



รูปที่ 2.10 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาที่ได้กรณีจัดแบ่งช่วงชั้นข้อมูลอัตราการไหล

## เอกสารอ้างอิง (References)

- วรารุช วุฒินิธิชัย, ทองเปลว กองจันทร์, และวัชระ เสือดี. (2550). *อุทกวิทยาประยุกต์ทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Adeloye, A.J., & Montaseri, M. (1999). Predicting critical period to characterise over-year and within-year reservoir systems. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 13, 383-407.
- Adeloye, A.J., Lallemand, F., & McMahon, T.A. (2003). Regression model for within-year capacity adjustment in reservoir planning. *Hydrol. Sci. J.*, 48 (4), 539-552.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1988). *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Guitjens, J. (1982). Models of alfalfa yield and evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 22, 51-66.
- Harboe, R., Gautam, T.R., & Onta, P.R. (1994). Conjunctive operation of hydroelectric and thermal power plants. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 120 (6), 778-793.
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Jensen, M. (2010). *Estimating Evaporation for Water Surface*. Fort Collins: The CSU/ARS Evapotranspiration Workshop.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Banafsheh, Z. (2003). *Water resources system analysis*. New York: Lewis Publishers.
- Knisel, W. (1970). A factor analysis of reservoir losses. *Water Resour. Manage.*, 2, 491-498.
- Montaseri, M., & Adeloye, A.J. (1999). Critical period of reservoir system for planning purposes. *J. Hydrol.*, 224, 115-136.
- Senturk, K., & Oruc, K.F. (2010). A case study: evaporation estimation at Oymapinar Dam. *Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Scientific Conference BALWOIS 2010*. Republic of Macedonia: Balkan Institute for Water and Environment.
- Shiau, R., & Lee, H.C. (2005). Derivation of optimal hedging rules for a water-supply reservoir through compromise programming. *Water Resour. Manage.*, 19, 111-132.
- Sivapragasam, C., Vasudevan, F., Maran, J., Bose, C., Kaza, S., & Ganesh, N. (2009). Modeling evaporation-seepage losses for reservoir water balance in semi-arid regions. *Water Resour. Manage.*, 23, 853-867.

Soultana, K.G., & Vassilis, Z.A. (n.d.). *Comparison of different evaporation estimation methods applied to Lake Vegoritis, Greece*. Greece: Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki.



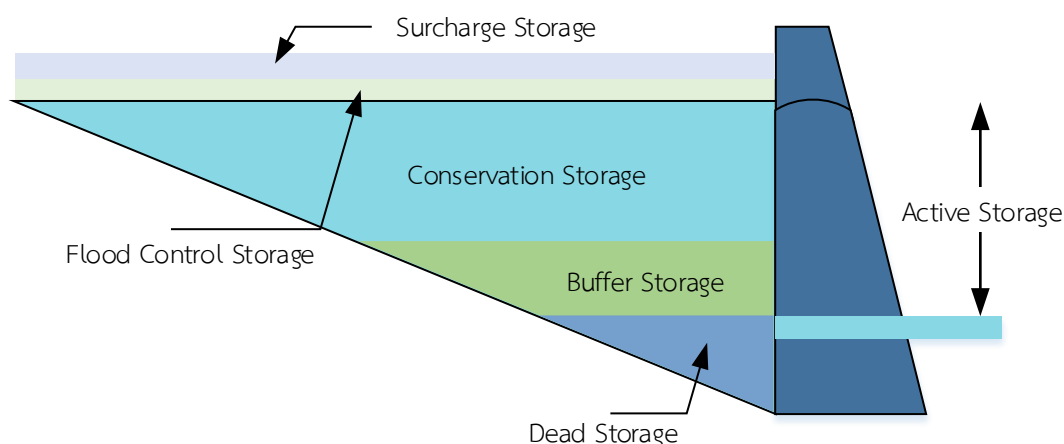


## 03 การออกแบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Design)

ศักยภาพในการเก็บกักน้ำในลำน้ำไปใช้ตอบสนองความต้องการน้ำเป้าหมายนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญไม่ว่าจะเป็น ความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำ (Variability of River Flow) ขนาดปริมาณความต้องการน้ำ (Demand Size) และระดับความเชื่อมั่นในการตอบสนองความต้องการน้ำให้บรรลุตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ (Reliability) ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบอ่างเก็บน้ำจึงจำเป็นต้องหาขนาดของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สามารถผันน้ำไปใช้ตอบสนองความต้องการน้ำต่าง ๆ ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ ในขณะเดียวกันการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Characteristics) ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Capacity) ปริมาณน้ำที่ปล่อย (Controlled Release) และระดับความเชื่อมั่น (Reliability) ยังเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้การออกแบบหาขนาดของอ่างเก็บน้ำสอดคล้องตามเงื่อนไขของข้อมูลอุปสงค์และอุปทานของระบบ (Karamouz et al., 2003)

### 3.1 แนวคิดในการออกแบบอ่างเก็บน้ำ (Concept of Reservoir Design)

การออกแบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Design) คือการหาขนาดปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำหรือความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเพื่อให้ได้ผลผลิต (Yield) เพียงพอสำหรับความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในอนาคต ปกติขนาดความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ที่ทำการออกแบบหาได้จากผลรวมของ (1) ปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ (Active/Conservation Storage) ซึ่งครอบคลุมถึงโซนบัฟเฟอร์ (Buffer Storage) ด้วยที่ออกแบบไว้สำหรับทำหน้าที่เก็บกักน้ำเพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ (2) ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมของอ่างเก็บน้ำ (Flood Control Storage) รวมถึงปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของคลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่ที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำให้สอดคล้องตามขีดความสามารถในการรองรับน้ำของลำน้ำทางด้านท้ายเขื่อนและสมรรถนะของทางระบายน้ำล้นที่ออกแบบ และ (3) ปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การของอ่างเก็บน้ำ (Dead Storage) ซึ่งเป็นปริมาตรสูญเปล่าที่เผื่อไว้สำหรับการตกตะกอนในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบ

### 3.2 เทคนิคในการประมาณค่าปริมาณเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ (Techniques in Estimating the Active Storage Requirement)

ปริมาณเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ (Active Storage) ถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญของอ่างเก็บน้ำที่ถูกออกแบบขึ้นสำหรับเก็บกักน้ำไว้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการไม่ว่าจะเป็น การชลประทาน การอุตสาหกรรม การอุปโภคบริโภค การควบคุมคุณภาพน้ำ และอื่น ๆ เทคนิคการประมาณค่าปริมาณเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลที่มีอยู่และเทคนิคที่จะเลือกใช้ อย่างไรก็ตามการจัดกลุ่มของเทคนิคการประมาณค่าปริมาณเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ (Jain & Singh, 2003)

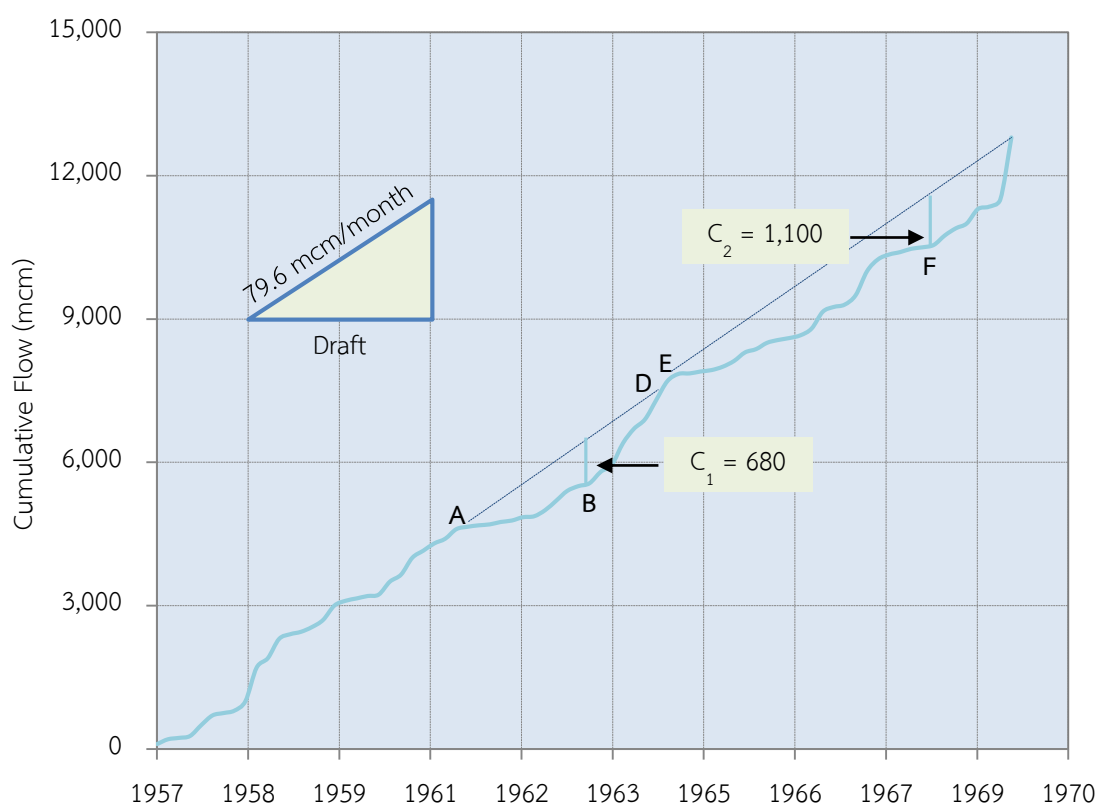
#### 3.2.1 เทคนิคการวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period Techniques)

เทคนิคนี้จะอาศัยแนวคิดในการวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งในที่นี้หมายถึงช่วงเวลานับตั้งแต่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเต็มและเข้าสู่สภาวะที่ปริมาณน้ำลดลงจนกระทั่งถึงระดับเก็บกักปกติของอ่างเก็บน้ำอีกครั้ง โดยวิธีที่ได้รับความนิยมค่อนข้างมากเช่น วิธีโค้งสะสม (Mass Curve Method) วิธีหาลำดับสูงสุด (Sequent Peak Algorithm) เป็นต้น หรือแม้กระทั่งวิธีของ Alexander (Alexander Method) และวิธีของ Dincer (Dincer Method) ก็ยังอาศัยแนวคิดในการวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำในการประมาณค่าปริมาณเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีข้างต้นไม่ได้รับความนิยมมากนักและยังคงใช้เฉพาะในกลุ่มสถาบันการศึกษาเท่านั้น

#### □ วิธีโค้งสะสม (Mass Curve Method)

วิธีโค้งสะสมหรือเรียกอีกอย่างว่าวิธี Rippl (Rippl Diagram) เป็นวิธีที่รู้จักอย่างแพร่หลายในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำเป้าหมาย โดยขั้นตอนการคำนวณแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (วรารุช วุฒิวิณิชย์ และคณะ, 2550; McMahon & Mein, 1978)

- (1) สร้างเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Cumulative Streamflow Mass Curve) ของสถานที่ทำการตรวจวัด ณ ตำแหน่งที่ตั้งเขื่อน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน
- (2) สร้างเส้นปริมาณความต้องการน้ำสะสม (Cumulative Demand Line)
- (3) ลากเส้นปริมาณความต้องการน้ำสะสมผ่านจุดโค้งนูนสูงสุดบนเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำท่า
- (4) วัดระยะในแนวตั้งที่สูงที่สุดของเส้นตัดระหว่างเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำท่าและเส้นปริมาณความต้องการน้ำสะสม ซึ่งระยะสูงสุดในแนวตั้งจะถูกกำหนดให้เป็นค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำนั่นเอง



รูปที่ 3.2 การวิเคราะห์ค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำด้วยวิธีโค้งสะสม

จากรูปที่ 3.2 พบว่าระยะในแนวตั้ง  $C_2$  สูงกว่า  $C_1$  ดังนั้นปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำจะถูกออกแบบให้มีค่าเท่ากับ  $C_2$  ซึ่งเป็นค่าสูงสุด จากลักษณะของโค้งสะสมจะเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำจะมีน้ำเต็มอ่างที่ช่วงเวลาเริ่มต้น หลังจากนั้นจะปรับเพิ่มสูงขึ้นและลดลงตามข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย และจะเต็มอ่างอีกครั้งที่จุด A และมีแนวโน้มจะลดลงต่ำสุดจนกระทั่งถึงจุด B หลังจากนั้นปริมาณน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุด D และจากจุด D ถึงจุด E จะเกิดการไหลล้นอ่าง และมีแนวโน้มจะลดลงจนถึงจุด F หลังจากนั้นปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง โดยถือว่าช่วง E ถึง F เป็นช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ สมมุติฐานที่สำคัญของวิธีโค้งสะสมก็คือปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลาเริ่มต้นและช่วงต้นเวลาวิกฤตจะมีลักษณะเต็มอ่าง นอกจากนี้ในการนำข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอนาคตมาใช้หาปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำนั้นจะต้องอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลในอนาคตไม่แตกต่างไปจากข้อมูลในอดีตที่ทำการตรวจวัดไว้ ตลอดจนไม่ปรากฏสภาวะการขาดแคลนน้ำรุนแรงในอนาคต

ข้อจำกัดที่สำคัญของวิธีโค้งสะสมก็คือข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำโดยทั่วไปจะผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งในการออกแบบหาปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำนั้นพบว่าเป็นการยากที่จะควบคุมปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างให้สอดคล้องตามข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยของปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงเวลานั้นเป็นตัวควบคุม ด้วยเหตุนี้จึงกำหนดให้ปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายมีค่าคงที่ทุกช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์ ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ประมาณค่าได้โดยวิธีโค้งสะสมจะเพิ่มขึ้นตามช่วงความยาวของข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะออกแบบขนาดปริมาตรอ่างเก็บน้ำให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มศักยภาพตลอดช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้การวิเคราะห์หาปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำด้วยวิธีโค้งสะสมจะไม่นำปริมาณการระเหยของน้ำสุทธิ (Net Evaporation Losses) มาวิเคราะห์ ซึ่งหากจำเป็นต้องนำมาใช้จะทำให้ค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ทำการออกแบบเพิ่มสูงขึ้น

**ตัวอย่างที่ 3.1** ให้ใช้วิธีโค้งสะสมประมาณค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในลำน้ำ Mitta เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการน้ำเป้าหมายซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 75% ของข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 106.10 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

**วิธีทำ** สร้างเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำท่าดังแสดงในรูปที่ 3.2 และคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายซึ่งเท่ากับ 79.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน จากนั้นสร้างเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่สามารถปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำได้นั้นเอง หลังจากนั้นลากเส้นปริมาณความต้องการน้ำสะสมผ่านจุดโค้งนูนสูงสุดบนเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำท่า วัดระยะในแนวตั้งที่สูงที่สุดของเส้นตัดระหว่างเส้นโค้งสะสมของข้อมูลปริมาณน้ำท่าและเส้นปริมาณความต้องการน้ำสะสม ซึ่งระยะสูงสุดในแนวตั้งจะถูกกำหนดให้เป็นค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ จากรูปที่ 3.2 จะได้ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 1,110 ล้านลูกบาศก์เมตร

□ วิธีการหาลำดับสูงสุด (Sequent Peak Algorithm)

Thomas ได้พัฒนาวิธีการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำขึ้นในปี ค.ศ. 1963 โดยนำเสนอวิธีการหาลำดับสูงสุดที่หลีกเลี่ยงข้อจำกัดของวิธีโค้งสะสมที่จำเป็นต้องระบุค่าเริ่มต้นของข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักในการวิเคราะห์ สำหรับวิธีการหาลำดับสูงสุดนี้จะกำหนดให้ค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำมีค่าเท่ากับช่วงขอบเขตของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิสะสม (Net Cumulative Inflow) ซึ่งประมาณค่าได้จากการนำข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีเหนือที่ตั้งเขื่อนที่ทำการตรวจวัดในอดีตมาทำการวิเคราะห์ ต่อมาในปี ค.ศ. 1967 Fiering ได้ปรับเปลี่ยนขั้นตอนในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำต่ำสุดโดยวิธีการหาลำดับสูงสุดเพื่อออกแบบอ่างเก็บน้ำให้มีขนาดเพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย ทั้งนี้ได้อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำท่าจำนวน  $N$  ปี และกำหนดให้ค่าปริมาตรความต้องการน้ำเป้าหมายเท่ากันทุกปี จากนั้นทำการวิเคราะห์วนซ้ำ 2 รอบโดยเชื่อมต่อข้อมูลปริมาณน้ำท่าเข้าด้วยกันตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ (McMahon & Mein, 1978)

(1) คำนวณหาผลต่างระหว่างปริมาณน้ำท่า ( $X_i$ ) และปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย ( $D_i$ ) ในรูปของ ( $X_i - D_i$ ) เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, 2N$  จากนั้นทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

สุทธิสะสม (Net Cumulative Inflow,  $\sum_{i=1}^t X_i - D_i$ ) เมื่อ  $t = 1, 2, \dots, 2N$

(2) ระบุค่าสูงสุดแรก (First Peak,  $P_1$ ) จากผลการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิสะสม

(3) ระบุค่าลำดับสูงสุด (Sequent Peak,  $P_2$ ) จากผลการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิสะสม

(4) ระหว่างค่าสูงสุดแรก  $P_1$  และค่าลำดับสูงสุด  $P_2$  ให้หาค่าต่ำสุด  $T_1$  จากนั้นคำนวณ  $P_1 - T_1$

(5) ถัดจากค่าลำดับสูงสุด  $P_2$  ให้หาค่าลำดับสูงสุดถัดไป  $P_3$  ซึ่งมีขนาดสูงกว่าค่าลำดับสูงสุด  $P_2$

(6) หาค่าต่ำสุด  $T_2$  ระหว่างค่าลำดับสูงสุด  $P_2$  และค่าลำดับสูงสุด  $P_3$  จากนั้นคำนวณ  $P_2 - T_2$

(7) ถัดจากค่าลำดับสูงสุด  $P_3$  ให้หาค่าลำดับสูงสุดถัดไป  $P_4$  และ  $T_3$  จากนั้นคำนวณ  $P_3 - T_3$

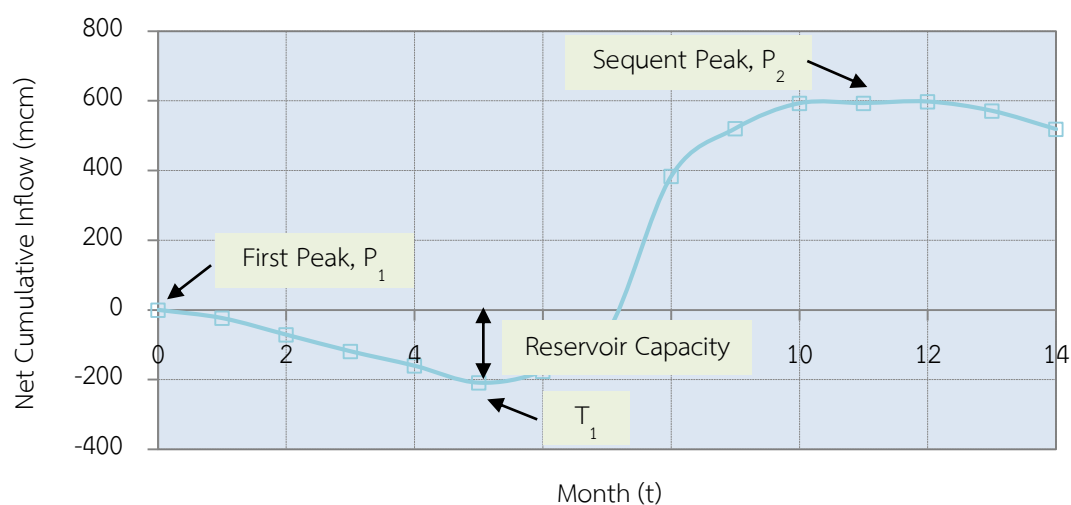
(8) ทำการวิเคราะห์หาลำดับสูงสุดตามขั้นตอนที่ผ่านมาจนครบ  $2N$

(9) ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Capacity,  $C$ ) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ

$$C = \max(P_k - T_k) \text{ ดังแสดงในรูปที่ 3.3}$$

ตารางที่ 3.1 ผลการคำนวณหาปริมาณเก็บกักของอ่างเก็บน้ำโดยวิธีการหาลำดับสูงสุด

เดือนที่	ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (mcm)	ปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย (mcm)	ผลต่าง 2/-3/ (mcm)	ผลรวมสะสมของ 2/-3/ (mcm)	หมายเหตุ
1/	2/	3/	4/	5/	
				0	ค่าสูงสุดแรก $P_1$
1	56	79.60	-23.60	-23.60	
2	32	79.60	-47.60	-71.20	
3	32	79.60	-47.60	-118.80	
4	38	79.60	-41.60	-160.40	
5	31	79.60	-48.60	-209.00	ค่าต่ำสุด $T_1$
6	113	79.60	33.40	-175.60	
7	189	79.60	109.40	-66.20	
8	529	79.60	449.40	383.20	
9	217	79.60	137.40	520.60	
10	152	79.60	72.40	593.00	
11	80	79.60	0.40	593.40	
12	84	79.60	4.40	597.80	ค่าลำดับสูงสุด $P_2$ ซึ่งสูงกว่าค่าสูงสุดแรก
13	53	79.60	-26.60	571.20	
14	27	79.60	-52.60	518.60	



รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์ค่าปริมาณเก็บกักของอ่างเก็บน้ำด้วยวิธีการหาลำดับสูงสุด

### 3.2.2 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำเก็บกัก-ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ (Storage-Yield Analysis)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำเก็บกัก-ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ (Storage-Yield Analysis, SY) นำมาใช้สำหรับหาค่าปริมาตรเก็บกักใช้การต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับค่าความน่าเชื่อถือได้ตามที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบจะขึ้นอยู่กับขนาดของปริมาณความต้องการน้ำ ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ตามที่กำหนด และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โดยเทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique) และเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกักและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ สำหรับเทคนิคการจำลองระบบสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทั้งเพื่อประมาณการค่าปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำโดยตรง ตลอดจนตรวจสอบค่าปริมาตรเก็บกักใช้การที่คำนวณได้จากเทคนิควิธีการวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period Technique) หรือจากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อยืนยันผลอีกครั้ง ในขณะที่เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดนั้นพบว่า โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming) เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมและได้รับความนิยมค่อนข้างมาก

#### □ วิธีการจำลองระบบ (Simulation Method)

วิธีการจำลองระบบเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมค่อนข้างสูงในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ แม้กระทั่งประยุกต์ใช้ในการออกแบบและวางแผนการบริหารจัดการระบบทรัพยากรน้ำหลังการพัฒนาโครงการ เนื่องจากวิธีนี้ค่อนข้างง่ายในการทำความเข้าใจสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ความชำนาญในงานทางด้านนี้โดยเฉพาะ ในขณะที่เดียวกันสามารถตรวจสอบและประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากทางเลือกต่าง ๆ ตามที่กำหนดได้ง่ายและเห็นเป็นรูปธรรม โดยสมมุติว่าเมื่อต้องการก่อสร้างเขื่อนสำหรับเก็บกักน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จะออกแบบความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำให้มีขนาดเท่าไรจึงจะเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ข้อมูลโค้งระดับ-พื้นที่-ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Elevation-Area-Capacity Curve) ข้อมูลอนุกรมเวลาระยะยาวของปริมาณน้ำในลำน้ำ (Streamflow Time Series) และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ที่จะส่งน้ำให้เพียงพอกับความต้องการตามที่กำหนดจึงเป็นข้อมูลวิเคราะห์ที่สำคัญ โดยอาศัยขั้นตอนในการคำนวณดังนี้ (วรารุช วุฒิวิณิชย์ และคณะ, 2550; Karamouz et al., 2003)

(1) ในช่วงเริ่มต้นการคำนวณให้พิจารณาขอบเขตสูงสุดที่เป็นไปได้ของปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ (Water Availability) และแหล่งที่ตั้งเขื่อน (Site Condition) และขอบเขตต่ำสุดที่เป็นไปได้ของปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำที่กำหนดให้อยู่ที่ระดับปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ

(2) กำหนดให้ที่ช่วงเวลาเริ่มต้นมีปริมาณน้ำเก็บกักเต็มอ่าง โดยการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำระยะยาว



(3) สมมุติค่าปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบเริ่มแรกจากค่าเฉลี่ยของขอบเขตปริมาตรเก็บกักสูงสุดและต่ำสุดที่เป็นไปได้จากขั้นตอนแรก

(4) จากนั้นทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตลอดช่วงระยะเวลาศึกษา โดยในแต่ละช่วงเวลาของการปฏิบัติการจะต้องพยายามจัดสรรน้ำให้เพียงพอตามความต้องการมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ หากปริมาณน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำมีไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจะถือว่าประสบความล้มเหลวในการปฏิบัติการ และหากปริมาณน้ำเก็บกักลดลงต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำในทางปฏิบัติแล้วจะไม่ยอมปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลาดังกล่าวเลย โดยทั่วไปปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำจะลดน้อยลงอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปเป็นหลัก และในช่วงที่มีปริมาณการระเหยค่อนข้างสูง โอกาสที่จะการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำล้มเหลวก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ในขณะที่ในช่วงที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมาก อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรรองรับไม่เพียงพอแม้ว่าจะส่งน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ แล้ว ดังนั้นอาจจำเป็นต้องปล่อยน้ำบางส่วนให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำไป สำหรับสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์สมดุลน้ำแสดงในรูปสมการการไหลต่อเนื่องดังนี้

$$S_{t+1} = S_t + I_t - E_t - R_t \quad ; t = 1, 2, 3, \dots, n \text{ -----(3.1)}$$

(5) คำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Reliability, RI) ในรูปสมการดังนี้

$$RI = 1.00 - FL/n \text{ -----(3.2)}$$

เมื่อ FL เป็นจำนวนครั้งที่ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำล้มเหลว (Failure) หรือจำนวนเวลาที่ปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำน้อยกว่าปริมาณความต้องการ และปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำไป

(6) ถ้าหากค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่คำนวณจากขั้นตอนข้างต้นมีค่าน้อยกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดหมายความว่าปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบที่กำหนดขึ้นครั้งแรกนั้นมีค่าน้อยจนเกินไป ดังนั้นจะนำค่าดังกล่าวมาใช้กำหนดค่าขอบเขตปริมาตรเก็บกักต่ำสุดของรอบการคำนวณถัดไปแทน โดยกำหนดให้ปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบที่สมมุติครั้งที่สองคือค่ากึ่งกลางระหว่างขอบเขตปริมาตรเก็บกักสูงสุดและขอบเขตปริมาตรเก็บกักต่ำสุดล่าสุด หลังจากนั้นทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ตลอดช่วงระยะเวลาศึกษาอีกครั้ง

(7) ถ้าหากค่าความน่าเชื่อถือได้ที่คำนวณจากขั้นตอนข้างต้นมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด แสดงว่าสามารถเพิ่มค่าปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบของอ่างเก็บน้ำได้อีก และไม่มีคามจำเป็นที่จะต้องนำขอบเขตปริมาตรเก็บกักสูงสุดและต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ในครั้งแรกมาใช้ ในขณะที่ค่าปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบที่กำหนดครั้งแรกจะนำมากำหนดเป็นค่าขอบเขตปริมาตรเก็บกักสูงสุด จากนั้นสมมุติค่าปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบครั้งที่สองโดยต้องอยู่ระหว่างขอบเขตปริมาตรเก็บกักสูงสุดครั้งใหม่และ

ขอบเขตปริมาตรเก็บกักต่ำสุดเดิมสำหรับรอบการคำนวณถัดไป และทำการจำลองระบบการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนคำนวณค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ตลอดช่วงเวลาศึกษาอีกครั้ง

(8) ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งได้ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ตามที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงปริมาตรเก็บกักใช้การที่สมมุติขึ้นมาคือปริมาตรเก็บกักใช้การออกแบบนั่นเอง

#### □ วิธีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Method)

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดจะอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Monthly Inflow) ในอดีตที่มีอยู่มาใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำคาดการณ์ (Projected Demand) เพื่อให้มีน้ำเพียงพอในช่วงปีวิกฤต (Critical Year) ของโครงการ ในขณะที่ข้อมูลปริมาณการสูญเสียน้ำ (Reservoir Losses) อาจไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้ สมมุติฐานหลักในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำก็คือการหาค่าความจุเก็บกักต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำที่สามารถดำเนินงานเพื่อจัดสรรน้ำไปใช้ตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ประสบกับความล้มเหลวทั้งจากการปล่อยน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำ (Water Shortage) ในช่วงวิกฤตน้ำน้อยหรือเป็นผลมาจากการปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่าง (Water Spillage) ไปเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับความปลอดภัยของตัวเขื่อนในช่วงวิกฤตน้ำมาก สำหรับรูปแบบของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำมีรายละเอียดโดยทั่วไปดังนี้คือ

กำหนดให้  $D$  เป็นปริมาณความต้องการน้ำรายปีของอ่างเก็บน้ำ (Annual Water Demand) และ  $\alpha_t$  เป็นสัดส่วนของปริมาณความต้องการน้ำรายเดือน (Monthly Demand Fractions) ดังนั้นปริมาณความต้องการน้ำในเดือนใด ๆ จะเท่ากับ  $\alpha_t D$  และ  $I_t$  เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในเดือน  $t$  และ  $R_t$  เป็นปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำในเดือน  $t$  โดยกำหนดวัตถุประสงค์ของปัญหาคือการหาค่าความจุเก็บกักต่ำสุด (Minimum Capacity,  $C$ ) ของอ่างเก็บน้ำที่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้เพียงพอตามรูปแบบสมการดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min } C \quad \text{-----}(3.3)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad ; t = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----}(3.4)$$

$$R_t \geq \alpha_t D \quad ; t = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----}(3.5)$$

$$S_t \leq C \quad ; t = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----}(3.6)$$

$$S_t, R_t, D, C \geq 0 \quad ; t = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----}(3.7)$$

จากสมการที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าได้นำหลักสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำมาใช้ในการกำหนดสมการข้อจำกัดด้วย ในขณะที่เดียวกันปริมาณน้ำที่ปล่อยจริงจากอ่างเก็บน้ำจะต้องมากกว่าหรืออย่างน้อยมีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการน้ำดังสมการที่ 3.5 นอกจากนี้หากค่าความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ทำการประมาณค่าเท่ากับ C จะพบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์สมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำแล้ว ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า C นี้ แต่จะไม่มีโอกาสที่จะเกินความจุเก็บกักที่ทำการประมาณค่าดังกล่าวดังแสดงในสมการที่ 3.6 ในขณะเดียวกันข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักและปริมาณน้ำที่ปล่อยในแต่ละเดือน ความจุเก็บกักที่ทำการประมาณค่า และปริมาณความต้องการน้ำรายปีจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

สำหรับการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อหาขนาดของปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปแบบข้างต้น อย่างไรก็ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนสูงสุด (Maximum Firm Power) ดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Max } [\min E_n] \quad ; t = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----}(3.8)$$

เมื่อ  $E_n$  เป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงเวลา  $t$  คำนวณได้จากสมการ

$$E_n = \int P_t dt = \int e_t \gamma Q(t) H(t) dt = \sum_{t=1}^N e_t \gamma \bar{Q}(t) \bar{H}(t) \text{-----}(3.9)$$

เมื่อ  $P_t$  = กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงเวลา  $t$  (Power)

$t$  = จำนวนชั่วโมงทำงาน (Working Hour)

$e_t$  = ประสิทธิภาพทั้งหมดของโรงไฟฟ้า (Overall Efficiency) คำนวณจากเป็นค่าประสิทธิภาพทางชลศาสตร์คูณด้วยประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ( $e_{tur}$ ) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $e_g$ )

$\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (Specific Weight of Water)

$\bar{Q}(t)$  = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลผ่านกังหันน้ำในช่วงเวลา  $t$  (Discharge/Controlled Release)

$\bar{H}(t)$  = ค่าเฉลี่ยของเสื่อน้ำในช่วงเวลา  $t$  (Head)

โดยทั่วไปแล้วค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนสูงสุดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ศึกษา ลักษณะของข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ และกำลังการผลิตติดตั้ง ในขณะที่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนต่ำสุดจะเท่ากับศูนย์

### 3.2.3 เทคนิคการหาแมตริกซ์ความน่าจะเป็น (Probability Matrix Methods)

เทคนิคนี้อาศัยหลักการทางสถิติในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มนี้เช่น วิธีของ Moran (Moran Method) และวิธีของ Gould (Gould Method) อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้ไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งานมากนัก

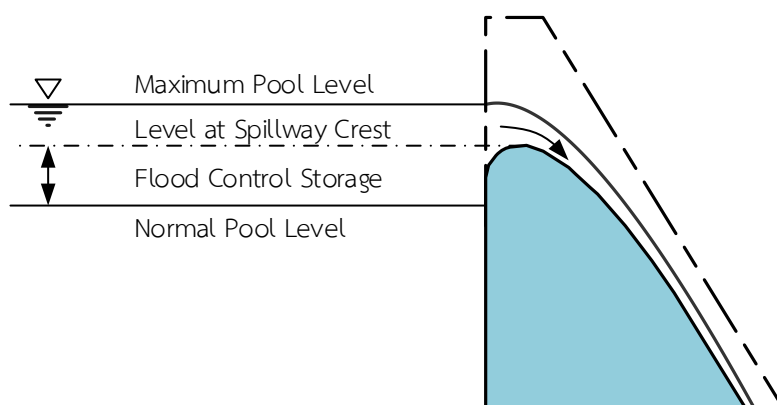
## 3.3 เทคนิคในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมของอ่างเก็บน้ำ (Techniques in Estimating the Flood Control Storage Requirement)

อาจกล่าวได้ว่าแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยการสำรองพื้นที่อ่างเก็บน้ำส่วนหนึ่งไว้รองรับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงน้ำหลากเพื่อการป้องกันและบรรเทาภัยน้ำท่วมที่ขัดแย้งกับหลักการเก็บกักน้ำไว้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น การอุปโภคบริโภค การผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ที่พยายามจะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างให้มากที่สุดเพื่อจัดสรรน้ำที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการ ซึ่งจากลักษณะของข้อมูลพื้นฐานพบว่าปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแบบดีเทอร์มิเนติกส์ (Deterministic) กล่าวคือมีค่าที่ค่อนข้างแน่นอนและมีแนวโน้มคงที่ในแต่ละช่วงเวลา ในขณะที่ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเร่งระบายเพื่อการป้องกันน้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นนั้นมีลักษณะเป็นแบบสโตคาสติก (Stochastic) กล่าวคือมีค่าไม่แน่นอนและผันแปรในแต่ละช่วงเวลาต่าง ๆ ยิ่งไปกว่านั้นช่วงเวลาในการวิเคราะห์แนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการเก็บกักน้ำนั้นจะอาศัยข้อมูลพื้นฐานรายเดือน ในขณะที่สเกลของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันน้ำท่วมนั้นจะสั้นลงซึ่งอาจจะเป็นรายชั่วโมง การประมาณค่าปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมที่ต้องการนั้นต้องอาศัยไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบ (Design Flood Hydrograph) ที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งในที่นี้ได้แบ่งปริมาตรเก็บกักเพื่อการป้องกันน้ำท่วมที่ออกแบบเป็น 2 ลักษณะคือ ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservation Storage) และปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage) โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้ (วรารุช วุฒินิธิชัย และคณะ, 2550; Karamouz et al., 2003)

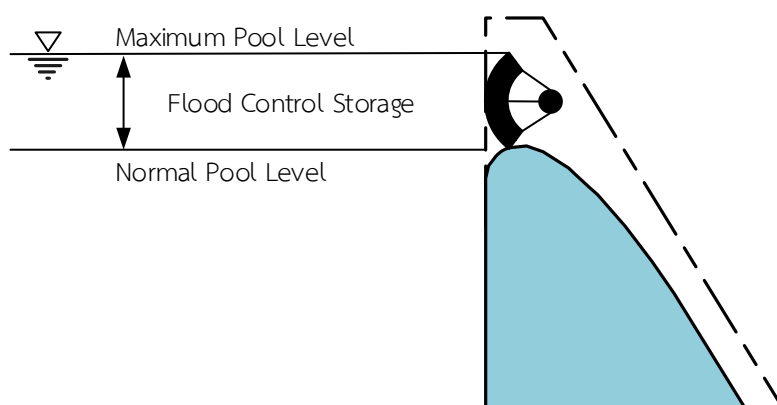
### 3.3.1 การประมาณค่าปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Reservation Storage)

ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมถูกออกแบบไว้เพื่อทำหน้าที่หน่วงคลื่นน้ำท่วมไว้ในอ่างเก็บน้ำชั่วคราวก่อนที่จะค่อย ๆ ระบายออกโดยไม่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายจากน้ำท่วมทางด้าน

ท้ายน้ำ หรือเกินความจุเก็บกักของลำน้ำที่จะรับได้ สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม (Uncontrollable Gate) จะออกแบบปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมไว้ให้อยู่ระหว่างระดับเก็บกักปกติและระดับสันทางระบายน้ำล้น ในขณะที่อ่างเก็บน้ำที่มีทางระบายน้ำล้นแบบมีประตูควบคุม (Controllable Gate) จะกำหนดให้ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมอยู่ระหว่างระดับเก็บกักปกติตรงระดับสันทางระบายน้ำล้นถึงระดับเก็บกักสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในการออกแบบปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมจะต้องกำหนดขนาดคลื่นน้ำท่วมจากไฮโดรกราฟน้ำท่วมเพื่อใช้ในการออกแบบ และขนาดของอาคารทางออก (Outlet Work) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำส่วนเกินที่จะปล่อยทิ้งทางด้านท้ายน้ำ ในขณะเดียวกันจะสมมุติว่าไม่มีน้ำอยู่ในเขตปริมาตรเก็บกักสำรอง ในขณะที่คลื่นน้ำท่วมออกแบบเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ



(a) กรณีทางระบายน้ำล้นไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway)

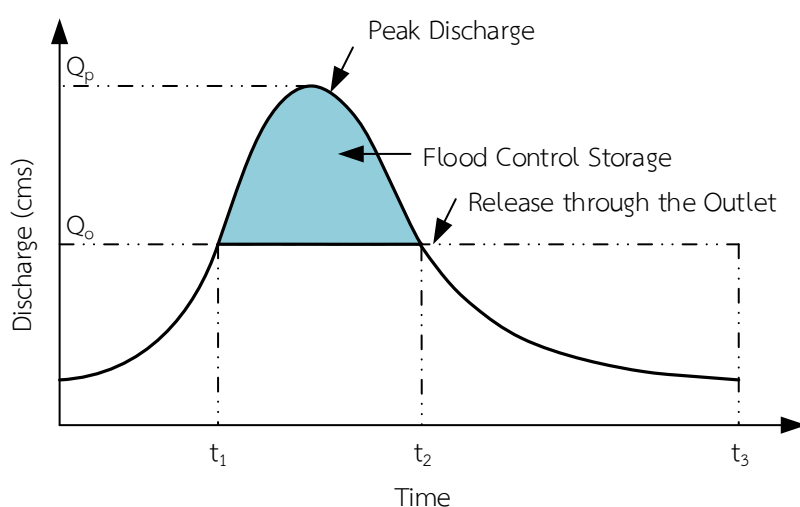


(b) กรณีทางระบายน้ำล้นมีประตูควบคุม (Gated Spillway)

### รูปที่ 3.4 โชนปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม

ในหลักการแล้วจะกำหนดไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบ (Design Flood Hydrograph) สำหรับใช้หาขนาดของปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 3.5 และขนาดของอาคาร

ทางออกที่ออกแบบไว้ โดยในช่วงเริ่มต้นที่คลื่นน้ำท่วมเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจะถูกระบายผ่านอาคารทางออกทั้งหมดไปยังท้ายน้ำ จนกระทั่งเมื่อขนาดคลื่นน้ำท่วมเกินอัตราสูงสุดที่จะระบายผ่านอาคารทางออกได้ที่เวลา  $t_1$  คลื่นน้ำท่วมจะรุกเข้าไปเก็บกักไว้ในส่วนของปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมจนกระทั่งถึงระดับเก็บกักสูงสุดหรือสิ้นสุดช่วงเวลา  $t_2$  หลังจากนั้นจึงทยอยปล่อยน้ำทั้งหมดออกจากปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมจนกระทั่งถึงช่วงเวลา  $t_3$  เพื่อให้มีปริมาตรเก็บกักว่างสำหรับรับคลื่นน้ำท่วมลูกใหม่ที่อาจจะเกิดขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมเท่ากับพื้นที่ที่แรเงาของไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบนั่นเอง



รูปที่ 3.5 แนวคิดในการหาปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม

ในการวิเคราะห์โดยปกติแล้วจะกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำตามลักษณะข้อมูลไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบจะสามารถกำหนดระดับน้ำเก็บกักสูงสุด (Maximum Reservoir Level) ของอ่างเก็บน้ำได้ และเมื่อนำระยะเผื่อน้ำล้น (Freeboard) ไปรวมกับค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุดก็จะได้ความสูงของตัวเขื่อน (Height of Dam)

### 3.3.2 การประมาณค่าปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage)

ปริมาตรเก็บกักส่วนเกินถูกออกแบบไว้เพื่อทำหน้าที่หลักในการระบายน้ำส่วนเกินที่เกิดจากคลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างเก็บน้ำและเกินศักยภาพที่ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมตามที่ได้ออกแบบไว้จะรับได้ หรือคลื่นน้ำท่วมที่ไหลเข้ามีขนาดใหญ่กว่าตามที่ได้ออกแบบไว้ จึงจำเป็นต้องสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้สำหรับหน่วงคลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่ไว้ชั่วคราวก่อนที่จะปล่อยออกผ่านทางระบายน้ำล้นเพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำส่วนนี้จะไหลไป

สมทบกับปริมาณน้ำที่ระบายผ่านอาคารทางออกอีกครั้งซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำได้ ขนาดของปริมาตรเก็บกักส่วนเกินที่ออกแบบจะสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของทางระบายน้ำล้น นอกจากนี้ไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าไฮโดรกราฟน้ำท่วมที่ใช้ออกแบบ ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม และโดยมากจะกำหนดที่รอบปีการเกิดซ้ำสูงประมาณ 300-1,000 ปี เมื่อมีน้ำไหลเข้าอ่างจนไม่สามารถปล่อยผ่านอาคารทางออกได้ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็จะเพิ่มสูงขึ้นและไหลล้นข้ามสันทางระบายน้ำล้นออกไป

### 3.4 เทคนิคในการประมาณค่าปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การของอ่างเก็บน้ำ (Techniques in Estimating the Dead Storage Requirement)

วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การของอ่างเก็บน้ำก็เพื่อสำรองปริมาตรอ่างเก็บน้ำไว้สำหรับการสะสมตัวของตะกอนที่ตกทับถมตลอดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ ด้วยเหตุนี้ การประมาณค่าปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การของอ่างเก็บน้ำจึงสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะและปริมาณของตะกอนในพื้นที่นั้น ๆ ตลอดจนประสิทธิภาพของอ่างเก็บน้ำในการตกตะกอน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการกัดเซาะ (Erosion) และเกิดการพัดพาตะกอน (Transportation) สูง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องเผื่อปริมาตรเก็บกักไว้ให้เพียงพอกับปริมาณตะกอนที่ตกสะสม (Sediment Deposition) โดยรายละเอียดที่สำคัญในการออกแบบได้กล่าวไว้ในบทที่ 7

### 3.5 หลักการคัดเลือกอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Screening)

หลักการคัดเลือกอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Screening) เป็นลักษณะของการคัดเลือกอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ที่ได้ทำการออกแบบหาขนาดปริมาตรเก็บกักใช้การไว้แล้วมาดำเนินการเพื่อให้สอดคล้องกับแผนการพัฒนาโครงการตามที่ได้วางไว้ อย่างไรก็ตามปัจจัยอันเนื่องมาจากขีดจำกัดของขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำแต่ละอ่างส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตที่แน่นอนของอ่างเก็บน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกักและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ ในขณะเดียวกันปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำสัมพันธ์โดยตรงกับต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินการในรูปของ  $C = f(Y)$  เมื่อ  $C$  เป็นค่าต้นทุน และ  $Y$  เป็นผลผลิตที่ได้ของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นหากกำหนดให้ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำทั้งหมดในระบบเท่ากับ  $Y_T$  ก็พบว่าวัตถุประสงค์ในการคัดเลือกอ่างเก็บน้ำก็เพื่อออกแบบหาความจุเก็บกักที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ในระบบเพื่อให้ได้ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำตามเป้าหมายที่วางไว้โดยใช้ต้นทุนในการดำเนินการน้อยที่สุด (Karamouz et al., 2003)

### 3.6 การวางแผนงานโครงการพัฒนาอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Development Planning)

โครงการอ่างเก็บน้ำนับได้ว่าเป็นโครงการที่ต้องใช้เงินลงทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างและดำเนินการค่อนข้างนาน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนและการเตรียมการเป็นอย่างดี และทำ



การวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง บางครั้งอาจจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง ขนาด และประเภทของโครงสร้างและอาคารประกอบที่เหมาะสม เมื่อตัดสินใจตำแหน่งที่ตั้งเขื่อน รวมถึงออกแบบและคัดเลือกอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนถัดไปเป็นการวิเคราะห์ในรายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญดังนี้

### 3.6.1 หลักเกณฑ์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำ (Site Selection Criteria for a Reservoir)

หลักเกณฑ์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำมีดังต่อไปนี้

- (1) ตำแหน่งที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำควรจะเป็นจุดที่มีการรั่วซึมหรือซึมผ่านของน้ำน้อยที่สุด
- (2) จะต้องมีตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับเป็นที่ตั้งของตัวเขื่อน ในขณะที่เดียวกันดินฐานรากจะต้องเป็นหินแข็งที่มีการซึมผ่านของน้ำได้ฐานเขื่อนน้อยมาก โดยทั่วไปแล้วเงินลงทุนในการก่อสร้างเขื่อนจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนและเป็นปัจจัยควบคุมในการดำเนินงานโครงการที่สำคัญมาก
- (3) ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำที่ทางน้ำมีลักษณะแคบ ทั้งนี้เพื่อก่อสร้างเขื่อนให้มีความยาวน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- (4) ต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างและซ่อมแซมไม่ว่าจะเป็น ระบบถนน ระบบทางรถไฟ หรือระบบอื่น ๆ จะต้องน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- (5) ลักษณะภูมิประเทศของที่ตั้งอ่างเก็บน้ำควรจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้มากที่สุดโดยไม่เกิดน้ำเอ่อท้นออกจากอ่างเก็บน้ำ
- (6) อ่างเก็บน้ำที่สร้างควรมีลักษณะเป็นอ่างเก็บน้ำลึก (Deep Reservoir) มากกว่าเป็นอ่างเก็บน้ำตื้น (Shallow Reservoir) ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนจากความเสียหายที่จะเกิดจากพื้นที่น้ำท่วมต่อนิ่งหน่วย ความจุเก็บกัก และลดปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนจำกัดการเจริญเติบโตของวัชพืชให้ลดลงอีกด้วย
- (7) ตำแหน่งที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำควรจะเป็นจุดที่มีตะกอนในลำนน้ำน้อย
- (8) จุดที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำต้องสามารถหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดปัญหาน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ที่จะได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงเช่น แหล่งที่มีสำคัญทางโบราณคดี พื้นที่ชุมชนเมือง พื้นที่ป่าไม้ หรือเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่หายากหรือใกล้สูญพันธุ์ เป็นต้น
- (9) ชั้นดินและชั้นหินใต้จุดที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำต้องไม่เป็นแหล่งที่มีแร่ธาตุอันตรายหรือมีเกลือ

อย่างไรก็ดีอาจเป็นไปได้ยากที่จะเลือกจุดที่ตั้งเขื่อนและอ่างเก็บน้ำที่มีคุณลักษณะตามเกณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นครบถ้วน ด้วยเหตุนี้ผู้วางแผนงานควรจะต้องเลือกจุดที่ตั้งที่สามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของโครงการได้มากที่สุด

### 3.6.2 การสำรวจข้อมูลเพื่อวางแผนงานอ่างเก็บน้ำ (Investigations for a Reservoir Planning)

ในการวางแผนงานอ่างเก็บน้ำจำเป็นจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลที่สำคัญดังต่อไปนี้

#### (1) การสำรวจข้อมูลทางวิศวกรรม (Engineering Surveys)

ในขั้นตอนแรกจะต้องทำการสำรวจลักษณะภูมิประเทศของบริเวณที่ตั้งเขื่อนและจัดทำแผนที่ระดับชั้นความสูง (Contour Map) ซึ่งจากข้อมูลแผนที่ดังกล่าวสามารถนำมาสร้างโค้งพื้นที่-ระดับ (Area-Elevation Curve) และโค้งปริมาตรเก็บกัก-ระดับ (Storage-Elevation Curve) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถระบุพื้นที่น้ำท่วมและตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนที่เหมาะสมได้

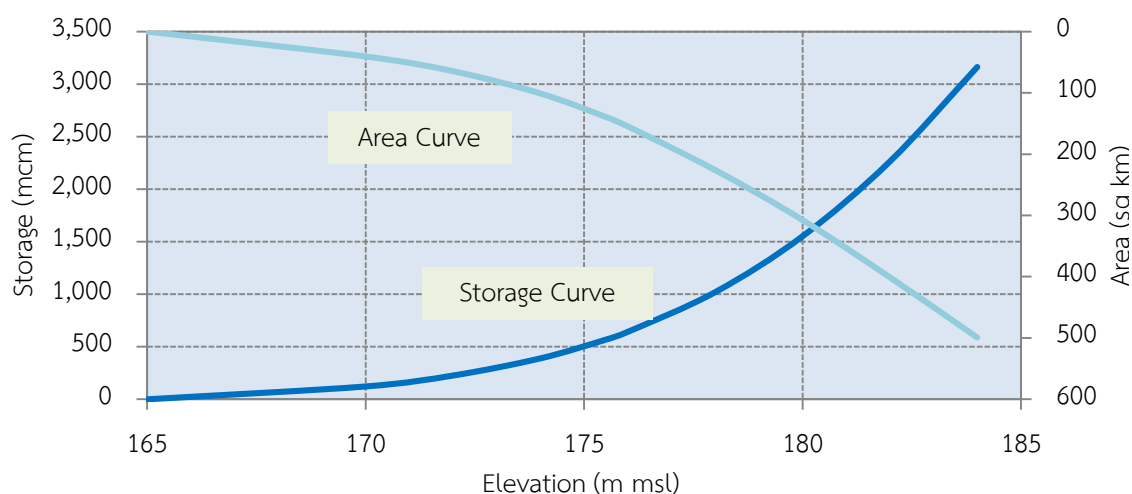
#### (2) การสร้างโค้งพื้นที่-ระดับและโค้งปริมาตรเก็บกัก-ระดับ (Area-Elevation and Storage-Elevation Curves) (Linsley et al., 1992)

แผนที่ระดับชั้นความสูงจะถูกนำมาใช้เพื่อหาพื้นที่ภายในเส้นชั้นความสูงแต่ละเส้นโดยใช้แพลนนิมิเตอร์ (Planimeter) เป็นเครื่องมือวัด เมื่อระดับชั้นความสูงมากขึ้นจะได้พื้นที่วงรอบปิดขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย จากนั้นนำค่าที่ได้มาพล็อตโดยกำหนดให้ค่าระดับอยู่ในแกน X และพื้นที่อยู่ในแกน Y ดังแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ในรูปที่ 3.6 พื้นที่ในแต่ละระดับชั้นความสูงยังเป็นข้อมูลที่สำคัญที่บอกลักษณะของพื้นที่ผิวน้ำที่กระจายไปในบริเวณนั้นในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักอยู่ที่ระดับสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ

ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Capacity) หรือปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Volume, S) จะขึ้นอยู่กับระดับน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Formula) กล่าวคือ ถ้า  $A_1$  และ  $A_2$  เป็นพื้นที่ระหว่างเส้นชั้นความสูง 2 เส้นที่อยู่ติดกัน และ  $h$  เป็นช่วงระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูงทั้ง 2 เส้น ดังนั้นปริมาตรเก็บกัก  $S$  ที่ได้จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S = (A_1 + A_2) \times \frac{h}{2} \quad \text{-----}(3.10)$$

เมื่อทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันทุกเส้นชั้นความสูง จากนั้นนำค่าที่ได้มาพล็อตจะได้โค้งปริมาตรเก็บกัก-ระดับดังแสดงในรูปที่ 3.6



Elevation (m msl)	Area (sq km)	Storage (mcm)
165	0	0
170	40.7	122.4
172	64.7	226.3
174	101	389.6
175.5	139.5	568.1
176	154.8	641.9
178	226	1019.6
180	307.6	1551.7
182	401.2	2263.6
184	499.5	3163.1

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างโค้งระดับ-พื้นที่-ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์

### (3) การสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยา (Geological Investigation)

การสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยานับได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำใหม่ รวมถึงโครงการทางด้านวิศวกรรมอื่น ๆ ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

- ข้อมูลอุทก-ธรณีวิทยาของพื้นที่
- ความเหมาะสมของวัสดุดินฐานรากในการก่อสร้างตัวเขื่อน
- ลักษณะทางธรณีวิทยาและโครงสร้างในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ
- ลักษณะของการแทรกตัวของน้ำในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ
- ตำแหน่งของแนวชั้นหินใต้ดินที่น้ำแทรกซึมผ่านได้
- ลักษณะของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่

- ตำแหน่งที่ตั้งของเหมืองหินและปริมาณที่มีอยู่สำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างเขื่อน

อาจกล่าวได้ว่าการสำรวจทางธรณีวิทยาใช้งบลงทุนในการดำเนินการค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเงินลงทุนทั้งหมดของโครงการ หรือโดยประมาณอยู่ระหว่าง 0.25-1% ของงบลงทุนทั้งหมดของโครงการ การสำรวจข้อมูลทางธรณีก่อนเริ่มโครงการจะช่วยรับประกันความเสียหายหรืออุปสรรคที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง มีหลายต่อหลายโครงการตรวจพบว่าลักษณะของข้อมูลธรณีวิทยาแตกต่างไปจากเดิมในระหว่างที่ทำการก่อสร้าง ซึ่งนำไปสู่การระงับโครงการหรือยืดระยะเวลาของโครงการออกไป ตลอดจนต้องใช้เงินลงทุนในการดำเนินการที่เพิ่มสูงขึ้น ในการเลือกที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำจะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณพื้นที่ที่มีการรั่วซึมของน้ำสูง นอกจากนี้ลักษณะวัสดุฐานรากบริเวณที่ตั้งของตัวเขื่อนจะต้องแข็งแรงพอ ทั้งนี้จะต้องอาศัยวิธีการต่าง ๆ ในการสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยา ในขณะที่เดียวกันควรมีการศึกษาถึงลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อมูลปริมาณน้ำท่าและข้อมูลการรั่วซึมของน้ำอีกด้วย

#### (4) การรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrological Investigation)

การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยานับได้ว่าเป็นขั้นตอนสำคัญในการวางแผนงานอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นการออกแบบหาขนาดของอ่างเก็บน้ำตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อข้างต้น การหาความสูงของเขื่อน ขนาดของคลองส่งน้ำ กำลังติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ เป็นต้น การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยาอาจสรุปได้ดังนี้

- การศึกษารูปแบบของข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำต้นทุนและความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเพื่อออกแบบให้เพียงพอกับความต้องการน้ำเป้าหมาย
- การวิเคราะห์รูปแบบของไฮโดรกราฟน้ำท่วมเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำล้น
- การประมาณค่าการระเหยและการสูญเสียอื่น ๆ จากอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่แห้งแล้ง
- การศึกษาปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- การจำลองระบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำภายใต้รูปแบบของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณความต้องการน้ำที่มีอยู่

ขั้นตอนแรกในการวางแผนงานอ่างเก็บน้ำก็คือการประเมินความถูกต้องของปริมาณน้ำต้นทุน (Water Availability) ที่มีอยู่ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอุทกวิทยาระยะยาวในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ช่วงความยาวของข้อมูลที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการเก็บกักน้ำ ประเภทและวัตถุประสงค์ของโครงการ และความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์

โดยอาศัยช่วงข้อมูลระยะยาวจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่า โดยทั่วไปแล้วอนุกรมเวลาของข้อมูลระยะยาวถูกนำมาใช้กับโครงการประเภทเก็บกักน้ำข้ามปี (Over Year Storage) ในขณะที่ข้อมูลระยะสั้นถูกนำมาใช้กับโครงการประเภทเก็บกักน้ำไว้ใช้ในหนึ่งปี (Within Year Storage) ซึ่งการไหลล้นอ่างมีแนวโน้มเกิดขึ้นเกือบทุกปีและช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว สำหรับข้อชี้แนะในการเลือกช่วงความยาวของข้อมูลให้เหมาะสมในการวิเคราะห์เพื่อวางแผนงานอ่างเก็บน้ำสรุปได้ในตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** ช่วงความยาวของข้อมูลอุทกวิทยาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละประเภทโครงการ

ประเภทโครงการ	ช่วงความยาวของข้อมูลอุทกวิทยาที่ใช้วิเคราะห์
โครงการผันน้ำ (Diversion Project)	ไม่น้อยกว่า 10 ปี
โครงการประเภทเก็บกักน้ำไว้ใช้ตลอดหนึ่งปี (Within Year Storage Project)	ไม่น้อยกว่า 25 ปี
โครงการประเภทเก็บกักน้ำไว้ใช้ข้ามปี (Over Year Storage Project)	ไม่น้อยกว่า 40 ปี
โครงการแบบผสมผสาน	ช่วงความยาวของข้อมูลอุทกวิทยาที่นำมาวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับประเภทของโครงการหลักเป็นสำคัญ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

อาจกล่าวได้ว่าข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการวางแผนโครงการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูลในสเกลเวลาที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ประกอบการจำลองระบบที่สามารถแก้ปัญหาตามความต้องการได้จริง นอกจากนี้การติดตั้งสถานีอุทก-อุตุนิยมวิทยาให้มีจำนวนและประเภทเพียงพอในพื้นที่ศึกษาทั้งในปัจจุบันและแนวทางการปฏิบัติการของโครงการที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตยังเป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินการในระหว่างที่ทำการสำรวจข้อมูลอุทกวิทยา ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลอุทกวิทยาที่เพียงพอในการวิเคราะห์ หลังจากทำการประเมินข้อมูลที่ต้องการในเบื้องต้นแล้ว เทคนิคต่าง ๆ จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการต่อเติมหรือสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ให้มีช่วงข้อมูลยาวขึ้นสำหรับนำมาใช้ในการประเมินน้ำต้นทุนที่มีอยู่และวางแผนพัฒนาโครงการต่อไปเช่น สามารถต่อเติมข้อมูลปริมาณน้ำทำให้ยาวขึ้นได้โดยอาศัยข้อมูลฝนที่ได้ทำการตรวจวัดไว้โดยการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) เป็นต้น

#### (5) การศึกษาเบื้องต้นของโครงการ (Preliminary Investigation)

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาเบื้องต้นของโครงการก็เพื่อคัดเลือกแผนทางเลือกของโครงการที่ไม่เหมาะสมออกไป และทำการตัดสินใจเพื่อรวบรวมข้อมูลในรายละเอียดสำหรับทำการศึกษความเหมาะสมของทางเลือกโครงการที่เหลืออยู่ การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นจะสามารถระบุขอบเขตของการ

วางแผนโครงการให้สอดคล้องตามลักษณะภูมิประเทศของแหล่งที่ตั้ง วัตถุประสงค์ของโครงการ ขนาดของ ส่วนประกอบต่าง ๆ โดยปกติแล้วการศึกษาเบื้องต้นถือเป็นระดับแรกของการศึกษาความเหมาะสมของ โครงการซึ่งดำเนินการในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และมีความถูกต้องค่อนข้างน้อย การศึกษาจะครอบคลุมถึง การพิจารณาลักษณะทางกายภาพทั้งหมดของระบบ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อมและ สังคมที่เกี่ยวข้องกับโครงการเบื้องต้นโดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ อย่างไรก็ตามอาจต้องมีการรวบรวมข้อมูลใหม่ ในภาคสนามหากมีความจำเป็น ยกตัวอย่างเช่น รูปหน้าตัดลำน้ำอย่างง่ายตรงตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนแทนที่จะ เป็นหน้าตัดลำน้ำตามธรรมชาติจริง ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นผิวดิน วัสดุฐานรากเขื่อน ปริมาณ และ คุณภาพของวัสดุก่อสร้างที่มีอยู่ในพื้นที่ เป็นต้น การออกแบบเบื้องต้นจะดำเนินการโดยใช้วิธีลัด นอกจากนี้ยังต้องทำการวิเคราะห์ผลประโยชน์-ค่าลงทุนเบื้องต้น ซึ่งผลจากศึกษานี้จะได้แนวทางเลือกที่มี ความเหมาะสมสำหรับนำไปศึกษาในระดับถัดไป

#### (6) การศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Feasibility Investigation)

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาความเหมาะสมของโครงการก็เพื่อสร้างความมั่นใจในการตัดสินใจ เลือกแผนทางเลือกที่ดีที่สุดของโครงการ ด้วยเหตุนี้จึงต้องอาศัยวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่มีความถูกต้องสูง การศึกษาความเหมาะสมของโครงการเป็นการหาความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์และการเงิน ของโครงการที่ถูกเสนอขึ้นมา และเพื่อให้รู้ถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสังคม ผลที่ได้จากการศึกษา ความเหมาะสมของโครงการอาจมีการปรับเปลี่ยนบ้างด้วยสาเหตุต่าง ๆ ทั้งก่อนและระหว่างที่ดำเนินการ ก่อสร้าง สำหรับขั้นตอนแรกของการศึกษาก็คือการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่มีความทันสมัย และมีการ ตรวจสอบระดับความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับ ระดับความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ที่ต้องการของโครงการ ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของเขื่อนและอ่าง เก็บน้ำประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศของที่ตั้งโครงการ ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำ ข้อมูลน้ำท่วม ออกแบบ ค่าที่ดิน ค่าชดเชยความเสียหายในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ลักษณะภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อ การดำเนินการก่อสร้าง ประเภทของสัตว์น้ำและสัตว์ป่าอนุรักษ์ วัสดุก่อสร้าง ลักษณะของวัสดุฐานรากบริเวณ แหล่งที่ตั้งเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนข้อพิจารณาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรมนุษย์ และ สภาพแวดล้อม เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องมีการประมาณค่าเงินลงทุนในการจัดซื้อสิ่งอำนวยความสะดวก อื่น ๆ ของโครงการอีกด้วย

#### (7) การศึกษาแผนการดำเนินการก่อนการก่อสร้าง (Pre-Construction Investigation)

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ก็เพื่อระบุโครงร่างของแผนงานที่เลือกไว้ให้มีรายละเอียดพอสำหรับการ ประมาณราคาเฉพาะของงานแต่ละอย่าง และกำหนดแนวทางในการปฏิบัติการให้ประสบผลสำเร็จ นอกจากนี้การนำโครงการไปดำเนินการอาจต้องใช้เวลาหลายปีหรือหลายทศวรรษหลังจากการศึกษา ความเหมาะสมของโครงการเสร็จสิ้น ส่งผลให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลเพื่อให้การศึกษาโครงการทันต่อ

เหตุการณ์อยู่เสมอ การปรับแผนทางการเงินย่อมมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดความแน่ใจในแหล่งเงินทุน นอกจากนี้ผลของแผนการดำเนินงานจะเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบ ก่อสร้าง และการปฏิบัติงานของโครงการต่อไป (วรารุช วุฒิวิณิชย์, 2532)

### เอกสารอ้างอิง (References)

- วรารุช วุฒิวิณิชย์, (2532). *การวางโครงการและการประเมินผล*. นครปฐม: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรารุช วุฒิวิณิชย์, ทองเปลว กองจันทร์, และวัชระ เสือดี. (2550). *อุทกวิทยาประยุกต์ทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Banafsheh, Z. (2003). *Water resources system analysis*. New York: Lewis Publishers.
- Linsley, R.K., Franzini, J.B., Freyberg, D.L., & Tchobanoglous, G. (1992). *Water resource engineering*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- McMahon, T.A., & Mein, R.G. (1978). *Reservoir capacity and yield*. Netherlands: Elsevier Science.





