การพัฒนากลยุทธการปฏิบัติงานเผื่อเลือก สำหรับลุ่มน้ำโคโลราโด

วราวุธ วุฒิวณิชย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ใช้ Dynamic Programming วิเคราะห์หารูปแบบการปล่อยน้ำและการเก็บกักน้ำในระยะยาว (15 ปี) สำหรับอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ซึ่งเป็น 2 อ่างเก็บน้ำใหญ่ที่สุด และมีความสำคัญมากที่สุดในลุ่มน้ำโคโลราโด การวิเคราะห์ได้พิจารณาถึงสภาพน้ำ 17 แบบต่าง ๆ กัน จากสภาพน้ำมากที่สุด ถึงสภาพน้ำน้อยที่สุด ในประวัติการณ์ วัตถุประสงค์ที่ใช้ใน Dynamic Programming ส่วนใหญ่คือการผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนการใช้น้ำเพื่อความต้องการอื่น ๆ นั้นกำหนดเป็นขีดจำกัดของระบบ อย่างไรก็ตาม ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้วัตถุประสงค์เพื่อ การควบคุมน้ำท่วมเพื่อการเปรียบเทียบด้วย ผลการศึกษาจาก Dynamic Programming ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์กลยุทธการปฏิบัติงานเผื่อเลือก ของ USBR ซึ่งศึกษาโดยใช้ Simulation Model ชื่อ MONSIM และ CRSS ผลปรากฏว่าสำหรับสภาพน้ำเฉลี่ยกับสภาพน้ำมากรูปแบบการปล่อยน้ำและการเก็บกักน้ำจาก Dynamic Programming ใกล้เคียงกับกลยุทธการปฏิบัติงานที่ระดับความน่าจะเป็นสูง (0.99) ส่วนกรณีสภาพน้ำน้อยไม่สามารถสรุปแน่นอนได้ และผลการศึกษาจากทั้ง Dynamic Programming MONSIM และ CRSS แสดงให้เห็นว่าสามารถปล่อยน้ำ จากอ่างเก็บน้ำให้มากกว่าความต้องการขั้นต่ำสุดทางด้านท้ายน้ำได้ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใด ๆ

1. บทนำ

ในปี ค.ศ. 1984-1985 U.S. Bureau of Reclamation (USBR) ได้กำลังศึกษาหาทางเลือกที่เหมาะสมในการแบ่งส่วนน้ำส่วนเกิน (Surplus Water) ในลุ่มน้ำโคโลราโด การศึกษาดังกล่าวมุ่งเน้นที่อ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ซึ่งเป็น 2 อ่างเก็บน้ำที่ใหญ่ที่สุด และมีความสำคัญมากที่สุดในลุ่มน้ำ ในช่วงแรกหรือช่วง Filling Process วิธีการปฏิบัติงาน (Operate) ตามปกติ คือการปล่อยน้ำตามความต้องการขั้นต่ำสุดทางด้านท้ายน้ำ* แต่ปัจจุบันอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell มีน้ำเต็ม การปฏิบัติงานจึงต้องพิจารณาถึงผลประโยชน์ และความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วม การผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทานและการใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ ดังนั้นกลยุทธในการปฏิบัติงานที่ต้องการ

จะต้องมีขีดความสามารถ ในการคาดคะเนปัญหาเกี่ยวกับการใช้น้ำที่กำลังจะเกิดล่วงหน้าจากปริมาณน้ำที่มีในอ่าง และปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างที่พยากรณ์ไว้ และสามารถกำหนดแนวทางการปล่อยน้ำ จากอ่างที่เหมาะสมได้วิธีการศึกษาของ USBR คือการประเมินกลยุทธเพื่อเลือก (Alternative Strategies) ที่ใช้ในการกำหนดแผนการปล่อยน้ำมากกว่าความต้องการขั้นต่ำสุด ทางด้านท้ายน้ำ เพื่อลดโอกาสความน่าจะเป็นที่จะมีน้ำไหลล้นอ่างและการระบายน้ำทิ้งโดยไม่ผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Bypass) กลยุทธเพื่อเลือกดังกล่าวถูกกำหนดจากขีดความสามารถ ในการปฏิบัติงานที่สามารถรองรับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างตามธรรมชาติที่ระดับที่กำหนดไว้ โดยไม่ต้องมีการระบายน้ำทิ้ง นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ (Unscheduled Releases) ในการศึกษาได้ใช้ Annual Simulation Model ชื่อ MONSIM และ Monthly Simulation Model ชื่อ CRSS เพื่อประเมินกลยุทธในการปฏิบัติงานเพื่อเลือกสำหรับ ลุ่มน้ำโคโลราโดสำหรับอนุกรมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างต่าง ๆ กัน ซึ่งอนุกรมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างดังกล่าวมีทั้งอนุกรมที่มีน้ำน้อยที่สุด (Driest)และมีน้ำมากที่สุด (Wettest) เท่าที่เคยมีการบันทึกไว้ และแต่ละอนุกรมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างจะมีช่วงเวลา 15 ปี

*ความต้องการน้ำทางด้านท้ายน้ำขึ้นอยู่กับความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำโคโลราโดตอนล่างและความต้องการน้ำของประเทศเม็กซิโก ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาตามที่กล่าวถึง ใน USBR Colorado River Operation Study Report (1984)

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

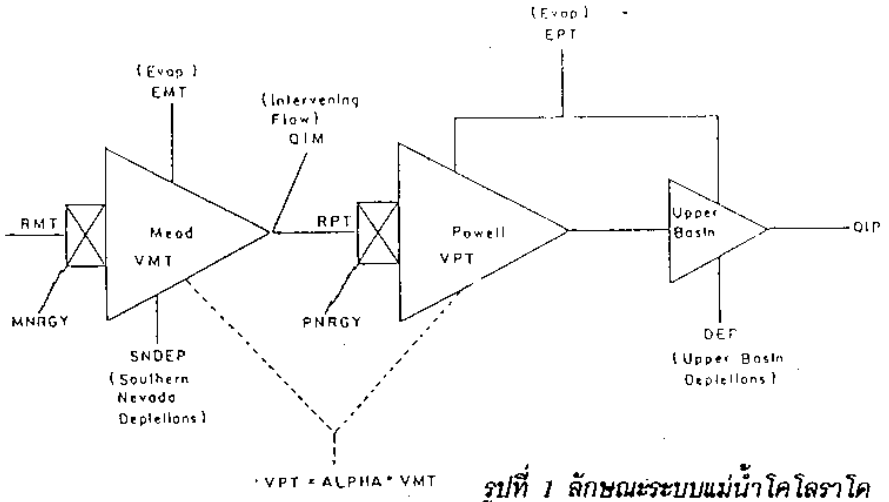
1. เพื่อใช้ Dynamic Programming ในการประเมินกลยุทธ ในการปฏิบัติงานเพื่อเลือกซึ่ง USBR ได้ศึกษาด้วยโมเดล MONSIM และ CRSS

