

การพัฒนาแบบจำลองในการทำนายช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมูลบน (Development of critical period forecasting model for Mun Bon reservoir)

อารียา ฤทธิมา และ วรารุท วุฒิวิณิชย์¹
(Areeya Rittima and Varawoot Vudhivanich)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองในการทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมูลบน โดยอาศัยข้อมูลอุทกวิทยาที่มีช่วงความยาว 20, 30 และ 48 ปีและสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จำนวน 30 ชุดมาทำการศึกษา กำหนดสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำรายปีที่ระดับต่าง ๆ กันคือคิดเป็น 10%, 25%, 50%, 60%, 75%, 87% และ 100% ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างรายปี จากนั้นจำลองระบบอ่างเก็บน้ำโดยใช้หลักสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำวิเคราะห์ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ และประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานในรูปของ Reliability และ Resiliency ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองระบบนี้จะนำมาศึกษาความสัมพันธ์และนำมาใช้เปรียบเทียบแบบจำลองซึ่งผสมผสานทั้งแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นเข้าด้วยกัน เพื่อให้ผลการทำนายได้ค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมีความถูกต้องมากที่สุด ผลการศึกษาพบว่าเมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นความยาวของช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำจะสูงขึ้น และจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ข้อมูลอุทกวิทยาที่มีช่วงความยาว 48 ปี นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณความต้องการน้ำรายปีของระบบเท่ากับ 60% ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างรายปีจะให้ค่า Reliability และ Resiliency ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานและโอกาสที่ระบบจะกลับคืนสู่สภาวะปกติที่ไม่ก่อให้เกิดสภาวะความล้มเหลว ทั้งจากการขาดน้ำและไหลล้นอ่างค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับที่ค่าสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำอื่น ๆ และผลการพัฒนาแบบจำลองในการทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมูลบน โดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันกับสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ Reliability และช่วงความยาวของข้อมูลพบว่าให้ผลการทำนายค่อนข้างดีกล่าวคือ ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.97

Abstract

The critical period forecasting model of Mun Bon reservoir was developed. The lengths of hydrological records of 20, 30 and 48 years and 30 synthetic data series were used. In this study, the various demand ratio of 10%, 25%, 50%, 60%, 75%, 87% and 100% of annual inflow were assumed and then reservoir operation were simulated by using water balance approach. The critical period of reservoir was analyzed and the reservoir performance index in term of reliability and resiliency were evaluated. The simulated result were used to develop the critical period forecasting model in form of linear and non linear regression model in order to the output of forecasted critical period was correct. The result showed that the higher demand ratio provided the higher critical period length of reservoir and the length of data of 48 years gave the highest critical period. In addition, when the annual

¹ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

demand of these system was 60% of annual inflow, it gave the highest reliability and resiliency. This showed that the reservoir operations were quite reliable and the ability of the system to recover from the failure mode (shortage and spillage) was rather good. The critical period forecasting model of Mun Bon reservoir was the function of demand ratio, reliability and length of record. The performance of the forecasting model was quite well with R^2 of 0.97.

