การประเมินศักยภาพของน้ำต้นทุนในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของลุ่มน้ำแม่กลอง

Water Supply Assessment for Reliability Based Multiple Reservoir System Operation of Mae Klong River Basin

อารียา ฤทธิมา[1]
วราวุธ วุฒิวณิชย์[2]

บทคัดย่อ

แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำและแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองถูกพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยารายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2547 โดยนำทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดสภาวะความล้มเหลวของระบบในเทอมของ Load และ Resistance 3 สภาวะได้แก่ สภาวะน้ำท่วม สภาวะการขาดน้ำ และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์หาฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดสำหรับนำมาหาค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำใน2 ลักษณะคือรูปแบบความต้องการน้ำในอดีตถึงปัจจุบัน และรูปแบบความต้องการน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ตลอดจนประเมินปริมาณน้ำต้นทุนที่ระบบสามารถตอบสนองได้สูงสุดภายใต้ความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ ผลการศึกษาที่ได้พบว่าค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำปัจจุบันอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดีกล่าวคือร้อยละ 98.60 99.80-100 และ 73.60 ของทั้ง 3 สภาวะตามลำดับ อย่างไรก็ดีเมื่อความต้องการน้ำในอนาคตสูงขึ้น ค่าความน่าเชื่อถือได้ในสภาวะของการขาดน้ำและความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง ในขณะที่โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมล้นตลิ่งแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย นอกจากนี้ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่สามารถตอบสนองต่อ

[1]*นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน*
[2]*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน*

ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นได้ประมาณร้อยละ 35 ของปริมาณความต้องการน้ำปัจจุบันที่ค่าความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ร้อยละ 95 หรืออาจกล่าวได้ว่าการยอมให้เกิดความเสี่ยงต่อการขาดน้ำเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ทำให้สามารถนำน้ำไปใช้ในระบบได้ถึง 9,451 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี

Abstract

The multiple reservoir system operation model and reliability based multiple reservoir system operation model of Mae Klong River Basin were developed by using the daily hydro-meteorological data from 1985 to 2004. The reliability concept was applied to classify the failure domain in terms of load and resistance. The failure domain was considered into 3 modes namely flood mode, shortage mode and energy mode. The limit state functions were determined for evaluating the reliability indices (RI) in respect of the existing and expected demand pattern. The water supply potential based on the reliable reservoir operation was evaluated. The result showed that the existing operation gave the good performances of 98.60%, 99.80-100% and 73.60% of reliability for mode 1, 2 and 3 respectively. However, the increment of water requirement came into effect on the reliability reduction of shortage and energy mode apparently, whereas the risk of flood mode was hardly appeared. Additionally, 35% of water requirement increment could be satisfied at 95% of allowable reliability. In other words, if 5% of shortage risk was allowed, the potential of water supply to meet the desirable water requirement was higher as 9,451 mcm./year.

Key words : Multiple reservoir system operation model, Reliability based multiple reservoir system operation model, Mae Klong river basin