2. เปรียบเทียบผลการศึกษา จาก Dynamic Programming กับผลการศึกษาจาก MONSIM และ CRSS

3. การพัฒนา Dynamic Programming Model

Labadie, J.W. and D.G. Fontane (1982) ได้พัฒนา Dynamic Programming Model สำหรับระบบลุ่มน้ำโคโลราโดให้ Western Area Power Administration (หรือเรียกชื่อย่อว่า WAPA.) โมเดลของ Labadie และ Fontane ได้ถูกนำมาเป็นพื้นฐานในการศึกษาครั้งนี้ แต่ได้มีการปรับรายละเอียดเพื่อให้โมเดลที่ต้องการสอดคล้องกับ MONSIM ของ USBR

รูปแบบจำลองสมดุลของน้ำ ในอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ที่ใช้ใน Dynamic Programming Model อธิบายอยู่ในรูปที่ 1 ซึ่งเหมือนกับรูปแบบจำลองสมดุลของน้ำที่ใช้ใน MONSIM วิธีการวิเคราะห์ปัญหาใน Dynamic Programming Model กำหนดให้ปริมาณน้ำในอ่าง เมื่อสิ้นปีเป็น Operational Decisions ซึ่งกรณีนี้จะทำให้รู้ถึงปริมาตรน้ำในอ่างที่ต้นปีและสิ้นปี แล้วจึงใช้สมการสมดุลของน้ำในอ่าง คำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเพื่อให้ปริมาณน้ำที่เหลือในอ่างที่สิ้นปีมีค่าตามที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจึงทำการตรวจสอบว่าปริมาณน้ำที่ปล่อย



รูปที่ 1 ลักษณะระบบแม่น้ำโคโลราโด

จากอ่างมีค่าอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละอ่างเก็บน้ำ การเลือกปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีเป็น Operational Decisions ใน Dynamic Programming Model เพราะมีประสิทธิภาพในการคำนวณดีกว่ามาก

จากแนวความคิดดังกล่าวจึงสามารถเขียนสมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำได้ดังนี้

อ่างเก็บน้ำ Powell

$$RPT_i = (VPT_i - VPT_{i+1})*(1.0+BNKSTP)+QIP_i-DEP_i-EPT_i+ADJUST_i \quad .....(1)$$

โดยกำหนดว่า

$$0 \le RPT_i \le RPMAX \quad .....(2)$$

อ่างเก็บน้ำ Mead

$$RMT_i = (VMT_i-VMT_{i+1})*(1.0+BNKSTM)+QIM_i-EMT_i+RPT_i-SNDEP_i \quad .....(3)$$

โดยกำหนดว่า

$$0 \le RMT_i \le RMMAX \quad .....(4)$$

เมื่อ VPT_i, VPT_{i+1} = ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ Powell ที่ต้นปีที่ i และ i+1

$BNKSTP, BNKSTM$ = ส.ป.ส. ความจุตลิ่งของอ่างเก็บน้ำ Powell และ Mead

QIP_i = ปริมาณน้ำ ที่ไหลเข้าลุ่มน้ำตอนบนในปีที่ i

QIM_i = ปริมาณน้ำ ที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ Mead ในปีที่ i

DEP_i = ปริมาณน้ำ ที่ใช้ในลุ่มน้ำตอนบน ในปีที่ i

$SNDEP_i$ = ปริมาณน้ำ ที่ถูกนำไปใช้ใน Southern Nevada ในปีที่ i

EPT_i, EMT_i = ปริมาณ การระเหยจากอ่างเก็บน้ำ Powell และ Mead ในปีที่ i

$ADJUST_i$ = ค่าที่ใช้ปรับค่า QIP_i ให้เป็นปริมาณน้ำ ที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ Powell ในปีที่ i

การศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ CSUDP (Colorado State University Dynamic Programming) ซึ่งผู้ใช้ต้องเขียน SUBROUTINE 2 อันคือ SUBROUTINE OBJECT และ SUBROUTINE STATE SUBROUTINE STATE จะเกี่ยวกับสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ส่วน SUBROUTINE OBJECT จะเกี่ยวกับการคำนวณพลังงานกระแสไฟฟ้า ทั้งหมดที่ผลิตได้ โปรแกรม CSUDP และ SUBROUTINE ทั้ง 2 อยู่ในภาคผนวกของรายงาน Methodology for Developing Alternative Operation Strategies for The Colorado River Basin (Fontane, D.G. and V. Vudhivanich, 1985)

4. กลยุทธเผื่อเลือกที่พิจารณา

CSUDP Optimization Model ได้รับการออกแบบให้สามารถ Maximize หรือ Minimize วัตถุประสงค์อันใดอันหนึ่ง (Single Objective) ภายใต้ขีดจำกัด (Constraints) ของระบบแต่การปฏิบัติงานของลุ่มน้ำโคโลราโดเป็นแบบเอนกประสงค์ซึ่งการเขียนวัตถุประสงค์ทั้งหมดออกมา เป็นสมการทางคณิตศาสตร์เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก เช่น ถ้าพิจารณาว่าวัตถุประสงค์ที่ต้องการ คือการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell รวมกันได้มากที่สุด กรณีนี้โมเดลจะไม่สนใจว่าพลังงานไฟฟ้า จะผลิตจากอ่างเก็บน้ำไหน ผลิตเมื่อไร และอย่างไร จึงอาจเป็นไปได้ว่าโมเดลอาจกำหนดการปล่อยน้ำ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในบางปีและไม่ปล่อยน้ำเลยในบางปี ซึ่งถ้าเป็นอย่างนี้ผลที่ได้ จะไม่ถือว่าเป็นวิธีการปฏิบัติงานที่ดีที่สุด (Optimum Solution) เมื่อมีการพิจารณาวัตถุประสงค์ในการควบคุมน้ำท่วม และการใช้น้ำเพื่อความต้องการอื่น ๆ ร่วมด้วย