Keyword : Critical Period, Reliability, Resiliency, Mun Bon

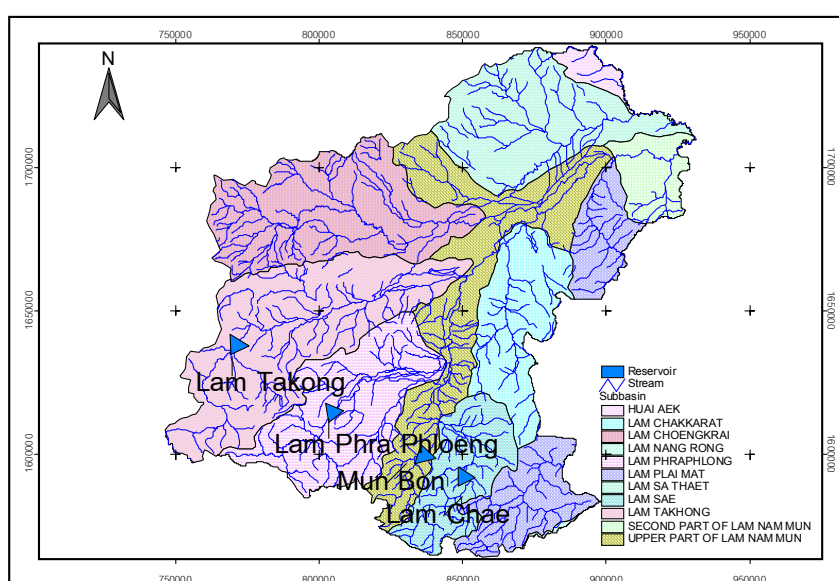
A Rittima : areeya_rit@hotmail.com

คำนำ

สาเหตุจากความไม่แน่นอนของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดความผันแปรของปริมาณน้ำที่จะสามารถนำไปใช้ได้จากระบบอ่างเก็บน้ำ และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่ระบบประสบภาวะวิกฤติ การศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองในการทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ สำหรับนำมาใช้ประกอบการวางแผนเก็บกักน้ำให้เกิดความเหมาะสมมากที่สุดในช่วงเวลาดังกล่าว โดยอาศัยเทคนิค Monte Carlo Simulation สำหรับพัฒนา Empirical Regression Model ของอ่างเก็บน้ำมูลบน

1. รายละเอียดของพื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำมูลบนเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบนซึ่งตั้งอยู่ในเขต ต.จระเข้หิน อ.ครบุรี จ. นครราชสีมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการชลประทานเป็นหลักกล่าวคือทำการจัดส่งน้ำให้แก่พื้นที่เกษตรกรรมทางฝั่งซ้ายของลำน้ำมูลในเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน นอกจากนี้ยังส่งน้ำไปใช้เพื่อการประปาในเขตพื้นที่ ต.จระเข้หิน อ.ครบุรี จ.นครราชสีมาด้วย ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำมูลบนแสดงในภาพที่ 1 และตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ลุ่มน้ำมูลตอนบน

ตารางที่ 1 ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำมูลบน

ข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำ		ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำ		ช่วงข้อมูล (ปี)
1. พื้นที่รับน้ำฝน	454 km. ²	1. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี	9.98 mcm.	20, 30, 48
2. ปริมาณน้ำเก็บกัก	141 mcm.	2. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี	93.89 mcm.	
3. ปริมาณน้ำต่ำสุด	7 mcm.	3. ปริมาณการระเหยและ	19.59 mcm.	
4. ปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปี	81.52 mcm.	การรั่วซึมรายปี		

2. คำจำกัดความ

วรารุช (2545) ช่วงวิกฤติ (Critical Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างและความต้องการน้ำจากอ่างมีความแปรปรวนและแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปจะหมายถึงช่วงเวลาที่น้ำไหลเข้าอ่างน้อยที่สุดจากข้อมูลที่มีอยู่

McMahon and Mein (1986) ช่วงวิกฤติ (Critical Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ในสถานะของน้ำเต็มอ่างเข้าสู่สถานะของการพร่องน้ำโดยไม่ก่อให้เกิดการไหลล้นอ่าง

U.S. Army Corps of Engineer (1975) ช่วงวิกฤติ (Critical Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ในสถานะของน้ำเต็มอ่างเข้าสู่สถานะของการพร่องน้ำและกลับคืนสู่สถานะของน้ำเต็มอ่างอีกครั้ง

3. Standardized Demand Parameter (m)

Hurst (1951) ได้เสนอแนวคิด Standardized Demand Parameter (m) เป็นคนแรกเพื่อศึกษาพฤติกรรมของอ่างเก็บน้ำ หลังจากนั้นได้มีนักวิจัยท่านอื่น ๆ ได้แก่ Vogel and Stedinger (1987), Vogel and Bolognese (1995) และ Vogel and McMahon (1996) ได้พัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้เป็นลำดับ ดังแสดงในสมการ

$$m = \frac{1 - \alpha}{CV} \quad (1)$$

โดยที่ α = สัดส่วนของปริมาณความต้องการน้ำรายปี (α = Annual Demand/Mean Annual Flow)

