



วิทยานิพนธ์

การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้
ของกลุ่มน้ำแม่กลอง

**Reliability Based Multireservoir System Operation
for Mae Klong River Basin**

นางสาวอารียา ฤทธิมา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน

สาขา

วิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชา

เรื่อง การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Reliability Based Multireservoir System Operation for Mae Klong River Basin

นามผู้วิจัย นางสาวอารียา ฤทธิมา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์วราวุธ วุฒินิชย์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เจษฎา แก้วกัลยา, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิรัช กิจวัชรเวชย์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉริยะ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 11 เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Reliability Based Multireservoir System Operation for Mae Klong River Basin

โดย

นางสาวอารียา ฤทธิมา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2585-5

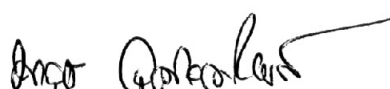
อารียา ฤทธิมา 2549: การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของกลุ่มน้ำแม่กลอง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขา วิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์วราวุธ วุฒินิชย์, Ph.D. 261 หน้า
ISBN 974 -16-2585-5

การศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองในรูปของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด โดยอาศัยข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยารายวันตั้งแต่ปี 2528-2547 และนำทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้มาประยุกต์ใช้ เพื่อกำหนดสภาวะความล้มเหลวของระบบในเทอมของ Load และ Resistance 3 สภาวะได้แก่ สภาวะน้ำท่วม สภาวะการขาดน้ำ และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานทั้งในสภาวะปัจจุบันและอนาคต และคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ระดับความน่าเชื่อถือได้ต่าง ๆ

ผลการศึกษาพบว่าค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำปัจจุบันอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือ 98.60%, 99.80-100% และ 73.60% ของทั้ง 3 สภาวะ ตามลำดับ ที่ปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ย 6,975 ล้าน ลบ.ม./ปี ถ้าสถานการณ์ความต้องการน้ำในอนาคตที่ปริมาณความต้องการน้ำขยับตัวสูงขึ้นประมาณ 25% จากปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยปัจจุบัน จะทำให้โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำมีมากขึ้นโดยให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ลดลงเป็น 95.60% ในขณะเดียวกันยังส่งผลต่อค่าความน่าเชื่อถือได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเหลือเพียง 51% เท่านั้น ถึงแม้ว่าการเพิ่มขึ้นของความต้องการน้ำในอนาคตจะไม่ส่งผลต่อค่าความน่าเชื่อถือได้ที่จะเกิดภาวะน้ำท่วมก็ตาม ผลการคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำโดยพิจารณาจากสภาวะการขาดน้ำพบว่า ที่ค่าความน่าเชื่อถือได้ 80%, 85%, 90% และ 95% ปริมาณน้ำต้นทุนที่สามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำได้สูงสุดจะอยู่ที่ 10,979, 10,672, 10,114 และ 9,451 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการยอมให้เกิดความเสี่ยงของการขาดน้ำเพิ่มขึ้น จะสามารถนำน้ำไปใช้จากระบบได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความเสี่ยงดังกล่าวจะต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



ลายมือชื่อนิสิต



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

๒๔ / กย / ๒๕๔๙

Areeya Rittima 2006: Reliability Based Multireservoir System Operation for Mae Klong River Basin. Doctor of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Varawoot Vudhivanich, Ph.D. 261 pages.
ISBN 974-16-2585-5

The reliability based multireservoir operation model of Mae Klong River Basin was developed in term of limit state function 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 classified into 3 modes namely flood mode, shortage mode, and energy mode. The objective of this study was to evaluate the reliability indices of the existing and future system states and also to forecast the maximum possible firm yield of Mae Klong multireservoir system at the various reliability levels.

The result showed that the existing operation at 6,975 mcm/yr of average water demand gave the good performance with the reliability of 98.60%, 99.80-100%, and 73.60% for mode 1, 2, and 3 respectively. If there was 25% increase of the average water demand, the reliability of shortage mode would decrease to 95.60% and the reliability of energy mode would decrease to 51%. However, it did not influence to the reliability of flood mode. The result of possible firm yield forecasting considered from shortage mode indicated that at the reliability of 80%, 85%, 90%, and 95%, the maximum possible firm yields were 10,979, 10,672, 10,114, and 9,451 mcm/yr respectively. In other words, if the higher shortage risk was allowed, the higher firm yield could be utilized.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

24 / 07 / 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ วุฒิวิชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำเป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา แก้วกัลยา กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย กิจวัตรเวทย์ กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ขวัญยืน กรรมการวิชาเอก และรองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา นิยมภา ผู้แทนบัณฑิต ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติม ตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนกระทั่งแล้วเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัยทุก ๆ ท่าน

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐ เทภาสิต ฝ่ายวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และคุณยุทธนา นิลแสงรัตน์ แผนกวางแผนการผลิตและจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คุณวิชัย ไตรสุรัตน์ หัวหน้ากลุ่มงานจัดสรรน้ำ สำนักชลประทานที่ 13 คุณไพโรจน์ จันทรสำราญกุล กองระบบส่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก การประปานครหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณ หัวหน้าสถานีตรวจอากาศนครปฐม กรมอุตุนิยมวิทยา ผอ.สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ ผอ.ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันตก หัวหน้าฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า กรมชลประทาน ผอ.ฝ่ายโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์และชนบุรี หัวหน้ากองแผนงานและประเมินผล 4 การประปาส่วนภูมิภาค และผู้ให้ความอนุเคราะห์ทุก ๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ให้ความสนับสนุนและช่วยเหลือทางด้านข้อมูลต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่มอบทุนการศึกษาในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนและบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

คุณงามความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอบแต่ คุณสมิทร ฤทธิมา คุณบุญริน ฤทธิมา คุณนฤกร ฤทธิมา คุณวินัย ฤทธิมา คุณนิตยา ฤทธิมา ครู อาจารย์ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่เป็นแรงบันดาลใจและคอยให้กำลังใจอันสูงส่งตลอดมา

อารียา ฤทธิมา

กรกฎาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อ และอักษรย่อที่ใช้ในโปรแกรม	(10)
นิยามศัพท์เทคนิค	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	4
อ่างเก็บน้ำ	4
หลักเกณฑ์การจำแนกปีและความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลอุทกวิทยา	7
การวางแผนการใช้น้ำและการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	10
นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	11
แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ	20
ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	24
การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ	30
ทฤษฎีความน่าเชื่อถือได้เชิงโครงสร้างกับการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ	31
เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง	34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	54
ผลและวิจารณ์	63
รายละเอียดของข้อมูลศึกษา	63
พื้นที่ศึกษา	77
สถานภาพของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง ณ สภาวะปัจจุบัน	93
ภาพรวมการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบัน	100

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	113
ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	146
การพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	154
สรุปและข้อเสนอแนะ	179
สรุป	179
ข้อเสนอแนะ	184
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	186
ภาคผนวก	198
ภาคผนวก ก	ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยารายเดือน ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำ รายเดือนและสภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีใน คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)
	199
ภาคผนวก ข	รายชื่อการประปาส่วนภูมิภาคในกลุ่มน้ำแม่กลอง สถานีสูบน้ำ ในความรับผิดชอบของฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า และ สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย
	225
ภาคผนวก ค	เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ใ้ถึงความจุเก็บกัก-พื้นที่- ระดับ และใ้ถึงสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
	233
ภาคผนวก ง	การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของตัวแปร X1-X5 และ การจัดกลุ่มของตัวแปรสุ่ม
	242
ภาคผนวก จ	ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่ กลอง ณ สถานการณ์ปัจจุบัน
	251
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	261

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ	21
2 สรุปข้อมูลอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำแม่กลองที่นำมาใช้ศึกษา	47
3 สรุปข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำที่นำมาใช้ศึกษา	51
4 สรุปรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้คำนวณปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของกลุ่มน้ำแม่กลอง	53
5 ข้อกำหนดสภาวะความล้มเหลวสำหรับนำมาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ	59
6 สรุปคุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำ	68
7 สรุปคุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ	76
8 รายละเอียดสำคัญของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง	81
9 รายละเอียดสำคัญของระบบไฟฟ้าพลังน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง	82
10 รายละเอียดของพื้นที่โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่	86
11 ปริมาณน้ำต้นทุนในระบบกลุ่มน้ำแม่กลอง	93
12 กิจกรรมการใช้น้ำในระบบกลุ่มน้ำแม่กลอง	96
13 ความถี่ของการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างจากการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง	104
14 เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์ในรูปของ $R_i = b_i \cdot WR$	122
15 ค่าพารามิเตอร์ของการปฏิบัติงานจริงปัจจุบันในรูปของ $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$	123
16 สัดส่วนการสูบน้ำกลับของเขื่อนท่าทุ่งนา	131
17 แบบจำลองสโตคาสติกสำหรับนำมาใช้ในแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง	133
18 แบบจำลองสโตคาสติกสำหรับนำมาใช้ในแบบจำลองวิเคราะห์ความเสี่ยงของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง	135
19 ข้อแตกต่างของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	139
20 ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง	152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
21 การกำหนดค่าของตัวแปรสุ่ม X1-X5 สำหรับนำมาใช้จัดกลุ่มของตัวแปรสุ่มเพื่อจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง	157
22 ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ได้สำหรับนำไปวิเคราะห์ดัชนีความน่าเชื่อถือได้	166
23 คุณสมบัติทางสถิติของตัวแปรสุ่ม X1-X5	169
24 ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ได้จากผลการวิเคราะห์การปฏิบัติงานจริงกับแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง	173
25 ความน่าเชื่อถือได้ที่สถานการณ์ความต้องการน้ำต่าง ๆ ของกลุ่มน้ำแม่กลอง	176
26 การคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง	177

ตารางผนวกที่

ก1	ฝนรายเดือนเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2528-2546 ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง	200
ก2	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2508-2546 ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง	202
ก3	ระดับน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์	202
ก4	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์	203
ก5	การระเหยและรั่วซึมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์	204
ก6	ปริมาณน้ำที่ระบายทั้งหมดรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์	205
ก7	ปริมาณน้ำที่สูบกลับรายเดือนจากเขื่อนท่าทุ่งนา	206
ก8	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์	207
ก9	ระดับน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์	208
ก10	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์	209
ก11	การระเหยและรั่วซึมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์	210
ก12	ปริมาณน้ำที่ระบายทั้งหมดรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์	211
ก13	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์	212
ก14	ระดับน้ำรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา	213
ก15	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา	214
ก16	การระเหยและรั่วซึมรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา	215
ก17	ปริมาณน้ำที่ระบายทั้งหมดรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา	216

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก18 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา	217
ก19 Side Flow รายเดือนของกลุ่มน้ำแม่กลอง	218
ก20 ปริมาณน้ำที่ปล่อยรายเดือนของเขื่อนแม่กลอง	219
ก21 สภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)	224
ข1 รายชื่อการประปาส่วนภูมิภาคและแหล่งน้ำดิบในกลุ่มน้ำแม่กลอง	226
ข2 รายชื่อสถานีสูบน้ำในความรับผิดชอบของฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า (กาญจนบุรี)	228
ข3 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย	231
ค1 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์	234
ค2 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณ์	234
ง1 การจัดหมวดหมู่ของตัวแปรกลุ่มสำหรับนำมาใช้ศึกษา	248

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ	6
2 ขอบเขตโอกาสความน่าจะเป็นล่างและบน	8
3 หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้และระดับความรุนแรงของข้อมูลอุทกวิทยา	9
4 นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน	12
5 นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging	14
6 ตัวอย่างของเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบโคงกฎการปฏิบัติงาน	16
7 ตัวแปรต่าง ๆ สำหรับประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน	29
8 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของ Load, Resistance และ Safety Margin	32
9 ขอบเขตความปลอดภัยและความล้มเหลวใน 2 มิติ	33
10 หน้าต่าง Blockset ที่อยู่ใน Simulink Library	34
11 รูปแบบตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบใน Simulink	35
12 หน้าต่าง Ident สำหรับวิเคราะห์อนุกรมเวลาของข้อมูล	36
13 โครงสร้างของแบบจำลองหลักใน System Identification Toolbox	38
14 หลักการทำงานของ Non-Linear Programming ใน MATLAB	39
15 แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัย	62
16 การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของข้อมูลฝนรายวันของสถานี 450023 และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี K.17	67
17 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์รายวัน	71
18 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณรายวัน	72
19 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนท่าทุ่งนารายวัน	73
20 ข้อมูลปริมาณ Side Flow รายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง	74
21 ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ รายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง	75
22 ระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง	80
23 แผนผังระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง	83
24 โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
25 พื้นที่เพาะปลูกในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ตั้งแต่ปี 2522-2547	85
26 สภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีในคาบ 30 ปี (2514-2543)	88
27 ขอบเขตจังหวัด และสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ศึกษา	90
28 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง	91
29 ปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง	92
30 การจัดแบ่งประเภทของปีน้ำ	95
31 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์	101
32 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณ์	101
33 ระดับน้ำเก็บกักรายเดือนของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง	103
34 สภาวะการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างรายวันจากการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองระหว่างปี 2528-2547	107
35 ปริมาณน้ำที่ปล่อยท้ายเขื่อนแม่กลองรายเดือน	108
36 แผนการระบายน้ำและผลการปล่อยน้ำจริงรายวัน	109
37 แผนการระบายน้ำและผลการปล่อยน้ำจริงรายสัปดาห์	111
38 แผนการระบายน้ำและผลการปล่อยน้ำจริงรายเดือน	111
39 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง	115
40 หลักเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์	118
41 เกณฑ์การปฏิบัติงานของเขื่อนท่าทุ่งนาและเขื่อนแม่กลอง	119
42 เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์	125
43 หลักเกณฑ์การปล่อยน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนท่าทุ่งนา	129
44 ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์สูบน้ำกลับจริงตั้งแต่ปี 2528-2547	131
45 รูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำรายวันที่ใช้ในการศึกษา	138
46 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์ปัจจุบันโดยใช้ Rule Curve	142
47 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์ปัจจุบันโดยใช้ Parametric Rule	143

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
48	แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์ในอนาคต
49	องค์ประกอบของการจำลองระบบโดยการวิเคราะห์สมดุลของน้ำทั้งระบบ
50	แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ
51	Autocorrelation Function ของตัวแปรกลุ่ม X1-X5
52	แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะน้ำท่วมในสถานการณ์ปัจจุบัน
53	แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะน้ำท่วมในสถานการณ์อนาคต
54	แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะการขาดน้ำในสถานการณ์ปัจจุบัน
55	แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะการขาดน้ำในสถานการณ์อนาคต
56	แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพในสถานการณ์ปัจจุบัน
57	แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพในสถานการณ์อนาคต
58	ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดในแต่ละโหนด
59	การทดสอบแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ
60	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าเชื่อถือได้กับปริมาณน้ำต้นทุนของระบบ
61	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าเชื่อถือได้กับปริมาณความต้องการน้ำของระบบ
ภาพผนวกที่	
ค1	โค้งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์
ค2	โค้งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์
ค3	โค้งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำเขื่อนท่าทุ่งนา
ค4	โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ยูนิต 1-3
ค5	โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ยูนิต 4-5