## 04 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation)

ประสิทธิผลของงานพัฒนาแหล่งน้ำมิใช่เพียงการออกแบบโครงสร้างอาคารทางชลศาสตร์ที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จอีกด้วย ในปัจจุบันพบว่างานพัฒนาแหล่งน้ำทางด้านโครงสร้างใหม่มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเหตุผลหลักมาจากต้นทุนในการพัฒนาโครงการใหม่ต้องใช้เงินมหาศาล รวมถึงปัจจัยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนแนวทางการบริหารจัดการของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนั่นเอง แผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Plan) จึงนับได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญและจำเป็นต้องพัฒนาขึ้นมาในขั้นตอนของการวางแผนโครงการ หลังจากนั้นจึงค่อยปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริง แผนการปฏิบัติการอาจจะนำเสนอแนวทางปฏิบัติการเชิงรุก รวมถึงแนวทางปฏิบัติการที่ยืดหยุ่นตามระดับของการปฏิบัติงาน โดยทั่วไปแล้วแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) ก็คือการตัดสินใจปล่อยน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อวัตถุประสงค์นั้น ๆ ในขณะที่การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose Reservoir) ต้องสามารถจัดสรรน้ำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสม และจัดการปัญหาความขัดแย้งระหว่างวัตถุประสงค์การใช้น้ำที่ต่างกันดีเป็นอย่างดี

### 4.1 ปัญหาความขัดแย้งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Conflicts in Reservoir Operation)

Jain และ Singh ได้จัดแบ่งประเภทของปัญหาความขัดแย้งมักเกิดขึ้นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ออกเป็น 3 ประเภทหลักได้แก่ (Jain & Singh, 2003)

#### 4.1.1 ปัญหาในด้านปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Conflicts in Reservoir Space)

ปัญหาในด้านปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Conflicts in Reservoir Space) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากข้อจำกัดของความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ต้องตอบสนองให้เพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น วัตถุประสงค์ในการอนุรักษ์น้ำ (Water Conservation Purpose) สำหรับจัดหา น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การชลประทาน การอุตสาหกรรม เป็นต้น และวัตถุประสงค์ในการบรรเทาอุทกภัย (Flood Mitigation Purpose) อย่างไรก็ตามหากลักษณะทางธรณีวิทยาและภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่จะเป็นแหล่งที่ตั้งเขื่อน ประกอบกับงบประมาณในการก่อสร้างมีเพียงพอ และได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารก็สามารถที่จะพัฒนาโครงการแห่งใหม่โดยการก่อสร้างเขื่อนให้มีความสูงและปริมาตรเก็บกักเพียงพอที่จะจัดสรรน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้ โดยส่วนใหญ่แล้วอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์ (Multipurpose Reservoirs) มักถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาโดยแบ่งส่วนปริมาตร

เก็บกักแยกสำหรับความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะ ซึ่งหลักการในการจัดสรรน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการอนุรักษ์น้ำนั้นจะพยายามเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักให้สูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งแตกต่างจากหลักการจัดสรรน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการบรรเทาอุทกภัยที่จะต้องรักษาปริมาตรว่างของอ่างให้เพียงพอที่จะหน่วงน้ำท่วมในช่วงฤดูน้ำไหลหลาก ด้วยเหตุนี้แนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจึงเป็นลักษณะของการตัดสินใจที่จะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างให้ได้มากที่สุดหรือควรจะรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ให้ได้มากที่สุดนั่นเอง ซึ่งหากยึดแนวทางดังกล่าวก็จะพบว่าหากสามารถปล่อยน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการอนุรักษ์น้ำได้เป็นที่พอใจ ความเสี่ยงของความเสียหายจากอุทกภัยก็อาจจะสูงตามไปด้วย ในทางกลับกัน หากเพิ่มประสิทธิภาพของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อบรรเทาอุทกภัยที่จะเกิดขึ้นด้วยการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ ก็อาจส่งผลให้มีน้ำไม่เพียงพอสำหรับใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำนั่นเอง

#### 4.1.2 ปัญหาระหว่างวัตถุประสงค์การใช้น้ำ (Conflicts among Purposes)

ในวัตถุประสงค์การใช้น้ำเพื่อการอนุรักษ์เองก็มีปัญหาที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากรูปแบบของการใช้น้ำ แตกต่างกัน และความต้องการพื้นที่เก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่เป็นรูปแบบเดียวกันระหว่างวัตถุประสงค์การใช้น้ำด้วยกันเอง ยกตัวอย่างเช่น ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานมีรูปแบบผันแปรตามชนิดพืชที่ปลูก ฤดูกาล และปริมาณฝนในพื้นที่ ในขณะที่ความต้องการน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าอาจผันแปรแตกต่างกันไปตามระดับน้ำเก็บกักในอ่าง นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่อวัตถุประสงค์ใดวัตถุประสงค์หนึ่งก็ไม่สามารถนำไปใช้กับวัตถุประสงค์อื่นได้เนื่องจากข้อกำหนดของลำดับความสำคัญในการปล่อยน้ำที่ได้ตกลงกันไว้ตั้งแต่ต้นเช่น วัตถุประสงค์เพื่อการชลประทานกับการอุปโภคบริโภค เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ใดวัตถุประสงค์หนึ่งอาจไปลดทอนศักยภาพในการตอบสนองความต้องการของอีกวัตถุประสงค์หนึ่งได้

#### 4.1.3 ปัญหาในวัตถุประสงค์การใช้น้ำเดียวกัน (Conflicts within the same Purpose)

โดยปกติแล้วปัญหาการขาดน้ำเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้น้ำใด ๆ และสามารถแก้ไข รวมถึงลดผลกระทบได้โดยอาศัยกลยุทธ์การปฏิบัติการที่เหมาะสมยกตัวอย่างเช่น ผู้ปฏิบัติงานอาจตัดสินใจปล่อยน้ำโดยหลักการกระจายการขาดน้ำให้เกิดครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้ง หรือยอมให้เกิดการขาดน้ำในขนาดครั้งละมาก ๆ ในช่วงระยะเวลาสั้น เป็นต้น ซึ่งผลกระทบของแนวทางการตัดสินใจดังกล่าวจะแตกต่างกันตามสถานการณ์และตามวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ หรือในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multi-Reservoir System) ผู้ปฏิบัติงานอาจจำเป็นต้องจัดสรรปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำทั้งระบบโดยอาศัยหลักการแบ่งส่วนการขาดน้ำที่จะเกิดขึ้น ทั้งนี้หากมีปัญหาความขัดแย้งในการปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ใดวัตถุประสงค์หนึ่งเกิดขึ้น นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Operation Policy) ต้องสามารถชี้แนะแนวทางแก่ผู้

ปฏิบัติการในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ หรืออาจจะกล่าวได้ว่าหัวใจสำคัญในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ก็คือ “หลักการประนีประนอม (Compromise Approach)” นั่นเอง

## 4.2 ปัญหาวิกฤตในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Critical Issues in Reservoir Operation)

ปัญหาวิกฤตในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจำเป็นที่จะต้องแก้ปัญหาย่างเร่งด่วนไปพร้อม ๆ กับการพัฒนาและทบทวนกลยุทธ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในประเด็นข้อคำถามต่อไปนี้เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงและปรับใช้ให้เหมาะสมตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้น (Jain & Singh, 2003)

### 4.2.1 การใช้ประโยชน์จากปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเพื่อการบรรเทาน้ำท่วม

แนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงที่มีปริมาณน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำเป็นหรือไม่ที่จะต้องหน่วงไว้ในอ่างเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นก่อนที่จะปล่อยน้ำออกทางท้ายน้ำเพื่อสำรองปริมาตรอ่างเก็บน้ำสำหรับรองรับปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหลเข้ามาในอนาคต

### 4.2.2 การใช้ประโยชน์จากปริมาตรเก็บกักทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ

มีความจำเป็นหรือไม่ที่จะต้องรักษาสมดุลระหว่างปริมาณน้ำที่จะต้องเก็บกักไว้ให้เพียงพอกับความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ และการรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำหลากนั้น

### 4.2.3 การปล่อยน้ำที่เก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ

ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำส่วนหนึ่งควรจะปล่อยไปใช้สำหรับความต้องการน้ำปัจจุบัน และส่วนที่เหลือควรจะเก็บกักไว้ในอ่างสำหรับใช้ใน ช่วงหน้าแล้งของปีถัดไปหรือไม่

### 4.2.4 การปล่อยน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำ

ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ต้องมาจากอ่างเก็บน้ำเก็บกักในระบบหรือไม่และมีแนวทางในการปฏิบัติการอย่างไร

### 4.2.5 การใช้น้ำที่มีอยู่จำกัดในอ่างเก็บน้ำ

การจัดสรรน้ำจากอ่างซึ่งอยู่ในสถานะมีน้ำเหลืออยู่จำกัดเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มีแนวทางการบริหารจัดการอย่างไร

### 4.3 แนวคิดพื้นฐานในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Basic Concepts of Reservoir Operation)

ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำโดยปกติแล้วจะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักรหรือที่เรียกว่าวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลด (Refilled-Drawdown Cycle) ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเวลา 1 ปี ยกเว้นในกรณีที่มีความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Capacity) มีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Streamflow) อย่างไรก็ตามระยะเวลาของวัฏจักรอาจเกิดติดต่อกันหลายปีโดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่แห้งแล้ง ในหลาย ๆ พื้นที่ของโลกพบว่าช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเพิ่ม (Refilled Period) (พิจารณาจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีมากกว่าปริมาณความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างส่วนเกินนี้จะถูกเก็บกักไว้ในอ่างสำหรับใช้ประโยชน์ต่อไป) และช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำลดลง (Drawdown Period) (พิจารณาจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่มีอยู่จะถูกดึงไปใช้ในกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ) จะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือ ในช่วงมรสุมปริมาณน้ำจะไหลเข้าอ่างในปริมาณมาก ในหลาย ๆ ประเทศพบว่าสัดส่วนปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมาจากการละลายของหิมะ ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจึงขึ้นอยู่กับผลการพยากรณ์ข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่น่าเชื่อถือได้เป็นสิ่งสำคัญ

โดยทั่วไปแล้วอ่างเก็บน้ำจะดำเนินการภายใต้เกณฑ์การปฏิบัติการ (Operation Rules) หรือเครื่องมือชี้แนวทางในการเก็บกักน้ำและปล่อยน้ำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการ การตัดสินใจปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในในเวลาใด ๆ ให้เหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่าง (Available Water) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Inflow) ปริมาณความต้องการน้ำ (Demand) และช่วงเวลาในปฏิบัติการ (Operating Time) ประกอบการพิจารณา เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบางประเภทพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของความรู้สึก (Intuition and Common Sense) ยกตัวอย่างเช่น การปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างที่พยายามจะจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ สูงสุดที่จำเป็นจะต้องลดหรือควบคุมให้เกิดการการสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ หรือในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการชลประทาน ผู้ปฏิบัติการอาจปล่อยน้ำเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดการขาดน้ำรุนแรงกับพืชบางชนิดและยอมให้เกิดความเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำกับพืชที่จะปลูกในอนาคต เป็นต้น

อ่างเก็บน้ำจำนวนมากยังออกแบบขึ้นมาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในหลาย ๆ ปีข้างหน้า ด้วยเหตุนี้ นโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจึงขึ้นอยู่กับเป้าหมายในระยะยาวที่ตั้งไว้ และการคาดการณ์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ (Water Availability) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระยะยาวในการวิเคราะห์ นอกจากนี้การคาดการณ์ปริมาณความต้องการน้ำในอนาคตยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อกำหนดการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในระยะยาวให้เหมาะสมนั่นเอง (Jain & Singh, 2003)

#### 4.3.1 การกำหนดแผนปฏิบัติการระยะยาว (Long-Term Planning Schedules)

แผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะยาวจะกำหนดขึ้นในขั้นตอนของการวางแผนงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อประเมินความเชื่อมั่นของโครงการทั้งในด้านผลกำไร ประเภทของโครงการ และการเพิ่มขึ้นของความต้องการน้ำในอนาคต แผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะยาวยังอาจพัฒนาขึ้นมาในช่วงของการขยายโครงการ เช่น มีการสร้างอ่างเก็บน้ำแห่งใหม่ในโครงการที่มีอยู่เดิม โดยอาจใช้ข้อมูลระยะยาวรายเดือนหรือรายปีมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อวางแผนปฏิบัติการดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น นำค่าเฉลี่ยรายปีของข้อมูลอัตราการระเหยมาใช้ประมาณค่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

#### 4.3.2 การกำหนดแผนปฏิบัติการอย่างเข้มงวด (Rigid Operation Schedules)

แผนปฏิบัติการอย่างเข้มงวดนับได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะในสถานการณ์เฉพาะหน้าที่ผู้ปฏิบัติการจะต้องตัดสินใจอย่างเร่งด่วนภายใต้ข้อมูลที่มีค่อนข้างน้อยหรือไม่มีเวลาเพียงพอที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นกับการจัดการอุทกภัย (Flood Management) ตัวอย่างของแผนปฏิบัติการอย่างเข้มงวดของอ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดียวในการบรรเทาอุทกภัยซึ่งออกแบบให้มีทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม (Ungated Spillway) จะกำหนดให้แนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสัมพันธ์กับโครงสร้างของทางระบายน้ำล้นทั้งในส่วนของระดับสันและขนาดของทางระบายน้ำล้น แผนปฏิบัติการอย่างเข้มงวดยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบให้มีทางระบายน้ำล้นแบบมีประตูควบคุม (Gated Spillway) ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติการที่ไม่มีความรู้ทางเทคนิคเลย โดยแผนปฏิบัติการมักกำหนดรายละเอียดของแนวทางปฏิบัติซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำหลากที่นำมาใช้การออกแบบ (Design Flood) หรือปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่เป็นไปได้ (Probable Maximum Flood) กับข้อมูลตรวจวัดจริงในขณะนั้นเช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ระดับน้ำในแม่น้ำทางด้านท้าย ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ผู้ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะสามารถตัดสินใจแก้ปัญหาในสถานการณ์เฉพาะหน้าได้อย่างทันท่วงทีโดยยึดแผนปฏิบัติการอย่างเข้มงวดเป็นหลักปฏิบัติ

#### 4.3.3 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy)

นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy, SOP) เป็นนโยบายที่ง่ายที่สุด บางครั้งอาจเรียกว่านโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบเชิงเส้นมาตรฐาน (Standard Linear Operating Policy, SLOP) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย (Target Demand) ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะถูกปล่อยไปใช้ทั้งหมด ในขณะที่หากปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีมากกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายแต่น้อยกว่าผลรวมของปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายและปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด จะทำการปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมาย สำหรับปริมาณน้ำส่วนเกินจะเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ และใน



กรณีที่ปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมายไปแล้ว แต่ไม่มีปริมาณอ่างมีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะเก็บกักน้ำส่วนเกินนี้ไว้ ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องปล่อยออกไปในท้ายที่สุด หรือสามารถเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (Jain & Singh, 2003)

$$S_w \leq T \quad ; \quad R = S_w \quad \text{-----(4.1)}$$

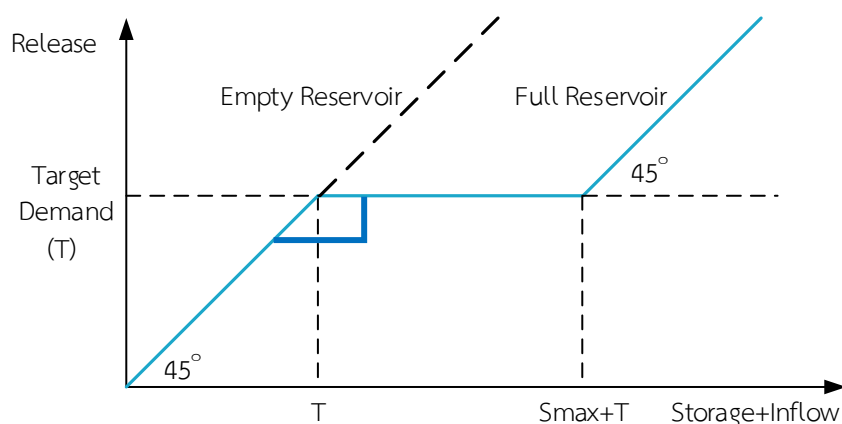
$$T \leq S_w \leq S_{\max} + T \quad ; \quad R = T \quad \text{-----(4.2)}$$

$$S_w > S_{\max} + T \quad ; \quad R = S_w - S_{\max} \quad \text{-----(4.3)}$$

เมื่อ  $S_w$  = ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ  
 $T$  = ความต้องการน้ำเป้าหมาย

จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจะค่อย ๆ ลดลงจากสมการการปล่อยน้ำที่ 4.1 และกลับมาเต็มอ่างอีกครั้งจากสมการการปล่อยน้ำที่ 4.3 ซึ่งโชนการปล่อยน้ำที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่างเส้นแสดงสถานะว่างและสถานะของน้ำเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำ อาจกล่าวได้ว่าการกำหนดการปล่อยน้ำใน ช่วงเวลาใด ๆ ด้วยนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐานจะไม่สัมพันธ์กับการกำหนดการปล่อยน้ำในช่วงเวลาอื่น ๆ เลย หรือเป็นแนวทางการปล่อยน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ถึงแม้ว่า นโยบายนี้จะถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐานไม่เหมาะสำหรับการปฏิบัติการระยะสั้นวันต่อวัน และอาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแนวทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ถ้าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำในขณะนั้นน้อยกว่าความต้องการน้ำในปัจจุบันและอีก 3 เดือนข้างหน้า ผู้ปฏิบัติงานอาจ จำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ลดลงจากความต้องการน้ำเป้าหมายเดิมในช่วงเวลาดังกล่าวได้ ทั้งนี้การจำกัด ปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ได้จะขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำในอ่างเก็บน้ำนั้น ๆ ด้วย หรืออาจกำหนดในลักษณะ เป็นระดับน้ำหลาย ๆ ชั้นโดยการนำเทคนิคการจำลองระบบมาประยุกต์ใช้เพื่อหาจำนวนชั้นระดับน้ำที่ เหมาะสมเพื่อจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยได้จากอ่างตามระดับน้ำเก็บกักที่มีในอ่างหรือเรียกว่า เกณฑ์การ จำกัดการปล่อยน้ำ (Rationing Rule) ดังแสดงในรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.1 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

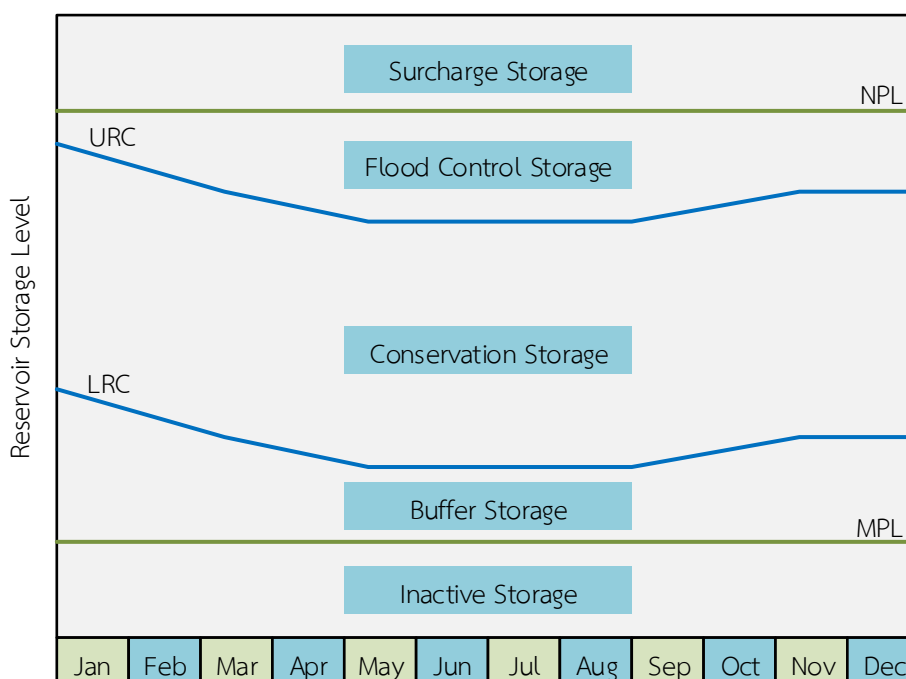
#### 4.4 โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve)

โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve) เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานซึ่งกำหนดระดับน้ำเก็บกักเป้าหมาย (Target Storage Level) สำหรับช่วยในการตัดสินใจปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำต่าง ๆ สูงสุด โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำปรากฏให้เห็นในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ระดับน้ำเก็บกักเทียบกับเวลา หรือปริมาณเก็บกักเทียบกับเวลา เป็นต้น อย่างไรก็ตามส่วนบนสุดของโซนเก็บกักใช้การจะถือว่าเป็นรูปแบบทั่วไปในการออกแบบโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Wurbs, 2005) Vudhivanich กล่าวว่า การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในปัจจุบันนิยมนำโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานที่ตั้งไว้ล่วงหน้ามาใช้ นอกจากนี้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำยังสร้างความเชื่อมั่นว่าน้ำในอ่างจะมีเพียงพอที่จะสนองตอบความต้องการในอนาคตตราบเท่าที่สภาพเงื่อนไขทางอุทกวิทยาไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Vudhivanich, 1986)

โดยทั่วไปแล้วโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสร้างขึ้นจากผลการศึกษาการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลที่ทำการศึกษาไว้ในอดีต หรือข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ รวมถึงสารสนเทศในช่วงวิกฤตมาใช้เป็นสำคัญ อาจกล่าวได้ว่าโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำพัฒนาขึ้นมาภายใต้ข้อสมมุติฐานที่อ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จนเป็นที่พึงพอใจโดยพยายามรักษาระดับน้ำเก็บกักเป้าหมาย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ให้สอดคล้องตามโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอาจจะพัฒนาขึ้นสำหรับใช้เพื่อวัตถุประสงค์การใช้ น้ำแต่ละประเภทโดยเฉพาะเช่น การอุปโภคบริโภค การชลประทาน การผลิตพลังงานไฟฟ้า และการควบคุมน้ำท่วม เป็นต้น

ส่วนประกอบที่สำคัญของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำประกอบด้วย เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) ซึ่งเส้นระดับเก็บกัก

น้ำสูงสุดเป็นเส้นระดับน้ำสูงสุดของอ่างเก็บน้ำที่ทำให้ความเสี่ยงต่อการมีปริมาณอ่างไม่เพียงพอที่จะรับน้ำนองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในขณะที่เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดหมายถึงเส้นระดับน้ำต่ำสุดที่ควรรักษาไว้เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการขาดแคลนในอนาคต หรือค่าความเสี่ยงดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยทั้งเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 อย่างไรก็ตามวิธีการสร้างโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่อาศัยองค์ความรู้และแนวคิดในการพัฒนาที่ค่อนข้างง่ายได้แก่ โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำได้ทั้งในลักษณะของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Probability Based Rule Curve) และโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาณเก็บกักว่างต่ำสุด (Minimum Vacancy Storage Requirement Rule Curve) โดยรายละเอียดและหลักการของทั้ง 2 วิธีได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 (อารียา ฤทธิมา, 2545)



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

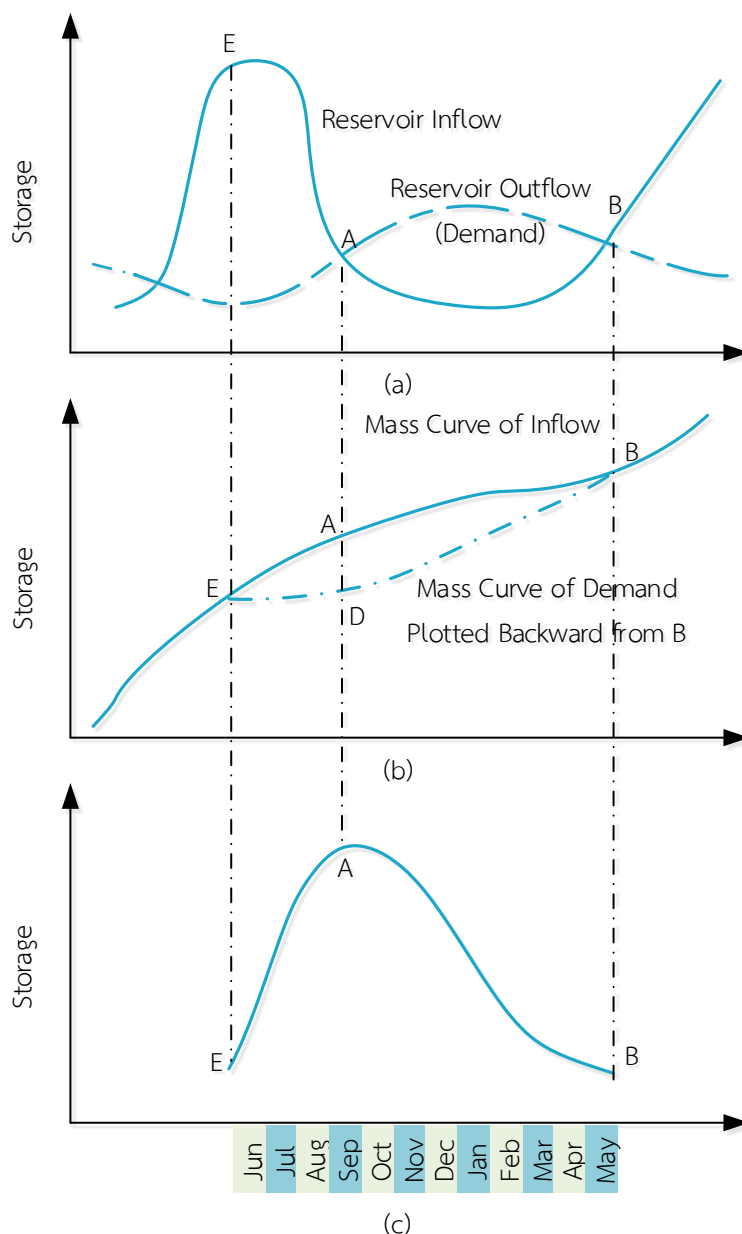
#### 4.4.1 หลักการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Concept of Rule Curve Derivation)

การพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับประเภทของอ่างเก็บน้ำและวัตถุประสงค์การใช้งานของโครงการ โดยปกติแล้วการจัดแบ่งประเภทอ่างเก็บน้ำอาจแบ่งได้เป็นอ่างเก็บน้ำแบบฤดูกาล (Seasonal Reservoir) ซึ่งสามารถผันน้ำไปใช้ได้ตลอดฤดูกาล และอ่างเก็บน้ำแบบรายปี (Multi-Annual Reservoir) ที่สามารถนำน้ำไปใช้จากอ่างเก็บน้ำได้หลายปีติดต่อกัน สำหรับอ่างเก็บน้ำแบบฤดูกาลเป็น

ลักษณะของการเก็บกักน้ำในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณมากไปใช้ประโยชน์ในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่อ่างเก็บน้ำแบบรายปีเป็นลักษณะของการเก็บกักน้ำในฤดูฝนไปใช้ประโยชน์ในช่วงฤดูแล้งในหลาย ๆ ปีติดต่อกัน และถ้าหากอ่างเก็บน้ำสามารถเก็บกักน้ำไว้ใช้ได้เพียงพอตลอดฤดูกาลโดยเฉพาะในปีวิกฤตก็จะเป็นการรับประกันได้ว่าน้ำในอ่างจะมีเพียงพอสำหรับใช้ในปีถัดไปอย่างแน่นอน

จากรูปที่ 4.3 (a) แสดงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Inflow) และปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างหรือปริมาณความต้องการน้ำ (Water Outflow/Demand) ในปีแล้งวิกฤต สมมุติว่าที่เวลา A มีน้ำในอ่างเต็ม และที่เวลา A-B ปริมาณความต้องการน้ำสูงกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ด้วยเหตุนี้ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งปริมาตรอ่างว่างที่เวลา B จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ช่วงเวลา A ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณความต้องการน้ำแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยมีค่าผลต่างสะสมสูงสุดที่จุด B ซึ่งค่าผลต่างนี้เป็นตัวกำหนดค่าความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ต้องการ (Required Storage Capacity) ในขณะที่โค้งสะสมของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Mass Curve of Inflow) และโค้งสะสมของปริมาณความต้องการน้ำ (Mass Curve of Demand) แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 (b) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ช่วงเวลา B ปริมาตรอ่างเก็บน้ำจะว่าง จากจุดนี้เมื่อพล็อตโค้งสะสมของปริมาณความต้องการน้ำย้อนกลับตามเวลาก็จะได้โค้ง BE โดยโค้งสะสม AB ของปริมาณความต้องการน้ำจะยืดแผ่ไปทางซ้ายมือ ที่ตำแหน่งจุดในแนวตั้ง EAB ของโค้งสะสมของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและตำแหน่ง EDB ของโค้งสะสมของปริมาณความต้องการน้ำบ่งบอกถึงขนาดของปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงเวลา E ถึง B ซึ่งตำแหน่งในแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 (c) และเรียกโค้งที่ได้ว่าโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve) ซึ่งนำเสนอการขาดน้ำสะสมจากข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในช่วงวิกฤต เนื่องจากโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลในปีแล้งวิกฤต ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยืนยันว่าปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างจะมีสูงกว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่กำหนดโดยโค้งเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ หรืออีกนัยหนึ่งคือความเสี่ยงในการปฏิบัติงานล้มเหลวจะน้อยมาก

จากแนวทางการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับรูปแบบของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในปีวิกฤต (Critical Year) ดังนั้นควรจะมีการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลในปีที่เข้าใกล้ปีวิกฤต (Near-Critical Year) ร่วมด้วย จากนั้นนำโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาได้มาพล็อตในกราฟเดียวกับโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากข้อมูลปีวิกฤต ซึ่งผลที่ได้อาจจะซ้อนทับกับในหลาย ๆ จุดก็ได้ หลังจากนั้นหาปรับโค้งให้เรียกก็จะได้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ต้องการ



รูปที่ 4.3 หลักการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการอนุรักษ์น้ำ  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

#### 4.4.2 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Operation of a Reservoir Using Rule Curves)

มีโอกาเป็นไปได้ในหลาย ๆ แนวทางหากนำโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำไปใช้ดำเนินการ กล่าวคือ หากระดับน้ำในอ่างที่เวลาใด ๆ สูงกว่าระดับเก็บกักน้ำเป้าหมายของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลานั้น ๆ ผู้ปฏิบัติงานสามารถปล่อยน้ำได้เพียงพอตามความต้องการ และเมื่อปริมาณเก็บกักที่มี

อยู่ในอ่างเข้าใกล้ระดับเก็บกักน้ำเป้าหมายของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ การปล่อยน้ำจะถูกจำกัดด้วยปริมาณน้ำที่มีอยู่เพื่อรักษาระดับน้ำเก็บกักในอ่างไม่ให้ต่ำกว่าระดับของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ และในบางช่วงเวลาหากระดับน้ำเก็บกักในอ่างต่ำกว่าระดับของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำค่อนข้างมาก จะลดปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างลงเพื่อรักษาปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายในอ่างตามโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้น

โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำยังบ่งบอกถึงระดับความสำคัญของวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการในระยะยาว อย่างไรก็ตาม โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ปฏิบัติงานในช่วงระยะสั้นเป็นแค่เครื่องมือชี้แนะแนวทางในการปฏิบัติงานเท่านั้น ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับเปลี่ยนแนวทางการปล่อยน้ำจริงเพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในระยะยาวได้สูงสุด ด้วยเหตุนี้แผนปฏิบัติการที่ดีจึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการตัดสินใจนอกเหนือจากประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเอง ทั้งนี้เพื่อกระจายน้ำส่วนเกินและการขาดน้ำในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลาอย่างเหมาะสม นอกจากนี้การตัดสินใจปล่อยน้ำอาจจะนำลำดับความสำคัญของกิจกรรมการใช้น้ำมาร่วมพิจารณา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างน้อย ในหลักการแล้วกิจกรรมการใช้น้ำที่มีความสำคัญสูงเท่านั้นจะได้รับน้ำก่อน

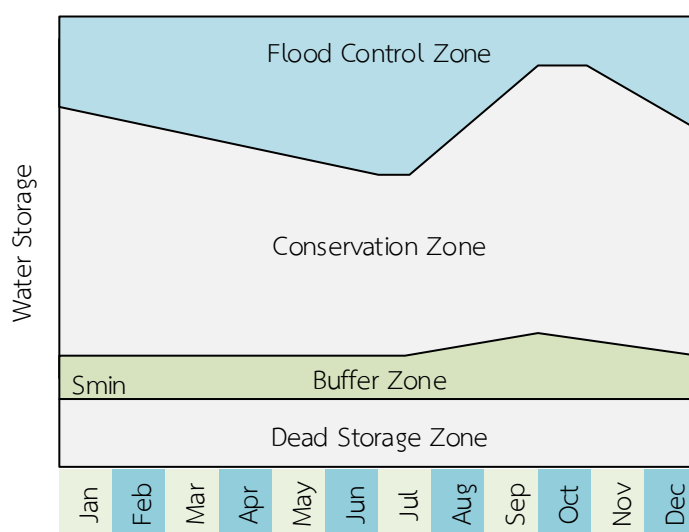
นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในหลาย ๆ รูปแบบเพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์น้ำที่แตกต่างกันเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ยกตัวอย่างเช่น พัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในปีน้ำปานกลาง (Normal Year) ซึ่งปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างในปีนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ยจากข้อมูลระยะยาว หรืออยู่ในช่วง  $\pm 20\%$  ของค่าเฉลี่ย หรือพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในปีน้ำน้อย (Dry Year) ซึ่งปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างต่ำกว่า 80% ของค่าเฉลี่ย หรือพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสำหรับใช้ในปีน้ำมาก (Wet Year) ซึ่งปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสูงกว่า 120% ของค่าเฉลี่ย สำหรับในสถานการณ์ที่สามารถพยากรณ์น้ำหลากได้อย่างแม่นยำ ควรมีการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในลักษณะแบบมีเงื่อนไข (Conditional Rule Curve) ขึ้น ซึ่งอาจแสดงในรูปของกราฟหรือตารางปฏิบัติการ หรือแสดงในรูปของสมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเก็บกักเป้าหมายในอ่างเก็บน้ำกับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างคาดการณ์ โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมีเงื่อนไขนี้อาจกำหนดขึ้นสำหรับใช้กับข้อมูลในปีน้ำมาก หรือปีน้ำน้อย หรือปีน้ำปานกลางก็ได้ หรือจะใช้กับข้อมูลทุกประเภทก็ได้

อย่างไรก็ตามมีหลายสาเหตุที่ทำให้บางช่วงเวลาไม่สามารถปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตามโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำได้เช่น ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้อย หรือในทางกลับกันปริมาณความต้องการน้ำน้อยมากจนไม่จำเป็นต้องปล่อยน้ำตามเงื่อนไขการปล่อยน้ำของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ การควบคุมระดับน้ำเก็บกักให้เป็นไปตามที่กำหนดโดยโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่างๆ นั้นสามารถทำได้โดยการจำกัดการปล่อยน้ำจากเดิมลงในช่วงที่ระดับน้ำเก็บกักมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อย ๆ ในทางกลับกันอาจเพิ่มปริมาณน้ำที่ปล่อยสูงขึ้นเมื่อระดับน้ำเก็บกักมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นนั่นเอง

โดยปกติแล้วโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำสร้างขึ้นจากข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณความต้องการน้ำในอดีต ซึ่งข้อมูลลักษณะดังกล่าวอาจจะไม่เกิดขึ้นซ้ำอีกในอนาคต ด้วยเหตุนี้จึงควรจะมีการปรับโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำให้มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลาปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ การพัฒนาแบบจำลองที่ดี อุปกรณ์พื้นฐานเพียงพอ และบุคลากรผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับการอบรมมาเป็นอย่างดี ตัวชี้วัดที่สำคัญในการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำให้มีประสิทธิภาพก็คือต้องสามารถรับมือหรือจัดการอ่างเก็บน้ำได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักมีจำกัดและจำเป็นต้องจัดสรรน้ำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ให้เพียงพอ

#### 4.4.3 แนวคิดในการแบ่งขอบเขตปริมาตรเก็บกัก (Concept of Storage Zoning)

แนวคิดในการจัดแบ่งขอบเขตปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำยังสามารถนำมาใช้กำหนดเป็นนโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำได้ด้วย ทั้งนี้จะอาศัยค่าระดับน้ำเป็นตัวกำหนดโดยขนาดของแต่ละโซนเก็บกักจะผันแปรตามเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.4 (Jain & Singh, 2003; Karamouz, et al., 2003)



รูปที่ 4.4 การแบ่งขอบเขตปริมาตรเก็บกักอ่างเก็บน้ำซึ่งผันแปรตามเวลาที่มา : Jain & Singh (2003)

ในระหว่างการปฏิบัติงานจริงผู้ปฏิบัติงานจะต้องควบคุมระดับน้ำเก็บกักในอ่างให้อยู่ในระดับเป้าหมายของแต่ละโซนเก็บกัก และใช้ประโยชน์ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ แนวคิดนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำค่อนข้างมาก และยังมียืดหยุ่นต่อการปฏิบัติงานจริงอีกด้วย โดยผู้ปฏิบัติงานจะอาศัยข้อมูลสถานการณ์ภาพของอ่างเก็บน้ำที่วิเคราะห์จากข้อมูลอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการพิจารณาในการจัดสรรน้ำจากอ่าง

หลักการทั่วไปของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยหลักการจัดแบ่งขอบเขตปริมาตรเก็บกักก็คือพยายามปล่อยน้ำให้มากที่สุดและเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่คำนึงถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นทางด้านท้ายน้ำเมื่อปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างอยู่ในโซนน้ำส่วนเกินที่จะต้องปล่อยให้ไหลล้นออกไป (Spilled Zone) และปล่อยน้ำในอัตราสูงสุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อทางท้ายน้ำเมื่อปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างอยู่ในโซนควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Zone) และพยายามรักษาปริมาณน้ำเก็บกักให้อยู่ที่ระดับสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ของโซนอนุรักษ์น้ำ (Conservation Zone) ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากโซนเก็บกักนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ และปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ ณ เวลานั้น นอกจากนี้การปล่อยน้ำรายวันอาจปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่ได้ทำการคาดการณ์ล่วงหน้าไว้รวมถึงปริมาณความต้องการน้ำในอนาคต เมื่อปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการ จำเป็นต้องจำกัดการปล่อยน้ำจากอ่างลงในลักษณะเดียวกันกับการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยไค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

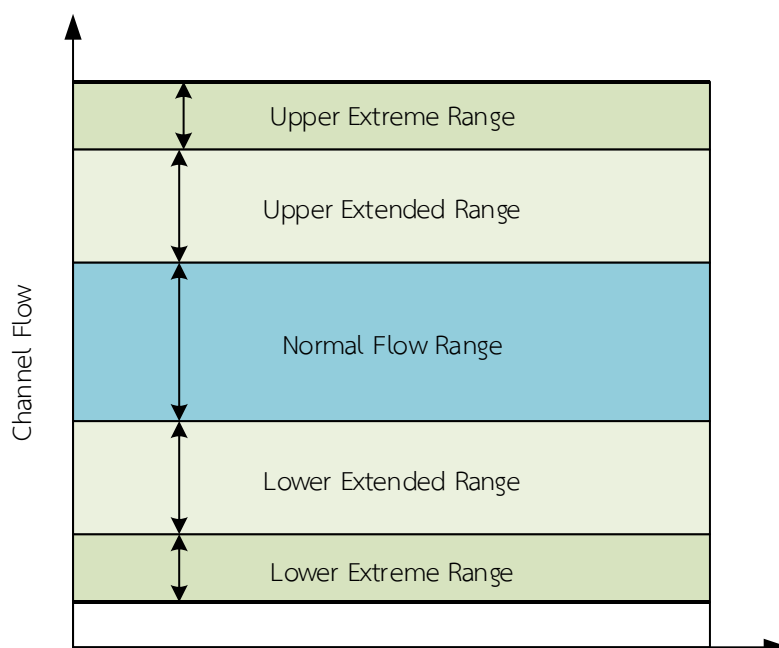
การจัดแบ่งโซนเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างพบว่าทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงานของแต่ละอ่าง นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งโซนย่อย ๆ ของโซนอนุรักษ์น้ำได้อีกเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงานมากยิ่งขึ้น ในระหว่างที่ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้งระบบจะต้องพยายามรักษาสมดุลของระดับน้ำเก็บกักของทุกอ่างเก็บน้ำ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือจะต้องรักษาระดับน้ำเก็บกักของทุกอ่างเก็บน้ำในระบบให้อยู่ในโซนเดียวกันเท่าที่จะเป็นไปได้ให้มากที่สุดทุก ๆ ช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังเหตุการณ์วิกฤตทั้งจากอุทกภัยและภัยแล้งที่จะต้องควบคุมปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบให้อยู่ในสภาวะสมดุลโดยเร็วที่สุด

แนวทางในการรักษาสมดุลของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างทั้งระบบสามารถทำได้ 3 วิธีหลักคือ (1) วิธีการแรกเรียกว่า “นโยบายแบบกำหนดบทบาทหน้าที่ของแต่ละอ่างเท่ากัน (Equal Function Policy)” หมายความว่าพยายามที่จะรักษาระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำทุกอ่างในระบบให้อยู่ในตำแหน่งโซนเก็บกักเดียวกัน เช่น อยู่ในระดับซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ปริมาตรว่างของโซนเก็บกักนั้นเท่ากันทุกอ่าง เป็นต้น (2) วิธีการที่สองเกี่ยวข้องกับแนวคิดในการจัดลำดับความสำคัญของอ่างเก็บน้ำ (Priority Concept) แต่ละอ่าง น้ำจากอ่างเก็บน้ำที่มีลำดับความสำคัญต่ำสุดจะถูกดึงมาใช้ก่อน ตามด้วยอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญสูงขึ้นมาเป็นลำดับ และ (3) วิธีที่สามเป็นนโยบายกักเก็บปริมาณน้ำในอ่างที่ต่างช่วงเวลา (Storage Lag Policy) ซึ่งเป็นลักษณะของการดึงน้ำจากอ่างเก็บน้ำบางอ่างมาใช้ก่อนจากนั้นจึงค่อยดึงน้ำจากอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ ที่หลังโดยพยายามรักษาเปอร์เซ็นต์ปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำให้อยู่ในโซนเก็บกักเดียวกันมากที่สุด

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมีเงื่อนไข (Conditional Operation Rules) ยังถูกนำมาใช้ควบคุมน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างกล่าวคือ กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่าง (Existing Reservoir Storage) และช่วงเวลาในรอบปี (Time) ตลอดจนยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ (Expected Inflow) ในช่วงเวลาถัดไป โดยทั่วไปแล้วมักแสดงอยู่ในรูปสมการความสัมพันธ์ ตารางปฏิบัติการ หรือแผนผังปฏิบัติการ เป็นต้น



ช่วงข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำ (Flow Range) ทางด้านท้ายของอ่างเก็บน้ำ อาจจะนำมาใช้กำหนดแนวทางในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำได้ด้วย Loucks และ Sigvaldason ในปี ค.ศ. 1980 ได้จัดแบ่งช่วงข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำ 3 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 4.5 ประกอบด้วย (1) ช่วงปริมาณน้ำในลำน้ำปกติ (Normal Flow Range) ในทางปฏิบัติแล้วควรรักษาปริมาณน้ำทางด้านท้ายน้ำให้อยู่ในช่วงนี้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ทราบเท่าที่อ่างเก็บน้ำทางตอนบนมีปริมาณน้ำเก็บกักเพียงพอ (2) ช่วงที่สองเป็นช่วงเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในลำน้ำ (Extended Flow Range) กล่าวคือเป็นช่วงที่สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในลำน้ำทางด้านท้ายอ่างให้มากขึ้นหรือลดลง ถ้าหากอ่างเก็บน้ำทางตอนบนมีปริมาณน้ำเก็บกักมากหรืออยู่ในระหว่างการควบคุมปริมาณน้ำหลากส่วนเกินก็สามารถเพิ่มปริมาณน้ำในลำน้ำทางด้านท้ายอ่างให้มากขึ้นได้ ในทางกลับกันหากอ่างเก็บน้ำทางตอนบนอยู่ในสถานการณ์วิกฤตน้ำน้อย ก็จำเป็นต้องลดปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำในลำน้ำทางด้านล่างน้อยลงไปด้วย และ (3) ช่วงสุดท้ายเป็นช่วงเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในลำน้ำสูงสุด (Extreme Flow Range) ซึ่งเป็นลักษณะของการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในลำน้ำสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้เมื่อสถานะของอ่างเก็บน้ำทางตอนบนอยู่ในโซนที่จะต้องปล่อยน้ำส่วนเกินออกไป หรืออยู่ในช่วงโซนเก็บกักไม่ใช้การ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมนักสำหรับผู้ปฏิบัติงานในการรักษาสมดุลของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างทั้งระบบ (Jain & Singh, 2003)



รูปที่ 4.5 ขอบเขตของปริมาณการไหลของน้ำในลำน้ำ  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

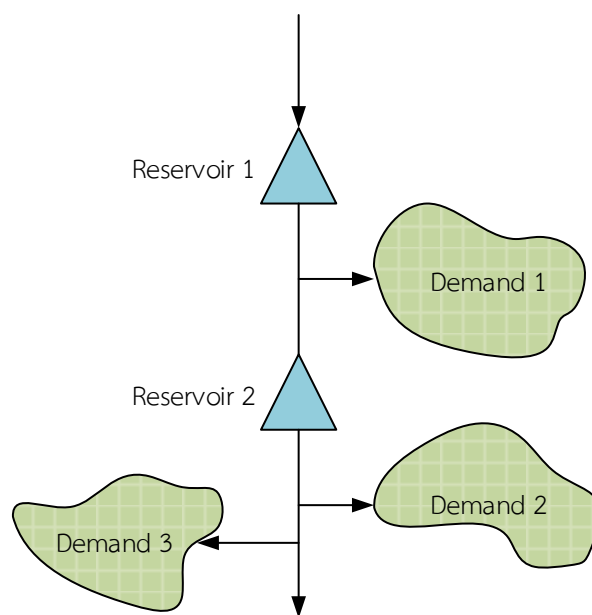


#### 4.5 การปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Operation of a Multi-Reservoir System)

เป็นที่ทราบกันดีว่าการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำร่วมกันของระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างนั้นให้ผลประโยชน์สูงกว่าการปฏิบัติการแยกอ่างเก็บน้ำเดี่ยว ด้วยเหตุนี้นโยบายการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นระบบอ่างเก็บน้ำที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม หรือแบบขนาน หรือผสมผสานกันทั้งสองแบบ มีแนวทางที่แตกต่างกันดังนี้

##### 4.5.1 ระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรม (Reservoirs in Series)

ระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรม (Reservoirs in Series) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 สามารถแยกองค์ประกอบที่สำคัญของระบบได้ดังนี้คือ สามารถผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำแรก (Reservoir 1) เพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำ D1 (Demand 1) ในขณะที่สามารถผันน้ำไปใช้ได้จากทั้งสองอ่าง (Reservoir 1 & Reservoir 2) เพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำ D2 (Demand 2) และ D3 (Demand 3) ซึ่งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรมทั้งในช่วงน้ำมากและน้ำน้อยเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1 (Jain & Singh, 2003)



รูปที่ 4.6 ระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรม

ที่มา : Jain & Singh (2003)

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรม

วัตถุประสงค์	ช่วงน้ำมาก (Refilled Period)	ช่วงน้ำน้อย (Drawdown Period)
อุปโภคบริโภค	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำตอนบนก่อน	ปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำตอนล่างก่อน
การควบคุมน้ำท่วม	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำตอนบนก่อน	ปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำตอนล่างก่อน
การเก็บกักพลังงาน	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำตอนบนก่อน	ปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำตอนล่างก่อน
การผลิตพลังงานไฟฟ้า	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำตอนบนเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำตอนล่างเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด
การท่องเที่ยว	-	กระจายการเก็บกักน้ำให้เพิ่มขึ้นทั้งระบบ

ที่มา : Jain &amp; Singh (2003)

จะเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำสามารถตอบสนองความต้องการน้ำต่าง ๆ ได้สูงสุดด้วยการลดปริมาณการปล่อยน้ำที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrolled Outflow) จากระบบลง นอกจากนี้ปริมาณน้ำส่วนเกินที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำตอนบนจะถูกเก็บกักไว้ที่อ่างเก็บน้ำทางตอนล่างอีกครั้ง ดังนั้นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำตอนบนจะเต็มอ่างก่อนเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ตามมาด้วยอ่างเก็บน้ำตอนล่าง ซึ่งกลยุทธ์นี้จะยังคงเก็บกักน้ำที่ไหลล้นอ่างจากทางด้านบนไว้ใช้ประโยชน์ในระบบโดยมีอ่างเก็บน้ำทางตอนล่างรับน้ำไว้

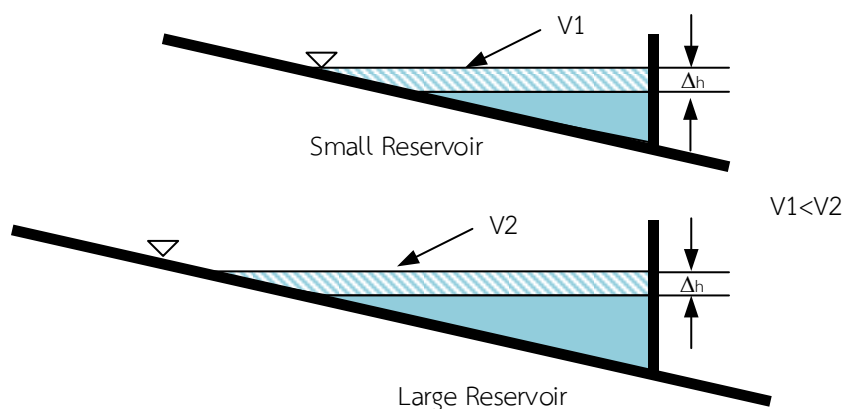
สำหรับในช่วงฤดูน้ำน้อยซึ่งปริมาณน้ำในลำน้ำธรรมชาติมีค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำพบว่า จำเป็นต้องปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำทางตอนล่างก่อน หลังจากนั้นเมื่อปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างล่างลดลงต่ำสุดจึงค่อยปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำทางตอนบนมาสมทบ อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจริงอาจไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้างต้นนี้ ยกตัวอย่างเช่น ลักษณะภูมิประเทศและระบบอ่างเก็บน้ำไม่เหมาะสม เป็นต้น ซึ่งการตอบสนองความต้องการน้ำในทุกกิจกรรมไม่สามารถกระทำได้นอกจากนี้ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยและการรั่วซึมของทุกอ่างเก็บน้ำในระบบควรนำมาพิจารณาด้วยหากดำเนินการปฏิบัติงานโดยใช้เกณฑ์ข้างต้นนี้

หากนำเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรมข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำในรูปที่ 4.6 พบว่า ปริมาณความต้องการน้ำ D1 (Demand 1) จะได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำแรก (อย่างไรก็ตามสามารถดึงน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่ 2 ได้โดยใช้ปั๊มน้ำสูบขึ้นมา) ในขณะที่ปริมาณความต้องการน้ำ D2 (Demand 2) และ D3 (Demand 3) จะได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่ 2 หากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ 2 มีไม่เพียงพอ จะปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำแรกมาใช้แทน โดยสมมุติว่ามีน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ 1 เพียงพอ เกณฑ์ดังกล่าวนี้เป็นการรับประกันว่าปริมาณน้ำที่ไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำที่ 2 เกิดขึ้นน้อยที่สุดในขณะเดียวกันปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างจากอ่างเก็บน้ำที่ 1 จะถูกเก็บกักไว้อีกครั้งในระบบโดยอ่างเก็บน้ำที่ 2 ทำหน้าที่รับน้ำดังกล่าวไว้

#### 4.5.2 ระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Reservoirs)

น้ำที่เก็บกักไว้ในระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น นอกเหนือจากจะต้องมีปริมาณเพียงพอเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำต่าง ๆ แล้ว ระดับน้ำเก็บกักในอ่างยังต้องมีเฮดน้ำเพียงพอที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย ในระหว่างฤดูน้ำหลาก (Refilled Period) จะพบว่าเป้าหมายหลักของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำก็คือความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้จนกระทั่งสิ้นสุดฤดูกาล โดยทั่วไปแล้วศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของอ่างเก็บน้ำที่ตั้งอยู่ทางตอนบนจะสูงกว่าอ่างเก็บน้ำซึ่งตั้งอยู่ทางตอนล่าง ด้วยเหตุนี้อ่างเก็บน้ำทางด้านบนของระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรมจะต้องมีปริมาณน้ำเก็บกักเต็มอ่างก่อน และเมื่อปล่อยน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำด้านบนแล้ว น้ำที่ปล่อยจะถูกเก็บกักไว้ที่อ่างเก็บน้ำด้านล่างเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง ซึ่งแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำดังกล่าวนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในช่วงที่มีปริมาณน้ำส่วนเกินซึ่งจำเป็นจะต้องปล่อยน้ำมาเก็บกักไว้ในอ่างล่างอีกด้วย นอกจากนี้ยังต้องตรวจสอบแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของแต่ละกิจกรรมการใช้ว่ามีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น การเก็บกักน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ทางด้านทำนน้ำและการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกันที่จำเป็นต้องรักษาระดับน้ำเก็บกักให้สูงที่สุด ในขณะที่แนวทางดังกล่าวมีลักษณะขัดแย้งกับวัตถุประสงค์ในการบรรเทาน้ำท่วมที่จะต้องรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำส่วนหนึ่งไว้

สำหรับในช่วงน้ำน้อย (Drawdown Period) วัตถุประสงค์หลักในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำก็คือการหาค่าผลผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุดตามปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ซึ่งมีค่อนข้างน้อยในช่วงดังกล่าวเป็นที่ทราบกันดีว่าระบบอ่างเก็บน้ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดก็ต่อเมื่อทุกอ่างเก็บน้ำในระบบมีเฮดน้ำสูงสุด อย่างไรก็ตามหากปริมาณน้ำเก็บกักในระบบอ่างเก็บน้ำมีจำกัด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดแนวทางการจัดสรรน้ำทั้งระบบให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องเช่น ปริมาณน้ำเก็บกัก (Storage) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Inflow) กำลังผลิตติดตั้ง (Installed Capacity) และประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า (Efficiency of Power Plants) เป็นข้อสังเกตว่าอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กนั้นจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของเฮดน้ำต่อปริมาณน้ำเก็บกักที่เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยสูงกว่าอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เนื่องจากพื้นที่ผิวอ่างมีขนาดใหญ่ ในขณะที่กำหนดปัจจัยอื่น ๆ เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จะพบว่าปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างที่ทำให้เฮดน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วยของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหรือ V1 มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่ทำให้เฮดน้ำเพิ่มขึ้น 1 หน่วยของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ V2



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณน้ำเก็บกักที่ต้องการเพื่อเพิ่มเฮดน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

ที่มา : Lund & Guzman (1999)

ตามที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วถึงตัวแปรที่สำคัญในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดความเหมาะสมและลำดับความสำคัญของอ่างเก็บน้ำในระบบเช่น หากสามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในระบบอ่างเก็บน้ำได้อีก ก็ควรจะเก็บกักน้ำส่วนนั้นไว้ในอ่างที่มีกำลังผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดก่อน Lund และ Guzman ได้นำเสนอตัวชี้วัดซึ่งใช้สำหรับจัดลำดับความสำคัญของอ่างเก็บน้ำไว้ดังต่อไปนี้ (Lund & Guzman, 1999)

$$V_i = a_i \eta_i \left( \sum_{j=1}^i I_j \right) \quad \text{-----(4.4)}$$

- เมื่อ  $V_i$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักในอ่าง 1 หน่วย  
 $a$  = การเปลี่ยนแปลงเฮดน้ำ 1 หน่วยต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกัก 1 หน่วย  
 $\eta_i$  = ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของทุกอ่างเก็บน้ำ  $i$  ในระบบ  
 $I_j$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณน้ำที่ปล่อยเข้ามายังอ่างเก็บน้ำ  $j$   
 $\sum_{j=1}^i I_j$  = ผลรวมของ  $I_j$  ทุกอ่างเก็บน้ำที่อยู่เหนืออ่างเก็บน้ำ  $i$

อ่างเก็บน้ำในระบบจะถูกจัดลำดับความสำคัญตามค่า  $V_i$  ซึ่งจะต้องเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักไว้ในอ่างที่มีค่า  $V_i$  สูงสุดก่อนและตามด้วยอ่างเก็บน้ำลำดับถัดมา นอกจากนี้ USACE ยังได้พัฒนาดัชนีวัดประสิทธิภาพของปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ได้ (Storage Effectiveness Index) ในปี ค.ศ. 1985 ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

ดัชนีวัดประสิทธิภาพของปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่จะผลิตได้จากระบบอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำน้อย (Drawdown Period) ซึ่งจะทำการคำนวณค่าดัชนีทุก ๆ ช่วงเวลาที่พิจารณา (Time Step) โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ รวมถึงข้อมูลปริมาณความต้องการไฟฟ้า ณ ช่วงเวลานั้นและช่วงเวลาที่เหลืออยู่ในช่วงฤดูน้ำน้อย อย่างไรก็ตาม Lund และ Guzman ได้สรุปขั้นตอนในการคำนวณค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพของปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่แน่นอน (Firm Energy Requirement) ของช่วงเวลาปัจจุบัน ( $E_f$ )

ขั้นตอนที่ 2 : ประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีค่าน้อยจนทำให้มีเฮดน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่เพียงพอที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้า

$$S_f = E_f - 720 \sum_{i=1}^n I_{U_i} H_i (S_i) \eta_i \quad \text{-----}(4.5)$$

เมื่อ  $S_f$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงในช่วงเวลาปัจจุบัน ซึ่งคิดต่อ 1 เดือนเท่ากับ 720 ชั่วโมง (kW-hr)

$I_{U_i}$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทางตอนบนของอ่างเก็บน้ำ  $i$  ในช่วงเวลาปัจจุบัน (cms)

$H_i$  = เฮดน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (m) ของอ่างเก็บน้ำ  $i$  ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงเวลาปัจจุบัน  $S_i$

จากสมการที่ 4.5 สมมุติว่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 3 : ปริมาณน้ำที่ต้องเก็บกักเพิ่มของแต่ละอ่างเก็บน้ำเพื่อค่อย ๆ ลดการลดลง ( $\Delta S_i$ ) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$\Delta S_i = \frac{S_f}{(720 \times H_i \eta_i)} \quad \text{-----}(4.6)$$

เมื่อ  $H_i$  เป็นเฮดน้ำเฉลี่ยในขณะที่ปล่อยน้ำจากอ่างในปริมาณเท่ากับ  $\Delta S_i$

ขั้นตอนที่ 4 : การลดลงของพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้ (Energy Loss) ของแต่ละอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาอื่น ๆ นอกเหนือฤดูน้ำน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ปล่อย  $\Delta S_i$  ในช่วงเวลาที่พิจารณา

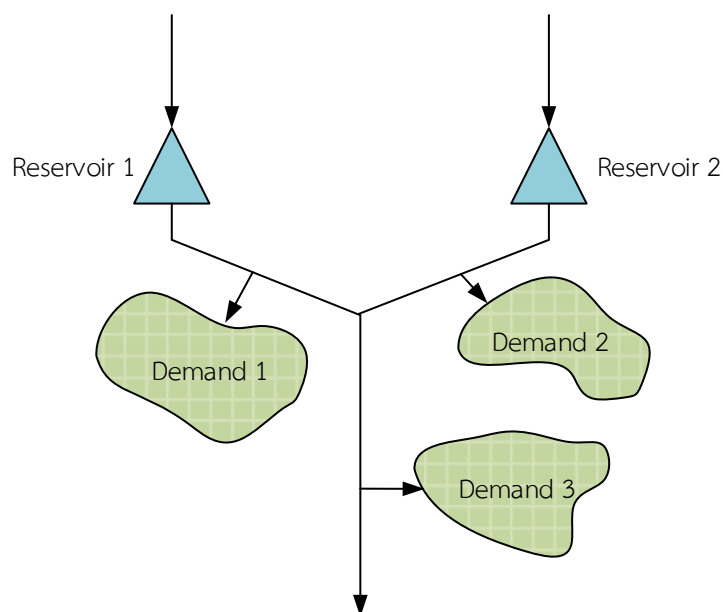
ขั้นตอนที่ 5 : สัดส่วนประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำ (SER) ของอ่างเก็บน้ำ  $i$  ประมาณค่าได้จากสมการดังนี้

$$SER_i = \frac{E_{Li}}{S_f} \text{-----(4.7)}$$

เมื่อ  $E_{Li}$  คือการลดลงของพลังงานไฟฟ้าในช่วงฤดูน้ำน้อยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ  $i$  ที่ลดลง  $\Delta S_i$  อ่างเก็บน้ำใดในระบบอ่างเก็บน้ำมีค่าดัชนีประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำต่ำสุดจะดึงน้ำจากอ่างเก็บน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์ก่อน

#### 4.5.3 ระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน (Reservoirs in Parallel)

ลักษณะของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน (Reservoirs in Parallel) อย่างง่ายแสดงไว้ในรูปที่ 4.8 ซึ่งประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำ 2 อ่าง ซึ่งตั้งอยู่บนลำน้ำที่เชื่อมโยงกันแบบขนานก่อนที่จะไหลรวมกันทางตอนล่าง ซึ่งอ่างเก็บน้ำ 1 (Reservoir 1) และอ่างเก็บน้ำ 2 (Reservoir 2) จะจัดสรรน้ำไปใช้สำหรับตอบสนองความต้องการน้ำ  $D1$  (Demand 1) และ  $D2$  (Demand 2) ตามลำดับ นอกจากนี้อาจจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำใดอ่างเก็บน้ำหนึ่ง หรือทั้งสองอ่างเก็บน้ำไปใช้สำหรับความต้องการน้ำ  $D3$  (Demand 3) ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานกับแบบอนุกรมที่กล่าวมาแล้วข้างต้นก็คือ การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำตอนบนจะไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้อีกที่อ่างเก็บน้ำทางตอนล่าง ดังนั้นการสร้างสมดุลในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติการของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.8 ระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั่วไปของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน

วัตถุประสงค์	ช่วงน้ำมาก (Refilled Period)	ช่วงน้ำน้อย (Drawdown Period)
อุปโภคบริโภค	กระจายโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดการไหลล้นอ่างทั้งระบบ	กระจายโอกาสความน่าจะเป็นที่อ่างเก็บน้ำจะมีปริมาตรว่างทั้งระบบ
การควบคุมน้ำท่วม	รักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อรองรับปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่	-
การเก็บกักพลังงาน	กระจายค่าความคาดหวังของการสูญเสียพลังงานของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบ	ในช่วงเวลาสิ้นสุดต้องกระจายค่าความคาดหวังของการสูญเสียพลังงานของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบ
การผลิตพลังงานไฟฟ้า	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยของน้ำสูงสุด	เก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยของน้ำสูงสุด
การท่องเที่ยว	กระจายการเก็บกักน้ำให้เพิ่มขึ้นทั้งระบบ	กระจายการเก็บกักน้ำให้เพิ่มขึ้นทั้งระบบ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

แนวทางในการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานทั่วไปพบว่า จะปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดพื้นที่รับน้ำ (Drainage Area) ใหญ่กว่าก่อน หรือมีศักยภาพของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างต่อหนึ่งหน่วยความจุเก็บกักของอ่างสูงกว่า ด้วยเหตุนี้สัดส่วนระหว่างพื้นที่รับน้ำต่อปริมาตรความจุเก็บกักของอ่างของทั้งสองอ่างเก็บน้ำจะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน โดยสมมุติว่าปริมาณน้ำท่าต่อพื้นที่รับน้ำ 1 หน่วยมีค่า

เท่ากัน นอกจากนี้อ่างเก็บน้ำที่มีค่าสัดส่วนนี้สูงกว่าจะถูกแนะนำให้จัดหาน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำ D3 (Demand 3) ก่อนอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ อีกด้วย