CV = สัมประสิทธิ์ความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี

4. ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

Hashimoto *et.al.* (1982) ได้ให้คำจำกัดความของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำไว้ดังนี้

4.1 Time-Based Reliability

เป็นโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถปฏิบัติงานบรรลุตามความต้องการของแต่ละวัตถุประสงค์ภายในช่วงเวลาพิจารณา

4.2 Resilience (β)

เป็นโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบจะกลับคืนจากสถานะความล้มเหลว สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\beta = \frac{1}{\left[\frac{FP}{FS}\right]} \quad (2)$$

โดยที่ FP = ช่วงเวลาทั้งหมดที่ระบบประสบภาวะล้มเหลว

FS = จำนวนครั้งทั้งหมดที่ระบบประสบภาวะล้มเหลวต่อเนื่องกัน

6. ความสัมพันธ์ระหว่าง Standardized Demand Parameter (m) กับช่วงวิกฤติ (Critical Period, CP)

McMahon and Mein (1986) ได้สร้างสมการเพื่อหาค่าช่วงเวลาวิกฤติ (CP, ปี) ในรูปความสัมพันธ์กับสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ และ Annual Time-Based Reliability สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำแบบ Over Year System โดยที่ข้อมูล Annual Flow มีลักษณะเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และมีการแจกแจงแบบ Normal หรือ Gamma Distribution เท่านั้น

ต่อมา Vogel and McMahon (1996) ได้เขียนสมการในรูปของ Standardized Demand Parameter (m) ดังนี้

$$CP = \frac{Z_p^2}{4m^2} \quad (3)$$

โดยที่ Z_p = ตัวแปรมาตรฐาน (Standard Variate) สำหรับการแจกแจงแบบ Normal/Gamma ซึ่งมีค่าเท่ากับ Annual Reliability ของอ่างเก็บน้ำที่โอกาสความน่าจะเป็นสะสม $P\%$

CP = ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ (ปี)

Vogel and McMahon (1996) ได้พัฒนาสมการที่ (3) ใหม่โดยนำตัวแปร Serial Dependence ของ Annual Flow มาใช้ในสมการดังนี้

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

โดยที่ p = Lag-1 Serial Correlation Coefficient

อย่างไรก็ตามสมการข้างต้นสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบอ่างเก็บน้ำแบบ Over Year System เท่านั้น

Montaseri and Adeloye (1999) ได้พัฒนา Empirical Regression Model โดยผสมผสาน Linear Regression Model และ Non-Linear Regression Model เข้าด้วยกันสำหรับทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำในประเทศอิหร่านและอังกฤษ โดยกำหนดให้ดัชนี m ช่วงความยาวของข้อมูลและ Time Based Reliability เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาได้สามารถทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำได้ค่อนข้างดี กล่าวคือให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.91 และ 0.92 ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยอุตุนิยมวิทยาของอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Meteorological-Hydrological Data) ได้แก่ ข้อมูลฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการระเหยและการรั่วซึม และข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำ (Physical Reservoir Data) ตลอดจนข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ รายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495-2542 รวม 48 ปี

2. ตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลที่จะนำมาใช้ศึกษาในเบื้องต้น ได้แก่ Mean (μ), Standard Deviation (σ), Coefficient of Variation (CV) และคำนวณค่า Lag-One Serial Correlation Coefficient (ρ_1)

3. ทำการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและข้อมูลฝนรายเดือนโดยใช้โปรแกรม HEC-4 จำนวน 30 ชุด