1. บทนำ

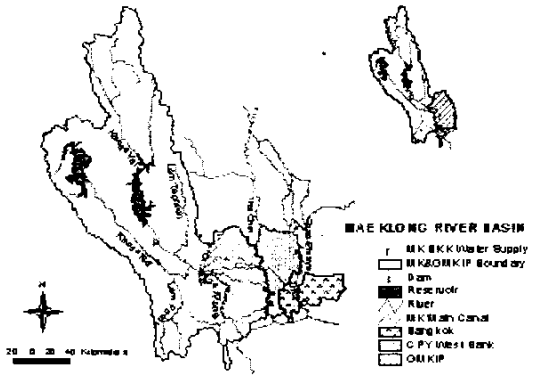
ภาวะอุณหภูมิของโลกที่ร้อนขึ้นอันเนื่องมาจากปัจจัยความเจริญทางกายภาพและวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อวัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) ที่เปลี่ยนแปลงไปและปรากฏให้เห็นในรูปของภัยธรรมชาติซึ่งสร้างความเสียหายนานัปการต่อมนุษย์อยู่บ่อยครั้งในช่วงปี พ.ศ. 2548 ไม่ว่าจะเป็นการเกิดเหตุการณ์วินาศภัยจากพายุเฮอร์ริเคนถล่มมลรัฐทางตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา หรือแม้กระทั่งการเกิดเหตุการณ์พายุไต้ฝุ่นเคลื่อนตัวเข้าพัดถล่มพื้นที่ในแถบภูมิภาคเอเชีย ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมและแผ่นดินถล่มตามมาในหลายพื้นที่ รวมทั้งจังหวัดทางภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบกับในยุคบริโภคนิยมปัจจุบัน ซึ่งการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมกำลังขยายตัวมากยิ่งขึ้น ทำให้น้ำต้นทุนซึ่งมีอยู่จำกัดถูกนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มากขึ้นเป็นลำดับ การตอบสนองความต้องการให้ได้รับความพึงพอใจของทุกฝ่ายจึงเป็นไปได้ค่อนข้างยาก การขาดแคลนน้ำและการแย่งชิงน้ำจึงเป็นปัญหาที่ตามมา

สาเหตุจากความผันแปรทั้งจากกระบวนการทางอุทกวิทยาและปริมาณความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้งานด้านการบริหารจัดการน้ำมีความยุ่งยากและซับซ้อนยิ่งขึ้น หลาย ๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ระดมแนวคิดหามาตรการในการบริหารจัดการน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดผลกระทบจากสภาวะเสี่ยง (Risk) ดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าแนวคิดการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้และความเสี่ยงของระบบ (Reliability Risk Concept) เพื่อประเมินพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำในระหว่างช่วงเวลาของการปฏิบัติงานระยะยาว (Chow et al., 1988; Koutsoyiannis, n.d.; Srdjevic and Obradovic, 1997) นับเป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ที่สามารถประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติงาน สำหรับนำไปสู่กระบวนการวางแผนการจัดการน้ำต้นทุนที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

การศึกษานี้ได้ทำการประเมินความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำทั้งในสภาวะความต้องการน้ำที่เป็นอยู่ในปี พ.ศ. 2528 ถึงปัจจุบันและคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยได้พัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ (Multiple Reservoir System Operation Model) และแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ (Reliability Based Multiple Reservoir System Operation Model) ซึ่งนำทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง (Structural Reliability) (Nowak and Collins, 2000) มาประยุกต์ใช้ตลอดจนประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้สูงสุดภายใต้ความน่าเชื่อถือต่าง ๆ โดยเลือกระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองเป็นพื้นที่ศึกษา

1.1 ระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

ระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองประกอบด้วยเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ 2 เขื่อนซึ่งเชื่อมต่อกันในลักษณะขนานคือเขื่อนศรีนครินทร์ ซึ่งสร้างปิดกั้นแม่น้ำแควใหญ่บริเวณบ้านเจ้าเณร อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี และเขื่อนวชิราลงกรณ สร้างปิดกั้นลำน้ำแควน้อยที่บ้านท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี และทางด้านท้ายเขื่อนศรีนครินทร์มีเขื่อนทดน้ำท่าทุ่งนา ซึ่งช่วยเสริมการผลิตไฟฟ้าให้กับโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ และควบคุมปริมาณน้ำในลำน้ำแควใหญ่ทางด้านท้ายน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณและท่าทุ่งนานี้จะถูกนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำ ได้แก่ เพื่อการชลประทานในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่และโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อการอุปโภคบริโภคและผลักดันน้ำเค็ม ตลอดจนผันน้ำไปใช้ในลุ่มน้ำท่าจีนในช่วงฤดูแล้งและเพื่อการผลิตน้ำประปาในกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล โดยมีเขื่อนแม่กลองซึ่งตั้งอยู่ทางตอนล่างของลุ่มน้ำทำหน้าที่ทดน้ำไปใช้ในกิจกรรมดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลุ่มน้ำแม่กลอง