เกณฑ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ปฏิบัติงานกับระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานโดยมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อลดปริมาณการขาดน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ซึ่งเกณฑ์เหล่านี้อาจอธิบายแนวคิดในการปล่อยน้ำ หรือแสดงในรูปของระดับน้ำเก็บกักเป้าหมายของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบเพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์ที่อ่างเก็บน้ำหนึ่งมีน้ำเต็มอ่างหรือจำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินผ่านทางระบายน้ำล้นออกไป ในขณะที่อีกอ่างเก็บน้ำหนึ่งมีปริมาตรอ่างว่าง นอกจากนี้ยังสามารถลดความรุนแรงของการขาดน้ำในระบบให้น้อยลงได้ด้วยการควบคุมของปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดสำหรับเก็บกักน้ำบางส่วนไว้ใช้ในระบบนั่นเอง

#### (1) เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเมืองนิวยอร์ก (New York City Rules)

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเมืองนิวยอร์ก (New York City Rules, NYC) นำมาใช้ปฏิบัติงานสำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานซึ่งมีความต้องการน้ำทางท้ายน้ำร่วมกัน โดยเริ่มแรก Clark ได้นำเกณฑ์นี้มาใช้ในการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำในเมืองนิวยอร์กในปี ค.ศ. 1950 ซึ่งแนวทางในการปฏิบัติงานนั้นเป็นความพยายามที่จะเก็บกักน้ำของแต่ละลุ่มน้ำและทุก ๆ ช่วงเวลาให้มีปริมาณน้ำเก็บกักใกล้เคียงกันทุก ๆ ปี นอกจากนี้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำยังช่วยลดปริมาณการขาดน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลโอกาสความน่าจะเป็นของการไหลล้นอ่าง (Probability of Spill) มาร่วมพิจารณาด้วย Clark ให้ข้อสังเกตว่าการลดปริมาณการไหลล้นอ่างให้น้อยลงมากที่สุดนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของการไหลล้นอ่างในช่วงสิ้นสุดฤดูน้ำหลากของทุกอ่างเก็บน้ำมีค่าเท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่าปริมาณการขาดน้ำจะเกิดขึ้นน้อยสุดก็ต่อเมื่อปริมาณน้ำไหลล้นอ่างน้อยที่สุดนั่นเอง

การนำเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเมืองนิวยอร์กมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ความถูกต้องของการพยากรณ์ยังจะช่วยลดปริมาณน้ำส่วนเกินที่ปล่อยให้ไหลล้นอ่างไปได้ อย่างไรก็ตามระดับของความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอาจจะไม่สำคัญมากนักในช่วงเริ่มต้นฤดูน้ำหลาก เนื่องจากสามารถประมาณการและปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ปล่อยใหม่ทุก ๆ ช่วงเวลา อย่างไรก็ตามระดับความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างต้องสูงขึ้นก่อนช่วงเวลาสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก เกณฑ์การปฏิบัติงานประเภทนี้เหมาะกับอ่างเก็บน้ำที่ปริมาณน้ำเก็บกักผันแปรในรูปแบบต่าง ๆ และลักษณะทางกายภาพของระบบแตกต่างกัน นอกจากนี้ความเหมาะสมของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation) ของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำรายเดือนเฉลี่ย และความถูกต้องของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำใกล้เคียง



รูปแบบทั่วไปของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเมืองนิวยอร์กเกี่ยวข้องกับโอกาสความน่าจะเป็นที่เกิดการไหลล้นอ่างในช่วงสิ้นสุดฤดูน้ำหลากโดยคิดจากปริมาณน้ำเก็บกัก 1 หน่วยของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

$$h_i \text{ Prob}[C_i \geq K_i - S_{fi}] = \lambda \quad ; \text{ for all } i \quad \text{-----}(4.8)$$

- เมื่อ  $h_i$  = ปริมาณน้ำเก็บกัก 1 หน่วยของอ่างเก็บน้ำ  $i$   
 $C_i$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสะสมของอ่างเก็บน้ำ  $i$  จากช่วงเวลาสิ้นสุดปัจจุบันถึงช่วงสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก  
 $K_i$  = ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ  $i$  โดยสมมุติว่ามีค่าเท่ากันทุก ๆ ช่วงเวลา  
 $S_{fi}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาสิ้นสุดปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ  $i$   
 $\lambda$  = ค่าคงที่ของทุกอ่างเก็บน้ำในระบบ

หากกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักของทุกอ่างเก็บน้ำในระบบมีค่าเท่ากัน ค่า  $h_i$  จะสัมพันธ์กับค่าคงที่  $\lambda$  ในสมการที่ 4.8 และโดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่ตรวจวัดในอดีตจะนำมาใช้ประมาณค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสะสม ปริมาณการปล่อยน้ำในช่วงเวลาปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำใด ๆ จะพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น (Initial Storage) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ (Expected Inflow) และปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่ช่วงเวลาสิ้นสุด (End of Period Storage) ตามสมการที่ 4.8 ซึ่งผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดจะต้องเท่ากับเป้าหมายการปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านท้ายน้ำ ถ้าอ่างเก็บน้ำนั้นสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะต้องกำหนดค่าโอกาสความน่าจะเป็นของการไหลล้นอ่างให้มีค่าเท่ากันทุกอ่างเก็บน้ำด้วย

## (2) เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Rules)

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Rules) ให้ได้คงที่สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานนั้น จำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำ  $j$  ซึ่งคำนวณได้จาก

$$V_j = \eta_j a_j \quad \text{-----}(4.9)$$

โดยที่  $j$  เป็นลำดับของอ่างเก็บน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน ถ้าอ่างเก็บน้ำใดมีค่า  $V_j$  ต่ำสุด จะปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำนั้นก่อน ในทางตรงกันข้ามอ่างเก็บน้ำใดมีค่า  $V_j$  สูงสุดจะพยายามเก็บกักน้ำไว้ในอ่างนั้นให้มากที่สุด (Lund & Guzman, 1999)

### (3) เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules)

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules) พัฒนาโดย Maass และคณะในปี ค.ศ.1962 ซึ่งเป็นลักษณะของการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ให้มีขนาดเพียงพอหรือมากกว่าปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างคาดการณ์ หรือหากเป็นอ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งนอกเหนือจากจะต้องสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ให้เพียงพอกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างแล้ว ยังต้องคำนึงถึงศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุดอีกด้วย นอกจากนี้ เกณฑ์การปฏิบัติงานนี้ยังพยายามที่จะลดปริมาณน้ำส่วนเกินที่ปล่อยให้ไหลล้นอ่างไปให้ได้มากที่สุด และหลีกเลี่ยงสถานการณ์ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างที่ไม่มีประสิทธิภาพเช่น อ่างเก็บน้ำหนึ่งมีน้ำเต็มอ่างและจำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินทิ้งไป ในขณะที่อ่างเก็บน้ำอื่น ๆ มีปริมาตรอ่างเก็บน้ำว่าง ด้วยเหตุนี้การลดหรือจำกัดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างให้น้อยลงมากที่สุดจึงเป็นตัวบ่งบอกว่าเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างมีความเหมาะสมในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูน้ำมากของระบบ นอกจากนี้การเฝ้าติดตามปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างและคาดการณ์ค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในอนาคตยังเป็นสิ่งจำเป็น

เมื่อนำเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างมาใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าโอกาสความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำจะกลับมาเพิ่มอีกครั้งหลังสิ้นสุดวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดในระบบเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจ ในบางสถานการณ์อ่างเก็บน้ำทุกอ่างในระบบอาจจะอยู่ในสถานะของน้ำเต็มอ่างและจำเป็นต้องปล่อยน้ำส่วนเกินไหลล้นออกไปพร้อม ๆ กัน หรือมีน้ำเต็มอ่างแต่ไม่มีการปล่อยน้ำส่วนเกินทิ้ง หรืออาจจะมีน้ำใกล้เต็มอ่าง ด้วยเหตุนี้หลักการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำในระบบจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ โดยมีรูปสมการทางคณิตศาสตร์ของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างดังนี้

$$\frac{S_{\max j} - S_{jt} - I_{jt} + R_{jt}}{\sum_j (S_{\max j} - S_{jt} - I_{jt}) + R_T} = \frac{I_{j,n-t}}{\sum_j I_{j,n-t}} \quad \text{-----(4.10)}$$

เมื่อ  $S_{\max j}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ  $j$  จากจำนวนทั้งหมด  $m$  อ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน

- $S_{ijt}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$  จากจำนวนทั้งหมด  $n$  เดือน  
 $I_{jt}$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$   
 $R_{jt}$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$   
 $R_T$  = ผลรวมทั้งหมดของปริมาณน้ำที่จะต้องปล่อยตามเป้าหมาย  
 $I_{j,n-t}$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ  $j$  คาดการณ์สำหรับในช่วงเวลา  $n-t$  ในวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ

เมื่อแก้สมการที่ 4.10 จะได้สมการเพื่อหาปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ  $j$  ในเดือนที่  $t$  ( $R_{jt}$ ) ได้ดังนี้

$$R_{jt} = \left[ \sum_j^m (S_{\max j} - S_{ijt} - I_{jt}) + R_T \right] \times [I_{j,n-t} / \sum_j^m I_{j,n-t}] + S_{ijt} + I_{jt} - S_{\max j}$$

$$; 0 < R_{jt} < (S_{ijt} + I_{jt}) \quad \text{-----}(4.11)$$

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างมีประโยชน์อย่างมากกับระบบที่สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างได้ถูกต้องและมีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบนี้ยังอาจจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำรายเดือนเฉลี่ย หรือแม้กระทั่งปริมาณน้ำในลำน้ำใกล้เคียง ถึงแม้ว่าเกณฑ์ดังกล่าวนี้พยายามที่จะลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างลงให้เหลือน้อยที่สุดในช่วงเวลาถัดไปของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามก็ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างลงให้เหลือน้อยที่สุดได้หากผลการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ยังจะต้องประมาณการปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายทั้งหมดอีกด้วย ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการใช้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างในการกำหนดการปล่อยน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน (Jain & Singh, 2003)

**ตัวอย่างที่ 4.1** ทำการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ 2 อ่างซึ่งเชื่อมต่อกันแบบขนานเพื่อนำไปใช้ในการชลประทานในแต่ละเดือนโดยมีปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายเท่ากับ  $400 \times 10^3$  ลูกบาศก์เมตร กำหนดให้ไม่มีปริมาณน้ำไหลเข้าทางตอนล่างของอ่างเก็บน้ำก่อนถึงจุดผันน้ำไปใช้เพื่อการชลประทานใด ๆ เลย และข้อมูลสำคัญอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ให้หาปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำแต่ละอ่าง

ตารางที่ 4.3 การหาค่าปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างโดยใช้เกณฑ์การปฏิบัติงานแบบสำรองปริมาตรว่าง

แถว	รายละเอียดสำคัญ	อ่างเก็บน้ำ 1 ( $10^3 \text{ m}^3$ )	อ่างเก็บน้ำ 2 ( $10^3 \text{ m}^3$ )	อ่างเก็บน้ำทั้งหมด ( $10^3 \text{ m}^3$ )
A	ความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ	200	2,000	2,200
B	ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาเริ่มต้นเดือน	100	1,000	1,100
C	ปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลาเริ่มต้นเดือน (A-B)	100	1,000	1,100
D	ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างระหว่างเดือน	50	500	550
E	เป้าหมายการปล่อยน้ำเพื่อการชลประทานทั้งหมดในเดือนปัจจุบัน	คำนวณหา		400
F	ปริมาตรว่างทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำที่จะต้องสำรองไว้ที่ช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบัน (C-D+E)	คำนวณหา		950
G	ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ตั้งแต่ช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบันถึงช่วงสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก	100	1,000	1,100
H	สัดส่วนปริมาตรว่างที่ต้องการที่ช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบัน	100/1,100	1,000/1,100	1
I	การจัดสรรปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำที่ช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบัน (F×H)	86.4	863.6	950
J	ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบัน (A-I)	113.6	1,136.4	1,250
K	ปริมาณน้ำที่ปล่อยของแต่ละอ่างในเดือนปัจจุบัน (B+D-J)	36.4	363.6	400

ที่มา : Jain & Singh (2003)

**วิธีทำ** ผลการคำนวณโดยใช้สมการที่ 4.11 แสดงไว้ในตาราง 4.3 ข้างต้น โดยปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ 1 มีค่าเท่ากับ  $36.4 \times 10^3$  ลูกบาศก์เมตร และจากอ่างเก็บน้ำ 2 เท่ากับ  $363.6 \times 10^3$  ลูกบาศก์เมตร เพื่อนำไปใช้เพื่อการชลประทานทางท้ายน้ำร่วมกันเท่ากับ  $400 \times 10^3$  ลูกบาศก์เมตร ซึ่งการปล่อยน้ำจากแต่ละอ่างอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ล่วงหน้า

นอกจากนี้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่างยังสามารถนำมาปรับใช้ได้ในการปล่อยน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมของระบบอ่างเก็บน้ำ และสามารถประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อให้บรรลุมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุดด้วยการลดปริมาณน้ำไหลล้นอ่างลงให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการปฏิบัติการโดยสามารถเพิ่มการปล่อยน้ำเพื่อสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำได้ตั้งแต่ช่วงสิ้นสุดวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ

## (4) เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack (Pack Rules)

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack (Pack Rules) พัฒนาขึ้นโดย Maass และคณะในปี ค.ศ. 1962 เช่นเดียวกัน โดยอาศัยข้อมูลพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างล่งหน้าในช่วงเวลา 2-3 เดือน ถัดไปของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลด และพยายามหลีกเลี่ยงการปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างโดยผ่านอาคารระบายน้ำ ล้นออกไป ด้วยการค่อย ๆ เพิ่มปริมาณการปล่อยน้ำจากเดิมที่เวลาปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ปริมาณน้ำไหลล้น อ่างคาดการณ์ในอนาคตจึงถูกจำกัดให้น้อยลงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตามเกณฑ์การปฏิบัติงานนี้ดังแสดงใน สมการ

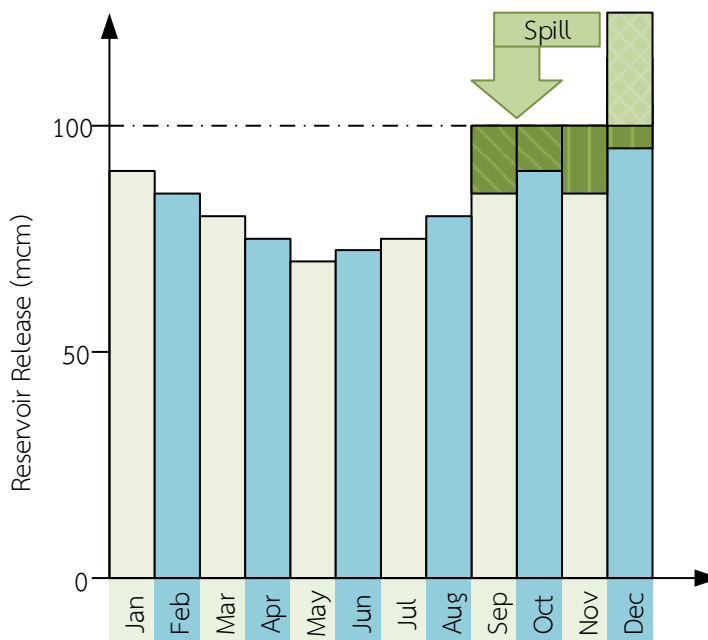
$$R_D = I_{n-t} - (S_{\max} - S_{Tt}) - P_{n-t} \quad \text{-----}(4.12)$$

- เมื่อ  $R_D$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพิ่มขึ้นในเดือนปัจจุบัน  $t$  สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า  
สำรอง
- $I_{n-t}$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคาดการณ์ที่เวลาล่งหน้า  $n-t$  เดือนของ  
วัฏจักรน้ำลด-น้ำเพิ่มของอ่างเก็บน้ำ
- $S_{\max}$  = ความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ
- $S_{Tt}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงสิ้นสุดเดือนปัจจุบัน  $t$  หลังจากมี  
ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างและทำการปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว
- $P_{n-t}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักสำหรับใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เวลาล่งหน้า  $n-t$   
เดือนของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำ

ถ้าหากค่าในสมการทางด้านขวามือติดลบ ค่า  $R_D$  จะเท่ากับ 0 นอกจากนี้ค่าในสมการยังขึ้นอยู่กับข้อจำกัด  $P_C \geq R_D \leq S_{Tt}$  ซึ่ง  $P_C$  เป็นปริมาณน้ำเก็บกักสำหรับใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในเดือนปัจจุบันหลังจากปล่อยน้ำผ่านกังหันน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack สามารถประยุกต์ใช้ได้ในเรื่องที่ต้องการปล่อยน้ำเกินปริมาณความต้องการที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งกำหนดให้วัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นในเดือนมกราคมและสิ้นสุดในเดือนธันวาคม เมื่อใช้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack พบว่าจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรอง (Secondary Energy) ได้ในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมตามที่แรงแง หากในช่วงสิ้นสุดเดือนสุดท้ายของวัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลดของอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำที่จะไหลล้นอ่างส่วนเกินตามที่แรงแงก็สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรองเพิ่มเติม (Additional Secondary Energy) ได้ด้วยการปล่อยน้ำเพิ่มตั้งแต่ช่วงเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมล่งหน้า หรืออาจกล่าวได้ว่าแนวทางการประยุกต์ใช้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack นอกจากจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ไหลล้น

อ่างลงเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในช่วงท้ายน้ำแล้ว ยังเป็นการช่วยเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรองขึ้นอีกด้วย (Jain & Singh, 2003)



**รูปที่ 4.9** การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack ที่ช่วยเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรองได้

ที่มา : Jain & Singh (2003)

#### (5) เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging (Hedging Rules)

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging นำเสนอเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่พยายามลดการส่งน้ำในบางช่วงเวลาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเวลาลัดไป แม้ว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะสามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายได้อย่างเต็มศักยภาพก็ตาม อาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติการแบบ Hedging เป็นความพยายามที่จะลดปัญหาการขาดน้ำอย่างรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ด้วยการกระจายการขาดน้ำในเวลาปัจจุบันล่วงหน้า ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับระบบที่มีความต้องการใช้น้ำสูง แต่ประสบปัญหาในด้านความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Neelakantan & Pundarikanthan, 2000; Onoz et al., 2005; Shiao, 2003) โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging จะปรากฏในรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (Draper & Lund, 2004) ดังนี้คือ

□ One-Point Hedging

การปล่อยน้ำจะเริ่มต้นจากจุดกำเนิดและจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรงที่มีความชันน้อยกว่า 1 จนกระทั่งไปตัดเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ

□ Two-Point Hedging

เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดผ่านจุดตัด 2 จุด คือ จุดแรกจะอยู่สูงกว่าจุดกำเนิดขึ้นไปและอยู่บนเส้นนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน ในช่วงที่เกิดการขาดน้ำ และจุดที่สองจะเป็นจุดตัดที่อยู่บนเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ โดยเส้นตรงที่ตัดผ่านนี้将有ความชันน้อยกว่า 1

□ Three-Point Hedging

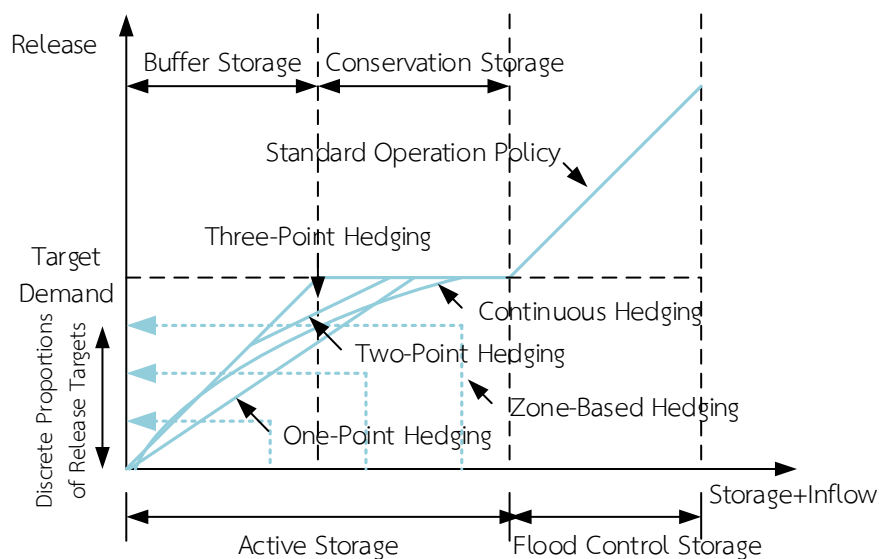
เป็นเกณฑ์ที่เพิ่มจุดตรงกลางขึ้นอีกหนึ่งจุดจากเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ Two-Point Hedging

□ Continuous Hedging

สัดส่วนความชันของเกณฑ์การปฏิบัติอ่างเก็บน้ำในรูปแบบนี้จะมีลักษณะต่อเนื่อง

□ Multiple/Zone-Based Hedging

กำหนดสัดส่วนการปล่อยน้ำในแต่ละโซนเก็บกักเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมายของระบบในลักษณะของสัดส่วนการปล่อยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Proportion)

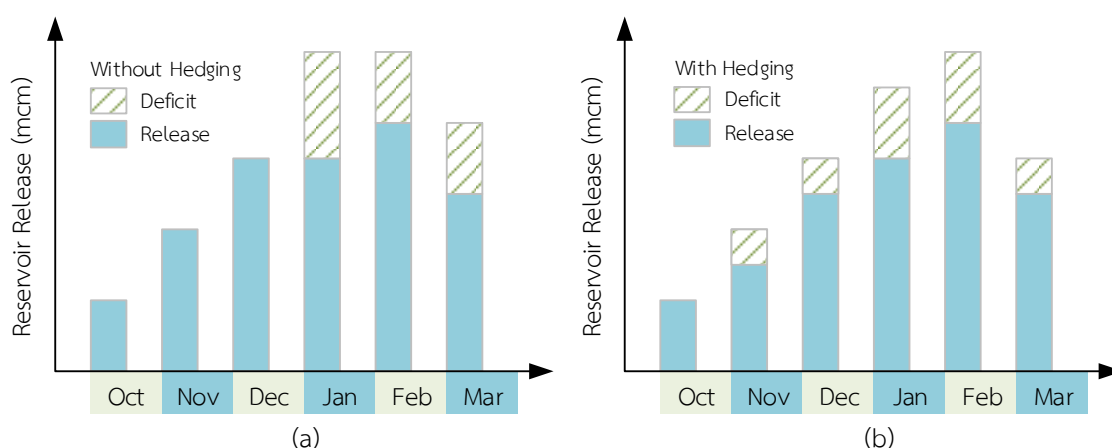


รูปที่ 4.10 นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging

ที่มา : Draper & Lund (2004)



วัตถุประสงค์หลักของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ก็คือการกระจายการขาดน้ำ ล่วงหน้าอย่างสม่ำเสมอเพื่อลดความรุนแรงของการขาดน้ำ ณ เวลาปัจจุบันลง กล่าวคือยอมที่จะให้เกิด การขาดน้ำครั้งละน้อย ๆ ได้เพื่อลดโอกาสความน่าจะเป็นของการขาดน้ำรุนแรงหรือผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ น้อยลง ดังแสดงผลกระทบของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานและจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภคแบบไม่ใช้และใช้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ในรูปที่ 4.11 (a) และรูปที่ 4.11 (b) จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดจากอ่างเก็บน้ำและปริมาณการขาดน้ำทั้งหมดยังคงมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ทำให้ ปริมาณการขาดน้ำสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนมกราคม รองลงมาเกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ซึ่ง ผู้ปฏิบัติงานสามารถกระจายการขาดน้ำล่วงหน้าในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมโดยอาศัยเกณฑ์การ ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ส่งผลให้ความรุนแรงของการขาดน้ำในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ลดความเสียหายน้อยลง ถึงแม้ว่าปริมาณการขาดน้ำทั้งหมดยังคงเท่าเดิมก็ตาม (Jain & Singh, 2003)



รูปที่ 4.11 แนวทางการปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging  
ที่มา : Jain & Singh (2003)

## 4.6 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในสถานการณ์น้ำหลากวิกฤต (Reservoir Operation during Critical Flood)

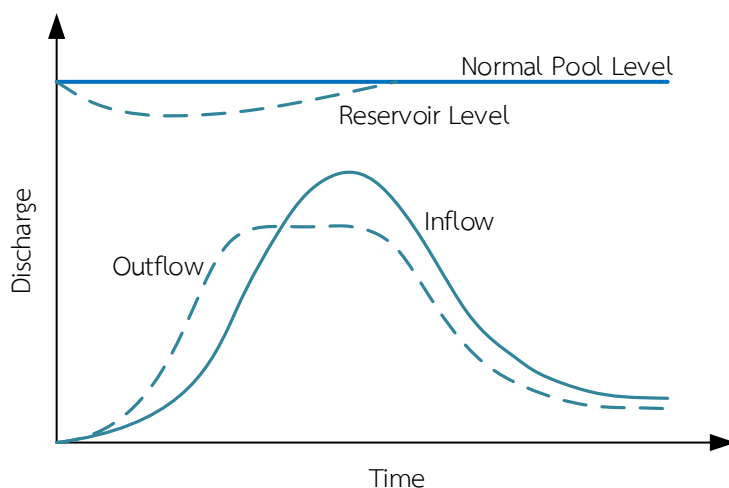
### 4.6.1 หลักการและแนวทางปฏิบัติการ (Approaches and Operation Strategies)

หลักการและแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากวิกฤตที่จะอ้างอิงไปยังลักษณะของการจัดแบ่งโซนปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำตามที่แสดงไว้ข้างต้นที่กำหนดให้โซนเก็บกักน้ำส่วนที่อยู่เหนือโซนปริมาตรเก็บกักใช้การ (Active Storage) ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อควบคุมน้ำหลากขนาดใหญ่ที่จะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยการออกแบบโซนควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Storage) และโซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage) นี้จะพิจารณาเงื่อนไขของข้อมูลปริมาณน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ

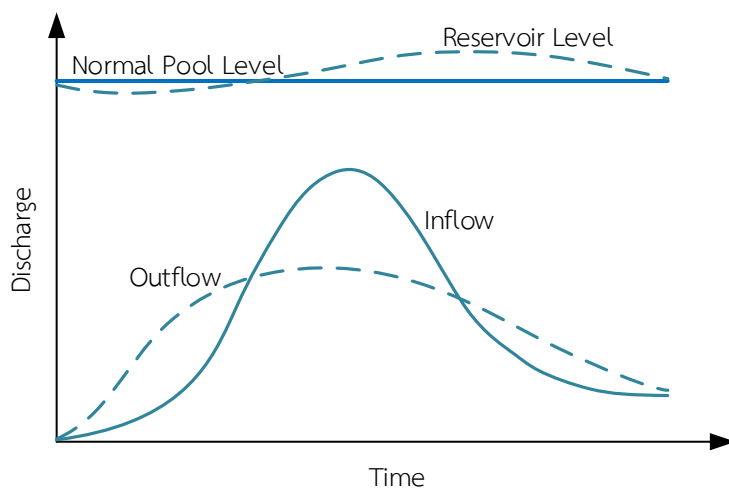
และขีดจำกัดในการปล่อยน้ำทางด้านท้ายน้ำได้สูงสุด ทั้งนี้ น้ำไหลบางส่วนเกินจะถูกหน่วงไว้ในโซนเก็บกักนี้ชั่วคราวเพื่อลดขนาดของน้ำไหลสูงสุดก่อนที่จะค่อย ๆ ระบายทิ้งในอัตราที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ ในขณะที่เดียวกันต้องพยายามรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอที่จะรองรับกับปริมาณน้ำไหลในช่วงเวลาถัดไป (วรารุช วุฒิวิณชัย และคณะ, 2550; Karamouz et.al., 2003)

#### 4.6.2 หลักการพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-Depletion of Reservoir)

หลักการพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-Depletion of Reservoir) เป็นลักษณะของการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำด้วยการปล่อยน้ำล่วงหน้า (Pre-Release) ในปริมาณและเวลาที่เหมาะสม โดยจะต้องดำเนินการก่อนที่ปริมาณน้ำไหลขนาดใหญ่จะไหลเข้ามา และในท้ายที่สุดระดับน้ำจะกลับมาเต็มอ่างที่ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level / Full Reservoir Level, FRL) อีกครั้งหลังจากปริมาณน้ำไหลขนาดใหญ่ได้เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำไปแล้ว หลักการพร่องน้ำสัมพันธ์โดยตรงกับผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่นำเชื่อถือได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ตลอดจนระดับความมั่นใจของผู้ปฏิบัติการในการตัดสินใจปล่อยน้ำล่วงหน้าโดยไม่ส่งผลกระทบและสร้างความเสียหายตามมา นอกจากนี้หลักการพร่องน้ำล่วงหน้ายังถูกนำมาใช้เป็นแนวทางปฏิบัติการสำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการควบคุมน้ำท่วมขนาดเล็กกว่าปริมาตรน้ำท่วมออกแบบ ซึ่งในสถานการณ์น้ำวิกฤตจำเป็นต้องอาศัยหลักการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำเพื่อลดขนาดปริมาณน้ำท่วมสูงสุดลง โดยในช่วงเริ่มต้นการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำหากระดับน้ำเก็บกักในอ่างอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติ หรือต่ำกว่าระดับเก็บกักปกติ ผู้ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำสามารถลดระดับน้ำเก็บกักในอ่างได้ด้วยการปล่อยน้ำล่วงหน้าเพื่อเพิ่มปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้สำหรับรองรับปริมาณน้ำไหลที่จะไหลเข้ามา และในระหว่างที่น้ำไหลขนาดใหญ่เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างต้องพยายามควบคุมระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำให้อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Pool Level) เท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะสามารถลดขนาดน้ำไหลสูงสุดลงได้โดยใช้ปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นผลมาจากการปล่อยน้ำล่วงหน้าและปริมาตรเก็บกักเพื่อการควบคุมน้ำท่วมได้อย่างเต็มศักยภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดนั่นเองดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.12 (Jain & Singh, 2003)



(a) การลดปริมาณน้ำหลากสูงสุดโดยการพร่องน้ำล่วงหน้า



(b) การลดขนาดปริมาณน้ำหลากสูงสุดโดยการพร่องน้ำล่วงหน้าและเก็บกักน้ำส่วนเกินไว้  
ในปริมาณเก็บกักสำรองเพื่อการควบคุมน้ำท่วม

#### รูปที่ 4.12 หลักการพร่องน้ำล่วงหน้าของอ่างเก็บน้ำ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

ข้อพิจารณาที่สำคัญในการพร่องน้ำล่วงหน้าก็คือจะเริ่มทำการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อไร และควรจะพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ที่ระดับใด รวมทั้งหลังจากที่ปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำไปแล้ว จะสามารถรักษาระดับน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำให้อยู่ที่ระดับเดิมได้หรือไม่ เหล่านี้ล้วนเป็นคำถามที่ต้องพิจารณาทบทวนก่อนที่จะนำหลักการพร่องน้ำล่วงหน้าไปกำหนดเป็นแนวทางปฏิบัติการ ในหลักการแล้วการพร่องน้ำควรจะเริ่มดำเนินการให้เร็วที่สุดเมื่อข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในขณะนั้นหรือที่ได้คาดการณ์เกินค่าที่กำหนด (Specified Value) ไว้ อย่างไรก็ตามค่าที่กำหนดขึ้นดังกล่าวจะ

ผันแปรตามลักษณะของอ่างเก็บน้ำแต่ละอ่างและสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยทั่วไปค่าประมาณการจะกำหนดไว้ที่ 10% ของปริมาณน้ำที่สามารถปล่อยผ่านอาคารทางออกได้ต่ำสุดเมื่อระดับน้ำเก็บกักในอ่างอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติ และเป็นปริมาณน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ การเพิ่มปริมาณการพร่องน้ำของอ่างเก็บน้ำจะขึ้นอยู่กับข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในช่วงเวลาขณะนั้น รวมทั้งข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและสภาพฝนในพื้นที่ ตลอดจนข้อมูลอัตราการเพิ่มการพร่องน้ำที่ต้องการเป็นสำคัญ โดยค่าปริมาณฝนสุทธิในลุ่มน้ำนับเป็นข้อมูลหลักในการประมาณค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ ซึ่งจะเป็นข้อมูลยืนยันว่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะยังคงรักษาระดับน้ำเก็บกักให้เท่ากับระดับเดิมกับก่อนหน้าหรือไม่ นอกจากนี้การประมาณค่าปริมาณฝนสุทธิของลุ่มน้ำระยะสั้นทุก ๆ 1-3 ชั่วโมงเพื่อนำมาใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ยังเป็นสิ่งจำเป็นหลังจากที่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดได้เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างเก็บน้ำแล้ว ทั้งนี้เพื่อศึกษาแนวโน้มของระดับน้ำเก็บกักที่อาจจะเพิ่มสูงขึ้นไปจนกระทั่งข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคาดการณ์มีขนาดเล็กกว่าปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำ (Jain & Singh, 2003)

#### 4.6.3 หลักการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservation)

ความซับซ้อนในการนำหลักการพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าไปดำเนินการก็คือควรจะพร่องน้ำไว้ที่ระดับใดเพื่อให้สามารถควบคุมคลื่นน้ำหลากได้สูงสุด ในขณะที่เดียวกันไม่ไปลดทอนความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์อื่น ๆ ของโครงการ ด้วยเหตุนี้ได้อะแกรมการสำรองปริมาตรว่าง (Flood Control Reservation Diagram) ของอ่างเก็บน้ำจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อบ่งบอกถึงปริมาตรว่างในโซนปริมาตรเก็บกักใช้การที่จะต้องสำรองไว้สำหรับรองรับปริมาณน้ำหลากส่วนเกินทั้งหมดที่ทราบและไม่ทราบขนาดที่แน่นอนตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์จากปริมาตรเก็บกักเพื่อการควบคุมน้ำท่วมและปริมาตรเก็บกักส่วนเกินตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งในหลักการคำนวณหาปริมาตรว่างที่ต้องการนั้นจะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยเกินความจุทางท้ายน้ำเป็นศูนย์ โดยปริมาตรว่างที่ต้องการเพื่อการควบคุมน้ำท่วมที่ช่วงเวลาใด ๆ นั้นก็คือผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งหมดในช่วงเวลาขณะนั้นถึงช่วงเวลาน้ำหลากกับปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ และโดยส่วนใหญ่แล้วขนาดของช่วงเวลาในการวิเคราะห์จะเป็นรายสัปดาห์หรือรายสองสัปดาห์ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงการเคลื่อนตัวของน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing) ก่อนที่จะสร้างไดอะแกรมการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำ หลังจากนั้นนำข้อมูลปริมาตรว่างที่ได้ประมาณการไว้มาพล็อตในแต่ละปี ซึ่งค่าที่เป็นบวกจะบ่งชี้ถึงปริมาตรว่างที่ต้องเก็บกักไว้เพิ่มเติมจากปริมาตรสำรองต่ำสุดเพื่อการควบคุมน้ำท่วม สำหรับในปีที่ค่าปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเป็นลบนั้นจะบ่งบอกถึงปริมาณน้ำหลากส่วนเกินจะถูกหน่วงไว้ในอ่างน้อยกว่าค่าปริมาตรต่ำสุดเพื่อการควบคุมน้ำท่วมนั่นเอง อย่างไรก็ตามเพื่อให้ง่ายต่อผู้ปฏิบัติงานในการนำไดอะแกรมการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำที่ใช้ดำเนินการได้มีการ

พัฒนาสมการเชิงเส้นตรงเพื่อประมาณการปริมาตรว่างสำรองเพื่อการควบคุมน้ำท่วมขึ้นโดยอาศัยข้อมูล ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเวลาถัดไปตลอดฤดูกาลเป็นข้อมูลหลักโดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y = mX + C_t \quad \text{-----}(4.13)$$

เมื่อ  $Y$  เป็นปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมที่ต้องการในหน่วยปริมาตร และ  $X$  เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งหมดในช่วงเวลาถัดไปตลอดฤดูกาลในหน่วยปริมาตร ในขณะที่  $m$  และ  $C_t$  เป็นความชันของกราฟเส้นตรงและจุดตัดแกนในหน่วยปริมาตรซึ่งสัมพันธ์กับเวลา (วันในฤดูน้ำหลาก) ตามลำดับ ถ้าหากปริมาตรว่างเพื่อการควบคุมน้ำท่วมที่ได้ประมาณการนั้นมีขนาดไม่เพียงพอที่จะรองรับ ปริมาณน้ำหลากในช่วงเวลาขณะนั้น อาจจำเป็นต้องปล่อยน้ำเพิ่มเพื่อให้มีปริมาตรอ่างเก็บน้ำเพียงพอ ซึ่ง ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำอาจจะสูงกว่าหรือต่ำกว่าเป้าหมายการปล่อยน้ำที่กำหนดไว้ก็ได้ ทั้งนี้ ผู้ปฏิบัติงานอาจตัดสินใจโดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างจริงเป็นสำคัญ ในทางกลับกันหาก ผลการปฏิบัติการจริงมีการปล่อยน้ำต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ก็จะส่งผลให้ปริมาตรว่างเพื่อการควบคุม น้ำท่วมลดลงหรือถูกปล่อยล้นขอบเขต ซึ่งหากในขณะนั้นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีแนวโน้มที่จะไม่เพิ่มสูงขึ้น หรือมีปริมาณค่อนข้างน้อย แนวทางการปล่อยน้ำก็จำเป็นที่จะต้องค่อย ๆ ปล่อยน้ำในส่วนที่น้ำรुक้าเข้ามา เพื่อเพิ่มปริมาตรว่างเพื่อการควบคุมน้ำท่วมของอ่างเก็บน้ำตามที่ประมาณการไว้ อย่างไรก็ตามหากมีน้ำ หลากขนาดใหญ่ไหลเข้าอ่างในปริมาณมากก็จำเป็นที่จะต้องปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำให้เร็วที่สุดเท่าที่ จะเป็นไปได้ โดยสรุปในช่วงฤดูน้ำหลากจะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งหมดใน ช่วงเวลาปัจจุบันถึงช่วงสิ้นสุดฤดูน้ำหลากจะค่อย ๆ ลดลง ด้วยเหตุนี้ปริมาตรว่างเพื่อการควบคุมน้ำท่วมก็ จะลดลงเรื่อย ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งเต็ม อ่างในช่วงสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก (Jain & Singh, 2003)

#### 4.6.4 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Operation)

ในหลายสถานการณ์ที่พบว่าข้อมูลอุทกวิทยาที่ได้ทำการตรวจวัดหรือทำการพยากรณ์นั้นไม่ เพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการควบคุมการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ด้วยเหตุนี้กระบวนการ ตัดสินใจปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจึงต้องอาศัยดัชนีชี้วัดบางอย่างที่ถ่ายทอดผู้ปฏิบัติงานในการดำเนินการไม่ว่าจะเป็น (1) ระดับน้ำเก็บกักในเวลาปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ รวมถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเก็บกัก (2) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยส่วนใหญ่แล้วการปฏิบัติการอ่าง เก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมจะเริ่มต้นเมื่อระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเกินค่าระดับน้ำเก็บกักปกติ หรือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดเกินค่าที่กำหนดของอ่างเก็บน้ำนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้แนวทางในการปฏิบัติการ อ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมจึงเป็นลักษณะของการปล่อยน้ำส่วนที่เกินระดับน้ำเก็บกักเป้าหมาย หรือปล่อยน้ำส่วนที่เกินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่กำหนดไว้ออกไป ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติงานสามารถกำหนด

วัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมแตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น พยายามรักษาระดับน้ำเก็บกักในอ่างไว้ที่ระดับเก็บกักปกติในช่วงเวลาเริ่มต้นและควบคุมระดับน้ำให้คงที่หลังจากนั้น หรืออาจจะพยายามควบคุมการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเหนือระดับเก็บกักปกติถึงระดับน้ำเก็บกักที่เป็นไปได้ หรืออาจเก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำให้มากที่สุดก่อนที่จะปล่อยน้ำออกสู่ทางด้านท้ายน้ำ หรือแม้กระทั่งบางอ่างเก็บน้ำอาจเน้นการปล่อยน้ำส่วนเกินจากอ่างเก็บน้ำออกสู่ทางด้านท้ายน้ำโดยไม่ส่งผลกระทบต่อ ๑ ต่อพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้แนวทางปฏิบัติการจะแตกต่างกันออกไปตามแต่วัตถุประสงค์ที่ผู้ปฏิบัติงานเลือกนำมาใช้

วิธีการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมนั้นที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับ 2 ตัวแปรหลัก ประกอบด้วย (1) ระดับเก็บกักวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Critical Level, RCL) และ (2) ปริมาณน้ำวิกฤตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Critical Flood Inflow, CFI) โดยระดับเก็บกักวิกฤตของอ่างเก็บน้ำเป็นค่าระดับน้ำที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level, NPL) และระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Pool Level, Max. PL) ในช่วงที่น้ำหลากไหลเข้าอ่างจะพบว่าระดับน้ำเก็บกักในอ่างจะเพิ่มสูงขึ้นเหนือ RCL ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในช่วงเวลาปกตินั้นไม่สามารถจัดการกับปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่ได้ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากข้อจำกัดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ หรือปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถปล่อยผ่านอาคารทางออกได้ หรือขนาดของปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่สูงเกินกว่าที่ได้คาดการณ์ไว้ เนื่องจากระดับน้ำเก็บกักที่เพิ่มสูงขึ้นในอ่างเก็บน้ำนี้มีผลต่อความปลอดภัยของเขื่อนจึงจำเป็นต้องลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงให้ต่ำกว่า RCL โดยเร็วที่สุด นอกจากนี้ผู้ปฏิบัติงานยังต้องตระหนักถึงความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นทางด้านท้ายน้ำอันเนื่องมาจากการปล่อยน้ำส่วนเกินนี้อีกด้วย และอาจจะต้องกำหนดแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในลักษณะเดียวกันเมื่อมีสัญญาณถึงความผิดปกติของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเกิดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือเมื่อปริมาณที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจริงมีค่าสูงกว่าปริมาณน้ำวิกฤตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่กำหนดไว้

การกำหนดค่า RCL และ CFI ของอ่างเก็บน้ำใด ๆ จะขึ้นอยู่กับความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ อัตราการปล่อยน้ำสูงสุดผ่านอาคารระบายน้ำล้นและอาคารทางออก ความจุเก็บกักที่ปลอดภัยของลำน้ำทางด้านท้ายน้ำ ปริมาตรของไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบ และค่าสูงสุดของน้ำท่วมออกแบบ ซึ่งที่ผ่านมามีพบที่ยังไม่มีเทคนิควิเคราะห์แบบง่าย (Simple Analytical Technique) ที่ช่วยในการกำหนดค่า RCL และ CFI ของอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามสามารถอาศัยหลักการจำลองระบบ (Simulation Approach) ผ่านวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error Approach) สำหรับใช้ในการกำหนดค่า RCL และ CFI ได้ ซึ่งมีหลักการเบื้องต้นดังนี้คือ ลำดับแรกทำการกำหนดค่า RCL เริ่มต้น โดยค่าแรกอาจใช้ค่ากึ่งกลางระหว่างระดับเก็บกักปกติและระดับเก็บกักสูงสุด สำหรับ CFI กำหนดค่าเท่ากับความจุเก็บกักที่ปลอดภัยของลำน้ำทางด้านท้ายน้ำ จากนั้นจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้ไฮโดรกราฟน้ำท่วมออกแบบหรือไม่ก็ใช้ไฮโดรกราฟของน้ำท่วมรุนแรงที่เคยเกิดขึ้นในอดีต เพื่อจัดทำตารางผลการปฏิบัติการสำหรับตรวจสอบช่วงเวลาในระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำสูงเกินระดับ RCL ที่กำหนด หรือปล่อยน้ำเกินความจุเก็บกักที่

ปลอดภัยทางด้านท้ายน้ำ จากนั้นทำการปรับค่าพารามิเตอร์ RCL และ CFI เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตามที่ได้วางไว้ ในกรณีของระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอ่างจนเป็นที่พอใจก่อน จากนั้นจึงค่อยพิจารณาทั้งระบบซึ่งพารามิเตอร์ของบางอ่างเก็บน้ำอาจถูกปรับเปลี่ยนไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งระบบให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

โดยสรุปแล้วแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทคือ (1) การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงปกติ (Normal Operation) และ (2) การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงฉุกเฉิน (Emergency Operation) โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### □ การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากปกติ (Normal Operation)

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงปกติเพื่อการควบคุมน้ำท่วมจะเริ่มต้นเร็วที่สุดเมื่อมีสัญญาณบ่งบอกว่าเหตุการณ์ปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่กำลังจะเกิดขึ้น นโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากปกติจะเริ่มดำเนินการเมื่อ (1) ระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำอยู่ระหว่าง NPL และ RCL และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดเล็กกว่า CFI หรือ (2) ระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำอยู่ระหว่าง NPL และ RCL และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดสูงกว่า CFI และมีแนวโน้มที่จะลดลง หรือ (3) ระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำสูงกว่า RCL และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดเล็กกว่า CFI และมีแนวโน้มที่จะลดลง หลักปฏิบัติในการควบคุมน้ำท่วมของอ่างเก็บน้ำในช่วงปกติ นั้น น้ำจะถูกปล่อยในอัตราซึ่งน้อยกว่าหรือเท่ากับ ความจุเก็บกักที่ปลอดภัยของลำน้ำทางด้านท้ายน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อรักษาระดับน้ำเก็บกักให้กลับมาอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติอีกครั้งก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์น้ำหลากข้างหน้าจะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

#### □ การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากฉุกเฉิน (Emergency Operation)

แนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงฉุกเฉินจะนำมาใช้ก็ต่อเมื่อปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดใหญ่กว่าที่ได้ทำการคาดการณ์ไว้ ในขณะที่เดียวกันการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากปกติก็ไม่ประสบความสำเร็จหรือไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำหลากนั้นได้ โดยปกติแล้วปริมาณน้ำหลากรุนแรง (Extreme Flood) จะพิจารณาจากข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือไม่ก็ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่มีขนาดใหญ่ อาจกล่าวได้ว่าหลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงฉุกเฉินควรคำนึงถึงความปลอดภัยของตัวเขื่อนเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด โดยนโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงฉุกเฉินจะนำมาดำเนินการเมื่อ (1) ระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำสูงกว่า RCL และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดเล็กกว่า CFI แต่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น หรือ (2) ระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำสูงกว่า RCL และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดใหญ่กว่า CFI และมีแนวโน้มที่จะลดลง หรือ (3) ที่ระดับน้ำเก็บกักใด ๆ ก็ได้ในอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีขนาดใหญ่กว่า CFI และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแนวทางปฏิบัติการที่สำคัญก็คือต้องพยายามปล่อยน้ำออกจากอ่างให้มากที่สุดอย่างน้อยเท่ากับปริมาณน้ำ



สูงสุดที่สามารถปล่อยผ่านอาคารทางออกที่ระดับน้ำเก็บกักปัจจุบัน หรืออาจเร่งปล่อยน้ำให้มากที่สุดผ่านทางอาคารระบายน้ำล้นร่วมด้วย ถึงแม้จะก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านท้ายน้ำ ปัญหาจากการไหลล้นตลิ่งหรือเกิดปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ทางท้ายน้ำก็ตาม ทั้งนี้เพื่อที่จะสร้างความเชื่อมั่นในเรื่องความปลอดภัยของตัวเขื่อน (Jain & Singh, 2003)

#### 4.6.5 หลักการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างเพื่อการควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Operation of A Multi-Reservoir System)

การกำหนดแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอย่างเป็นระบบเพื่อการควบคุมน้ำท่วมนับได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่างที่มีลักษณะของการเชื่อมโยงกันทั้งแบบอนุกรมหรือแบบขนาน หรือแบบผสมผสานกันเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยเหตุนี้หลักการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำจึงมีแนวทางที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะกายภาพของระบบอ่างเก็บน้ำโดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้ (Jain & Singh, 2003)

##### □ ระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรมเพื่อการควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservoirs in Series)

แนวทางในการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ในการควบคุมน้ำท่วมนั้นยังคงอาศัยหลักการสำรองปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำในระบบด้วยการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำล้นหน้าเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรมที่ตอบสนองวัตถุประสงค์ในการควบคุมน้ำท่วมโดยเฉพาะนั้น เมื่อมีน้ำไหลเข้าอ่างในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำก็สามารถปล่อยน้ำล้นหน้าได้ทันที อย่างไรก็ตามเมื่อมีปริมาณน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นในระบบก็จำเป็นที่จะต้องหน่วงน้ำส่วนหนึ่งเอาไว้ในอ่างเก็บน้ำก่อน ด้วยเหตุนี้หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงแรกจึงเป็นลักษณะของการยอมให้น้ำในอ่างเก็บน้ำทางตอนบนเต็มอ่างก่อน ในขณะที่เดียวกันต้องเตรียมปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำทางตอนล่างให้มีขนาดเพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำขนาดใหญ่ที่จะเคลื่อนตัวมาจากอ่างเก็บน้ำทางด้านบนหลังจากนั้น

##### □ ระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานเพื่อการควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservoirs in Parallel)

หลักการสำคัญในการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมของระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานก็คือการรักษาความสมดุลของปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างและปริมาณน้ำหลากที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งหมดในระบบ ด้วยเหตุนี้ผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งระบบในช่วงฤดูน้ำหลากนั้นจะต้องน้อยกว่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ลำน้ำจะรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ แต่ถ้าหากหลีกเลี่ยงไม่ได้ แนวทางการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำจะต้อง

พยายามให้ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุเก็บกักของลำน้ำมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และเกิดขึ้นน้อยครั้งที่สุด หากอ่างเก็บน้ำใดมีศักยภาพในการรองรับน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วมได้มากกว่าก็จำเป็นที่จะต้องปล่อยน้ำในปริมาณสูงขึ้นเพื่อสำรองปริมาตรเก็บกักไว้ สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสูงมีแนวโน้มที่จะปล่อยน้ำในปริมาณมากกว่าอีกอ่างเก็บน้ำหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามแนวทางการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำจะแตกต่างจากที่กล่าวมานี้หากจำกัดปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากระบบอ่างเก็บน้ำ นอกเหนือไปจากนั้นวัตถุประสงค์ของการสร้างสมดุลในระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานก็เพื่อจัดสรรปริมาตรเก็บกักของระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในขณะเดียวกันเพื่อควบคุมการปล่อยน้ำที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ หลักการสมดุลปริมาตรเก็บกักของน้ำในระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนานนี้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สำคัญคือ เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบรักษาปริมาตรว่าง (Space Rule)

#### □ ระบบอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose Reservoirs)

การจัดสรรปริมาตรว่างอย่างถาวรของระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วมกลายเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์ซึ่งมีการวัตถุประสงค์ในการควบคุมน้ำท่วมร่วมด้วย บ่อยครั้งที่พบว่าแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วมที่มีลักษณะสวนทางกับแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์อื่น ๆ ของโครงการเช่น การชลประทาน การอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม เป็นต้น ที่พยายามจะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างให้มากที่สุดนั้นได้สร้างปัญหาในการบริหารจัดการน้ำอยู่บ่อยครั้ง ด้วยเหตุนี้แนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดทั้งระบบจึงมีความซับซ้อนและยุ่งยากอยู่พอสมควร อย่างไรก็ตามการลดขนาดของคลื่นน้ำหลากยังคงยึดหลักการจัดสรรปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำทั้งระบบให้เกิดความสมดุลและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยปกติแล้วปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำจะผันแปรตามขนาดของปริมาณน้ำหลากที่คาดว่าจะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ด้วยเหตุนี้การจัดสรรปริมาตรว่างของระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานรายปีจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อลดขนาดน้ำหลากจนถึงระดับสูงสุด ในขณะเดียวกันต้องสามารถควบคุมปริมาณน้ำท่วมไม่ให้เกิดความเสียหายทางด้านท้ายน้ำหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้อีก หากอ่างเก็บน้ำตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ซึ่งประสบปัญหาน้ำท่วมเฉพาะในฤดูน้ำหลากเท่านั้น หลักการจัดสรรปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วมก็จะผันแปรตามฤดูกาลน้ำหลากด้วย ซึ่งหลังจากสิ้นสุดฤดูน้ำหลากก็จะใช้ปริมาตรเก็บกักดังกล่าวเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ ต่อไป

จากหลักการและแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงหลักทฤษฎีพื้นฐานในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเท่านั้น ซึ่งการจะนำแนวทางดังกล่าวไปใช้ดำเนินการจริงต้องอาศัยข้อมูลสนับสนุนที่มีความถูกต้องประกอบกับเทคนิคการพยากรณ์ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือได้ ควบคู่ไปกับประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานซึ่งเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการตัดสินใจและกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบที่จะทำให้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากวิกฤตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลด

ขนาดน้ำท่วมรุนแรงได้อย่างเต็มศักยภาพและเกิดผลกระทบทางด้านทำนายน้อยที่สุด ในขณะที่เดียวกันยังเป็นแนวทางที่ไม่ลดทอนการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำในการเก็บกักน้ำเพื่อสนองวัตถุประสงค์อื่น ๆ ของโครงการนั่นเอง

#### 4.7 การบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir System Management)

##### 4.7.1 เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique)

เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique) ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) โปรแกรมไม่เชิงเส้น (Non-Linear Programming) และโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) นับเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิศวกรรมแหล่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำซึ่งจำเป็นต้องทราบแนวทางการปล่อยน้ำที่ดีที่สุดในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อให้สามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการได้สูงสุดภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของระบบที่มีความสลับซับซ้อนก็สามารถนำเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้ได้ดังแสดงตัวอย่างแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดอย่างง่ายดังนี้ (Jain & Singh, 2003)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ :

$$\text{Max} D \quad \text{-----}(4.14)$$

ข้อจำกัด :

$$S_t + I_t - E_t - R_t = S_{t+1} \quad ; t = 1, 2, \dots, n \quad \text{-----}(4.15)$$

$$R_t \geq \alpha_t D \quad ; t = 1, 2, \dots, n \quad \text{-----}(4.16)$$

$$S_t \leq C \quad ; t = 1, 2, \dots, n \quad \text{-----}(4.17)$$

$$S_t, C, D, E_t, R_t \geq 0 \quad ; t = 1, 2, \dots, n \quad \text{-----}(4.18)$$

- เมื่อ  $D$  = ปริมาณความต้องการน้ำคาดการณ์  
 $S_t$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลา  $t$   
 $S_{t+1}$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลา  $t+1$   
 $I_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่ช่วงเวลา  $t$   
 $E_t$  = ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยในช่วงเวลา  $t$   
 $R_t$  = ปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t$   
 $\alpha$  = พารามิเตอร์สัดส่วนการปล่อยน้ำ  
 $C$  = ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

รูปแบบของปัญหาของแบบจำลองข้างต้นเป็นความพยายามที่จะประมาณการปริมาณความต้องการใช้น้ำได้สูงสุดจากระบบอ่างเก็บน้ำที่ได้ออกแบบไว้ โดยการกำหนดสมการข้อจำกัดจะครอบคลุมถึงหลักการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำระยะยาว ปริมาณน้ำที่ปล่อยให้ได้สูงสุด ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดที่ควรรักษาไว้ รวมถึงข้อจำกัดของโปรแกรมเชิงเส้น

#### 4.7.2 เทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique)

ในปัจจุบันเทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique) ได้รับความนิยมอย่างมากในการศึกษาและวิจัยในหลากหลายสาขาวิชา รวมถึงในงานวิศวกรรมแหล่งน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่มีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์และอาศัยเทคนิคการจำลองระบบเพื่อทดสอบการปฏิบัติการตามแผนกลยุทธ์ต่าง ๆ สำหรับนำมาปรับใช้และเพิ่มประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานจริงให้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปแบบจำลองระบบที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นจะอาศัยหลักการสมดุลของน้ำในอ่างซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างสุทธิ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกัก นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากความเสียหายจากน้ำท่วม ผลประโยชน์ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ ผลประโยชน์จากการชลประทาน และอื่น ๆ เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าแนวคิดเรื่องการจำลองระบบค่อนข้างง่ายในการทำ ความเข้าใจมากกว่าแนวคิดของแบบจำลองอื่น ๆ แบบจำลองระบบสามารถเลียนแบบได้ค่อนข้างเหมือนจริงทั้งในแง่ลักษณะของระบบอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนแนวทางในการปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่เกี่ยวข้องอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันเวลาในการเตรียมข้อมูลป้อนเข้า ทดสอบแบบจำลอง และการคำนวณอื่น ๆ ยังน้อยกว่าของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังสามารถ Trade-Off โดยเฉพาะอย่างอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์ รวมถึงเทคนิคการจำลองระบบยังมีประโยชน์ในการวิเคราะห์หานโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน (Real Time Operation) ยังต้องการเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะ ซึ่งเทคนิคการจำลองระบบจะช่วยให้สามารถสร้างเกณฑ์การปฏิบัติการดังกล่าวได้ค่อนข้างง่าย ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์จำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้นและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบวางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเตรียมข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าของซอฟต์แวร์หนึ่งสำหรับปัญหาหนึ่ง ๆ ยังสามารถดัดแปลงได้ง่าย ตลอดจนยังสามารถประเมินผลของการออกแบบและตัดสินใจปฏิบัติการกับทางเลือกอื่น ๆ ได้เร็วอีกด้วย

ตัวอย่างของการพัฒนาแบบจำลองระบบนั้นเกิดขึ้นจำนวนมากในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1950 โดยเชื่อว่าถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Harvard Water Program สำหรับแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำที่มีชื่อเสียงและใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมากคือ แบบจำลอง HEC-5 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองอื่น ๆ ที่ค่อนข้างมีชื่อเสียงอื่น ๆ เช่น แบบจำลอง HEC-ResSim (Reservoir System Simulation Model) แบบจำลองเอเคอร์ (Acres Model) แบบจำลองการ

สังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำและการควบคุมอ่างเก็บน้ำ (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation Model, SSARR) แบบจำลองระบบแม่น้ำปฏิสัมพันธ์ (Interactive River System Operation, IRIS) และแพ็คเกจการวิเคราะห์สิทธิการใช้น้ำ (Water Right Analysis Package, WRAP) Lund และ Ferreira ได้ทำการศึกษาระบบอ่างเก็บน้ำในแม่น้ำ Missouri และพบว่าแบบจำลองระบบใช้ได้ดีกว่าสมการการถดถอยในการกำหนดและปรับปรุงเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Lund & Ferreira, 1996) นอกจากนี้ Jain และ Goel ในปี ค.ศ. 1996 ยังได้นำเสนอแบบจำลองเพื่อการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการอนุรักษ์ทั้งระบบโดยอาศัยโดเมนของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีแบบจำลองเพื่อจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งระบบจำนวนมาก ความต้องการที่จะพัฒนาแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำของแต่ละอ่างยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อคงไว้ซึ่งลักษณะเฉพาะของอ่างเก็บน้ำนั้น ๆ

แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multi-Reservoir Simulation Model) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ นั้นนับได้ว่ามีประโยชน์อย่างมากหากนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองผลทั้งหมดมาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบและประเมินผลที่ได้ซึ่งสามารถทำได้โดยการคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance) ตลอดจนการกระจายตัวทางด้านเวลา (Time Distribution) ของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indicators) เช่น ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage Volume) ปริมาณน้ำที่ปล่อย (Release) ผลประโยชน์ที่ได้รับ (Benefit) หรือความเสียหายที่เกิดขึ้น (Losses) เป็นต้น ซึ่งดัชนีชี้วัดเหล่านี้สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินผลและเปรียบเทียบนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้การประเมินผลอาจปรากฏอยู่ในรูปของค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index) ดัชนีวัดความรุนแรง (Vulnerability Index) และดัชนีวัดความฟื้นตัวจากความล้มเหลว (Resiliency Index) เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองระบบของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินผลกระทบที่จะเป็นไปได้ของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ ตลอดจนสามารถทำนายสถานการณ์ของระบบในอนาคต เมื่อกำหนดสถานการณ์สมมุติ (Scenarios) ทั้งในรูปของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและผลการคาดการณ์ข้อมูลทางอุทกวิทยาในอนาคต

สำหรับขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำมีดังต่อไปนี้

(1) จัดเตรียมข้อมูลกายภาพของระบบซึ่งครอบคลุมถึงเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ ฝ่ายผันน้ำ/โครงสร้างตัดผ่านลำน้ำอื่น ๆ ตำแหน่งที่ตั้ง ความยาวและทิศทางของแม่น้ำและแม่น้ำสาขา โครงการชลประทาน เป็นต้น

(2) รวบรวมข้อมูลที่มีรายละเอียดเกี่ยวข้องกับแนวทางของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเช่น จำนวนและตำแหน่งของจุดควบคุมในระบบ ช่วงเวลาของการปฏิบัติการ เป็นต้น

(3) กำหนดจำนวนจุดควบคุมทั้งหมดของระบบเช่น อ่างเก็บน้ำเก็บกัก ฝ่ายผันน้ำ โครงสร้างตัดผ่านลำน้ำอื่น ๆ เป็นต้น

(4) รวบรวมข้อมูลทั่วไปอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละจุดควบคุมเช่น ความจุเก็บกักสูงสุดและระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำเก็บกักที่เวลาเริ่มต้น โควงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ-พื้นที่-ความจุของอ่างเก็บน้ำ ปริมาณความต้องการน้ำ และปริมาณน้ำที่ปล่อยได้ต่ำสุดตามความจุเก็บกักสูงสุดของลำน้ำ ระดับน้ำที่ระเหยออกไปจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน เป็นต้น

(5) ในแต่ละโครงสร้างอาคารชลศาสตร์จำเป็นต้องตรวจวัดปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำซึ่งไหลมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำทางด้านบนทุก ๆ ช่วงเวลาของการปฏิบัติการ บางครั้งอาจต้องมีการศึกษาถึงการเคลื่อนตัวของน้ำก่อนจะไหลเข้าสู่โครงสร้างอาคารชลศาสตร์ใด ๆ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการก่อน

(6) พัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของทั้งระบบ จำลองผลการปฏิบัติการภายใต้นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ และประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติการ ทั้งนี้ในการประเมินประสิทธิผลอาจทำการตรวจสอบในรูปของตารางผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สถิติของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็นค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลาและด้านปริมาณ ค่าปริมาณการขาดน้ำสูงสุด ค่าปริมาณการไหลล้นอ่างสูงสุด ความถี่ของการไหลล้นอ่าง และช่วงเวลาสูงสุดที่เกิดการขาดน้ำติดต่อกัน หรือแสดงผลในรูปของกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณน้ำที่ปล่อย ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ ปริมาณความต้องการน้ำ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงแนวทางการปรับปรุงผลการปฏิบัติการโดยอาศัยนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

(7) ปรับเปลี่ยนรูปแบบของนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและทดสอบผลการรันจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่พึงพอใจ

#### 4.7.3 เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้น (Linear Decision Rule)

เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้น (Linear Decision Rule, LDR) กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำสัมพันธ์กับปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่าง (Storage Content) และพารามิเตอร์การตัดสินใจ (Decision Parameter) แนวคิดในการพัฒนาเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นในการวางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำถูกนำเสนอโดย Young ในปี ค.ศ. 1967 ซึ่งพบว่าเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นมีความเหมาะสมในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมากกว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานที่มีฟังก์ชันซับซ้อน หลังจากนั้นได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ประยุกต์ใช้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างต่อเนื่องมาจนถึงช่วงปี ค.ศ. 1970 โดยเริ่มจากงานวิจัยของ Re Velle และคณะในปี ค.ศ. 1969 เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนี้นับได้ว่ามีประโยชน์อย่างมากในการกำหนดรูปแบบของข้อจำกัดโอกาส (Chance-Constraint) สำหรับรูปแบบอย่างง่ายของเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำดังแสดงในสมการ

$$R_t = S_t - b_t \quad \text{-----}(4.19)$$

- เมื่อ  $R_t$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยในช่วงเวลา  $t$   
 $S_t$  = ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาเริ่มต้น  $t$   
 $b_t$  = พารามิเตอร์การตัดสินใจซึ่งกำหนดจากการหาค่าที่ดีที่สุดของฟังก์ชัน  
 วัตถุประสงค์