4. ศึกษาช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำตามคำจำกัดความที่ U.S. Army Corps of Engineer (1975) ได้ศึกษาไว้โดยการพล็อตอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำเก็บกักที่สิ้นสุดเวลา t ไต ๆ ตลอดจนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำและดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในรูปของ Reliability, Resiliency และตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

5. พัฒนาแบบจำลองในการทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period, CP) ซึ่งแยกรายละเอียดออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยดังนี้

5.1 พัฒนา Empirical Non-Linear Regression Model เพื่อทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ (CP) โดยใช้ดัชนี α เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ดังแสดงในสมการ

$$CP = a\alpha^b \quad (5)$$

โดยที่ CP = ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ (เดือน)

α = สัดส่วนของปริมาณความต้องการน้ำรายปี ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ $\alpha = 10\%, 25\%, 50\%, 60\%, 75\%, 87\%$ และ 100%

a, b = สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient)

5.2 ค่าพารามิเตอร์จากขั้นตอนแรกจะนำมาใช้เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) ใน Empirical Linear Regression Model โดยกำหนดให้ Reliability และช่วงความยาวของข้อมูลเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ดังแสดงในสมการ

$$\theta = \Phi + \phi Le + \delta Ra \quad (6)$$

โดยที่ θ = ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ a, b ที่ได้จากการประมาณค่าข้างต้น

Le = ช่วงความยาวของข้อมูล (ปี) ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ $Le = 20, 30$ และ 48 ปี

Ra = Time-Based Reliability ตามที่ Hashimoto *et.al.* (1982) ได้ศึกษาไว้

Φ, ϕ, δ = สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (Regression Coefficient)

ในขั้นตอนนี้จะอาศัยโปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ทำการ Trial and Error เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองที่ดีที่สุด

6. ทดสอบผลการทำนายค่าช่วงวิกฤติของระบบอ่างเก็บน้ำของแบบจำลองที่พัฒนา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลอุทกวิทยาที่นำมาใช้ศึกษา

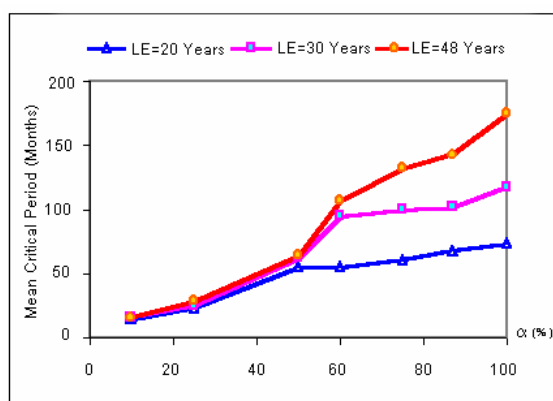
การศึกษานี้ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยารายเดือนได้แก่ ข้อมูลฝน และข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างขึ้นใหม่จำนวนอย่างละ 30 ชุด โดยกำหนดให้มีช่วงความยาวของข้อมูลเท่ากับ 20, 30 และ 48 ปี และพยายามคงไว้ซึ่งคุณสมบัติทางสถิติที่สำคัญให้เหมือนกับข้อมูลชุดเดิมที่มีอยู่กล่าวคือค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 และ 7.82 ล้านลูกบาศก์เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.99 และ 13.24 สำหรับข้อมูลฝนและข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างตามลำดับ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ และตัวแปรอื่น ๆ

ในขั้นตอนการศึกษาได้ทำการแปรผันสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ (α) ที่ระดับต่าง ๆ กันโดยอาศัยสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ ณ สภาวะปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำมูลบนซึ่งปริมาณความต้องการน้ำรายปีคิดเป็น 87% ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างรายปีเป็นเกณฑ์ ($\alpha = 87\%$) ทั้งในกรณีที่สัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นกล่าวคือกำหนด α เท่ากับ 100% และในกรณีที่สัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำน้อยกว่า ณ สภาวะปัจจุบันโดยกำหนด α เท่ากับ 10%, 25%, 50%, 60% และ 75% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้แปรผันช่วงความยาวข้อมูล (Le) ที่นำมาศึกษา 3 ช่วงข้อมูลด้วยกันได้แก่ 20, 30 และ 48 ปี สำหรับนำมาจำลองระบบ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ โดยแยกรายละเอียดของผลการศึกษาได้ดังนี้คือ