1.2 ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างกับงานด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

ในงานทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้างโดยแยกเป็นสภาวะของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (Load, S) และกำลังของโครงสร้าง (Resistance, R) การที่แรงกระทำทั้งสองมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variables) ทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ที่กำลังของโครงสร้างน้อยกว่าแรงที่กระทำซึ่งทำให้เกิดการวิบัติ (Failure) ขึ้นได้ ดังนั้นทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง (Structural Reliability) จึงถูกนำมาใช้วิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติของโครงสร้าง พฤติกรรมการตอบสนองต่าง ๆ ของโครงสร้างในสภาวะที่ก่อให้เกิดการวิบัตินี้ สามารถนำมากำหนดเป็นฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด (Limit State Function) ในเทอมของแรงที่กระทำและกำลังของโครงสร้างได้ดังนี้

$$Z = g(X) = R-S \qquad (1)$$

ถ้า $g(X)>0$ โครงสร้างจะอยู่ในสภาวะปลอดภัย (Safe Mode) ในทางกลับกันหาก $g(X)<0$ โครงสร้างจะเกิดการวิบัติ (Failure Mode) และถ้าโครงสร้างอยู่ในสภาพสมดุลคือ $g(X)=0$ หรือเรียกได้ว่า "ผิวของการวิบัติ (Failure Surface)" ซึ่งก็คือ ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดนั่นเอง (Kijawatworra-wet, 1998) ดังนั้นโอกาสความน่าจะเป็นที่ $g(X)\geq 0$ ก็คือดัชนีค่าความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Indices, RI) ดังแสดงในสมการ

$$RI = Prob[g(X)\geq 0] \qquad (2)$$

ในทำนองเดียวกันงานวิศวกรรมทรัพยากรน้ำสามารถนำทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำระยะยาวได้ โดยอาศัยแนวคิดความสัมพันธ์ของโครงสร้าง (Structure Related) เพื่อแยกองค์ประกอบของระบบที่พิจารณา ยกตัวอย่างเช่น ในระบบการจัดการน้ำต้นทุนนั้น ปริมาณความต้องการน้ำจะถูกกำหนดให้เป็น Load และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่จะเป็น Resistance ของระบบ หรือแม้กระทั่งในการควบคุมภาวะน้ำท่วม ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธินั้นจะถือว่าเป็น Load ของระบบในขณะที่ปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมนั้นจะกำหนดให้เป็น Resistance เป็นต้น (Duckstein and et al., 1987) องค์ประกอบที่ได้จะถูกนำมากำหนดสภาวะความล้มเหลวของระบบ (Failure Mode) สำหรับนำมาใช้ศึกษาทางการพัฒนาลุ่มน้ำเต็มศักยภาพที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตความน่าเชื่อถือได้และความเสี่ยงในงานวิศวกรรมทรัพยากรน้ำในลำดับถัดไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยอุตุ-อุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำรายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2547 ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องในเบื้องต้นก่อนนำมาใช้งานได้แก่ ข้อมูลฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการระเหยและการรั่วซึม ข้อมูลกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ และข้อมูลการจัดสรรน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองซึ่งดำเนินงานภายใต้ความรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ 13 กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตลอดจนข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำที่จำเป็น

2.2 พัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวัน

เป็นแบบจำลองที่เลียนแบบการปฏิบัติงานจริงรายวันของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2547 ทั้งนี้ได้กำหนดเงื่อนไขและปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด

2.3 พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ และทดสอบผลของแบบจำลอง

พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในรูปของฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างสำหรับกำหนดสภาวะความล้มเหลวของระบบในเทอมของ Load และ Resistance 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) สภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ ตามแผนการผลิตปัจจุบันของ กฟผ. (Energy Mode) ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ได้จะผ่านการทดสอบค่าความน่าเชื่อถือได้และปรับเทียบ จนกระทั่งฟังก์ชันดังกล่าวสามารถเป็นตัวแทนในการประเมินผลการปฏิบัติงานของแต่ละสภาวะที่ให้ค่าความน่าเชื่อถือได้สอดคล้องกับผลการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด จากนั้นประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในสภาวะความต้องการน้ำปัจจุบันซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น และสภาวะความต้องการน้ำซึ่งมีแนวโน้มคงที่ตามทิศ 198,927 ไร่ และพื้นที่ชลประทานแม่กลองใหญ่รวมเพิ่มเป็น 320,000 ไร่ ตลอดจนโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานี ส่งผลให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำในอนาคตคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 10,426 ล้าน ลบ.ม./ปี

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำทั้งในสภาวะที่เป็นอยู่ในอดีตถึงปัจจุบันและที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ในภาพรวมสรุปได้ว่าลุ่มน้ำแม่กลองมีปริมาณน้ำต้นทุนเพียงพอที่จะรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ อย่างไรก็ตามอาจประสบปัญหาสภาวะการขาดแคลนน้ำบ้างในช่วงฤดูแล้งที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีน้อย ดังนั้นกลยุทธ์ในการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมจะช่วยให้การจัดการในระยะยาวเกิดประโยชน์เชิงรูปธรรมสูงสุด

2.4 ประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้สูงสุดภายใต้ความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้

ทำการประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบัน และคาดการณ์ปริมาณน้ำต้นทุนที่ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้สูงสุดที่ระดับความน่าเชื่อถือต่าง ๆ โดยใช้ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่พัฒนาขึ้นมา

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ภาพรวมของปริมาณน้ำต้นทุนในระบบลุ่มน้ำแม่กลองกับความต้องการน้ำปัจจุบัน

แหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญของระบบลุ่มน้ำแม่กลองมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน ประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิทั้งระบบ (Net Reservoir Inflow, NRI) และปริมาณ Side Flow (SF) รวมทั้งสิ้น 12,717 ล้าน ลบ.ม./ปี โดยแยกเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิเท่ากับ 9,936

ล้าน ลบ.ม./ปี และปริมาณ Side Flow ที่เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ รวมเป็น 2,781 ล้าน ลบ.ม./ปี อย่างไรก็ตามพบว่าประมาณร้อยละ 87 ของปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดรายปีจะอยู่ในช่วงฤดูฝน และเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเก็บน้ำอ่างเก็บน้ำสุทธิเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณค่อนข้างน้อย คิดเป็นร้อยละ 23 ของปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดรายปีเท่านั้น ในขณะที่ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมการต่าง ๆ ในระบบลุ่มน้ำแม่กลองมีค่าเท่ากับ 6,975 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งร้อยละ 69 ของปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดจะถูกนำไปใช้เพื่อการชลประทานของในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาปริมาณความต้องการน้ำรายฤดูกาลพบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง เนื่องจากพื้นที่ชลประทานทั้งหมดของโครงการในช่วงฤดูฝนมีประมาณ 2,509,459 ไร่ ซึ่งมากกว่าในช่วงฤดูแล้งเกือบ 300,000 ไร่ ในปัจจุบันได้มีโครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนหลักรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทานของลุ่มน้ำแม่กลองสำหรับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 โครงการที่สำคัญประกอบด้วยงานปรับปรุงโครงการชลประทานท่าล้อ