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค6 โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า ของเขื่อนวชิราลงกรณ	240
ค7 โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า ของเขื่อนท่าทุ่งนา	241
ง1 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ ของเขื่อนศรีนครินทร์ (X1)	243
ง2 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ ของเขื่อนวชิราลงกรณ (X2)	244
ง3 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ ของเขื่อนท่าทุ่งนา (X3)	245
ง4 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ ของเขื่อนแม่กลอง (X4)	246
ง5 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ใน กิจกรรมต่าง ๆ (X5)	247
จ1 ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบลุ่มน้ำแม่กลองที่ใช้ในแบบจำลอง	252
จ2 ปริมาณน้ำสูญเสียของระบบลุ่มน้ำแม่กลองที่ใช้ในแบบจำลอง	253
จ3 ปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของระบบลุ่มน้ำแม่กลอง	254
จ4 ระดับน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์จากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	255
จ5 ระดับน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณจากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	256
จ6 เปรียบเทียบระดับน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลการ ปฏิบัติงานจริงและผลการจำลองจากโปรแกรม HEC-3	257
จ7 เปรียบเทียบระดับน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณที่ได้จากแบบจำลองกับผลการ ปฏิบัติงานจริงและผลการจำลองจากโปรแกรม HEC-3	258
จ8 ปริมาณน้ำที่ปล่อยรายวันจากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ	259
จ9 ปริมาณน้ำสูบลกลับรายวันจากเขื่อนท่าทุ่งนาจากแบบจำลองการปฏิบัติงาน ระบบอ่างเก็บน้ำ	260

คำอธิบายสัญลักษณ์ ค่าย่อ และอักษรย่อที่ใช้ในโปรแกรม

C	=	ความจุลำน้ำ (River Capacity)
cms	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Cubic Meter Per Second)
coeff.	=	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)
CPY	=	ลุ่มน้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันตก (Chao Phraya West Bank)
EGAT	=	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand)
FCRC	=	Flood Control Rule Curve
GMKIP	=	โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ (Greater Mae Klong Irrigation Project)
GWh	=	กิกะวัตต์-ชั่วโมง (Gigawatt-hour)
h	=	ชั่วโมง (Hour)
JRKS	=	คลองจรเข้สามพัน (Jorrakhe Sarmpun Canal)
km	=	กิโลเมตร (Kilometer)
KN	=	แม่น้ำแควน้อย (Khwae Noi River)
kN/m ³	=	กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (Kilonewton Per Cubic Meter)
kW	=	กิโลวัตต์ (Kilowatt)
kWh	=	กิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt-hour)
KY	=	แม่น้ำแควใหญ่ (Khwae Yai River)
LMC	=	คลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย (Left Main Canal)
LRC	=	Lower Rule Curve
m	=	เมตร (Meter)
mcm	=	ล้านลูกบาศก์เมตร (Million Cubic Meter)
MHSW	=	โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ (Mahasawat Water Treatment Plant)
MK	=	อ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กลอง (Mae Klong Reservoir)
mm	=	มิลลิเมตร (Millimeter)
m.msl.	=	ม.รทก. (Meter Mean Sea Level)
MW	=	เมกะวัตต์ (Megawatt)
MWL	=	ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Water Level)
MWA	=	การประปานครหลวง (Metropolitan Waterworks Authority)

คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อ และอักษรย่อที่ใช้ในโปรแกรม (ต่อ)

NHWL	=	ระดับเก็บกักปกติ (Normal High Water Level)
PDF	=	ฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็น (Probability Density Function)
PWA	=	การประปาส่วนภูมิภาค (Provincial Waterworks Authority)
Prob	=	โอกาสความน่าจะเป็น (Probability)
Q	=	Load
R	=	Resistance
RI	=	ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Indices)
RID	=	กรมชลประทาน (Royal Irrigation Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives)
SND	=	อ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ (Srinagarind Reservoir)
sq km	=	ตารางกิโลเมตร (Square Kilometer)
TC	=	ลุ่มน้ำท่าจีน (Tha Chin River Basin)
TN	=	อ่างเก็บน้ำเขื่อนท่าทุ่งนา (Tha Thung Na Reservoir)
Tr	=	รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period)
URC	=	Upper Rule Curve
VJK	=	อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ (Vajiralongkorn Reservoir)
yr	=	ปี (Year)

นิยามศัพท์เทคนิค

Autoregressive Model	=	แบบจำลองที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ในตัวเองของอนุกรมเวลาใด ๆ ซึ่งค่าสังเกต X_t ขึ้นอยู่กับค่าของ X_{t-1} , X_{t-2} , ..., X_{t-p} หรือค่าสังเกตที่เกิดขึ้นก่อนหน้า p ค่า
Combination	=	การจัดกลุ่ม: การจัดสิ่งของทั้งหมดหรือบางส่วน โดยถือว่าลำดับไม่มีความสำคัญ
Discharge	=	อัตราการระบายน้ำ: ปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านพื้นที่หน้าตัดในหนึ่งหน่วยเวลา
Double Mass Curve	=	กราฟแสดงค่าน้ำฝนหรือน้ำท่าทับทวี โดยเขียนจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณน้ำ
Flood Control Rule Curve	=	เส้นระดับควบคุมน้ำท่วม : เป็นส่วนประกอบหนึ่งของ Rule Curve สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ควบคุมการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำมากซึ่งมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการไหลล้นอ่างสูง
Head	=	เฮด: ระยะทางในแนวตั้งของผิวหน้าของของเหลวเหนือจุดใดจุดหนึ่ง
Hydro-meteorological Data	=	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา: อุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำในบรรยากาศเช่น ฝน เมฆ หิมะ และผลกระทบอันเนื่องมาสิ่งเหล่านี้ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การเกษตรกรรม หรือการป้องกันน้ำท่วม เป็นต้น
Load	=	ตัววัดผลกระทบของเหตุการณ์ภายนอกที่เกิดขึ้นกับระบบ
Lower Rule Curve	=	เส้นระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด: เป็นส่วนประกอบหนึ่งของ Rule Curve สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ควบคุมการใช้น้ำในอ่างให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด
Model	=	แบบจำลอง: โครงสร้าง หรือกระบวนการ หรือปรากฏการณ์ที่ถูกสร้างขึ้นเลียนแบบจากต้นแบบ
Parametric Rule	=	เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์: เกณฑ์ซึ่งได้มีการประเมินค่าพารามิเตอร์ของระบบ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวปรับแก้ในการวางแผนการเก็บกักน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

นิยามศัพท์เทคนิค (ต่อ)

Resistance	=	ตัววัดขีดความสามารถของระบบที่จะรับ Load หรือที่จะบรรลุลูกความต้องการ
Rule Curve	=	โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ: ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหรือปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำกับเวลา เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมการใช้น้ำในอ่างให้ได้ผลดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้
Side Flow	=	ปริมาณน้ำที่ไหลมาทางด้านข้างลงสู่ลำน้ำ
Simulation	=	การจำลอง: การใช้แบบจำลอง (Model) ทำการเลียนแบบโครงสร้าง ขบวนการหรือปรากฏการณ์ของต้นแบบ (Prototype)
Upper Rule Curve	=	เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด: เป็นส่วนประกอบหนึ่งของ Rule Curve สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ควบคุมการใช้น้ำในอ่างให้มีโอกาสเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำน้อยที่สุด

การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Reliability Based Multireservoir System Operation for Mae Klong River Basin

คำนำ

ความผันแปรตามธรรมชาติของปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยาที่สร้างความไม่แน่นอนในด้านปริมาณน้ำต้นทุน รวมถึงแนวโน้มของปริมาณความต้องการน้ำที่มีสูงขึ้นในปัจจุบัน นับเป็นสาเหตุที่ทำให้การสร้างความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานทางด้านการวางแผนและบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำเป็นไปได้ยาก บ่อยครั้งการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำต้องเผชิญกับสถานะเสี่ยงที่จะมีน้ำไม่เพียงพอตามความต้องการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูน้ำน้อย และเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วมในช่วงฤดูน้ำหลากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นแนวทางการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างความเชื่อมั่นว่าสถานะของการปฏิบัติงานสัมฤทธิ์ผลมากน้อยแค่ไหน สารสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการวางแผนและบริหารระบบอ่างเก็บน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้ความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ และเพื่อนำไปสู่การหามาตรการในการจัดการด้านความเสี่ยงให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้เป็นแนวคิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาระยะยาว (Chow *et al.*, 1986; Koutsoyiannis, n.d.) โดยทั่วไปดัชนีความน่าเชื่อถือได้ถูกพัฒนาขึ้นในรูปของตัวชี้วัดผลสำเร็จของการปฏิบัติงาน ซึ่งจะพิจารณาจากความสามารถในการตอบสนองความต้องการของระบบ จนกระทั่งเป็นที่พึงพอใจ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประเมินความต้องการที่แน่นอนทั้งทางด้านปริมาณและเวลาของระบบเป็นสิ่งที่ทำได้ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการแบบเอนกประสงค์ซึ่งกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ มีการปรับเปลี่ยนตลอดเวลา รวมทั้งการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่คำนึงถึงผลประโยชน์ร่วมกับการตอบสนองความต้องการหลักของโครงการประกอบกัน ยังทำให้การประเมินปริมาณความต้องการน้ำที่แท้จริงในช่วงเวลานั้น ๆ มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบที่ประเมินได้ไม่สะท้อนถึงประสิทธิผลของการปฏิบัติงานที่แท้จริง

เพื่อลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนในการประเมินความต้องการใช้น้ำ การศึกษา
นี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ ซึ่งพิจารณาความ
ล้มเหลวของระบบจากสถานภาพของระบบอ่างเก็บน้ำและลักษณะกายภาพของระบบอันเป็นผล
จากการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแทน โดยอาศัยหลักของ Load ซึ่งเป็นตัววัดผลกระทบของเหตุการณ์
ภายนอกที่เกิดขึ้นกับระบบและ Resistance ซึ่งเป็นตัววัดขีดความสามารถของระบบที่จะบรรลุน้ำ
ความต้องการ และเลือกระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ตอบสนองความต้องการน้ำแบบ
เอนกประสงค์มาเป็นพื้นที่ศึกษา ซึ่งแนวทางการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่
คำนึงถึงผลประโยชน์ในแง่ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับการตอบสนองความต้องการด้าน
ชลประทาน และการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ยังทำให้การตัดสินใจปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองความ
ต้องการของทุก ๆ วัตถุประสงค์อย่างเต็มประสิทธิภาพในปัจจุบัน อาจส่งผลให้เกิดความล้มเหลวใน
การบริหารอ่างเก็บน้ำในอนาคตได้ ดังนั้นการยึดมาตรฐานความน่าเชื่อถือได้ในปฏิบัติงานของ
ระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองจึงเป็นสิ่งสำคัญ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยประกอบด้วย

1. ศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง เพื่อ
นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง
2. พัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและ
สถานการณ์ในอนาคต
3. พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่า
ความน่าเชื่อถือได้และศึกษาความสัมพันธ์กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่
เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ระดับความน่าเชื่อถือได้ต่าง ๆ

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์การปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานรายวันในลักษณะของการปฏิบัติงานแบบหลายอ่างร่วมกัน (Multireservoir Operation) โดยเลือกใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2528-2547 ในการพัฒนาแบบจำลอง

การตรวจเอกสาร

อ่างเก็บน้ำ

1. การแบ่งปริมาตรของอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) คือ คลังที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เก็บกักน้ำและควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันไม่ว่าจะเป็นการอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม การชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า การผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง การควบคุมคุณภาพน้ำ การคมนาคมและการท่องเที่ยว หรือแม้กระทั่งการบรรเทาสภาวะน้ำท่วมในช่วงฤดูน้ำหลาก เป็นต้น (วรารุช, 2541)

อ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะเรียกว่า อ่างเก็บน้ำแบบเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) ในขณะที่อ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เพื่อวัตถุประสงค์หลาย ๆ อย่างรวมกันเรียกว่า อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multipurpose Reservoir) ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีการแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานในภาพที่ 1 ดังนี้คือ (US Army Corps of Engineer, 1998)

1) Surcharge Storage Zone

เป็นปริมาตรอ่างเก็บน้ำที่สำรองไว้ใช้ในกรณีที่ทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency Spillway) ไม่สามารถระบายน้ำได้ทันในช่วงที่เกิดน้ำท่วม

2) Flood Control Storage Zone

เป็นปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม ซึ่งปริมาณน้ำเก็บกักส่วนเกินจะถูกหน่วงไว้ในโซนนี้เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อพื้นที่ท้ายน้ำของระบบ อ่างเก็บน้ำใดที่ไม่ได้กำหนดปริมาตรอ่างเก็บน้ำในส่วนนี้ จะถือว่าปริมาตรเก็บกักสูงสุดของ Conservation Storage เป็นปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม ปริมาตรอ่างเก็บน้ำสูงสุดในส่วนนี้ยังบ่งบอกถึงระดับน้ำ

สูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาที่มือน้ำท่วมขนาดใหญ่เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่างซึ่งเรียกว่า ระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Flood Level)

3) Conservation Storage Zone

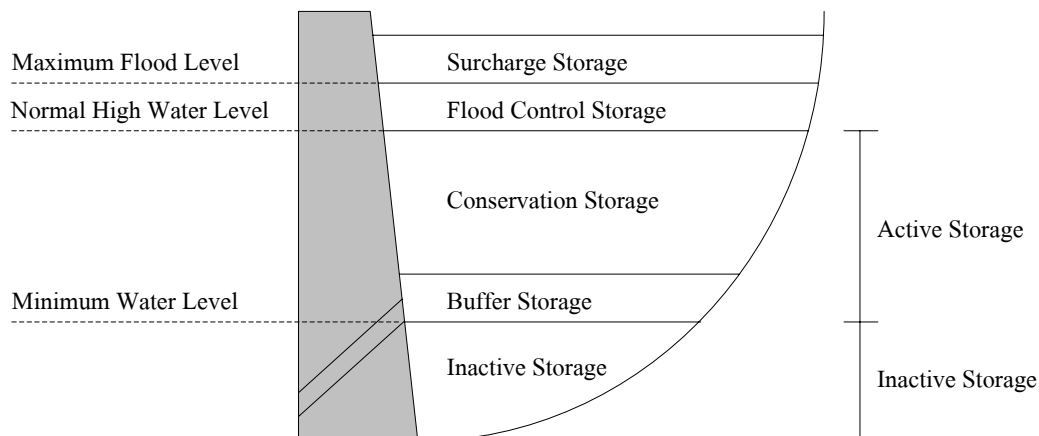
เป็นปริมาณอ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำไว้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของโครงการ ระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของ Conservation Storage Zone จะเรียกว่า ระดับน้ำเก็บกักสูงสุดปกติ (Normal High Water Level) ซึ่งมีการปฏิบัติงานตามปกติ (Normal Operation) ระดับนี้จะเป็นตัวกำหนดระดับสันของทางระบายน้ำล้นแบบไม่มีประตูควบคุม