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ (CP)-สัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ (α)-ช่วงความยาวข้อมูล (Le)

ผลที่ได้จากการจำลองระบบดังกล่าวข้างต้นจะสามารถทราบช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยจากจำนวนชุดข้อมูลที่นำมาศึกษาทั้งหมดที่สัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำและช่วงความยาวของข้อมูลต่าง ๆ กันได้ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของระบบเพิ่มมากขึ้น ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำจะเพิ่มมากขึ้น และในทำนองเดียวกันเมื่อใช้ช่วงความยาวของข้อมูลที่ศึกษายาวขึ้น ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2

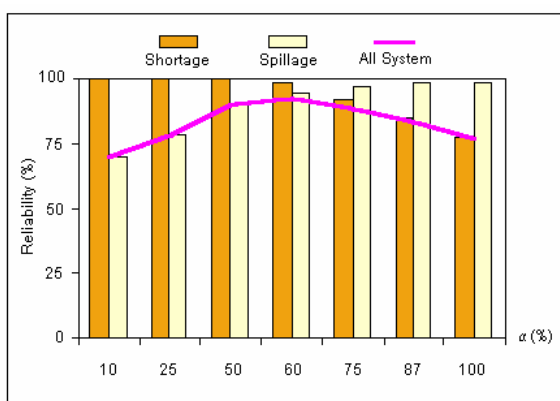


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง CP กับ α ที่ช่วงความยาวข้อมูลต่าง ๆ

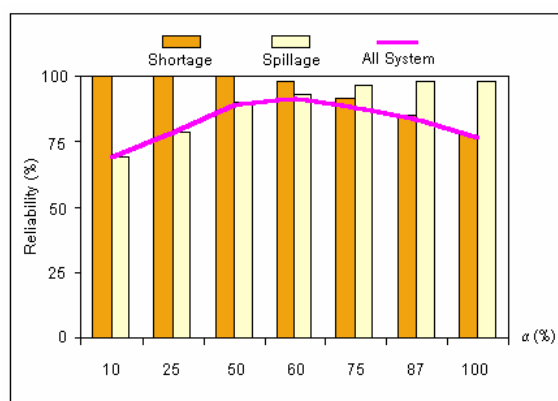
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ (α)-Reliability-Resiliency

ผลการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในรูปของ Reliability ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงสถานภาพของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำว่าสามารถตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำให้ได้รับความพึงพอใจได้มากน้อยแค่ไหนและ Resiliency ซึ่งเป็นดัชนีที่สะท้อนถึงโอกาสที่ระบบจะกลับคืนจากสภาวะความล้มเหลวทั้งจากสภาวะของการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างมีปริมาณมากน้อยแค่ไหน เพื่อหาความสัมพันธ์กับสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำพบว่า