แนวทางในการศึกษานี้ คือการหาวัตถุประสงค์หลักสำหรับการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell โดยการพัฒนา Dynamic Programming Model ให้ Maximize (หรือ Minimize) วัตถุประสงค์อันใดอันหนึ่ง ขณะที่กำหนดให้วัตถุประสงค์อื่น ๆ เป็นขีดจำกัดของระบบ ซึ่งในการศึกษานี้กำหนดให้การผลิตพลังงานไฟฟ้า จากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell รวมให้มากที่สุดเป็นวัตถุประสงค์หลัก และกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมน้ำท่วม ให้เป็นขีดจำกัดของระบบโดยการกำหนดปริมาตรเก็บกักสูงสุดเพื่อให้แน่ใจว่า อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรพอสำหรับการควบคุมน้ำท่วม และวัตถุประสงค์ในการใช้น้ำเพื่อความต้องการอื่น ๆ จะกำหนดเป็นขีดจำกัดเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยน้ำขั้นต่ำสุด

ถ้ากำหนดขีดจำกัดใน Dynamic Programming เป็นแบบ "ฝ่าฝืนไม่ได้ (Inviolate Constraints)" อาจเป็นไปได้ที่โมเดลจะหาคำตอบไม่ได้ (Infeasible Solution) เช่น กรณีของปีที่แล้งมาก ๆ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าว ขีดจำกัดเกี่ยวกับการปล่อยน้ำ จะกำหนดด้วยฟังก์ชั่นค่าปรับ (Penalty Function) เพื่อบังคับการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามขีดจำกัดที่กำหนด ถ้าการปล่อยน้ำจากอ่างอยู่ในช่วงที่กำหนด จะไม่ถูกปรับแต่ถ้าการปล่อยน้ำจากอ่างมากกว่าหรือ

น้อยกว่าช่วงค่าที่กำหนดจะถูกปรับ ค่าปรับจะขึ้นอยู่กับว่ามีการฝ่าฝืนข้อกำหนดของระบบมากน้อยเท่าใด ด้วยกลไกดังกล่าว Dynamic Programming อาจฝ่าฝืนข้อกำหนดถ้าจำเป็น แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมจะพยายามให้มีการฝ่าฝืนข้อกำหนดน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในการศึกษาของ WAPA (Labadie, J.W. and D.G. Fontane, 1982) ซึ่งกำหนดให้วัตถุประสงค์หลัก คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell รวมให้ได้มากที่สุด และกำหนดให้ปริมาตรน้ำในอ่าง และปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเป็นขีดจำกัดในการควบคุมน้ำท่วม และการใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ พบว่า Dynamic Programming Model ให้แนวทางการปล่อยน้ำและการเก็บกักน้ำ ที่เหมาะสมต่อการนำไปปฏิบัติงาน ดังนั้นเพื่อประเมินความอ่อนไหว ของปัญหาจากการกำหนดวัตถุประสงค์ จึงได้ทำการวิเคราะห์ โดยใช้วัตถุประสงค์ทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ กัน และเลือกใช้ค่าขีดจำกัดต่าง ๆ กัน

การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Dynamic Programming ส่วนใหญ่เลือกวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด อย่างไรก็ตาม ได้ทำการวิเคราะห์โดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อการทำให้ค่าต่ำสุดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในปีใด ๆ มีค่าสูงสุด (Maximize the minimum hydropower) วัตถุประสงค์นี้ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสม่ำเสมอในแต่ละปี เพื่อประเมินผลกระทบของขีดจำกัดเกี่ยวกับค่าต่ำสุดและสูงสุดในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ จึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมให้ได้สูงสุด โดยไม่ใส่ขีดจำกัดเกี่ยวกับค่าต่ำสุดและสูงสุดในการปล่อยน้ำ และสุดท้ายสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมน้ำท่วม ได้ใช้ CSUDP วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วัตถุประสงค์ เพื่อทำให้ผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ Mead และค่าสูงสุดในการปล่อยน้ำมีค่าต่ำสุด สำหรับกรณีนี้ไม่ได้กำหนดขีดจำกัดเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่ได้คำนวณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้

สำหรับแต่ละทางเลือก ที่กล่าวถึงได้ทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบปริมาตรเก็บกัก และปริมาณน้ำที่ปล่อยที่เหมาะสมของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ซึ่งการวิเคราะห์ปรากฏผลลัพธ์ของแต่ละทางเลือกไม่แตกต่างกัน ยกเว้นทางเลือกซึ่งไม่ได้กำหนดขีดจำกัดเกี่ยวกับปริมาณน้ำ ที่ปล่อยจากอ่าง สำหรับกรณีซึ่งกำหนดขีดจำกัด เกี่ยวกับการปล่อยน้ำจากอ่างนั้น วัตถุประสงค์ เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด และวัตถุประสงค์เพื่อการทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำสุด ที่ผลิตได้ในแต่ละปีมีค่าสูงสุด ให้ผลลัพธ์เหมือนกันทุกประการทั้งนี้เพราะขีดจำกัดเกี่ยวกับการปล่อยน้ำจากอ่างประกอบกับประสิทธิภาพ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งต้องการเฮดสูงสุด มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์มากกว่าวัตถุประสงค์ที่ใช้ ครั้นเมื่อยกเลิกขีดจำกัดเกี่ยวกับค่าสูงสุดและต่ำสุดในการปล่อยน้ำ จะทำให้พลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้มากขึ้นเล็กน้อย และวัตถุประสงค์ เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมให้ได้สูงสุด จะให้ผลต่างจากวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ค่าต่ำสุด ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าปีใด ๆ มีค่าสูงสุดอย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่าง สำหรับกรณีที่ไม่มีขีดจำกัดเกี่ยวกับการปล่อยน้ำไม่แตกต่าง จากกรณีซึ่งมีขีดจำกัดเกี่ยวกับการปล่อยน้ำทั้งนี้เพราะขีดจำกัดในการปล่อยน้ำไม่ใช่ขีดจำกัดที่แท้จริงต่อศักยภาพ