4) Buffer Storage Zone

เป็นส่วนหนึ่งของ Conservation Storage เมื่อระดับน้ำในอ่างลดลงถึงโซน Buffer จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะแห้งแล้งที่กำลังจะเกิดขึ้น ดังนั้นการส่งน้ำจึงต้องส่งในปริมาณที่จำเป็นเท่านั้น (Required Flow)

5) Inactive Storage Zone

เป็นปริมาณอ่างเก็บน้ำที่ไม่ใช้การ ซึ่งเผื่อไว้สำหรับการตกตะกอนที่จะเกิดขึ้นในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ และจะไม่มีการปล่อยน้ำไปใช้จากปริมาณอ่างเก็บน้ำในส่วนนี้ ระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของ Inactive Storage Zone จะเรียกว่า ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด (Minimum Water Level) ระดับน้ำยังเป็นตัวกำหนดระดับปากของอาคารทางออก (Outlet) ตัวที่อยู่ต่ำสุดอีกด้วย



ภาพที่ 1 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ

2. ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ

ผลผลิตของอ่างเก็บน้ำ (Yield) หมายถึง ปริมาณน้ำที่จะสามารถนำเอาไปใช้อ่างเก็บน้ำได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งปกติระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 ปี (วรารุช, 2541) สามารถแยกได้ดังนี้

1) ผลผลิตที่แน่นอน (Firm Yield) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มากที่สุดเท่าที่จะประกันว่าสามารถนำเอาไปใช้อ่างที่มีความจุที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาที่วิกฤติที่สุด หรือกล่าวได้ว่าผลผลิตที่แน่นอนคือผลผลิตที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำนั่นเอง

2) ผลผลิตรอง (Secondary Yield) หมายถึง ปริมาณน้ำที่เกินค่าผลผลิตที่แน่นอนของอ่างเก็บน้ำซึ่งสามารถนำไปใช้กับความต้องการน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ที่รองลงมาได้

3) ผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum Possible Yield) หมายถึง ปริมาณการไหลเข้าเฉลี่ย (Mean Inflow) ลบด้วยปริมาณการสูญเสียต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการระเหยและการรั่วซึมขณะเก็บกักน้ำไว้ในอ่าง

3. ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ

ช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำ (Critical Period of Reservoir, CP) นับเป็นตัวแปรสำคัญที่นำมาใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อวางแผนการปฏิบัติอ่างเก็บน้ำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการตามที่วางไว้ วราวุธ (2541) กล่าวว่าช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำจะเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างและความต้องการน้ำจากอ่างมีความแปรปรวนและแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึงช่วงเวลาที่น้ำไหลเข้าอ่างน้อยที่สุดจากข้อมูลที่มีอยู่นั้นเอง US Army Corps of Engineer (1975) ได้ให้คำจำกัดความของช่วงวิกฤติของอ่างเก็บน้ำว่าเป็นช่วงเวลาที่อ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ในสถานะของน้ำเต็มอ่างเข้าสู่สถานะของการพร่องน้ำและกลับคืนสู่สถานะของน้ำเต็มอ่างอีกครั้ง

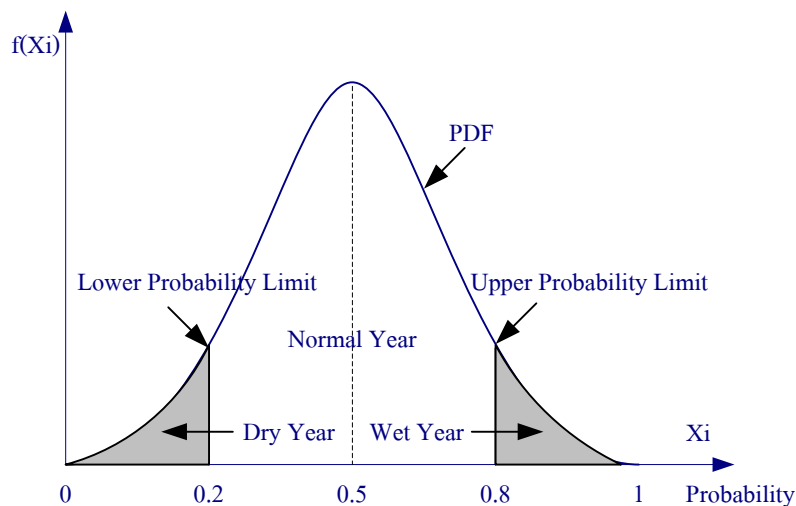
McMahon and Mein (1986) ได้จัดแบ่งประเภทของระบบอ่างเก็บน้ำตามลักษณะของช่วงวิกฤติออกเป็น Within Year System ซึ่งหมายถึงอ่างเก็บน้ำที่จำเป็นต้องเก็บกักน้ำให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการตลอดทั้งฤดูกาลโดยมีค่า $CP \leq 12$ เดือน และ Over Year System หมายถึงอ่างเก็บน้ำที่เก็บกักน้ำในปีปัจจุบันให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการในปีถัดไป โดยมีค่า $CP > 12$ เดือน ทั้งนี้เพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมของอ่างเก็บน้ำ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางเพื่อให้การวางแผนเก็บกักน้ำมีความเหมาะสมมากที่สุด

หลักการการจำแนกปีและความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลอุทกวิทยา

1. หลักการการจำแนกปีของข้อมูลอุทกวิทยา

Sahoo *et al.* (2001) ได้กำหนดหลักการในการจำแนกปีตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ของข้อมูลอุทกวิทยาเป็นปีน้ำมาก (Wet Year) ปีน้ำปานกลาง (Normal Year) และปีน้ำน้อย (Dry Year) โดยได้กำหนดขอบเขตโอกาสความน่าจะเป็นล่างและบน (Lower and Upper Probability Limit) ที่โอกาสความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2 และ 0.8 ตามลำดับ สำหรับจัดจำแนกปีตามหลักเกณฑ์ดังนี้คือ เมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% หรือ $\text{Prob}(X \leq 0.2)$ จะกำหนดให้เป็นปีน้ำน้อย เมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมากกว่าหรือเท่ากับ 80% หรือ $\text{Prob}(X \geq 0.8)$ จะกำหนดให้เป็นปีน้ำมาก และเมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหล

เข้าอ่างอยู่ระหว่าง 20-80% หรือ $\text{Prob}(0.2 < X < 0.8)$ จะกำหนดให้เป็นปีน้ำปานกลาง ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขอบเขตโอกาสความน่าจะเป็นล่างและบน

2. การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลอุทกวิทยา

Tsheko (2003) ได้นำแนวคิดในการวิเคราะห์ดัชนีแสดงผลการจัดการระบบแหล่งน้ำที่ Hashimoto (1982) ได้เสนอไว้มาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) และวัดระดับความรุนแรง (Vulnerability) ของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากข้อมูลฝนจำนวนทั้งสิ้น 14 สถานีใน Botswana โดยแยกสถานะของข้อมูลฝนซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการทางอุทกวิทยาออกเป็น 2 ลักษณะคือ ผลลัพธ์ที่พึงพอใจ (Satisfactory Output, S) และผลลัพธ์ที่ก่อให้เกิดความล้มเหลวขึ้นในการจัดการระบบแหล่งน้ำ (Failure Output, F) ไม่ว่าจะเป็นภัยแล้งที่เกิดจากฝนตกในปริมาณน้อยหรือภาวะฝนทิ้งช่วง และภัยน้ำท่วมที่เกิดจากฝนตกหนักและติดต่อกันเป็นเวลานาน เป็นต้น และใช้ Threshold Value เป็นตัวแบ่งสถานะดังแสดงในภาพที่ 3 ดังนั้นความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลอุทกวิทยาในที่นี้จึงหมายถึง โอกาสความน่าจะเป็นที่ข้อมูลอุทกวิทยาจะแสดงค่าผลลัพธ์เป็นที่พึงพอใจ โดยไม่ก่อให้เกิดความล้มเหลวขึ้นในระบบ ดังแสดงในสมการ

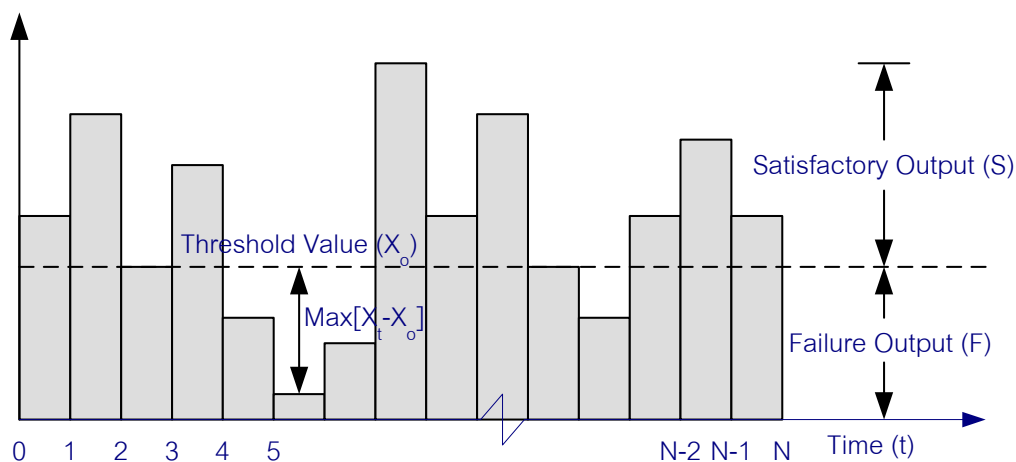
$$\alpha = \text{Prob}[X_t \in S] \quad ; \quad S = X_t \geq X_0 \quad \text{-----}(1)$$

นอกจากนี้ยังสามารถวัดระดับความรุนแรงของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากข้อมูลอุทกวิทยา จากค่าสูงสุดของสภาพความล้มเหลวที่เกิดขึ้นดังนี้คือ

$$v = \text{Max}[X_t - X_0] \quad \text{-----}(2)$$

เมื่อ	α	= ความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลอุทกวิทยา
	v	= ระดับความรุนแรงที่เกิดจากข้อมูลอุทกวิทยา
	X_t	= อนุกรมเวลาของข้อมูลอุทกวิทยา
	X_0	= ค่า Threshold ที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระยะยาว

สำหรับการวัดระดับความรุนแรงของภัยแล้งที่เกิดจากข้อมูลฝน (Drought Vulnerability Rainfall) ค่า Threshold จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูลฝนต่ำสุดในช่วงเวลา t ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลฝนสูงสุดในช่วงเวลา t จะถูกนำมาใช้กำหนดเป็นค่า Threshold เพื่อวัดความรุนแรงของภัยน้ำท่วมที่เกิดจากข้อมูลฝน (Flood Vulnerability Rainfall)



ภาพที่ 3 หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้และระดับความรุนแรงของข้อมูลอุทกวิทยา

การวางแผนการใช้น้ำและการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

การวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำนั้น เป็นความพยายามที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนน้ำและการไหลล้นอ่างให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยทำการศึกษาความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบกับข้อมูลอื่น ๆ ของอ่างเก็บน้ำ สำหรับกำหนดปริมาณน้ำที่จะส่งเพื่อวัตถุประสงค์นั้น ๆ ทั้งนี้เพื่อให้การใช้น้ำอันวश्यकประโยชน์สูงสุด (วรารุช, 2538) ดังนั้นในขั้นตอนของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) จึงเป็นการเก็บกักน้ำและส่งน้ำจากอ่าง โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรจะเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และมีการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ ครอบคลุมที่สภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ อย่างไรก็ตามแผนการปฏิบัติการจะถูกปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสม เมื่อสภาพในอนาคตเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (วรารุช, 2541) อาจกล่าวได้ว่าการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการตัดสินใจที่ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operator) ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ทางด้านอุทกวิทยา ดังนั้นกระบวนการตัดสินใจปล่อยน้ำจึงอยู่บนพื้นฐานของการสร้างความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่และปริมาณความต้องการน้ำในแต่ละช่วงเวลา การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำสามารถจำแนกได้เป็น (Wurbs, 2005a)

1) การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในสภาพเงื่อนไขทางอุทกวิทยาปกติ

เป็นการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำให้บรรลุผลดีที่สุดในลักษณะแบบวันต่อวัน หรือแต่ละฤดูกาล หรือแบบปีต่อปี รวมถึงการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่พยายามรักษาสถานภาพปัจจุบันเพื่อรองรับกับสภาพทางอุทกวิทยาในอนาคตซึ่งยากต่อการคาดการณ์เช่น การสำรวจปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำเพื่อการป้องกันน้ำท่วมไว้ล่วงหน้า หรือการรักษาระดับความน่าเชื่อถือได้น้ำต้นทุนที่มีอยู่ เป็นต้น

2) การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในสภาพเงื่อนไขทางอุทกวิทยาที่วิกฤติ

เป็นการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงสภาวะวิกฤติเช่น ในช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมหรือเกิดสภาวะแห้งแล้งอย่างรุนแรง เป็นต้น

นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

Loucks and Sigvaldason (1982) กล่าวว่าแบบจำลองระบบ (Simulation Model) เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อวางแผนการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำนโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Policy) มาใช้ ซึ่งนโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจะหมายถึงกลวิธี แนวทาง และกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ช่วยสนับสนุนในการตัดสินใจปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำให้สอดคล้องกับสภาวะปัจจุบันหรือสภาวะที่ได้ทำการคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าของระบบ (Salas and Hall, 1998) หลักเกณฑ์ที่สำคัญในการกำหนดนโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำก็คือ ต้องพยายามลดการขาดน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุดในช่วงน้ำน้อย ในขณะที่เดียวกันในช่วงฤดูน้ำมากต้องสามารถลดปัญหาการไหลล้นอ่างให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด และหลีกเลี่ยงสถานการณ์ซึ่งอ่างเก็บน้ำหนึ่งในระบบมีปริมาณน้ำเก็บกักเต็มอ่าง ในขณะที่อ่างเก็บน้ำที่เหลือมีปริมาตรอ่างว่าง (Johnson *et al.*, 1991)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนานโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule Curve) ตารางการปฏิบัติงาน หรือการกำหนดนโยบายการปล่อยน้ำ (Release Policy) ตามโซนปริมาตรเก็บกักของอ่าง หรือแม้กระทั่งเกณฑ์การปล่อยน้ำต่าง ๆ ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาเทคนิควิธีใหม่ ๆ ในการสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำดังกล่าวเช่น การประยุกต์ใช้ Fuzzy Approach (Dubrovin *et al.*, 2002), Genetic Algorithm (Oliveira and Loucks, 1997; Chang *et al.*, 2005), Data Mining Approach (Sudha *et al.*, n.d.) และ Rough Set Approach (Barbagallo *et al.*, 2006) เป็นต้น สำหรับนโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่สำคัญมีดังนี้

1. นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน

นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy, SOP) เสนอเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ค่อนข้างง่ายที่พยายามปล่อยน้ำให้เพียงพอกับความต้องการทุก ๆ ช่วงเวลาเท่าที่จะเป็นไปได้ (Stedinger, 1984; Shiau, 2003) โดยการตัดสินใจปล่อยน้ำจะพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้น ๆ ในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมาย (Target Demand) ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอ่างจะถูกปล่อยไปใช้ทั้งหมด ดังนั้นปริมาตรอ่างเก็บน้ำจะว่างเปล่าโดยไม่มีการเก็บกักน้ำไว้ และ

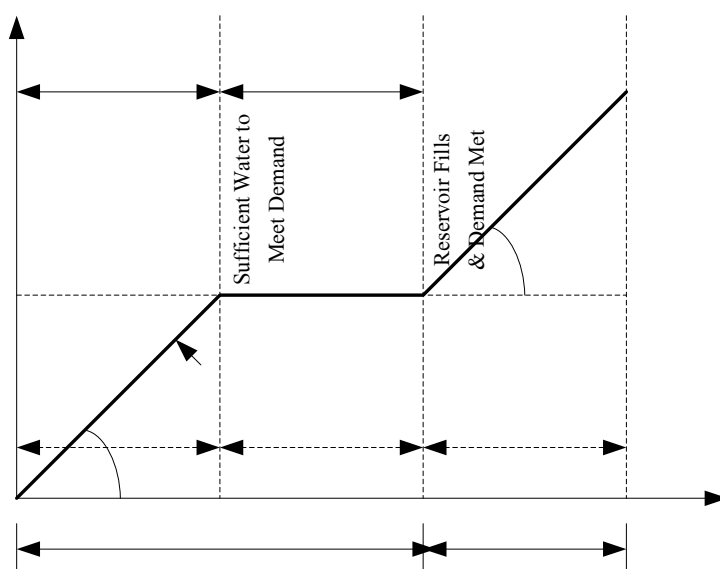
ในช่วงที่มีปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำมีเพียงพอ ปริมาณน้ำในส่วนที่เกินปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายจะถูกเก็บกักไว้ในอ่างจนกระทั่งเต็มความจุของอ่างจึงจะเริ่มปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างไป ดังแสดงในภาพที่ 4 (Draper and Lund, 2004) โดยมีสมการการปล่อยน้ำดังนี้

$$\text{เมื่อ } S_t + Q_t \leq D_t \quad ; R_t = S_t + Q_t \quad \text{-----}(3)$$

$$D_t \leq S_t + Q_t \leq D_t + K \quad ; R_t = D_t \quad \text{-----}(4)$$

$$D_t + K \leq S_t + Q_t \quad ; R_t = S_t + Q_t - K \quad \text{-----}(5)$$

โดยที่ S_t = ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่เวลาเริ่มต้น t ใด ๆ
 Q_t = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิในช่วงเวลา t ใด ๆ
 R_t = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา t ใด ๆ
 D_t = ปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมายที่เวลา t ใด ๆ
 K = ความจุของอ่างเก็บน้ำ

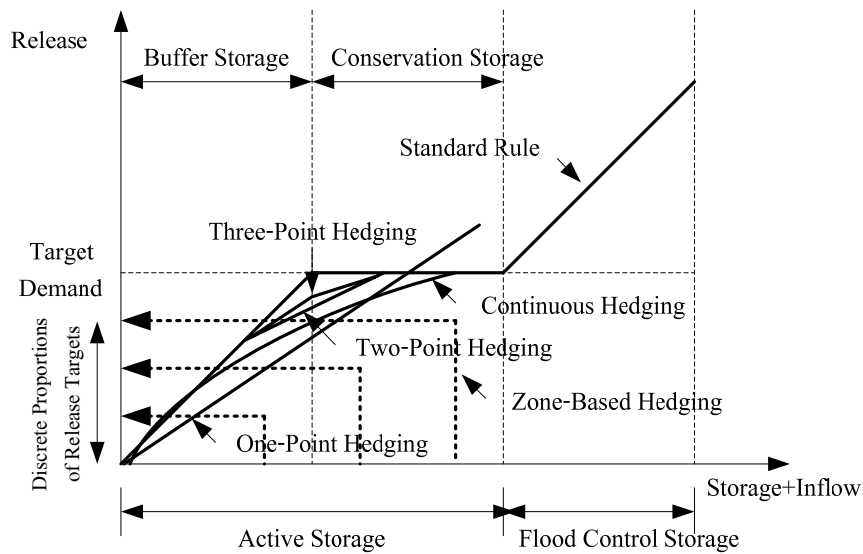


ภาพที่ 4 นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน

2. นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging

นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging เสนอเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่พยายามลดการส่งน้ำในบางช่วงเวลาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเวลาที่ขาดไป แม้ว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะสามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายได้อย่างเต็มศักยภาพก็ตาม อาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ Hedging เป็นความพยายามที่จะลดปัญหาการขาดน้ำอย่างรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ด้วยการกระจายการขาดน้ำในเวลาปัจจุบันล่วงหน้า ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับระบบต้นทุนที่มีความต้องการใช้น้ำสูง แต่ประสบปัญหาในด้านความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Neelakantan and Pundarikanthan, 2000; Shiau, 2003; Onoz *et al.*, 2005) โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging จะปรากฏในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 (Draper and Lund, 2004) ดังนี้คือ

- 1) One-Point Hedging การปล่อยน้ำจะเริ่มต้นจากจุดกำเนิดและจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรงที่มี Slope < 1 จนกระทั่งไปตัดเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ
- 2) Two-Point Hedging เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดผ่านจุดตัด 2 จุดคือ จุดแรกจะอยู่สูงกว่าจุดกำเนิดขึ้นไปและอยู่บนเส้น Standard Operating Policy ในช่วงที่เกิดการขาดน้ำ และจุดที่สองจะเป็นจุดตัดที่อยู่บนเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ โดยเส้นตรงที่ตัดผ่านนี้จะมี Slope < 1
- 3) Three-Point Hedging เป็นเกณฑ์ที่เพิ่มจุดตรงกลางขึ้นอีกหนึ่งจุดจากเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ Two-Point Hedging
- 4) Continuous Hedging สัดส่วน Slope ของเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในรูปแบบนี้จะมีลักษณะต่อเนื่อง
- 5) Zone-Based Hedging กำหนดสัดส่วนการปล่อยน้ำในแต่ละโซนเก็บกักเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมายของระบบ ในลักษณะของสัดส่วนการปล่อยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Proportion)



ภาพที่ 5 นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging

3. นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Heuristic

นโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Heuristic หมายถึงนโยบายการปฏิบัติงานที่นำแนวทางการเรียนรู้จากประสบการณ์ของการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำในอดีตมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาปัจจุบันที่ t ใด ๆ ทั้งนี้แนวทางที่นำมาใช้อาจจะเป็นเหตุผลหรือเกณฑ์ในการประเมินแบบคร่าว ๆ ซึ่งคำตอบที่ได้ อาจไม่มีความถูกต้องแม่นยำมากนัก ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะอธิบายให้อยู่ในรูปของโอกาสความน่าจะเป็น (Johnson *et al.*, 1991) สำหรับเกณฑ์การปฏิบัติงานที่สำคัญประกอบด้วย

3.1 Space Rule

เกณฑ์การปฏิบัติงานนี้สามารถประยุกต์ใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำที่มีการเชื่อมต่อกันแบบขนาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปฏิบัติงานในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยจะกำหนดปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมาย (Target Storage) และปริมาตรว่างของแต่ละอ่างเก็บน้ำเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ (Expected Inflow) ทั้งนี้เพื่อสำรองปริมาตรอ่างเก็บน้ำให้เพียงพอกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างคาดการณ์ โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้คือ

$$\frac{(K_i - S_i)}{E(CQ_i)} = \frac{[\sum_{j=1}^n K_j - V]}{[\sum_{j=1}^n E(CQ_j)]} \text{-----}(6)$$

- เมื่อ S_i = ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ i
 V = ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาปัจจุบันทั้งหมดของระบบอ่างเก็บน้ำ
 $E(CQ_i)$ = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสะสมคาดการณ์ (Expected Cumulative Inflow) ของอ่างเก็บน้ำ i ตั้งแต่ช่วงเวลาปัจจุบันถึงสิ้นสุดฤดูฝน
 K_i = ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ i
 n = จำนวนอ่างเก็บน้ำในระบบ

3.2 New York City Rule

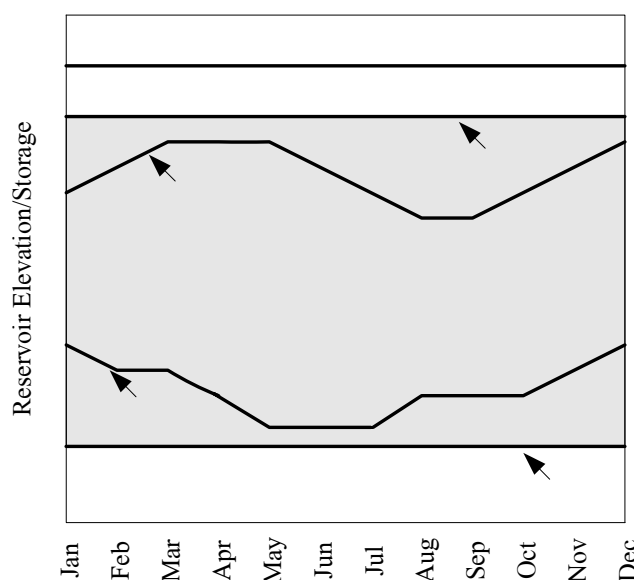
New York City Rule (NYCR) ถูกคิดค้นโดย Clark ในปี 1950 สำหรับนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการระบบน้ำต้นทุนในรัฐ New York ประเทศสหรัฐอเมริกา เกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ NYCR สามารถประยุกต์ใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำที่มีการเชื่อมต่อกันแบบขนานซึ่งตอบสนองความต้องการทางด้านท้ายน้ำร่วมกัน โดยมีหลักการที่สำคัญคือพยายามหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนน้ำให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ด้วยการควบคุมการลดลงของปริมาณน้ำเก็บกักของแต่ละอ่างเก็บน้ำให้อยู่ในระดับเปอร์เซ็นต์เก็บกักเดียวกันทุก ๆ ปี และการดึงน้ำไปใช้ของแต่ละอ่างจะถูกปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับโอกาสความน่าจะเป็นของการไหลล้นอ่างที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหลังสิ้นสุดฤดูฝน (Lund and Guzman, 1999) เกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ Space Rule สามารถประยุกต์ใช้ในปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเฉพาะในลักษณะของ Energy Space Rule ในขณะที่ NYCR สามารถปรับใช้กับระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ด้านอื่น ๆ

4. เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบโค้งกฎการปฏิบัติงาน

โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานซึ่งกำหนดระดับน้ำเก็บกักเป้าหมาย (Target Storage Level) สำหรับช่วยในการตัดสินใจปล่อยน้ำ Rule Curve

ปรากฏให้เห็นในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ระดับน้ำเก็บกักเทียบกับเวลา หรือปริมาตรเก็บกักเทียบกับเวลา เป็นต้น อย่างไรก็ตามส่วนบนสุดของ Conservation Storage Zone จะถือว่าเป็นรูปแบบทั่วไปในการออกแบบ Rule Curve (Wurbs, 2005a) Vudhivanich (1986) กล่าวว่า การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในปัจจุบันนิยมนำ Rule Curve ซึ่งเป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานที่ตั้งไว้ล่วงหน้ามาใช้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว Rule Curve จะสร้างขึ้นโดยอิงข้อมูลและสารสนเทศในช่วงวิกฤติมาใช้เป็นสำคัญ นอกจากนี้ Rule Curve ยังสร้างความเชื่อมั่นว่าน้ำในอ่างจะมีเพียงพอที่จะสนองตอบความต้องการในอนาคต ตราบเท่าที่สภาพเงื่อนไขทางอุทกวิทยาไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ส่วนประกอบที่สำคัญของ Rule Curve ได้แก่ เส้นระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) อารียา (2545) ได้พัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Probability Based Rule Curve และ Vacancy-Minimum Storage Requirement Rule Curve และให้คำจำกัดความของ Upper Rule Curve ว่าเป็นเส้นระดับน้ำสูงสุดของอ่างเก็บน้ำที่ทำให้ความเสี่ยงต่อการมีปริมาณอ่างไม่เพียงพอที่จะรับน้ำนองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในขณะที่ Lower Rule Curve จะหมายถึงเส้นระดับน้ำต่ำสุดที่ควรรักษาไว้เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการขาดแคลนในอนาคต หรือค่าความเสี่ยงดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้ง Upper Rule Curve และ Lower Rule Curve จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่พิจารณา ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างของเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบโค้งกฎการปฏิบัติงาน

5. เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์

เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์ (Parametric Rule) หมายถึง เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำซึ่งได้มีการประเมินค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อนำมาใช้เป็นตัวปรับแก้ในการวางแผนการเก็บกักน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำให้ได้มากที่สุด ซึ่งการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997)

จากสมการความต่อเนื่องของระบบอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t ใด ๆ ดังแสดงในสมการ

$$S_i = BS_i + Q_i - R_i - L_i - SP_i \quad \text{-----}(7)$$

เมื่อ	BS_i	=	ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาเริ่มต้นปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ i
	S_i	=	ปริมาณน้ำเก็บกักที่ช่วงเวลาปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ i
	Q_i	=	ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของอ่างเก็บน้ำ i
	R_i	=	ปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ i ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการน้ำ (D)
	L_i	=	ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ i
	SP_i	=	ปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างของอ่างเก็บน้ำ i

และกำหนดให้ V = ปริมาณน้ำเก็บกักทั้งหมดของระบบในช่วงเวลาที่พิจารณา โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) กรณีระบบอ่างเก็บน้ำเดี่ยว (Single Reservoir System)

$$S_i = V \quad \text{-----}(8)$$

2) กรณีระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายอ่าง (Multireservoir System)

$$\sum_{i=1}^n S_i = V \quad \text{-----}(9)$$

สมมุติว่าปล่อยน้ำได้ตามเป้าหมายกล่าวคือเท่ากับปริมาณความต้องการน้ำ และทราบข้อมูลอุทกวิทยาอื่น ๆ ของทุกอ่างเก็บน้ำ เพราะฉะนั้นจะสามารถคำนวณปริมาณน้ำเก็บกักทั้งหมดของระบบในช่วงเวลาสิ้นสุดได้จาก

$$V = \sum_{i=1}^n (BS_i + Q_i - L_i - SP_i) - D \quad \text{-----}(10)$$

ปัญหาที่ตามมาคือการกำหนดการปล่อยน้ำจากทุกอ่างเก็บน้ำให้มีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการน้ำ ซึ่งหมายถึงการกระจายปริมาณน้ำเก็บกัก (V) ไปยังทุกอ่างเก็บน้ำ N อ่างจนกระทั่งสอดคล้องตามสมการ (10) ดังนั้น Nalbantis และ Koutsoyiannis จึงได้กำหนดเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในรูปของสมการเชิงเส้นดังนี้คือ

$$S_i^* = a_i + b_i \cdot V \quad \text{-----}(11)$$

เมื่อ S_i^* = ปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่ช่วงเวลาปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ i
 a_i, b_i = ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า