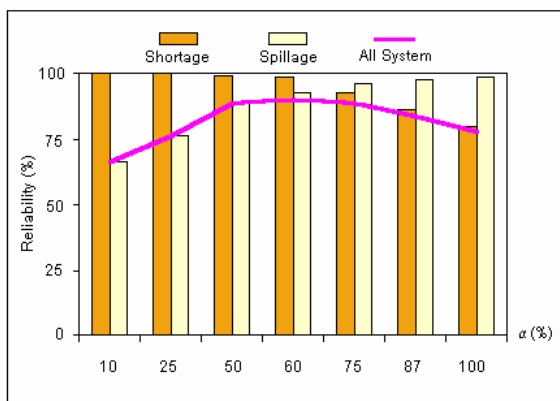
เมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำน้อยตั้งแต่ช่วง α เท่ากับ 10-50% Reliability ของการปฏิบัติงานเมื่อแยกพิจารณาเฉพาะสภาวะการขาดน้ำจะสูง ซึ่งหมายถึงโอกาสที่ระบบจะเกิดสภาวะการขาดน้ำค่อนข้างน้อยมาก ในขณะที่เมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่ระบบจะเกิดการขาดน้ำจะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ Reliability ของการปฏิบัติงานเมื่อแยกพิจารณาเฉพาะสภาวะการขาดน้ำเพียงอย่างเดียวจะมีค่าน้อยลง และเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้ง 3 ช่วงข้อมูลที่นำมาศึกษา ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาเฉพาะสภาวะการไหลล้นอ่างพบว่าเมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำน้อย Reliability ของการปฏิบัติงานจะค่อนข้างน้อย ซึ่งหมายถึงโอกาสที่ระบบจะเกิดการไหลล้นอ่างมีความถี่ค่อนข้างสูง ในขณะที่เมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่ระบบจะเกิดการไหลล้นอ่างจะน้อยลง ส่งผลให้ Reliability ของการปฏิบัติงานเมื่อแยกพิจารณาเฉพาะสภาวะการไหลล้นอ่างจะมีค่าสูง และเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้ง 3 ช่วงข้อมูลที่นำมาศึกษาดังแสดงในภาพที่ 3-5 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา Reliability ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้งระบบโดยครอบคลุมทั้งสภาวะของการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างพบว่าที่สัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของระบบเท่ากับ 60% Reliability ของการปฏิบัติงานทั้งระบบจะมีค่าสูงสุด และที่ค่าสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำสูง Reliability ของการปฏิบัติงานจะลดลงดังแสดงในภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำซึ่งมีแนวโน้มลดลง



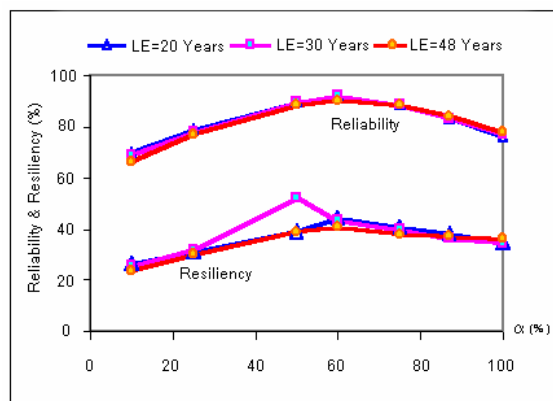
ภาพที่ 3 Reliability ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเมื่อ Le=20 ปี



ภาพที่ 4 Reliability ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเมื่อ Le=30 ปี



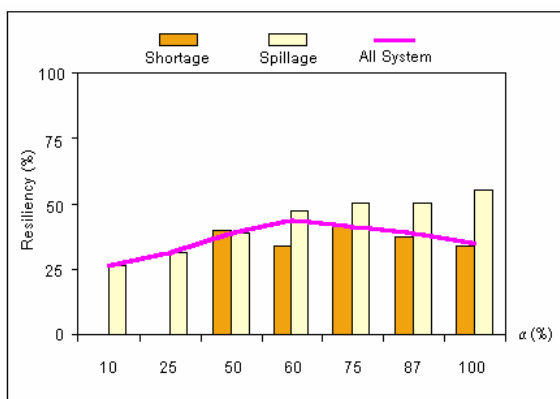
ภาพที่ 5 Reliability ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเมื่อ Le=48 ปี



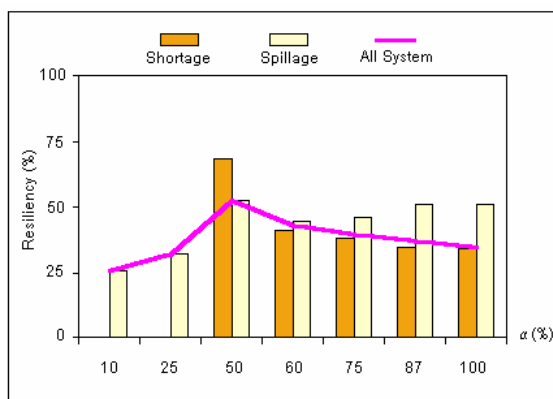
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Reliability, Resiliency กับ α ที่ช่วงความยาวข้อมูลต่าง ๆ