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี

การวิเคราะห์ ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อ การควบคุมน้ำท่วม ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวัตถุประสงค์ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำหนดขีดจำกัดในการปล่อยน้ำ ทั้งนี้เพราะค่าปรับที่ใช้เมื่อมีการฝ่าฝืนขีดจำกัด ในการปล่อยน้ำมีผลโดยตรงต่อวัตถุประสงค์ เพื่อการควบคุมน้ำท่วม เนื่องจากกลยุทธเพื่อเลือกที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ผลลัพธ์ เช่นเดียวกันจึงเลือกวัตถุประสงค์ เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด และมีขีดจำกัดเกี่ยวกับ การปล่อยน้ำเป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จาก MONSIM และ CRSS

เพื่อให้ผลการศึกษาจาก CSUDP โมเดลสามารถนำมาเปรียบเทียบกับ ผลการศึกษาจาก MONSIM และ CRSS ได้ จึงกำหนดให้ปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีที่ 15 ที่ใช้ใน CSUDP มีค่าเหมือนกับค่าจาก MONSIM และ CRSS การกำหนดค่าปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีที่ 15 ใน CSUDP มีผลกระทบต่อรูปแบบการเก็บกัก และการปล่อยน้ำจากอ่างยกตัวอย่างเช่น ถ้าปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีที่ 15 มีค่าน้อย Dynamic Programming จะปล่อยน้ำจำนวนมากในตอนช่วงสุดท้ายของช่วงเวลา 15 ปี สำหรับอนุกรมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างแบบน้ำเฉลี่ยถึงแบบน้ำมากการกำหนดปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีที่ 15 จะมีผลกระทบต่อรูปแบบการเก็บกักและการปล่อยน้ำในช่วง 3-5 ปีสุดท้ายของช่วง 15 ปีที่ใช้ทำการวิเคราะห์ สำหรับอนุกรมน้ำแห้งการกำหนดปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีที่ 15 จะมีผลกระทบช่วง 5-10 ปีสุดท้าย

5. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก Optimization และ Simulation Model

ผลลัพธ์จาก CSUDP คือปริมาตรเก็บกักและปริมาณการปล่อยน้ำสำหรับอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ของแต่ละปีตลอดช่วงเวลา 15 ปี วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการศึกษาคือการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell รวมให้ได้สูงสุด อนุกรมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ 17 อนุกรมซึ่ง USBR พัฒนาขึ้นมาได้ถูกนำมาวิเคราะห์ใน CSUDP Model ลักษณะและขนาดปริมาณการไหลของ 17 อนุกรมแสดงอยู่ในตารางที่ 1 สำหรับการเปรียบเทียบ มุ่งเน้นเฉพาะผลการวิเคราะห์อนุกรมน้ำมากที่สุด ในประวัติการณ์ (Historical Wettest) อนุกรมน้ำเฉลี่ย (Historical Mean) และอนุกรมน้ำแห้งที่สุดในประวัติการณ์ (Historical Driest) และในการวิเคราะห์ทุกแบบกำหนดว่าปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ที่ต้นปี 1985 มีค่าเท่ากับ 24,000 ล้านเอเคอร์-ฟุต

CSUDP Model ให้ลักษณะการปล่อยน้ำและการเก็บกักน้ำ สำหรับอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell ดังแสดงในรูปที่ 2(a)-2(d) ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะการปล่อยน้ำสำหรับอ่างเก็บน้ำทั้ง 2 มีค่าขึ้น ๆ ลงรอบ ๆ 13 ล้านเอเคอร์-ฟุต/ต่อปี สำหรับอนุกรมน้ำมากที่สุดในประวัติการณ์(Hydrology No.1) ส่วนอนุกรมน้ำเฉลี่ย (Hydrology No. 8) โมเดลพยายามที่จะเก็บกักน้ำให้เต็มอ่าง ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยยอมให้การปล่อยน้ำมีค่าผันแปรระหว่างขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุดในการปล่อยน้ำ สำหรับอนุกรมน้ำแห้งที่สุด ในประวัติการณ์ (Hydrology No.17) ลักษณะการปล่อยน้ำแสดงให้เห็นว่า โมเดลพยายามเก็บกักน้ำให้เต็มอ่างให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังแสดงในรูปที่ 2(b) ปริมาตรน้ำในอ่างที่สิ้นปีสุดท้ายที่กำหนดไว้มีผลที่สำคัญต่อรูปแบบ การเก็บกักน้ำในช่วง 10 ปีสุดท้าย ลักษณะการ

เก็บกักและการปล่อยน้ำ สำหรับอ่างเก็บน้ำทั้งสองมีลักษณะค่อนข้างเหมือนกัน ทั้งนี้เพราะวัตถุประสงค์ในการปฏิบัติงาน คือพยายามให้อ่างเก็บน้ำทั้งสองอยู่ในภาวะสมดุลซึ่งวัตถุประสงค์นี้ถูกกำหนดไว้ใน CSUDP

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก CSUDP และ MONSIM Model สำหรับทั้ง 17 อนุกรม ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก CSUDP ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าที่ผลิตได้จาก MONSIM แต่ผลต่างมีค่าไม่เกิน 3 เปอร์เซนต์ จึงถือว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากทั้งสองโมเดลมีค่าใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เพราะทั้ง 2 โมเดล ใช้สมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นอันเดียวกันและใช้ปริมาตรน้ำในอ่าง เมื่อเริ่มและสิ้นสุดการวิเคราะห์เหมือนกัน