อย่างไรก็ดีเริ่มแรกข้อมูลปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำไม่ได้นำมาพิจารณา หลังจากนั้นได้มีนักวิจัยหลาย ๆ คนได้ปรับเปลี่ยน ขยายผล และประยุกต์ใช้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นกับปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Optimization Problem) Loucks และ Dorfman (1975) นำเสนอเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นโดยกำหนดค่าปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ช่วงเวลาเริ่มต้น  $t+1$  ดังนี้

$$S_{t+1} = \lambda_t I_t + b_t \quad \text{-----}(4.20)$$

- เมื่อ  $I_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t$   
 $\lambda_t$  = ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ( $0 \leq \lambda_t \leq 1$ )

เมื่อแทนสมการที่ 4.20 ลงไปในเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นหรือสมการที่ 4.19 จะได้ปริมาณน้ำที่ปล่อยในช่วงเวลา  $t$  ดังนี้

$$R_t = S_t + (1 - \lambda_t) I_t - b_t \quad \text{-----}(4.21)$$

จากสมการข้างต้นจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์  $\lambda_t$  สามารถแปลความหมายได้ว่าเป็นค่าน้ำหนักของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเวลาปัจจุบันในขณะที่ทำการปล่อยน้ำ เมื่อ  $\lambda_t$  เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 1 จะพบว่าแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะมีลักษณะเชิงอนุรักษ์น้ำมากขึ้น และยิ่งความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำมากก็จำเป็นที่จะต้องปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการมากยิ่งขึ้น เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นซึ่งพัฒนาโดย Re Velled และคณะได้ดัดแปลงจากสมการที่ 4.21 เมื่อ  $\lambda_t$  ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 มีรูปแบบสมการดังนี้

$$R_t = S_t - b_t = I_{t-1} + b_{t-1} - b_t \quad \text{-----}(4.22)$$



ถ้าการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจข้างต้นจะพบว่า จะสามารถกำหนดปริมาณน้ำที่ปล่อยในช่วงเวลาเริ่มต้นได้หาก  $0 \leq b_t \leq S_t$  โดยที่ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น  $S_t$  เป็นค่าที่ทราบค่าที่ช่วงเริ่มต้นเวลา  $t$  หาก  $b_t < 0$  หรือ  $b_t > S_t$  ปริมาณน้ำที่ปล่อยจะพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างปัจจุบัน ( $I_t$ ) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ทราบค่าในช่วงเวลาเริ่มต้น  $t$

และเมื่อ  $\lambda_t$  เท่ากับ 0 จะได้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นแสดงในรูปสมการ

$$R_t = S_t + I_t - b_t = I_t + b_{t-1} - b_t \quad \text{-----(4.23)}$$

และ  $S_{t+1} = b_t \quad \text{-----(4.24)}$

ในปี ค.ศ. 1975 Re Velle และ Gundelach ได้นำเสนอเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นซึ่งเป็นฟังก์ชันกับข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่เวลาปัจจุบันและในอดีตในรูปสมการดังนี้

$$R_t = S_{t-1} + \beta_t I_t - \beta_{t-1} I_{t-1} + \dots + \beta_{t-k} I_{t-k} + b_t \quad \text{-----(4.25)}$$

เมื่อ  $\beta_t, \beta_{t-1}, \beta_{t-k}$  เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดขึ้นจากอิทธิพลของกระบวนการสโตคาสติกของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ผลการศึกษาที่ผ่านมายังพบว่าเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นที่ดัดแปลงในสมการที่ 4.25 ใช้ได้ดีกับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมากกว่าเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้นแบบดั้งเดิมในสมการที่ 4.19 ซึ่งกำหนดให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในรูปของการหาค่าน้อยที่สุดของความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่สามารถดำเนินงานจนกระทั่งให้ค่าประสิทธิผลของการปฏิบัติงานเป็นที่พึงพอใจสูงสุด (Jain & Singh, 2003)

#### 4.7.4 หลักการรวมและแยกองค์ประกอบ (Recomposition-Decomposition Approach)

ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีการพัฒนาในหลาย ๆ กิจกรรมพบว่าอาจมีความยุ่งยากหากกำหนดรูปแบบของการปฏิบัติการในลักษณะเดียวกันทั้งพื้นที่ ซึ่งจริง ๆ แล้วในหนึ่งระบบอาจประกอบไปด้วยหลาย ๆ องค์ประกอบ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีรูปแบบและหน้าที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้แบบจำลองของแต่ละองค์ประกอบจึงควรมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปด้วย จากแนวคิดเรื่องระบบพบว่าจะสามารถแยกระบบ (System) ออกเป็นระบบย่อย (Sub-system) ซึ่งแต่ละระบบย่อยจะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดที่สามารถจัดการได้เพื่อการวิเคราะห์ระบบที่ดี แต่ระบบย่อยต้องสามารถหาค่าที่ดีที่สุดจากฟังก์ชันที่พิจารณาและในท้ายที่สุดจะสามารถรวมระบบย่อยเหล่านี้เพื่อวิเคราะห์ในภาพรวมของระบบ Hall และ Dracap

ได้นำเสนอแนวทางในการแยกระบบทรัพยากรน้ำ (Water Resource System) ออกเป็น 5 ระบบย่อยตามประเภทของวัตถุประสงค์ซึ่งประกอบด้วย

- (1) ระบบลุ่มน้ำ (Watershed Sub-System, WSSS)
- (2) ระบบควบคุมน้ำในลำน้ำ (River Regulation Sub-System, RRSS)
- (3) ระบบส่งน้ำ (Water Distribution Sub-System, WDSS)
- (4) ระบบการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ (Water Use Sub-System, WUSS) และ
- (5) ระบบจัดการน้ำเสีย (Water Waste Regulation Sub-System, WWRSS)

โดยปกติแล้วระบบลุ่มน้ำทำหน้าที่หลักในการเก็บกักน้ำเพื่อตอบสนองกิจกรรมต่างๆ ทางด้านท้ายน้ำซึ่งความสามารถที่จะบรรลุดตามวัตถุประสงค์ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำและปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่างที่มีส่วนสำคัญในการเพิ่มหรือลดความจุเก็บกักของน้ำในอ่างโดยมีระบบควบคุมน้ำเป็นกลไกควบคุมอีกครั้งหนึ่ง สำหรับระบบควบคุมน้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่มีไม่แน่นอนจากอิทธิพลของกระบวนการสโตคาสติกในวัฏจักรอุทกวิทยาให้เป็นปริมาณน้ำที่สามารถควบคุมได้และมีความแน่นอนทั้งทางด้านปริมาณและเวลา ในขณะที่ระบบส่งน้ำซึ่งประกอบด้วยระบบแม่น้ำสาขา (River Reaches System) และระบบคลองส่งน้ำ (Canal System) มีจุดเริ่มต้นจากระบบควบคุมน้ำในลำน้ำถึงจุดที่มีการนำน้ำไปใช้ สำหรับระบบการนำน้ำไปใช้ประโยชน์จะประกอบด้วยแปลงพื้นที่ที่มีการนำน้ำไปใช้ซึ่งรับน้ำต่อจากระบบส่งน้ำโดยตรง และระบบจัดการน้ำเสียเป็นการรวบรวมน้ำเสียจากระบบที่มีการนำน้ำไปใช้เพื่อนำไปบำบัดในขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะปล่อยสู่ลำน้ำหรือนำกลับไปใช้อีกครั้ง (Jain & Singh, 2003)

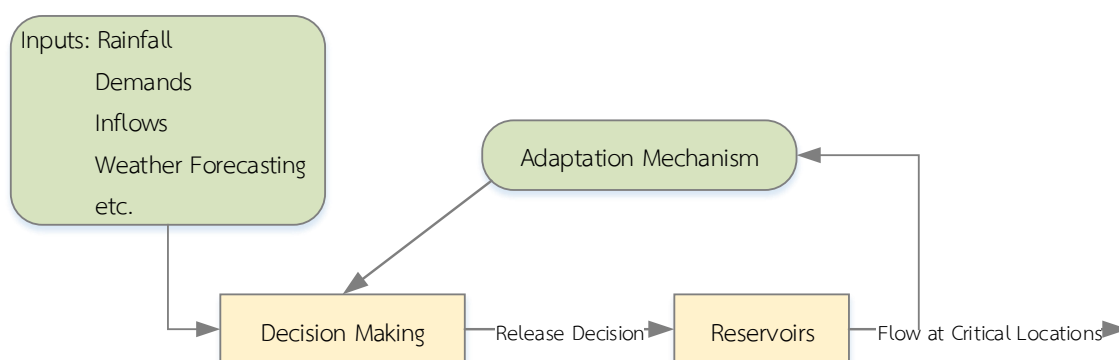
#### 4.8 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน (Real-Time Reservoir Operation)

โดยทั่วไปแล้วนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงความต้องการน้ำในอดีตและอาศัยข้อมูลอนุกรมเวลาของตัวแปรทางอุทกวิทยาในอดีตและสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่มาทำการวิเคราะห์ซึ่งโอกาสความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์จริงปัจจุบันจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับเหตุการณ์ที่เกิดก่อนหน้านี้ในอดีตค่อนข้างน้อยมาก อาจกล่าวได้ว่าการปฏิบัติการระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสามารถกระทำได้หากช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์และการดำเนินการควบคุมเหตุการณ์ดังกล่าวนั้นสั้น ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบันพบว่าการตัดสินใจปล่อยน้ำจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระยะสั้น (Short-Term Information) ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Purposes) กล่าวคือ ถ้าเป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อการควบคุมน้ำท่วม ข้อมูลระยะสั้นอาจจะหมายถึงข้อมูลปฏิบัติการรายชั่วโมง หรือถ้าเป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อการอนุรักษ์น้ำ ข้อมูลระยะสั้นอาจจะหมายถึงข้อมูลรายวันหรือยาวกว่าก็ได้

การปฏิบัติการที่เวลาจริงปัจจุบัน (Real-Time Control/Operation) หมายถึง กระบวนการตัดสินใจโดยอาศัยข้อมูลกายภาพของระบบซึ่งมีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตเพื่อให้นำข้อมูลไปใช้

งานได้ง่ายและทันเวลาสำหรับใช้ควบคุมการปฏิบัติงานของระบบ ด้วยเหตุนี้เมื่อเกิดเหตุการณ์วิกฤต ผู้ปฏิบัติงานจะสามารถเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริง ปัจจุบันพบว่า การตัดสินใจปล่อยน้ำที่ช่วงเวลาในอนาคตจะพิจารณาสถานภาพของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้น ซึ่งรวมถึงการพยากรณ์แนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณความต้องการน้ำในช่วงเวลานั้นอีกด้วย ดังนั้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลอ่างเก็บน้ำและข้อมูลพยากรณ์ให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น การตัดสินใจปล่อยน้ำก็จะถูกปรับเปลี่ยนตามไปด้วย

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบันค่อนข้างเหมาะกับการปฏิบัติงานในช่วงน้ำหลากซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในขณะที่เดียวกันจะต้องทำการตัดสินใจอย่างเร่งด่วนและปรับเปลี่ยนไปตามสถานการณ์น้ำของระบบ แบบจำลองระบบถูกพัฒนาขึ้นโดยกำหนดให้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยเป็นตัวแปรตัดสินใจ วิธีการพยากรณ์รูปแบบต่าง ๆ ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างที่ช่วงเวลาในอนาคตโดยขึ้นอยู่กับสถานภาพปัจจุบันและพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในอดีตของข้อมูลดังกล่าว ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดการปล่อยน้ำจากอ่างในปริมาณที่เหมาะสม กระบวนการควบคุมการปฏิบัติการยังสามารถใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำที่ตำแหน่งวิกฤตมาประกอบการตัดสินใจได้ด้วย กระบวนการควบคุมระบบรู้จักกันดีในชื่อ Adaptive Control หรือการตัดสินใจจะถูกปรับเปลี่ยนตามผลลัพธ์ที่ได้จากระบบดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การควบคุมผลลัพธ์ที่ปรับเปลี่ยนได้ของระบบ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

ประสิทธิผลของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบันส่วนหนึ่งเป็นผลจากความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลอุทกวิทยาในอนาคตให้ถูกต้องแม่นยำและอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างซึ่งสัมพันธ์กับผลการพยากรณ์อากาศ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองฝนน้ำท่า รวมถึงผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำ เป็นต้น ข้อมูลพยากรณ์จะมีประโยชน์อย่างมากหากนำมาใช้ก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์ล้นหน้า โดยทั่วไปแล้วข้อมูลพยากรณ์ระยะยาวจะถูกนำมาใช้ในการวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ข้อมูลก็จะสูงตามไปด้วย ด้วย

เหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างสมดุลที่เหมาะสมระหว่างความถูกต้องของข้อมูลและช่วงเวลาพยากรณ์ เพื่อให้การปฏิบัติการ ณ เวลานั้น ๆ เหมาะสม โดยปกติแล้วการกำหนดช่วงเวลาพยากรณ์ (Forecast Lead Time) จะพิจารณาจากลักษณะรูปร่างของกลุ่มน้ำซึ่งมีผลต่อเวลาในการเดินทางของน้ำก่อนที่จะไหลลงสู่ลำน้ำและกลายเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง โดยส่วนใหญ่แล้วช่วงเวลาพยากรณ์ล่วงหน้าในการดำเนินมาตรการเพื่อบรรเทาน้ำท่วมจะต้องอย่างน้อย 10-12 ชั่วโมง การพยากรณ์ที่ให้ผลต่ำกว่าค่าจริง (Under-Prediction) อาจทำให้เกิดสถานการณ์น้ำท่วมรุนแรงตามมา และเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เสี่ยงภัย ในทางกลับกันหากผลการพยากรณ์สูงกว่าค่าจริง (Over-Prediction) จะทำให้ปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำสูงกว่าที่เป็นจริง ยิ่งไปกว่านั้นการแลกเปลี่ยนข้อมูลและการเตรียมข้อมูลที่ต้องการและรวดเร็วระหว่างผู้ปฏิบัติงานยังเป็นส่วนสำคัญสำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจภายใต้กรอบเวลาที่มีจำกัดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน รวมทั้งยังสามารถช่วยแจ้งเตือนภัยประชาชนที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงล่วงหน้าได้ทันทั่วถึง

นอกจากนี้อัตราการไหลสูงสุดผ่านอาคารทางออกนับเป็นข้อมูลที่สำคัญในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะในกรณีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคาดการณ์สูงกว่าอัตราการไหลสูงสุดผ่านอาคารทางออกซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน รวมถึงข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดผ่านอาคารทางออกที่ระดับน้ำเก็บกักต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจปล่อยน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดจนเงื่อนไขทางด้านท้ายน้ำและเหนือน้ำ (Downstream and Upstream Conditions) ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลความจุเก็บกักสูงสุดของลำน้ำที่ไม่เกิดผลกระทบใด ๆ กับพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ ข้อมูล Backwater Surface Profile รวมถึงการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Sedimentation) ซึ่งมีผลต่อพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนการประมาณค่าและคาดการณ์ปริมาณตะกอนที่จะตกทับถมในอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะทำให้ทราบการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในอ่างในช่วงฤดูน้ำหลาก

เมื่อมีสัญญาณที่ระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ระบบจะต้องแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องรับทราบ รวมถึงสื่อสารข้อมูลแก่เจ้าหน้าที่ทุกฝ่าย รวมถึงประชาชนส่วนรวมเพื่อดำเนินมาตรการแจ้งเตือนภัยและอพยพประชาชนออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยโดยเร็วที่สุด การสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลนับได้ว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน ยกตัวอย่างเช่น หากทุก ๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องรับทราบถึงข้อมูลแนวโน้มปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำทันเวลาและทั่วถึงก็จะสามารถลดความเสียหายที่เกิดน้ำท่วมได้ โดยหน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลในการเตือนภัยและควบคุมน้ำท่วมควรแจ้งข้อมูลแนวโน้มปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนสูงสุดก่อนล่วงหน้าให้แก่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องสำหรับนำไปใช้ในการวางแผนการปฏิบัติการและหาแนวทางแก้ไขได้ทันเวลา นอกจากนี้จะต้องรายงานข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยสูงสุดจากเขื่อน และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ปัจจุบัน ตลอดจนสถานการณ์ที่คาดการณ์ล่วงหน้าในอนาคตอีกด้วย ซึ่งจะต้องมีเจ้าหน้าที่หรือหน่วยงานที่ทำหน้าที่จัดเตรียมข้อมูลน้ำท่วมคาดการณ์เหล่านี้ในรูปแบบของคำแถลงการณ์หรือประกาศที่มีความชัดเจนและมีรายละเอียดเพียงพอที่จะสามารถคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ นอกจากนี้อาจจะต้องมี

การเตรียมการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้งโดยหน่วยงานที่มีอำนาจและหน้าที่ในการตัดสินใจ ในขณะที่เดียวกันจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงหรือระมัดระวังในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ผิดพลาด เนื่องจากเป็นการยากมากที่จะมีเวลาทบทวนสิ่งที่ผิดพลาดภายใต้เงื่อนไขของเวลาที่มีจำกัดและการปฏิบัติการจริงของทุก ๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นผลต่อเนื่องกัน

### เอกสารอ้างอิง (References)

- วรารุช วุฒิวิชัย, ทองเปลว กองจันทร์, และวัชระ เสือดี. (2550). *อุทกวิทยาประยุกต์ทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- อารียา ฤทธิมา. (2545). *การพัฒนาเกณฑ์ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำมูลบน-ลำแชะ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Draper, A., & Lund, R. (2004). Optimal hedging and carry over storage value. *J. Water Resour. Plann. Manage., ASCE*, 130 (1), 83-87.
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Banafsheh, Z. (2003). *Water resources system analysis*. New York: Lewis Publishers.
- Lund, J.R., & Ferreira, I. (1996). Operating rule optimization for the Missouri River Reservoir System. *J. Water Resour. Plann. Manage., ASCE*, 122 (4), 287-295.
- Lund, J.R., & Guzman, J. (1999). Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 125 (3), 143-153.
- Neelakantan, T.R., & Pundarikanthan, N.V. (2000). Neural network-based simulation-optimization model for reservoir operation. *J. Water Resour. Plann. Manage., ASCE*, 126, 57-64.
- Onoz, B., Yegen, E.B., & Ucar, Y. (2005). *Analysis of Istanbul water supply and operation policies*. Turkey: Hydraulics Division, Civil Engineering Faculty, Istanbul Technical University.
- Shiau, J. (2003). Water release policy effects on the shortage characteristics for the Shihmen reservoir system during droughts. *Water Resour. Manage.*, 17, 463-480.
- Vudhivanich, V. (1986). *Methodology for inclusion of risk in multireservoir operations* (Doctoral dissertation). Colorado: Department of Civil Engineering, Colorado State University.

Wurbs, R. (2005). *Comparative evaluation of generalized river/reservoir system models* (Technical Report No. 282). Texas: Texas Water Resources Institute.







## 05 เทคนิคในการพัฒนาโค้งเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve Development Techniques)

เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Rules) นับเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้ประสบผลสำเร็จและเพิ่มความเชื่อมั่นในการตัดสินใจปล่อยน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำซึ่งมีโอกาสเสี่ยงที่จะปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำล้มเหลวทั้งจากการปล่อยน้ำส่วนเกินให้ไหลล้นอ่างและการส่งน้ำไม่เพียงพอตามปริมาณความต้องการน้ำส่งผลให้เกิดการขาดน้ำตามมา ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องหาแนวทางปฏิบัติเพื่อให้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบรรลุผลสำเร็จตามแผนที่ตั้งไว้ โดยทั่วไปเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะอยู่ในรูปของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve) และส่วนใหญ่จะอาศัยทั้งเทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique) และเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique) ในการพัฒนาเครื่องมือดังกล่าว อย่างไรก็ตามวิธีการสร้างโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่อาศัยองค์ความรู้และแนวคิดในการพัฒนาที่ไม่ซับซ้อนได้แก่ โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Probability Based Rule Curve) และโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุด (Minimum Vacancy Storage Requirement Rule Curve) ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดและแสดงตัวอย่างการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำไว้ในบทนี้

### 5.1 การพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Development of Probability Based Rule Curves)

โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Probability Based Rule Curve) พัฒนาขึ้นโดยอาศัยข้อมูลสมมูลน้ำของอ่างเก็บน้ำที่ทำการตรวจวัดในอดีตระยะยาวมาทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) โดยประยุกต์หลักทฤษฎีของความน่าจะเป็น (Probability Approach) (Kawabata et al., 2000; Satoh et al., 1999)

#### 5.1.1 เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve)

##### 5.1.1.1 แนวคิดในการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด

เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve, URC) เป็นเส้นระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมากที่สุดที่ทำให้มีความเสี่ยงต่อการที่อ่างมีปริมาตรไม่พอที่จะรับน้ำหลากอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยระดับน้ำในอ่างที่มากที่สุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาซึ่งในที่นี้กำหนดให้

(1) ปริมาตรเก็บกักระหว่างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) เรียกว่า ปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Volume of Flood Control Reserve,  $VFC_t$ )

(2) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Reservoir Inflow Volume) คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Inflow) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่าง (Reservoir Outflow) ตามสูตรการคำนวณดังนี้คือ

$$NRI_t = I_t + P_t - E_t - Se_t - D_t \quad \text{-----}(5.1)$$

เมื่อ  $NRI_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิในเดือน t (mcm)

$I_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในเดือน t (mcm)

$P_t$  = ปริมาณฝนที่ตกลงบนผิวน้ำอ่างในเดือน t (mcm)

$E_t$  = ปริมาณการระเหยจากอ่างในเดือน t (mcm)

$Se_t$  = ปริมาณการรั่วซึมออกจากอ่างในเดือน t (mcm)

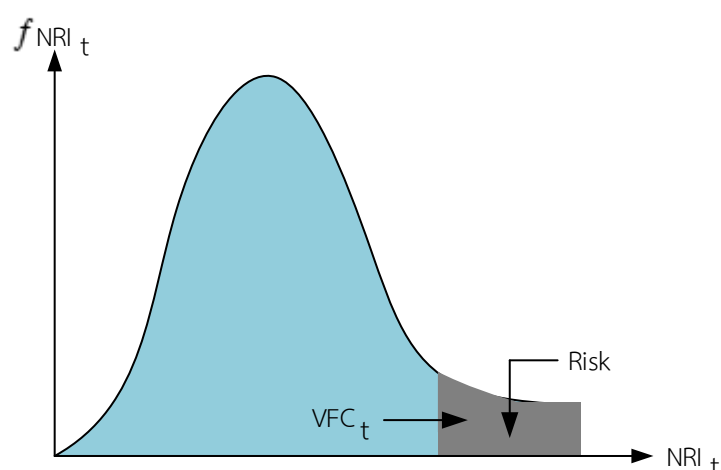
$D_t$  = ปริมาณความต้องการน้ำในเดือน t (mcm)

ด้วยเหตุนี้เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดจึงเป็นเส้นที่โอกาสความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิจะมากกว่าปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมนั้นมีค่าน้อยกว่าความเสี่ยงที่กำหนด หรือเขียนได้เป็น  $\text{Prob}(NRI_t > VFC_t) < \text{Risk}$

#### 5.1.1.2 วิธีการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด

(1) เลือกข้อมูลทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติแล้ว คำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ ( $NRI_t$ ) โดยที่ t เป็นเดือนที่  $NRI_t > 0$  สำหรับในกรณีที่  $NRI_t \leq 0$  จะได้  $VFC_t = 0$  ซึ่งหมายความว่าเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ระดับเก็บกักปกตินั่นเอง

(2) วิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $NRI_t$  ตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $NRI_t$

(3) กำหนดค่าความเสี่ยง (Risk) ที่ต้องการเพื่อคำนวณค่า  $VFC_t$  โดยค่าความเสี่ยงจะเป็นส่วนกลับของรอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period,  $Tr$ ) ดังนี้คือ

$$\text{Risk} = \frac{1}{Tr} = \text{Prob}(X \geq X_{Tr}) \quad \text{-----}(5.2)$$

(4) พล็อตค่า  $VFC_t$  โดยอ้างอิงกับระดับน้ำเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) ของอ่างเก็บน้ำ จะได้เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดที่ต้องการที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ

### 5.1.2 ระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve)

#### 5.1.2.1 แนวคิดในการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve, LRC) เป็นระดับน้ำในอ่างที่ควรรักษาไว้เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในอนาคต หรือความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในอนาคตอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ดังนี้

$$\text{Prob}(VBUF_t + \sum_{i=t}^D NRI_t < 0) < \text{Risk} \quad \text{เมื่อ} \quad \sum_{i=t}^D NRI_t < 0 \quad \text{หรือ}$$

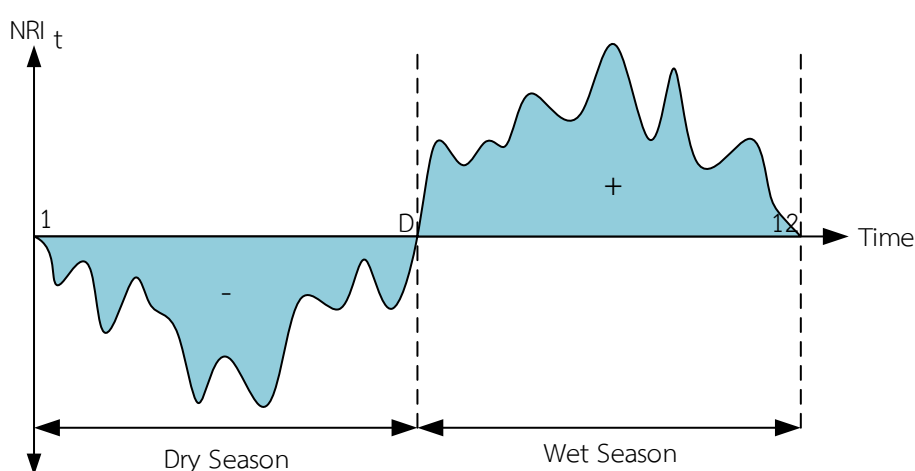
$$\text{Prob}(-\sum_{i=t}^D NRI_t > VBUF_t) < \text{Risk} \quad \text{-----}(5.3)$$

เมื่อกำหนดให้  $V_{BUF_t}$  คือปริมาณน้ำในอ่างที่ควรรักษาระดับไว้ (Buffer Storage Volume) และ  $D$  เป็นเดือนที่สิ้นสุดฤดูแล้ง

#### 5.1.2.2 วิธีการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

(1) เลือกข้อมูลที่ทำให้การตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติแล้ว คำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ ( $NRI_t$ )

(2) วิเคราะห์หาช่วงฤดูฝน (Wet Season) และช่วงฤดูแล้ง (Dry Season) โดยอาศัยหลักเกณฑ์ตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 เกณฑ์การวิเคราะห์หาช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ในที่นี้กำหนดให้ช่วงฤดูฝนจะเริ่มจากเดือนแรกที่มีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Inflow) มากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่าง (Reservoir Outflow) หลังจากที่มีช่วงเวลาติดต่อกันหลายเดือนที่ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างหรือ  $NRI_t > 0$  ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งจะเริ่มจากเดือนแรกที่มีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างหรือ  $NRI_t \leq 0$

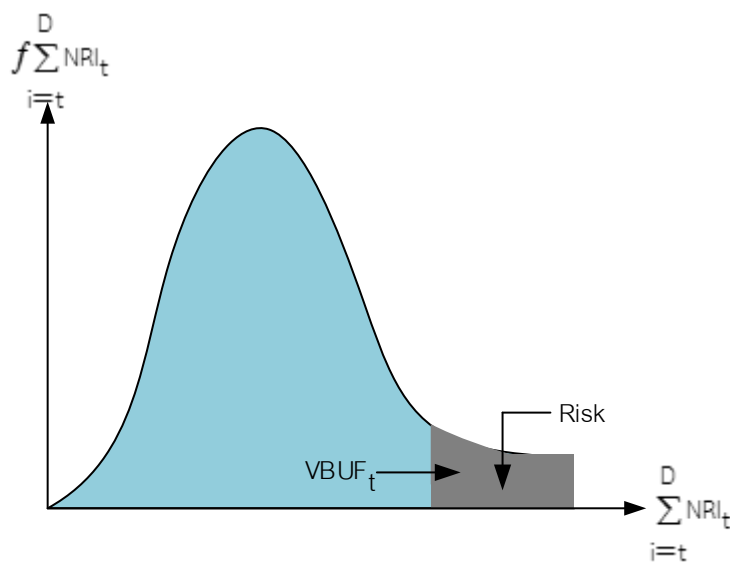
ในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสูงนั้น เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดจะถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level) หมายความว่าถ้ามีความจำเป็นต้องปล่อยน้ำออกจากอ่างในช่วงเวลาดังกล่าวจะสามารถระบายน้ำได้ถึงระดับเก็บกักต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากคาดว่าจะมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างตลอดช่วงฤดูฝน ในช่วงฤดูแล้งซึ่งปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างน้อยนั้นจำเป็นต้องมีน้ำส่วนหนึ่งสำรองไว้ในอ่าง ( $V_{BUF_t}$ ) เพื่อให้มีน้ำเพียงพอกับความต้องการตลอดช่วงฤดูแล้ง

$$\sum_{i=t}^D NRI_t$$

(3) คำนวณหา  $\sum_{i=t}^D \text{NRI}_t$  เมื่อ  $t = 1, 2, 3, \dots, D-1, D$

(4) วิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $\sum_{i=t}^D \text{NRI}_t$  เมื่อ  $t = 1, 2, 3, \dots, D-1, D$  จะได้  $f$

$\sum_{i=1}^D \text{NRI}_t, f \sum_{i=2}^D \text{NRI}_t, f \sum_{i=3}^D \text{NRI}_t, \dots, f \sum_{i=D-1}^D \text{NRI}_t, f \sum_{i=D}^D \text{NRI}_t$  ตามรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $\text{NRI}_t$

(5) กำหนดค่าความเสี่ยงที่ต้องการเพื่อคำนวณค่า  $\text{VBUF}_t$

(6) พล็อตค่า  $\text{VBUF}_t$  โดยอ้างอิงกับระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำจะได้เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดที่ต้องการที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ

### 5.1.3 ตัวอย่างการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Example of Probability Based Rule Curves Development)

ทำการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของอ่างเก็บน้ำมูลบน โดยอาศัยข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1952-1999 จำนวน 48 ปี โดยมีขั้นตอนการคำนวณตามตารางที่ 5.1-5.9

(1) ผลการพัฒนาเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve)



- \* เป็นข้อมูลตรวจวัดระยะยาว (Long-Term Observed Data) และทำการแปลงให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ใดๆก็ดีเพื่อให้ได้โดเมนของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับพฤติกรรมของข้อมูล อาจอาศัยหลักการสังเคราะห์ข้อมูล (Data Generation) เพื่อสร้างชุดข้อมูลหลาย ๆ ชุดสำหรับใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในการพัฒนาโดเมนของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

ตารางที่ 5.2 การจัดเรียงข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่

Year	Net Reservoirs Inflow Volume (mcm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0.61	-10.46	-8.33	-4.77	0.60	-3.51	-11.16	-1.70	-2.01	13.08	6.63	-1.16
2	-2.62	-15.93	-10.42	-3.87	-2.30	-1.99	19.39	29.33	22.92	15.18	-2.43	-3.73
3	-0.34	-11.24	-8.05	-7.22	-0.57	-4.84	-11.41	-2.46	4.01	2.38	-11.02	-3.96
4	-3.07	-15.45	-11.69	-2.42	-0.67	0.01	29.40	33.07	26.47	29.54	19.14	-1.77
5	-1.92	-14.89	-7.34	-7.35	-3.27	-1.27	15.85	9.72	22.69	29.20	-4.36	-4.72
6	-1.91	-14.67	-11.60	-10.10	-2.42	-1.60	-13.16	-4.82	5.00	12.42	-3.96	-3.08
7	-2.67	-14.57	-11.56	-6.73	-5.38	-4.94	9.80	16.68	58.29	33.95	-1.34	-3.66
8	-0.92	-14.19	-10.04	-5.81	-4.09	-1.42	-10.23	-7.32	13.98	14.00	-8.99	-3.99
9	-0.68	-12.51	-8.39	-6.15	-0.35	2.29	-18.91	-9.86	-4.36	9.31	2.27	-2.04
10	-0.14	-12.22	-8.51	-7.04	-1.56	-0.46	-16.17	-4.54	9.05	31.02	-8.68	-3.19
Net Reservoir Inflow Volume during Year 11-39												
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
40	-1.85	-16.13	-11.68	-8.19	-0.15	1.66	-11.05	17.55	91.69	31.68	-3.26	-3.29
41	-1.77	-14.49	-7.06	-6.03	-1.77	-2.92	2.33	12.50	87.47	75.04	-1.52	-3.72
42	-0.13	-10.79	-9.97	-4.72	-1.67	6.45	8.84	16.91	39.14	30.41	-1.64	-0.41
43	-1.25	-14.47	-8.30	-7.50	0.41	-0.31	0.19	8.23	8.33	6.24	-11.05	-4.08
44	0.00	-10.11	-6.82	-6.38	1.10	2.08	-10.73	-3.24	19.07	28.88	7.49	-0.82
45	-1.28	-12.42	-10.00	-5.57	-0.38	-0.54	-16.85	3.34	45.53	3.44	8.17	-4.30
46	-2.45	-15.18	-11.34	-7.45	-2.60	-3.21	-22.24	-5.17	6.94	0.60	-12.54	6.95
47	34.22	-10.14	-6.58	0.72	-1.31	-3.38	-20.00	-4.59	4.24	-8.63	-6.07	-3.33
48	-0.69	-13.64	-9.27	-3.56	8.86	9.19	-15.20	0.63	10.89	40.85	15.35	-3.04
Mean	-0.49	-13.31	-8.77	-5.59	-1.30	-0.82	-7.36	4.15	22.43	17.43	-1.00	-2.74
Stdev.	5.19	2.09	2.14	2.25	2.46	2.92	11.88	10.04	23.04	18.73	8.52	1.82
Skew.	6.63	0.82	0.47	0.10	1.63	1.10	1.47	0.90	1.39	1.07	1.00	3.40



ตารางที่ 5.3 การแปลงข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่  $X_t$  ให้กลายเป็น  $Y_t$  (ม.ค.-มิ.ย.)

Year	Net Reservoirs Inflow Volume (mcm)											
	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun	
	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$
1	-0.61	2.49	-10.46	6.14	-8.33	3.61	-4.77	5.43	0.60	6.04	-3.51	1.49
2	-2.62	0.48	-15.93	0.67	-10.42	1.51	-3.87	6.33	-2.30	3.13	-1.99	3.00
3	-0.34	2.76	-11.24	5.36	-8.05	3.89	-7.22	2.98	-0.57	4.86	-4.84	0.15
4	-3.07	0.03	-15.45	1.15	-11.69	0.25	-2.42	7.78	-0.67	4.77	0.01	5.01
5	-1.92	1.18	-14.89	1.71	-7.34	4.60	-7.35	2.85	-3.27	2.16	-1.27	3.73
6	-1.91	1.19	-14.67	1.93	-11.60	0.33	-10.10	0.10	-2.42	3.02	-1.60	3.40
7	-2.67	0.43	-14.57	2.03	-11.56	0.37	-6.73	3.47	-5.38	0.05	-4.94	0.06
8	-0.92	2.18	-14.19	2.41	-10.04	1.90	-5.81	4.39	-4.09	1.34	-1.42	3.58
9	-0.68	2.42	-12.51	4.08	-8.39	3.55	-6.15	4.05	-0.35	5.08	2.29	7.28
10	-0.14	2.96	-12.22	4.38	-8.51	3.42	-7.04	3.16	-1.56	3.88	-0.46	4.54
Net Reservoir Inflow Volume during Year 11-39												
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
40	-1.85	1.25	-16.13	0.47	-11.68	0.26	-8.19	2.01	-0.15	5.28	1.66	6.66
41	-1.77	1.33	-14.49	2.11	-7.06	4.88	-6.03	4.17	-1.77	3.67	-2.92	2.08
42	-0.13	2.97	-10.79	5.81	-9.97	1.97	-4.72	5.48	-1.67	3.77	6.45	11.45
43	-1.25	1.85	-14.47	2.13	-8.30	3.64	-7.50	2.70	0.41	5.84	-0.31	4.68
44	0.00	3.10	-10.11	6.49	-6.82	5.11	-6.38	3.82	1.10	6.53	2.08	7.08
45	-1.28	1.82	-12.42	4.18	-10.00	1.93	-5.57	4.63	-0.38	5.05	-0.54	4.46
46	-2.45	0.65	-15.18	1.42	-11.34	0.60	-7.45	2.75	-2.60	2.84	-3.21	1.79
47	34.22	37.31	-10.14	6.46	-6.58	5.36	0.72	10.92	-1.31	4.12	-3.38	1.62
48	-0.69	2.40	-13.64	2.96	-9.27	2.67	-3.56	6.64	8.86	14.30	9.19	14.18
Mean	-0.49	2.61	-13.06	3.54	-8.77	3.17	-5.59	4.61	-1.30	4.13	-0.82	4.17
Stdev.	5.19	5.19	2.84	2.84	2.14	2.14	2.25	2.25	2.46	2.46	2.92	2.92
Skew.	6.63	6.63	2.35	2.35	0.47	0.47	0.10	0.10	1.63	1.63	1.10	1.10
Min.	-3.07		-16.43		-11.82		-10.10		-5.38		-4.95	

หมายเหตุ : ทำการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่  $NRit$  ( $X_t$ ) ให้กลายเป็น  $NRit$  ( $Y_t$ ) เพื่อให้ข้อมูลเป็น  
 บวกสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของข้อมูล  
 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่ในขั้นตอนถัดไป ซึ่งในที่นี้กำหนดให้  $Y_t = X_t - \min\{X_{ti}\}$  เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, N$  ปี

ตารางที่ 5.4 การแปลงข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่  $X_t$  ให้กลายเป็น  $Y_t$  (ก.ค.-ธ.ค)

Year	Net Reservoirs Inflow Volume (mcm)											
	Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$	$X_t$	$Y_t$
1	-11.16	11.31	-1.70	9.13	-2.01	2.39	13.08	21.80	6.63	19.29	-1.16	3.61
2	19.39	41.86	29.33	40.16	22.92	27.32	15.18	23.90	-2.43	10.23	-3.73	1.04
3	-11.41	11.05	-2.46	8.37	4.01	8.41	2.38	11.10	-11.02	1.65	-3.96	0.80
4	29.40	51.87	33.07	43.90	26.47	30.87	29.54	38.26	19.14	31.80	-1.77	2.99
5	15.85	38.31	9.72	20.56	22.69	27.09	29.20	37.92	-4.36	8.31	-4.72	0.05
6	-13.16	9.31	-4.82	6.01	5.00	9.40	12.42	21.14	-3.96	8.71	-3.08	1.69
7	9.80	32.27	16.68	27.51	58.29	62.68	33.95	42.67	-1.34	11.32	-3.66	1.10
8	-10.23	12.23	-7.32	3.52	13.98	18.37	14.00	22.72	-8.99	3.67	-3.99	0.77
9	-18.91	3.55	-9.86	0.97	-4.36	0.04	9.31	18.03	2.27	14.94	-2.04	2.73
10	-16.17	6.29	-4.54	6.30	9.05	13.45	31.02	39.74	-8.68	3.98	-3.19	1.57
Net Reservoir Inflow Volume during Year 11-39												
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
40	-11.05	11.42	17.55	28.38	91.69	96.09	31.68	40.40	-3.26	9.40	-3.29	1.48
41	2.33	24.79	12.50	23.33	87.47	91.87	75.04	83.76	-1.52	11.14	-3.72	1.05
42	8.84	31.30	16.91	27.75	39.14	43.54	30.41	39.13	-1.64	11.02	-0.41	4.35
43	0.19	22.66	8.23	19.06	8.33	12.72	6.24	14.95	-11.05	1.61	-4.08	0.69
44	-10.73	11.74	-3.24	7.59	19.07	23.46	28.88	37.60	7.49	20.16	-0.82	3.94
45	-16.85	5.62	3.34	14.18	45.53	49.93	3.44	12.16	8.17	20.83	-4.30	0.47
46	-22.24	0.22	-5.17	5.67	6.94	11.34	0.60	9.32	-12.54	0.13	6.95	11.71
47	-20.00	2.46	-4.59	6.24	4.24	8.64	-8.63	0.09	-6.07	6.60	-3.33	1.44
48	-15.20	7.26	0.63	11.47	10.89	15.29	40.85	49.57	15.35	28.01	-3.04	1.72
Mean	-7.36	15.11	4.15	14.98	22.43	26.83	17.43	26.15	-1.00	11.66	-2.74	2.02
Stdev.	11.88	11.88	10.04	10.04	23.04	23.04	18.73	18.73	8.52	8.52	1.82	1.82
Skew.	1.47	1.47	0.90	0.90	1.39	1.39	1.07	1.07	1.00	1.00	3.40	3.40
Min.	-22.24		-10.73		-4.36		-8.63		-12.54		-4.72	

หมายเหตุ : ทำการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่  $NRIt$  ( $X_t$ ) ให้กลายเป็น  $NRIt$  ( $Y_t$ ) เพื่อให้ข้อมูลเป็น  
 บวกสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของข้อมูล  
 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิใหม่ในขั้นตอนถัดไป ซึ่งในที่นี้กำหนดให้  $Y_t = X_t - \min\{X_{ti}\}$  เมื่อ  $i=1, 2, \dots, N$  ปี

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการฟิตด้วยฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบกัมเบล และแบบปกติของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิในเดือนมกราคมโดยวิธีการทดสอบ Smirnov-Kolmogorov

No.	Monthly Net Inflow in January (Xt)=(Yt)	Plotting Position, F'(X)	Gumbel Distribution		Normal Distribution	
			F(X)	Diff = abs[F'(X)-F(X)]	F(X)	Diff = abs[F'(X)-F(X)]
1	2.49	0.0204	0.5608	0.5404	0.4908	0.4704
2	0.48	0.0408	0.3862	0.3454	0.3405	0.2997
3	2.76	0.0612	0.5824	0.5212	0.5118	0.4506
4	0.03	0.0816	0.3458	0.2642	0.3097	0.2280
5	1.18	0.1020	0.4498	0.3478	0.3917	0.2896
6	1.19	0.1224	0.4505	0.3281	0.3923	0.2698
7	0.43	0.1429	0.3819	0.2391	0.3372	0.1943
8	2.18	0.1633	0.5359	0.3726	0.4673	0.3040
9	2.42	0.1837	0.5554	0.3717	0.4856	0.3020
10	2.96	0.2041	0.5975	0.3934	0.5269	0.3228
11	3.13	0.2245	0.6101	0.3856	0.5397	0.3152
12	1.94	0.2449	0.5160	0.2711	0.4491	0.2042
13	2.84	0.2653	0.5884	0.3230	0.5177	0.2524
14	3.10	0.2857	0.6084	0.3227	0.5379	0.2522
15	3.00	0.3061	0.6004	0.2943	0.5298	0.2237
16	2.94	0.3265	0.5961	0.2696	0.5255	0.1990
17	2.88	0.3469	0.5917	0.2447	0.5210	0.1741
18	1.81	0.3673	0.5042	0.1369	0.4385	0.0712
19	2.52	0.3878	0.5633	0.1755	0.4932	0.1054
20	2.95	0.4082	0.5972	0.1890	0.5265	0.1184
21	1.13	0.4286	0.4452	0.0167	0.3879	0.0407
22	2.46	0.4490	0.5589	0.1099	0.4889	0.0400
23	2.17	0.4694	0.5351	0.0657	0.4666	0.0028
24	1.19	0.4898	0.4509	0.0389	0.3926	0.0972
25	0.53	0.5102	0.3914	0.1188	0.3445	0.1657
26	1.19	0.5306	0.4502	0.0804	0.3920	0.1386
27	1.39	0.5510	0.4678	0.0832	0.4068	0.1442
28	2.15	0.5714	0.5336	0.0378	0.4652	0.1063
29	1.39	0.5918	0.4683	0.1235	0.4073	0.1846
30	1.79	0.6122	0.5026	0.1096	0.4371	0.1751
31	0.96	0.6327	0.4296	0.2030	0.3750	0.2576
32	0.55	0.6531	0.3926	0.2604	0.3455	0.3076
33	2.61	0.6735	0.5707	0.1027	0.5004	0.1731
34	0.60	0.6939	0.3974	0.2964	0.3493	0.3446
35	2.42	0.7143	0.5549	0.1593	0.4852	0.2291

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

No.	Monthly Net Inflow in Jan (Xt)=(Yt)	Plotting Position, F'(X)	Gumbel Distribution		Normal Distribution	
			F(X)	Diff = abs[F'(X)-F(X)]	F(X)	Diff = abs[F'(X)-F(X)]
36	2.03	0.7347	0.5233	0.2114	0.4557	0.2790
37	1.18	0.7551	0.4493	0.3058	0.3912	0.3639
38	1.76	0.7755	0.5005	0.2750	0.4352	0.3403
39	1.79	0.7959	0.5029	0.2931	0.4373	0.3586
40	1.25	0.8163	0.4556	0.3607	0.3965	0.4198
41	1.33	0.8367	0.4627	0.3740	0.4025	0.4342
42	2.97	0.8571	0.5984	0.2588	0.5277	0.3294
43	1.85	0.8776	0.5080	0.3696	0.4419	0.4357
44	3.10	0.8980	0.6084	0.2896	0.5379	0.3600
45	1.82	0.9184	0.5057	0.4126	0.4399	0.4785
46	0.65	0.9388	0.4022	0.5366	0.3530	0.5858
47	37.31	0.9592	0.9999	0.0407	1.0000	0.0408
48	2.40	0.9796	0.5541	0.4255	0.4844	0.4952
Mean	2.61		Diff. Max.	0.5404	Diff. Max.	0.5845
Stdev.	5.19		Diff. Critical (n=48, 5%)	0.1963	Diff. Critical (n=48, 5%)	0.1963
Gumbel Parameter			Result	Accepted	Result	Accepted
Yo=Ybar-0.45Sy	0.2735					
$\alpha=0.7797Sy$	4.0456					

หมายเหตุ : ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% และเลือกฟังก์ชันการแจกแจงแบบกัมเบลในการวิเคราะห์ สำหรับขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ฟังก์ชันการแจกแจงแบบกัมเบลของข้อมูล NRIt (Yt)

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Yo	0.27	2.26	2.20	3.60	3.03	2.86	9.77	10.46	16.46	17.72	7.83	1.20
$\alpha$	4.05	2.21	1.67	1.75	1.92	2.28	9.26	7.83	17.96	14.61	6.64	1.42

หมายเหตุ : Yo=Ybar-0.45Sy และ  $\alpha=0.7797Sy$

ตารางที่ 5.7 ผลการหาค่า VFCT (Yt) ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ ที่กำหนด

Risk	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.05	12.31	8.84	7.17	8.82	8.73	9.63	37.32	33.76	69.92	61.18	27.59	5.43
0.10	9.35	7.22	5.95	7.54	7.33	7.97	30.55	28.03	56.78	50.50	22.73	4.39
0.20	6.34	5.58	4.71	6.23	5.90	6.28	23.66	22.21	43.42	39.64	17.79	3.33
0.30	4.42	4.53	3.92	5.40	4.99	5.20	19.27	18.49	34.90	32.70	14.64	2.66

หมายเหตุ : กำหนดค่าความเสี่ยงที่ 0.05, 0.10, 0.20, และ 0.30 คำนวณหา VFct จากสูตรดังนี้  

$$VFct = Y = Ybar + KTr * Sy$$
 โดยที่  $KTr = -0.45 - 0.7797 * \ln[-\ln(1 - 1/Tr)]$  และ  $Risk = 1/Tr$

ตารางที่ 5.8 ผลการแปลงข้อมูล VFct (Yt) เป็น VFct (Xt)

Risk	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.05	9.21	-7.76	-4.77	-1.38	3.29	4.64	14.85	22.92	65.52	52.46	14.93	0.67
0.10	6.25	-9.38	-5.99	-2.66	1.89	2.97	8.08	17.20	52.39	41.78	10.07	-0.37
0.20	3.25	-11.02	-7.23	-3.96	0.47	1.28	1.20	11.38	39.02	30.92	5.13	-1.43
0.30	1.33	-12.07	-8.02	-4.80	-0.44	0.20	-3.20	7.66	30.50	23.99	1.98	-2.11

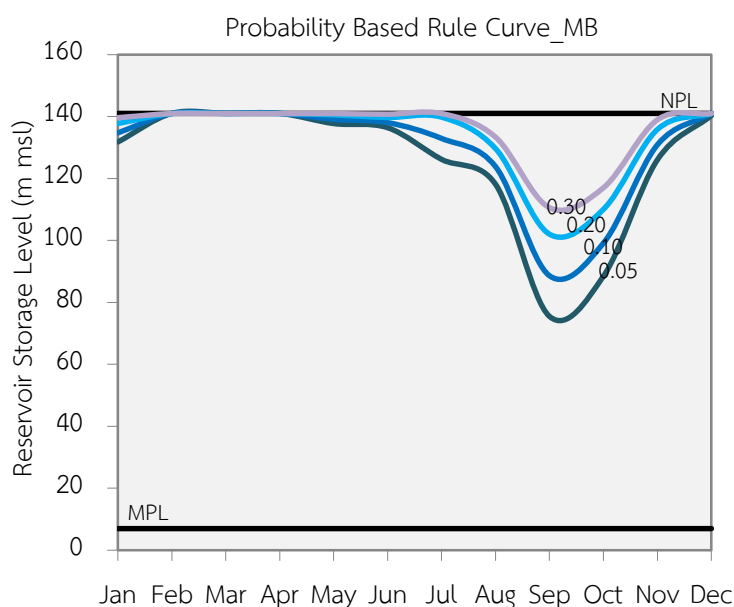
หมายเหตุ : ทำการแปลงกลับค่า  $Xt = Yt + \min\{Xti\}$  เมื่อ  $i=1, 2, \dots, N$  ปี

ตารางที่ 5.9 เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดที่ระดับความเสี่ยงต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำมูลบน

Month	NPL (m msl)	MPL (m msl)	Upper Rule Curve (m msl)			
			0.05	0.10	0.20	0.30
Jan	141.00	7.00	131.79	134.75	137.75	139.67
Feb	141.00	7.00	141.00	141.00	141.00	141.00
Mar	141.00	7.00	141.00	141.00	141.00	141.00
Apr	141.00	7.00	141.00	141.00	141.00	141.00
May	141.00	7.00	137.71	139.11	140.53	141.00
Jun	141.00	7.00	136.36	138.03	139.72	140.80
Jul	141.00	7.00	126.15	132.92	139.80	141.00
Aug	141.00	7.00	118.08	123.80	129.62	133.34
Sep	141.00	7.00	75.48	88.61	101.98	110.50
Oct	141.00	7.00	88.54	99.22	110.08	117.01
Nov	141.00	7.00	126.07	130.93	135.87	139.02
Dec	141.00	7.00	140.33	141.00	141.00	141.00

หมายเหตุ : หาก  $VFct \leq 0$ ,  $URC = NPL$  และ  $VFct > 0$ ,  $URC = [NPL - VFct]$

เมื่อทำการพล็อตค่า VFct โดยอ้างอิงกับระดับเก็บกักปกติของอ่างเก็บน้ำจะได้เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดที่ค่าความเสี่ยง 0.05, 0.10, 0.20, และ 0.30 ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ผลการพัฒนาเส้นระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำมูลบน

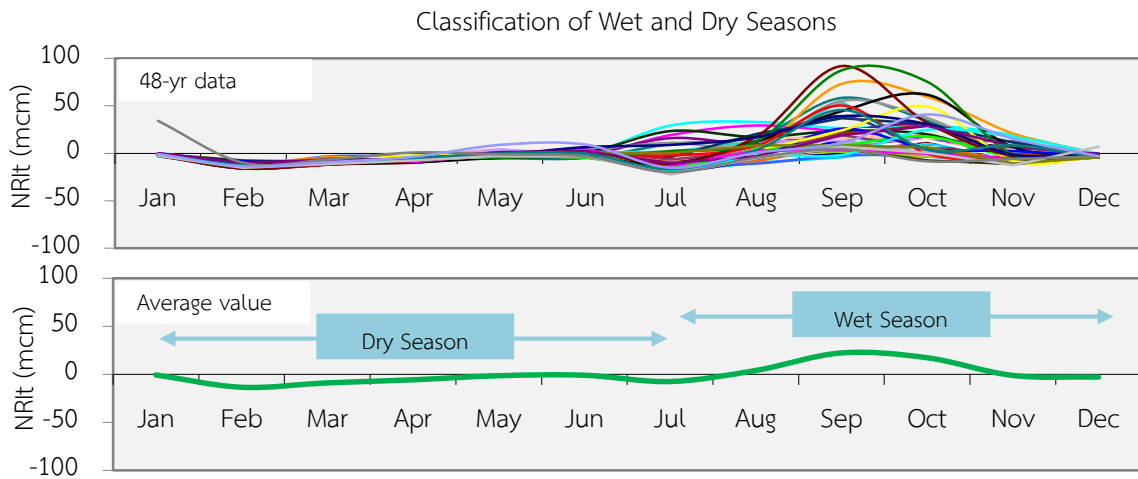
(2) ผลการพัฒนาเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve)

ผลการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Reservoir Inflow Volume) ของอ่างเก็บน้ำมูลบนในการพัฒนาเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดแสดงผลในตารางที่ 5.1 และทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ในลักษณะเดียวกับผลที่แสดงในตารางที่ 5.2 จากนั้นทำการคำนวณตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.10-5.16

ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำมูลบน

NRIt	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean	-0.49	-13.31	-8.77	-5.59	-1.30	-0.82	-7.36	4.15	22.43	17.43	-1.00	-2.74

จากผลการวิเคราะห์ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำมูลบนจากหลักเกณฑ์ข้างต้นพบว่าเดือนที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Inflow) มากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่าง (Reservoir Outflow) ครอบคลุมตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม อย่างไรก็ตามในที่นี้ได้กำหนดช่วงฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงธันวาคม และช่วงฤดูแล้งเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมถึงกรกฎาคมดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำมูลบน

ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ผลรวมของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิในช่วงฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำมูลบน

Year	Sum of Net Reservoirs Inflow Volume, Xt (mcm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	38.24	37.63	27.16	18.83	14.06	14.66	11.16	1.70	2.01	-13.08	-6.63	1.16
2	17.74	15.12	-0.81	-11.23	-15.09	-17.40	-19.39	-29.33	-22.92	-15.18	2.43	3.73
3	43.67	43.34	32.10	24.05	16.83	16.25	11.41	2.46	-4.01	-2.38	11.02	3.96
4	3.88	0.81	-14.63	-26.32	-28.75	-29.41	-29.40	-33.07	-26.47	-29.54	-19.14	1.77
5	20.19	18.27	3.38	-3.96	-11.31	-14.58	-15.85	-9.72	-22.69	-29.20	4.36	4.72
6	55.45	53.54	38.88	27.27	17.17	14.76	13.16	4.82	-5.00	-12.42	3.96	3.08
7	36.05	33.38	18.81	7.25	0.51	-4.87	-9.80	-16.68	-58.29	-33.95	1.34	3.66
8	46.71	45.79	31.60	21.56	15.75	11.65	10.23	7.32	-13.98	-14.00	8.99	3.99
9	44.71	44.04	31.52	23.13	16.98	16.63	18.91	9.86	4.36	-9.31	-2.27	2.04
10	46.10	45.96	33.74	25.22	18.18	16.63	16.17	4.54	-9.05	-31.02	8.68	3.19
	Sum of Net Reservoir Inflow Volume during Year 11-39											
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
40	47.38	45.53	29.40	17.73	9.54	9.39	11.05	-17.55	-91.69	-31.68	3.26	3.29
41	31.70	29.93	15.44	8.39	2.36	0.59	-2.33	-12.50	-87.47	-75.04	1.52	3.72
42	12.00	11.87	1.08	-8.89	-13.62	-15.28	-8.84	-16.91	-39.14	-30.41	1.64	0.41
43	31.22	29.97	15.51	7.21	-0.29	0.12	-0.19	-8.23	-8.33	-6.24	11.05	4.08
44	30.85	30.86	20.75	13.93	7.55	8.65	10.73	3.24	-19.07	-28.88	-7.49	0.82
45	47.04	45.77	33.35	23.34	17.77	17.39	16.85	-3.34	-45.53	-3.44	-8.17	4.30
46	64.48	62.03	46.85	35.51	28.05	25.45	22.24	5.17	-6.94	-0.60	12.54	-6.95
47	6.47	40.69	30.55	23.98	24.69	23.38	20.00	4.59	-4.24	8.63	6.07	3.33
48	24.32	23.63	9.98	0.71	-2.85	6.02	15.20	-0.63	-10.89	-40.85	-15.35	3.04



ตารางที่ 5.11 (ต่อ)

Year	Sum of Net Reservoirs Inflow Volume, X <sub>t</sub> (mcm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean	37.64	37.15	23.83	15.07	9.48	8.18	7.36	-4.15	-22.43	-17.43	1.00	2.74
Stdev.	14.02	13.25	13.37	13.62	13.13	12.68	11.88	10.04	23.04	18.73	8.52	1.82
Skew.	-0.66	-0.79	-0.96	-1.22	-1.19	-1.32	-1.47	-0.90	-1.39	-1.07	-1.00	-3.40
Min.	3.88	0.81	-14.63	-26.32	-28.75	-29.41	-29.40	-33.07	-91.69	-75.04	-20.79	-6.95

หมายเหตุ : จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นช่วงฤดูแล้งเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม-กรกฎาคม ดังนั้นจะคำนวณหา  $\sum_{i=t}^D \text{NRI}_t$

เมื่อ  $t=1, 2, \dots, 7$  ได้ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

$$\sum_{i=1}^7 \text{NRI}_{\text{Jan}} = \text{abs}[(-0.61)+(-10.46)+(-8.33)+(-4.77)+(0.60)+(-3.51)+(-11.16)] = 38.24 \text{ mcm}$$

$$\sum_{i=2}^7 \text{NRI}_{\text{Feb}} = \text{abs}[(-10.46)+(-8.33)+(-4.77)+(0.60)+(-3.51)+(-11.16)] = 37.63 \text{ mcm}$$

$$\sum_{i=3}^7 \text{NRI}_{\text{Mar}} = \text{abs}[(-8.33)+(-4.77)+(0.60)+(-3.51)+(-11.16)] = 27.16 \text{ mcm}$$

$$\sum_{i=4}^7 \text{NRI}_{\text{Apr}} = \text{abs}[(-4.77)+(0.60)+(-3.51)+(-11.16)] = 18.83 \text{ mcm}$$

$$\sum_{i=5}^7 \text{NRI}_{\text{May}} = \text{abs}[(0.60)+(-3.51)+(-11.16)] = 14.06 \text{ mcm}$$

$$\sum_{i=6}^7 \text{NRI}_{\text{Jun}} = \text{abs}[(-3.51)+(-11.16)] = 14.66 \text{ mcm}$$

$$\sum_{i=7}^7 \text{NRI}_{\text{Jul}} = \text{abs}[(-11.16)] = 11.16 \text{ mcm}$$



ตารางที่ 5.13 ค่าพารามิเตอร์ฟังก์ชันการแจกแจงแบบกัมเบลของข้อมูล  $\sum NRit (Yt)$ 

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Xo	27.45	30.37	32.60	35.52	32.60	32.18	31.70	24.73	59.80	49.93	18.17	8.94
$\alpha$	10.93	10.33	10.42	10.62	10.24	9.89	9.26	7.83	17.96	14.61	6.64	1.42

หมายเหตุ :  $Y_o = \bar{Y} - 0.45S_y$  และ  $\alpha = 0.7797S_y$

ตารางที่ 5.14 ผลการหาค่า VBUFT (Yt) ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ ที่กำหนด

Risk	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.05	59.97	61.11	63.62	67.13	63.08	61.60	59.26	48.03	113.26	93.39	37.93	13.17
0.10	51.98	53.56	56.00	59.36	55.59	54.37	52.49	42.30	100.13	82.71	33.08	12.13
0.20	43.85	45.87	48.24	51.46	47.97	47.01	45.60	36.48	86.76	71.85	28.14	11.07
0.30	38.66	40.97	43.29	46.42	43.11	42.32	41.21	32.76	78.24	64.91	24.99	10.40

หมายเหตุ : กำหนดค่าความเสี่ยงที่ 0.05, 0.10, 0.20, และ 0.30 คำนวณหา VBUFT จากสูตรดังนี้

$$VBUFT = \bar{Y} + K_{Tr} * S_y \text{ โดยที่ } K_{Tr} = -0.45 - 0.7797 * \ln[-\ln(1 - 1/Tr)] \text{ และ Risk} = 1/Tr$$

ตารางที่ 5.15 ผลการแปลงข้อมูล VBUFT (Yt) เป็น VBUFT (Xt)

Risk	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.05	63.85	61.92	48.84	40.54	34.04	31.89	29.57	14.63	20.65	17.60	16.93	6.15
0.10	55.86	54.37	41.22	32.78	26.56	24.66	22.80	8.90	7.52	6.92	12.07	5.11
0.20	47.73	46.68	33.46	24.88	18.94	17.31	15.91	3.08	-5.84	-3.94	7.13	4.06
0.30	42.54	41.78	28.51	19.83	14.08	12.62	11.51	-0.63	-14.37	-10.87	3.98	3.38

หมายเหตุ : ทำการแปลงกลับค่า  $X_t = Y_t + \min\{X_{ti}\}$  เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, N$  ปี

ตารางที่ 5.16 เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดที่ระดับความเสี่ยงต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำมูลบน

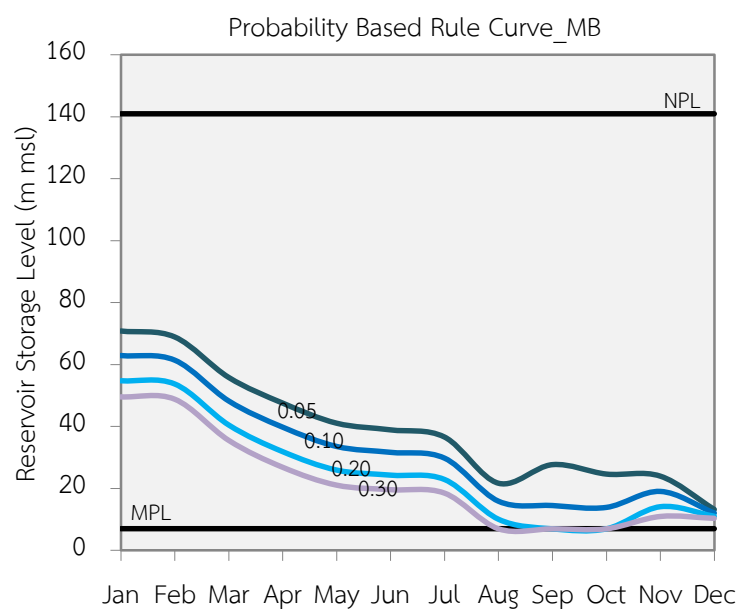
Month	NPL (m msl)	MPL (m msl)	Lower Rule Curve (m msl)			
			0.05	0.10	0.20	0.30
Jan	141.00	7.00	70.85	62.86	54.73	49.54
Feb	141.00	7.00	68.92	61.37	53.68	48.78
Mar	141.00	7.00	55.84	48.22	40.46	35.51
Apr	141.00	7.00	47.54	39.78	31.88	26.83
May	141.00	7.00	41.04	33.56	25.94	21.08
Jun	141.00	7.00	38.89	31.66	24.31	19.62
Jul	141.00	7.00	36.57	29.80	22.91	18.51
Aug	141.00	7.00	21.63	15.90	10.08	7.00
Sep	141.00	7.00	27.65	14.52	7.00	7.00

ตารางที่ 5.16 (ต่อ)

Month	NPL (m msl)	MPL (m msl)	Lower Rule Curve (m msl)			
			0.05	0.10	0.20	0.30
Oct	141.00	7.00	24.60	13.92	7.00	7.00
Nov	141.00	7.00	23.93	19.07	14.13	10.98
Dec	141.00	7.00	13.15	12.11	11.06	10.38

หมายเหตุ : หาก  $VBUft \leq 0$ ,  $LRC = MPL$  และ  $VFct > 0$ ,  $LRC = [MPL + VBUft]$

เมื่อทำการพล็อตค่า  $VBUft$  โดยอ้างอิงกับระดับเก็บกักต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำจะได้เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดที่ค่าความเสี่ยง 0.05, 0.10, 0.20, และ 0.30 ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ผลการพัฒนาเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำมูลบน

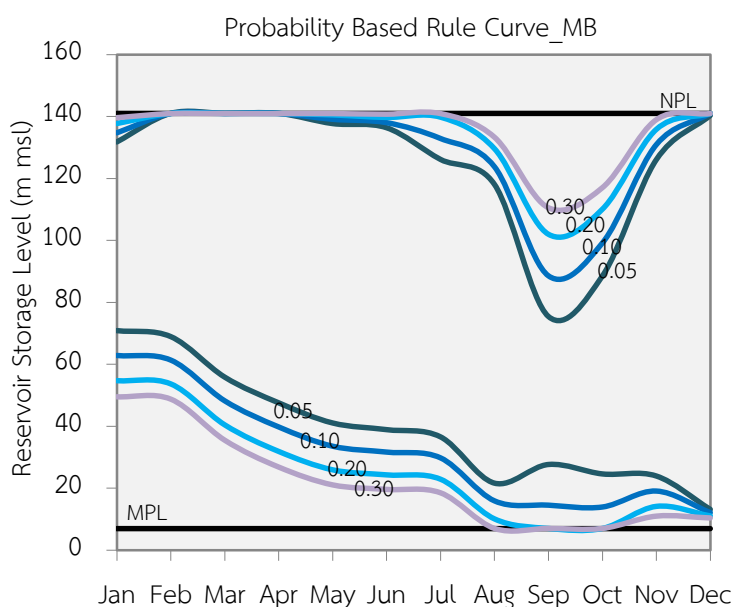
### (3) ผลการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมูลบน

ผลการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำมูลบนโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของความน่าจะเป็นและอาศัยข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำระยะยาวรายเดือนจำนวน 48 ปี มาทำการวิเคราะห์ได้ผลแสดงในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ระดับความเสี่ยงต่าง ๆ

Month	NPL (m.msl.)	MPL (m.msl.)	Upper Rule Curve (m.msl.)				Lower Rule Curve (m.msl.)			
			0.05	0.10	0.20	0.30	0.05	0.10	0.20	0.30
Jan	141.00	7.00	131.79	134.75	137.75	139.67	70.85	62.86	54.73	49.54
Feb	141.00	7.00	141.00	141.00	141.00	141.00	68.92	61.37	53.68	48.78
Mar	141.00	7.00	141.00	141.00	141.00	141.00	55.84	48.22	40.46	35.51
Apr	141.00	7.00	141.00	141.00	141.00	141.00	47.54	39.78	31.88	26.83
May	141.00	7.00	137.71	139.11	140.53	141.00	41.04	33.56	25.94	21.08
Jun	141.00	7.00	136.36	138.03	139.72	140.80	38.89	31.66	24.31	19.62
Jul	141.00	7.00	126.15	132.92	139.80	141.00	36.57	29.80	22.91	18.51
Aug	141.00	7.00	118.08	123.80	129.62	133.34	21.63	15.90	10.08	7.00
Sep	141.00	7.00	75.48	88.61	101.98	110.50	27.65	14.52	7.00	7.00
Oct	141.00	7.00	88.54	99.22	110.08	117.01	24.60	13.92	7.00	7.00
Nov	141.00	7.00	126.07	130.93	135.87	139.02	23.93	19.07	14.13	10.98
Dec	141.00	7.00	140.33	141.00	141.00	141.00	13.15	12.11	11.06	10.38

ผลการพล็อตค่าเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) โดยอ้างอิงกับระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level, NPL) และระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level, MPL) ของอ่างเก็บน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 5.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ค่าความเสี่ยงน้อยจำเป็นต้องสำรองปริมาณของอ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วมสูงกว่าที่ค่าความเสี่ยงมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำ หรือเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดที่ค่าความเสี่ยงน้อยจะอยู่ต่ำกว่าที่ค่าความเสี่ยงสูงนั่นเอง ในทางกลับกันเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดที่ค่าความเสี่ยงน้อยจะสูงกว่าที่ค่าความเสี่ยงสูง หรือแปลความหมายได้ว่าจำเป็นต้องเก็บกักน้ำเพิ่มเติมในช่วงฤดูแล้งในปริมาณที่สูงกว่าเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้น



รูปที่ 5.7 ผลการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของอ่างเก็บน้ำ  
มูลบน

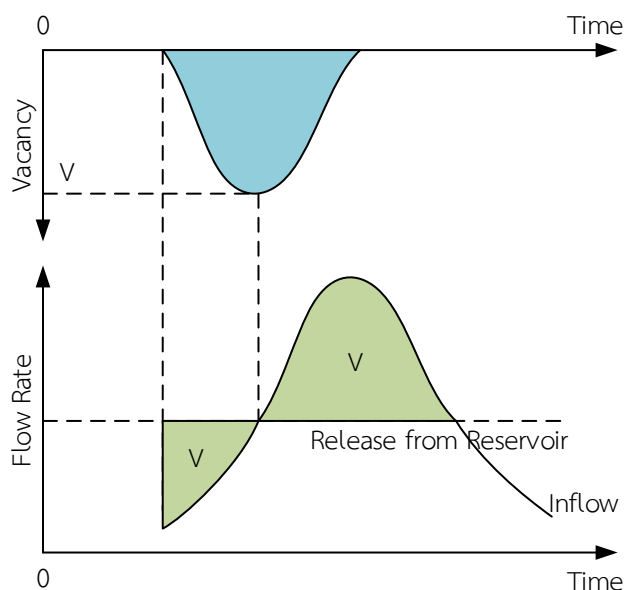
## 5.2 การพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุด (Development of Minimum Vacancy Storage Requirement Rule Curves)

หลักทฤษฎีที่นำมาสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) จะอาศัยแนวคิดที่ว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจะเต็มอ่างพอดีเมื่อสิ้นสุดฤดูฝน และจะแห้งอ่างพอดีเมื่อสิ้นสุดฤดูแล้ง

### 5.2.1 เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve)

#### 5.2.1.1 แนวคิดในการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด

แนวคิดในการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve, URC) นี้จะสมมติว่าในช่วงฤดูฝนมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกิน (Surplus Inflow) มีปริมาตรเท่ากับ  $V$  ดังนั้นก่อนถึงช่วงฤดูฝนจำเป็นต้องพร่องน้ำในอ่างให้มีปริมาตรว่าง (Vacancy) เท่ากับ  $V$  ทั้งนี้เพื่อสำรองปริมาณอ่างไว้ใช้เก็บกักน้ำตลอดช่วงฤดูฝน ด้วยการระบายน้ำออกจากอ่าง (Release) ในอัตราที่สูงกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Inflow) จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดฤดูฝนปริมาณเก็บกักในอ่างจะเต็มอ่างเก็บน้ำพอดี หรือกล่าวได้ว่าปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเท่ากับศูนย์นั่นเองดังแสดงรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำที่จะต้องสำรองไว้ใช้ตลอดช่วงฤดูฝน

#### 5.2.1.2 วิธีการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด

(1) นำข้อมูลที่ทำการศึกษาตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติแล้วมาคำนวณหาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำส่วนเกิน (Surplus Inflow) ซึ่งหาได้จากปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างทั้งหมด (Total Inflow) ลบด้วยปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างทั้งหมด (Total Release) โดยคำนวณเป็นค่ารายเดือน

(2) คำนวณหาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกินสะสม

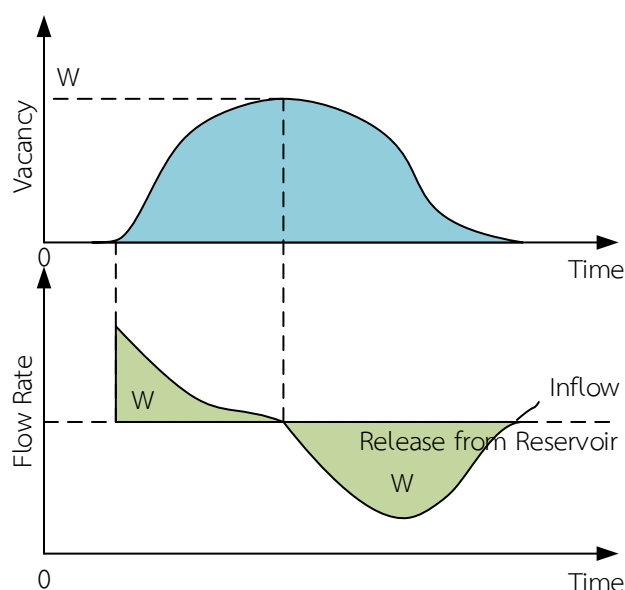
(3) คำนวณหาปริมาตรของอ่างที่จะต้องสำรองไว้ใช้เก็บกักน้ำที่ไหลเข้าอ่างส่วนเกิน โดยนำค่าจาก (2) ลบด้วยปริมาณน้ำที่ระดับเก็บกักปกติของอ่างเก็บน้ำ

(4) พล็อตค่าที่ได้จาก (3) จะได้เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด

#### 5.2.2 เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve)

##### 5.2.2.1 แนวคิดในการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

แนวคิดในการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve, LRC) จะสมมุติว่าในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างส่วนเกิน (Surplus Outflow) มีปริมาตรเท่ากับ  $W$  ดังนั้นก่อนถึงช่วงฤดูแล้งจำเป็นต้องเก็บกักน้ำในอ่างไว้ให้มีปริมาตรเท่ากับ  $W$  เพื่อให้มีน้ำเพียงพอต่อความต้องการตลอดช่วงฤดูแล้ง ด้วยการระบายน้ำออก (Release) ในอัตราที่ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Inflow) จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดฤดูแล้งปริมาณน้ำจะแห่งอ่างเก็บน้ำพอดีดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมในช่วงฤดูแล้ง

#### 5.2.2.2 วิธีการสร้างเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

- (1) นำข้อมูลที่ทำการศึกษาตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติแล้วมาคำนวณหาปริมาณน้ำที่ขาดแคลนของอ่าง โดยคิดจากปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องปล่อยทั้งหมดลบด้วยปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งหมด โดยคำนวณเป็นค่ารายเดือนเช่นเดียวกับเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด
- (2) คำนวณหาปริมาณน้ำที่ขาดแคลนสะสม
- (3) คำนวณหาปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมในช่วงฤดูแล้ง โดยนำค่าที่ได้จาก (2) บวกด้วยปริมาณน้ำที่ระดับเก็บกักต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำ
- (4) พล็อตค่าที่ได้จาก (3) จะได้เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

#### 5.2.3 ตัวอย่างการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้าง

##### ต่ำสุด (Example of Minimum Vacancy Storage Requirement Rule Curves Development)

ผลการพัฒนาเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและเส้นระดับเก็บกักต่ำสุดโดยวิธีโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุดอาศัยเกณฑ์ในการวิเคราะห์ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งตามที่กล่าวมาข้างต้นในการจัดแบ่งช่วงฤดู โดยแสดงรายละเอียดของการคำนวณไว้ในตารางที่ 5.18-5.19 และผลการพัฒนาได้สรุปผลไว้ในตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.10



ตารางที่ 5.18 ผลการคำนวณเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดโดยวิธีโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหา  
ปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุด

No.	Date	Rainfall (Pt)*	Inflow (It)*	Evaporation (Et)*	Percolation (Set)*	Demand (Dt)	Net Inflow	Net Outflow	Surplus Inflow	Vac. Req.**	Vac. Req.***	Upper Line
(Unit)		(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm) <sup>(1)</sup>	(mcm) <sup>(2)</sup>	(mcm) <sup>(3)</sup>	(mcm) <sup>(4)</sup>	(mcm) <sup>(5)</sup>	(mcm) <sup>(6)</sup>
0										0.00 <sup>(7)</sup>	0.00	141.00
1	Jan-52	0.000000	1.29	0.889657	0.538333	0.47	1.29	1.90	-0.61	0.00	0.00	141.00
2	Feb-52	1.058767	0.33	1.221297	0.528750	10.10	1.39	11.85	-10.46	0.00	0.00 <sup>(18)</sup>	141.00
3	Mar-52	0.684003	0.03	1.765456	0.497208	6.78	0.71	9.05	-8.33	0.00	0.00 <sup>(17)</sup>	141.00
4	Apr-52	1.158700	1.08	1.984714	0.552583	4.47	2.24	7.01	-4.77	0.00	1.94 <sup>(16)</sup>	139.06
5	May-52	2.128398	1.39	1.463514	0.621250	0.83	3.52	2.92	0.60	0.60	1.33 <sup>(15)</sup>	139.67
6	Jun-52	1.899362	0.35	1.337982	0.603917	3.81	2.25	5.75	-3.51	0.00	4.84 <sup>(14)</sup>	136.16
7	Jul-52	0.586922	9.06	1.489852	0.580542	18.73	9.65	20.80	-11.16	0.00	16.00 <sup>(13)</sup>	125.00
8	Aug-52	0.816386	8.67	1.149306	0.515500	9.52	9.49	11.19	-1.70	0.00	17.70 <sup>(12)</sup>	123.30
9	Sep-52	0.679280	7.48	1.251971	0.425083	8.49	8.16	10.17	-2.01	0.00	19.71 <sup>(11)</sup>	121.29
10	Oct-52	2.825467	20.09	1.420746	0.435167	7.98	22.92	9.84	13.08	13.08	6.63 <sup>(10)</sup>	134.37
11	Nov-52	0.000000	19.16	0.935852	0.512250	11.08	19.16	12.53	6.63	19.71	0.00 <sup>(9)</sup>	141.00
12	Dec-52	0.000000	3.59	0.853426	0.540417	3.35	3.59	4.75	-1.16	18.55	0.00 <sup>(8)</sup>	141.00
13	Jan-53	0.000000	0.40	1.782243	0.768667	0.47	0.40	3.02	-2.62	15.93	0.00	141.00
14	Feb-53	0.000000	0.32	2.035075	0.968333	13.24	0.32	16.25	-15.93	0.00	68.24	72.76
15	Mar-53	0.408852	0.17	2.040745	0.897083	8.06	0.58	11.00	-10.42	0.00	78.66	62.34
16	Apr-53	1.457778	0.13	1.593473	0.729083	3.13	1.59	5.46	-3.87	0.00	82.53	58.47
17	May-53	1.275859	1.07	1.354358	0.502917	2.79	2.35	4.65	-2.30	0.00	84.83	56.17
18	Jun-53	1.757499	1.82	1.477201	0.398750	3.69	3.58	5.57	-1.99	0.00	86.82	54.18
19	Jul-53	2.382381	27.96	1.798947	0.482083	8.67	30.34	10.95	19.39	19.39	67.43	73.57
20	Aug-53	0.830562	39.72	1.620709	0.657208	8.94	40.55	11.22	29.33	48.72	38.10	102.90
21	Sep-53	0.471247	32.69	1.488555	0.825292	7.92	33.16	10.24	22.92	71.64	15.18	125.82
22	Oct-53	0.520248	27.55	1.640450	0.977833	10.27	28.07	12.89	15.18	86.82	0.00	141.00
23	Nov-53	0.000000	10.50	1.355366	1.053583	10.52	10.50	12.93	-2.43	84.39	0.00	141.00
24	Dec-53	0.000000	2.08	1.476284	1.038083	3.29	2.08	5.81	-3.73	80.67	0.00	141.00
Data during Year 1954-1998												
565	Jan-99	0.169600	0.42	0.434936	0.376208	0.47	0.59	1.28	-0.69	310.46	0.00	141.00
566	Feb-99	0.038064	0.12	0.423931	0.153667	13.22	0.16	13.80	-13.64	296.82	57.74	83.26
567	Mar-99	0.067176	0.27	0.635575	0.129167	8.84	0.34	9.61	-9.27	287.55	67.01	73.99
568	Apr-99	0.232737	1.25	0.461331	0.109667	4.47	1.48	5.04	-3.56	283.99	70.57	70.43
569	May-99	0.621490	11.18	0.617565	0.128667	2.19	11.80	2.94	8.86	292.85	61.71	79.29
570	Jun-99	0.463925	12.32	0.886890	0.206958	2.50	12.78	3.60	9.19	302.04	52.52	88.48
571	Jul-99	0.305928	4.42	0.893038	0.263875	18.77	4.73	19.93	-15.20	286.84	67.72	73.28
572	Aug-99	0.683552	11.63	0.786385	0.259750	10.63	12.31	11.68	0.63	287.47	67.09	73.91
573	Sep-99	1.442265	15.49	0.603129	0.269875	5.17	16.93	6.05	10.89	298.36	56.20	84.80
574	Oct-99	1.421251	48.94	0.574234	0.422958	8.51	50.36	9.51	40.85	339.21	15.35	125.65

ตารางที่ 5.18 (ต่อ)

No.	Date	Rainfall (Pt)*	Inflow (It)*	Evaporation (Et)*	Percolation (Set)*	Demand (Dt)	Net Inflow	Net Outflow	Surplus Inflow	Vac. Req.**	Vac. Req.***	Upper Line
(Unit)		(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm) <sup>(1)</sup>	(mcm) <sup>(2)</sup>	(mcm) <sup>(3)</sup>	(mcm) <sup>(4)</sup>	(mcm) <sup>(5)</sup>	(mcm) <sup>(6)</sup>
575	Nov-99	0.555291	24.32	0.743724	0.709833	8.07	24.88	9.53	15.35	354.56	0.00	141.00
576	Dec-99	0.000000	2.18	0.951907	0.916542	3.35	2.18	5.22	-3.04	351.52	0.00	141.00
Mean		0.830056	7.82	1.124357	0.507757	6.80	8.65	8.43	0.22	133.77	26.67	114.89
Stdev.		0.988617	13.24	0.458849	0.292850	4.69	13.84	4.74	14.16	108.87	39.13	37.30
Skewness		2.259553	3.00	0.856483	0.647069	0.66	2.97	0.59	2.63	0.94	1.72	-1.53

- หมายเหตุ : (1) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Inflow) = ปริมาณน้ำฝน (Pt)+ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (It)
- (2) ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างสุทธิ (Net Outflow) = ปริมาณการระเหย (Et)+ปริมาณการรั่วซึม (Set)+ปริมาณความต้องการน้ำ (Dt)
- (3) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำส่วนเกิน (Surplus Inflow) = ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Inflow)-ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างสุทธิ (Net Outflow)
- (4) นำผลการคำนวณหาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกินมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าปริมาตรว่างที่ต้องการ (Vacancy Requirement to Store Successive Surplus Inflow) กล่าวคือหากผลรวมของปริมาตรว่างที่ต้องการในเดือนก่อนหน้านั้นกับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกินในเดือนปัจจุบันเป็นลบ ค่าปริมาตรว่างที่ต้องการจะสำรองไว้รองรับปริมาณน้ำส่วนเกินจะเท่ากับศูนย์ แต่หากผลรวมของปริมาตรว่างที่ต้องการในเดือนก่อนหน้านั้นกับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกินในเดือนปัจจุบันมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ค่าปริมาตรว่างที่ต้องการจะสำรองไว้รองรับปริมาณน้ำส่วนเกินจะเท่ากับผลรวมของปริมาตรว่างที่ต้องการในเดือนก่อนหน้านั้นกับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกินในเดือนปัจจุบัน
- (5) ในที่นี้กำหนดให้เดือนมกราคมของทุกปีเป็นเดือนที่สิ้นสุดฤดูฝน ดังนั้นระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะเต็มอ่างถึงระดับเก็บกักปกติหรือปริมาตรเก็บกักต่ำสุดเท่ากับศูนย์นั่นเอง ดังนั้นเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve/Upper Storage Limit Line) จะอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติพอดี
- (6) เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Storage Limit Line) = ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level)-ปริมาตรว่างที่ต้องการ (Vacancy Requirement)
- (7) สมมุติฐานของการวิธีนี้จะกำหนดให้ปริมาตรว่างต่ำสุดที่ต้องการเท่ากับศูนย์ที่เวลาเริ่มต้น
- (8-18) เป็นตัวอย่างการคำนวณหาปริมาตรว่างต่ำสุดที่ต้องการในปี ค.ศ. 1952 โดยทำการคำนวณย้อนกลับจากเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1953 ไปยังเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1952 (คำนวณปีต่อปี) ดังนี้ หากผลรวมระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำส่วนเกินกับปริมาตรว่างที่ต้องการในเดือนถัดไปมีค่ามากกว่าศูนย์ ปริมาตรว่างที่เดือนปัจจุบันจะมีค่าเท่ากับผลรวมระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำส่วนเกินกับปริมาตรว่างที่ต้องการในเดือนถัดไปนั้น และหากผลรวมระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำส่วนเกินกับปริมาตรว่างที่ต้องการในเดือนถัดไปมีค่าน้อยกว่าเท่ากับศูนย์ ปริมาตรว่างที่เดือนปัจจุบันจะมีค่าเท่ากับศูนย์

\* เป็นข้อมูลตรวจวัดระยะยาว (Long-Term Observed Data) และทำการแปลงให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน อย่างไรก็ตาม อยากรู้เพื่อให้ได้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เชื่อถือและสอดคล้องกับพฤติกรรมของข้อมูล อาจอาศัยหลักการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างชุดข้อมูลหลาย ๆ ชุดสำหรับใช้

เป็นข้อมูลป้อนเข้าในการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด  
และเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

\*\* ปริมาตรว่างต่ำสุดที่จะรองรับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างส่วนเกิน (Vacancy Requirement to  
Store Successive Surplus Inflow)

\*\*\* ปริมาตรว่างต่ำสุด (Vacancy Requirement)

ตารางที่ 5.19 ผลการคำนวณเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดโดยวิธีโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหา  
ปริมาตรเก็บกักว่างต่ำสุด

No.	Date	Rainfall (Pt)*	Inflow (It)*	Evaporation (Et)*	Percolation (Set)*	Demand (Dt)	Net Inflow (mcm) <sup>(1)</sup>	Net Outflow (mcm) <sup>(2)</sup>	Surplus Outflow (mcm) <sup>(3)</sup>	Min. Stor.Req. (mcm) <sup>(4)</sup>	Lower Line (mcm) <sup>(5)</sup>
(Unit)		(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm) <sup>(1)</sup>	(mcm) <sup>(2)</sup>	(mcm) <sup>(3)</sup>	(mcm) <sup>(4)</sup>	(mcm) <sup>(5)</sup>
1	Jan-52	0.000000	1.29	0.889657	0.538333	0.47	1.29	1.90	0.61	37.63	44.63
2	Feb-52	1.058767	0.33	1.221297	0.528750	10.10	1.39	11.85	10.46	27.16	34.16
3	Mar-52	0.684003	0.03	1.765456	0.497208	6.78	0.71	9.05	8.33	18.83	25.83
4	Apr-52	1.158700	1.08	1.984714	0.552583	4.47	2.24	7.01	4.77	14.06	21.06
5	May-52	2.128398	1.39	1.463514	0.621250	0.83	3.52	2.92	-0.60	14.66	21.66
6	Jun-52	1.899362	0.35	1.337982	0.603917	3.81	2.25	5.75	3.51	11.16	18.16
7	Jul-52	0.586922	9.06	1.489852	0.580542	18.73	9.65	20.80	11.16	0.00	7.00
8	Aug-52	0.816386	8.67	1.149306	0.515500	9.52	9.49	11.19	1.70	20.59 <sup>(16)</sup>	27.59
9	Sep-52	0.679280	7.48	1.251971	0.425083	8.49	8.16	10.17	2.01	18.58 <sup>(15)</sup>	25.58
10	Oct-52	2.825467	20.09	1.420746	0.435167	7.98	22.92	9.84	-13.08	31.66 <sup>(14)</sup>	38.66
11	Nov-52	0.000000	19.16	0.935852	0.512250	11.08	19.16	12.53	-6.63	38.29 <sup>(13)</sup>	45.29
12	Dec-52	0.000000	3.59	0.853426	0.540417	3.35	3.59	4.75	1.16	37.13 <sup>(12)</sup>	44.13
13	Jan-53	0.000000	0.40	1.782243	0.768667	0.47	0.40	3.02	2.62	34.51 <sup>(11)</sup>	41.51
14	Feb-53	0.000000	0.32	2.035075	0.968333	13.24	0.32	16.25	15.93	18.58 <sup>(10)</sup>	25.58
15	Mar-53	0.408852	0.17	2.040745	0.897083	8.06	0.58	11.00	10.42	8.16 <sup>(9)</sup>	15.16
16	Apr-53	1.457778	0.13	1.593473	0.729083	3.13	1.59	5.46	3.87	4.29 <sup>(8)</sup>	11.29
17	May-53	1.275859	1.07	1.354358	0.502917	2.79	2.35	4.65	2.30	1.99 <sup>(7)</sup>	8.99
18	Jun-53	1.757499	1.82	1.477201	0.398750	3.69	3.58	5.57	1.99	0.00 <sup>(6)</sup>	7.00
19	Jul-53	2.382381	27.96	1.798947	0.482083	8.67	30.34	10.95	-19.39	0.00	7.00
20	Aug-53	0.830562	39.72	1.620709	0.657208	8.94	40.55	11.22	-29.33	11.73	18.73
21	Sep-53	0.471247	32.69	1.488555	0.825292	7.92	33.16	10.24	-22.92	34.65	41.65
22	Oct-53	0.520248	27.55	1.640450	0.977833	10.27	28.07	12.89	-15.18	49.83	56.83
23	Nov-53	0.000000	10.50	1.355366	1.053583	10.52	10.50	12.93	2.43	47.40	54.40
24	Dec-53	0.000000	2.08	1.476284	1.038083	3.29	2.08	5.81	3.73	43.67	50.67
Data during Year 1954-1998											
565	Jan-99	0.169600	0.42	0.434936	0.376208	0.47	0.59	1.28	0.69	26.47	33.47
566	Feb-99	0.038064	0.12	0.423931	0.153667	13.22	0.16	13.80	13.64	12.83	19.83
567	Mar-99	0.067176	0.27	0.635575	0.129167	8.84	0.34	9.61	9.27	3.56	10.56
568	Apr-99	0.232737	1.25	0.461331	0.109667	4.47	1.48	5.04	3.56	0.00	7.00

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

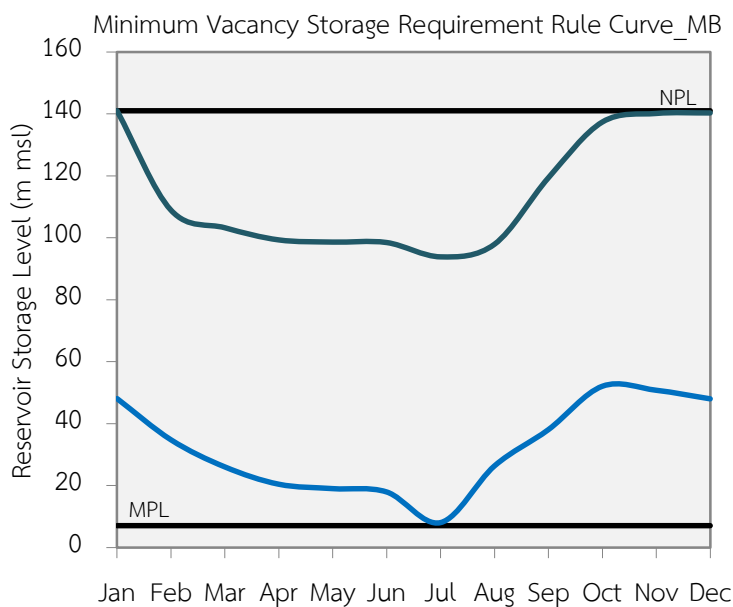
No.	Date	Rainfall (Pt)*	Inflow (It)*	Evaporation (Et)*	Percolation (Set)*	Demand (Dt)	Net Inflow	Net Outflow	Surplus Outflow	Min. Stor.Req.	Lower Line
(Unit)		(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm)	(mcm) <sup>(1)</sup>	(mcm) <sup>(2)</sup>	(mcm) <sup>(3)</sup>	(mcm) <sup>(4)</sup>	(mcm) <sup>(5)</sup>
569	May-99	0.621490	11.18	0.617565	0.128667	2.19	11.80	2.94	-8.86	6.02	13.02
570	Jun-99	0.463925	12.32	0.886890	0.206958	2.50	12.78	3.60	-9.19	15.20	22.20
571	Jul-99	0.305928	4.42	0.893038	0.263875	18.77	4.73	19.93	15.20	0.00	7.00
572	Aug-99	0.683552	11.63	0.786385	0.259750	10.63	12.31	11.68	-0.63	0.00	44.63
573	Sep-99	1.442265	15.49	0.603129	0.269875	5.17	16.93	6.05	-10.89	0.00	44.63
574	Oct-99	1.421251	48.94	0.574234	0.422958	8.51	50.36	9.51	-40.85	0.00	44.63
575	Nov-99	0.555291	24.32	0.743724	0.709833	8.07	24.88	9.53	-15.35	3.04	44.63
576	Dec-99	0.000000	2.18	0.951907	0.916542	3.35	2.18	5.22	3.04	0.00	44.63
Mean		0.830056	7.82	1.124357	0.507757	6.80	8.65	8.43	-0.22	24.37	0.00
Stdev.		0.988617	13.24	0.458849	0.292850	4.69	13.84	4.74	14.16	18.49	13.54
Skewness		2.259553	3.00	0.856483	0.647069	0.66	2.97	0.59	-2.63	0.28	0.19

- หมายเหตุ : (1) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Inflow) = ปริมาณน้ำฝน (Pt)+ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (It)
- (2) ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างสุทธิ (Net Outflow) = ปริมาณการระเหย (Et)+ปริมาณการรั่วซึม (Set)+ปริมาณความต้องการน้ำ (Dt)
- (3) ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำส่วนเกิน (Surplus Outflow) = ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างสุทธิ (Net Outflow)-ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Inflow)
- (4) ในที่นี้กำหนดให้เดือนกรกฎาคมของทุกปีเป็นเดือนที่สิ้นสุดฤดูแล้ง ดังนั้นระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะแห้งอ่างถึงระดับเก็บกักต่ำสุดหรือปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติม (Minimum Storage Requirement) เท่ากับศูนย์นั่นเอง ดังนั้นเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve/Lower Line) จะอยู่ที่ระดับเก็บกักต่ำสุดพอดี
- (5) เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Line) = ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level)+ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติม (Minimum Storage Requirement)
- (6-16) เป็นตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมในปี ค.ศ. 1952-1953 โดยทำการคำนวณย้อนกลับจากเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1953 ไปยังเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1952 (คำนวณปีต่อปี) ดังนี้ หากผลรวมระหว่างปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำส่วนเกินกับปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมในเดือนถัดไปมีค่ามากกว่าศูนย์ ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมที่เดือนปัจจุบันจะมีค่าเท่ากับผลรวมระหว่างปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำส่วนเกินกับปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมในเดือนถัดไปนั้น และหากผลรวมระหว่างปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำส่วนเกินกับปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมในเดือนถัดไปมีค่าน้อยกว่าเท่ากับศูนย์ ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักเพิ่มเติมที่เดือนปัจจุบันจะมีค่าเท่ากับศูนย์
- \* เป็นข้อมูลตรวจวัดระยะยาว (Long-Term Observed Data) และทำการแปลงให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับพฤติกรรมของข้อมูล อาจอาศัยหลักการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างชุดข้อมูลหลาย ๆ ชุดสำหรับใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด

ตารางที่ 5.20 ผลการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุดของ  
อ่างเก็บน้ำมูลบน

Month	NPL (m msl )	MPL (m msl)	Average of Upper Line, URC (m msl) <sup>(1)</sup>	Average of Lower Line, LRC (m msl) <sup>(2)</sup>
Jan	141.00	7.00	141.00	47.06
Feb	141.00	7.00	108.94	33.75
Mar	141.00	7.00	103.26	24.98
Apr	141.00	7.00	99.34	19.39
May	141.00	7.00	98.64	17.98
Jun	141.00	7.00	98.50	16.89
Jul	141.00	7.00	93.88	7.00
Aug	141.00	7.00	97.96	25.54
Sep	141.00	7.00	119.40	37.44
Oct	141.00	7.00	137.37	51.55
Nov	141.00	7.00	140.14	50.22
Dec	141.00	7.00	140.30	47.53

หมายเหตุ : (1&2) เป็นค่าเฉลี่ยของเส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและเส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดจากข้อมูลจำนวน 48 ปี



รูปที่ 5.10 ผลการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุดของ  
อ่างเก็บน้ำมูลบน

### 5.3 ผลการทดสอบการใช้งานของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Performances of Developed Rule Curves)

จากผลการทดสอบการใช้งานของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Probability Based Rule Curve) ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ ได้แก่ 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.30 และโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกักกว้างต่ำสุด (Minimum Vacancy Storage Requirement Rule Curve) รวมถึงผลการประเมินประสิทธิผลในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมูลบนพบว่า ความถี่ของการขาดน้ำ (Frequency of Shortage) และค่าผลรวมของการขาดน้ำ ( $\Sigma$ Shortage) มีค่ามากกว่าการใช้นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Policy) แต่ในทางกลับกันผลรวมของการขาดน้ำยกกำลังสอง ( $\Sigma$ (Shortage)<sup>2</sup>) มีค่าน้อยกว่าการใช้นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมาตรฐาน หรืออาจกล่าวได้ว่าโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้ง 2 วิธีนี้สามารถลดความรุนแรงของการขาดน้ำวิกฤต ซึ่งมีปริมาณการขาดน้ำสูงแต่เกิดขึ้นนาน ๆ ครั้งได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความถี่ของการไหลล้นอ่าง (Frequency of Spill) ปริมาณการไหลล้นอ่างสูงสุด (Max Spill) ผลรวมของปริมาณการไหลล้นอ่าง ( $\Sigma$ Spill) และผลรวมของปริมาณการไหลล้นอ่างยกกำลังสอง ( $\Sigma$ (Spill)<sup>2</sup>) ยังพบว่าเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งสองวิธีให้ค่าน้อยกว่าการใช้นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมาตรฐาน หรืออาจสรุปได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้ง 2 วิธีนี้สามารถลดความถี่และความรุนแรงของการไหลล้นอ่าง รวมถึงปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างทั้งหมดให้น้อยลงได้ นอกจากนี้เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นทั้งสองวิธียังช่วยลดโอกาสความน่าจะเป็นแบบมากกว่า (Exceedance Probability) ของการขาดน้ำวิกฤตได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปฏิบัติงานโดยใช้นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมาตรฐาน ในขณะเดียวกันผลการประเมินประสิทธิผลของระบบจากการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยวิเคราะห์ความเสี่ยงจากดัชนี 3 ตัว ได้แก่ ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index) ดัชนีวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability Index) และดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resilience Index) พบว่า ประสิทธิภาพของระบบเป็นที่น่าเชื่อถือได้ค่อนข้างดี และยังช่วยลดความรุนแรงของสภาวะการขาดน้ำและสภาวะการไหลล้นอ่างได้ในระดับหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยเกณฑ์ดังกล่าวนี้ โอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบจะคืนสู่สภาวะที่ไม่ก่อให้เกิดการขาดน้ำจะน้อยลง ในขณะที่โอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบจะคืนสู่สภาวะที่ไม่ก่อให้เกิดการไหลล้นอ่างจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากระบบจะพยายามจะรักษาสภาวะปกติไว้เพื่อลดความถี่ของสภาวะการไหลล้นอ่างให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด (อารียา ฤทธิมา, 2545; Vudhivanich & Rittima, 2003)

#### เอกสารอ้างอิง (References)

อารียา ฤทธิมา. (2545). การพัฒนาเกณฑ์ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำมูลบน-ลำสะ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Kawabata, A., Satoh, M., Vudhivanich, V., & Chedchanpipat, N. (2000). Operation principles of multipurpose reservoirs for stable water supply in the Mae Klong River Basin. *Proceedings of the International Conference, The Chao Phraya Delta: Historical Development, Dynamics and Challenges of Thailand's Rice Bowl* (pp. 453-469). Bangkok: Kasetsart University.
- Satoh, M., Kawabata, A., Vudhivanich, V., & Cherdchanpipat, N. (1999). Reservoir operation principles for stable water supply in the Mae Klong River Basin. *Proceeding of the Workshop on Sustainable Management of the Mae Klong River Basin* (pp. 1-13). Bangkok: Kasetsart University.
- Vudhivanich, V., & Rittima, A. (2003). Development of probability based rule curves for a reservoir. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 37 (2), 234-242.







## 06 ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indices)

แนวทางการวิเคราะห์การบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในระยะยาวนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องประเมินประสิทธิผลของระบบตลอดช่วงเวลาของการดำเนินงานเพื่อป้องกันความสำเร็จหรือความล้มเหลวในการปฏิบัติการที่ผ่านมาสำหรับนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงแนวทางปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต โดยทั่วไปมักจะทำการประเมินในรูปของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indices) ซึ่งมีการพัฒนาในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นมากมายตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามสามารถจัดแบ่งกลุ่มของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ (1) ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบดั้งเดิม (Traditional Performance Indices) และ (2) ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสมัยใหม่ (Modern Performance Indices) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 6.1 ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบดั้งเดิม (Traditional Performance Indices)

ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบดั้งเดิม (Traditional Performance Indices) ถูกพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ในอดีต โดยการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้นจะเป็นลักษณะของการอธิบายคุณสมบัติทางสถิติของสถานะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในรูปของค่าเฉลี่ย (Mean) ความแปรปรวน (Variance) ความถี่ (Frequency) ขนาด (Magnitude) และช่วงเวลา (Duration) เป็นส่วนใหญ่เช่น ค่าเฉลี่ยของการขาดน้ำ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นอ่าง ความถี่ของการขาดน้ำ ความถี่ของการไหลล้นอ่าง ขนาดสูงสุดของการขาดน้ำ ขนาดสูงสุดของการไหลล้นอ่าง เป็นต้น ถึงแม้ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบดั้งเดิมสามารถคำนวณได้ค่อนข้างง่าย อย่างไรก็ตามอาจเป็นการยากในการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิผลของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำหลาย ๆ อ่างพร้อมกันภายใต้เงื่อนไขข้อมูลระยะยาวต่างกัน หรือประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำล้มเหลว

### 6.2 ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสมัยใหม่ (Modern Performance Indices)

ดัชนีตัวชี้วัดที่นิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำปัจจุบันจะอยู่ในกลุ่มของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสมัยใหม่ (Modern Performance Indices) ที่ให้สารสนเทศในการประเมินประสิทธิผลของระบบได้ดียิ่งขึ้นไม่ว่าจะเป็น ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index) ดัชนีวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability Index) และดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resilience Index) (Cai et al., 2002; Fontane, 2001; Hashimoto, 1982; McMahan et al., 2006; Srdjevic et al., 2005) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาดัชนีชี้วัดเพื่อประเมินผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในแง่ของการขาดน้ำโดยเฉพาะเช่น ดัชนีความเสี่ยงของภัยแล้ง (Drought Risk Index) ดัชนีความ

เสียหายจากภัยแล้ง (Drought Damage Index) และดัชนี Modified Beard (Modified Beard Index) (Cancelliere et al., 1998) เป็นต้น รวมถึงพัฒนาดัชนีชี้วัดความยั่งยืนของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำที่สำคัญไม่ว่าจะเป็น ดัชนีความยุติธรรม (Fairness Index) (Lence et al., 1997) ดัชนีวัดความสามารถในการฟื้นตัว (Reversibility Index) (Fanai & Burn, 1997) ดัชนีความเห็นพ้อง (Consensus Index) (McMahon et al., 2006) และดัชนีวัดความยั่งยืน (Sustainability Index) (McMahon et al., 2006) Srdjevic (Srdjevic, 1987) ยังได้อธิบายประสิทธิผลของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพิ่มเติมด้วยการพัฒนาดัชนีวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักของอ่าง (Dispersion of Reservoir Storage Level Index) เทียบกับระดับของโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ที่ใช้ปฏิบัติงานอีกด้วย รายละเอียดของดัชนีชี้วัดที่สำคัญมีดังนี้

### 6.2.1 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index)

ความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) เป็นดัชนีที่มีความหมายในทางตรงข้ามกับความเสี่ยง (Risk) หมายถึงดัชนีตัวชี้วัดในรูปของโอกาสความน่าจะเป็นที่ใช้ประเมินสมรรถนะของระบบว่าสามารถปฏิบัติงานให้ได้รับความพึงพอใจมากน้อยแค่ไหนในช่วงเวลาที่พิจารณา ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ถูกจัดแบ่งประเภทได้หลายรูปแบบทั้งนี้เพื่อให้สามารถอธิบายความหมายครอบคลุมทั้งในด้านเวลา ปริมาณ และความถี่ของการเกิดเหตุการณ์มากที่สุดโดยสรุปมีดังนี้

#### □ ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลา (Time-Based Reliability)

ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลา (Time-Based Reliability) เป็นโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถปฏิบัติการบรรลุผลตามความต้องการเป้าหมายของแต่ละวัตถุประสงค์ภายในช่วงเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาบนพื้นฐานของเวลาโดยมีสมการดังนี้

$$RI_t = \frac{N_s}{N} \quad ; 0 < RI_t \leq 1 \quad \text{-----}(6.1)$$

เมื่อ  $RI_t$  = ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลา

$N_s$  = จำนวนช่วงเวลาที่ระบบปฏิบัติงานแล้วบรรลุผลสำเร็จ

$N$  = จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดที่พิจารณา

โดยทั่วไปการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลาจะขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของข้อมูลที่นำมาพิจารณา ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่ประเมินจากข้อมูลตรวจวัดจริงในอดีต (Historical Data) จะเรียกว่า Pseudo-Steady State Reliability และหากใช้ข้อมูลที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ในลักษณะ Infinite

Long Sequence จะเรียกว่า Steady State Reliability ซึ่งจะให้ค่าความน่าเชื่อถือได้คงที่ กล่าวได้ว่าเมื่อช่วงความยาวของข้อมูลตรวจวัดจริงในอดีตมากขึ้นจะทำให้ Pseudo-Steady State Reliability เข้าใกล้ Steady State Reliability มากยิ่งขึ้น

□ ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านปริมาณ (Quantity-Based Reliability)

ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านปริมาณ (Quantity-Based Reliability) เป็นดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติการที่พิจารณาบนพื้นฐานด้านปริมาณซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$RI_q = \frac{R_t}{D_t} \quad ; 0 < RI_q \leq 1 \quad \text{-----}(6.2)$$

เมื่อ  $RI_q$  = ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านปริมาณ

$R_t$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจริงจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา  $t$  ใด ๆ

$D_t$  = ปริมาณความต้องการน้ำจากอ่างเก็บน้ำ หรือเงื่อนไขข้อจำกัดของความจุลำน้ำ (Channel Capacity) ในช่วงเวลา  $t$  ใด ๆ

ต่อมา McMahon และคณะ (McMahon et al., 2006) ได้พัฒนาดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานด้านปริมาณดังนี้คือ

$$RI_v = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (D_t - R_t)}{\sum_{t=1}^N D_t} \quad ; 0 < RI_v \leq 1 \quad \text{-----}(6.3)$$

□ ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านความถี่ของการเกิด (Occurrence-Based Reliability)

ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านความถี่ของการเกิด (Occurrence-Based Reliability) เป็นดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติการที่พิจารณาบนพื้นฐานด้านความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ดังแสดงในสมการ

$$RI_o = \frac{ss}{ss + fs} \quad \text{-----}(6.4)$$

- เมื่อ  $RI_O$  = ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านความถี่ของการเกิด  
 $ss$  = จำนวนเหตุการณ์ที่ระบบประสบผลสำเร็จต่อเนื่องกันตลอดช่วงเวลา  
 พิจารณา  
 $fs$  = จำนวนเหตุการณ์ที่ระบบประสบความล้มเหลวต่อเนื่องกันตลอดช่วงเวลา  
 พิจารณา

### 6.3.2 ดัชนีวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability Index)

ดัชนีวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability Index) เป็นดัชนีวัดระดับความรุนแรงของความล้มเหลวเฉลี่ยในช่วงที่ระบบประสบความล้มเหลวทั้งหมด ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\eta' = \frac{\sum_{jth=1}^{fs} \max(S_{jth})}{fs} \quad \text{-----}(6.5)$$

- เมื่อ  $\eta'$  = ดัชนีวัดระดับความรุนแรง  
 $\max(S_{jth})$  = ขนาดของความล้มเหลวสูงสุดในช่วงเหตุการณ์ที่ระบบประสบความล้มเหลว  
 $\eta$  = ดัชนีวัดระดับความรุนแรงแบบไร้มิติ (Dimensionless Vulnerability)  
 $= \eta' / D_f$  โดยที่  $0 < \eta \leq 1$   
 $D_f$  = ปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายในช่วงที่เกิดความล้มเหลว

### 6.2.3 ดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resilience Index)

ดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resilience Index) เป็นโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบจะกลับคืนจากสภาวะล้มเหลวซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\varphi = \frac{fs}{fd} \quad ; fd \neq 0 \quad \text{-----}(6.6)$$

- เมื่อ  $\varphi$  = ดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ  
 $fd$  = จำนวนช่วงเวลาที่ระบบประสบความล้มเหลวทั้งหมด

### 6.2.4 ดัชนีความเสี่ยงของภัยแล้ง (Drought Risk Index)

ดัชนีความเสี่ยงของภัยแล้ง (Drought Risk Index) เป็นแนวคิดที่นำดัชนีชี้วัดในกลุ่มของดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ดัชนีวัดระดับความรุนแรง และดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบมาสร้างเป็นดัชนีตัวใหม่เพื่ออธิบายถึงความเสี่ยงของภัยแล้งที่เกิดขึ้นดังแสดงในสมการ

$$DRI = \xi_1 (1 - RI_t) + \xi_2 (1 - \varphi) + \xi_3 \eta \quad ; 0 < DRI \leq 1 \quad \text{-----}(6.7)$$

เมื่อ  $DRI$  = ดัชนีความเสี่ยงของภัยแล้ง  
 $\xi_1$  = สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักความสำคัญของ  $RI_t$ ,  $\eta$  และ  $\varphi$  โดยผลรวมของ  $\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1$

### 6.2.5 ดัชนีวัดความยั่งยืน (Sustainability Index)

ดัชนีวัดความยั่งยืน (Sustainability Index) เป็นดัชนีที่พัฒนาขึ้นเพื่อชี้วัดความยั่งยืนของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยนำดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ดัชนีวัดระดับความรุนแรง และดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบมาใช้ในการคำนวณเช่นเดียวกันดังแสดงในสมการ

$$\kappa = RI_t \varphi (1 - \eta) \quad ; 0 < \kappa \leq 1 \quad \text{-----}(6.8)$$

เมื่อ  $\kappa$  เป็นดัชนีวัดความยั่งยืน

### 6.2.6 ดัชนีวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Dispersion of Reservoir Storage Level Index)

ดัชนีวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Dispersion of Reservoir Storage Level Index) เป็นการวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักในอ่างด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานในรูปของค่าเฉลี่ย (Average) ความแปรปรวน (Variance) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Variation Coefficient) ดังแสดงในสมการที่ 6.9-6.11 วิธีนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับวิเคราะห์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของระบบที่ใช้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานเพื่อลดการกระจายตัวของระดับน้ำในแต่ละช่วงปีให้เกิดน้อยที่สุด

$$\bar{X}_L = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_{L_t} \quad \text{-----}(6.9)$$

$$\sigma_{X_L}^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_{L_t} - \bar{X}_L)^2 \quad \text{-----}(6.10)$$

$$CV = \frac{\sigma_{X_L}}{\bar{X}_L} = 1 \quad \text{-----}(6.11)$$

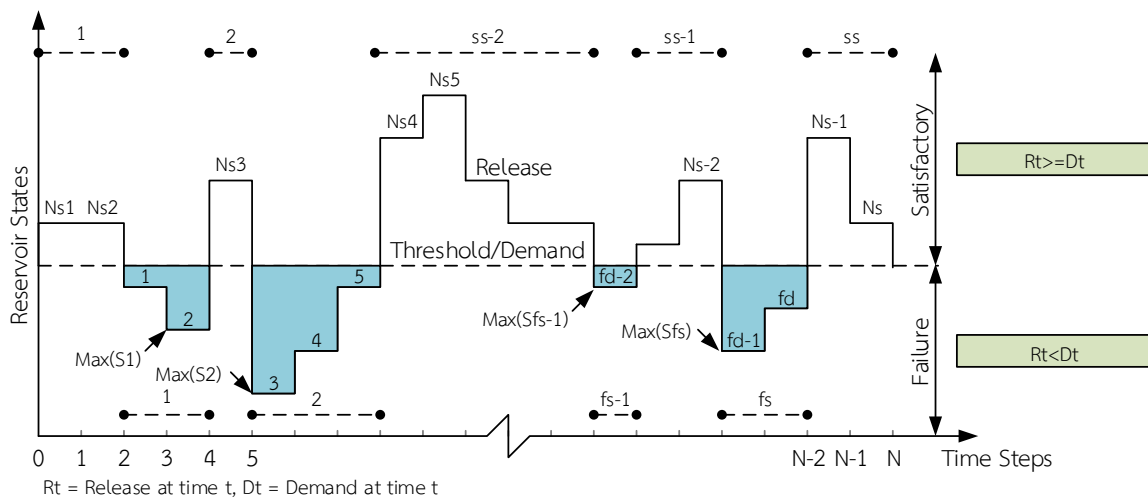
- เมื่อ  $X_{L_t}$  = ระดับน้ำเก็บกักในอ่างที่เวลา  $t$  ไต ๆ  
 $\bar{X}_L$  = ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำเก็บกักในอ่าง  
 $\sigma_{X_L}^2$  = ความแปรปรวนของระดับน้ำเก็บกักในอ่าง  
 $CV$  = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

### 6.3 การกำหนดสถานะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Determination of Reservoir Operation State)

สิ่งสำคัญในการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำก็คือการระบุสถานะของการปฏิบัติงานให้ชัดเจนระหว่างความสำเร็จ (Satisfactory) และความล้มเหลว (Failure) ที่เกิดขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 สถานะคือ

#### 6.3.1 สถานะการขาดน้ำ (Shortage Mode)

การระบุสถานะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำว่าประสบความสำเร็จหรือความล้มเหลวจากสถานะการขาดน้ำจะพิจารณาจากความสามารถในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Release) เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำ (Demand) ที่ช่วงเวลาใด ๆ กล่าวคือ หากปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำจะถือว่าเกิดการขาดน้ำ (Water Shortage) ในทางกลับกันหากปริมาณน้ำในอ่างมีอยู่เพียงพอที่จะปล่อยเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำแสดงว่าการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำประสบความสำเร็จ เพราะไม่เกิดการขาดน้ำนั่นเอง สำหรับรายละเอียดของการระบุตัวแปรเพื่อประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแสดงในรูปที่ 6.1



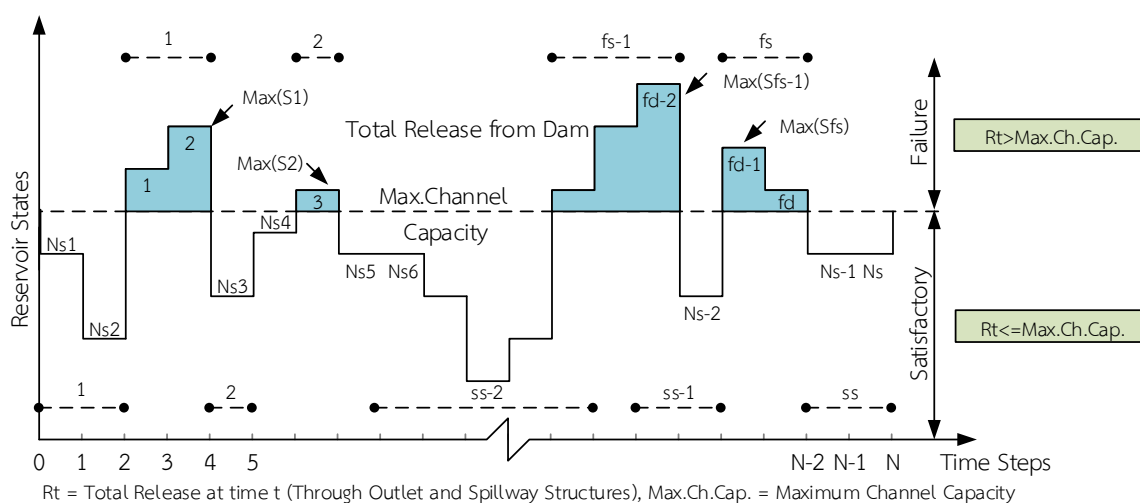
รูปที่ 6.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและการกำหนดสถานะของการขาดน้ำ

### 6.3.2 สถานะการไหลล้นอ่าง (Spillage Mode)

ความสำเร็จในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนอกเหนือจากจะพิจารณาจากความสามารถในการปฏิบัติงานโดยไม่เกิดการขาดน้ำแล้ว ยังรวมถึงความสามารถในการปฏิบัติงานโดยพยายามเก็บกักน้ำไว้ให้ได้มากที่สุดและไม่ปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างออกไป เนื่องจากในบางระบบแล้วน้ำที่ระบายทิ้งผ่านอาคารระบายน้ำล้นจะไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ เลย ด้วยเหตุนี้การกำหนดสถานะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำว่าประสบความสำเร็จหรือความล้มเหลวจากสถานะการไหลล้นอ่างจะพิจารณาจากการปล่อยน้ำส่วนเกินออกจากอ่างผ่านทางอาคารระบายน้ำล้นกล่าวคือ หากมีการปล่อยน้ำส่วนเกินที่ช่วงเวลาใด ๆ ผ่านทางอาคารระบายน้ำล้นจะเกิดการไหลล้นอ่างขึ้น (Spilled Water) ในทางกลับกันหากมีการปล่อยน้ำที่ช่วงเวลาใด ๆ ผ่านอาคารทางออกแสดงว่าการทำงานอยู่ในสภาวะปกติไม่มีน้ำส่วนเกินที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้นนั่นเองดังแสดงในรูปที่ 6.2







รูปที่ 6.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและการกำหนดสถานะของการเกิดน้ำท่วม

#### 6.4 การคำนวณค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Example of Estimating the Reservoir Performance Indices)

ตัวอย่างที่ 6.1-6.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาจากสภาวะการขาดน้ำ (Karamouz et al., 2003)

ตัวอย่างที่ 6.1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำรายเดือนแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 โดยมีปริมาณความต้องการน้ำทางด้านท้ายน้ำรายเดือนเท่ากับ 10 ล้านลูกบาศก์เมตร ให้หาค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index) เมื่อตอบสนองความต้องการน้ำได้ 100% และมากกว่า 80% ของปริมาณความต้องการน้ำ

ตารางที่ 6.1 ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน

เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน (mcm)		
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3
มกราคม	10	8	9
กุมภาพันธ์	12	10	11
มีนาคม	11	11	10
เมษายน	8	8	8
พฤษภาคม	7	6	5
มิถุนายน	7	7	6
กรกฎาคม	8	9	5

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน (mcm)		
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3
สิงหาคม	10	10	7
กันยายน	11	11	9
ตุลาคม	10	9	10
พฤศจิกายน	11	10	12
ธันวาคม	13	12	11
ผลรวมการขาดน้ำรายปี	10	13	21

**วิธีทำ** (1) ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่สามารถปล่อยน้ำให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำทางด้านท้ายน้ำรายเดือนทั้งหมดคิดจาก

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีความน่าเชื่อถือได้}_{(100\%)} &= \frac{\text{จำนวนเดือนที่สามารถปล่อยน้ำได้ตรงตามความต้องการน้ำ}}{\text{จำนวนเดือนทั้งหมดที่ปฏิบัติการ}} \times 100 \\ &= \frac{19}{36} = 52.70\% \end{aligned}$$

(2) ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่สามารถปล่อยน้ำอย่างน้อย 80% ของปริมาณความต้องการน้ำทางด้านท้ายน้ำรายเดือนคิดจาก

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีความน่าเชื่อถือได้}_{(80\%)} &= \frac{\text{จำนวนเดือนที่สามารถปล่อยน้ำได้อย่างน้อย 80% ของความต้องการน้ำ}}{\text{จำนวนเดือนทั้งหมดที่ปฏิบัติการ}} \times 100 \\ &= \frac{28}{36} = 77.70\% \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 6.2** จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 6.1 ให้หาค่าดัชนีวัดระดับความรุนแรงของระบบ (Vulnerability Index)

**วิธีทำ** จากตารางที่ 6.1 ปริมาณการขาดน้ำทั้งหมด = 10+13+21 = 44 ล้านลูกบาศก์เมตรตลอดช่วงเวลาปฏิบัติการ โดยขนาดของการขาดน้ำสูงสุดของเหตุการณ์ที่ 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 คิดเป็น 3, 2, 4, 1, 1, และ 5 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และจำนวนเหตุการณ์ที่ระบบประสบความล้มเหลวจากการขาดน้ำต่อเนื่องกันตลอดช่วงเวลาปฏิบัติการเท่ากับ 6 เหตุการณ์ ดังนั้นจะได้

$$\text{ดัชนีวัดระดับความรุนแรง} = \frac{3 + 2 + 4 + 1 + 1 + 5}{6} = 2.67 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ดัชนีวัดระดับความรุนแรงแบบไร้มิติ} = \frac{2.67}{10} \times 100 = 26.67\%$$

**ตัวอย่างที่ 6.3** จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 6.1 ให้หาค่าดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resilience Index)

**วิธีทำ** จากตารางที่ 6.1 ช่วงเปลี่ยนจากสถานะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำล้นเหลวไปยังสถานะที่ปฏิบัติการจนเป็นที่พึงพอใจเกิดขึ้นในปีที่ 1 เดือนกรกฎาคม ปีที่ 2 เดือนมกราคม เดือนกรกฎาคม และเดือนตุลาคม และปีที่ 3 ในเดือนมกราคม และเดือนกันยายน หรือจำนวนเหตุการณ์ที่ระบบประสบความสำเร็จล้มเหลวจากการขาดน้ำต่อเนื่องกันตลอดช่วงเวลาปฏิบัติการเท่ากับ 6 เหตุการณ์ และระบบประสบความสำเร็จล้มเหลวทั้งหมดจำนวน 17 เดือนดังนั้นค่าดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ} = \frac{6}{17} \times 100 = 35\%$$

### เอกสารอ้างอิง (References)

- Cai, X., Mckinney, D.C., & Lasdon, L.S. (2002). A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya Basin. *Water Resour. Res.*, 38 (6), 1-14.
- Cancelliere, A., Ancarani, A., & Rossi, G. (1998). Susceptibility of water supply reservoir to drought conditions. *J. Hydrol. Eng., ASCE*, 3 (2), 140-148.
- Fanai, N., & Burn, D.H. (1997). Reversibility as a sustainability criterion for project selection. *Int. J. Sust. Dev. Wld. Ecol.*, 4 (4), 259-273.
- Fontane, D. (2001). *Reservoir simulation notes : CE546 water resources systems analysis handout*. Colorado: Department of Civil Engineering, Colorado State University.
- Hashimoto, T. (1982). Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resour. Res.*, 18 (1), 14-20.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Banafsheh, Z. (2003). *Water resources system analysis*. New York: Lewis Publishers.
- Lence, B.J., Furst, J., & Matheson, S. (1997). Distributive fairness as a criterion for sustainability evaluative measures and application to project selection. *Int. J. Sust. Dev. Wld. Ecol.*, 4 (4), 245-258.

- McMahon, T., Adeloje, A.J., & Zhou, S. (2006). Understanding performance measures of reservoirs. *J. Hydrol.*, 324(1-4), 359-382.
- Srdjevic, B. (1987). *Identification of the control strategies in water resources systems with reservoirs by use of network models* (Doctoral dissertation). Yugoslavia: University of Novisad.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P., & Porto, R.L.L. (2005). Data envelopment analysis of reservoir system performance. *Comput. Oper. Res.*, 32, 3209-3226.