โดยที่

$$\sum_{i=1}^n a_i = 0 \text{ และ } \sum_{i=1}^n b_i = 1 \quad \text{-----}(12)$$

จากข้อแม้ในสมการที่ (12) จะได้จำนวนของพารามิเตอร์จะเท่ากับ $2N-1$ ตัว จากนั้นได้พัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำที่คำนึงถึงเงื่อนไขทางกายภาพเพิ่มเติมในสมการที่ (13) โดยได้รวบรวมเงื่อนไขทางกายภาพไว้ในสมการเชิงเส้นเพื่อให้การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำครอบคลุมสถานการณ์ต่าง ๆ ที่จะเป็นไปได้จริงมากที่สุดดังนี้คือ

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ S_i^* = a_i + b_i \cdot V \\ K_i \end{array} \right\} \begin{array}{l} ; a_i + b_i V < 0 \\ ; 0 \leq a_i + b_i \cdot V \leq K_i \\ ; a_i + b_i V > K_i \end{array} \quad \text{-----(13)}$$

และเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้อ่างเก็บน้ำต้องเผชิญกับสภาวะน้ำแห้งอ่างหรือเต็มอ่างในการดำเนินงานโดยใช้เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในสมการที่ (13) ดังนั้นจึงได้พัฒนาปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายสุดท้าย (Final Target Storage, S_i^*) โดยอาศัย Adjustment Procedure ดังนี้คือ

$$S_i^{**} = S_i^* + \left\{ \left[\frac{S_i^* (1 - \frac{S_i^*}{K_i})}{\sum_{j=1}^n S_j^* (1 - \frac{S_j^*}{K_j})} \right] [V - \sum_{j=1}^n S_j^*] \right\} \quad \text{-----(14)}$$

$$= S_i^* + \{1 + \phi [1 - \frac{S_i^*}{K_i}]\} \quad \text{-----(15)}$$

$$\text{เมื่อ} \quad \phi = \left[\frac{V - \sum_{j=1}^n S_j^*}{\sum_{j=1}^n S_j^* (1 - \frac{S_j^*}{K_j})} \right] \quad \text{-----(16)}$$

ในที่นี้ $0 \leq S_i^* \leq K_i$ ซึ่งเกณฑ์การปฏิบัติงานนี้ได้กระจายเทอมของผลต่างระหว่าง $V - \sum_{j=1}^n S_j^*$ ไปยังอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ในระบบ

แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้มีการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Model) มาใช้งานทางด้านการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำกันอย่างแพร่หลาย โดยแนวคิดพื้นฐานของการพัฒนาแบบจำลองก็คือ การพยายามรักษาคุณลักษณะที่สำคัญต่าง ๆ รวมถึงโครงสร้างของระบบจริงเพื่อวัตถุประสงค์นั้น ๆ ไว้ ทั้งนี้เพื่อให้คำตอบที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด (บัญชา, 2541) ในการพัฒนาแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Reservoir System Model) เพื่อทำการศึกษาลักษณะของระบบ ตลอดจนทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบ รวมถึงคาดการณ์การตอบสนองของระบบต่อสถานการณ์ที่ต้องการทราบนั้น จำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการระบุรูปแบบของแบบจำลองที่ใช้ ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะของการจำลองระบบ (Simulation) หรือการเลือกค่าที่ดีที่สุด (Optimization) โดยมีการเชื่อมโยงข้อมูลอุทกวิทยาต่าง ๆ ไว้ในแบบจำลอง ตลอดจนกำหนดเงื่อนไข กฎเกณฑ์ในการปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และลักษณะทางกายภาพของระบบให้มากที่สุด

โดยทั่วไปวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาแบบจำลองการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำจะเกี่ยวข้องกับความพยายามในการลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่อระบบเช่น ความเสียหายจากสภาวะน้ำท่วม การขาดแคลนน้ำ เป็นต้น ตลอดจนเป็นแนวทางในการจัดสรรน้ำไปใช้ให้เกิดความเหมาะสมระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่กับกิจกรรมการใช้น้ำและประเภทของผู้ใช้น้ำ รวมไปถึงการหาค่าที่ดีที่สุดในการใช้ทรัพยากรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำ พลังงานและที่ดินให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบันยังได้ให้ความสำคัญต่อการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Wurbs, 2005a) อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ดีต้องสามารถใช้งานได้ง่าย และมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น ในที่นี้ได้สรุปแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในลักษณะของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โดยจำแนกตามประเภทของหน่วยงานหรือองค์กรที่พัฒนาขึ้นมา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

Reservoir System Model Developed By	Short Name	Descriptive Name
1. US Army Corps of Engineers		
-The Hydrologic Engineering Center (HEC)	HEC-3	Reservoir System Analysis for Conservation
-Waterways Experiment Station (WES)	HEC-5	Simulation of Flood Control and Conservation Systems
-The Division and District Offices of the US Army Corps of Engineers (USACE)	HEC-PRM	Prescriptive Reservoir Model
	SSARR	Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation
	HEC-ResSim	Reservoir System Simulation
	SUPER	SWD Reservoir System Model
2. State Agencies		
-California Department of Water Resources Models	WRIMS (CALSIM)	Water Resources Integrated Modeling System
-State of Colorado	StateMOD	State of Colorado Stream Simulation Model
3. International Consulting Firms and Research Institutes		
-Hydrologics, Inc.	OASIS	Operational Analysis and Simulation of Integrated Systems
-Acres International, Inc.	ARSP	Acres Reservoir Simulation Program
-Danish Hydraulic Institute	MIKE BASIN	GIS-Based Decision Support for Water Planning & Management
-Delft Hydraulics Institute	RIBASIM	River Basin Simulation
-Stockholm Environment Institute	WEAP	Water Evaluation and Planning

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Reservoir System Model Developed By	Short Name	Descriptive Name
4. Bureau of Reclamation (USBR)		
-Generalized Models	RiverWare	River and Reservoir Operations
	PNMOD	Reservoir Operation and Routing
	DROPH	Daily and Hourly Reservoir Operation
	HYDROSS	Hydrologic Operations Study System
	PNRRN	Monthly Reservoir System Simulation
	OPSTUDY	Utility Program for Monthly Operations
	SIMULOP	River-Reservoir Operations Simulation
	Single Reservoir Operation	
-Models for Specific Reservoir Systems	Water Operations Technology Package	
	CRSS	Colorado River Simulation System
	FAOP	Fryingpan-Arkansas Operations Model
	PROSIM	Central Valley Project Simulation
	SANJASM	San Joaquin Area Simulation
	CVGSM	Central Valley Surface and Groundwater
	FORCIS	Central Valley Operational Forecast Model
	BHOPS	Lower Colorado Daily Operations

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Reservoir System Model Developed By	Short Name	Descriptive Name
	GLENREL	Operation of CRSP Reservoirs
	Animas	La Plata Project Operations Model
	SRPSIM	Salt River Project Operations Model
	CAPSIM	Central Arizona Project Operations Model
	YKMODEL	Yakima Basin Simulation Model
		Bighorn Basin Annual Operating Plan Model
		North Platte Annual Operating Plan Model
		Western Division Hydropower Summary Model
		Truckee-Carson Water Operations Model
		Colorado River 24 Months Study Model
		Dolores Project Operations Model
5. Universities		
-The Massachusetts Institute of Technology	MITSIM	River Basin Simulation Model
-Colorado State University	AQUARIUS	Modeling System for River Basin Water Allocation

ที่มา : Wurbs (2005a)

ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

แนวทางการวิเคราะห์การบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในระยะยาวนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องประเมินประสิทธิผลของระบบตลอดช่วงเวลาของการดำเนินงาน ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการประเมินในรูปของดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Performance Indices) ที่มีการพัฒนาในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย ในอดีตการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำนั้นจะเป็นลักษณะของการอธิบายคุณสมบัติทางสถิติของสภาวะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในรูปของ Mean, Variance, Frequency, Magnitude และ Duration เป็นส่วนใหญ่ และจัดจำแนกให้อยู่ในกลุ่มของ Traditional Performance Indices (Srdjevic and Obradovic, 1997) สำหรับดัชนีตัวชี้วัดที่นิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิผลของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำปัจจุบันจะอยู่ในกลุ่มของ Modern Performance Indices ได้แก่ Reliability, Vulnerability และ Resiliency (Hashimoto *et al.*, 1982; Srdjevic and Obradovic, 1995; Fontane, 2001; Cai *et al.*, 2002; McMahon *et al.*, 2005; Srdjevic *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาดัชนีชี้วัดเพื่อประเมินผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในแง่ของการขาดน้ำโดยเฉพาะ ได้แก่ Drought Risk Index, Drought Damage Index และ Modified Beard Index (Cancelliere *et al.*, 1998) เป็นต้น รวมถึงพัฒนาดัชนีชี้วัดความยั่งยืนของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำที่สำคัญ ได้แก่ Fairness (Lence *et al.*, 1997), Reversibility (Fanai and Burn, 1997), Consensus (McMahon *et al.*, 2005), Sustainability (Loucks, 1997) และ Sustainability Index (McMahon *et al.*, 2005) เป็นต้น Srdjevic (1987) ยังได้อธิบายประสิทธิผลของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพิ่มเติม ด้วยการวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักของอ่าง (Dispersion of Reservoir Storage Level) เทียบกับระดับ Rule Curve ที่ใช้ปฏิบัติงานอีกด้วย รายละเอียดของดัชนีชี้วัดที่สำคัญมีดังนี้

1. Reliability

ความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) เป็นดัชนีที่มีความหมายในทางตรงข้ามกับความเสี่ยง (Risk) หมายถึงดัชนีตัวชี้วัดในรูปของโอกาสความน่าจะเป็นที่ใช้ประเมินสมรรถนะของระบบว่าสามารถปฏิบัติงานให้ได้รับความพึงพอใจมากน้อยแค่ไหนในช่วงเวลาที่พิจารณา ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ถูกจัดแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ มากมาย ทั้งนี้เพื่อให้สามารถอธิบายความหมายครอบคลุมทั้งในด้านเวลา ปริมาณ และความถี่ของการเกิดเหตุการณ์มากที่สุด โดยสรุปมีดังนี้ (Duckstein *et al.*, 1987; Budhakooncharoen, 1990; ปัญญา, 2541)

1.1 Time-Based Reliability

เป็นโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถปฏิบัติงานบรรลุผลตามความต้องการเป้าหมายของแต่ละวัตถุประสงค์ภายในช่วงเวลาพิจารณา ซึ่งในที่นี้จะพิจารณานบนพื้นฐานของเวลา โดยมีสมการดังนี้

$$RI_t = \frac{N_s}{N} \quad ; 0 < RI_t \leq 1 \quad \text{-----}(17)$$

เมื่อ RI_t = Time-Based Reliability
 N_s = จำนวนช่วงเวลาในระบบปฏิบัติงานแล้วบรรลุผลสำเร็จ
 N = จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดที่พิจารณา

โดยทั่วไปการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลาจะขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของข้อมูลที่นำมาพิจารณา ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่ประเมินจากข้อมูลจริงที่จดบันทึกไว้ในอดีต (Historical Data) จะเรียกว่า Pseudo-Steady State Reliability และหากใช้ข้อมูลที่ทำกรสังเคราะห์ในลักษณะ Infinite Long Sequence (Synthetic Data) จะเรียกว่า Steady State Reliability ซึ่งจะทำให้ค่าความน่าเชื่อถือได้คงที่ กล่าวได้ว่าเมื่อช่วงความยาวของข้อมูลจริงในอดีตมากขึ้นจะทำให้ Pseudo-Steady State Reliability เข้าใกล้ Steady State Reliability มากยิ่งขึ้น

1.2 Quantity-Based Reliability

เป็นดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานที่พิจารณานบนพื้นฐานด้านปริมาณ มีสูตรในการคำนวณดังแสดงในสมการ

$$RI_q = \frac{R_t}{D_t} \quad ; 0 < RI_q \leq 1 \quad \text{-----}(18)$$

เมื่อ RI_q = Quantity-Based Reliability
 R_t = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจริงจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t ใด ๆ

D_t = ปริมาณความต้องการน้ำจากอ่างเก็บน้ำ หรือเงื่อนไขข้อจำกัด
ของความจุลำน้ำ (C) ในช่วงเวลา t ใด ๆ

อย่างไรก็ตาม McMahon *et al.* (2005) ได้พัฒนา Volumetric Reliability เพื่ออธิบาย
ความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานด้านปริมาณดังนี้

$$RI_V = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (D_t - R_t)}{\sum_{t=1}^N D_t} \quad ; 0 < RI_V \leq 1 \quad \text{-----}(19)$$

1.3 Occurrence-Based Reliability

เป็นดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานที่พิจารณาบนพื้นฐานด้านความถี่ของ
การเกิดเหตุการณ์ดังแสดงในสมการ

$$RI_O = \frac{ss}{ss + fs} \quad \text{-----}(20)$$

เมื่อ RI_O = Occurrence-Based Reliability
 ss = จำนวนลำดับเหตุการณ์ที่ระบบประสบผลสำเร็จต่อเนื่องกันตลอด
 ช่วงเวลาที่พิจารณา
 fs = จำนวนลำดับเหตุการณ์ที่ระบบประสบความล้มเหลวต่อเนื่องกัน
 ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

2. Vulnerability

เป็นดัชนีวัดระดับความรุนแรงของความล้มเหลวเฉลี่ยในช่วงที่ระบบประสบความล้มเหลว
ทั้งหมด ดังแสดงในสมการ

$$\eta' = \frac{\sum_{jth=1}^{fs} \max(S_{jth})}{fs} \text{-----}(21)$$

เมื่อ η' = Vulnerability
 $\max(S_{jth})$ = ขนาดของความล้มเหลวสูงสุดในช่วงลำดับเหตุการณ์ที่ระบบ
 ประสบความล้มเหลว
 η = Dimensionless Vulnerability = η' / D_f โดยที่ $0 < \eta \leq 1$
 D_f = ปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายในช่วงที่เกิดความล้มเหลว

3. Resiliency

เป็นดัชนีที่วัดความเร็วในการกลับคืนจากสภาพความล้มเหลวของระบบ ดังแสดงใน
 สมการ

$$\varphi = \frac{fs}{fd} \quad ; fd \neq 0 \text{-----}(22)$$

เมื่อ φ = Resiliency
 fd = จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดที่ระบบประสบความล้มเหลวในช่วงเวลาที่
 พิจารณา

