

ความสัมพันธ์ระหว่าง Storage-Yield-Resilience-Reliability ของอ่างเก็บน้ำมูลบน (Storage-Yield-Resilience-Reliability Relationship of Mun Bon Reservoir)

อารียา ฤทธิมา และ วรารุท วุฒินิชย์¹

(Areeya Rittima and Varawoot Vudhivanich)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Storage-Yield-Resilience-Reliability ของอ่างเก็บน้ำมูลบน ซึ่งทำให้ทราบถึงสถานะและพฤติกรรมของอ่างเก็บน้ำในสถานะของการปฏิบัติงานต่าง ๆ กัน โดยประเมินในรูปของดัชนีการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ Resilience และ Reliability ข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นข้อมูลอุทกวิทยารายปีของอ่างเก็บน้ำมูลบน จ.นครราชสีมา ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการระเหยและการรั่วซึม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495-2542 รวม 48 ปี และข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ โดยได้กำหนดค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน (m) เท่ากับ 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความต้องการน้ำคิดเป็น 100%, 87%, 74%, 60% และ 50% ของปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมด ณ สถานะปัจจุบันตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติงานโดยใช้ค่า m เท่ากับ 0.25 จะให้ค่า Reliability สูงสุดคือ 86.03% ซึ่งสูงกว่าการปฏิบัติงานในสถานะปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำมูลบนที่มีการปล่อยน้ำเท่ากับปริมาณความต้องการทั้งหมดคือมีค่า Reliability เพียง 67.53% ในขณะที่เมื่อค่า m อยู่ระหว่าง 0.50-1.00 จะให้ค่า Reliability อยู่ระหว่าง 51.20-82.24% เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะที่ปริมาณน้ำไหลลงอ่างมากกว่าความสามารถของอ่างที่จะรับได้ส่งผลให้ระบบประสบปัญหาการไหลล้นอ่าง การศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าการปฏิบัติงานในสถานะปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำมูลบนมีโอกาสเสี่ยงถึง 32.47% ที่ระบบจะประสบความล้มเหลวอันเนื่องมาจากการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงระบบการจัดการน้ำชลประทานเพื่อให้ความน่าเชื่อถือของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อไป

Abstract

The objective of this study was to identify the relationship among storage, yield, resilience and reliability of Mun Bon reservoir that illustrated the state and the behavior of water supply system in the various operations. The reservoir performance indicator was evaluated by using the concept of resilience and reliability. The annual hydrological data of Mun Bon Reservoir in Nakhon Ratchasima such as rainfall, inflow, evaporation and seepage during 1952-1999 were used in this study, and the annual water demand data of various activities. This study defined the performance index (m) of 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 that denoted the water demand of 100%, 87%, 74%, 60% and 47% of the total water demand at the real time, respectively. The result showed that the reservoir operation under

¹ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

the index m of 0.25 gave the highest reliability of 86.03% when compared with the reliability of 67.53% at the index m of 0.00 in the present operation practice of Mun Bon reservoir. The reliability of the system was 51.20-82.24% when operated under the index m between 0.50-1.00. Consequently, this study indicated that the risk of failure for Mun Bon reservoir operation was 32.47% because the inflow was higher than the available reservoir space therefore the spillage event usually would occur. The operation of Mun Bon reservoir should be improved in order to meet the allowable reliability in water management.

คำนำ

การทราบถึงสถานะและพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำนับเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้ปัญหาเพื่อนำไปสู่กระบวนการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงในทางปฏิบัติให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Storage-Yield-Resilience-Reliability ของระบบอ่างเก็บน้ำได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับจนถึงปัจจุบัน โดยมีการผสมผสานทั้งแบบจำลองทางอุทกวิทยาและแบบจำลองทางด้านสถิติศาสตร์มาช่วยในการศึกษาวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อเป็นเครื่องมือที่บ่งบอกสถานะและพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำในสถานะต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

1. ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำมูลบน

อ่างเก็บน้ำมูลบนตั้งอยู่ในเขต ต.จระเข้หิน อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน สามารถเก็บกักน้ำได้ 141 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อจัดส่งน้ำให้แก่พื้นที่เกษตรกรรมทางฝั่งซ้ายของลำน้ำมูลในเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน นอกจากนี้ยังส่งน้ำไปใช้เพื่อการประปาในเขตพื้นที่ ต.จระเข้หิน อ.ครบุรี จ.นครราชสีมาด้วย รายละเอียดของอ่างเก็บน้ำมูลบนแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของอ่างเก็บน้ำมูลบน

ลักษณะสำคัญ	อ่างเก็บน้ำมูลบน
1. พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	454
2. ปริมาณน้ำเก็บกัก (ล้านลูกบาศก์เมตร)	141
3. ปริมาณน้ำต่ำสุด (ล้านลูกบาศก์เมตร)	7
4. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (ล้านลูกบาศก์เมตร)	9.98
5. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี (ล้านลูกบาศก์เมตร)	93.89
6. ปริมาณการระเหยและการรั่วซึมรายปี (ล้านลูกบาศก์เมตร)	19.59
7. ปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปี (ล้านลูกบาศก์เมตร)	
-เพื่อการชลประทาน	76.72
-เพื่อการประปา	0.03
-เพื่อการระบายสู่ลำน้ำเดิม	4.80

2. ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoirs System Performance Indicators)

Hashimoto และคณะ (1982) ได้ศึกษาเรื่องดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานไว้ดังนี้

1) Reliability หมายถึงโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบประสบผลสำเร็จภายในช่วงเวลาที่กำหนดหรือช่วงเวลาที่ยาวแผนการปฏิบัติงาน

2) Resilience หมายถึงการที่ระบบจะกลับคืนจากสภาวะที่ประสบความล้มเหลวได้รวดเร็วแค่ไหน ถ้าระบบประสบความล้มเหลวเป็นระยะเวลานาน แสดงว่าระบบจะกลับคืนสู่สภาวะปกติช้า

3) Vulnerability หมายถึงขนาดความรุนแรงของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นกับระบบตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา เป็นการระบุว่าผลจากสภาวะความล้มเหลวของระบบนั้นรุนแรงเพียงใด

Hazen (1914) ได้เสนอแนะดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ (Index of Reservoir System Performance, m) โดยให้คำจำกัดความว่า

$$m = \frac{(1-\alpha)\mu}{\sigma} = \frac{(1-\alpha)}{C_v} \quad \text{-----}(1)$$

โดยที่ α = สัดส่วนความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีของระบบ

μ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี

C_v = Coefficient of Variation ของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี โดยที่ $C_v = \sigma/\mu$

Vogel และ Bolognese (1995) แสดงให้เห็นว่าระบบที่ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Annual Inflows) สามารถประมาณค่า r ได้จาก

$$r = P(Q_{t+1} \geq \alpha\mu \mid Q_t < \alpha\mu) \quad \text{-----}(2)$$

$$= P\left[\frac{Q_{t+1} - \mu}{\sigma} \geq \frac{\alpha\mu - \mu}{\sigma} \mid \frac{Q_t - \mu}{\sigma} < \frac{\alpha\mu - \mu}{\sigma} \right] \quad \text{-----}(3)$$

$$= P(Z_{t+1} \geq -m \mid Z_t > m) \quad \text{-----}(4)$$

โดยที่ r = ค่า Resilience ของระบบ

Q_t, Q_{t+1} = ปริมาณน้ำเก็บกักรวมกับปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างรายปีในช่วงเวลา t และ $t+1$ ตามลำดับ

m = ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ จากสมการที่ (1)

$$\text{จะได้} \quad r = P(Z_{t+1} < m \mid Z_t > m) \quad \text{-----}(5)$$

เมื่อ Z_t = ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน

Vogel และคณะ (1995) แสดงให้เห็นว่า Reliability ของระบบสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของ p และ $(1-q)$ โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$p = (1-q) \left[1 - \frac{rq}{1-q} \right]^{N-1} \quad \text{-----}(6)$$

โดยที่ p = ค่า Reliability ของระบบที่ไม่ก่อให้เกิดความล้มเหลวในช่วงเวลา N ปี

q = โอกาสความน่าจะเป็นของระบบที่จะเกิดความล้มเหลวในสภาวะปกติ (Steady State)

r = ค่า Resilience ของระบบที่ได้จากสมการที่ (2)

3. การพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่าง Storage-Reliability-Yield

Vogel และ Stedinger (1987) ได้ศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Storage-Reliability-Yield พบว่า ข้อมูล Storage ที่มีลักษณะการแจกแจงแบบ Log-Normal 3 parameter นั้น สามารถประมาณค่า p^{th} Quantile ของปริมาณน้ำเก็บกักที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานได้ดังนี้ คือ

$$\frac{S_p}{\sigma} = \tau_s + \exp(\mu_l + Z_p \sigma_l) \quad \text{-----}(7)$$

โดยที่

$$\mu_l = \ln \left[\frac{\mu_s - \tau_s}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_s^2}{(\mu_s - \tau_s)^2}}} \right] \quad \text{-----}(8)$$

และ

$$\sigma_l^2 = \ln \left[1 + \frac{\sigma_s^2}{(\mu_s - \tau_s)^2} \right] \quad \text{-----}(9)$$

เมื่อ μ_s = ค่าเฉลี่ยของค่า Storage

σ_s^2 = ค่าความแปรปรวนของค่า Storage

τ = ขอบเขตล่างของ S/σ

Z_p = p^{th} Quantile ของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน

และได้พัฒนาแบบจำลองการประมาณค่า (Model Estimation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง S_p/σ ในรูปของฟังก์ชันของค่า τ_s , μ_l , Z_p และ σ_l กับค่าดัชนี m , N , p_1 และ C_v ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้บ่งบอกถึงคุณลักษณะของข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่เข้ามาในระบบ รวมถึงปริมาณความต้องการน้ำ โดยแบบจำลองที่ใช้ประมาณค่าเพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในสมการที่ 10-12 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ a , b , c , d , e , f , g และ h ของแบบจำลองแสดงในตารางที่ 2

$$\mu'_s = \exp(a + bm) \alpha^c m^{\frac{m(d\rho_1 + eN)}{N}} \left(\frac{f + g \cdot \ln[m]}{1 - \rho_1} \right)^{\frac{1 + \rho_1}{1 - \rho_1} h \cdot \ln[N]} \quad \text{-----}(10)$$

$$\sigma_s'^2 = \exp \left[a + b\alpha + \frac{cN}{m} + \left(\frac{d}{N} + \frac{e}{m} \right) \left(\frac{1 + \rho_1}{1 - \rho_1} \right) N^f \cdot \ln[m] \right] \left(\frac{1 + \rho_1}{1 - \rho_1} \right)^{g \cdot \ln[n]} \quad \text{-----}(11)$$

$$\tau'_s = a\rho_1 + (bN + \frac{c(1 + \rho_1)}{1 - \rho_1}) \cdot \ln[m] + N \left[d + \frac{e}{m} + f \cdot m \cdot \ln[m] + g \cdot \ln \left(\frac{1 + \rho_1}{1 - \rho_1} \right) \right] \quad \text{-----}(12)$$

4. ดัชนีประเมินผลการปฏิบัติงานทางด้านวิศวกรรมชลประทาน

การประเมินผลระบบการจัดสรรน้ำของโครงการชลประทานใด ๆ จะมีค่าดัชนี Reliability มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100% ระบบการจัดการที่ดีจะมีค่า Reliability ประมาณ 100% (วรารุณ, 2541)

ตารางที่ 2 สรุปผลค่าสัมประสิทธิ์และ t-Ratio ที่ได้จากสมการการถดถอยของ μ_s , σ_s , τ_s

θ	μ_s		σ_s		τ_s	
	$\hat{\theta}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\sigma}$
a	0.237	38	-5.92	-283	0.467	14
b	-1.330	-161	4.89	180	-0.0398	-55
c	1.810	447	-0.000958	-31	0.189	51
d	-1.030	-47	10.00	101	-0.0332	-42
e	0.0062	60	-0.0342	-34	-0.00407	-40
f	0.369	205	-0.520	-196	0.00803	38
g	-0.0562	-81	0.421	219	-0.00403	-20
h	0.100	145	0.000	-	0.000	-