## 07 การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Sedimentation)

กระบวนการทางธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นกระบวนการเกิดของฝน น้ำท่า หรือลม นับเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการกัดเซาะของดิน (Soil Erosion) และเกิดการพัดพา (Transportation) ของตะกอนดินออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ และตะกอนดินเหล่านี้เมื่อโดนเหตุการณ์ธรรมชาติรุนแรงเช่น น้ำท่วม หรือลมพายุฝนรุนแรง ก็จะพัดพาตะกอนแฝงตัวไปกับน้ำและสะสมตัวในพื้นที่ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ ปากแม่น้ำ หรือมหาสมุทร เป็นต้น นอกจากนี้สาเหตุจากการตัดไม้ทำลายป่า ไฟไหม้ป่า การเกษตรกรรม หรือการใช้พื้นที่ดินที่ผิดวิธีก็ยังเป็นสาเหตุที่ทำให้ปัญหาการกัดเซาะดินแผ่ขยายออกไป ปัญหาการตกตะกอนได้สร้างปัญหาที่สำคัญต่าง ๆ มากมายไม่ว่าจะเป็นสาเหตุหลักทำให้แม่น้ำเกิดการตื้นเขินและเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคมทางน้ำ หรือในช่วงที่เกิดอุทกภัยอาจทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำสูงขึ้นรวดเร็วอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากนี้ยังเป็นการสูญเสียปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำอีกด้วย ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับตะกอน กระบวนการเกิดตะกอน และการตกตะกอนในแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

### 7.1 ตะกอนและกระบวนการเกิดตะกอน (Sediment and Sedimentation Process)

#### 7.1.1 ความหมายของตะกอน (Definition of Sediment)

ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน ได้ให้คำนิยามของตะกอน (Sediment) ว่าเป็น “เศษวัสดุที่มีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการแตกสลายของดินและหินที่ประกอบขึ้นเป็นเปลือกโลกโดยทางกลศาสตร์ ทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งเคลื่อนที่ไปตามแรงโน้มถ่วงของโลกโดยมีตัวกลางประกอบด้วยแรงลม แรงแม่เหล็ก ธารน้ำแข็ง หรือโดยตัวการหลายอย่างรวมกันขนาดของเม็ดตะกอนจะแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงเศษวัสดุแขวนลอย และมีรูปร่างแตกต่างกันตั้งแต่กลมไปจนถึงเหลี่ยมมุม นอกจากนี้ค่าความถ่วงจำเพาะและส่วนประกอบของแร่ธาตุยังแตกต่างกันอีกด้วย” (กรมชลประทาน, 2554)

#### 7.1.2 กระบวนการเกิดตะกอน (Sedimentation Processes)

กระบวนการเกิดตะกอน (Sedimentation Processes) เริ่มต้นจากกระแสไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำกว่าตามความลาดชันของพื้นที่ และเกิดการกัดเซาะของดิน (Soil Erosion) หรือเกิดตะกอนดินจากกระบวนการทางอุทกวิทยา น้ำจะพัดพาเคลื่อนย้ายตะกอนดินจากแหล่งกำเนิดไปตกทับถมยังพื้นที่แหล่งใหม่ซึ่งบางครั้งอาจอยู่ใกล้หรือไกลออกไปจากบริเวณต้นกำเนิดเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของตะกอน ความเร็วน้ำ ปริมาณน้ำไหลผ่าน และความลาดชันของพื้นที่ อาจกล่าวได้ว่ากระบวนการพัดพาตะกอนโดยกระแส (Transportation) นับได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้เกิดตะกอนตกทับถม ซึ่งการพัดพา

อาจอยู่ในสภาพสารละลาย (Solution Load) การพัดพาในสภาพแขวนลอย (Suspension) การพัดพาโดยการกระดอน (Saltation) หรือการพัดพาด้วยการกระโดดกลิ้ง (Rolling) การทับถมของตะกอนในพื้นที่ต่าง ๆ จะสะสมตัวมากขึ้นเมื่อความเร็วกระแสน้ำลดลงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความลาดชันของพื้นที่หรือลักษณะคดเคี้ยวของลักษณะกายภาพของทางน้ำ หรือเกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในแม่น้ำลดลงจากอิทธิพลของภัยแล้ง รวมถึงสิ่งกีดขวางทางน้ำยังทำให้เกิดการทับถมของตะกอนรวดเร็วขึ้น (กรมชลประทาน, 2554; วราวุธ วุฒิวิณชัย และคณะ, 2550)

### 7.1.3 ประเภทของตะกอน (Types of Sediment)

ตะกอนที่ไหลมากับน้ำสามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักได้แก่ (1) ตะกอนท้องน้ำ (Bed Load) และตะกอนแขวนลอย (Suspended Load) ตะกอนท้องน้ำหมายถึงตะกอนขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่ด้วยการกระโดดกลิ้ง หรือเลื่อนไหลไปตามท้องน้ำในชั้นตะกอนท้องน้ำ (Bed Layer) ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ความเร็วในการเคลื่อนที่จะน้อยกว่าตะกอนแขวนลอย ในขณะที่ตะกอนแขวนลอยหมายถึงตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้น้ำมีแรงพยุงอนุภาคเหล่านั้นไม่ให้เกิดจม และสามารถเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสน้ำ โดยทั่วไปตะกอนแขวนลอยจะมีปริมาณมากที่สุดในลำน้ำโดยเฉพาะหลังฝนตกหนักจะมีปริมาณมาก และจำเป็นต้องทำการสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอยเพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของตะกอน (กรมชลประทาน, 2554; วราวุธ วุฒิวิณชัย และคณะ, 2550)

## 7.2 ปริมาณตะกอนในแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำ (Sediment Load in Rivers and Reservoirs)

### 7.2.1 ปริมาณตะกอนแขวนลอยของแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ทั่วโลก (Suspended Sediment Load of Main Rivers and Reservoirs)

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณตะกอนของพื้นที่ต่าง ๆ ของโลก (Jain & Singh, 2003) พบว่า ตะกอนที่ตกสะสมตัวในแม่น้ำจะมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝน และปริมาณตะกอนจะผันแปรเดือนต่อเดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะกายภาพของพื้นที่นั้น ๆ ดังแสดงรายละเอียดข้อมูลในตารางที่ 7.1 นอกจากนี้มีข้อมูลรายงานว่า การตกสะสมตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำในบางประเทศอย่างประเทศจีนได้กลายเป็นปัญหาใหญ่ที่จะต้องได้รับการแก้ไข เนื่องจากประเทศจีนมีอ่างเก็บน้ำจำนวนมากกว่า 80,000 อ่าง และในจำนวนนี้ได้ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำถึงปีละประมาณ 2.3% จากสาเหตุของปัญหาตะกอนตกสะสม (Jain & Singh, 2003) ในขณะที่ข้อมูลการสะสมตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักใช้การรายปีในช่วงตั้งแต่ 0.05%-1.20% อีกด้วย (Linsley et al., 1992)

**ตารางที่ 7.1** ปริมาณตะกอนแขวนลอยของแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ทั่วโลก

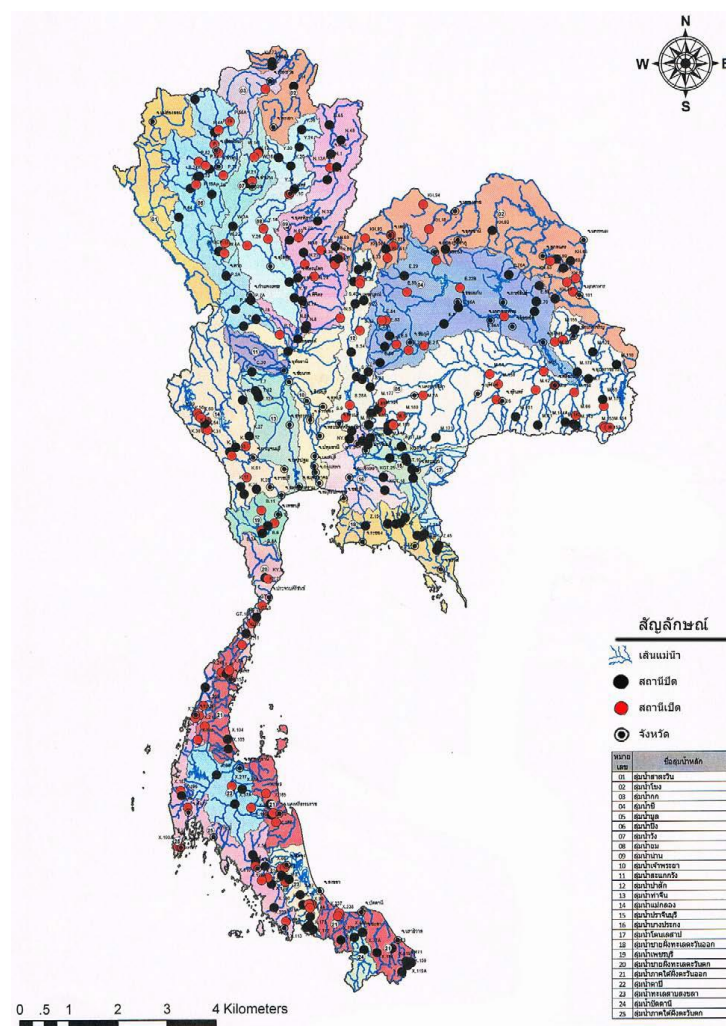
ชื่อแม่น้ำ/อ่างเก็บน้ำและประเทศ	ปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี (Average Annual Suspended Sediment Load)	
	10 <sup>6</sup> tons	tons/sq km
Yellow River, China	2,080	2,910
Yangtze River, China	550	212
Ganges River, India	1,600	620
Kosi River, India	190	73
Brahmputra River, Bangladesh	800	309
Indus River, Pakistan	480	185
Irrawaddy River, Burma	330	127
Amazon River, Brazil	400	154
Mississippi River, US	344	132
Missouri River, US	240	92
Schoharie Reservoir, New York, US	-	77
Norris Reservoir, Tennessee, US	-	160
Dallas Reservoir, Texas, US	-	463
Morena Reservoir, California, US	-	868
Mead Reservoir, Nevada, US	-	311
Arrowrock Reservoir, Idaho, US	-	61
Roosevelt Reservoir, Arizona, US	-	395
Mission Reservoir, Kentucky, US	-	1,380
Crab Orchard Reservoir, Illinois, US	-	701

ที่มา : Jain & Singh (2003); Linsley et al. (1992)

### 7.1.2 ปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย

ข้อมูลปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำหลักของประเทศไทยได้ดำเนินการสำรวจและรวบรวมขึ้นโดยกลุ่มงานตะกอนและคุณภาพน้ำ ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 จนถึงปัจจุบันได้แสดงรายละเอียดสถานีสำรวจตะกอนแขวนลอยครอบคลุม 25 ลุ่มน้ำหลักของประเทศในรูปที่ 7.1 จำนวนทั้งหมด 294 สถานีทั้งที่ปิดไปแล้วและเปิดสำรวจอยู่ถึงปัจจุบัน จากฐานข้อมูลของกรมชลประทานพบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 5,772-20,235,539 ตัน ซึ่งเกิดขึ้นในลุ่มน้ำปิงที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำตั้งแต่ 243-45,297 ตารางกิโลเมตร อัตราการเกิดปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ย (Sediment Yield) ในประเทศไทยอยู่ระหว่าง 0.18-52,019 ตันต่อตารางกิโลเมตร ดังแสดงในตารางที่ 7.2-7.3 (กรมชลประทาน, 2554)





รูปที่ 7.1 สถานีสำรวจตะกอนแขวนลอยในกลุ่มน้ำหลักในประเทศไทย  
ที่มา : กรมชลประทาน (2554)

ตารางที่ 7.2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและรายปีในกลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย

ลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	สถิติสำรวจ/ พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและ รายปี (ตัน)		
				สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
โขง	KH.18/KH.28A/KH.53 /KH.58A/KH.61/KH.63 /KH.66/KH.69A/KH.72/ KH.77A/KH.79/KH.89/ KH.90/KH.91/KH.92/ KH.93/KH.94/KH.95/ KH.101/I.14	อุดรธานี/ เลย/ สกลนคร/ นครพนม/ เชียงใหม่/ มุกดาหาร	2526-2549 /155-3,093	6,004- 653,079/ 12,835- 765,492	0-258/ 393- 211,842	541- 29,711/ 6,491- 355,637

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

กลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	สถิติสำรวจ/ พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและ รายปี (ตัน)		
				สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
กก	G.8	เชียงราย	2540-2549 /2,909	153,804/ 409,063	26/ 74,394	20,661/ 247,931
ซี	E.5/E.9/E.16A/E.21/ E.22B/E.23/E.29/E.32A/ E.35A/E.54/E.57/E.60/ E.66A/E.68A/E.70/ E.76A/E.83/E.84/E.85	ชัยภูมิ/ ขอนแก่น/ เลย/ กาฬสินธุ์/ ร้อยเอ็ด/ หนองบัว ลำภู	2521-2549 /103- 31,879	7,851- 1,265,165/ 20,040- 2,012,065	0-1,066/ 1,163- 251,097	638- 41,100/ 7,653- 493,197
มูล	M.2A/M.5/M.6A/M.7/ M.9/M.26/M.32/M.42/ M.43A/M.66/M.80/ M.89/M.91/M.101/ M.110/M.121/M.127/ M.134/M.142/M.143/ M.144A/M.145/M.146/ M.150/M.152/M.153/ M.154/M.155/M.157/ M.159/M.169/M.170/ M.171/M.176/M.177/ M.179/M.180	นครราชสีมา/ มา/ศรีสะเก ษ/ บุรีรัมย์/ อุบลราชธา นิ/สุรินทร์/ ยโสธร	2521-2549 /82- 107,345	1,324- 286,364/ 1,890- 734,672	0-145/ 310- 74,086	84- 44,893/ 1,003- 538,715
ปัง	P.1/P.2A/P.4A/P.7A/ P.12C/P.14/P.17/P.19A /P.21/P.24A/P.35/P.47/ P.56A/P.64/P.65/P.71/ P.73/P.75/P.76/P.77/ P.78/P.82/P.84	เชียงใหม่/ ตาก/ กำแพงเพชร /นครสวรรค์ /ลำพูน	2526-2549 /243- 45,297	5,515- 11,232,084/ 14,155- 20,235,539	0-40,022/ 928- 20,235,539	481- 1,686,295 /5,772- 20,235,539
วัง	W.1C/W.3A/W.4A/ W.16/W.16A/W.17/ W.20/W.21/W.23	ลำปาง/ ตาก	2514-2549 /726- 10,439	28,655- 377,586/ 41,201- 725,074	0-92/ 5,630- 128,669	1,536- 27,606/1 8,435- 331,274

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

ลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	สถิติสำรวจ/ พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและ รายปี (ตัน)		
				สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
ยม	Y.1C/Y.6/Y.14/Y.16/Y.17/ Y.20/Y.24/Y.26/Y.30/ Y.34/Y.36	แพร่/ สุโขทัย/ พิษณุโลก/ พิจิตร/ ลำปาง/ พะเยา	2521/2549 /331- 22,034	3,896- 1,355,238/ 11,105- 3,089,137	0-1,077/ 1,102- 401,565	629- 77,258/ 7,452- 927,100
น่าน	N.1/N.5A/N.7A/N.8/ N.8A/N.13A/N.22/N.33 /N.36/N.40/N.42/N.49/ N.53/N.55/N.59/N.60/ N.63/N.65/N.66/N.67/ N.69/N.72	น่าน/ พิษณุโลก/ พิจิตร/ อุตรดิตถ์/ เพชรบูรณ์/ นครสวรรค์	2521-2549 /113- 27,897	9,740- 4,482,248/ 24,852- 5,123,566	0-37,656/ 4,585- 1,299,766	1,361- 219,667/ 16,336- 2,635,998
เจ้าพระยา	C.2/C.30	นครสวรรค์/ อุทัยธานี	2530-2548 /227- 109,973	38,879- 125,469/ 77,714- 203,446	7-17/ 10,781- 12,192	3,397- 4,374/ 40,773- 52,493
สะแกกรัง	CT.5A/CT.7/CT.8/CT.9/ CT.19/CT.20	กำแพงเพชร /นครสวรรค์ /อุทัยธานี	2520-2549 /453-3,454	10,799- 507,466/ 35,517- 748,116	0-14/ 136- 106,284	2,960- 9,011/ 35,517- 108,133
ป่าสัก	S.3/S.4B/S.9/S.10/S.12 /S.13/S.14/S.17/S.23/ S.28A/S.31/S.33/S.34/ S.36/S.39	เพชรบูรณ์/ สระบุรี/ ลพบุรี	2521-2549 /20-14,232	433- 2,302,686/ 641- 2,981,318	0-10,443/ 641- 551,655	53- 51,798/ 641- 621,571
ท่าจีน	T.7/T.12/T.12A	อุทัยธานี/ สุพรรณบุรี	2541-2548 /607-686	23,574- 33,311/ 51,415- 105,914	0-8/ 1,156- 76,325	2,482- 6,380/ 29,789- 76,325

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

ลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	สถิติสำรวจ/ พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและ รายปี (ตัน)		
				สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
แม่กลอง	K.10/K.12/K.17/K.22B/ K.25/K.27/K.28/K.30/ K.31/K.36/K.38/K.38A/ K.39/K.50/K.53/K.54/ K.59/K.60/K.61	กาญจนบุรี/ ราชบุรี	2521-2549 /51-11,685	933- 685,487/ 2,669- 2,093,530	0-10,857/ 357- 239,286	121- 68,246/ 1,453- 818,956
ปราจีนบุรี	KGT.3/KGT.9/KGT.10/ KGT.12/KGT.14/KGT.42	ปราจีนบุรี/ สระแก้ว	2525-2548 /354-7,425	18,021- 301,788/ 38,110- 825,187	0-2/ 3,850- 249,556	1,959- 36,890/ 23,503- 442,676
บางปะกง	KGT.18/KGT.25/KGT.27 /NY.1B/NY.3/NY.3/NY.6	ฉะเชิงเทรา /นครนายก ปราจีนบุรี/ สระบุรี	2529-2548 /45-1,078	1,669- 727,392/ 5,848- 1,468,828	0-3/ 811- 25,921	190- 7,401/ 2,282- 88,811
ชายฝั่งทะเล ตะวันออก	Z.11/Z.13/Z.14/Z.15/ Z.18/Z.21/Z.30/Z.41/ Z.42/Z.43/Z.45	ระยอง/ จันทบุรี/ ตราด	2537-2548 /4-1,236	57-31,458/ 234- 164,938	0-1/ 234- 28,004	20-4,489 /234- 53,855
เพชรบุรี	B.3A/B.6/B.8/B.10/B.11	เพชรบุรี	2503-2549 /264-4,076	5,370- 279,500/ 12,219- 300,432	0-383/ 840- 214,291	299- 17,858/ 3,589- 214,291
ชายฝั่งทะเล ตะวันตก	KY.2/KY.3/GT.7/GT.9/ GT.10/GT.11/GT.15/ GT.18/GT.19	ประจวบคี รีขันธ์	2523-2549 /25-537	1,348- 91,854/ 1,669- 154,720	0-7/ 53-10,326	47-2,797 /564- 33,567
ภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก	X.46/X.55/X.64/X.70/ X.73/X.119/X.119A/ X.121/X.149/X.158/ X.159/X.165/X.167/ X.171/X.184/X.195/ X.213/X.248	ชุมพร/ นครศรีธรรม ราช/ นราธิวาส	2529-2549 /25-1,814	523- 1,144,512/ 2,457- 1,375,943	0-664/ 811- 1,375,943	138- 114,662/ 1,660- 1,375,943

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

ลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	สถิติสำรวจ/ พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือน/รายปี (ตัน)		
				สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
ตาปี	X.36/X.37A/X.81A/ X.104/X.217	สุราษฎร์ ธานี	2527-2549 /179-6,697	6,971- 113,068/ 12,777- 689,482	1-1,058/ 905- 232,821	415- 28,250/ 4,975- 339,001
ทะเลสาบ สงขลา	X.44/X.67/X.68/X.71/ X.71A/X.71B/X.82/X.90 /X.109/X.111/X.113/ X.129/X.170/X.172/ X.173/X.174/X.240	สงขลา/ พัทลุง	2521-2549 /94-1,720	615- 1,947,689/ 2,893- 2,230,766	2-530/ 802- 45,572	195- 37,754/ 2,344- 453,054
ปัตตานี	X.40A/X.77A/X.168/ X.175	ยะลา	2541-2546 /316-3,259	13,580- 90,011/ 26,592- 328,508	10-2,055/ 2,802- 63,355	1,329- 14,527/ 11,459- 177,908
ภาคใต้ฝั่ง ตะวันตก	X.56/X.110/X.128A/ X.138/X.150/X.187/ X.190A/X.191/X.196/ X.204/X.205/X.206/ X.207/X.208/X.234/ X.235/X.236/X.237/ X.238/X.239/X.245	ตรัง/สตูล/ พังงา/ ภูเก็ต/ ระนอง	2527-2549 /28-2,808	965- 429,442/ 2,318- 764,471	1-2,153/ 1,556- 161,281	193- 13,685/ 3,274- 164,214

ที่มา : กรมชลประทาน (2554)

ตารางที่ 7.3 อัตราการเกิดปริมาณตะกอนแขวนลอยรายปีเฉลี่ยในกลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย

ลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	อัตราการเกิดปริมาณ ตะกอนแขวนลอยราย ปีเฉลี่ย (ตัน/ตร.กม.)
โขง	KH.18/KH.28A/KH53/KH.58A/KH.61/KH.63/ KH.66/KH.69A/KH.72/KH.77A/KH.79/KH.89/ KH.90/KH.91/KH.92/KH.93/KH.94/KH.95/KH.101 /I.14	อุดรธานี/เลย/ สกลนคร/ นครพนม /เชียงราย/ มุกดาหาร	16.29-344.48
กก	G.8	เชียงราย	85.22
ชี	E.5/E.9/E.16A/E.21/E.22B/E.23/E.29/E.32A/ E.35A/E.54/E.57/E.60/E.66A/E.68A/E.70/E.76A/ E.83/E.84/E.85	ชัยภูมิ/ขอนแก่น/ เลย/กาฬสินธุ์/ ร้อยเอ็ด/ หนองบัวลำภู	4.20-246.81
มูล	M.2A/M.5/M.6A/M.7/M.9/M.26/M.32/M.42/ M.43A/M.66/M.80/M.89/M.91/M.101/M.110/ M121/M.127/M.134/M.142/M.143/M.144A/ M.145/M.146/M.150/M.152/M.153/M.154/ M.155/M.157/M.159/M.169/M.170/M.171/ M.176/M.177/M.179/M.180	นครราชสีมา/ศรี สะเกษ/บุรีรัมย์/ อุบลราชธานี/ สุรินทร์/ยโสธร	0.18-712.62
ปิง	P.1/P.2A/P.4A/P.7A/P.12C/P.14/P.17/P.19A/ P.21/P.24A/P.35/P.47/P.56A/P.64/P.65/P.71/ P.73/P.75/P.76/P.77/P.78/P.82/P.84	เชียงใหม่/ตาก/ กำแพงเพชร/ นครสวรรค์/ลำพูน	2.17-52,019.38
วัง	W.1C/W.3A/W.4A/W.16/W.16A/W.17/W.20/ W.21/W.23	ลำปาง/ตาก	18.87-79.55
ยม	Y.1C/Y.6/Y.14/Y.16/Y.17/Y.20/Y.24/Y.26/Y.30/ Y.34/Y.36	แพร่/สุโขทัย/ พิษณุโลก/พิจิตร/ ลำปาง/พะเยา	13.99-101.41
น่าน	N.1/N.5A/N.7A/N.8/N.8A/N.13A/N.22/N.33/N.36 /N.40/N.42/N.49/N.53/N.55/N.59/N.60/N.63/ N.65/N.66/N.67/N.69/N.72	น่าน/พิษณุโลก/ พิจิตร/อุตรดิตถ์/ เพชรบูรณ์/ นครสวรรค์	40.39-1,110.27
เจ้าพระยา	C.2/C.30	นครสวรรค์/ อุทัยธานี	0.48-179.25

ตารางที่ 7.3 (ต่อ)

ลุ่มน้ำ	สถานี	จังหวัด	อัตราการเกิดปริมาณ ตะกอนแขวนลอยราย ปีเฉลี่ย (ตัน/ตร.กม.)
สะแกกรัง	CT.5A/CT.7/CT.8/CT.9/CT.19/CT.20	กำแพงเพชร/ นครสวรรค์ /อุทัยธานี	19.22-111.29
ป่าสัก	S.3/S.4B/S.9/S.10/S.12/S.13/S.14/S.17/S.23/ S.28A/S.31/S.33/S.34/S.36/S.39	เพชรบูรณ์/ สระบุรี/ลพบุรี/	11.15-418.83
ท่าจีน	T.7/T.12/T.12A	อุทัยธานี/ สุพรรณบุรี	43.39-125.74
แม่กลอง	K.10/K.12/K.17/K.22B/K.25/K.27/K.28/K.30/K.31 /K.36/K.38/K.38A/K.39/K.50/K.53/K.54/K.59/ K.60/K.61	กาญจนบุรี/ ราชบุรี/	9.44-247.44
ปราจีนบุรี	KGT.3/KGT.9/KGT.10/KGT.12/KGT.14/KGT.42	ปราจีนบุรี/ สระแก้ว	21.81-86.18
บางปะกง	KGT.18/KGT.25/KGT.27/NY.1B/NY.3/NY.3/NY.6	ฉะเชิงเทรา/ นครนายก ปราจีนบุรี/สระบุรี	18.06-692.81
ชายฝั่งทะเล ตะวันออก	Z.11/Z.13/Z.14/Z.15/Z.18/Z.21/Z.30/Z.41/ Z.42/Z.43/Z.45	ระยอง/จันทบุรี/ ตราด	4.00-240.88
เพชรบุรี	B.3A/B.6/B.8/B.10/B.11	เพชรบุรี	7.79-711.39
ชายฝั่งทะเล ตะวันตก	KY.2/KY.3/GT.7/GT.9/GT.10/GT.11/GT.15/ GT.18/GT.19	ประจวบคีรีขันธ์	22.19-259.21
ภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก	X.46/X.55/X.64/X.70/X.73/X.119/X.119A/X.121 /X.149/X.158/X.159/X.165/X.167/X.171/X.184/ X.195/X.213/X.248	ชุมพร/ นครศรีธรรมราช/ นราธิวาส	1.98-226.81
ตาปี	X.36/X.37A/X.81A/X.104/X.217	สุราษฎร์ธานี	27.85-64.16
ทะเลสาบ สงขลา	X.44/X.67/X.68/X.71/X.71A/X.71B/X.82/X.90/ X.109/X.111/X.113/X.129/X.170/X.172/X.173/ X.174/X.240	สงขลา/พัทลุง	18.90-263.41
ปัตตานี	X.40A/X.77A/X.168/X.175	ยะลา	44.94-98.86
ภาคใต้ฝั่ง ตะวันตก	X.56/X.110/X.128A/X.138/X.150/X.187/X.190A /X.191/X.196/X.204/X.205/X.206/X.207/X.208/ X.234/X.235/X.236/X.237/X.238/X.239/X.245	ตรัง/สตูล/พังงา/ ภูเก็ต/ระนอง	49.98-2,416.19

ที่มา : กรมชลประทาน (2554)

### 7.3 การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Sedimentation)

ปัญหาตะกอนที่ตกสะสมตัวอาจเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตัดสินใจต่อโครงการว่าควรนำไปดำเนินการหรือไม่ โครงการพัฒนาอ่างเก็บน้ำบางโครงการอาจถูกปฏิเสธเนื่องจากอัตราการตกตะกอนค่อนข้างสูงและส่งผลกระทบต่อบทบาทการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำที่ลดลง ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบและวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะต้องมีการประมาณการระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวและปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำ โดยทั่วไปวิศวกรที่ออกแบบเขื่อนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญเช่น ปริมาตรของตะกอนที่ตกสะสมตัวในแต่ละปี การกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ การเพิ่มระดับตะกอนในอ่างเก็บน้ำ และประสิทธิภาพในการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น เพื่อกำหนดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม หากที่ตั้งโครงการมีปริมาณตะกอนไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอัตราสูง การออกแบบและการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ ไม่เช่นนั้นอาจทำให้อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำสั้นลงหรือต้องใช้เงินจำนวนมากในการกำจัดตะกอนออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อยืดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ มีข้อมูลยืนยันว่าอ่างเก็บน้ำจำนวนไม่น้อยทั่วโลกประสบปัญหาตะกอนสะสมตัวอย่างรวดเร็ว หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จเช่น อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีการเพิ่มระดับตะกอนในอ่างเก็บน้ำอย่างรวดเร็วหลังจากใช้งานเพียง 1 ปี เท่านั้น หรืออ่างเก็บน้ำ Sanmenxia ในประเทศจีน ซึ่งก่อสร้างระหว่างปี ค.ศ. 1957-1960 ปิดกั้นตอนกลางของแม่น้ำเหลืองสำหรับบรรเทาอุทกภัยในเขตมณฑล Shanxi และ Henan รวมถึงตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานและการผลิตพลังงานไฟฟ้าพบว่า ผลกระทบจากการสะสมตัวของตะกอนทำให้ระดับของตะกอนท้องแม่น้ำเพิ่มระดับอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปัญหาอุทกภัยซึ่งเกิดขึ้นทางตอนบนของเขื่อนทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น หรืออ่างเก็บน้ำ Warsak ซึ่งสร้างขึ้นปิดกั้นแม่น้ำ Kabul ในประเทศปากีสถานต้องสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำถึง 18% ในช่วงของการใช้งานปีแรกเนื่องมาจากปัญหาการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Jain & Singh, 2003)

โดยทั่วไปตะกอนในอ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 7.2

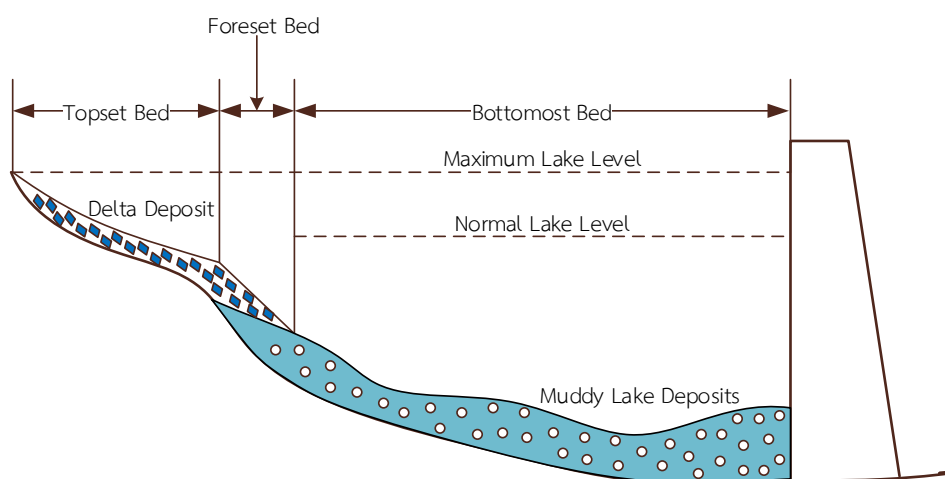
(1) ตะกอนทางตอนบนของอ่างเก็บน้ำบริเวณตั้งแต่จุดเชื่อมต่อของลำน้ำธรรมชาติกับอ่างเก็บน้ำถึงตอนท้ายของดินดอนสามเหลี่ยม (Topset Bed) ส่วนใหญ่อนุภาคของตะกอนจะมีขนาดใหญ่ซึ่งตกทับถมกลายเป็นดินดอนสามเหลี่ยม อย่างไรก็ตามก็อาจมีตะกอนละเอียดปะปนอยู่ด้วย ตะกอนประเภทนี้ไม่มีผลมากนักต่อการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

(2) ตะกอนทางตอนกลางของอ่างเก็บน้ำตรงจุดเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมกับพื้นที่อ่างเก็บน้ำ (Foreset Bed) หรือบริเวณจุดเชื่อมต่อบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำที่มีความลาดชันสูงและขนาดอนุภาคของตะกอนจะเล็กลง

(3) ตะกอนทางตอนล่างของอ่างเก็บน้ำตั้งแต่พื้นที่อ่างเก็บน้ำถึงตัวเขื่อน (Bottomset Bed) ประกอบด้วยอนุภาคของตะกอนขนาดเล็กที่ตกทับถมบริเวณท้องอ่างเก็บน้ำซึ่งทำให้น้ำมีความขุ่นสูง



การกระจายตัวของอนุภาคของตะกอนในอ่างเก็บน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสาเหตุของการลดระดับของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Drawdown) หรือมีการผันแปรของระดับน้ำเก็บกักสูงในระหว่างปี หรืออาจจะเกิดจากการทรุดตัวของตลิ่งทำให้ตะกอนดินตกทับถมในอ่างเก็บน้ำ หรืออาจเกิดสภาวะน้ำท่วมรุนแรงและพัดพาตะกอนจากลำน้ำเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ รวมถึงอิทธิพลของแผ่นดินไหวก็อาจส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคตะกอนในอ่างเก็บน้ำได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 7.2 โซนการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

อาจกล่าวได้ว่าการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ หรือแนวทางในการจัดสรรน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ตลอดจนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบของการตกตะกอนในแต่ละโซนเก็บกักของอ่างเก็บน้ำนั้นเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการลดปัญหาตะกอนสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังจำเป็นที่จะต้องมีการสำรวจและประเมินอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำเป็นระยะ ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำ

### 7.3.1 ปัญหาของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Sedimentation Problems)

น้ำนับเป็นตัวการที่สำคัญที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและพัดพาตะกอนออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยกระบวนการพัดพาตะกอนจะเริ่มต้นจากฝนที่ตกลงมามีขนาดของความรุนแรงพอที่จะพัดพาอนุภาคดินให้หลุดออกไปจากผิวดินและเกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนแฝงตัวไปกับน้ำ ตะกอนบางส่วนอาจตกตะกอนตามสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางที่น้ำเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ และพัดพาตะกอนบางส่วนไหลลงสู่แม่น้ำและอ่างเก็บน้ำ รวมถึงพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำ ตะกอนที่ตกทับถมในอ่างเก็บน้ำนี้เป็นดัชนีที่สำคัญที่บ่งบอกถึงผลผลิตตะกอน (Sediment Yield) หรือปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่มากับน้ำจนถึงตัวอ่างเก็บน้ำนั่นเอง

สำหรับปริมาณของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างไม่ว่าจะเป็น ชนิดและคุณลักษณะของเนื้อดิน ลักษณะของโครงสร้างอาคารทางออก ขนาดและลักษณะรูปร่างของอ่างเก็บน้ำ รวมถึงนโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ตะกอนที่ตกทับถมในอ่างเก็บน้ำนับเป็นปัญหาที่สำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ และยังส่งผลเสียต่อการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำในการเก็บกักน้ำไว้ใช้ตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตามแผนที่วางไว้ ยิ่งไปกว่านั้น ตะกอนที่สะสมตัวบริเวณปากทางเข้าของท่อทางออกยังอาจเป็นอุปสรรคในการส่งน้ำไปใช้เพื่อความต้องการน้ำต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำอีกด้วย นอกจากนี้ปัญหาตะกอนในอ่างเก็บน้ำยังอาจส่งผลกระทบต่อ การมีชีวิตรอดของสัตว์น้ำเนื่องจากคุณภาพของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไป ในขณะเดียวกันผลจากการที่ระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้นเนื่องจากระดับของตะกอนที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นยังทำให้ปริมาณการระเหยจากอ่างเก็บน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องมาจากพื้นที่ผิวน้ำที่สัมผัสบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง

### 7.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Factors Affecting Reservoir Sedimentation)

ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำผันแปรไปในแต่ละช่วงฤดูกาลกล่าวคือ ในช่วงฤดูแล้งปริมาณตะกอนที่พัดพามาก่อนข้างน้อยหรือน้อยมาก ในขณะที่ปริมาณตะกอนอาจสูงมากในช่วงฤดูฝน การคาดการณ์ปริมาณตะกอนที่ตกสะสมตัวในช่วงเวลาสั้น ๆ อาจทำได้ค่อนข้างยาก และยังคงอาศัยข้อมูลที่ทำการศึกษาภาคสนามเพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของตะกอนและประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นการตกสะสมตัวของตะกอนในช่วงเวลาสั้น ๆ อาจไม่ได้เป็นข้อมูลที่สะท้อนอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำในระยะยาว อาจกล่าวได้ว่าอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอัตราส่วนความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำต่อปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Capacity-Inflow, CI Ratio) ปริมาณตะกอนที่พัดพามากับน้ำ ลักษณะและขนาดอนุภาคของตะกอน ประสิทธิภาพในการดักตะกอน ขนาด รูปร่าง และความยาวของอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนนโยบายในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สำหรับอัตราส่วน CI นั้นเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยรายปีซึ่งอ่างเก็บน้ำที่มีอัตราส่วน CI มากกว่า 50% จะถือว่าเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และสามารถเก็บกักน้ำไปใช้ในปีถัดไปได้ อย่างไรก็ตามยิ่งอัตราส่วน CI มากก็อาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการดักตะกอนมากตามไปด้วย นอกจากนี้ปริมาณตะกอนที่พัดพามากับน้ำที่ไหลลงสู่อ่างยังขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่รับน้ำด้วย

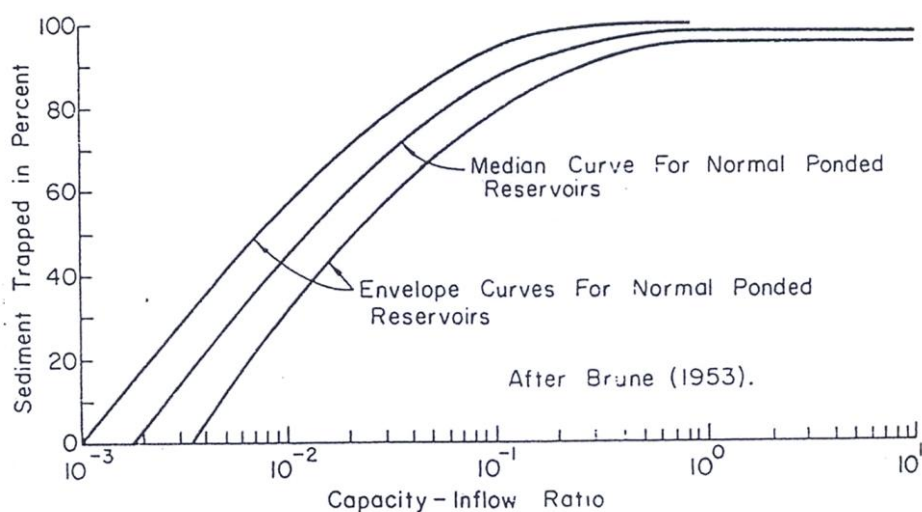
### 7.3.3 ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Trap Efficiency)

ตะกอนที่พัดพามากับน้ำและไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำบางส่วนอาจตกจมอยู่ในอ่างเก็บน้ำ และบางส่วนซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำก็จะถูกปล่อยออกไปทางด้านท้ายน้ำ ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Trap Efficiency) จึงเป็นดัชนีที่แสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาณตะกอนที่ตกจมในอ่างเก็บน้ำ

(Deposited Sediment) กับปริมาณตะกอนทั้งหมดที่ไหลเข้าอ่าง (Total Sediment Inflow) และแสดงค่าในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยประสิทธิภาพในการดักตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคตะกอน (Sediment Distribution) ระยะเวลาที่น้ำถูกหน่วงอยู่ในอ่างเก็บน้ำ (Detention Time Period) นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Policy) และอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (Useful Life of Reservoir) โดยปกติแล้วช่วงเวลาที่น้ำถูกหน่วงเอาไว้ในอ่างจะผันแปรตามค่าอัตราส่วน CI ลักษณะรูปร่างของอ่างเก็บน้ำ และประเภทของโครงสร้างอาคารทางออก ตลอดจนแผนการปฏิบัติการ กล่าวคือเมื่อน้ำถูกหน่วงเอาไว้ในอ่างเก็บน้ำเป็นเวลานาน ในขณะที่ความเร็วของน้ำที่ปล่อยผ่านอาคารทางออกน้อยและมีลักษณะปั่นป่วนจะพบว่าเปอร์เซ็นต์ของตะกอนในอ่างเก็บน้ำจะค่อนข้างสูง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จะพบว่า ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กน้ำถูกหน่วงเอาไว้ในอ่างแค่ช่วงเวลาสั้น ๆ หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ทอยปล่อยออกผ่านโครงสร้างอาคารทางออก ส่งผลให้ตะกอนขนาดเล็กตกสะสมในอ่างเก็บน้ำค่อนข้างน้อย และส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกไปทางด้านท้ายน้ำ ในขณะที่การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มักจะเก็บกักน้ำเอาไว้ในอ่างเป็นเวลาค่อนข้างนานซึ่งอาจติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายปี ส่งผลให้ปริมาณตะกอนตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการดักตะกอนจะลดลงตามอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำเนื่องจากความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำจะลดลงไปเรื่อย ๆ ตามปริมาณตะกอนที่ตกสะสมและอาจต้องใช้เวลาค่อนข้างนานกว่าตะกอนจะเต็มความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากอัตราส่วน CI เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดักตะกอน โดยอ่างเก็บน้ำที่มีค่าอัตราส่วน CI น้อยกว่า 1 จะจัดให้เป็นอ่างเก็บน้ำประเภทเก็บกักน้ำไว้ใช้รายฤดูกาล (Seasonal Storage Reservoir) ในขณะที่อ่างเก็บน้ำที่มีค่าอัตราส่วน CI มากกว่า 1 จะจัดให้เป็นอ่างเก็บน้ำประเภทเก็บกักน้ำไว้ใช้รายปี (Carry Over Storage Reservoir) ซึ่งอาจจำเป็นต้องปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำ และประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำประเภทนี้อาจสูงเกือบถึง 100%

ข้อมูลสำรวจการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำทั้งจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกไปทางด้านท้ายน้ำนับเป็นข้อมูลหลักในการคำนวณประสิทธิภาพในการดักตะกอน Brune ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำกว่า 40 อ่างในประเทศสหรัฐอเมริกา ทั้งอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 0.098-478,000 ตารางกิโลเมตร และมีค่าอัตราส่วน CI ตั้งแต่ 0.0016-2.05 ตลอดจนลักษณะของอ่างเก็บน้ำที่ทำการคัดเลือกมีทั้งแบบน้ำท่วมขังปกติ (Normal Pounded Reservoir) และอ่างเก็บน้ำแบบกึ่งแห้ง (Semi-Dry Reservoir) รวมถึงอ่างเก็บน้ำแบบระบายตะกอน (Desilting Basin) โดยทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ลักษณะรูปร่างของอ่างเก็บน้ำ วิธีการปฏิบัติการ ตำแหน่งและลักษณะโครงสร้างอาคารทางออก และความหนาแน่นของตะกอน ตลอดจนพัฒนากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน CI และประสิทธิภาพในการดักตะกอนในสเกลกึ่งล็อกดังแสดงในรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 โค้งประสิทธิภาพในการดักตะกอนของ Brune

ที่มา : Jain & Singh (2003)

Murthy ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำไว้ในปี ค.ศ. 1977 โดยให้ข้อสรุปที่สำคัญดังนี้

(1) อัตราส่วน CI เป็นข้อมูลหลักที่ตัวสะท้อนถึงข้อมูลประสิทธิภาพในการดักตะกอน  
 (2) ถึงแม้ว่ามีความเป็นไปได้ยากมากที่ค่าประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำจะเท่ากับ 0% หรือ 100% อย่างไรก็ตามจากข้อมูลภาคสนามพบว่า บางอ่างเก็บน้ำให้ค่าประสิทธิภาพในการดักตะกอนน้อยมากหรือมีค่าเข้าใกล้ 0% หรือสูงถึงเกือบ 100% อยู่บ้าง

(3) การวางแผนและกำหนดเวลาปฏิบัติการที่เหมาะสมเพื่อระบายตะกอนออกจากอ่างเก็บน้ำโดยควบคุมลักษณะการไหลแบบอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกจะสามารถเพิ่มปริมาณตะกอนที่ระบายออกไปได้สูงถึง 3-4 เท่าจากเดิม

(4) ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำแบบระบายตะกอนอาจสูงกว่า 90% ซึ่งสูงกว่าอ่างเก็บน้ำแบบน้ำท่วมขังปกติและอ่างเก็บน้ำแบบกึ่งแห้งที่มีค่าประสิทธิภาพในการดักตะกอนในช่วงประมาณ 60%

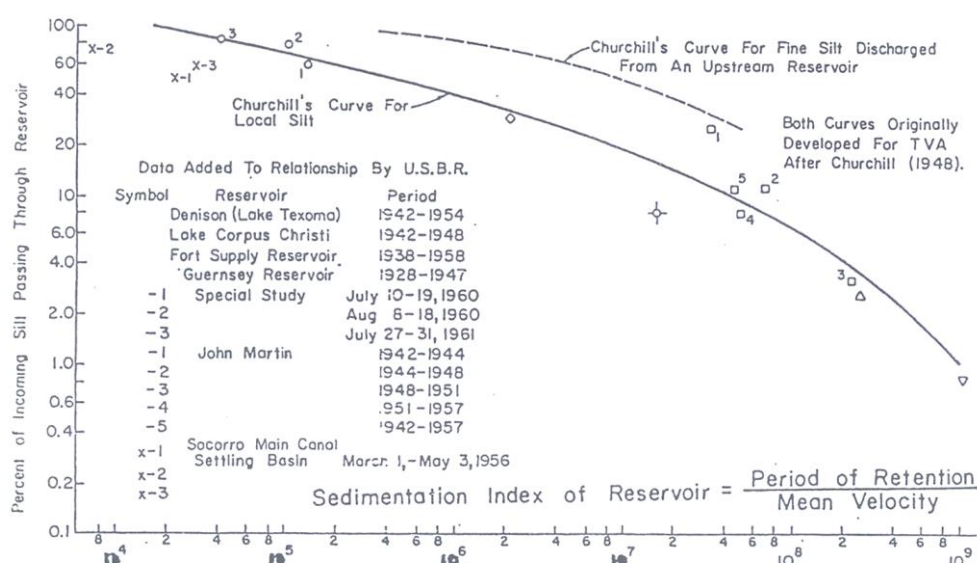
ตารางที่ 7.4 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำในประเทศอินเดียซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ และอัตราส่วน CI

ตารางที่ 7.4 ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำในประเทศอินเดีย

ชื่อ	ความจุเก็บกัก (mcm)	อัตราส่วน CI	ประสิทธิภาพในการดักตะกอน (%)
Matatila	1,132.7	0.187	67-90
Hirakud	8,100	0.20	65-90
Gandhi Sagar	4,700	0.66	100
Bhakra	9,800	0.66	99

ที่มา : Jain & Singh (2003)

ในปี ค.ศ. 1948 Churchill ได้พัฒนาโค้งประสิทธิภาพในการดักตะกอน (Churchill's Curve) ของอ่างเก็บน้ำ Tennessee Valley Authority โดยพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Sedimentation Index) และเปอร์เซ็นต์ตะกอนที่เคลื่อนที่ผ่านอ่างเก็บน้ำดังแสดงในรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 โค้งประสิทธิภาพในการดักตะกอนของ Churchill

ที่มา : Jain & Singh (2003)

ดัชนีการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Sedimentation Index) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างระยะเวลาเก็บกักตะกอน (Period of Retention) ต่อความเร็วเฉลี่ยของตะกอนผ่านอ่างเก็บน้ำ (Mean Velocity) ทั้งนี้ระยะเวลาเก็บกักตะกอนสามารถคำนวณได้จากปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกักเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์หารด้วยอัตราการไหลเข้าของตะกอน (Sediment Flow Rate) ในขณะที่ความเร็วเฉลี่ยของตะกอนผ่านอ่างเก็บน้ำคำนวณได้จากอัตราการไหลเข้าของตะกอนหารด้วย

พื้นที่หน้าตัดของอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (Average Cross-Sectional Area of Reservoir) โดยพื้นที่หน้าตัดของอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยหาได้จากปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์หารด้วยความยาวของอ่างเก็บน้ำ

### 7.3.4 อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (Useful Life of Reservoir)

การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งปริมาณตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำสำหรับนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ รวมถึงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำที่สั้นลง โดยทั่วไปอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (Useful Life of Reservoir) จะหมายถึงช่วงเวลาที่ปริมาณตะกอนซึ่งตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำไม่ได้เป็นอุปสรรคต่อการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำโดยอ่างเก็บน้ำยังคงทำหน้าที่ต่อไปได้ และยังคงสามารถตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในระดับที่พึงพอใจ อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำจะสิ้นสุดลงเมื่อพบว่าการทำหน้าที่ของอ่างเก็บน้ำไม่เป็นไปตามแผนที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในทางเศรษฐศาสตร์แล้วอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำจะหมายถึงช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำสามารถทำหน้าที่ในการตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ อย่างเต็มศักยภาพ โดยประสิทธิผลทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Efficiency) ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอยู่ในระดับคุ้มทุน

## 7.4 การสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Loss of Storage Capacity of Reservoir)

อ่างเก็บน้ำถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้มีปริมาตรเก็บกักเพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ อย่างไรก็ตามการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำทำให้ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำลดลงตามระยะเวลาการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ มีข้อมูลยืนยันโดยผลการศึกษาของ Mahmood ในปี ค.ศ. 1987 ว่าอ่างเก็บน้ำทั่วโลกมีการสูญเสียปริมาตรเก็บกักอันเนื่องมาจากสาเหตุของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำปีละประมาณ 1% ของความจุเก็บกักทั้งหมด หรือสูงถึง 65 ลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้เงินจำนวนมากในการระบายตะกอนหรือกำจัดตะกอนทิ้ง นอกจากนี้ Crowder ได้ประมาณค่าอัตราการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1987 ซึ่งพบว่ามีค่าปีละประมาณ 0.22% ของความจุเก็บกักทั้งหมด หรือมีปริมาณตะกอนสูงถึง 2,020 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ในขณะที่อัตราการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในประเทศอินเดียคิดเป็นประมาณ 0.44% ของความจุเก็บกักทั้งหมด (Jain & Singh, 2003)

### 7.4.1 อัตราการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Loss of Storage Capacity)

Jain และ Singh รายงานว่าผลการสำรวจข้อมูลปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำบางแห่งในประเทศจีนประมาณ 19.2% ของปริมาตรเก็บกักออกแบบสูญเสียไปเนื่องจากปัญหาตะกอนที่ตกสะสมตัว ถึงแม้ว่าอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำยังไม่ถึง 20 ปี ดังแสดงข้อมูลยืนยันในตารางที่ 7.5 ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ

การสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำนี้เกิดจากอัตราการกัดเซาะดินและขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ และสามารถประมาณค่าการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำได้จากสมการ (Jain & Singh, 2003)

$$R_s = 0.0002G^{0.95}(F/S)^{0.8} \text{-----}(7.1)$$

- เมื่อ  $R_s$  = เปอร์เซ็นต์อัตราการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำรายปี  
 $G$  = อัตราการกัดเซาะดินเฉลี่ยจากพื้นที่ลุ่มน้ำต่อปี ( $t/km^2$ )  
 $F$  = พื้นที่ลุ่มน้ำ ( $m^2$ )  
 $S$  = ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ( $m^3$ )

ตารางที่ 7.5 ข้อมูลปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำบางแห่งในประเทศจีน

ชื่ออ่างเก็บน้ำ	แม่น้ำ	พื้นที่รับน้ำ ( $km^2$ )	ความสูงเขื่อน (m)	ความจุเก็บกัก ออกแบบ (mcm)	ปีที่ สำรวจ	ปริมาณตะกอน ทั้งหมด (mcm)	เปอร์เซ็นต์การ สูญเสียความจุ
Liujiaxia	Yellow	181,700	147	5,720	1968-78	580	10.1
Yanguoxia	Yellow	182,800	57	220	1961-78	160	72.7
Bapanxia	Yellow	204,700	43	49	1975-77	18	35.7
Qingtongxia	Yellow	285,000	42.7	620	1966-77	485	78.2
Sanshengong	Yellow	314,000	NA	80	1961-77	40	50
Tiangiao	Yellow	388,000	42	68	1976-78	7.5	11
Sanmenxia	Yellow	688,421	106	9,640	1960-78	3,760*	39
Bajiazui	Pu	3,522	74	525	1960-78	194	37
Fengjiashan	Qian	3,232	73	389	1974-78	23	5.9
Heisonglin	Yeyu	370	45.5	8.6	1961-77	3.4	39
Fenhe	Fen	5,268	60	700	1959-77	260	37.1
Guanting	Yongding	47,600	45	2,270	1953-77	552	24.3
Hongshan	Xiliao	24,486	31	2,560	1960-77	475	18.5
Naodehai	Laoha	4,501	41.5	196	1942	38	19.5
Yeyuqn	Mi	786	23.7	168	1959-72	12	7.2
Gangnan	Hutuo	15,900	63	1,558	1960-76	235	15.1
Gangzui	Dadu	76,400	88	351	1967-78	133	38
Sikou	Bailong	27,600	101	521	1976-78	28	5.4
Danjiangkou	Han	95,217	110	16,050	1968-79	879	5.6

หมายเหตุ : \* ที่ระดับ 335 เมตร

ที่มา : Jain & Singh (2003)



นอกจากนี้การพยากรณ์ค่าปริมาณตะกอนที่ตกสะสมตัวระยะยาวในอ่างเก็บน้ำยังเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งนำมาใช้สำหรับกำหนดแนวทางในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดความยั่งยืนในอนาคต การศึกษาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาสมการในการคาดการณ์ระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวจนเต็มความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำนับตั้งแต่ตะกอนเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างเก็บน้ำไว้ดังนี้

$$T_o = \frac{3.789 \times 10^{-7} A^{0.886} p^{2.869}}{C^{1.771} D_d^{1.819} F_c^{8.678}} \quad \text{-----}(7.2)$$

- เมื่อ A = พื้นที่ลุ่มน้ำ (km<sup>2</sup>)  
 p = ปริมาณฝนรายปี (cm)  
 C = ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (mcm)  
 D<sub>d</sub> = ความหนาแน่นของการระบายน้ำในลุ่มน้ำ (km<sup>-1</sup>)  
 F<sub>c</sub> = แฟกเตอร์ของการกักเซาะซึ่งคำนวณได้จาก

$$F_c = \frac{0.2A_1 + 0.4A_2 + 0.6A_3 + 0.8A_4 + A_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} \quad \text{-----}(7.3)$$

- เมื่อ A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, ..., A<sub>5</sub> = พื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งเป็นป่าหนาที่บ (Closed Area) ป่าที่บ (Dense Area) ป่าไม้จัดแบ่งประเภท (Unclassed Forest) พื้นที่ที่เหมาะสมแก่การปลูกพืช (Arable Area) พื้นที่ป่าละเมาะ (Scrub and Grass Area) และพื้นที่ว่างเปล่า (Waste Area) (km<sup>2</sup>) ตามลำดับ

Murthy ในปี ค.ศ. 1977 ยังได้นำเสนอสมการในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณตะกอนในส่วนของปริมาตรเก็บกักไม่ใช้การ (S) เทียบกับเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเก็บกักใช้การทั้งหมด (C<sub>1</sub>) ของอ่างเก็บน้ำ 4 ประเภทตามที่แสดงค่าพารามิเตอร์ K และ N ไว้ในตารางที่ 7.6

$$S = KC_1^N \quad \text{-----}(7.4)$$



ตารางที่ 7.6 ค่าพารามิเตอร์ K และ N ของอ่างเก็บน้ำ 4 ประเภท

ประเภท	รายละเอียด	K	N
I	ทะเลสาบ (Lake)	3.39	0.78
II	พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงแถบเชิงเขา (Flood Plain in Foot Hill)	9.33	0.56
III	เนินเขา (Hill)	25.12	0.35
IV	หุบเขาลึก (Gorge)	32.36	0.30

ที่มา : Jain & Singh (2003)

#### 7.4.2 ความหนาแน่นของตะกอน (Density of Deposited Sediments)

โดยทั่วไปอนุภาคของตะกอนจะประกอบไปด้วย ดินเหนียว ดินตะกอนทราย ดินทราย และกรวด ซึ่งสามารถจัดแบ่งประเภทของตะกอนตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ดังแสดงในตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 การจัดแบ่งประเภทของตะกอนตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ประเภทตะกอน	ขนาดของอนุภาค (mm)
ดินเหนียว (Clay)	น้อยกว่า 0.004
ดินตะกอนทราย (Silt)	0.004-0.0625
ดินทราย (Sand)	0.0625-2.0

ที่มา : Jain & Singh (2003)

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำได้แก่ ลักษณะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ชนิดและขนาดของอนุภาคตะกอนที่ไหลเข้าอ่าง รวมถึงช่วงระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำ ในปี ค.ศ. 1965 Lara และ Pemberton ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาเริ่มต้นดังแสดงในสมการ

$$\gamma_0 = W_c p_c + W_m p_m + W_s p_s \quad \text{-----}(7.5)$$

- เมื่อ  $\gamma_0$  = ความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาเริ่มต้น (lb/ft<sup>3</sup> หรือ kg/m<sup>3</sup>)
- $W_c, W_m, W_s$  = สัมประสิทธิ์ของดินเหนียว ดินตะกอนทราย และดินทราย ตามลำดับ ซึ่งผันแปรตามลักษณะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตามตารางที่ 7.8
- $p_c, p_m, p_s$  = เปอร์เซ็นต์ของดินเหนียว ดินตะกอนทราย และดินทราย ตามลำดับ (%)

ตารางที่ 7.8 ประเภทของอ่างเก็บน้ำตามลักษณะของการปฏิบัติการและค่าสัมประสิทธิ์  $W_C, W_m, W_S$

ประเภท	ลักษณะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์, lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )		
		$W_C$	$W_m$	$W_S$
I	ตะกอนที่ตกสะสมจะจมอยู่ใต้น้ำ หรือเกือบจมตลอดเวลา (Sediments always submerged or nearly submerged)	26 (416)	70 (1,121)	97 (1,154)
II	ปกติการลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ระหว่างปานกลางถึงมาก (Normally moderate to considerable reservoir drawdown)	35 (561)	71 (1,137)	97 (1,154)
III	ปกติอ่างเก็บน้ำแห้งอยู่เสมอ (Reservoir normally empty)	40 (641)	72 (1,153)	97 (1,154)
IV	ตะกอนที่ตกสะสมในอ่างเก็บน้ำเป็นตะกอนท้องน้ำ (River bed sediment)	60 (961)	73 (1,169)	97 (1,154)

ที่มา : วราวุธ วุฒิวิชัย และคณะ (2550); Jain & Singh (2003)

ความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำในแต่ละปีจะแตกต่างกันออกไปกล่าวคือ ตะกอนที่ตกก่อนจะมีการอัดตัวแน่นมากกว่าตะกอนที่ตกในปีหลัง ๆ Miller ในปี ค.ศ. 1953 ได้นำเสนอสมการในการประมาณค่าความหนาแน่นของตะกอนเฉลี่ยตลอดระยะเวลา T ปีดังนี้

$$\gamma_T = \gamma_0 + 0.4343K \frac{T}{T-1} (\log_e T) - 1 \quad \text{-----}(7.6)$$

เมื่อ  $\gamma_T$  = ความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา T ปี (lb/ft<sup>3</sup> หรือ kg/m<sup>3</sup>)

K = ค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวแน่น (Consolidation Coefficient) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$K = K_c p_c + K_m p_m + K_s p_s \quad \text{-----}(7.7)$$

เมื่อ  $K_c, K_m, K_s$  = สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวแน่นของดินเหนียว ดินตะกอนทราย และดินทราย ตามลำดับ ตามตารางที่ 7.9

ตารางที่ 7.9 ค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวแน่น

ลักษณะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ K (หน่วยอังกฤษ)		
	ดินเหนียว	ดินตะกอนทราย	ดินทราย
I	16	5.7	0
II	8.4	1.8	0
III	0	0	0
IV	0	0	0

ที่มา : วราวุธ วุฒิวิชัย และคณะ (2550); Jain & Singh (2003)

**ตัวอย่างที่ 7.1** จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนของอ่างเก็บน้ำประเภทที่ 1 พบว่าเป็นดินเหนียว 23% ดินตะกอนทราย 40% และดินทราย 37% ให้หาค่าความหนาแน่นของตะกอนในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาเริ่มต้นและค่าความหนาแน่นของตะกอนในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเมื่อตะกอนตกสะสมตัวเป็นเวลา 100 ปี

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\gamma_0 &= W_c p_c + W_m p_m + W_s p_s = 26(0.23) + 70(0.40) + 97(0.37) \\ &= 5.98 + 28.00 + 35.89 \\ &= 69.87 \approx 70 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$K = K_c p_c + K_m p_m + K_s p_s = 16(0.23) + 5.7(0.40) + 0(0.37) = 5.67$$

$$\begin{aligned}\gamma_{100} &= \gamma_0 + 0.4343K \frac{T}{T-1} (\log_e T) - 1 = 70 + 0.04343(5.67) \left[ \frac{100}{99} (4.61) - 1 \right] \\ &= 70 + 2.59(3.66) \\ &= 79 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

#### 7.4.3 อัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Rate of Reservoir Sedimentation)

อัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำในแต่ละปีจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ ปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่างรายปี ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่าง และความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำ การคำนวณหาอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำในแต่ละปีสามารถประมาณการได้จาก

$$R_{RS} = \frac{Q_s x E_{RT}}{100xy} \text{-----}(7.8)$$

เมื่อ  $R_{RS}$  = อัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ ( $\text{ft}^3/\text{yr}$  หรือ  $\text{m}^3/\text{yr}$ )

$Q_s$  = ปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่างรายปี ( $\text{lb}/\text{yr}$  หรือ  $\text{kg}/\text{yr}$ )

$$E_{RT} = \text{ประสิทธิภาพในการดักตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (\%)} \\ \gamma = \text{ความหนาแน่นของตะกอนที่ตกสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำ (lb/ft}^3 \text{ หรือ kg/m}^3\text{)}$$

นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำและปริมาตรเก็บกักที่เผื่อไว้สำหรับการตกตะกอนมาใช้ในการคำนวณหาอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (Life of Reservoir) ได้ดังนี้

$$L_R = \frac{V_S}{R_{RS}} \text{-----(7.9)}$$

$$\text{เมื่อ } L_R = \text{อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (yr)} \\ V_S = \text{ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่เผื่อไว้สำหรับการตกตะกอน (ft}^3 \text{ หรือ m}^3\text{)}$$

เนื่องจากประสิทธิภาพในการดักตะกอนจะลดลงเมื่อปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำลดน้อยลงจากการตกสะสมตัวของตะกอน ในขณะที่เดียวกันความหนาแน่นของตะกอนจะเปลี่ยนไปตามเวลา ด้วยเหตุนี้การคำนวณหาระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวจนทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำแสดงในตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

**ตัวอย่างที่ 7.2** อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีปริมาตรเก็บกัก 6 ล้านลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่รับน้ำ 200 ตารางกิโลเมตร จากการตรวจวัดข้อมูลพบว่า มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ย 350 มิลลิเมตรต่อปี และผลผลิตตะกอนเท่ากับ 1,100 ตันต่อตารางกิโลเมตรต่อปี ให้คำนวณหาระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวจนทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเหลือเพียง 1 ล้านลูกบาศก์เมตรโดยใช้โค้งประสิทธิภาพในการดักตะกอนของ Brune และสมมติให้ความหนาแน่นของตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

**วิธีทำ** ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Reservoir Inflow, I) =  $0.35 \times 200 \times 10^6 = 70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$

ปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่าง (Sediment Rate, Qs) =  $1,100 \times 1,000 \times 200 = 2.2 \times 10^8 \text{ kg/yr}$

ผลการคำนวณหาระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวจนทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำในแต่ละล้านลูกบาศก์เมตรแสดงในตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.10 ผลการคำนวณหาระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวจนทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ

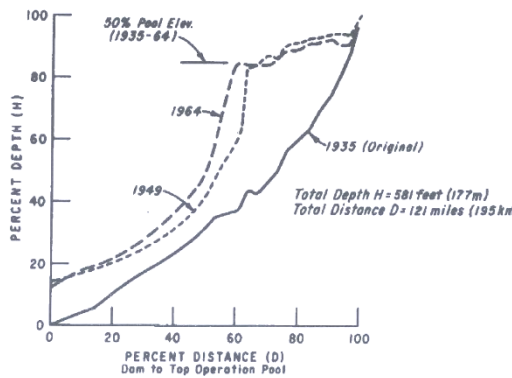
Capacity (mcm)	Avg.Capacity (mcm)	C/I Ratio	$E_{RT}^*$ (%)	$Q_s$ (kg/yr)	$\bar{\gamma}$	$V_s$	$R_{RS}$	$L_R$
6								
	5.5	0.079	84	$2.2 \times 10^8$	1,500	$10^6$	123,200	8.12
5								
	4.5	0.064	80	$2.2 \times 10^8$	1,500	$10^6$	117,333	8.52
4								
	3.5	0.050	76	$2.2 \times 10^8$	1,500	$10^6$	111,467	8.97
3								
	2.5	0.036	69	$2.2 \times 10^8$	1,500	$10^6$	101,200	9.88
2								
	1.5	0.021	56	$2.2 \times 10^8$	1,500	$10^6$	82,133	12.18
1								
Total								47.67

หมายเหตุ : \* อ่านค่าจากโค้งประสิทธิภาพในการตกตะกอนของ Brune เมื่อทราบอัตราส่วน C/I ในรูปที่ 7.3

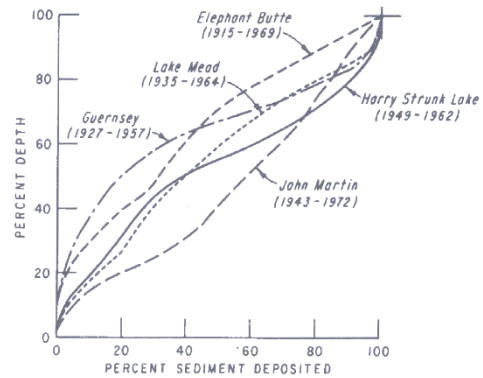
จากตารางจะได้ระยะเวลาที่ตะกอนตกสะสมตัวจนทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ 5 ล้านลูกบาศก์เมตรเท่ากับ 47.67 ปี

#### 7.4.4 การกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Distribution of Sediment in Reservoirs)

ข้อมูลสำรวจภาคสนามนับเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญสำหรับนำมาใช้ในการพัฒนาสมการเอมไพริคัลเพื่อพยากรณ์รูปแบบการกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ โดยทั่วไปแล้วลักษณะการกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำอาจแสดงในลักษณะความลึกของตะกอนในอ่างเก็บน้ำที่ตำแหน่งระยะทางต่าง ๆ ซึ่งห่างจากตัวเขื่อน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 7.5 (Timothy et al., 2006)



(a) ลักษณะการกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ Lake Mead



(b) โพรไฟล์การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ

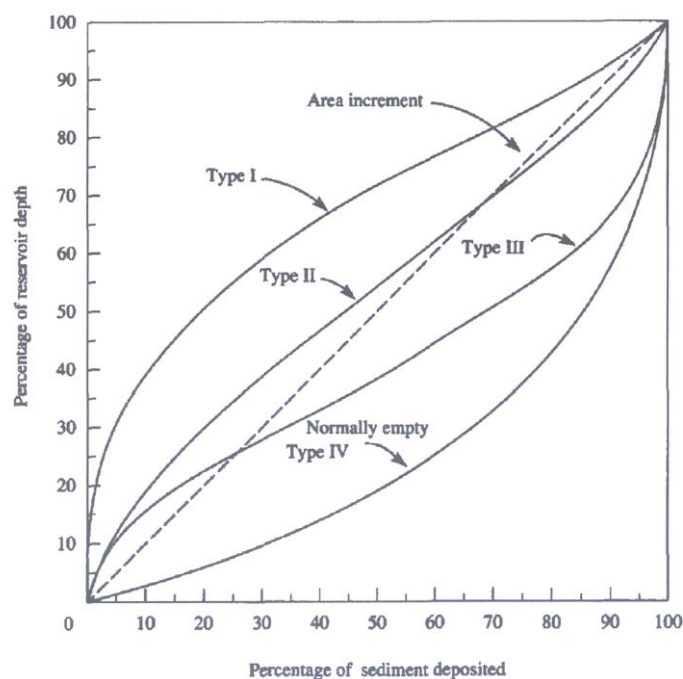
### รูปที่ 7.5 การกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

ที่มา : Timothy et al. (2006)

โดยส่วนใหญ่ตะกอนที่สะสมตัวในอ่างเก็บน้ำนั้นจะอยู่ต่ำเส้นระดับเก็บกักปกติ อย่างไรก็ตามหากอ่างเก็บน้ำถูกออกแบบให้มีปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมด้วย มีความเป็นไปได้ที่ตะกอนจะสะสมตัวในโซนนี้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนที่จะปล่อยน้ำออกไปผ่านทางระบายน้ำล้นลงสู่ท้ายน้ำ

#### 7.4.5 วิธีการปรับลดพื้นที่เอมไพริกัล (Empirical Area Reduction Method)

วิธีการปรับลดพื้นที่เอมไพริกัลถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Borland และ Miller ในปี ค.ศ. 1960 จากผลการรวบรวมข้อมูลภาคสนามกว่า 30 อ่างเก็บน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา และได้ทำการปรับปรุงใหม่โดย Lara ในปี ค.ศ. 1962 โดยพิจารณาว่าปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำได้แก่ ลักษณะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ขนาดของอนุภาคตะกอน ลักษณะรูปร่างของอ่างเก็บน้ำ และปริมาตรตะกอนที่ตกสะสมตัวอยู่ในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งนับเป็นข้อมูลสำคัญในการพัฒนาโค้งการกระจายตัวของตะกอนออกแบบ (Sediment Distribution Design Curve) สำหรับผลที่ได้แสดงในรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 โค้งการกระจายตัวของตะกอนนอกแบบ  
ที่มา : Timothy et al. (2006)

โค้งการกระจายตัวของตะกอนนอกแบบสามารถนำมาใช้ในการทำนายลักษณะของการกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำที่ระยะความลึกต่าง ๆ โดยอาศัยข้อกำหนดพื้นฐานในตารางที่ 7.11 ดังนี้

ตารางที่ 7.11 ข้อกำหนดพื้นฐานในการอ่านค่าจากโค้งการกระจายตัวของตะกอนนอกแบบ

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ		รูปร่าง		
ประเภท	ลักษณะ	ประเภท	แนวโน้ม	ลักษณะ
I	ตะกอนที่ตกสะสมจมอยู่ใต้น้ำ	I	I	ทะเลสาบ
		II	I หรือ II	ที่ราบน้ำท่วมหรือเชิงเขา
		III	II	เนินเขาหรือช่องเขาสูง
II	ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ระหว่างปานกลางถึงมาก	I	I หรือ II	ทะเลสาบ
		II	II	ที่ราบน้ำท่วมหรือเชิงเขา
		III	II หรือ III	เนินเขาหรือช่องเขาสูง
III	ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำค่อนข้างน้อยมาก	I	II	ทะเลสาบ
		II	II หรือ III	ที่ราบน้ำท่วมหรือเชิงเขา
		III	III	เนินเขาหรือช่องเขาสูง
IV	ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำแห้งอยู่เสมอ		IV	ทุกลักษณะ

ที่มา : Jain & Singh (2003)

#### 7.4.6 หลักเศรษฐศาสตร์ของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Economics of Reservoir Sedimentation)

ผลจากการตกสะสมตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำทำให้ปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำลดลงไปเรื่อย ๆ ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้การใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอน ประสิทธิภาพของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ และอัตราการสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีนักวิจัยได้นำหลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์หาต้นทุนที่เกิดขึ้นจากสาเหตุของปริมาณตะกอนสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำจนทำให้ปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำลดลงจนไม่สามารถทำหน้าที่ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ Gunatilake และ Gopalakrishnan ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาต้นทุนที่เกิดจากปริมาณตะกอนสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำ Mahaweli ในประเทศศรีลังกา โดยต้นทุนทั้งหมดนั้นพิจารณาจากผลของการลดพื้นที่ทำการเกษตรกรรม การลดลงของไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ผลิตได้ ต้นทุนในการทำน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภค และการลดลงของผลผลิตสัตว์น้ำ ซึ่งต้นทุนทั้งหมดมีค่าประมาณ 834,040 ดอลลาร์ ในปี ค.ศ. 1993 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเป็น 7,604,710 ดอลลาร์ ภายในอีก 50 ปีข้างหน้า และสังเกตได้ว่าค่าใช้จ่ายของโครงการซึ่งคำนวณจากค่าเงินปัจจุบันที่อัตราดอกเบี้ย 6% มีค่าค่อนข้างสูงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าสาเหตุจากปริมาณตะกอนสะสมในอ่างเก็บน้ำ Mahaweli ประเทศศรีลังกายังส่งผลต่อการลดลงของไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ผลิตได้สูงสุดอีกด้วยดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 7.12 (Jain & Singh, 2003)

ตารางที่ 7.12 ต้นทุนของปริมาณตะกอนสะสมในอ่างเก็บน้ำ Mahaweli ประเทศศรีลังกา

ปี	การลดลงของพื้นที่เกษตรกรรม (\$000s)	การลดลงของไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ผลิตได้ (\$000s)	ต้นทุนในการทำน้ำประปา (\$000s)	การลดลงของผลผลิตสัตว์น้ำ (\$000s)	ต้นทุนทั้งหมดในการลดปริมาณตะกอน (\$000s)
1993	62.14	453.87	198.17	119.90	838.04
2002	133.09	885.91	236.83	119.90	1,380.47
2012	211.92	1,365.95	288.69	119.90	1,992.25
2022	290.76	1,846.00	351.92	119.90	2,615.61
2032	369.59	2,326.05	428.98	119.90	3,253.10
2042	448.42	2,806.09	522.93	119.90	7,604.71
ค่าเงินปัจจุบัน	2,693.73	17,592.75	4,230.29	1,889.85	26,406.62
%	10.20	66.62	16.02	7.15	100.00

ที่มา : Jain & Singh (2003)



## เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมชลประทาน. (2554). *ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและรายปีในลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานตะกอนและคุณภาพน้ำ ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน.
- วรารุช วุฒิวิณิชย์, ทองเปลว กองจันทร์, และวัชระ เสือดี. (2550). *อุทกวิทยาประยุกต์ทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Linsley, R.K., Franzini, J.B., Freyberg, D.L., & Tchobanoglous, G. (1992). *Water resource engineering*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Timothy, J.R., Yang, C.T., & Daraio, J. (2006). *Erosion and sedimentation manual*. Colorado: Department of Interior Bureau of Reclamation.