4. Drought Risk Index

เป็นแนวคิดที่นำดัชนีชี้วัดในกลุ่มของ Reliability, Vulnerability และ Resiliency มาสร้าง
 ดัชนีตัวใหม่เพื่ออธิบายถึงความเสี่ยงของภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น ดังแสดงในสมการ

$$DRI = \xi_1 \cdot (1 - RI_t) + \xi_2 \cdot (1 - \varphi) + \xi_3 \cdot \eta \quad ; 0 < DRI \leq 1 \text{-----}(23)$$

เมื่อ DRI = Drought Risk Index

$$\xi_i = \text{Relative Weight ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักความสำคัญของ } RI, \eta \text{ และ } \varphi \text{ โดยผลรวมของ } \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1$$

5. Sustainability Index

Sustainability Index เป็นดัชนีที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดความยั่งยืนของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยนำดัชนีชี้วัด Reliability, Vulnerability และ Resiliency มาใช้ในการคำนวณเช่นเดียวกันดัง สมการ

$$\kappa = RI_t \cdot \varphi \cdot (1 - \eta) \quad ; 0 < \kappa \leq 1 \quad \text{-----}(24)$$

$$\text{เมื่อ } \kappa = \text{Sustainability Index}$$

6. Dispersion of Reservoir Storage Level

เป็นการวัดการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักในอ่างด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติ พื้นฐานในรูปของค่าเฉลี่ย (Average), ความแปรปรวน (Variance) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Variation Coefficient) ดังแสดงในสมการ วิธีนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับวิเคราะห์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของระบบที่ใช้ Rule Curve เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงาน เพื่อลดการกระจายตัวของระดับน้ำในแต่ละช่วงปีให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

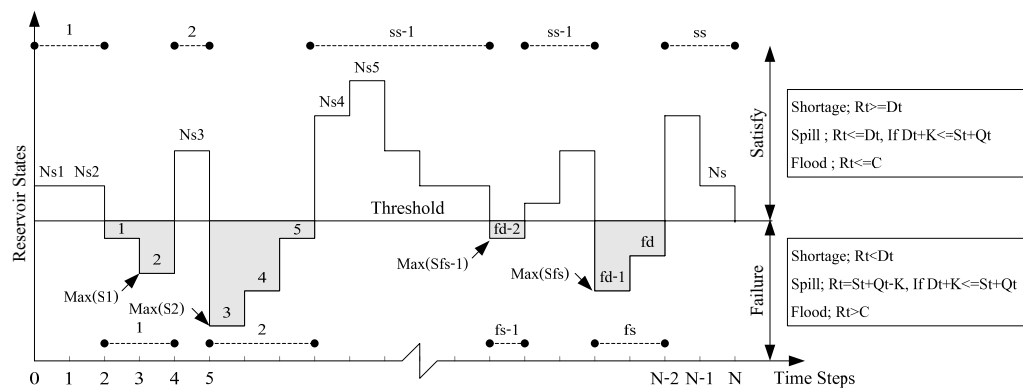
$$\overline{XL} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N XL_t \quad \text{-----}(25)$$

$$\sigma_{XL}^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (XL_t - \overline{XL})^2 \quad \text{-----}(26)$$

$$CV = \frac{\sigma_{XL}}{\overline{XL}} = 1 \quad \text{-----}(27)$$

เมื่อ XL_t = ระดับน้ำเก็บกักในอ่างที่เวลา t ใด ๆ ที่พิจารณา
 $\overline{XL}$ = ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำเก็บกักในอ่าง
 σ_{XL}^2 = ความแปรปรวนของระดับน้ำเก็บกักในอ่าง
 CV = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

สำหรับรายละเอียดของการระบุตัวแปรและการให้คำจำกัดความเพื่อประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวแปรต่าง ๆ สำหรับประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน

ในการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยนโยบายการปฏิบัติงานแบบมาตรฐาน ซึ่งเป็นความพยายามที่จะจัดส่งน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการเท่าที่จะเป็นไปได้ และหลีกเลี่ยงการขาดน้ำให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดนั้น จะทำให้ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานในเทอมของ Reliability และ Resiliency มีค่าสูง อย่างไรก็ตามความพยายามดังกล่าวทำให้ Vulnerability ของการขาดน้ำมีค่าสูงโดยเฉพาะในช่วงวิกฤติน้ำน้อย ดังนั้นเพื่อลดความรุนแรงของการขาดน้ำลงด้วยการนํานโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging มาใช้ปฏิบัติจะทำให้ Vulnerability ของการขาดน้ำลดลง ในขณะที่ขณะเดียวกันแนวทางการปฏิบัติงานที่ยอมให้เกิดการขาดน้ำล่วงหน้าบ่อยครั้งขึ้น แม้ว่าระบบจะมีศักยภาพในด้านน้ำต้นทุนเพียงพอก็ตาม ยังทำให้ Reliability และ Resiliency ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำลดลงตามไปด้วย (Shiau, 2003; Onoz *et al.*, 2005)

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Analysis) เป็นแนวคิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการประเมินพฤติกรรมของระบบอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาของการปฏิบัติงานระยะยาว วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในเรื่องความน่าเชื่อถือได้ก็เพื่อสร้างดัชนีตัวชี้วัดผลสำเร็จของการปฏิบัติงานที่เหมาะสม โดยนำข้อมูลความล้มเหลวและลักษณะทางกายภาพของระบบมาร่วมพิจารณา นอกจากนี้การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ยังสามารถนำมาใช้ประเมินผลการปฏิบัติงานในระยะสั้นเพื่อช่วยประกอบการวางแผน ตลอดจนกำหนดแนวทางการตัดสินใจแบบวันต่อวันได้อีกด้วย งานทางด้านการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Electric Power Networks) นับเป็นอีกภารกิจที่ต้องการความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้ในระดับสูง ดังนั้นมาตรฐานการปฏิบัติงานภายใต้ความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Standard) จึงถูกกำหนดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนจนกระทั่งถึงขั้นตอนลงมือปฏิบัติการ (Prada, 1999)

โดยทั่วไปเครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้คือ Monte-Carlo Simulation (Mujumdar, 2002) ซึ่งเป็นเทคนิคพิเศษที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนสูง รวมถึงนำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบที่ได้จากเทคนิคการแก้ปัญหาด้วยวิธีอื่น ๆ (Nowak and Collins, 2000) แนวคิดพื้นฐานของเทคนิค Monte Carlo Simulation ก็คือความพยายามหาค่าพารามิเตอร์ของปัญหาที่วิเคราะห์ทั้งในลักษณะ Stochastic และ Deterministic จากกลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการสุ่ม โดยอาศัยกระบวนการทำซ้ำในหลาย ๆ รอบ (Taha, 2003)

ในการประเมินผลระบบการจัดสรรน้ำของโครงการชลประทานใด ๆ ความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100% ระบบการจัดการที่ดีจะมีค่าความน่าเชื่อถือได้ประมาณ 100% (วรารุช, 2543) ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ยอมรับได้ (Allowable Reliability) ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการอุปโภคบริโภคจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 99% ในขณะที่ระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานจะกำหนดให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ยอมรับได้ในช่วง 70-85% และ 80-95% สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำที่ตั้งในเขตพื้นที่ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบกึ่งเขตร้อนและแบบแห้งแล้งตามลำดับ (Raudkivi, 1979)

ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างกับการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ

ในงานทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยแยกเป็นสถานะของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (Load, Q) และกำลังของโครงสร้าง (Resistance, R) การที่แรงกระทำทั้งสองมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ที่ค่ากำลังของโครงสร้างน้อยกว่าแรงที่กระทำซึ่งทำให้เกิดการวิบัติ (Failure) ขึ้นได้ ดังนั้น ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง (Structural Reliability) จึงถูกนำมาใช้วิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติของโครงสร้าง (สงวน, 2537) พฤติกรรมการตอบสนองต่าง ๆ ของโครงสร้างในสถานะที่ก่อให้เกิดการวิบัตินี้ สามารถนำมากำหนดเป็นฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (Limit State Function) ในเทอมของแรงที่กระทำและกำลังของโครงสร้างได้ดังนี้

$$g(R, Q) = R - Q \quad \text{-----}(28)$$

ถ้า $g(R, Q) > 0$ โครงสร้างจะอยู่ในสถานะปลอดภัย (Safe Mode) ในทางกลับกันหาก $g(R, Q) < 0$ โครงสร้างจะเกิดการวิบัติ (Failure Mode) และถ้าโครงสร้างอยู่ในสภาพสมดุลคือ $g(R, Q) = 0$ หรือเรียกได้ว่า “ผิวของการวิบัติ (Failure Surface)” ซึ่งก็คือฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (Limit State Function) นั่นเอง (วิชัย, 2541; วิชัย และ เสถียร, 2547; Nowak and Collins, 2000; Tung *et al.*, 2006) ดังนั้นโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดความปลอดภัย (Safety Probability, P_s) หรือ $g(R, Q) \geq 0$ ก็คือดัชนีค่าความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Indices, RI) นั่นเองดังแสดงในสมการ

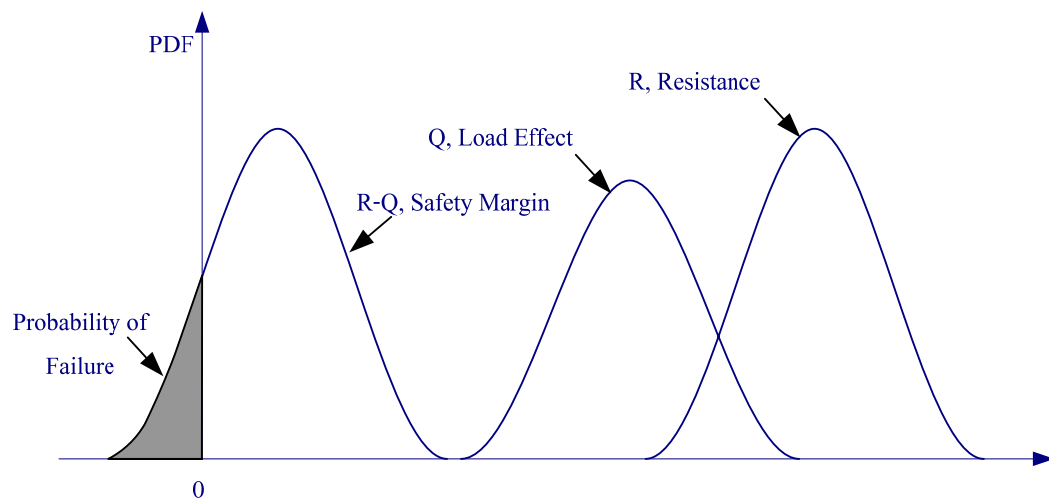
$$P_s = RI = \text{Prob}[g(R, Q) \geq 0] \quad \text{-----}(29)$$

ในทางกลับกัน โอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติ (Failure Probability, P_f) หรือความเสี่ยงที่จะเกิดการวิบัติของโครงสร้าง สามารถคำนวณได้จากโอกาสความน่าจะเป็นที่ $g(R, Q) < 0$ ดังนี้

$$P_f = \text{Prob}[g(R, Q) < 0] \quad \text{-----}(30)$$

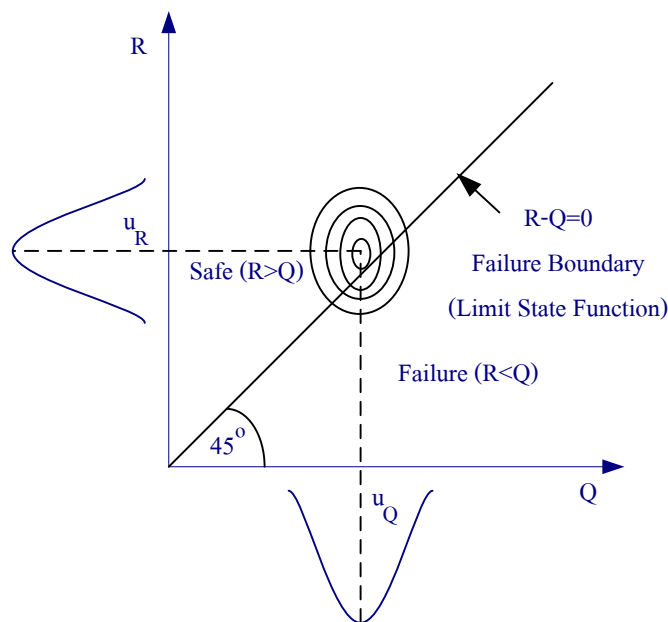
ถ้าทั้ง Load และ Resistance ต่างก็เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นตามฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของแต่ละตัวแปร ส่งผลให้สามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันการแจก

แรงความน่าจะเป็นของผลต่างระหว่าง Load และ Resistance (Safety Margin) ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติของโครงสร้างก็คือพื้นที่แรงในภาพที่ 8 ซึ่งผลต่างระหว่าง Load และ Resistance มีค่าน้อยกว่าศูนย์



ภาพที่ 8 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของ Load, Resistance และ Safety Margin

โดยทั่วไปชิ้นส่วนของโครงสร้างทั้ง Load และ Resistance จะประกอบไปด้วยตัวแปรสถานะต่าง ๆ (State Variables) ได้แก่ $X_1, X_2, \dots, X_n$ เพราะฉะนั้นฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดที่ได้จึงอยู่ในรูปของ $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ และสามารถอธิบายขอบเขตความปลอดภัย (Safe Domain) และขอบเขตความล้มเหลว (Failure Domain) ของโครงสร้างใน 2 มิติดังแสดงในภาพที่ 9 โดยมีฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด $g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$ เป็นเส้นแบ่งขอบเขต



ภาพที่ 9 ขอบเขตความปลอดภัยและความล้มเหลวใน 2 มิติ

วิธีวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของโครงสร้างที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้หลายวิธี ได้แก่ Simulation Method, Importance Sampling Method, Latin Hypercube Sampling Method (LHS) และ Directional Sampling Method วิธีวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของโครงสร้างเหล่านี้ได้คิดค้นขึ้นมาเพื่อช่วยประกอบการวิเคราะห์ โดยแต่ละวิธีนี้จะมีข้อดีและข้อเสีย ตลอดจนความยากง่ายในการนำมาใช้งานในทางปฏิบัติแตกต่างกัน (Kijawatworawet, 1998)