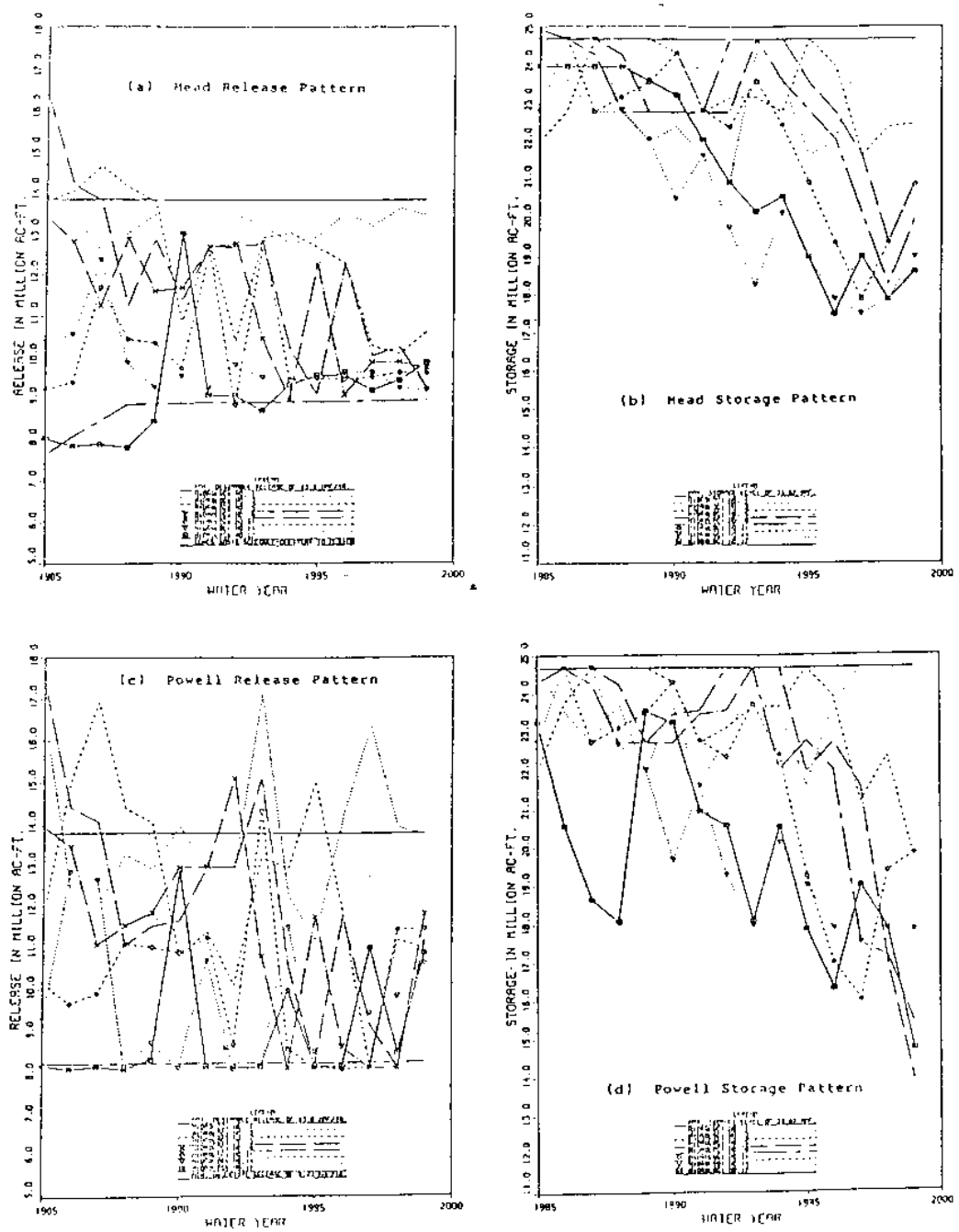
ตารางที่ 1 อนุกรมปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำ Lees Ferry

(แหล่งที่มา : USBR,1984 Colorado River Operation Study Report)

WATER YEAR	HYDROLOGY NUMBER																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1985	22.00	12.95	18.72	14.21	22.70	21.00	14.50	17.92	18.40	14.66	15.51	15.01	12.72	11.51	8.19	13.28	13.20
1986	14.84	21.93	17.62	16.80	18.67	22.61	9.52	11.72	14.64	7.90	13.91	14.34	12.51	20.16	19.59	11.86	8.37
1987	14.98	22.70	21.50	7.90	18.34	13.19	16.86	9.38	15.06	15.69	11.06	15.81	6.70	16.90	19.47	7.55	9.80
1988	19.08	18.67	16.97	20.67	14.64	16.72	9.35	18.82	17.82	12.16	15.92	23.43	13.67	9.23	14.67	12.64	11.51
1989	14.47	18.34	18.44	14.08	13.41	20.94	12.59	19.43	17.18	5.32	15.88	11.58	9.13	11.98	7.70	12.78	20.16
1990	21.07	14.64	22.12	12.69	16.11	15.89	14.77	13.62	20.09	18.19	16.65	23.69	14.19	9.25	17.88	13.06	16.90
1991	14.14	13.41	15.02	17.03	18.55	18.60	14.09	15.51	20.45	12.21	13.32	14.27	12.04	17.77	18.77	12.71	9.23
1992	19.19	16.11	16.63	16.90	17.58	19.40	12.61	13.91	14.67	16.57	12.49	8.76	18.59	9.26	15.21	10.11	11.98
1993	23.85	18.55	11.49	18.90	21.41	11.91	22.10	11.06	10.89	13.84	20.90	12.81	17.96	10.80	10.04	15.13	9.25
1994	15.75	17.58	21.40	21.07	15.28	11.16	12.17	15.92	15.38	19.33	11.20	18.95	10.97	16.87	11.47	16.61	17.77
1995	12.95	21.41	15.39	17.66	8.63	18.76	22.97	15.88	8.10	14.41	8.37	5.50	15.53	11.62	9.68	10.64	9.26
1996	21.93	15.28	10.73	19.36	17.55	16.35	15.86	16.66	14.66	20.85	9.60	12.13	21.75	11.81	10.75	15.36	10.80
1997	22.70	8.63	11.48	18.11	12.13	11.82	17.99	13.32	9.05	19.89	11.51	19.17	16.95	13.51	15.24	22.21	18.67
1998	18.67	17.55	14.24	15.20	6.63	7.34	22.65	12.49	17.69	17.05	20.16	6.51	7.33	14.85	12.77	10.85	11.62
1999	18.34	12.13	17.05	18.67	12.28	12.41	20.30	20.90	11.85	17.78	16.90	11.54	23.45	15.34	13.09	17.54	11.81
AVG.	18.26	16.66	16.62	16.62	15.59	15.87	15.89	15.07	15.06	15.05	14.24	14.23	14.23	13.52	13.49	13.49	12.57