## 08 ไฟฟ้าพลังงานน้ำ-การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Hydropower-Reservoir Operation)

ไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower) คือพลังงานไฟฟ้าที่ได้พลังน้ำโดยการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของการไหลของน้ำหรือการปล่อยน้ำจากที่สูงลงมาที่ต่ำให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า กล่าวได้ว่าไฟฟ้าพลังงานน้ำเป็นพลังงานทดแทนสะอาด (Clean Renewable Energy) ที่ไม่ปล่อยมลพิษกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากอาศัยพลังงานน้ำซึ่งเป็นผลพวงจากแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) ในการขับเคลื่อนกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ข้อดีของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำที่สำคัญคือ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำสามารถเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าได้เต็มกำลังผลิตในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Load) การเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องทำได้เร็วโดยเฉพาะในช่วงฉุกเฉินซึ่งสามารถทดแทนไฟฟ้าที่ขาดไปในระบบได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ต้นทุนการผลิตต่ำ และมีอายุการใช้งานนานกว่าโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ดังนั้นทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำและการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้กล่าวไว้ในบทนี้

### 8.1 ไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower)

ไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower) เป็นพลังงานที่นำมาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ที่ได้จากมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลไม่ว่าจะเป็น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งผลกระทบจากความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงในปัจจุบันก่อให้เกิดปัญหาทางด้านพลังงานและนับวันจะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้นทั่วโลก ด้วยเหตุนี้แนวทางการเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนหรือพลังงานไฟฟ้าปฏุมภูมิเช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นหรือคิดเป็นประมาณ 10% ของพลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์จากทั่วโลกดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 8.1 (Karamouz et al., 2003)

ตารางที่ 8.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั่วโลก

ทวีป	พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ (peta-joules) <sup>(1)</sup>	พลังงานไฟฟ้าปฏุมภูมิ (peta-joules) <sup>(2)</sup>	เปอร์เซ็นต์ของพลังงานไฟฟ้า ปฏุมภูมิ (%)
แอฟริกา	22,667	324	1.4
ยุโรป	94,496	14,302	15.1
อเมริกาเหนือ	89,924	11,147	12.4
อเมริกากลาง	8,992	554	6.2
อเมริกาใต้	17,937	1,784	9.9
เอเชีย	122,438	6,957	5.7
โอเชียเนีย	8,436	237	2.8

ตารางที่ 8.1 (ต่อ)

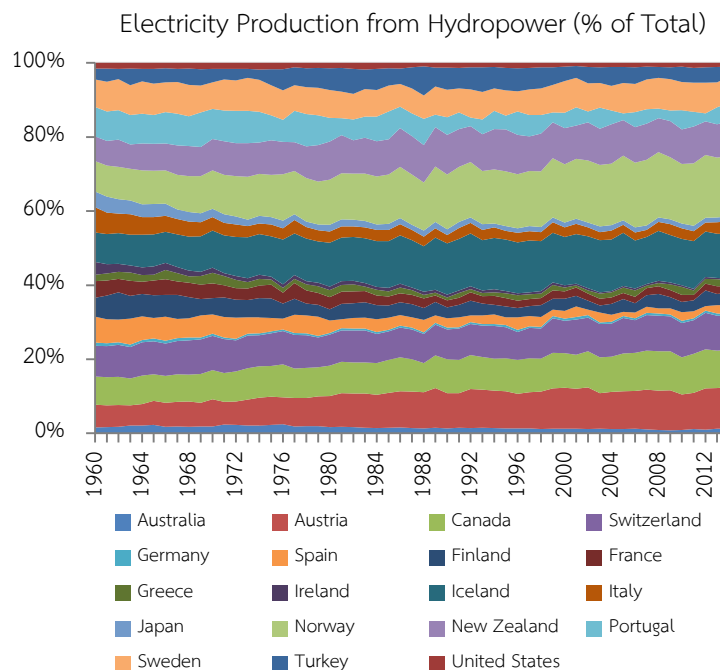
ทวีป	พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ (peta-joules) <sup>(1)</sup>	พลังงานไฟฟ้าปรมาณู (peta- joules) <sup>(2)</sup>	เปอร์เซ็นต์ของพลังงานไฟฟ้า ปรมาณู (%)
ทั่วโลก	364,891	35,305	9.7

หมายเหตุ : (1) พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานไฟฟ้าปรมาณู

(2) พลังงานไฟฟ้าปรมาณูคือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานทดแทน (Noncombustible Energy Sources) เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้ดิน พลังงานน้ำ เป็นต้น

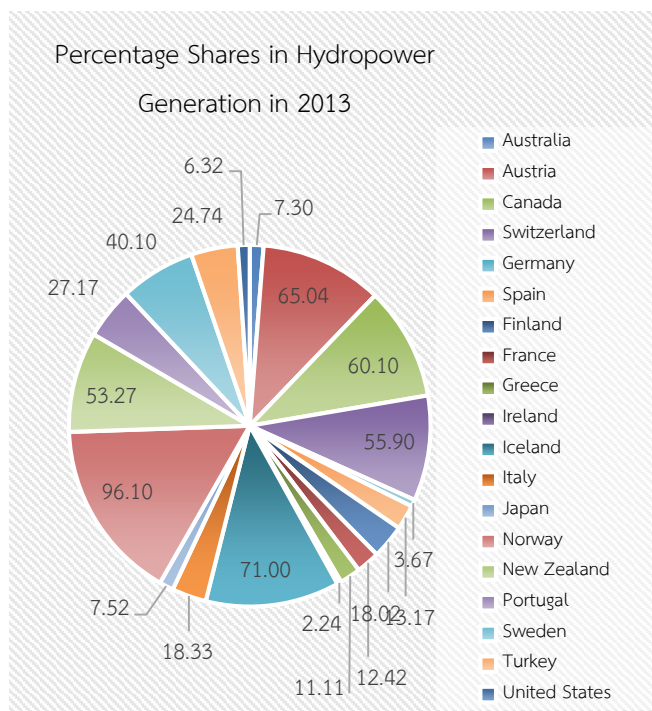
ที่มา : Karamouz et al. (2003)

ไฟฟ้าพลังน้ำนับได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ใหญ่ที่สุดซึ่งมีความสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั่วโลก จากฐานข้อมูลขององค์กรพลังงานนานาชาติ (International Energy Agency) พบว่า 68% ของไฟฟ้าพลังงานทดแทนมาจากไฟฟ้าพลังน้ำ และสูงกว่า 16% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในปี ค.ศ. 2008 (International Energy Agency, 2010) ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำมีการเติบโตค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในประเทศพัฒนาแล้วซึ่งบางประเทศมีเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานน้ำสูงกว่า 50% ดังแสดงในรูปที่ 8.1 อย่างไรก็ตามในประเทศกำลังพัฒนายังมีเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำน้อยกว่า 10% โดยมีการใช้งานเฉพาะบางพื้นที่เท่านั้น



รูปที่ 8.1 แนวโน้มของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานน้ำทั่วโลกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960-2013

ที่มา : Worldbank (2016)



รูปที่ 8.2 เปอร์เซนต์การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานน้ำทั่วโลกในปี ค.ศ. 2013  
ที่มา : Worldbank (2016)

สำหรับประเทศไทยพบว่ายังคงใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซธรรมชาติ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำอยู่บ้างซึ่งส่วนใหญ่เป็นโครงการโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตไม่มากนัก จากรายงานสถานการณ์ไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2546 พบว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำคิดเป็น 6% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของหน่วยงานหลักคือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งมีสัดส่วนการผลิตสูงถึง 98.23% รองลงมาคือกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 1.48% และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 0.29% ตามลำดับ โดยครอบคลุมถึงระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ ระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก และระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำหมู่บ้าน (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2547) อย่างไรก็ตามจากรายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2559-2560 พบว่าการใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานน้ำอยู่ในช่วง 0.38%-0.44% เท่านั้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558; 2559) นอกจากนี้จากรายงานสรุปของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยพบว่า กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (Installed Capacity) ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดไมโคร ขนาดมินิ ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ทั้งประเทศรวม 3,467 เมกกะวัตต์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ประเภทของโรงไฟฟ้า	โรงไฟฟ้า	กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (MW)	ปีที่ใช้งาน ค.ศ.
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Installed Capacity < 0.1 MW)	บางยาง จ.เชียงใหม่	0.1245	1974
	บ้านขุนกลาง จ.เชียงใหม่	0.18	1983
	คลองช่องกล้า จ.ปราจีนบุรี	0.016	1983
	ห้วยกุยมั่ง จ.กาญจนบุรี	0.10	1984
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Installed Capacity < 5 MW)	ห้วยกุ่ม จ.ชัยภูมิ	1.30	1982
	บ้านสันติ จ.ยะลา	1.275	1982
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง (Installed Capacity 5-50 MW)	น้ำพุ จ.สกลนคร	6.30	1965
	แม่จัด จ.เชียงใหม่	9.00	1985
	อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น	25.20	1966/1987
	สิรินธร จ.อุบลราชธานี	36.00	1971/1984
	จุฬารัตน์ จ.ชัยภูมิ	40.00	1972
	แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี	19.00	1974
	บางกลาง จ.ยะลา	72.00	1981
	ท่าทุ่งนา จ.กาญจนบุรี	38.00	1981
	เจ้าพระยา จ.ชัยนาท	12.00	2011
	นเรศวร จ.พิษณุโลก	8.00	2011
	แม่กลอง จ.กาญจนบุรี	12.00	2012
	ขุนด่านปราการชล จ.นครนายก	10.00	2012
	ป่าสักชลสิทธิ์ จ.ลพบุรี	6.70	2012
	แควน้อย จ.พิษณุโลก	30.00	2013
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ (Installed Capacity >50 MW)	ภูมิพล จ.ตาก	743.80	1964/1982/1996
	สิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์	500.00	1974
	ศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี	720.00	1980/1986/1991
	วชิราลงกรณ์ จ.กาญจนบุรี	300.00	1984
	รัชชประภา จ.สุราษฎร์ธานี	240.00	1986
	ปากมูล จ.อุบลราชธานี	136.00	1994
	ลำตะคองชลภาวัฒนา จ.นครราชสีมา	500.00	2004

ที่มา : ยิ่งปลิว ศุภกิตติวงศ์ (2561); EGAT (2002)

## 8.2 การจัดประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Classification of Hydropower Plants)

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำสามารถจัดประเภทได้ตามหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (Installed Capacity/Size) เฮดน้ำ (Head Availability) ลักษณะและแนวทางการจัดการ (System and Operation Regime) รวมถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ (Purpose of Plant Structure) (International Finance Corporation, n.d.)

### 8.2.1 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (Classification Based on Installed Capacity)

ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่จัดแบ่งตามขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งโดยทั่วไปแบ่งได้ออกเป็น 4 กลุ่มหลักคือ (1) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กและมินิ (Micro & Mini Hydropower) (2) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small Hydropower) (3) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง (Medium Hydropower) และ (4) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ (Large Hydropower) ซึ่งข้อกำหนดในการจัดแบ่งประเภทอาจแตกต่างกันในแต่ละประเทศและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม องค์กรที่ International Finance Corporation, World Bank Group และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้จัดแบ่งประเภทของโรงไฟฟ้าโดยสรุปไว้ในตารางที่ 8.3 ดังนี้ (EGAT, 2002; International Finance Corporation, n.d.)

ตารางที่ 8.3 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง

ประเภทโรงไฟฟ้า	หลักเกณฑ์การจัดแบ่งประเภท	
	World Bank Group	EGAT
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Micro Hydropower)	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งน้อยกว่า 0.1 เมกกะวัตต์	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งน้อยกว่า 0.1 เมกกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Mini Hydropower)	-	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งในช่วง 0.1-5 เมกกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small Hydropower)	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งในช่วง 0.1-10 เมกกะวัตต์ (ในบางประเทศอยู่ระหว่าง 30-35 เมกกะวัตต์)	-
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง (Medium Hydropower)	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งในช่วง 10-100 เมกกะวัตต์	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งในช่วง 5-50 เมกกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ (Large Hydropower)	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งตั้งแต่ 100 เมกกะวัตต์ ขึ้นไป	ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งตั้งแต่ 50 เมกกะวัตต์ ขึ้นไป



โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Micro Hydropower) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งน้อยกว่า 0.1 เมกกะวัตต์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับความต้องการในพื้นที่ชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการติดตั้งแบบเดี่ยว (Stand-Alone) โดยไม่ได้เชื่อมโยงเป็นระบบกริดไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟไปยังผู้บริโภค มักมีลักษณะเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower) และนิยมติดตั้งในพื้นที่ชนบทห่างไกลโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาเพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงฟอสซิล

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small Hydropower) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งน้อยกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่ เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำออกแบบไว้ขนาดเล็กกว่า ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower) และติดตั้งเชื่อมโยงเป็นระบบกริดไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟไปยังผู้ใช้

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง (Medium Hydropower) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งน้อยกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ อาจมีลักษณะเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower) หรือโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage/Reservoir Hydropower) ก็ได้

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ (Large Hydropower) มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าอื่น ๆ และมีการเชื่อมโยงกันของเครือข่ายเป็นระบบกริดไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟไปยังผู้บริโภค โรงไฟฟ้าประเภทนี้เป็นได้ทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower) หรือโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage/Reservoir Hydropower)

### 8.2.2 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามเฮดน้ำ (Classification Based on Head Availability)

ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามเฮดน้ำแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักได้แก่ (1) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดน้อย (Low Head Hydropower) (2) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดปานกลาง (Medium Head Hydropower) และ (3) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดสูง (High Head Hydropower) ซึ่งรายละเอียดของหลักเกณฑ์การจัดแบ่งประเภทได้สรุปไว้ในตารางที่ 8.4 (International Finance Corporation, n.d.; Karamouz et al., 2003)



ตารางที่ 8.4 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง

ประเภทโรงไฟฟ้า	หลักเกณฑ์การจัดแบ่งประเภท	
	World Bank Group	Karamouz และคณะ
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดน้อย (Low Head Hydropower)	เฮดน้ำน้อยกว่า 30 เมตร	เฮดน้ำน้อยกว่า 20 เมตร
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดปานกลาง (Medium Head Hydropower)	เฮดน้ำอยู่ระหว่าง 30-100 เมตร	เฮดน้ำอยู่ระหว่าง 20-30 เมตร
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดมาก (High Head Hydropower)	เฮดน้ำมากกว่า 100 เมตร ขึ้นไป	เฮดน้ำมากกว่า 30 เมตร ขึ้นไป

### 8.2.3 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามลักษณะและแนวทางการจัดการ (Classification Based on System and Operation Regime)

ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบ่งตามลักษณะและแนวทางการจัดการได้เป็น 3 แบบคือ (1) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower) (2) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage/Reservoir Hydropower) และ (3) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower) (International Finance Corporation, n.d.; Karamouz et al., 2003)

#### (1) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower)

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower) เป็นโรงไฟฟ้าที่อาศัยน้ำที่ไหลตามธรรมชาติในลำน้ำ (Streamflow) หรือการสร้างเขื่อนหรือฝายเดี่ยว ๆ ตามลำน้ำเป็นระยะ ๆ มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยไม่มีอ่างเก็บน้ำ หรือมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีขนาดความจุเก็บกักค่อนข้างน้อย และเฮดน้ำขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหลของน้ำซึ่งผันแปรตามสภาพภูมิอากาศและอิทธิพลของฤดูกาล ส่วนใหญ่โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะติดตั้งอยู่กับเขื่อนทดน้ำชลประทานซึ่งมีน้ำไหลผ่านตลอดปี ซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้งมักจะคิดจากอัตราการไหลของน้ำรายปีต่ำสุดเพื่อที่จะสามารถเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี และมักจำกัดชั่วโมงปฏิบัติการต่อวันค่อนข้างน้อย ดังแสดงตัวอย่างโรงไฟฟ้าในรูปที่ 8.3



**รูปที่ 8.3** โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี Dalles ประเทศสหรัฐอเมริกา  
ที่มา : Wikipedia (2018a)

(2) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage/Reservoir Hydropower)

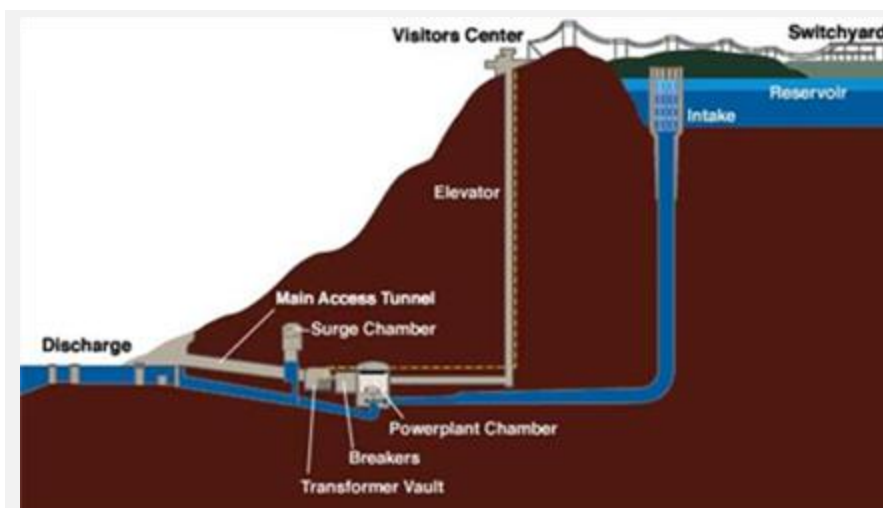
โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำเพียงพอที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแผนการปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำนั้น ๆ โรงไฟฟ้าประเภทนี้นับว่ามีประโยชน์อย่างมากเพราะสามารถจัดสรรน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าเสริมในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดปี โดยส่วนใหญ่เขื่อนเก็บกักกอนกประสงค์ที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าประเภทนี้ไว้ ดังแสดงตัวอย่างโรงไฟฟ้าไว้ในรูปที่ 8.4



**รูปที่ 8.4** โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำเก็บกักเขื่อน Hoover ประเทศสหรัฐอเมริกา  
ที่มา : Wikipedia (2018b)

### (3) โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower)

โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะมีเครื่องสูบน้ำที่สามารถปั้มน้ำจากอ่างล่าง (Tailwater Pool) กลับขึ้นไปยังอ่างบน (Headwater Pool) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอีกครั้งในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงดังแสดงในรูปที่ 8.5 ประโยชน์ของโรงไฟฟ้าประเภทนี้เกิดจากการแปลงพลังงานที่เหลือใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำเพื่อที่จะสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่งในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องกลับทาง โรงไฟฟ้าประเภทนี้มีการทำงานใน 2 ลักษณะคือ แบบแรกเป็นลักษณะการควบคุมน้ำรายฤดูกาล (Seasonal Regulation) คือการสูบน้ำจะสูบในฤดูน้ำมาก และทางท้ายน้ำไม่ต้องการน้ำเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในช่วงฤดูน้ำน้อย และแบบที่สองเป็นลักษณะการควบคุมน้ำรายวัน (Daily Regulation) ซึ่งจะมีการสูบและผลิตไฟฟ้าทุกวัน อ่างบนจะมีขนาดเล็ก แต่จะมีเฮดน้ำสูงประมาณ 200 เมตรขึ้นไปจึงจะเหมาะสม ดังแสดงตัวอย่างโรงไฟฟ้าไว้ในรูปที่ 8.5



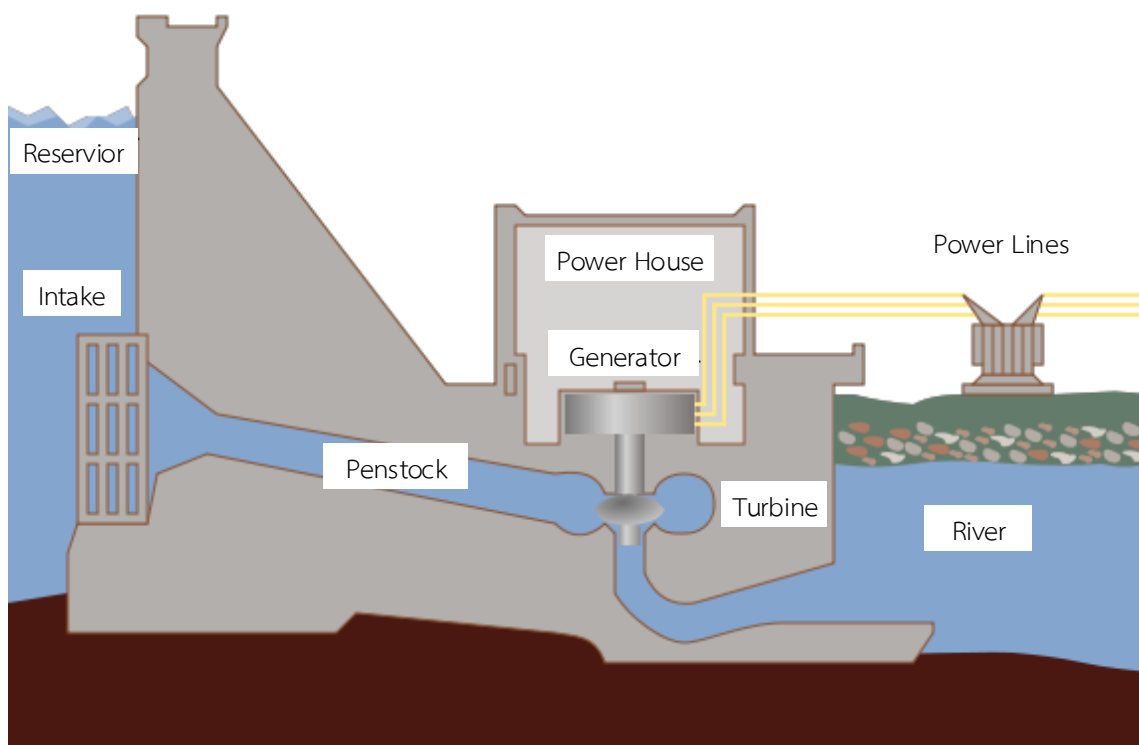
รูปที่ 8.5 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ Raccoon Mountain ประเทศสหรัฐอเมริกา  
ที่มา : Wikipedia (2018c)

#### 8.2.4 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำตามวัตถุประสงค์ของโครงการ (Classification Based on Purpose of Plant Structure)

โรงไฟฟ้าประเภทนี้จัดแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่พิจารณารวมถึงวัตถุประสงค์อื่น ๆ เพิ่มเติมในโครงการพัฒนาไฟฟ้าพลังงานน้ำไม่ว่าจะเป็น การป้องกันน้ำท่วม (Flood Protection) การบรรเทาภัยแล้ง (Drought Mitigation) การชลประทาน (Irrigation) การอุปโภคบริโภค (Water Supply) การรักษานิเวศสิ่งแวดล้อม (Environmental Need) เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ (1) โรงไฟฟ้าเอกประสงค์ (Single Purpose Hydropower) และ (2) โรงไฟฟ้าอเนกประสงค์ (Multi-Purpose Hydropower)

### 8.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Components and Working Principle of Hydropower Plant)

ส่วนประกอบหลักของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลักได้แก่ (1) อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทำหน้าที่เก็บกักน้ำโดยปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำผ่านกังหันน้ำนับได้ว่าเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดแรงดันน้ำและเฮดน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (2) อาคารรับน้ำเข้า (Intake Structure) เป็นส่วนประกอบที่รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อส่งต่อไปยังท่อส่งน้ำ (Penstock/Conduit) โดยมีประตูดูด (Gate) และวาล์ว (Valve) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านไปยังโรงไฟฟ้า และมีตะแกรง (Screen) ทำหน้าที่ดักขยะตรงจุดรับน้ำเข้า (3) ท่อส่งน้ำ (Penstock/Conduit) เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่รับน้ำจากอาคารรับน้ำเข้า (Intake Structure) เพื่อส่งผ่านไปยังอาคารโรงไฟฟ้า (4) อาคารโรงไฟฟ้า (Power House) ภายในอาคารโรงไฟฟ้าประกอบด้วย เครื่องกังหันน้ำ (Turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (Governor) ตู้แผงและอุปกรณ์ควบคุม (Control Switchboard) ประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านกังหันน้ำ เฮดน้ำสุทธิ และชนิดของกังหันน้ำ และ (5) ระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission Line System) ระบบสายส่งไฟฟ้าประกอบด้วยสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและอุปกรณ์ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง สายส่งไฟฟ้าแรงต่ำและอุปกรณ์ และหม้อแปลงไฟฟ้าแรงต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ  
ที่มา : Wikipedia (2018d)

ไฟฟ้าพลังน้ำเป็นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยแรงดันน้ำมาหมุนกังหันน้ำ โดยหลักการทำงานเบื้องต้นนั้นน้ำในอ่างเก็บน้ำต้องอยู่ในระดับที่สูงกว่าโรงไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีแรงดันน้ำมหาศาล จากนั้นทำการปล่อยน้ำในปริมาณที่ต้องการเข้ามาทางท่อส่งน้ำเพื่อส่งน้ำไปยังอาคารโรงไฟฟ้าที่อยู่ต่ำกว่า น้ำจะไหลเข้าเครื่องกังหันน้ำ (Turbine) เพื่อผลักดันใบพัดทำให้กังหันน้ำหมุนเพลลาของเครื่องกังหันน้ำซึ่งต่อกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จะทำให้โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งมีขดลวดตัวนำฝังอยู่หมุน เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้วโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะผลิตไฟฟ้ามาใช้เสริมเฉพาะในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Load) เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในด้านปริมาณและเวลาที่ใช้ประโยชน์เพื่อวัตถุประสงค์ด้านอื่น ๆ ประกอบกัน และสามารถเดินเครื่องจ่ายไฟฟ้าที่รวดเร็วโดยไม่ต้องใช้เวลาในการเดินเครื่องนาน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2546)

#### 8.4 คำจำกัดความพื้นฐานของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Basic Definition of Hydropower Systems)

คำจำกัดความพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีดังนี้ (Karamouz et al., 2003)

- (1) เหน้ดน้ำทั้งหมด (Gross Head,  $H$ ) เป็นค่าความแตกต่างของระดับน้ำตรงจูดรับน้ำเข้า (Intake) และระดับน้ำทางด้านท้าย (Tailwater Surface)
- (2) เหน้ดน้ำสุทธิ (Net Head,  $H_n$ ) เป็นค่าเหน้ดน้ำทั้งหมดหลังจากหักลบเหน้ดน้ำอันเนื่องมาจากการสูญเสียทางชลศาสตร์ (Hydraulic Losses) แล้ว
- (3) ประสิทธิภาพทางชลศาสตร์ (Hydraulic Efficiency,  $e_h$ ) เป็นค่าสัดส่วนระหว่างเหน้ดน้ำสุทธิ (Net Head) ต่อเหน้ดน้ำทั้งหมด (Gross Head) ดังสมการ

$$e_h = \frac{H_n}{H} \quad \text{-----}(8.1)$$

- (4) ประสิทธิภาพทั้งหมด (Overall Efficiency,  $e_t$ ) เป็นค่าประสิทธิภาพทางชลศาสตร์คูณด้วยประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ( $e_{tur}$ ) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $e_g$ )

$$e_t = e_h e_{tur} e_g \quad \text{-----}(8.2)$$

- (5) กำลังการผลิตไฟฟ้า (Capacity) เป็นกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือโรงไฟฟ้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ณ ช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)



(6) กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (Installed Capacity) เป็นค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าออกแบบของโรงไฟฟ้าที่ได้จากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวรวมกัน

(7) กระแสไฟฟ้า (Power, P) เป็นอัตราของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหน่วยกิโลวัตต์ (kW) ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จาก

$$P = e\gamma QH_n \quad \text{-----}(8.3)$$

เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (9.81 kN/m<sup>3</sup>)  
 $Q$  = อัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำ (m<sup>3</sup>/s)  
 $e$  =  $e_{tur} \cdot e_g$

(8) พลังงานไฟฟ้า (Energy, E) เป็นความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งประมาณค่าได้จาก

$$E = \int Pt = \int e_t \gamma Q(t) H(t) dt \quad \text{-----}(8.4)$$

ถ้า  $H(t)$  และ  $Q(t)$  ทำการตรวจวัดเป็นช่วงเวลาจำนวน  $N$  ช่วง สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้จาก

$$E = \sum_{t=1}^N e_t \gamma \bar{Q}(t) \bar{H}(t) \quad \text{-----}(8.5)$$

เมื่อ  $\bar{Q}(t)$  = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลผ่านกังหันน้ำในช่วงเวลา  $t$  (m<sup>3</sup>/s)  
 $\bar{H}(t)$  = ค่าเฉลี่ยของเฮดน้ำในช่วงเวลา  $t$  (m)

(9) ความต้องการไฟฟ้า (Load) เป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่อาจแสดงอยู่ในรูปความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power Demand) และความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Power Demand) หรือสามารถแสดงในรูปของระดับพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

(10) แฟคเตอร์ความต้องการไฟฟ้า (Load Factor) เป็นสัดส่วนความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power Demand) ต่อความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Power Demand) ในช่วงเวลาที่พิจารณาซึ่งอาจอยู่ในรูปรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน หรือรายปี

(11) พลังงานไฟฟ้าที่แน่นอน/ปฐมภูมิ (Firm/Primary Power) เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าอย่างน้อยที่สุดที่สามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าได้อย่างแน่นอน โดยสามารถประมาณค่าได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงวิกฤตสูงสุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงน้ำน้อย

(12) พลังงานไฟฟ้าทุติยภูมิ (Secondary Power) เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินพลังงานไฟฟ้าที่แน่นอน/ปฐมภูมิ

(13) แฟกเตอร์โรงไฟฟ้า (Plant Factor) เป็นสัดส่วนของความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Load) ของโรงไฟฟ้าในช่วงเวลาใด ๆ ต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (Installed Capacity)

(14) ความต้องการไฟฟ้าฐาน (Base Load) คือค่าความต้องการไฟฟ้าต่ำสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา

(15) ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) คือค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา โดยทั่วไปแล้วความต้องการไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งมีค่าประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน

(16) ความต้องการไฟฟ้างกลาง (Intermediate Load) คือค่าสัดส่วนความต้องการไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างความต้องการไฟฟ้าฐาน (Base Load) และความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load)

**ตัวอย่างที่ 8.1** ต้องการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำให้ได้ 5 เมกกะวัตต์ต่อชั่วโมงต่อวัน โดยมีเฮดน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 85 เมตร และประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเท่ากับ 0.85 จงคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

**วิธีทำ** กำหนดให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5,000 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และช่วงเวลา  $t$  เท่ากับ 24 ชั่วโมง ดังนั้น

$$E = e\gamma QH_n T = 0.85 \times 9.817 \times Q \times 85 \times 24 = 5,000 \text{ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง}$$

$$Q = 0.2822 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที}$$

หรือคิดเป็นปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยใน 1 วันเท่ากับ  $0.2822 \times 24 \times 3,600 = 24,380.18$  ลูกบาศก์เมตร

## 8.5 ข้อมูลพื้นฐานในการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Basic Data Required for Estimating Power Potential)

ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีดังนี้ (Karamouz et al., 2003)

### 8.5.1 ข้อมูลอุทกวิทยา (Hydrologic Data)

ในการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำ (Streamflow Data) ที่ทำการตรวจวัดในอดีตระยะยาวนับได้ว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับนำมาใช้วิเคราะห์ถึงศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่จะพัฒนาขึ้น โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมของข้อมูลที่จะนำมาใช้นั้นขึ้นอยู่กับประเภทของโรงไฟฟ้า และลักษณะการจัดเก็บข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำนั้นด้วย โดยทั่วไปแล้ว

ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยรายเดือนจะนำมาใช้ในการศึกษาเบื้องต้น รวมทั้งการศึกษาความเหมาะสมหากข้อมูลอัตราการไหลของน้ำรายวันไม่ผันแปรอย่างมีนัยสำคัญมากนัก นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณน้ำที่สูญเสียจากอ่างเก็บน้ำอันเนื่องมาจากการระเหยและการรั่วซึม ตลอดจนข้อมูลปริมาณน้ำที่จะผันไปใช้เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ จำเป็นจะต้องนำมาพิจารณาในการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอีกด้วย

### 8.5.2 ข้อมูลลักษณะกายภาพของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Physical Characteristics)

ข้อมูลลักษณะกายภาพของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของโรงไฟฟ้าที่จะพัฒนาขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลโค้งความจุ-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำ รวมถึงข้อมูลระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ นับเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำประเภทเก็บกัก ในขณะที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหลในลำน้ำนับเป็นข้อมูลที่สำคัญของระบบโรงไฟฟ้าแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าโค้งความจุ-พื้นที่-ระดับบอกลักษณะสัมพันธ์ของเฮดน้ำและปริมาตรเก็บกักของน้ำในอ่างเก็บน้ำซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ รวมถึงข้อมูลน้ำทางด้านท้ายจะนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะปรากฏให้เห็นในรูปของโค้งระดับ-อัตราการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Tailwater Rating Curve) ข้อมูลระดับน้ำทางด้านท้ายจะผันแปรตามลักษณะสัณฐานของลำน้ำ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านลำน้ำ และผลกระทบของน้ำไหลย้อนกลับ (Backwater) ทางท้ายน้ำ

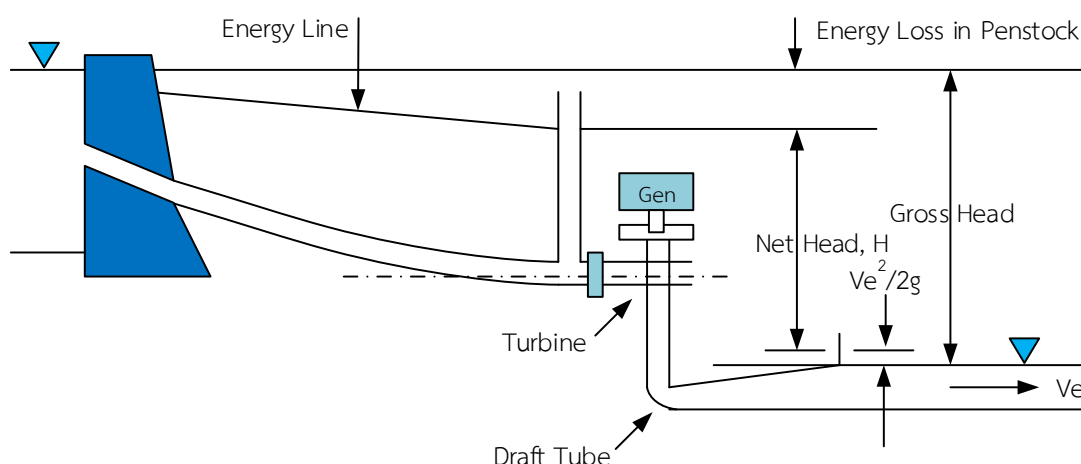
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะกายภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่สำคัญประกอบด้วย (1) พลังงานไฟฟ้าติดตั้ง (Installed Capacity) ที่บ่งบอกถึงขอบเขตสูงสุดของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้า (2) แพลคเตอร์โรงไฟฟ้า (Plant Factor) ซึ่งบ่งบอกถึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อย่างแน่นอน (3) อัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุด (Maximum and Minimum Discharge) (4) ระยะเวลาเฮด (Head Range) ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และ (5) ลักษณะของกังหันน้ำ (Turbine Characteristics) ประกอบด้วยโค้งประสิทธิภาพของกังหันน้ำและอัตราการไหลต่ำสุด นอกจากนี้การสูญเสียเฮดน้ำ (Head Losses) อันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในอาคารรับน้ำเข้าและระบบท่อส่งน้ำนั้นจะต้องนำมาพิจารณาด้วย ทั้งนี้เพื่อหาค่าเฮดน้ำสุทธิที่เกิดขึ้นจริงจากสมการความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$H_n = H - H_f - \frac{v_e^2}{2g} \quad \text{-----}(8.6)$$

เมื่อ  $H_f$  = การสูญเสียเฮดน้ำอันเนื่องมาจากอาคารรับน้ำเข้าและระบบท่อส่งน้ำ  
 $\frac{v_e^2}{2g}$  = ความเร็วน้ำตรงจุดทางออกของท่อ



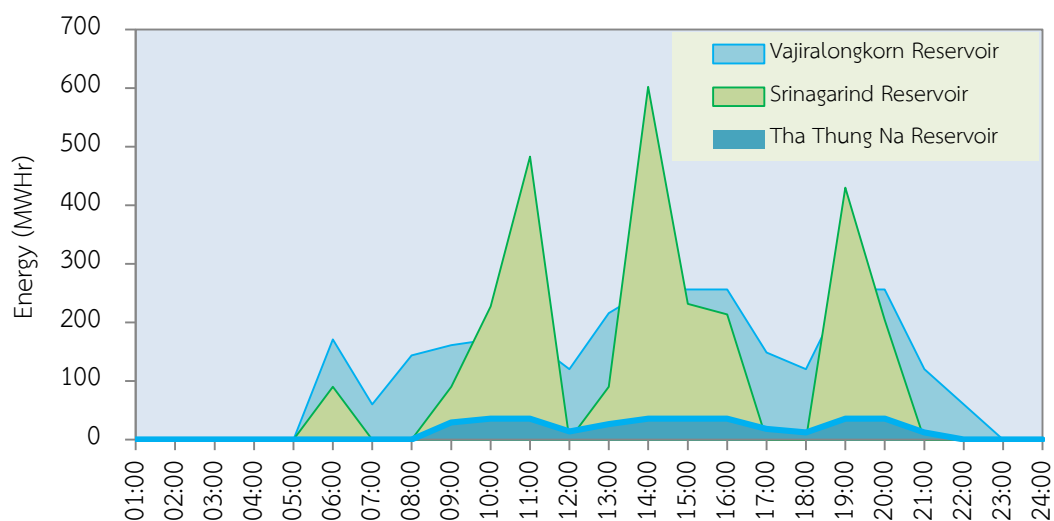
หรือแสดงการสูญเสียเฮดน้ำของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำในรูปที่ 8.7



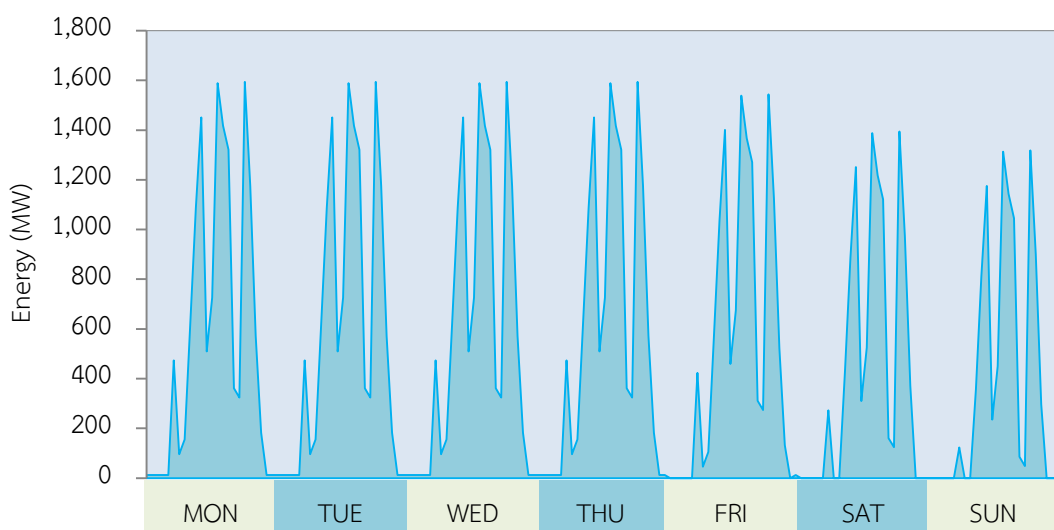
รูปที่ 8.7 การสูญเสียเฮดน้ำของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ

### 8.5.3 ข้อมูลความต้องการไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Power Load and Reliability of Power Systems)

การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าในอนาคตนับเป็นขั้นตอนแรกในการวางแผนพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยทั่วไปแล้วการทำนายค่าความต้องการไฟฟ้าในอนาคตจะอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอดีตมาทำการวิเคราะห์ด้วย 3 วิธีหลักได้แก่ (1) การวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis) (2) การวิเคราะห์จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าปัจจุบัน (End-Use Analysis) และ (3) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Econometric Analysis) นอกจากนี้การวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าในประเทศไทยยังสัมพันธ์กับเวลาที่ต้องการใช้อีกด้วยกล่าวคือ ความต้องการใช้ไฟฟารายวันผันแปรจากค่าต่ำสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 0.00-5.00 นาฬิกา และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นในช่วงสายประมาณเวลา 10.00-11.00 นาฬิกา และลดลงในช่วงเที่ยง หลังจากนั้นความต้องการใช้ไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงบ่ายประมาณเวลา 13.00-14.00 นาฬิกา และค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 19.00 นาฬิกา และลดลงในช่วงดึกดังแสดงในรูปที่ 8.8 สำหรับความต้องการไฟฟารายสัปดาห์จะผันแปรแตกต่างกันกล่าวคือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าในวันจันทร์ถึงวันศุกร์ซึ่งเป็นวันทำงานจะสูงกว่าวันเสาร์และวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันหยุดดังแสดงในรูปที่ 8.9

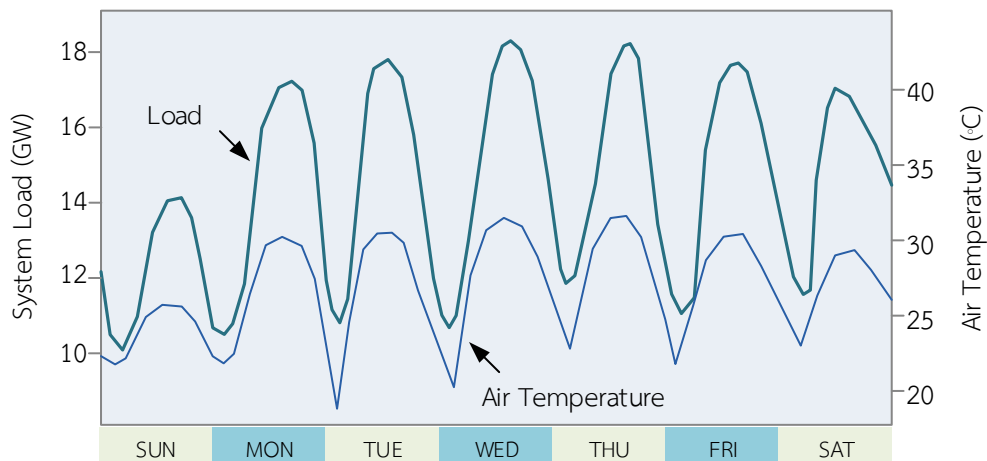


รูปที่ 8.8 ตัวอย่างความต้องการไฟฟ้ารายวันของเขื่อนศรีนครินทร์ วชิราลงกรณ และท่าทุ่งนา

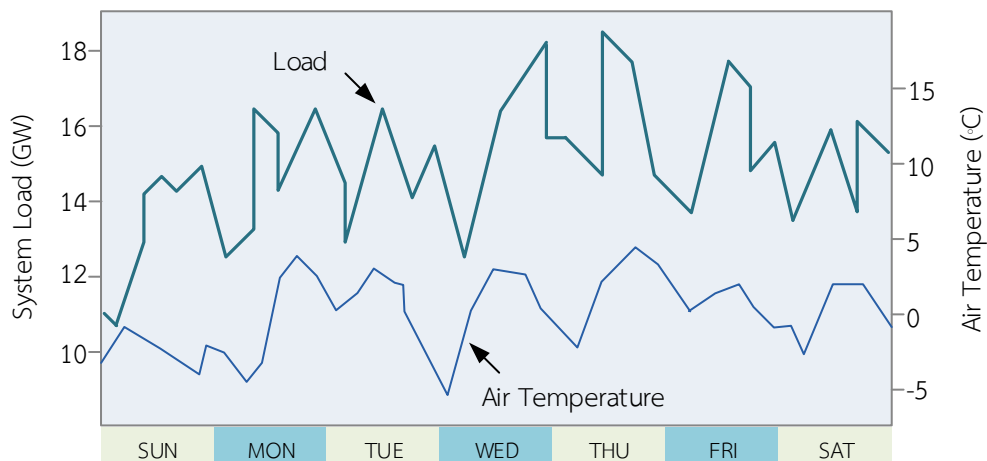


รูปที่ 8.9 ตัวอย่างความต้องการไฟฟ้ารายสัปดาห์ของเขื่อนศรีนครินทร์ วชิราลงกรณ และท่าทุ่งนา

ผลการศึกษาในประเทศอเมริกาแถบตะวันออกเฉียงใต้พบว่า ความต้องการไฟฟ้ารายสัปดาห์ ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยข้อมูลความต้องการไฟฟ้าในช่วงฤดูร้อน มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้สามารถทำนายความผันแปรของความต้องการไฟฟ้า ได้ง่ายขึ้นดังแสดงในรูปที่ 8.10 ในขณะที่ความต้องการไฟฟ้าในช่วงฤดูหนาวมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย กับข้อมูลอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.10 ตัวอย่างความต้องการไฟฟ้ารายสัปดาห์กับอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน  
ที่มา : Karamouz et al. (2003)



รูปที่ 8.11 ตัวอย่างความต้องการไฟฟ้ารายสัปดาห์กับอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาว  
ที่มา : Karamouz et al. (2003)

#### 8.5.4 เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ (Specific Reservoir Operating Rule)

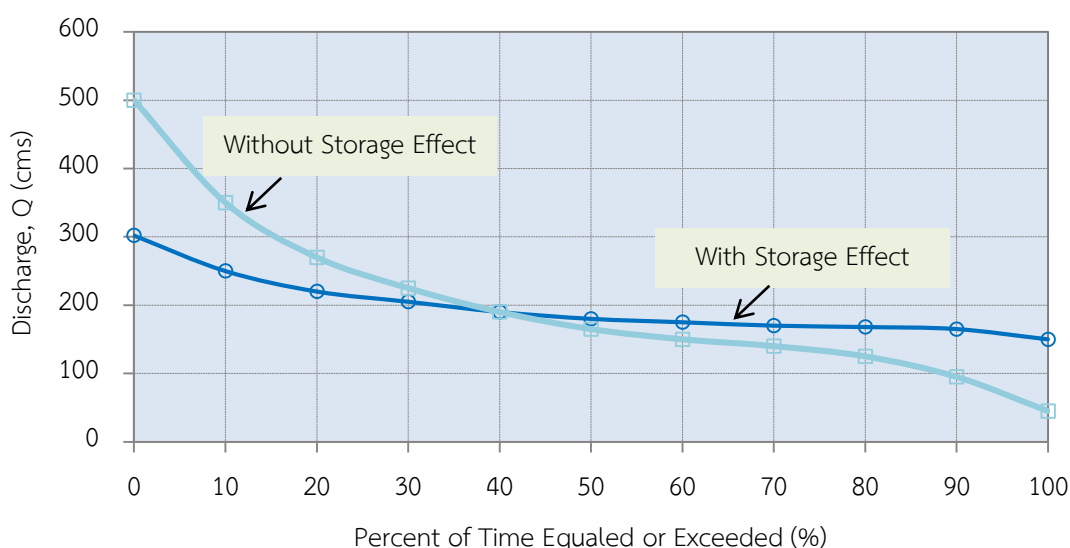
เนื่องจากอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่สร้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการอเนกประสงค์ ดังนั้นเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรูปแบบต่าง ๆ สามารถนำมาปรับใช้เพื่อกำหนดการปล่อยน้ำที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมและบรรเทาน้ำท่วม การจัดหาให้กับกลุ่มผู้ใช้น้ำ หรือแม้กระทั่งการรักษาระดับน้ำต่ำสุดในลำน้ำ เป็นต้น

## 8.6 วิธีการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Methods for Estimating Power Potential)

วิธีการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่นิยมมีอยู่ 2 วิธีดังนี้ (Jain & Singh, 2003)

### 8.6.1 วิธีโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve)

วิธีโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธี Nonsequential (Nonsequential Method) อาศัยข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำที่ช่วงเวลาต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ค่าอัตราการไหลจะเกินค่าที่พิจารณาแสดงในรูปที่ 8.12 วิธีนี้เหมาะในการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแบบเขื่อนมาก และค่อนข้างคงที่ รวมถึงมีน้ำไหลผ่านโรงไฟฟ้าตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังคงเหมาะกับโรงไฟฟ้าที่มีเขื่อนน้อยและผันแปรตามปริมาณน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำอีกด้วย



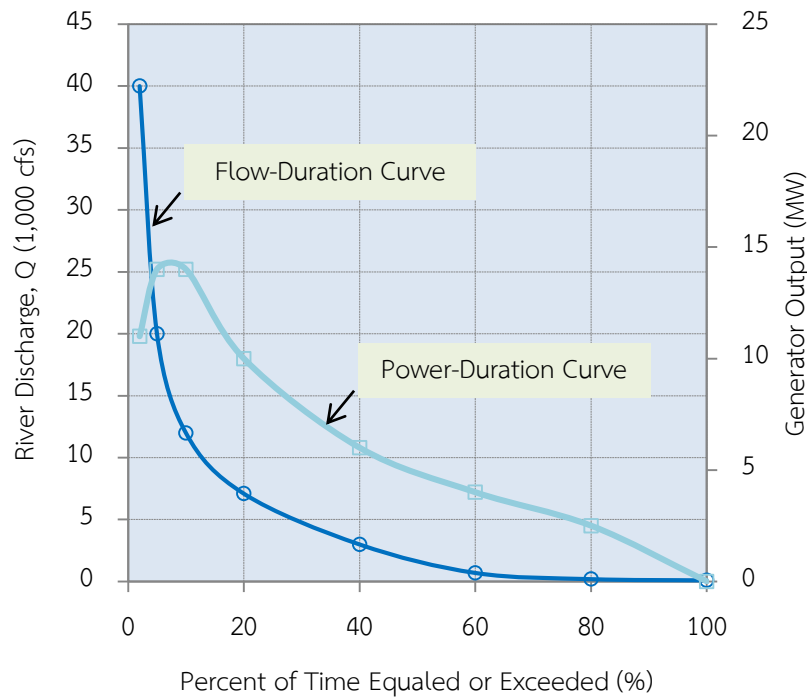
รูปที่ 8.12 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา

โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve, FDC) สามารถพัฒนาเป็นโค้งพลังงานไฟฟ้า-ช่วงเวลา (Power-Duration Curve, PDC) ได้โดยอาศัยสมการดังนี้

$$P_i = e\gamma Q_i H_i \quad \text{-----}(8.7)$$

เมื่อ  $P_i$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำที่เปอร์เซ็นต์ส่วนเกินของเวลา (Exceedance Percentage)  $i$  (kW)

- $e_i$  = ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าทั้งหมด (%)  
 $Q_i$  = อัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำที่เปอร์เซ็นต์ส่วนเกินของเวลา  $i$  ( $m^3/s$ )  
 $H_i$  = เหนื่อน้ำสุทธิที่เปอร์เซ็นต์ส่วนเกินของเวลา  $i$  (m)



รูปที่ 8.13 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาและโค้งพลังงานไฟฟ้า-ช่วงเวลา

ตัวอย่างที่ 8.2 ในตารางที่ 8.5 แสดงข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010-2012 ให้สร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา

ตารางที่ 8.5 ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010-2012

เดือน	อัตราการไหลของน้ำ (cms) ในปี ค.ศ.		
	2010	2011	2012
มกราคม	105	440	102
กุมภาพันธ์	108	275	860
มีนาคม	645	337	640
เมษายน	1,000	515	690
พฤษภาคม	1,308	1,968	1,330
มิถุนายน	419	1,965	930
กรกฎาคม	89	360	155
สิงหาคม	28	71	92

ตารางที่ 8.5 (ต่อ)

เดือน	อัตราการไหลของน้ำ (cms) ในปี ค.ศ.		
	2010	2011	2012
กันยายน	32	50	50
พฤศจิกายน	40	95	88
ธันวาคม	80	100	305

- วิธีทำ (1) เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย  
 (2) คำนวณโอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน (Exceedance Probability,  $Pe_i$ ) จากสมการดังนี้

$$Pe_i = \frac{i}{N+1} \quad \text{-----}(8.8)$$

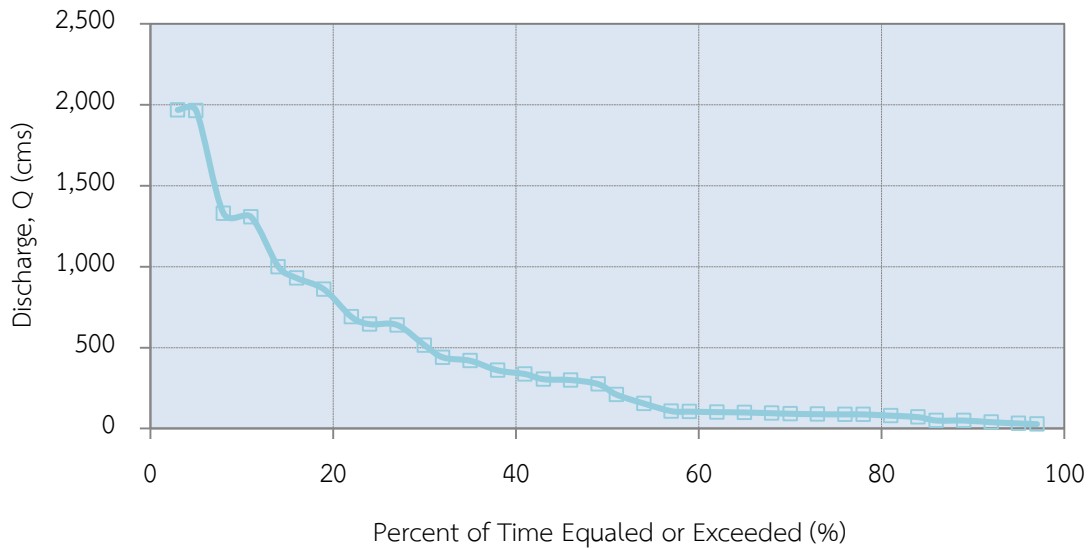
- เมื่อ  $i$  = ลำดับของข้อมูล  
 $N$  = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ 8.6 ผลการคำนวณเพื่อโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา

ลำดับ	ข้อมูลจัดเรียง	โอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน	ลำดับ	ข้อมูลจัดเรียง	โอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน
1	1,968	0.03	19	210	0.51
2	1,965	0.05	20	155	0.54
3	1,330	0.08	21	108	0.57
4	1,308	0.11	22	105	0.59
5	1,000	0.14	23	102	0.62
6	930	0.16	24	100	0.65
7	860	0.19	25	95	0.68
8	690	0.22	26	92	0.70
9	645	0.24	27	89	0.73
10	640	0.27	28	88	0.76
11	515	0.30	29	88	0.78
12	440	0.32	30	80	0.81
13	419	0.35	31	71	0.84
14	360	0.38	32	50	0.86
15	337	0.41	33	50	0.89
16	305	0.43	34	40	0.92

ตารางที่ 8.6 (ต่อ)

ลำดับ	ข้อมูลจัดเรียง	โอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน	ลำดับ	ข้อมูลจัดเรียง	โอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน
17	300	0.46	35	32	0.95
18	275	0.49	36	28	0.97



รูปที่ 8.14 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา

**ตัวอย่างที่ 8.3** หากวางแผนจะสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปีจากข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำรายเดือนในตัวอย่างที่ 8.2 โดยมีเขื่อนน้ำประมาณ 10 เมตร และประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 70% กำหนดให้อัตราการไหลสูงสุดผ่านกังหันน้ำเท่ากับ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ให้สร้างโค้งพลังงานไฟฟ้า-ช่วงเวลา และหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนที่ 90% ของโอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน

**วิธีทำ** จากสมการ 8.5 สามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ในเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ. 1999 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 419 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวินาที คิดเป็น

$$P = e\gamma QH_n = 0.70 \times 9.81 \times 419 \times 10 = 28,773 \text{ กิโลวัตต์}$$

สำหรับในเดือนที่อัตราการไหลสูงกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดผ่านกังหันน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 500 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้คิดเป็น

$$P = e\gamma QH_n = 0.70 \times 9.81 \times 500 \times 10 = 34,335 \text{ กิโลวัตต์}$$

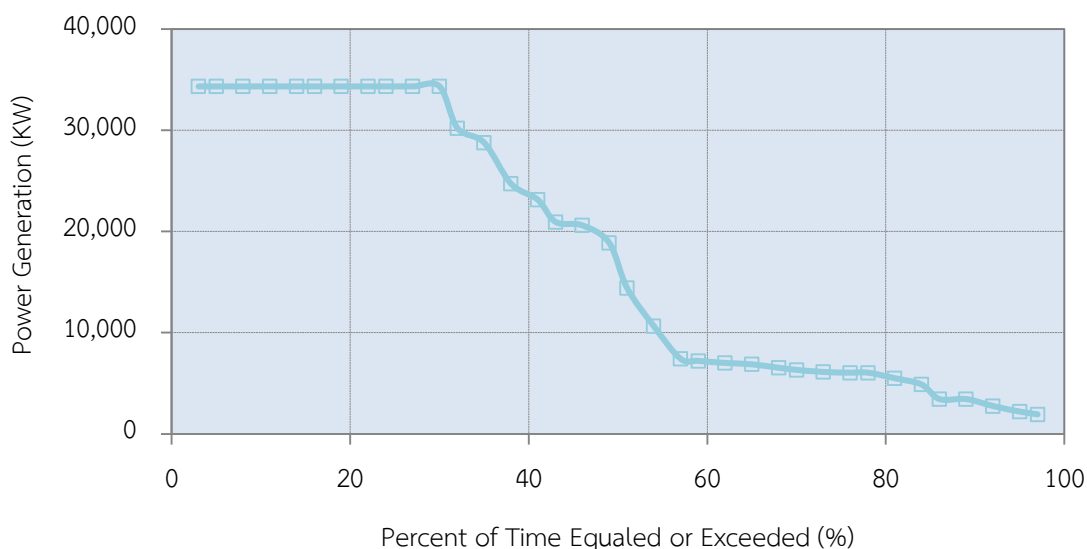
ตารางที่ 8.7 ผลการคำนวณเพื่อสร้างโค้งพลังงานไฟฟ้า-ช่วงเวลา

ลำดับ	ข้อมูลจัดเรียง	โอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)
1	1,968	0.03	34,335
2	1,965	0.05	34,335
3	1,330	0.08	34,335
4	1,308	0.11	34,335
5	1,000	0.14	34,335
6	930	0.16	34,335
7	860	0.19	34,335
8	690	0.22	34,335
9	645	0.24	34,335
10	640	0.27	34,335
11	515	0.30	34,335
12	440	0.32	30,215
13	419	0.35	28,773
14	360	0.38	24,721
15	337	0.41	23,142
16	305	0.43	20,944
17	300	0.46	20,601
18	275	0.49	18,884
19	210	0.51	14,421
20	155	0.54	10,644
21	108	0.57	7,416
22	105	0.59	7,210
23	102	0.62	7,004
24	100	0.65	6,867
25	95	0.68	6,524
26	92	0.70	6,318
27	89	0.73	6,112
28	88	0.76	6,043
29	88	0.78	6,043
30	80	0.81	5,494
31	71	0.84	4,876
32	50	0.86	3,434
33	50	0.89	3,434