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สถิติข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นข้อมูลอุทกวิทยารายปีของอ่างเก็บน้ำมูลบนประกอบด้วย ข้อมูลฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการระเหยและการรั่วซึม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495-2542 รวม 48 ปี และข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด คำนวณโดยใช้โปรแกรม Wusmo Version 5.0 (ฉัตร, 2542)

2. ตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีได้แก่ Mean (μ), Standard Deviation (σ), Coefficient of Variation (Cv) และคำนวณค่า Lag-One Serial Correlation Coefficient (ρ_1) ของข้อมูล และทดสอบ Goodness of Fit ของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีด้วยฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Normal Distribution

3. วิเคราะห์ค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ (Index of Reservoir System Performance, m)

4. คำนวณค่าปริมาณน้ำเก็บกักรายปี (Annual Storage) โดยวิธี Cycling Sequent Peak Algorithm (Vogel และ Stedinger, 1987)

5. ทดสอบ Goodness of Fit ของข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักรายปีด้วยฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Log-Normal 3 Parameter โดยใช้โปรแกรม Hydstat มาช่วยในการวิเคราะห์

6. ประเมินค่าปริมาณน้ำเก็บกักรายปีโดยอาศัยแบบจำลองการประมาณค่า (Estimation Model) ในสมการที่ 7-12 ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ 5 เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Log-Normal 3 Parameter ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเก็บกักรายปีในรูปของค่าพารามิเตอร์ของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน และคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลต่าง ๆ

7. คำนวณค่าปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้เต็มที่ (Yield) จากโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม

8. จำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยแปรผันค่าความต้องการน้ำตามสัดส่วนของดัชนี m เป็นเวลา 48 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495-2542 โดยอาศัยสมการสมมูลของอ่างเก็บน้ำ (วรารุณ, 2538) มาคำนวณ

9. วิเคราะห์สภาวะการขาดน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างของระบบและประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานในรูปของ Resilience และ Reliability

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี

คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีของอ่างเก็บน้ำมูลบนสรุปผลในตารางที่ 3 และเมื่อทดสอบ Goodness of Fit ของข้อมูลพบว่าข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีของอ่างเก็บน้ำมูลบนพิตกับฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Normal Distribution ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปี

Statistical Characteristics	Annual Inflow (mcm.)
1. Mean (μ)	93.89
2. Standard Deviation (σ)	49.80
3. Coefficient of Variation (Cv)	0.53
4. Lag-One Serial Correlation Coefficient (ρ_1)	-0.092

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ

จากการวิเคราะห์โดยกำหนดดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ(m) เท่ากับ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 โดยที่ค่า Coefficient of Variation (Cv) ของข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของอ่างเก็บน้ำมูลบน เท่ากับ 0.53 จะได้สัดส่วนความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีของระบบ (α) มีค่าเท่ากับ 0.87, 0.74, 0.60 และ 0.47 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1

ปริมาณน้ำเก็บกักรายปี (Annual Storage)

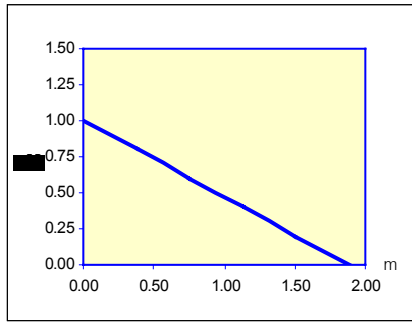
จากผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณน้ำเก็บกักรายปีของอ่างเก็บน้ำมูลบนโดยวิธี Cycling Sequent Peak Algorithm พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำเก็บกักรายปีเท่ากับ 99.98 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 42.81 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 81.55 ล้านลูกบาศก์เมตร แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำตลอดทั้งปี สำหรับรายละเอียดของข้อมูลผลต่างของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างสุทธิเพื่อหาปริมาณน้ำเก็บกักรายปีแสดงในภาพที่ 2

ผลการทดสอบ Goodness of Fit ของข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักรายปี

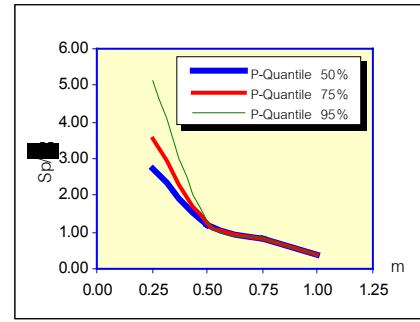
จากการทดสอบ Goodness of Fit ของข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักรายปีพบว่าข้อมูลพิตกับฟังก์ชันแจกแจงแบบ Log-Normal 3 Parameter ดังนั้นสามารถนำแบบจำลองการประมาณค่า (Model Estimation) ซึ่ง Vogel และ Stedinger (1987) ได้ศึกษาไว้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง S_p/σ ในรูปของฟังก์ชันของค่า τ_s , μ_L , Z_p และ σ_L กับค่าดัชนี m, N, ρ_1 และ Cv

ผลการประมาณค่าปริมาณน้ำเก็บกักรายปีโดยแบบจำลองการประมาณค่า

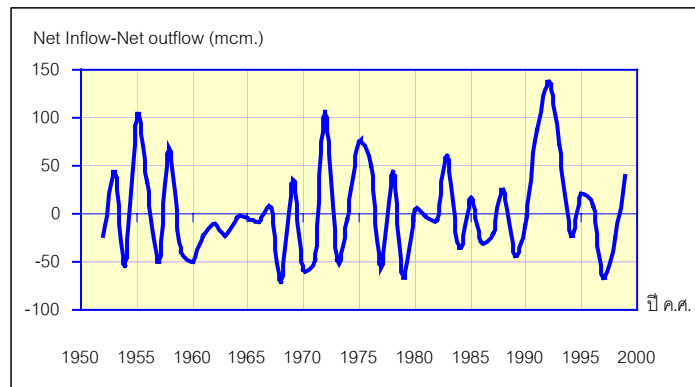
ผลจากการประมาณค่าปริมาณน้ำเก็บกักรายปีโดยอาศัยแบบจำลองการประมาณค่า โดยกำหนดค่าดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ได้แก่ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 และพิจารณาที่ P-Quantile ต่าง ๆ ประกอบด้วย 50%, 75% และ 95% พบว่าเมื่อค่า m มากขึ้น ซึ่งหมายถึงสัดส่วนความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีลดลง ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะต้องเก็บกักไว้ก็จะน้อยลงตามไปด้วย และที่ P-Quantile 95% จะมีค่าปริมาณน้ำเก็บกักรายปีมากกว่า P-Quantile 75% และ P-Quantile 50% ตามลำดับ ดังแสดงผลในตารางที่ 4 และภาพที่ 3



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี m กับ α



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง S_p/σ ที่ค่า P-Quantile ต่าง ๆ
กับ ค่าพารามิเตอร์ m , N , ρ_1 และ C_v



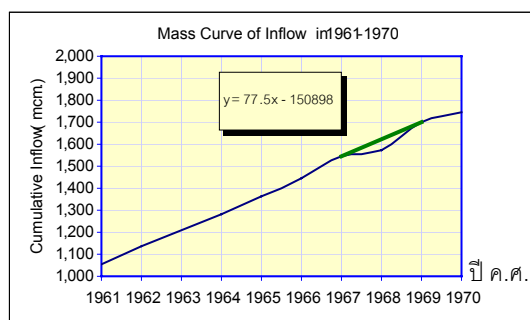
ภาพที่ 2 ผลต่างของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิต่อปีและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างสุทธิต่อปีเพื่อหาค่าปริมาณน้ำเก็บกักรายปี

ปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้เต็มที่ (Yield)