3.2 แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลอง

1) แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวัน

แบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์สมดุลของน้ำ (Water Balance) ตามเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Operating Rule) ของแต่ละอ่าง และเพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจริง การศึกษานี้ได้ใช้ Rule Curve ซึ่งได้ปรับปรุงในปี พ.ศ. 2544 เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานสำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และวชิราลงกรณ ในขณะที่เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนท่าทุ่งนาและเขื่อนแม่กลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือจะพยายามรักษาระดับน้ำเก็บกักบริเวณหน้าเขื่อนที่ประมาณ 58.65 และ 22.50 ม.รทก. ตามลำดับ กำหนดหลักเกณฑ์การสูบน้ำกลับจากผลการวิเคราะห์หาสัดส่วนปริมาณน้ำที่สูบกลับเทียบกับปริมาณน้ำที่ปล่อยจริงจากเขื่อนท่าทุ่งนา น้ำจากเขื่อนแม่กลองจะถูกจัดสรรไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ตามลำดับความสำคัญโดยคำนึงถึงผู้ที่เคยใช้น้ำอยู่ก่อนตลอดจนพิจารณาจากสิทธิ์การใช้น้ำ (Water Right) ทั้งในลุ่มน้ำและนอกลุ่มน้ำตามลำดับดังนี้ การอุปโภคและบริโภค การรักษาระบบนิเวศน์ทางด้านท้ายน้ำ การชลประทานในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่และโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ การผลิตน้ำดิบที่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ และการผันน้ำเพื่อการชลประทานฤดูแล้งในลุ่มน้ำท่าจีน

2) แบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

การศึกษานี้ได้กำหนดสภาวะความล้มเหลวของระบบทั้ง 3 สภาวะดังนี้คือ สำหรับสภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเป็น Load และความจุของลำน้ำเป็น Resistance ในขณะที่สภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของลุ่มน้ำแม่กลองจะถูกกำหนดให้เป็น Load และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่กำหนดให้เป็น Resistance ในที่นี้ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกปริมาณน้ำต้นทุนของระบบจะพิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของเขื่อนศรีนครินทร์

และวิธีราลงกรณเท่านั้น สำหรับกรณีที่สองปริมาณน้ำต้นทุนของระบบจะรวมถึงปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่และปริมาณ Side Flow ทั้งหมดอีกด้วย สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพตามแผนการผลิตในปัจจุบัน (Energy Mode) กำหนดให้ระดับน้ำที่ช่วงเวลาใด ๆ เป็น Load และระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เต็มที่เป็น Resistance ดังสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Load และ Resistance ที่กำหนด

Mode	Load	Resistance
1. Flood Mode	Release (Rt)	River Capacity (C)
2. Shortage Mode	Water Demand (Dt)	Water Supply (WS)
-Case 1	Dt	WS=NRIt
-Case 2	Dt	WS=NRIt+SF
3. Energy Mode	Water Level (WLt)	Max.Water Level

ทำการจำลองการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำรายวันโดยใช้ Combination ต่าง ๆ ของตัวแปรสุ่มหลักเป็นข้อมูล Input ได้แก่ X1 X2 X3 X4 และ X5 ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Reservoir Inflow) ของเขื่อนศรีนครินทร์ วชิราลงกรณ ท่าทุ่งนา แม่กลอง และปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ตามลำดับ ผลที่ได้จากการจำลองจะทำให้ทราบค่าความเสี่ยงในแต่ละ Combination ของตัวแปรสุ่มของทั้ง 3 สภาวะ จากนั้นจะคัดเลือก Combination ต่าง ๆ ของตัวแปรสุ่มที่สามารถจำลองการปฏิบัติงานแล้วให้ค่าความเสี่ยงในช่วงที่ยอมรับได้ ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่าง Combination ของข้อมูล Input ต่าง ๆ กับค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เพื่อนำมาใช้กำหนดฟังก์ชัน

สภาวะขีดจำกัดในรูปของสมการเชิงเส้นในลำดับสุดท้ายจะทดสอบดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ โดยทำการสังเคราะห์อนุกรมเวลาของตัวแปรสุ่มทั้ง 5 ตามฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของแต่ละตัวแปร เพื่อนำคุณสมบัติทางสถิติซึ่งในที่นี้คือค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่สังเคราะห์ได้มาแทนค่าในฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด หากค่าที่ได้เกินความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะความล้มเหลว จากนั้นทำซ้ำหลาย ๆ รอบในลักษณะของ Monte Carlo Experiment และตรวจสอบค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบบนพื้นฐานของเวลา