HYDROLOGY No. 1 WETTEST HISTORICAL PERIOD 1909-1923
" " 2 UPPER DECILE - HISTORIC 1910-1935
" " 3 UPPER DECILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT BEGINNING OF PERIOD
" " 4 UPPER DECILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT END OF PERIOD
" " 5 UPPER QUARTILE - HISTORIC 1921-1935
" " 6 UPPER QUARTILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT BEGINNING OF PERIOD
" " 7 UPPER QUARTILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT END OF PERIOD
" " 8 MEAN - HISTORIC 1938-1952
" " 9 MEAN - SYNTHETIC, WET YEARS AT BEGINNING OF PERIOD
" " 10 MEAN - SYNTHETIC, WET YEARS AT END OF PERIOD
" " 11 LOWER QUARTILE - HISTORIC 1944-1958
" " 12 LOWER QUARTILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT BEGINNING OF PERIOD
" " 13 LOWER QUARTILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT END OF PERIOD
" " 14 LOWER DECILE - HISTORIC 1956-1970
" " 15 LOWER DECILE - SYNTHETIC, WET YEARS ST BEGINNING OF PERIOD
" " 16 LOWER DECILE - SYNTHETIC, WET YEARS AT END OF PERIOD
" " 17 DRIEST HISTORICAL PERIOD 1953-1967

NOTE : Hydrologic sequences 2-16 were chosen or generated to closely approximate the specified flow levels. Obtaining exact flow levels was not always possible.

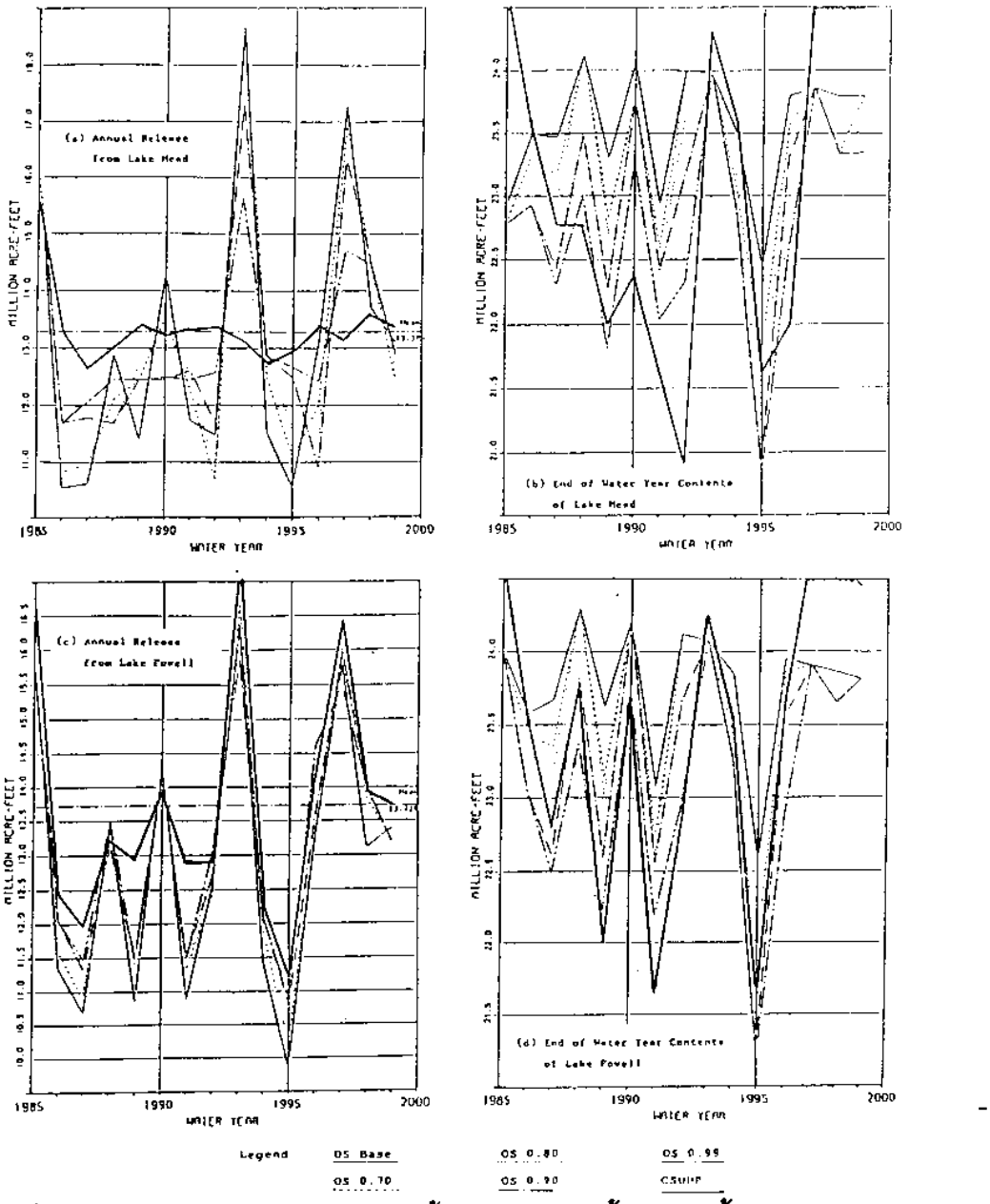


รูปที่ 2 รูปแบบการปล่อยน้ำและรูปแบบการเก็บกักน้ำสำหรับอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell จาก CSUDP

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell รวมกันมีหน่วยเป็น GHW

Hydrology No.	CSUDP	MONSIM (0.85)*	Difference (%)
1	185,170	182,430	1.5
2	173,230	171,660	0.9
3	168,723	169,095	-0.2
4	170,774	169,215	0.9
5	165,440	163,260	1.3
6	166,227	164,670	0.9
7	155,703	153,855	1.2
8	160,491	158,310	1.4
9	158,398	156,570	1.2
10	146,902	146,460	0.3
11	143,255	142,635	0.4
12	150,649	147,495	2.0
13	137,653	136,540	1.5
14	134,510	133,170	0.9
15	139,119	139,140	-0.02
16	129,449	126,120	2.6
17	124,502	122,655	1.5

* หมายเหตุ : 0.85 หมายถึงมีความน่าจะเป็น 85 % ที่กลยุทธในการปฏิบัติงานสามารถจัดการกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างตามธรรมชาติโดยไม่ต้องระบายน้ำทิ้งนอกเหนือจากที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบรูปแบบการปล่อยน้ำและการเก็บกักน้ำของอ่างน้ำ Mead และ Powell ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วย CSUDP กับผลจาก CRSS สำหรับ Hydrology No.1(Historic Wettest)