ในทำนองเดียวกันงานทางด้านการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำสามารถนำทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ หรือความเสี่ยงจากสาเหตุความไม่แน่นอนต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำระยะยาวได้ โดยอาศัยแนวคิดความสัมพันธ์ของโครงสร้าง (Structure Related) เพื่อแยกองค์ประกอบของระบบที่พิจารณา โดยที่ Load จะหมายถึงตัววัดผลกระทบของเหตุการณ์ภายนอกที่เกิดกับระบบ และ Resistance หมายถึงตัววัดขีดความสามารถของระบบที่จะรับ Load หรือที่จะบรรเทาความต้องการ (วราวุธ, 2541) ยกตัวอย่างเช่น ในระบบการจัดการน้ำต้นทุนนั้น ปริมาณความต้องการน้ำจะถูกกำหนดให้เป็น Load และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่จะเป็น Resistance ของระบบ หรือแม้กระทั่งในการควบคุมภาวน้ำท่วม ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทรีนั้นจะถือว่าเป็น Load ของระบบ ในขณะที่ปริมาณสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมนั้นจะกำหนดให้เป็น Resistance เป็นต้น (Duckstein *et al.*, 1987) องค์ประกอบ

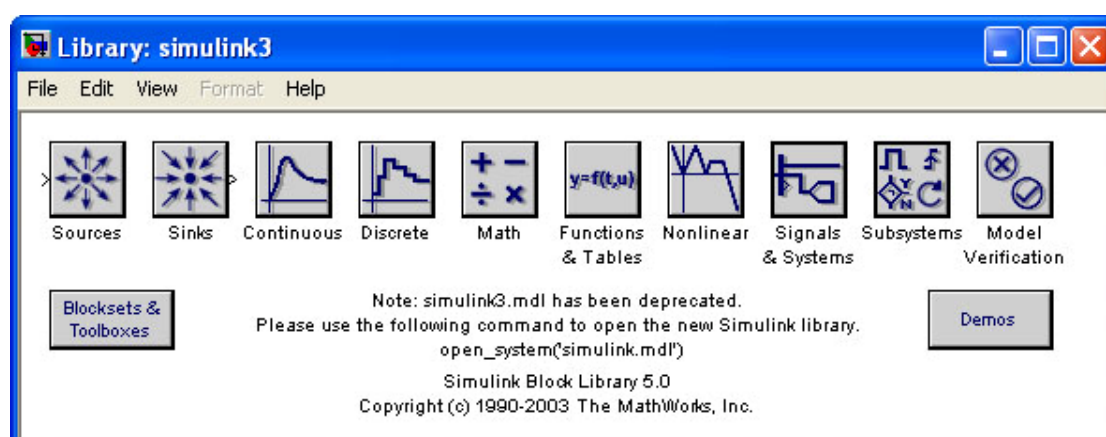
ที่ได้จะถูกนำมากำหนดสถานะความล้มเหลวของระบบ (Failure Mode) สำหรับนำมาใช้วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้และความเสี่ยงในงานด้านการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในลำดับถัดไป

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

โปรแกรม MATLAB เขียนขึ้นโดย Dr. Cleve Moler ในช่วงปี 1970 ซึ่งมีตำแหน่งเป็น Chief Scientist ของบริษัท Math Works, Inc. เริ่มแรกโปรแกรม MATLAB เป็นซอฟต์แวร์เมตริกซ์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในการเรียนการสอนทางด้านเมตริกซ์ พีชคณิต และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยเฉพาะ หลังจากนั้นบริษัทได้พัฒนากล่องเครื่องมือต่าง ๆ (Toolbox) เพื่อเป็นโมดูลสำหรับใช้งานเฉพาะด้านมากยิ่งขึ้นจนกระทั่งถึงปัจจุบัน

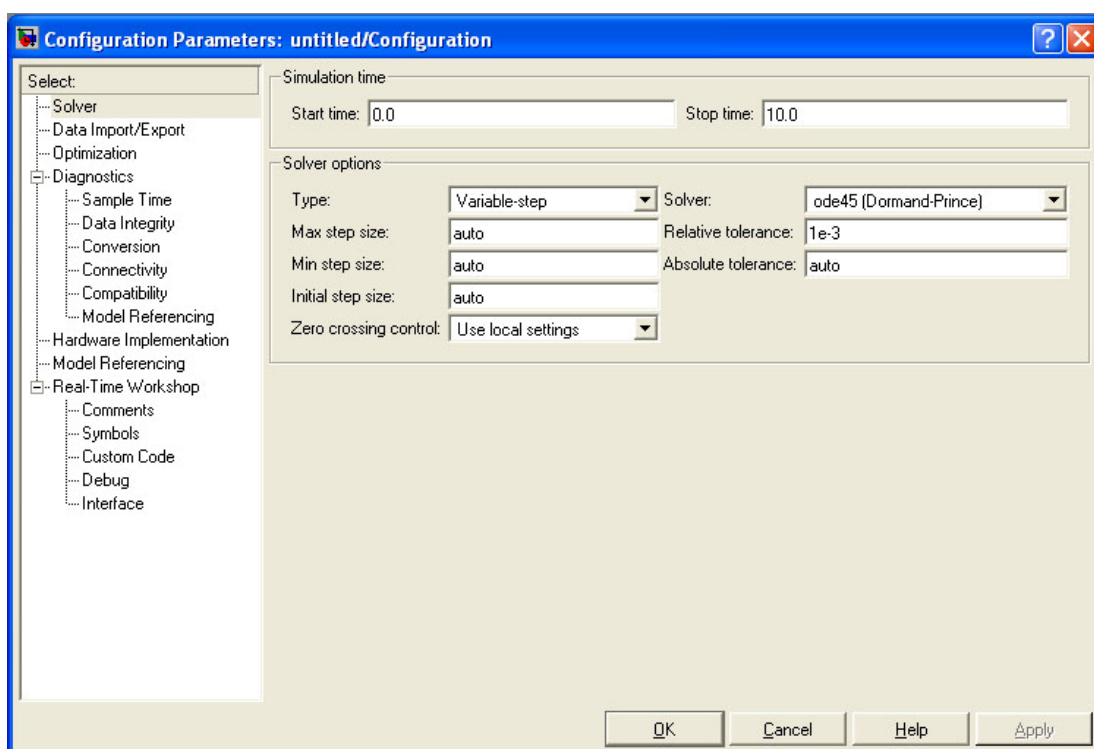
1. Simulink Toolbox

Simulink เป็นเครื่องมือหนึ่งที่อยู่ใน Library Package ของโปรแกรม MATLAB สำหรับใช้วิเคราะห์ ทดสอบ และจำลองการทำงานของระบบเชิงพลวัต (Dynamic System Simulation) ทั้งที่เป็นเชิงเส้น ไม่เชิงเส้น ระบบเวลาต่อเนื่อง ไม่ต่อเนื่อง และแบบหลายตัวแปร โดยจะทำงานภายใต้หน้าต่างที่มีการเชื่อมต่อทางรูปภาพของ Simulink เท่านั้น ซึ่งใน Simulink จะประกอบไปด้วย Blockset ที่บรรจุ Block ต่าง ๆ ไว้แต่ละ Block ก็จะมีลักษณะและการใช้งานแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการระบุค่าให้กับ Block Parameter นั้น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 หน้าต่าง Blockset ที่อยู่ใน Simulink Library

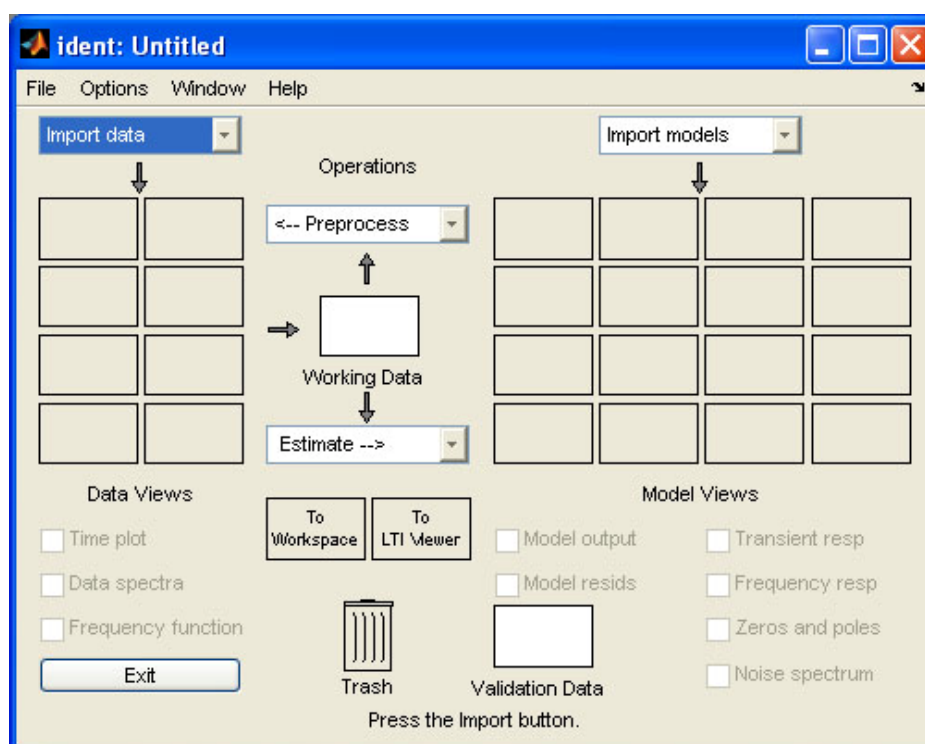
สำหรับขั้นตอนของการจำลองระบบนั้น สามารถกระทำได้โดยการออกแบบแบบจำลอง (Model Design) ตามที่ต้องการ ซึ่งจะต้องประกอบไปด้วย Input Blocks, Operation Blocks และ Output Blocks จากนั้นตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบ (Configuration Parameter) ดังแสดงในภาพที่ 11 โดยครอบคลุมถึงเวลาในการจำลองระบบ (Simulation Time) ขนาดของ Time Step (Step Size) และช่วงค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่ต้องการ ประเภทของ Solver ที่ใช้ รูปแบบของการป้อนเข้าและออกของข้อมูลที่ต้องการ ข้อกำหนดทางด้าน Optimization สำหรับแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุด ตลอดจนยังสามารถกำหนดให้ Simulink แสดงผลในลักษณะตามที่ต้องการ หากตรวจพบความผิดปกติในระหว่างการจำลองระบบ เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่านอกเหนือจากขนาดของแบบจำลองที่ออกแบบแล้ว การตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบยังมีผลโดยตรงต่อความเร็วในการจำลองระบบอีกด้วย



ภาพที่ 11 รูปแบบตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบใน Simulink

2. System Identification Toolbox

System Identification เป็นกล่องเครื่องมือที่บรรจุ Block สำหรับประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ห้อนุกรมเวลาของข้อมูล (Time Series Analysis) โดยเฉพาะไม่ว่าจะเป็น AR (AutoRegressive Model Estimator), ARX (Autoregressive with External Input Model Estimator), ARMX (Autoregressive Moving Average with External Input Model Estimator), BJ (Box-Jenkins Model Estimator), OE (Output Error Model Estimator) และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังได้สร้าง Graphical User Interface ในส่วนของ Ident ดังแสดงในภาพที่ 12 เพื่อสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบเชิงพลวัต (Dynamic System) จากข้อมูลอุทกวิทยาที่มีการตรวจวัดในอดีตในลักษณะของ General Input-Output Linear Model แบบต่าง ๆ



ภาพที่ 12 หน้าต่าง Ident สำหรับวิเคราะห์ห้อนุกรมเวลาของข้อมูล

แบบจำลองที่ได้จะมีลักษณะเป็น Multivariate Autoregressive Model ที่ผสมผสานกันระหว่าง Autoregressive Model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Time Dependence) กล่าวคือ ค่าของตัวแปรในเวลาปัจจุบันที่ต้องการทำนายค่า (Prediction Output) จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรที่

เวลาก่อนหน้านั้น และ Exogenous Input Model ซึ่งนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวแปรที่ต้องการทำนายค่ามารวมพิจารณาด้วยในลักษณะของแบบจำลองที่ขึ้นอยู่กับเวลาเช่นเดียวกัน โดยมีโครงสร้างของแบบจำลองในภาพที่ 13 และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้คือ (Anonymous, 2004; Ohsaki *et al.*, n.d.; Neilsen, 1999)

$$\text{ARX Model ;} \quad A(q).Y(t) = B(q).U(t-nk)+e(t) \quad \text{-----}(31)$$

$$\text{ARMX Model ;} \quad A(q).Y(t) = B(q).U(t-nk)+C(q).e(t) \quad \text{-----}(32)$$

$$\text{OE Model ;} \quad Y(t) = \left[\frac{B(q)}{F(q)} \right] .U(t-nk)+e(t) \quad \text{-----}(33)$$

$$\text{BJ Model ;} \quad Y(t) = \left[\frac{B(q)}{F(q)} \right] .U(t-nk) + \left[\frac{C(q)}{D(q)} \right] .e(t) \quad \text{-----}(34)$$

เมื่อ

$$Y(t) = \text{Autoregressive Model ของ Prediction Output}$$

$$U(t-nk) = \text{Exogenous Input Model}$$

$$e(t) = \text{Random Term}$$

$$A(q), B(q), C(q), D(q), F(q) = \text{Shift Operator (Polynomial Forms)}$$

$$A(q) = 1 + a_1 \cdot q^{-1} + \dots + a_{na} \cdot q^{-na}$$

$$B(q) = b_1 + b_1 \cdot q^{-1} + \dots + b_{nb} \cdot q^{-nb+1}$$

$$q^{-1} = \text{Delay Operator}$$

$$q^{-1} \cdot U(t) = U(t-1)$$

$$na, nb = \text{ลำดับของ Polynomial}$$

$$nk = \text{Time Delay ระหว่าง Exogenous Input และ Prediction Output}$$

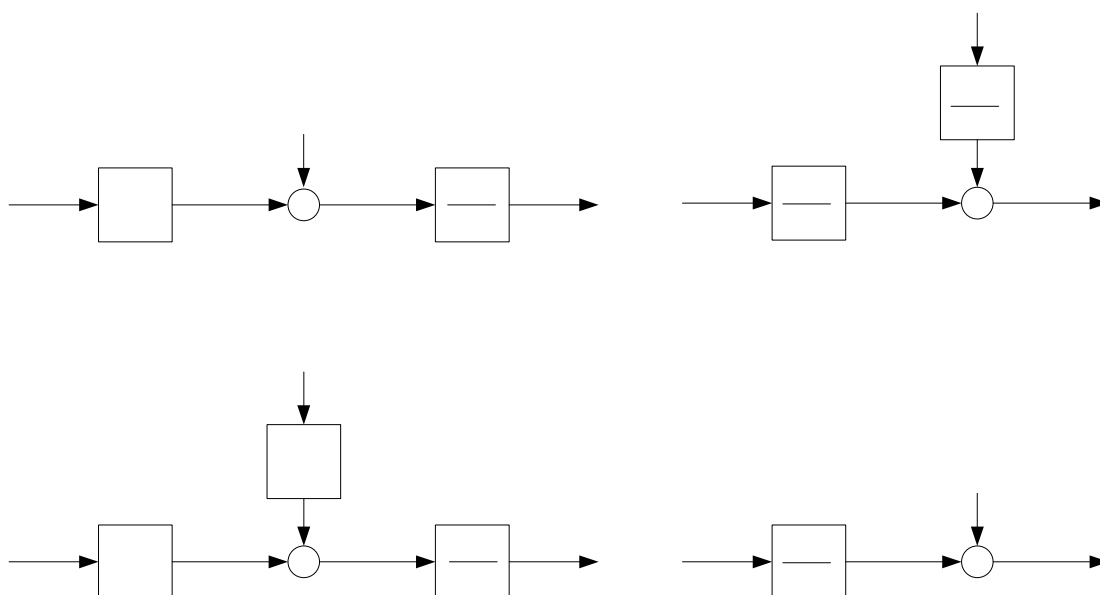
แบบจำลองสโตคาสติกที่นำ External Input Model มาใช้ร่วมกับ Autoregressive Model สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 A(q).Y(t) &= B(q).U(t-nk)+e(t) \\
 [1+a_1.q^{-1}+...+a_{na}.q^{-na}].Y(t) &= [b_1+b_1.q^{-1}+...+b_{nb}.q^{-nb+1}].U(t-nk)+e(t) \\
 Y(t)+a_1.q^{-1}.Y(t)+...+a_{na}.q^{-na}.Y(t) &= [b_1.U(t-nk)+b_2.q^{-1}.U(t-nk)+...+ \\
 &\quad b_{nb}.q^{-nb+1}.U(t-nk)]+e(t) \\
 Y(t)+a_1.Y(t-1)+...+a_{na}.Y(t-na) &= b_1.U(t-nk)+U(t-nk-1)+...+b_{nb}.U(t-nk-nb+1)+e(t)
 \end{aligned}$$