ตารางที่ 8.7 (ต่อ)

ลำดับ	ข้อมูลจัดเรียง	โอกาสความน่าจะเป็นส่วนเกิน	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)
34	40	0.92	2,747
35	32	0.95	2,197
36	28	0.97	1,923



รูปที่ 8.15 โคงพลังงานไฟฟ้า-ช่วงเวลา

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1,923 กิโลวัตต์ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 90% มีค่าเท่ากับ 2,967 กิโลวัตต์

**ตัวอย่างที่ 8.4** สมมุติว่าต้องการออกแบบขนาดของกังหันน้ำของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจากข้อมูลในตัวอย่างที่ 8.3 โดยกำหนดให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ที่อัตราการไหลของน้ำตั้งแต่ 30% ของช่วงเวลาจนกระทั่งอัตราการไหลสูงสุด ให้หาขนาดของอัตราการไหลออกแบบ

**วิธีทำ** จากตารางที่ 8.6 ที่เปอร์เซ็นต์โอกาสความน่าจะเป็น 30% มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 515 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าอัตราการไหลออกแบบของกังหันน้ำ

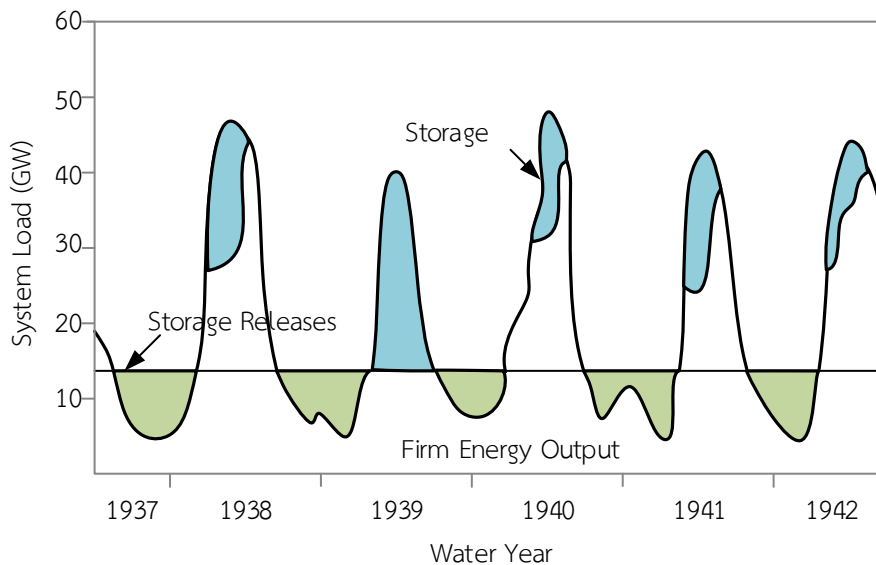
### 8.6.2 วิธี Sequential Streamflow Routing (SSR Method)

วิธีนี้พัฒนาขึ้นโดยประยุกต์ใช้สมการการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity Equation) ซึ่งเหมาะกับการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแบบเก็บกัก (Storage Hydropower) โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นผลจากปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำดังแสดงในสมการดังนี้คือ

$$\Delta S = I - O - L \quad \text{-----}(8.9)$$

- เมื่อ  $\Delta S$  = การเปลี่ยนแปลงปริมาณเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ  
 $I$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ  
 $O$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ  
 $L$  = ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากอ่างเก็บน้ำจากการระเหยและการรั่วซึม

วิธีนี้ยังสามารถหาค่าสูงสุดของพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้แน่นอนได้อีกด้วย สำหรับโรงไฟฟ้าประเภทมีน้ำไหลผ่านตลอดปีสามารถประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนได้จากข้อมูลย้อนหลังในช่วงวิกฤตน้ำน้อย (Critical Low Flow Period) อย่างไรก็ตามโรงไฟฟ้าประเภทเก็บกักสามารถเก็บกักน้ำในช่วงน้ำมาก (High Flow Period) เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงน้ำน้อยได้ดังแสดงในรูปที่ 8.16 ซึ่งอธิบายถึงอิทธิพลของปริมาณน้ำเก็บกักในช่วงเวลาต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้าประเภทเก็บกักที่มีต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอน



รูปที่ 8.16 อิทธิพลของปริมาณน้ำเก็บกักต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอน

ที่มา : Karamouz et al. (2003)

**ตัวอย่างที่ 8.5** สมมุติว่าอ่างเก็บน้ำซึ่งมีขนาดความจุเก็บกัก 8 พันล้านลูกบาศก์เมตร สร้างขึ้นบริเวณพื้นที่ในตัวอย่างที่ 8.3 ผลผลิตที่แน่นอนของอ่างเก็บน้ำมีค่าเท่ากับ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีขนาดเท่ากับอัตราการไหลสูงสุดของกังหันน้ำ กำหนดให้ไม่พิจารณาเทอมของการสูญเสียเฮดน้ำทางชลศาสตร์

ทั้งหมด (Total Hydraulic Losses) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกักและระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำ อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$h = 4x(S + 7) \quad \text{-----}(8.10)$$

เมื่อ  $h$  = ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (เมตร)  
 $S$  = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (พันล้านลูกบาศก์เมตร)

และใช้สมการต่อไปนี้ในการประมาณค่าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Tailwater Elevation)

$$h_T = (R + R^S) \times 0.0009 \quad \text{-----}(8.11)$$

เมื่อ  $h_T$  = ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำ (เมตร)  
 $R$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)  
 $R^S$  = ปริมาณน้ำที่ไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

กำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักที่เวลาเริ่มต้นเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำ ให้ประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Sequential Streamflow Routing

**วิธีทำ** จากตารางที่ 8.6 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวิธี SSR โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ในเดือนแรกของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) กำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำซึ่งเท่ากับ 8 พันล้านลูกบาศก์เมตร และปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในอัตราคงที่เท่ากับ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในเดือนแรกเท่ากับ 105 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังนั้นปริมาณน้ำเก็บกักหลังสิ้นสุดเดือนประมาณค่าได้จาก

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณน้ำเก็บกักหลังสิ้นสุดเดือนมกราคม} \\ & = 8 + (105 - 400) \times \frac{31 \times 24 \times 60 \times 60}{10^9} = 7.21 \text{ พันล้านลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ระดับน้ำในช่วงเวลาเริ่มต้นเดือนมกราคม} = 4 \times (8 + 7) = 60 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระดับน้ำในช่วงเวลาสิ้นสุดเดือนมกราคม} = 4 \times (7.21 + 7) = 56.84 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระดับน้ำเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำเดือนมกราคม} = (60 + 56.84) / 2 = 58.42 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำในเดือนมกราคม} = (400 + 0) \times 0.0009 = 0.36 \text{ เมตร}$$

เขื่อนน้ำสุทธิในเดือนมกราคม =  $58.42 - 0.36 = 58.06$  เมตร

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในเดือนมกราคม

$$= \frac{eYQH_n}{1,000} \times t = \frac{0.70 \times 9.81 \times 400 \times 58.06}{1,000} \times 720 = 114,825 \text{ เมกะวัตต์ชั่วโมง}$$

ตารางที่ 8.8 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวิธี SSR

เดือน	ปริมาณน้ำ เก็บกัก เริ่มต้น	ระดับน้ำที่ เวลาเริ่มต้น	ปริมาณน้ำที่ไหล เข้าอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำที่ปล่อย จากอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำที่ไหล ล้นอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำ เก็บกัก สิ้นสุด	ระดับน้ำ สิ้นสุด	ระดับน้ำ ทางท้าย น้ำ	เขื่อนน้ำ สุทธิ	พลังงาน ไฟฟ้า
			cms	mcm	cms	mcm	cms	mcm					
ม.ค.	8.00	60.00	105	281.23	400	1,071.36			7.21	56.84	0.36	58.06	114,824.5
ก.พ.	7.21	56.84	108	270.60	400	1,002.24			6.48	53.91	0.36	55.02	108,805.3
มี.ค.	6.48	53.91	645	1,727.57	400	1,071.36			7.13	56.54	0.36	54.87	108,507.0
เม.ษ.	7.13	56.54	1,000	2,505.60	400	1,002.24	637.80	0.25	8.00	60.00	0.36	57.91	114,525.7
พ.ค.	8.00	60.00	1,308	3,503.35	400	1,071.36	2,431.99	908.00	8.00	60.00	1.18	58.82	116,333.6
มิ.ย.	8.00	60.00	419	1,086.05	400	1,036.80	49.25	19.00	8.00	60.00	0.38	59.62	117,910.0
ก.ค.	8.00	60.00	89	238.38	400	1,071.36			7.17	56.67	0.36	57.97	114,655.0
ส.ค.	7.17	56.67	28	75.00	400	1,071.36			6.17	52.68	0.36	54.32	107,419.2
ก.ย.	6.17	52.68	32	82.94	400	1,036.80			5.22	48.87	0.36	50.41	99,705.3
ต.ค.	5.22	48.87	40	107.14	400	1,071.36			4.25	45.01	0.36	46.58	92,118.6
พ.ย.	4.25	45.01	80	207.36	400	1,036.80			3.42	41.69	0.36	42.99	85,023.9
ธ.ค.	3.42	41.69	210	562.46	400	1,071.36			2.91	39.66	0.36	40.31	79,730.3
ม.ค.	2.91	39.66	440	1,178.50	400	1,071.36			3.02	40.09	0.36	39.51	78,141.2
ก.พ.	3.02	40.09	275	689.04	400	1,002.24			2.71	38.83	0.36	39.10	77,326.12
มี.ค.	2.71	38.83	337	902.62	400	1,071.36			2.54	38.16	0.36	38.14	75,419.9
เม.ษ.	2.54	38.16	515	1,290.38	400	1,002.24			2.83	39.31	0.36	38.37	75,892.2
พ.ค.	2.83	39.31	1,968	5,271.09	400	1,071.36			7.03	56.11	0.36	47.35	93,643.5
มิ.ย.	7.03	56.11	1,965	5,093.28	400	1,036.80	3,083.79	1,189.73	8.00	60.00	1.43	56.62	111,984.8
ก.ค.	8.00	60.00	360	964.22	400	1,071.36			7.89	59.57	0.36	59.43	117,526.0
ส.ค.	7.89	59.57	71	190.17	400	1,071.36			7.01	56.05	0.36	57.45	113,616.8
ก.ย.	7.01	56.05	50	129.60	400	1,036.80			6.10	52.42	0.36	53.87	106,543.0
ต.ค.	6.10	52.42	95	254.45	400	1,071.36			5.29	49.15	0.36	50.42	99,723.5
พ.ย.	5.29	49.15	100	259.20	400	1,036.80			4.51	46.04	0.36	47.24	93,416.5
ธ.ค.	4.51	46.04	88	235.70	400	1,071.36			3.67	42.70	0.36	44.01	87,035.5
ม.ค.	3.67	42.70	102	273.20	400	1,071.36			2.88	39.50	0.36	40.74	80,573.0
ก.พ.	2.88	39.50	860	2,154.82	400	1,002.24			4.03	44.11	0.36	41.45	81,974.9
มี.ค.	4.03	44.11	640	1,714.18	400	1,071.36			4.67	46.69	0.36	45.04	89,076.4
เม.ษ.	4.67	46.69	690	1,728.86	400	1,002.24			5.40	49.59	0.36	47.78	94,493.0
พ.ค.	5.40	49.59	1,330	3,562.27	400	1,071.36			7.89	59.56	0.36	54.21	107,219.6
มิ.ย.	7.89	59.56	930	2,410.56	400	1,036.80	1,262.82	487.20	8.00	60.00	0.80	58.98	116,643.9
ก.ค.	8.00	60.00	155	415.15	400	1,071.36			7.34	57.38	0.36	58.33	115,354.2
ส.ค.	7.34	57.38	92	246.41	400	1,071.36			6.52	54.08	0.36	55.37	109,495.7
ก.ย.	6.52	54.08	50	129.60	400	1,036.80			5.61	50.45	0.36	51.90	102,644.4

ตารางที่ 8.8 (ต่อ)

เดือน	ปริมาณน้ำ เก็บกัก เริ่มต้น	ระดับน้ำที่ เวลาเริ่มต้น	ปริมาณน้ำที่ไหล เข้าอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำที่ปล่อย จากอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำที่ไหล ล้นอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำ เก็บกัก สิ้นสุด	ระดับน้ำ สิ้นสุด	ระดับน้ำ ทางท้าย น้ำ	เฮดน้ำ สุทธิ	พลังงาน ไฟฟ้า
ต.ค.	5.61	50.45	88	235.70	400	1,071.36			4.78	47.10	0.36	48.42	95,750.7
พ.ย.	4.78	47.10	305	790.56	400	1,036.80			4.53	46.12	0.36	46.25	91,471.3
ธ.ค.	4.53	46.12	300	803.52	400	1,071.36			4.26	45.05	0.36	45.22	89,437.9

**ตัวอย่างที่ 8.6** สมมุติว่าอ่างเก็บน้ำในตัวอย่างที่ 8.5 อาศัยโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) ในการปฏิบัติงานตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 8.9 และกำหนดให้อัตราการไหลผ่านกังหันน้ำสูงสุดเท่ากับ 700 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ให้คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือน

ตารางที่ 8.9 โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
$S_t$	5	6	7	8	8	7	6	5	6	6	6	6

หมายเหตุ :  $S_t$  เป็นค่าปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่เวลาเริ่มต้นเดือน  $t$  ( $10^3$  mcm)

**วิธีทำ** จากตารางที่ 8.10 แสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวิธี SSR เมื่อปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยอาศัยโค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำซึ่งมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ในเดือนแรกของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นเท่ากับ 5 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร เมื่อใช้โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ เป็นผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักเมื่อสิ้นสุดเดือนมกราคมเป้าหมายเท่ากับ 6 พันล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่เวลาเริ่มต้นเดือนกุมภาพันธ์

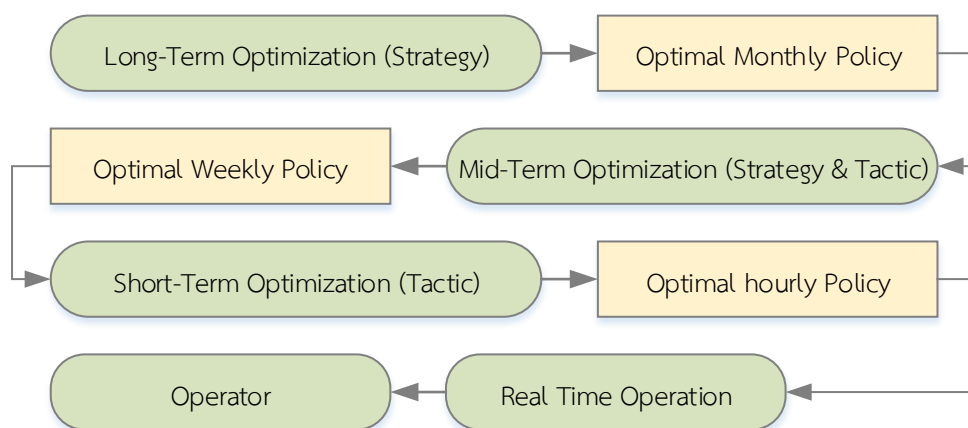
จากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในเดือนมกราคมพบว่าปริมาณ 281 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นปริมาณน้ำเก็บกักเมื่อเวลาสิ้นสุดเดือนมกราคมคิดเป็น  $5,000+281 = 5,281$  ล้าน ลูกบาศก์เมตร ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ หรือปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 0 สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้คำนวณโดยอาศัยสมการที่ 8.3

ตารางที่ 8.10 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวิธี SSR เมื่อปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยใช้โค้งเกณฑ์  
การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

เดือน	ปริมาณน้ำ เก็บกัก เริ่มต้น	ระดับน้ำที่ เวลาเริ่มต้น	ปริมาณน้ำที่ไหล เข้าอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำที่ปล่อย จากอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำที่ไหล ล้นอ่างเก็บน้ำ		ปริมาณน้ำ เก็บกัก สิ้นสุด	ระดับน้ำ สิ้นสุด	ระดับน้ำ ทางท้าย น้ำ	เฮดน้ำ สุทธิ	พลังงาน ไฟฟ้า
			cms	mcm	cms	mcm	cms	mcm					
Unit	10 <sup>3</sup> mcm	m	cms	mcm	cms	mcm	cms	mcm	10 <sup>3</sup> mcm	m	m	m	MWHR
ม.ค.	5.00	48.00	105	281.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.28	49.12	0.00	49.12
ก.พ.	5.28	49.12	108	270.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.55	50.21	0.00	50.21
มี.ค.	5.55	50.21	645	1,727.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.28	57.12	0.00	57.12
เม.ษ.	7.28	57.12	1,000	2,505.60	1,785.00	688.66	1,785.00	0.00	0.00	8.00	60.00	0.62	59.38
พ.ค.	8.00	60.00	1,308	3,503.35	4,503.35	700.00	1,874.88	981.36	2,628.47	7.00	56.00	1.51	54.49
มิ.ย.	7.00	56.00	419	1,086.05	2,086.05	700.00	1,814.40	104.80	271.65	6.00	52.00	0.72	51.28
ก.ค.	6.00	52.00	89	238.38	1,238.38	462.51	1,238.38	0.00	0.00	5.00	48.00	0.42	47.58
ส.ค.	5.00	48.00	28	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.07	48.30	0.00	48.30
ก.ย.	5.07	48.30	32	82.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.16	48.63	0.00	48.63
ต.ค.	5.16	48.63	40	107.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.27	49.06	0.00	49.06
พ.ย.	5.27	49.06	80	207.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.47	49.89	0.00	49.89
ธ.ค.	5.47	49.89	210	562.46	1,034.90	0.00	0.00	386.39	1,034.90	5.00	48.00	0.35	48.65
ม.ค.	5.00	48.00	440	1,178.50	178.50	0.00	0.00	66.64	178.50	6.00	52.00	0.06	51.94
ก.พ.	6.00	52.00	275	689.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.69	54.76	0.00	54.76
มี.ค.	6.69	54.76	337	902.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.59	58.37	0.00	58.37
เม.ษ.	7.59	58.37	515	1,290.38	882.04	0.00	0.00	340.30	882.04	8.00	60.00	0.31	59.69
พ.ค.	8.00	60.00	1,968	5,271.09	6,271.09	700.00	1,874.88	1,641.36	4,396.21	7.00	56.00	2.11	53.89
มิ.ย.	7.00	56.00	1,965	5,093.28	6,093.28	700.00	1,814.40	1,650.80	4,278.88	6.00	52.00	2.12	49.88
ก.ค.	6.00	52.00	360	964.22	1,964.22	700.00	1,874.88	33.36	89.34	5.00	48.00	0.66	47.34
ส.ค.	5.00	48.00	71	190.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.19	48.76	0.00	48.76
ก.ย.	5.19	48.76	50	129.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.32	49.28	0.00	49.28
ต.ค.	5.32	49.28	95	254.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.57	50.30	0.00	50.30
พ.ย.	5.57	50.30	100	259.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.83	51.33	0.00	51.33
ธ.ค.	5.83	51.33	88	235.70	1,069.11	0.00	0.00	399.16	1,069.11	5.00	48.00	0.36	47.64
ม.ค.	5.00	48.00	102	273.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.27	49.09	0.00	49.09
ก.พ.	5.27	49.09	860	2,154.82	428.01	0.00	0.00	176.94	428.01	7.00	56.00	0.16	55.84
มี.ค.	7.00	56.00	640	1,714.18	714.18	0.00	0.00	266.64	714.18	8.00	60.00	0.24	59.76
เม.ษ.	8.00	60.00	690	1,728.86	1,728.86	0.00	0.00	667.00	1,728.86	8.00	60.00	0.60	59.40
พ.ค.	8.00	60.00	1,330	3,562.27	4,562.27	700.00	1,874.88	1,003.36	2,687.39	7.00	56.00	1.53	54.47
มิ.ย.	7.00	56.00	930	2,410.56	3,410.56	700.00	1,814.40	615.80	1,596.16	6.00	52.00	1.18	50.82
ก.ค.	6.00	52.00	155	415.15	1,415.15	0.00	0.00	528.36	1,415.15	5.00	48.00	0.48	47.52
ส.ค.	5.00	48.00	92	246.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.25	48.99	0.00	48.99
ก.ย.	5.25	48.99	50	129.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.38	49.50	0.00	49.50
ต.ค.	5.38	49.50	88	235.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.61	50.45	0.00	50.45
พ.ย.	5.61	50.45	305	790.56	402.27	0.00	0.00	155.20	402.27	6.00	52.00	0.14	51.86
ธ.ค.	6.00	52.00	300	803.52	1,803.52	0.00	0.00	673.36	1,803.52	5.00	48.00	0.61	47.39

## 8.7 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Reservoir Operation)

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำส่วนใหญ่จะให้ค่าพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความแปรผันของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำหน้าเขื่อนอาจกล่าวได้ว่า พลังงานไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Head) และปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ (Discharge/Released Water) โดยทั่วไปแล้วการผลิตไฟฟ้าจะดำเนินการตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ เพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการหรือให้ค่าพลังงานเฉลี่ยในรอบปีสูงสุด อย่างไรก็ตามพลังงานที่ได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำสามารถเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูน้ำหลากสามารถกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ด้วยเหตุนี้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดด้านเวลาของการผลิตให้มีความเหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 8.13 (Karamouz et al., 2003)



รูปที่ 8.17 แผนภาพเปรียบเทียบแบบจำลองที่ดีที่สุดของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระยะสั้น ระยะปานกลางและระยะยาว

ที่มา : Karamouz et al. (2003)

จากรูปข้างต้นแสดงถึงแบบจำลองในการวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามระยะเวลา ซึ่งประกอบด้วย

- (1) การวางแผนระยะยาว (กลยุทธ์): เป็นการวางแผนเพื่อการหากลยุทธ์ที่ดีที่สุดของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานรายเดือนตลอดช่วงเวลาของแผนการดำเนินงาน
- (2) การวางแผนระยะกลาง (กลยุทธ์และเทคนิค): เป็นการวางแผนเพื่อหากลยุทธ์และเทคนิคที่ดีที่สุดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานของสเกลเวลารายสัปดาห์ตลอดช่วงเวลา 1 ปี
- (3) การวางแผนระยะสั้น (เทคนิค): เป็นการวางแผนเพื่อกำหนดเทคนิคที่ดีที่สุดในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรายชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ ของการปฏิบัติการ
- (4) การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ณ เวลาจริงปัจจุบัน: เป็นลักษณะของการกำหนดตารางการปฏิบัติการรายชั่วโมงให้มีความเหมาะสมโดยประยุกต์ใช้หลักการหาค่าที่ดีที่สุด

### 8.7.1 แบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะยาว (Long-Term Planning Model)

เป้าหมายหลักของการวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำก็คือผลกำไรสุทธิสูงสุดจากการปฏิบัติการหรือความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ในขณะที่เดียวกันยังสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นจัดหาน้ำเพื่อกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ด้านทำนน้ำ การควบคุมและบรรเทาน้ำท่วมให้เป็นที่ยังพอใจ อย่างไรก็ตามจากแนวทางการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างความขัดแย้งระหว่างการปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ในการจัดหาน้ำให้เป็นที่ยังพอใจทุกภาคส่วนและวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้มีระดับสูงเพียงพอที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้นแบบจำลองเพื่อวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะยาวจึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยมีรูปแบบดังนี้

$$\text{Minimize } Z = \sum_{t=1}^n \text{Loss}_t^1(R_t, D_t^W) + \text{Loss}_t^2(P_t, D_t^L); t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.12)}$$

$$\text{Constraints } S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - L_t \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.13)}$$

$$P_t = f(R_t^D, E_t) \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.14)}$$

$$E_t = g(S_t) \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.15)}$$

$$R_t = R_t^D + R_t^S \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.16)}$$

$$0 \leq R_t \leq R_{\max,t} \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.17)}$$

$$S_{\min} \leq S_t \leq \text{Cap} \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.18)}$$

$$S_t, E_t, L_t, R_t, P_t, R_t^D, R_t^S \geq 0 \quad ; t = 1, 2, \dots, n \text{ -----(8.19)}$$

- เมื่อ  $I_t$  = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในเดือน  $t$   
 $R_t$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำทั้งหมดในเดือน  $t$   
 $S_t$  = ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่เวลาเริ่มต้นในเดือน  $t$   
 $D_t^W$  = ปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายในเดือน  $t$   
 $D_t^L$  = ปริมาณความต้องการไฟฟ้าเป้าหมายในเดือน  $t$   
 $E_t$  = ค่าระดับเขื่อนน้ำเฉลี่ยสุทธิในเดือน  $t$  ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างและปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ  
 $L_t$  = ปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำในเดือน  $t$  อันเนื่องมาจากการระเหยและการรั่วซึม



- $Cap$  = ความจุเก็บกักน้ำทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ  
 $P_t$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในเดือน  $t$   
 $R_t^D$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าในเดือน  $t$   
 $R_t^S$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำที่ไม่ได้ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในเดือน  $t$   
 $Loss_t^1, Loss_t^2$  = ฟังก์ชันการสูญเสียอันเนื่องมาจากการปฏิบัติการ  
 (Operation Loss Function) ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการ  
 ดำเนินงานเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำทางด้านท้ายน้ำและ  
 วัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ  
 $n$  = จำนวนช่วงเวลาในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งหมด

จากสมการจะเห็นว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดรายเดือนนั้น ประกอบด้วยสองส่วนหลัก (1) ส่วนแรกแสดงถึงการสูญเสียน้ำเพื่อวัตถุประสงค์การจัดหาน้ำ และ (2) ส่วนที่สองแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์การผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และพลังงานไฟฟ้าเป้าหมายซึ่งกำหนดโดยผู้ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและผู้บริหาร

### 8.7.2 แบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะกลาง (Mid-Term Planning Model)

รูปแบบของแบบจำลองเพื่อวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะกลาง มีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองการวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะยาว โดยมีความแตกต่างกันเพียงแค่สมการข้อจำกัดและความถูกต้องแม่นยำเท่านั้น เพราะว่าการวางแผนภายใต้ช่วงเวลาที่ มีขนาดเล็กกว่าจะทำให้แบบจำลองสามารถจำลองระบบได้ใกล้เคียงกว่า โดยปกติแล้วมักเป็นการวางแผนปฏิบัติการรายสัปดาห์ ในช่วงเวลา 1 เดือน หรือรายวันตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ นอกจากนี้นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะยาวอาจนำมาใช้กำหนดสมการข้อจำกัดของแบบจำลองระยะกลางได้อีกด้วย

### 8.7.3 แบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะสั้น (Short-Term Planning Model)

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองการวางแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะสั้นก็คือการหาหนโยบายการปฏิบัติการที่เหมาะสมรายชั่วโมงตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์หรือ 1 วัน ในขณะที่เดียวกันต้องพิจารณาถึงความแตกต่างของหน่วยการผลิตแต่ละโรงไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของค่าข้อมูลที่ป้อนเข้าและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Input-Output) ในแบบจำลองนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ทางเศรษฐศาสตร์ให้สัมพันธ์กับช่วงที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดและต่ำสุด อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักของ

แบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุดที่ระยะสั้นนั้นก็คือการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดโดยอาศัยเกณฑ์การปฏิบัติการที่เหมาะสมซึ่งอาจกำหนดสมการข้อจำกัดจากแบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะกลางมาใช้ สำหรับรูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองแสดงดังสมการ

$$\text{Maximize } \sum_{k=1}^5 \sum_{t=1}^{720} P_{k,t} \times V_k \quad \text{-----}(8.20)$$

เมื่อ  $V_k$  = กำลังไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้า  $k$   
 $P_{k,t}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้า  $k$

#### 8.7.4 แบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ณ เวลาจริงปัจจุบัน (Real Time Planning Models)

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบันจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการตัดสินใจที่สลับซับซ้อนโดยมุ่งหวังที่จะตอบสนองวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการให้ดีที่สุดไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ความต้องการทางด้านท้ายน้ำ ความเชื่อมั่นของการปฏิบัติการ ข้อจำกัดด้านการปฏิบัติการ และอื่น ๆ บนพื้นฐานรายชั่วโมงในแต่ละวัน สำหรับสมการข้อจำกัดของปัญหาที่สำคัญมีดังนี้

(1) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ( $P_{t,i}$ ) จะต่อน้อยกว่ากำลังการผลิต

$$P_{t,i} \leq P_i^{\text{cap}} \quad ; t = 1, 2, \dots, 24 \quad \text{-----}(8.21)$$

เมื่อ  $P_{t,i}$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดที่  $i$  ในช่วงเวลา  $t$   
 $P_i^{\text{cap}}$  = กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดที่  $i$

(2) ปริมาณการปล่อยน้ำทั้งหมดรายวันของโรงไฟฟ้าจะต้องเท่ากับปริมาณน้ำที่ปล่อยจากแบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำระยะสั้น

$$R_t^{\text{os}} = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{NU} R_{t,i} \quad \text{-----}(8.22)$$

เมื่อ  $R_t^{\text{os}}$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยรายวันจากแบบจำลองการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

ระยะสั้น  
 $R_{t,i}$  = ปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิตที่  $i$  ในช่วงเวลา  $t$   
 $NU$  = จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกยูนิตของโรงไฟฟ้า

(3) ความเชื่อมั่นในการปฏิบัติการอยู่ในระดับที่พึงพอใจ

$$\sum_{i=1}^{NU} P_{t,i} \leq P_t^{\max} \quad ; t = 1, 2, \dots, 24 \quad \text{-----}(8.23)$$

เมื่อ  $P_t^{\max}$  เป็นปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมรับได้ในช่วงเวลา  $t$

(4) ปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละยูนิตจะต้องน้อยกว่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุดผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$R_{t,i} \leq R_i^{\max} \quad ; t = 1, 2, \dots, 24 \quad \text{-----}(8.24)$$

เมื่อ  $R_i^{\max}$  เป็นอัตราการไหลของน้ำสูงสุดผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิต  $i$

(5) ประสิทธิภาพการปฏิบัติการของระบบสูงสุด ( $E_{\text{total}}$ )

$$E_{\text{total}} = \frac{\sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{NU} P_{t,i}}{\sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{NU} R_{t,i} E_{t,i}} \quad \text{-----}(8.25)$$

เมื่อ  $E_{t,i}$  เป็นเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิต  $i$  ในช่วงเวลา  $t$

(6) ต้นทุนในการปฏิบัติการทั้งหมดจะต้องน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลรวมของต้นทุนจากการปฏิบัติการทุกยูนิตของโรงไฟฟ้า

## เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือน มกราคม-ธันวาคม 2558*. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือน มกราคม-ธันวาคม 2559*. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2546). *พลังงานไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: กองสารสนเทศ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- ยิ่งปลิว ศุภกิตติวงศ์. (2561). ไฟฟ้าพลังงานน้ำ. สืบค้น 1 กุมภาพันธ์ 2561, จาก <http://www.yip.co.th>
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2547). *สถานการณ์พลังงานของไทย ปี 2546*. กรุงเทพฯ: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน.
- EGAT. (2002). *Existing hydro power plants information (since commissioning up to fiscal year 2000)* (Summary report). Bangkok: Project Study and Analysis Department, Hydro Power Engineering Division, Electricity Generating Authority of Thailand.
- Worldbank. (2016). *Electricity production from hydroelectric sources*. Retrieved June 1, 2016 from <http://data.worldbank.org>.
- Wikipedia. (2018a). *The Dalles Dam*. Retrieved February 1, 2018 from [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Dalles\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Dalles_Dam)
- Wikipedia. (2018b). *Hoover Dam*. Retrieved February 1, 2018 from [https://en.wikipedia.org/wiki/Hoover\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Hoover_Dam)
- Wikipedia. (2018c). *Pumped-storage hydroelectricity*. Retrieved February 1, 2018 from [https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage\\_hydroelectricity](https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity)
- Wikipedia. (2018d). *Hydropower*. Retrieved February 1, 2018 from [https://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower#/media/File:Hydroelectric\\_dam.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower#/media/File:Hydroelectric_dam.svg)
- International Energy Agency. (2010). *Renewable energy essentials: hydropower*. France: International Energy Agency.
- International Finance Corporation. (n.d.). *Hydroelectric power: a guide for developers and investors*. Germany: World Bank Group.
- Jain, S.K., & Singh, V.P. (2003). *Water resources systems planning and management*. New York: Elsevier Science.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., & Banafsheh, Z. (2003). *Water resources system analysis*. New York: Lewis Publishers.



## 09 บทสรุปของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อความยั่งยืน (Summary of Reservoir Management for Sustainability)

### 9.1 สถานภาพปัจจุบันของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Existing Situation of Reservoir Management)

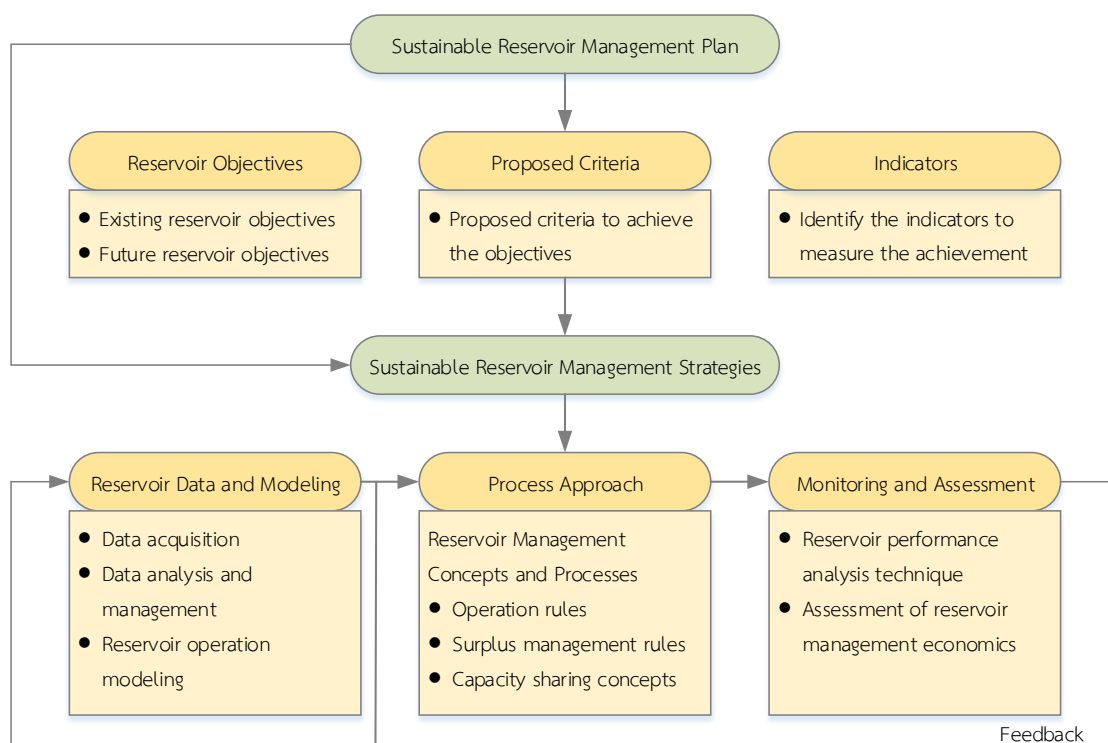
จากรายงานสถานการณ์ปัจจุบันของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในหลาย ๆ แห่งทั่วโลกพบว่าไม่ประสบผลสำเร็จในแง่ของการบริหารจัดการน้ำมากนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในเขตพื้นที่แห้งแล้ง ที่มักจะประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงแล้งวิกฤต ทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการน้ำได้ ในขณะที่เดียวกันในช่วงวิกฤตน้ำหลากก็มีข้อจำกัดในเรื่องศักยภาพในการกักเก็บน้ำได้ของอ่างเก็บน้ำภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของการออกแบบ ทำให้หลายพื้นที่ต้องประสบปัญหาน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ประกอบกับความตระหนักถึงผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากอ่างเก็บน้ำที่มีมากขึ้นในปัจจุบันในกลุ่มนักอนุรักษ์นิยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยนั้น ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านลงความเห็นว่าไม่ประสบผลสำเร็จมากนักในแง่ทางเศรษฐศาสตร์ หรือความคุ้มค่าของระบบ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาตามธรรมชาติอีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นสาเหตุของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำให้สัตว์น้ำจำนวนมากตาย หรือลดความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์น้ำลง รวมถึงเป็นอุปสรรคในการอพยพเข้ามาอยู่อาศัยของสัตว์น้ำอีกด้วย ด้วยเหตุนี้หลายประเทศจึงได้หิยบายแนวทางการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าพลังน้ำที่ปรับเปลี่ยนได้เพื่อปรับระบบให้ตอบรับกับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบระบบเตือนภัยเมื่อสัตว์น้ำเข้ามาใกล้หรือกำจัดสิ่งกีดขวางในลำน้ำทั้งหมดที่ปิดกั้นเส้นทางการย้ายถิ่นฐานของสัตว์น้ำ หรือแม้กระทั่งหลีกเลี่ยงแนวทางการจัดสรรน้ำที่ก่อให้เกิดคลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ รวมถึงพืชพันธุ์ต่าง ๆ ท้ายลำน้ำ เป็นต้น

จะเห็นได้ว่ามุมมองในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (Water Resources Management) ในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมค่อนข้างมาก กล่าวคือเป็นความพยายามที่จะมองหาสาเหตุ กระบวนการ ตลอดจนผลที่เกิดขึ้นในลักษณะเป็นองค์รวมทั้งระบบ (Systematic Approach) ด้วยเหตุนี้บ่อยครั้งมักจะได้มีแนวคิดใหม่ ๆ ที่ถูกนำเสนอในระดับสากลไม่ว่าจะเป็นหลักการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเชิงบูรณาการ (Integrated Water Resources Management Principle) ที่ถูกผสมผสานกับแนวทางการบริหารจัดการแบบปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Management) รวมด้วยกับหลักการพัฒนาและบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน (Sustainable Development and Management) ที่ถูกดึงมาใช้ในการแก้ปัญหาการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดความยั่งยืนในอนาคต

## 9.2 หลักการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำกับความยั่งยืน (Reservoir Management and Sustainability Approach)

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Management) หมายถึงกระบวนการดำเนินการอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของอ่างเก็บน้ำตามที่ได้ตั้งไว้ หลักการสำคัญในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นจะต้องมองประเด็นของการบริหารจัดการด้านอุปทานน้ำในอ่าง (Water Supply Side Management) ควบคู่ไปกับการบริหารจัดการด้านอุปสงค์น้ำ (Water Demand Side Management) ซึ่งโจทย์หลักของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่สำคัญก็คือทำอย่างไรจึงจะทำให้อุปทานของน้ำที่มีอยู่สามารถตอบสนองกับอุปสงค์น้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้เป็นที่พอใจ ทั้งนี้ประเด็นของประสิทธิภาพ (Efficiency) ความเสมอภาค (Equity) และความยั่งยืน (Sustainability) จะต้องดึงมาประกอบการพิจารณาเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำดังกล่าว

อาจกล่าวได้ว่าการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่ดีต้องสามารถตอบสนองกับความต้องการปัจจุบันอย่างเต็มศักยภาพภายใต้เงื่อนไขของแนวทางปฏิบัติที่ไม่ไปลดทอนศักยภาพของการพัฒนาเพื่อให้บรรลุความต้องการในอนาคต ด้วยเหตุนี้ปัจจัยสนับสนุนแนวคิดในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดความยั่งยืนในอนาคตนั้นจำเป็นต้องมีแผนในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Management Plan) ที่ชัดเจนตั้งแต่เริ่มต้นมีโครงการนอกเหนือจากการระบุเพียงวัตถุประสงค์ (Objective) ในภาพรวมของโครงการเพียงอย่างเดียว ประกอบกับจะต้องมีการระบุกรอบและหลักเกณฑ์ปฏิบัติ (Proposed Criteria) ที่เป็นรูปธรรมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ได้วางไว้ทั้งในปัจจุบันและมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอกในอนาคต นอกเหนือจากนั้นการกำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Indicator) ที่สื่อความหมายต่อความเข้าใจในทุกระดับของผู้ปฏิบัติงานยังเป็นสิ่งที่ช่วยทำให้ทราบสถานภาพที่แท้จริงของระบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันกลยุทธ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้เกิดความยั่งยืน (Sustainable Reservoir Management Strategies) นับได้ว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นในการขับเคลื่อนให้กลไกการจัดการด้านอุปทานน้ำสามารถตอบสนองอุปสงค์น้ำได้เต็มศักยภาพ ไม่ว่าจะเป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลอ่างเก็บน้ำที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง รวดเร็ว และเข้าถึงได้ง่าย รวมถึงการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่แสดงกระบวนการทำงานและให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับระบบจริง การนำหลักการจัดการอ่างเก็บน้ำที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ ตลอดจนมีการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำทั้งในด้านประสิทธิผลและเศรษฐศาสตร์ดังแสดงแนวคิดในรูปที่ 9.1



รูปที่ 9.1 แนวคิดในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอย่างยั่งยืน

### 9.2.1 การกำหนดแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอย่างยั่งยืน (Formulation of Sustainable Reservoir Management Plan)

ในขั้นตอนของการกำหนดแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจะต้องระบุวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Objectives) ให้ชัดเจนตั้งแต่เริ่มต้นของการวางโครงการโดยประเมินจากสถานการณ์ที่เป็นไปได้ต่าง ๆ ในปัจจุบันและคาดการณ์สถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ในขณะเดียวกันควรมีการระบุแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Use Plan) ที่ครอบคลุมทุกกิจกรรมการใช้น้ำทั้งหมดเพื่อช่วยประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในอ่างในเบื้องต้นว่าเพียงพอปริมาณความต้องการน้ำหรือไม่ ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจจำเป็นต้องจัดทำบัญชีน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Accounting) ที่แสดงปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในระบบและปริมาณน้ำความต้องการน้ำเพื่อประกอบการจัดทำแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ สำหรับแนวคิดในการวางแผนการใช้น้ำของแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำอาจมีความแตกต่างกันยกตัวอย่างเช่น การวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคไม่ว่าจะเป็นชุมชน อุตสาหกรรม หรือการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมนั้นอาศัยหลักการที่ว่า จะต้องจัดหาน้ำให้เพียงพอกับขนาดของความต้องการให้ได้มากที่สุด หากช่วงเวลาใดส่งน้ำเกินความจำเป็นจะถือว่าเป็นการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ ในขณะเดียวกันหากจัดหาน้ำไม่เพียงพอตามความต้องการจะเป็นผลเสียหายตามมา ในขณะที่การวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่นไม่ว่าจะเป็นการจัดการและควบคุมน้ำท่วม ความบันเทิงใจ และการผลิตพลังงานไฟฟ้าอาจมีเงื่อนไขที่ต้อง



พิจารณาซับซ้อนกว่าและอาจนำไปสู่ปัญหาความขัดแย้งกับกิจกรรมการใช้น้ำอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้การกำหนดลำดับความสำคัญของกิจกรรมการใช้น้ำยังเป็นสิ่งที่จำเป็นในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำบรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้

นอกจากนี้แผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Plan) ยังมีส่วนสำคัญในกระบวนการของการกำหนดแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดรูปธรรมในขั้นตอนของการปฏิบัติการ แผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงการวางแผนล่วงหน้าว่าจะเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใดสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานตามแผนที่วางไว้ ครอบคลุมทั้งสภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ อย่างไรก็ตามแผนการปฏิบัติการสามารถปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมได้หากสภาพในอนาคตได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ดีควรจะครอบคลุมถึงแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในสภาพเงื่อนไขทางอุทกวิทยาปกติเพื่อให้การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำบรรลุผลดีที่สุดทั้งในลักษณะรายวัน รายฤดูกาล หรือรายปี และแผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในสภาพเงื่อนไขทางอุทกวิทยาที่วิกฤตทั้งในช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม หรือเกิดสภาวะแห้งแล้งอย่างรุนแรง เป็นต้น

### 9.2.2 กลยุทธ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอย่างยั่งยืน (Sustainable Reservoir Management Strategies)

#### (1) ข้อมูลและแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Data and Modelling)

ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Data) นับเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับนำมาใช้ศึกษาและวิเคราะห์เพื่อกำหนดแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยข้อมูลที่สำคัญประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (Inflow Data) ข้อมูลปริมาณฝน (Rainfall Data) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ระเหยจากอ่าง (Evaporation Data) ตลอดจนข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ ของอ่างเก็บน้ำ (Physical Reservoir Data) เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดเก็บไว้ตั้งแต่อดีตที่เริ่มมีการตรวจวัดข้อมูล ยิ่งข้อมูลระยะยาวถูกนำมาใช้ศึกษามากขึ้นจะยิ่งทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือและมีความใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของระบบมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามผลจากความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บข้อมูลจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบข้อมูลเหล่านี้ในเบื้องต้นก่อนนำมาวิเคราะห์ทั้งในส่วนของความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล (Non-Homogeneity) ความไม่กลมกลืน (Inconsistency) เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันระบบการจัดการฐานข้อมูลอ่างเก็บน้ำที่มีประสิทธิภาพและเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะยิ่งช่วยทำให้การดึงข้อมูลมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ มีความรวดเร็ว ถูกต้อง และน่าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลอ่างเก็บน้ำยังถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation Model) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสำหรับจำลองผลการปฏิบัติการของระบบอ่างเก็บน้ำตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากผลการจำลองจะทำให้

ทราบถึงสถานภาพของระบบที่แท้จริงสำหรับนำไปใช้ปรับปรุงหรือวางแผนการดำเนินงานในอนาคตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## (2) แนวคิดและกระบวนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Management Concepts and Processes)

แนวคิดและกระบวนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบริหารจัดการ การเรียนรู้จากประสบการณ์ของการดำเนินงานในอดีตเพื่อนำมาปรับปรุงการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในปัจจุบันและอนาคตนับได้ว่าเป็นแนวทางที่ควรยึดปฏิบัติ ในขณะเดียวกันการนำกลยุทธ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่ทันสมัยมาปรับใช้หรือประกอบการตัดสินใจจะช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำว่าจะมีน้ำเก็บกักเพียงพอสำหรับความต้องการในอนาคต ในปัจจุบันได้มีการนำเสนอกลยุทธ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ขึ้นมากมายเพื่อให้แนวทางการบริหารจัดการน้ำเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนและง่ายต่อการนำไปปฏิบัติงาน ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 4

## (3) ระบบการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Monitoring and Assessment)

ระบบการติดตามและประเมินผลการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำนั้นนับได้ว่ามีส่วนสำคัญในการชี้วัดความสำเร็จของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากผลลัพธ์จากการประเมินจะเป็นข้อมูลป้อนกลับที่สำคัญที่สะท้อนให้เห็นว่ากลยุทธ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่ใช้กันอยู่มีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหน โดยทั่วไปแล้วการติดตามและประเมินผลการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำจะปรากฏอยู่ในรูปของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indices) ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 6 หัวใจสำคัญก็คือการแปลผลความหมายของดัชนีชี้วัดเหล่านี้ที่ถูกต้องซึ่งจะช่วยสะท้อนให้เห็นปัญหาที่แท้จริงของการบริหารจัดการมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การประเมินผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอาจทำได้ในลักษณะของการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์อันเป็นผลจากการประสิทธิภาพของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ยกตัวอย่างเช่น การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่ดีจะส่งผลให้มูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น หรือเพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น เป็นต้น การวิเคราะห์ดังกล่าวจะต้องทำทุก ๆ ปี เพื่อศึกษาแนวโน้มของผลตอบแทนที่ได้รับสำหรับนำมาปรับกลยุทธ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าและเกิดความยั่งยืนในอนาคต (อารียา ฤทธิมา, 2552)

## เอกสารอ้างอิง (References)

อารียา ฤทธิมา. (2552). หลักการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอย่างยั่งยืน. *วิศวกรรมสาร (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์)*, 3, 52-59.

## หน่วย (Units)

mcm	ล้านลูกบาศก์เมตร (Million Cubic Meter)
cms หรือ $m^3s^{-1}$	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Cubic Meter per Second)
sq km	ตารางกิโลเมตร (Square Kilometer)
m msl	เมตร ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Meter at Mean Sea Level)
$calcm^{-2}day^{-1}$	แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน (Calories per Square Centimeter per Day)
$kgm^{-3}$	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kilogram per Cubic Meter)
$Jkg^{-1}$	จูล์ต่อกิโลกรัม (Joule per Kilogram)
$mday^{-1}$	เมตรต่อวัน (Meter per Day)
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส (Degree Celcius)
mbar	มิลลิบาร์ (Millibar)

$mbar^{\circ}C^{-1}$	มิลลิบาร์ต่อองศาเซลเซียส (Millibar per Degree Celcius)
cfs	ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที (Cubic Feet per Second)
ft	ฟุต (Feet)
$ft^3$	ลูกบาศก์ฟุต (Cubic Feet)
acre-ft	เอเคอร์-ฟุต (Acre-Foot)
peta-joules	พิตะจูลล์ (Peta-Joules)
MW	เมกกะวัตต์ (Megawatt)
$kN/m^3$	กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (Kilo Newton per Cubic Meter)
tons	ตัน (Tons)
$lb/ft^3$	ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (Pound per Cubic Feet)

## ดัชนี (Index)

### 01 อ่างเก็บน้ำ

#### (Reservoir)

- อ่างเก็บน้ำ (Reservoir), 1-1
- อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir), 1-2
- อ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose Reservoir), 1-2
- อ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้ใช้ตลอดฤดูกาล (Seasonal Storage Reservoir), 1-3
- อ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้ใช้ตลอดทั้งปี (Over-Year Storage Reservoir), 1-3
- เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dam), 1-6
- อ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage Reservoir), 1-6
- พื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed Area), 1-7
- เขื่อนชะลอน้ำ (Detention Dam), 1-7
- อ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วม (Flood Control Reservoir), 1-7
- เขื่อนทดน้ำ (Diversion Dam), 1-7
- ระบบคลองส่งน้ำ (Canal Distribution System), 1-7
- อ่างเก็บน้ำเพื่อสร้างสมดุล (Balancing Reservoir), 1-7
- ฝายเก็บกัก (Storage Weir), 1-7
- ทางระบายน้ำล้น (Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบไหลข้าม (Overflow Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบรางเท (Chute Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบไหลด้านข้าง (Side Channel Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบท่อ (Shaft Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบไซฟอน (Siphon Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบมีประตูควบคุม (Controlled/Gated Spillway), 1-7
- ทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม (Uncontrolled/Ungated Spillway), 1-7
- ปริมาณเก็บกักไม่ใช้การ/ปริมาณเก็บกักสูญเปล่า (Dead Storage/Inactive Storage), 1-8
- ปริมาณเก็บกักใช้การ (Active/Live Storage), 1-8
- โซนปริมาณเก็บกักไม่ใช้การ (Dead Storage Zone), 1-8
- โซนปริมาณเก็บกักใช้การ (Active Storage Zone), 1-8
- โซนบัฟเฟอร์ (Buffer Zone), 1-8
- โซนปริมาณเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Zone), 1-9

### 02 การวิเคราะห์ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

#### (Analysis of Reservoir Data)

- ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrologic Data), 2-1
- หลักการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Balance Approach), 2-1
- การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation), 2-1
- สมดุลอ่างเก็บน้ำรายปี (Annual Reservoir Water Balance), 2-2
- สมดุลอ่างเก็บน้ำรายฤดูกาล (Seasonal Reservoir Water Balance), 2-2
- สมดุลอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Monthly Reservoir Water Balance), 2-2
- สมดุลอ่างเก็บน้ำรายวัน (Daily Reservoir Water Balance), 2-2
- การสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Losses), 2-3
- การระเหยของน้ำ (Evaporation Losses), 2-3
- การรั่วซึมของน้ำ (Seepage Losses), 2-3; 2-10
- การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Leakage through Dam), 2-3; 2-10
- วิธีเอ็มไพริคัล (Empirical Method), 2-4
- วิธีงบประมาณ (Water Budget Method), 2-4; 2-5
- วิธีงบประมาณพลังงาน (Energy Budget Method), 2-4; 2-6
- วิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method), 2-4; 2-7
- วิธีผสมผสาน (Combination Method), 2-4; 2-8
- สมการของ Penman (Penman Equation), 2-8
- สมการของ Priestley-Taylor (Priestley-Taylor Equation), 2-9
- สมการของ De Bruin (De Bruin Equation), 2-9
- การวิเคราะห์ขอบเขต (Range Analysis), 2-10
- การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing), 2-12
- การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Storage-Indication, 2-13
- ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period of Reservoir), 2-19
- วิธีกราฟโค้งสะสม (Mass Curve Analysis Method), 2-19

โซนปริมาณสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัย (Flood Control Reserve Storage Zone), 1-9  
 กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design Flood Hydrograph), 1-9  
 ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level), 1-9  
 ระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Pool Level), 1-9  
 ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level), 1-9

ผลผลิตที่แน่นอนของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Firm Yield), 2-19  
 ช่วงน้ำลดวิกฤต (Critical Drawdown Period), 2-19  
 แบบจำลองการพยากรณ์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Forecasting Model for Reservoir Critical Period), 2-20  
 ประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indicator), 2-22  
 กฎการจัดการน้ำส่วนเกิน (Surplus Management Rule), 2-22  
 กฎการจัดการการขาดน้ำ (Deficit Management Rule), 2-22  
 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve), 2-23  
 โค้งอัตราการไหล-ความถี่ (Flow-Frequency Curve), 2-23  
 ลำน้ำแบบมีน้ำไหลตลอดปี (Perennial Stream), 2-24  
 ลำน้ำแบบมีน้ำไม่แน่นอน (Ephemeral Stream), 2-24  
 ปริมาณการไหลฐาน (Base Flow), 2-26

### 03 การออกแบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Design)

การออกแบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Design), 3-1  
 ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Capacity), 3-1  
 เทคนิคการวิเคราะห์ช่วงวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period Techniques), 3-2  
 วิธีโค้งสะสม (Mass Curve Method), 3-2; 3-3  
 วิธี Rippl (Rippl Diagram), 3-3  
 วิธีหาลำดับสูงสุด (Sequent Peak Algorithm), 3-2; 3-5  
 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเก็บกัก-ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ (Storage-Yield Analysis), 3-7  
 เทคนิคการจำลองระบบ (Simulation Technique), 3-7  
 เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique), 3-7  
 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function); 3-9; 3-10  
 ข้อจำกัด (Constraints), 3-9  
 ปริมาณตะกอนที่ตกสะสม (Sediment Deposition), 3-14  
 การกัดเซาะ (Erosion), 3-14

### 04 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation)

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation), 4-1  
 แผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Plan), 4-1  
 วัฏจักรน้ำเพิ่ม-น้ำลด (Refill-Drawdown Cycle), 4-4  
 เกณฑ์การปฏิบัติการ (Operation Rules), 4-4  
 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy), 4-5  
 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบเชิงเส้นมาตรฐาน (Standard Linear Operating Policy), 4-5  
 เกณฑ์การจำกัดการปล่อยน้ำ (Rationing Rule), 4-6  
 โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Rule Curve), 4-7  
 เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve), 4-7  
 เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve), 4-7  
 โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะเป็น (Probability Based Rule Curve), 4-8  
 โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาณเก็บกัก

การพัดพาตะกอน (Transportation), 3-14	ว่างต่ำสุด (Vacancy Minimum Storage Requirement Rule Curve), 4-8
หลักการคัดเลือกอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Screening), 3-14	การแบ่งขอบเขตปริมาณเก็บกัก (Storage Zoning), 4-12
การวางแผนงานโครงการพัฒนาอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Development Planning), 3-14	เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมีเงื่อนไข (Conditional Operation Rules), 4-13
โค้งพื้นที่-ระดับ (Area-Elevation Curve), 3-16	ระบบอ่างเก็บน้ำแบบอนุกรม (Reservoirs in Series), 4-15
โค้งปริมาณเก็บกัก-ระดับ (Storage-Elevation Curve), 3-16	ระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (Hydropower Reservoirs), 4-16
การศึกษาเบื้องต้นของโครงการ (Preliminary Investigation), 3-19	ระบบอ่างเก็บน้ำแบบขนาน (Reservoirs in Parallel), 4-19
การศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Feasibility Investigation), 3-19	เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเมืองนิวยอร์ก (New York City Rules), 4-21
การศึกษาแผนการดำเนินการก่อนการก่อสร้าง (Pre-Construction Investigation), 3-19	เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Hydropower Rules), 4-22
	เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสำรองปริมาตรว่าง (Space Rules), 4-23
	เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Pack (Pack Rules), 4-26
	เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging (Hedging Rules), 4-27
	หลักการพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-Depletion of Reservoirs), 4-30
	ไดอะแกรมการสำรองปริมาตรว่าง (Flood Control Reservation Diagram), 4-32
	ระดับเก็บกักวิกฤตของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Critical Level), 4-34
	ปริมาณน้ำวิกฤตที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Critical Flood Inflow), 4-34
	การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงปกติ (Normal Operation), 4-35
	การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงฉุกเฉิน (Emergency Operation), 4-35
	การบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir System Management), 4-38
	แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multireservoir Simulation Model), 4-40
	เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้น (Linear Decision Rule), 4-41

หลักการรวมและแยกองค์ประกอบ (Recomposition-  
Decomposition Approach), 4-43  
การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เวลาจริงปัจจุบัน (Real-Time  
Reservoir Operation), 4-44

**05 เทคนิคในการพัฒนาโค้งเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ  
(Rule Curve Development Techniques)**  
เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation  
Rules), 5-1  
โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve), 5-1  
โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าจะ  
เป็น (Probability Based Rule Curve), 5-1  
โค้งเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบหาปริมาตรเก็บกัก  
ว่างต่ำสุด (Vacancy Minimum Storage Requirement  
Rule Curve), 5-1  
เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve), 5-2  
ระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve), 5-3  
ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index), 5-28  
ดัชนีวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability Index), 5-28  
ดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resiliency Index),  
5-28

**06 ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ  
(Reservoir Performance Indices)**  
ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir  
Performance Indices), 6-1  
ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบดั้งเดิม  
(Traditional Performance Indices), 6-1  
ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบสมัยใหม่  
(Modern Performance Indices), 6-1  
ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Index), 6-1; 6-2  
ดัชนีวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability Index), 6-1;  
6-4  
ดัชนีวัดโอกาสการฟื้นตัวของระบบ (Resiliency Index),  
6-1; 6-4  
ดัชนีความเสี่ยงของภัยแล้ง (Drought Risk Index), 6-1;  
6-5  
ดัชนีความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought Damage  
Index), 6-1; 6-5  
ดัชนี Modified Beard (Modified Beard Index), 6-2  
ดัชนีความยุติธรรม (Fairness Index), 6-2  
ดัชนีวัดความสามารถในการฟื้นตัว (Reversibility Index),  
6-2  
ดัชนีความเห็นพ้อง (Consensus Index), 6-2  
ดัชนีวัดความยั่งยืน (Sustainability Index), 6-2; 6-5  
ดัชนีวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักของอ่าง  
(Dispersion of Reservoir Storage Level Index), 6-2;  
6-5  
ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลา (Time-Based  
Reliability), 6-2  
ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านปริมาณ (Quantity-  
Based Reliability), 6-3  
ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ด้านความถี่ของการเกิด  
(Occurrence-Based Reliability), 6-4

## 07 การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Sedimentation)

การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Sedimentation), 7-1  
 ตะกอน (Sediment), 7-1  
 กระบวนการเกิดตะกอน (Sedimentation Processes), 7-1  
 ตะกอนท้องน้ำ (Bed Load), 7-2  
 ตะกอนแขวนลอย (Suspended Load), 7-2  
 ผลผลิตตะกอน (Sediment Yield), 7-12  
 ประสิทธิภาพในการดักตะกอน (Trap Efficiency), 7-13  
 ดัชนีการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำ (Sedimentation Index), 7-14  
 โค้งประสิทธิภาพในการดักตะกอนของ Brune, 7-15  
 โค้งประสิทธิภาพในการดักตะกอนของ Churchill, 7-16  
 อัตราการไหลเข้าของตะกอน (Sediment Flow Rate), 7-16  
 อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (Useful Life of Reservoir), 7-17  
 การสูญเสียปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ (Loss of Storage Capacity of Reservoir), 7-17  
 ความหนาแน่นของตะกอน (Density of Deposited Sediments), 7-20  
 อัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Rate of Reservoir Sedimentation), 7-22  
 การกระจายตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ (Distribution of Sediment in Reservoirs), 7--24  
 วิธีลดพื้นที่ที่เอมไพริคัล (Empirical Area Reduction Method), 7-25  
 โค้งการกระจายตัวของตะกอนออกแบบ (Sediment Distribution Design Curve), 7-25; 7-26

สถานะของการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation State), 6-6  
 สภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode), 6-6  
 สภาวะการไหลล้นอ่าง (Spillage Mode), 6-7  
 สภาวะน้ำท่วม (Flood Mode), 6-8

## 08 ไฟฟ้าพลังงานน้ำ-การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Hydropower-Reservoir Operation)

ไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydropower), 8-1  
 พลังงานทดแทนสะอาด (Clean Renewable Energy), 8-1  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กและมินิ (Micro & Mini Hydropower), 8-5; 8-6  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small Hydropower), 8-5; 8-6  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง (Medium Hydropower), 8-5; 8-6  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ (Large Hydropower), 8-5; 8-6  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดน้อย (Low Head Hydropower), 8-6; 8-7  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดปานกลาง (Medium Head Hydropower), 8-6; 8-7  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบเฮดสูง (High Head Hydropower), 8-6; 8-7  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydropower), 8-7  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำเก็บกัก (Storage/Reservoir Hydropower), 8-7; 8-8  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower), 8-7; 8-9  
 โรงไฟฟ้าเอกประสงค์ (Single Purpose Hydropower), 8-9  
 โรงไฟฟ้าอเนกประสงค์ (Multi-Purpose Hydropower), 8-9  
 อาคารรับน้ำเข้า (Intake Structure), 8-10  
 ท่อส่งน้ำ (Penstock/Conduit), 8-10



หลักเศรษฐศาสตร์ของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ  
(Economics of Reservoir Sedimentation), 7-27

อาคารโรงไฟฟ้า (Power House), 8-10  
 ระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission Line System), 8-10  
 เหนื่อน้ำทั้งหมด (Gross Head), 8-11  
 เหนื่อน้ำสุทธิ (Net Head), 8-11  
 ประสิทธิภาพทางชลศาสตร์ (Hydraulic Efficiency), 8-11  
 ประสิทธิภาพทั้งหมด (Overall Efficiency), 8-11  
 กำลังการผลิตไฟฟ้า (Capacity), 8-11  
 กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง (Installed Capacity), 8-12  
 กระแสไฟฟ้า (Power), 8-12  
 พลังงานไฟฟ้า (Energy), 8-12  
 ความต้องการไฟฟ้า (Load), 8-12  
 แฟกเตอร์ความต้องการไฟฟ้า (Load Factor), 8-12  
 พลังงานไฟฟ้าที่แน่นอน/ปฐมภูมิ (Firm/Primary Power), 8-12  
 พลังงานไฟฟ้าทุติยภูมิ (Secondary Power), 8-13  
 แฟกเตอร์โรงไฟฟ้า (Plant Factor), 8-13  
 ความต้องการไฟฟ้าฐาน (Base Load), 8-13  
 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load), 8-13  
 ความต้องการไฟฟ้ากลาง (Intermediate Load), 8-13  
 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve), 8-18  
 โค้งพลังงานไฟฟ้า-ช่วงเวลา (Power-Duration Curve), 8-18  
 วิธี Sequential Streamflow Routing, 8-23

**09 บทสรุปของการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อความยั่งยืน  
(Summary of Reservoir Management for Sustainability)**

การบริหารจัดการด้านอุปทานน้ำในอ่าง (Water Supply Side Management), 9-2  
 การบริหารจัดการด้านอุปสงค์น้ำ (Water Demand Side Management), 9-2  
 ประสิทธิภาพ (Efficiency), 9-2  
 ความเสมอภาพ (Equity), 9-2  
 ความยั่งยืน (Sustainability), 9-2  
 วัตถุประสงค์ของการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Objectives), 9-3  
 บัญชีน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Water Accounting),

9-3

แผนการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Plan), 9-4