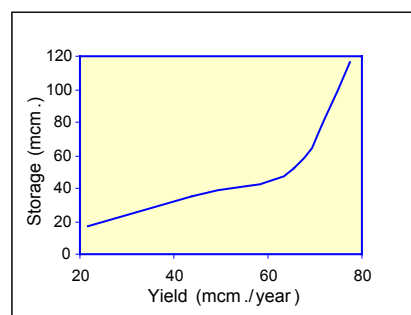
ผลจากการประมาณค่าปริมาณน้ำในอ่างที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum Possible Yield) ของอ่างเก็บน้ำมูลบนโดยคำนวณจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิลบด้วยปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยและการรั่วซึมขณะเก็บกักน้ำในอ่าง (วรารุณ, 2541) พบว่าอ่างเก็บน้ำมูลบนมีค่า Maximum Possible Yield เท่ากับ 84.29 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี การศึกษานี้ได้หาค่าปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้เต็มที่ (Yield) จากโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม (Mass Curve of Inflow) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495-2542 โดยพิจารณาในลักษณะของปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้อย่างน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2510-2512 ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจากกราฟพบว่าปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้อย่างน้อยที่สุด (Minimum Yield/Firm Yield) มีค่าเท่ากับ 77.50 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่ค่า m ต่าง ๆ กันพบว่าค่า m มากขึ้น ปริมาณน้ำที่จะต้องเก็บกักไว้จะน้อยลง ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้เต็มที่ จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งอธิบายได้โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้เต็มที่กับปริมาณน้ำเก็บกักรายปีในภาพที่ 5

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำเก็บกักรายปีและปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้เต็มที่ที่ค่าดัชนี m ต่าง ๆ

m	α	Annual Storage (mcm.)			Firm Yield (mcm./year)		
		P-Quantile50%	P-Quantile75%	P-Quantile95%	P-Quantile50%	P-Quantile75%	P-Quantile95%
0.25	0.87	116.74	151.72	220.58	77.50	77.50	77.50
0.50	0.74	52.50	53.72	55.48	65.53	67.15	69.35
0.75	0.60	35.12	35.19	35.28	43.90	43.99	44.10
1.00	0.47	17.28	17.29	17.30	21.60	21.61	21.63



ภาพที่ 4 ได้ปริมาณน้ำไหลเข้าสะสมเพื่อหาปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำจะให้ได้อย่างน้อยที่สุด (Firm Yield)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Yield กับ Storage

ผลการจำลองและประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ

ผลจากการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำซึ่งทำการปล่อยน้ำโดยใช้ Standard Operating Policy พบว่าระบบจะเกิดการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างค่อนข้างสูง ในกรณีที่ปล่อยน้ำเท่ากับ 100% ของปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งหมด และเมื่อลดปริมาณความต้องการใช้น้ำเหลือ 87% ของปริมาณความต้องการใช้น้ำที่มีอยู่เดิมระบบจะสามารถลดการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างลงได้ แต่เมื่อลดปริมาณความต้องการใช้น้ำลงเหลือ 74%, 60% และ 47% ของปริมาณความต้องการใช้น้ำที่มีอยู่เดิมพบว่า ระบบจะเกิดสภาวะการไหลล้นอ่างมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 5

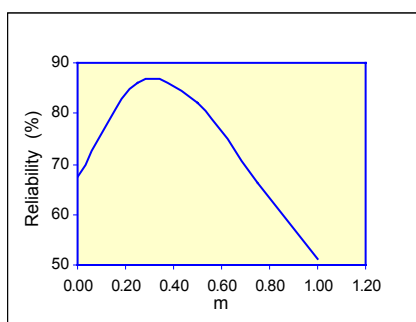
ผลจากการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาทั้งจากสภาวะการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างพบว่า การวิเคราะห์เปรียบเทียบจำเป็นต้องพิจารณาในสภาวะเดียวกันกล่าวคือเมื่อ m มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-0.25 ระบบจะเกิดการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง โดยที่ค่า m เท่ากับ 0.25 จะให้ค่า Resilience สูงกว่าที่ค่า m เท่ากับ 0.00 แสดงว่าระบบกลับคืนสู่สภาวะปกติที่ไม่ก่อให้เกิดการขาดน้ำและไหลล้นอ่างได้เร็วกว่า ในขณะที่เมื่อ m มีค่าอยู่ระหว่าง 0.50-1.00 การปฏิบัติงานจะอยู่ภายใต้สภาวะการไหลล้นอ่างเพียงอย่างเดียว ค่า Resilience จะสูงขึ้น เมื่อค่า m มากขึ้น ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าโอกาสที่ระบบจะกลับคืนสู่สภาวะปกติที่ไม่ก่อให้เกิดการไหลล้นอ่างจะน้อยลง

ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่า Reliability ซึ่งเป็นฟังก์ชันของโอกาสความน่าจะเป็นของระบบที่จะเกิดความล้มเหลวในสภาวะปกติ (q) และ Resilience พบว่าการปฏิบัติงานโดยใช้ค่า m เท่ากับ 0.25 จะให้ค่า Reliability สูงสุดคือ 86.03% ซึ่งสูงกว่าการปฏิบัติงานในสภาวะปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำมูลบนซึ่งปล่อยน้ำเท่ากับปริมาณความต้องการทั้งหมดคือมีค่า Reliability เพียง 67.53% ในขณะที่เมื่อค่า m อยู่ระหว่าง 0.50-1.00 จะให้ค่า Reliability อยู่ระหว่าง 51.20-82.24% เนื่องจากระบบอยู่ในสภาวะที่ปริมาณไหลลงอ่างมากกว่าความสามารถ

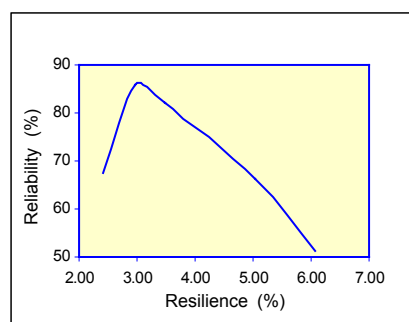
ของอ่างที่จะรับได้ ส่งผลให้ระบบประสบปัญหาการไหลล้นอ่าง ดังแสดงในภาพที่ 6-7 การศึกษานี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการปฏิบัติงานในสภาวะปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำมูลบนมีโอกาสเสี่ยงถึง 32.47% ที่ระบบจะประสบความล้มเหลว อันเนื่องมาจากสภาวะการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงระบบการจัดการน้ำชลประทานเพื่อให้ความน่าเชื่อถือของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อไป

ตารางที่ 5 ผลการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำมูลบนตามสัดส่วนของดัชนี m

Demand (α)	Monthly Analysis		Reservoir Performance		
	Shortage (Months)	Spillage (Months)	q	Resilience	Reliability (%)
1.00	16	74	0.16	0.0243	67.54
0.87	11	24	0.06	0.0295	86.03
0.74	0	38	0.07	0.0347	82.24
0.60	0	66	0.11	0.0503	66.39
0.47	0	86	0.15	0.0608	51.20



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี m กับ Reliability



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Resilience กับ Reliability

สรุปผลการศึกษา

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Storage-Yield-Resilience-Reliability ของอ่างเก็บน้ำมูลบน สามารถบ่งบอกถึงพฤติกรรมของอ่างเก็บน้ำได้เป็นอย่างดีและมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการตัดสินใจที่ต้องการความรวดเร็วในการปฏิบัติงานโดยพิจารณาทั้งในรูปของปริมาณน้ำต้นทุนและปริมาณน้ำที่ต้องการ ตลอดจนโอกาสเสี่ยงของระบบในการปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลาที่ยกมาพิจารณา

เอกสารอ้างอิง

- ฉัตร บุรณเรืองศักดิ์. 2542. คู่มือการใช้แบบจำลอง WUSMO Version 5.0. บริษัทแมคโครคอนซัลแตนท์ จำกัด , กรุงเทพฯ. 42 น.
- วรารุณ วุฒินิชย์. 2538. การจัดการน้ำขั้นสูง เล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 253 น.
- . 2541. อุทกวิทยาประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 396 น.

----- 2541. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคนิควิจัยทางด้านวิศวกรรมชลประทาน. ภาควิชา
วิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,
นครปฐม. 17 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.

Hazen, A. 1914. Storage to be Provided in Impounding Reservoirs for Municipal Water Supply.
Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 77: 1539.

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., N. M. Fennessey and R. A. Bolognese. 1995. Storage-Reliability-Resilience-Yield
Relations for Northeastern United States. Water Resour. Plng. Mgmt. 365-374.