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณา Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำพบว่า เมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำน้อยตั้งแต่ช่วง α เท่ากับ 10- 25% Resiliency ของการปฏิบัติงานเมื่อแยกพิจารณาเฉพาะสภาวะการขาดน้ำจะไม่ทราบค่า ทั้งนี้เนื่องจากระบบไม่เกิดการขาดน้ำ และเมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น Resiliency ของการปฏิบัติงานมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงโอกาสที่ระบบจะสามารถกลับคืนจากสภาวะของการขาดน้ำไปสู่สภาวะปกติจะมีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ช่วงความยาวข้อมูลที่นำมาศึกษา และเมื่อพิจารณา Resiliency ของการปฏิบัติงานเฉพาะสภาวะของการไหลล้นอ่างพบว่า เมื่อสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น Resiliency ของการปฏิบัติงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าโอกาสที่ระบบจะสามารถกลับคืนจากสภาวะของการไหลล้นอ่างไปสู่สภาวะปกติจะมีแนวโน้มมากขึ้นทั้ง 3 ช่วงความยาวข้อมูลที่นำมาศึกษาดังแสดงในภาพที่ 7-9 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้งระบบพบว่าที่สัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของระบบเท่ากับ 50-60% Resiliency ของการปฏิบัติงานทั้งระบบจะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำที่ระดับต่าง ๆ

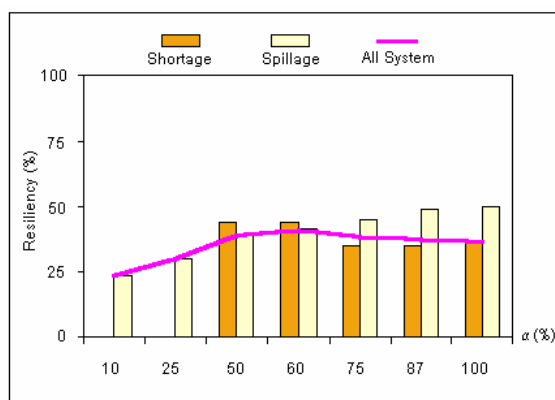
นอกจากนี้จากผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าช่วงความยาวของข้อมูลที่นำมาศึกษาไม่มีผลต่อการประเมินดัชนีค่า Reliability และ Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนักและยังมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันอีกด้วย



ภาพที่ 7 Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเมื่อ Le=20 ปี



ภาพที่ 8 Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเมื่อ Le=30 ปี



ภาพที่ 9 Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเมื่อ Le=48 ปี

3. ผลการพัฒนาแบบจำลองในการทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ

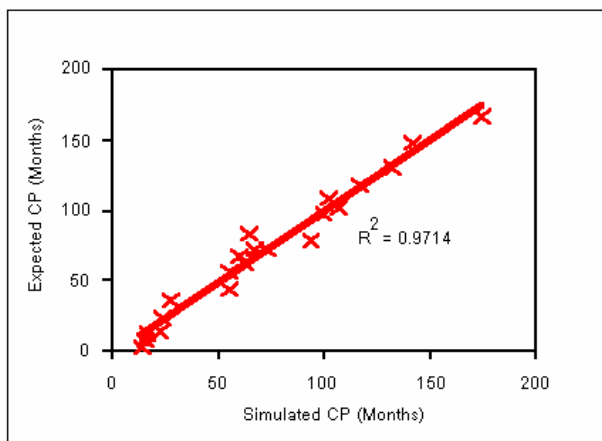
ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองระบบข้างต้นจะนำมาใช้ในการพัฒนา Empirical Regression Model โดยผสมผสานทั้ง Linear Regression Model และ Non-Linear Regression Model ในสมการที่ (5) และ (6) เข้าด้วยกันตามลำดับ สำหรับทำนายช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำเพื่อให้มีความถูกต้องมากที่สุด โดยกำหนดให้ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำเป็น Dependent Variable และเป็นฟังก์ชันกับสัดส่วนปริมาณความต้องการน้ำ (α) Time-Based Reliability ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (R_a) และช่วงความยาวของข้อมูลที่นำมาศึกษา (Le) จากนั้นทำการ Trial and Error เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของ Linear Regression Model ที่ทำให้ได้ค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใกล้เคียงกับช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองระบบมากที่สุด ผลที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมุลบนแสดงในสมการดังนี้คือ