ผลการวิเคราะห์ด้วย CSUDP ซึ่งใช้วัตถุประสงค์ เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell รวมกันให้ได้มากที่สุด ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จาก CRSS ตัวอย่างการเปรียบเทียบลักษณะการเก็บกักน้ำ และการปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell สำหรับอนุกรมน้ำมากที่สุด (Hydrology No. 1) แสดงอยู่ในรูปที่ 3(a) - 3(d) การเปรียบเทียบลักษณะการเก็บกักน้ำ และการปล่อยน้ำจากอ่างของทั้ง 2 อ่างเก็บน้ำ สำหรับอนุกรมอื่น ๆ ดูได้จากรายงานของ Fontane, D.G. and V. Vudhivanich (1985)

โดยทั่ว ๆ ไป CSUDP จะให้ลักษณะการปล่อยน้ำจากอ่าง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีความแปรปรวนในแต่ละปีน้อยกว่าลักษณะการปล่อยน้ำจากอ่าง และการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งได้จาก CRSS ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบที่ CSUDP รู้ปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างล่วงหน้า สำหรับการวิเคราะห์ในสภาพน้ำมาก (No.1) ในรูปที่ 3(a) ลักษณะการปล่อยน้ำจากอ่างจาก CSUDP จะมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 12.6 ถึง 15.7 ล้านเอเคอร์-ฟุต ต่อปี ขณะที่ CRSS ซึ่งใช้กลยุทธการปฏิบัติงานที่มีความน่าจะเป็น 0.99 มีการปล่อยน้ำระหว่าง 11 ถึง 18 ล้านเอเคอร์-ฟุตต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่า CSUDP ให้ลักษณะการปล่อยน้ำ ซึ่งมีการแปรปรวนน้อยกว่าสำหรับสภาพน้ำอย่างเดียวกัน เนื่องจาก CSUDP มีขีดความสามารถ ในการรู้ปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างล่วงหน้า จึงสามารถเลือกรูปแบบการปล่อยน้ำจากอ่าง ซึ่งมีการฝ่าฝืนขีดจำกัดสูงสุดในการปล่อยน้ำ(13.8 ล้านเอเคอร์-ฟุตต่อปี) แบบครั้งละน้อย ๆ แต่หลายครั้ง ซึ่งเป็นการดีกว่าการฝ่าฝืนขีดจำกัดครั้งละมาก ๆ ถึงแม้จะฝ่าฝืนเพียงไม่กี่ครั้ง ทั้งนี้เป็นผลจากการใช้ค่าปรับเมื่อมีการฝ่าฝืนขีดจำกัดสูงสุดในการปล่อยน้ำ ค่าปรับจะเพิ่มด้วยอัตราก้าวหน้าตามขนาดของการฝ่าฝืนขีดจำกัด

สำหรับสภาพน้ำเฉลี่ย (No. 8) ซึ่งถึงแม้ว่าลักษณะการปล่อยน้ำจาก CSUDP และ CRSS จะเหมือนกัน แต่การปล่อยน้ำในแต่ละปีจาก CSUDP มีลักษณะที่ราบเรียบกว่า ส่วนสภาพน้ำที่แห้งมากที่สุด ในประวัติการณ์ (No. 17) CRSS ให้การปล่อยน้ำที่มีลักษณะราบเรียบกว่า CUSDP โมเดลมีการปล่อยน้ำที่มีการแปรปรวนมากกว่า สำหรับอนุกรมน้ำแห้ง เพราะ CSUDP รู้ปริมาณการไหลล่วงหน้าจึงกำหนดให้มีการปล่อยน้ำมากกว่าในหลาย ๆ ปี ที่ทำการวิเคราะห์

การเก็บกักน้ำ ของอ่างเก็บน้ำ Mead มีลักษณะกลับกันกับรูปแบบการปล่อยน้ำ คือ ปริมาตรน้ำที่เก็บกักมีการผันแปรขึ้น ๆ ลง ๆ มากเมื่อการปล่อยน้ำมีลักษณะราบเรียบ ยกเว้น กรณีสภาพน้ำมากที่สุดซึ่งผลจากทั้งสองโมเดลมีลักษณะคล้าย ๆ กัน

ตัวอย่างการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีรวม ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วย CSUDP และ CRSS สำหรับอนุกรมน้ำมากที่สุด แสดงอยู่ในตารางที่ 3 (สำหรับอนุกรมอื่นดู Fontane, D.G. and V. Vudhivanich, 1985) ซึ่งการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าโดยทั่ว ๆ ไป พลังงานไฟฟ้ารายปีที่ได้จาก CSUDP มีการแปรปรวนในแต่ละปีน้อยกว่าที่ได้จาก CRSS ยกเว้นสำหรับสภาพน้ำแห้งที่สุด และ เมื่อพิจารณาถึงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอด 15 ปี พบว่า CSUDP ให้ค่ามากกว่า CRSS ยกเว้นกรณีสภาพน้ำมากที่สุด (No. 1) กรณีนี้พลังงานไฟฟ้าจาก CSUDP น้อยกว่า CRSS เล็กน้อย สำหรับสภาพน้ำมากที่สุดนี้คาด

ว่าเป็นผลจาก CRSS ใช้ช่วงเวลา 1 เดือน ในการวิเคราะห์ ขณะที่ CSUDP ใช้ช่วงเวลา 1 ปี และการแบ่งปริมาตรเก็บกักเป็นช่วงกว้าง ๆ ใน CSUDP เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี (GWH) ที่ผลิตได้จากอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell จาก CSUDP กับ CRSS สำหรับ Hydrology No.1

	CRSS					CSUDP
Year	OS Base	OS 0.70	OS 0.80	OS 0.90	OS 0.99	
1985	14900	15100	15100	15100	15100	12793
1986	10400	10500	10850	11250	11250	12807
1987	10150	10350	10400	10850	11000	12621
1988	12450	12050	11600	11500	12100	12299
1989	10700	11450	11650	11350	11250	11475
1990	13450	12950	12800	12350	12350	12175
1991	10750	11200	11450	11450	11500	12482
1992	11350	10950	10900	11400	11900	12145
1993	16500	16700	16500	16000	14900	12258
1994	11050	11800	12000	12000	12000	12359
1995	9700	10000	10800	10900	11050	12335
1996	12200	11600	11350	11200	12350	12459
1997	15850	15750	15650	15350	14200	11800
1998	12850	13550	13650	13650	13650	12424
1999	12700	12350	12400	12500	12500	12736
รวม	185,000	186,300	187,100	186,900	186,950	185,170