ในที่นี้ได้วิเคราะห์หาค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณารูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำ 2 ลักษณะที่แตกต่างกันกล่าวคือ กรณีแรกจะพิจารณารูปแบบความต้องการน้ำจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2547 ซึ่งสะท้อนสภาวะความต้องการน้ำจริงจนกระทั่งถึงปัจจุบันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยผลรวมของปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยทุกกิจกรรมการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2547 คิดเป็น 22.80 ล้าน ลบ.ม./วัน (T1) อย่างไรก็ตามสภาวะความต้องการน้ำนี้คาดว่าจะมีแนวโน้มคงที่ตามทิศทางการพัฒนาลุ่มน้ำเต็มศักยภาพที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นจึงได้สังเคราะห์ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำรายวันโดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Normal ซึ่งกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณความต้องการน้ำรายวัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับค่าสูงสุดจริงในปี พ.ศ. 2547 คือ 22.80 ล้าน ลบ.ม./วัน และ 6.70 ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อกำหนดเป็นรูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำที่สะท้อนสถานการณ์ความต้องการน้ำที่แท้จริงในอนาคต (T2)

3.3 ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

จากการประเมินสภาพการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองจริงรายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2547 พบว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์ทั้งหมดจะสูงกว่าเขื่อนวชิราลงกรณประมาณร้อยละ 4 เมื่อตรวจสอบข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิของเขื่อนศรีนครินทร์ซึ่งมีสัดส่วนต่ำกว่าเขื่อนวชิราลงกรณถึงร้อยละ 8 กับความสามารถในการเก็บกักน้ำได้มากกว่าเขื่อนวชิราลงกรณเกือบสองเท่า อาจกล่าวได้ว่าแนวทางการเพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณให้มากขึ้นเพื่อลดผลกระทบของสภาวะน้ำท่วม ตลอดจนเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเขื่อนศรีนครินทร์ให้ได้มากที่สุดเป็นแนวทางการบริหารจัดการน้ำเชิงอนุรักษ์เพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในระยะยาวต่อไป ผลการจำลองการปฏิบัติงานโดยใช้ Rule Curve เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานสำหรับเขื่อนศรีนครินทร์และวชิราลงกรณพบว่า สามารถตอบรับได้อย่างสอดคล้องตามแนวทางที่กล่าวมาข้างต้นกล่าวคือ สามารถเพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณขึ้นร้อยละ 1.64 และลดการปล่อยน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์ลงได้ถึงร้อยละ 1.67 โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดจากระบบน้อยกว่าการปฏิบัติงานจริงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังลดปริมาณน้ำส่วนเกิน (Surplus Release) ที่ปล่อยบริเวณท้ายเขื่อนแม่กลองได้ถึงร้อยละ 1.07 อีกด้วย โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ยรายปีจะอยู่ที่ 2,017 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการปฏิบัติงานจริง และหลังจากสิ้นสุดการจำลองการปฏิบัติงาน ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของระบบมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะจริงของระบบ โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีสูงกว่าสภาวะจริงเล็กน้อย

3.4 แบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

การที่ทั้ง Load และ Resistance มีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ที่ Resistance น้อยกว่า Load ซึ่งจะทำให้ระบบประสบกับสภาวะความล้มเหลว พฤติกรรมการตอบสนองของระบบในสภาวะความล้มเหลวนี้ สามารถนำมากำหนดฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานในรูปของ

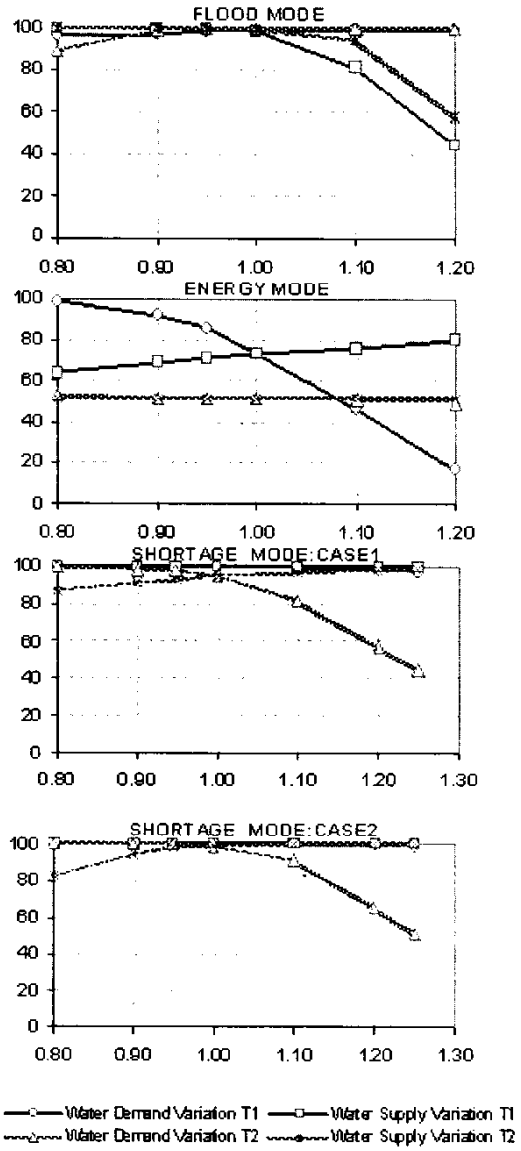
$$g(X) = \Delta_i - [c1X1 + c2X2 + c3X3 + c4X4 + c5X5] = 0 \quad (3)$$

เมื่อ Δ_i เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ที่กำหนดขึ้นของแต่ละสภาวะ (Raudkivi, 1979) และ ci เป็นสัมประสิทธิ์ของแต่ละฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด จากการเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ได้จากฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดกับประสิทธิผลของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2547 โดยใช้รูปแบบความต้องการน้ำประเภทที่ 1 (T1) พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 สภาวะกล่าวคือร้อยละ 98.60 สำหรับสภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) ร้อยละ 99.80 และร้อยละ 100 สำหรับสภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) กรณีที่ 1 และ 2 และร้อยละ 73.60 สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode) โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริงค่อนข้างน้อยกล่าวคือร้อยละ 0, 0.12 และ 1.26 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามความน่าเชื่อถือได้ในสภาวะของการขาดน้ำและความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง เมื่อใช้รูปแบบความต้องการ

น้ำประเภทที่ 2 (T2) ซึ่งความต้องการน้ำสูงขึ้นในลักษณะคงที่ตามทิศทางการพัฒนาลุ่มน้ำ โดยมีค่าความน่าเชื่อถือได้เป็นร้อยละ 95.60 และ 98.40 สำหรับสภาวะการขาดน้ำกรณีที่ 1 และ 2 และร้อยละ 51 สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ ในขณะที่โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมล้นตลิ่งแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย ทำให้ความน่าเชื่อถือได้ของสภาวะน้ำท่วมเป็นร้อยละ 100

ผลการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือได้ตามรูปแบบความต้องการน้ำปัจจุบันและรูปแบบความต้องการน้ำในอนาคตโดยใช้ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดและทำการผันแปรปริมาณน้ำต้นทุนและปริมาณความต้องการน้ำที่ค่าต่าง ๆ กันโดยครอบคลุมทั้งสภาวะปัจจุบันและอนาคตให้มากที่สุดพบว่า เมื่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบเพิ่มขึ้น โอกาสที่จะบริหารอ่างโดยปล่อยน้ำมากกว่าสภาวะปกติจะมีมากขึ้น ซึ่งหมายถึงโอกาสเสี่ยงที่ระบบจะประสบสภาวะน้ำท่วมมีมากขึ้นหรือความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานในสภาวะดังกล่าวลดลงนั่นเอง ในขณะเดียวกันการที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีมากขึ้นนี้ ส่งผลให้การสนองตอบต่อปริมาณความต้องการน้ำสามารถทำได้ดีขึ้น โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำจึงมีค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบที่เพิ่มขึ้นยังมีอิทธิพลโดยตรงต่อด้านศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นอีกด้วย เมื่อปริมาณความต้องการน้ำของระบบเพิ่มขึ้น ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับกับปริมาณความต้องการน้ำในส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความน่าเชื่อถือได้จากสภาวะการขาดน้ำลดลง และด้วยเหตุที่ปริมาณความต้องการน้ำของระบบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ในอ่างลดลง ส่งผลให้โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดภาวะน้ำท่วมล้นตลิ่งจึงเกิดขึ้นได้น้อยดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ค่าความน่าเชื่อถือได้กับตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.5 ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้สูงสุดภายใต้ความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่สามารถตอบสนองต่อความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นได้ประมาณร้อยละ 35 ของปริมาณความต้องการน้ำปัจจุบันที่ค่าความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ (Allowable Reliability) ร้อยละ 95 หรืออาจกล่าวได้ว่าการยอมให้เกิดความเสี่ยงต่อการขาดน้ำเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ทำให้สามารถนำน้ำไปใช้ในระบบได้ถึง 9,451 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาร่วมพิจารณาในการคาดการณ์พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการน้ำมีผลต่อการลดลงของความน่าเชื่อถือได้ใน การผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นหากกำหนดให้ค่าความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ (Allowable Reliability) ในการผลิตไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพเท่ากับร้อยละ 70 ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นได้เพียงแค่ร้อยละ 1.15 ของปริมาณความต้องการน้ำปัจจุบันหรือคิดเป็น 7,055 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำต้นทุนสูงสุดที่ระบบสามารถตอบสนองได้

(I) Shortage Mode		(II) Energy Mode	
RI	Max. WS	RI	Max. WS
90%	10,114	50%	7,554
95%	9,451	60%	7,268
100%	6,626	70%	7,055

3.6 สรุป

แนวทางการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้นับเป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่สามารถตอบคำถามได้ว่าปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในปัจจุบันของลุ่มน้ำแม่กลองสามารถตอบสนองกับปริมาณความต้องการน้ำได้มากน้อยแค่ไหน โดยคำตอบตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ

4. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลและบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Chow, V. T., D. R. Maidement and L.W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.

[2] Duckstein, L., E. J. Plate and M. Benedini. 1987. Water engineering reliability and risk : A system framework, engineering reliability and risk in water resources. Applied Sci. 124: 1 20.

[3] Kijawatworawet, W. 1998. Method of structural reliability analysis, pp. wk1-1-wk3-25. In Proc. Of the Workshop on Modification-Safety and Reliability of Structures, Bangkok.

[4] Koutsoyiannis, D. n.d. Reliability concepts in reservoir design. The Encyclopedia of Water. SW227: 1-17.

[5] Nowak, A. S. and K. R. Collins. 2000. Reliability of Structures. McGraw-Hill Higher Education, Singapore.

[6] Raudkivi, A. J. 1979. An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling. Pergamon Press, Oxford.

[7] Srdjevic, B. and D. Obradovic. 1997. Reliability-risk in agricultural irrigation. pp. 97-102. In IFAC/ISHS 3rd International Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture. Hannover, Germany. reliability and risk in water resources. Applied Sci. 124: 1-20.

[3] Kijawatworawet, W. 1998. Method of structural reliability analysis, pp. wk1-1-wk3-25. In Proc. Of the Workshop on Modification-Safety and Reliability of Structures, Bangkok.

[4] Koutsoyiannis, D. n.d. Reliability concepts in reservoir design. The Encyclopedia of Water. SW227: 1-17.

[5] Nowak, A. S. and K. R. Collins. 2000. Reliability of Structures. McGraw-Hill Higher Education, Singapore.