$$CP = a\alpha^b = [\Phi_1 + \phi_1 Le + \delta_1 R_a] \alpha^{[\Phi_2 + \phi_2 Le + \delta_2 R_a]} \quad (7)$$

$$CP_{MB} = [-0.935088 + 0.009278 Le + 0.026546 R_a] \alpha^{[1.289687 - 0.000480 Le - 0.003221 R_a]} \quad (8)$$

4. ผลการทดสอบการทำนายค่าช่วงวิกฤติของระบบอ่างเก็บน้ำของแบบจำลองที่พัฒนา

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายได้นำแบบจำลองสำหรับทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมุลบนในสมการที่(8) มาทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้จะใช้พารามิเตอร์ค่าเดียวกันกับช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการจำลองระบบ (Simulated Critical Period) ซึ่งผลที่ได้จากการทำนายจะได้ค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำคาดการณ์ (Expected Critical Period) จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ของทั้งตัวแปรทั้ง 2 สำหรับผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำได้ค่อนข้างดี กล่าวคือให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9714 ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ผลการทำนายค่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำมูลบนโดยใช้ Empirical Regression Model

สรุปผลการศึกษา

ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำนับเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการนำมาใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อวางแผนการปฏิบัติอ่างเก็บน้ำให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการได้มากที่สุด ดังนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาจึงถืออำนาจประโยชน์สำหรับผู้บริหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งงานทางด้านการวางแผนและจัดส่งน้ำของโครงการชลประทาน ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่แนวทางการวางแผนเก็บกักน้ำให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำที่ระดับความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ นอกจากนี้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาแล้วยังค่อนข้างง่ายและรวดเร็วสำหรับนำไปใช้งานในทางปฏิบัติอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- วรารุณ วุฒินิธิชัย. 2545. **อุทกวิทยาทางวิศวกรรม**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 358 น.
- Hashimoto, T., J. R. Stedinger and D.P. Loucks. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water Resour. Res.** 18(1) : 14-20.
- Hurst, H. E. 1951. Long-term storage capacities of reservoirs. **Trans. Am. Soc. Civil. Engng.** 116 : 770-799.
- McMahon, T. A., and R. G. Mein. 1986. **River and Reservoir Yield**. Water Resource Publication.
- Montaseri, M. and A. J. Adeloye. 1999. Critical period of reservoir systems for planning purposes. **Journal of Hydrology**. 224 : 15-136.
- Vogel, R. M. and R. A. Bolognese. 1995. Storage-reliability-resilience-yield relations for over-year supply systems. **Water Resour. Res.** 31 : 645-654.
- Vogel, R. M. and J. R. Stedinger. 1987. Generalized storage-reliability-yield-relationships. **Hydrol.** 89 : 303-327.
- Vogel, R. M. and T. A. McMahon. 1996. Approximate reliability and resilience indices for over-year reservoirs fed by AR(1) Gamma and normal flows. **Hydrol. Sci. J.** 41(1) : 75-96.
- U.S. Army Corps of Engineer. 1975. **Hydrological Engineering Method for Water Resources Development, Reservoir Yield**. Hydrologic Engineering Center, Canada.