หมายเหตุ : OS Base = Base or Common Operating Strategy
OS 0.70 = 0.70 Operating Strategy

6. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษามีข้อสรุป ที่สำคัญ 3 ประการคือ ประการแรกปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ Mead รายปี สำหรับทั้ง 17 อนุกรมสภาพน้ำที่วิเคราะห์ มีค่ามากกว่าความต้องการใช้น้ำ ทางด้านท้ายน้ำขั้นต่ำสุดอนุกรมน้ำมากที่สุดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเฉลี่ย 13.4 ล้านเอเคอร์-ฟุตต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการขั้นต่ำสุด (9.0 ล้านเอเคอร์-ฟุตต่อปี) ถึง 49 เปอร์เซนต์ อนุกรมน้ำน้อยที่สุด ให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเฉลี่ย 9.11 ล้านเอเคอร์-ฟุตต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการขั้นต่ำสุดอยู่ 1 เปอร์เซนต์ เมื่อ

พิจารณาลักษณะการเก็บกักน้ำในรูปที่ 2(b) และ 2(d) จะเห็นได้ว่าสามารถจะปล่อยน้ำจากอ่างมากกว่าความต้องการ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใด ๆ ตรงกันข้ามการปล่อยน้ำเพิ่มมากกว่าความต้องการขั้นต่ำสุด จะก่อให้เกิด ผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม และลดปริมาณการไหลล้นอ่าง หรือ การระบายน้ำทิ้งโดยไม่ผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ประการที่ 2 คือผลการวิเคราะห์ด้วย Optimization Model (CSUDP) ใกล้เคียง และสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วย Simulation Model(MONSIM และ CRSS) คือ แนะนำให้มีการปล่อยน้ำมากกว่าความต้องการขั้นต่ำ ทั้งนี้เพราะ CSUDP MONSIM และ CRSS มีพื้นฐานคล้าย ๆ กัน คือ CSUDP รู้ปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างล่วงหน้า ส่วนกลยุทธการปฏิบัติงานที่ USBR พัฒนาขึ้นมาใช้ใน MONSIM และ CRSS ใช้การคาดคะเนโอกาสความน่าจะเป็นของน้ำนอง และนำมากำหนดการปล่อยน้ำ ถึงแม้ว่า CSUDP โมเดลจะให้แนวทางการปฏิบัติงาน ที่ราบเรียบสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากการรู้ปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างล่วงหน้า แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การเก็บกักน้ำและการปล่อยน้ำมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

ข้อสรุปประการสุดท้ายคือ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทาง Optimization ยังไม่สามารถระบุวิธีการปฏิบัติงานประจำปีที่ดีที่สุด หรือ ไม่สามารถบอกได้ว่ากลยุทธการปฏิบัติงานที่ USBR กำลังทดสอบอันไหนดีกว่ากัน โดยทั่ว ๆ ไปผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Optimization ใกล้เคียงกับกลยุทธการปฏิบัติงานที่ระดับความน่าจะเป็นสูงกว่า สำหรับสภาพน้ำเฉลี่ยถึงสภาพน้ำมาก CSUDP ให้ผลใกล้เคียงกับกลยุทธการปฏิบัติงานที่ระดับความน่าจะเป็นสูง สำหรับสภาพน้ำน้อย CSUDP ให้ผลซึ่งบางช่วงใกล้เคียงกับกลยุทธการปฏิบัติงาน ที่ระดับความน่าจะเป็นสูง แต่บางช่วงให้ผลซึ่งใกล้เคียงกับกลยุทธการปฏิบัติงาน ที่ระดับความน่าจะเป็นต่ำ ความไม่คงเส้นคงวา สำหรับกรณีสภาพน้ำน้อยเป็นผลเนื่องจากการที่ CSUDP รู้ปริมาณการไหลของน้ำเข้าอ่างล่วงหน้า

จากผลการศึกษานี้ ขอเสนอแนะว่าควรพัฒนา CSUDP Model ซึ่งปัจจุบันเป็นโมเดลที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเป็นรายปี ให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเป็นรายเดือนซึ่งจะทำให้สามารถ นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจาก CRSS ได้โดยตรง ถึง แม้ว่าจากการศึกษาครั้งนี้ CRSS ให้ผลใกล้เคียงกับผลจาก CSUDP แต่การวิเคราะห์ด้วย CSUDP เป็นรายเดือนอาจให้ผลที่แตกต่างกันได้โมเดลรายเดือนจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ หาแนวทางการปฏิบัติงานรายเดือน ซึ่งใช้เป็นเป้าหมายในการเก็บกัก และปล่อยน้ำจากอ่างได้ CSUDP โมเดลซึ่งใช้งานอยู่ที่ USBR ในปัจจุบันมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ ข้อมูลรายเดือนได้ 8 ปี การพัฒนา CSUDP ให้เป็นโมเดลรายเดือน ต้องมีการเขียน Subroutine STATE และ OBJECT ใหม่ และแก้ไขตัวโปรแกรมหลักเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ควรได้มีการขยายโมเดล ให้สามารถวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำอื่น ๆ ในลุ่มน้ำรวมกับอ่างเก็บน้ำ Mead และ Powell

สุดท้ายขอเสนอแนะว่า ควรได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนากลยุทธการปฏิบัติงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับโอกาสความน่าจะเป็นตามแนวทางที่ปรากฏอยู่ในรายงานของ WAPA (WAPA, 1983)

7. เอกสารอ้างอิง

1. Fontane, D.G. and V. Vudhivanich, 1985, Methodology for Developing Alternative Operation Strategies for The Colorado River Basin, Report Submitted to US. Bureau Of Reclamation,Lakewood, Colorado.
2. Labadie, J.W. and D.G. Fontane, 1982 Development of a Methodology to Improve Opportunities for Exchange Hydropower Resources in the Western United States: Colorado River Basin Study Final Report Submitted to Western Area Power Administration,U.S. Department of Energy, Golden, Colorado.
3. United States Bureau of Reclamation, 1985, 1984 Colorado River Operation Study Report, Lakewood, Colorado.
4. Western Area Power Administration, 1983, Interim Report on Power Operations Studies for the Colorado River, Golden, Colorado.