ดังนั้นแบบจำลอง ARX ที่ได้จะอยู่ในรูปของ

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= -a_1.Y(t-1)-...-a_{na}.Y(t-na)+b_1.U(t-nk)+b_1.U(t-nk-1) \\
 &\quad +...+b_{nb}.U(t-nk-nb+1)+e(t)
 \end{aligned}$$

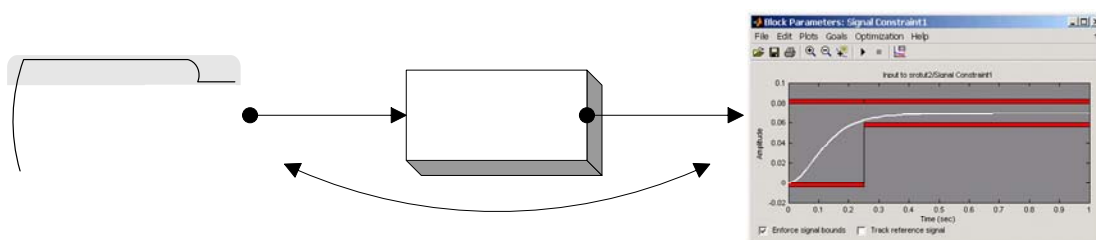
สำหรับวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ Least Square Method และ Instrumental Variable (IV)



ภาพที่ 13 โครงสร้างของแบบจำลองหลักใน System Identification Toolbox

3. Simulink Response Optimization Toolbox

Simulink Response Optimization เป็นกล่องเครื่องมือที่มี Graphical User Interface สำหรับใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของแบบจำลองระบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Simulation Model) โดยสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองจนกระทั่งได้ค่าแสดงผลพล็อตใกล้เคียงกับผลลัพธ์อ้างอิง (Reference Signal) มากที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่า Simulink Response Optimization เป็นกล่องเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์โปรแกรมไม่เชิงเส้น (Non-Linear Programming) ใน MATLAB นั่นเอง สำหรับหลักการเบื้องต้นนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะต้องมีลักษณะเป็นแบบไม่เชิงเส้น มีการระบุตัวแปรที่จะหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และนำ Signal Constraint Block ที่อยู่ใน Simulink Response Optimization Toolbox มาใช้เพื่อกำหนดข้อแม้แบบกราฟฟิคที่อ้างอิงกับเวลา (Graphical Time-Domain Constraint) ให้กับแบบจำลอง จากนั้น Simulink Response Optimization จะทำการแปลง Graphical Time-Domain Constraint ไปเป็นปัญหาในลักษณะที่มีข้อแม้ (Constrained Optimization Problem) และทำการแก้ปัญหาโดยดึง Optimization Routines จาก Optimization Toolbox และ Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox มาใช้ Simulink จะจำลองโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จำนวนหลาย ๆ รอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรไปจนกระทั่งพบค่าที่ดีที่สุดดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 หลักการทำงานของ Non-Linear Programming ใน MATLAB

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ในช่วงปี 1980 ถึงปัจจุบันพบว่า แนวคิดในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่นั้นจะครอบคลุม 3 ประเด็น

หลักที่สำคัญคือ ประเด็นแรกเป็นลักษณะของการประเมินผลการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในรูปดัชนีชี้วัดต่าง ๆ (Performance Measurements) ประเด็นที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Model) เพื่อประเมินผลการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ และประเด็นสุดท้ายเป็นการประยุกต์ใช้ Reliability-Based Approach เพื่อสนับสนุนแนวคิดหรือผลการวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยสรุปมีดังนี้

Lien (1978) ได้ศึกษาแบบจำลองความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำเก็บกัก (Probabilistic Storage Model) และประมาณค่าความน่าเชื่อถือได้ของอ่างเก็บน้ำของโครงการเขื่อนผามอง แม่น้ำโขง

Jin (1985) อาศัยแนวคิดในเรื่องแบบจำลองระบบ (Simulation Approach) สำหรับปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของโครงการพัฒนาชายฝั่งตะวันออก และประเมินดัชนีชี้วัดในรูปของ Reliability, Resiliency และ Vulnerability ผลจากการศึกษาพบว่าประสิทธิผลของระบบในการปฏิบัติงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มศักยภาพของการพัฒนาโครงการได้อีกในอนาคต

Limnios (1988) ได้พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของระบบอ่างเก็บน้ำและพัฒนา REX Software Package ซึ่งสามารถประเมินค่าดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ Reliability, Availability, Maintainability, MTTF, MTTR, MUT และ MDT นอกจากนี้ยังสามารถทำการ Optimization ระบบอ่างเก็บน้ำโดยกำหนดให้ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้เป็น Input ของระบบอีกด้วย

Pereira *et al.* (1988) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการประเมินความน่าเชื่อถือได้สำหรับวางแผนระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ในประเทศบราซิล โดยพัฒนาแบบจำลอง CONFER, CONFINT และ CONFTRAN สำหรับประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ทั้งระบบอ่างเก็บน้ำ

Bang (1991) ได้พัฒนาแบบจำลองระบบ สำหรับวิเคราะห์ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำในรูปของดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของอ่างเก็บน้ำ Thacba, Hoabinh และ Tabu ในประเทศเวียดนามตอนเหนือ นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของระบบเมื่อปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยอาศัย Rule Curve ในรูปแบบต่าง ๆ ผลจากการศึกษาพบว่า การปฏิบัติงานโดยอาศัย Rule Curve ที่พัฒนาขึ้นมาจะช่วยเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำสูงขึ้น

Salazar and Wurbs (2004) ได้พัฒนา Conditional Reliability Model (CRM) ในการประเมินความน่าเชื่อถือได้เพื่อใช้ประกอบการวางแผนการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยอาศัยเทคนิคการจำลองระบบ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองกับปริมาณความต้องการน้ำในช่วงเวลาข้างหน้าภายใต้เงื่อนไขของปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างในเวลาปัจจุบัน นอกจากนี้แบบจำลอง CRM ยังสามารถนำมาใช้วางแผนการปฏิบัติงานอ่างในระยะยาวเช่น รายปี หรือแม้กระทั่งในช่วงภาวะแห้งแล้งได้อีกด้วย

Hyde *et al.* (2004) ได้นำเสนอ Reliability-Based Approach สำหรับใช้ในกระบวนการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multicriteria Decision Analysis) ในงานด้านการจัดสรรน้ำ ซึ่งมีข้อจำกัดในแง่ของการระบุและกำหนดค่า Criteria Weight ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ตัดสินใจว่าทางเลือกที่ได้คัดเลือกไปแล้วนั้นเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

Archfield and Vogel (2005) ได้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่จุดซึ่งอ่างเก็บน้ำสามารถให้ผลผลิตได้อย่างแน่นอน (Firm Yield) โดยอาศัยข้อมูลภาวะแห้งแล้งที่มีการจดบันทึกในอดีตมาทำการวิเคราะห์เพื่อหา Firm Yield ในแต่ละพื้นที่ศึกษาซึ่งครอบคลุมอ่างเก็บน้ำจำนวน 25 แห่งในเขตอเมริกากลางและอเมริกาตะวันตก จากนั้นทำการสังเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวด้วยวิธี Moving-Block Bootstrap เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานที่จุด Firm Yield ของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

Wurbs (2005b) ได้นำ Water Availability Modeling System มาใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำของรัฐ Texas ในช่วงปี 1997-2004 ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้มีการประเมินผลการบริหารจัดการด้วยดัชนี Availability และ Reliability ซึ่งประสบการณ์จากการดำเนินงานดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำทั่วโลก

อารียา (2545) ได้ประเมินดัชนีชี้วัด Reliability ร่วมกับ Vulnerability และ Resiliency จากผลการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำมูลบนและลำแจะด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานที่พัฒนาขึ้นมา ได้แก่ Probability Based Rule Curve และ Vacancy-Minimum Storage Requirement Rule Curve ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ดังกล่าวกับ Standard Operating Policy

ภาณุวัฒน์ (2546) ได้ประเมินสมรรถนะของอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ทั้งในด้านการส่งน้ำ และการควบคุมน้ำท่วมโดยใช้ดัชนีชี้วัด 3 ตัว ได้แก่ Reliability, Vulnerability และ Resiliency หลังจากได้ประยุกต์ทฤษฎีฟิซซีเซตในการสร้างแบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองทั้งใน ลักษณะของการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการ การวางแผนและจัดการน้ำในระดับลุ่มน้ำ แนวทางการจัดการน้ำในระดับโครงการชลประทาน การพัฒนาหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติงาน ระบบอ่างเก็บน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Analysis) ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง โดยสรุปดังนี้

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2548) ได้ศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการผันน้ำส่วนเกินจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานี ซึ่งในที่นี้ครอบคลุมถึงการประเมินค่าเสียโอกาสจากการผันน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่จังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดข้างเคียง เนื่องจากปริมาณน้ำที่ผันไปใช้ในส่วนนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งใช้ไฟฟ้าพลังน้ำที่ผลิตได้ประมาณร้อยละ 10 เสริมให้กับระบบการผลิตไฟฟ้าพื้นฐาน (Base Load) ทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติซึ่งมีต้นทุนการผลิตประมาณ 1.50 บาท/ยูนิิต และใช้ไฟฟ้าพลังน้ำที่ผลิตได้ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 90 เสริมให้กับระบบการผลิตในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Load) ทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันเตา ซึ่งมีต้นทุนการผลิตประมาณ 2.80 บาท/ยูนิิต ด้วยเหตุนี้ปัจจัยทางด้านต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตาดังกล่าว จึงถูกนำมาพิจารณาเพื่อกำหนดค่าเสียโอกาสในการผลิตกระแสไฟฟ้าในราคายูนิิตละ 2.80 บาท ซึ่งต้องใช้น้ำประมาณ 4 ล้าน ลบ.ม. ในการผลิตกระแสไฟฟ้าหนึ่งยูนิิต

สิงหา (2544) ได้ทำการวิเคราะห์การจัดการน้ำในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ ด้วยการหาค่าประสิทธิภาพการชลประทาน อัตราส่วนการส่งน้ำ และค่าความน่าเชื่อถือด้านเวลา รวมทั้งทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการน้ำในโครงการชลประทานดังกล่าวด้วย

เอกสิทธิ์ (2546) ได้สร้างแบบจำลองสำหรับการจัดการน้ำทั้งลุ่มน้ำแม่กลอง โดยมุ่งเน้นที่การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองกระบวนการต่าง ๆ ในระดับลุ่มน้ำโดยใช้แนวคิด

การวิเคราะห์ทั้งระบบ (Systemic Approach) เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปัญหาการจัดการน้ำ

เอกสิทธิ์และบัญชา (2545) ได้จัดทำบัญชีน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองขึ้น เพื่อทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ ในลุ่มน้ำ และเพื่อให้ทราบถึงแนวทางที่สามารถปรับปรุงการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งยังช่วยให้ทราบถึงผลผลิตที่ได้จากน้ำในระดับลุ่มน้ำอีกด้วย

Kwanyuen *et al.* (1998) ได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลฝน ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝนกับอุณหภูมิจากการกระจายตัวของข้อมูลฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองและลุ่มน้ำเจ้าพระยา เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทางตอนกลางของประเทศไทย ซึ่งนับเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ในกระบวนการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำให้สัมพันธ์กับแนวโน้มสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

Vudhivanich *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาแนวทางการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณตั้งแต่ช่วงปี 2537-2540 รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่มีต่อการจัดการน้ำในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะมาตรการในการจัดสรรน้ำเพื่อให้สามารถกระจายน้ำไปใช้ในโครงการชลประทานได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ

Satoh *et al.* (1999) ได้พัฒนาหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองเรียกว่าขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดรายฤดูกาล (Seasonal Upper Limit of Water Storage) ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ ทั้งนี้เพื่อสร้างความเสถียรภาพในด้านปริมาณน้ำต้นทุนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองให้สามารถตอบสนองความต้องการครอบคลุมทุก ๆ วัตถุประสงค์ของโครงการ

Tospornsampan *et al.* (2005) ได้เสนอแนวทางการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำที่ดีที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองโดยใช้ Genetic Algorithm และ Discrete Differential Dynamic Programming ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งนโยบายการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม (Optimal Operating Policy) ที่สามารถลดการขาดน้ำในโครงการชลประทานให้น้อยที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปีน้ำน้อย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์หลักของการศึกษานี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ ข้อมูลศึกษา และเครื่องมือใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

1. ข้อมูลศึกษา

1.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Hydro-Meteorological Data) ของลุ่มน้ำแม่กลอง ได้แก่

1) ข้อมูลฝนรายวัน (Daily Rainfall Data) ครอบคลุมสถานีวัดน้ำฝนในเขตลุ่มน้ำแม่กลองและบริเวณลุ่มน้ำใกล้เคียงจำนวนทั้งสิ้น 57 สถานีในช่วงระหว่างปี 2518-2547 ได้แก่ ในเขตพื้นที่ จ.กาญจนบุรี 12 สถานี, จ.อุทัยธานี 6 สถานี, จ.ตาก 8 สถานี, จ.สุพรรณบุรี 9 สถานี, จ.ราชบุรี 8 สถานี, จ.สมุทรสงคราม 3 สถานี, จ.สมุทรสาคร 4 สถานี และ จ.นครปฐม 7 สถานี ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของลุ่มน้ำแม่กลอง ตลอดจนจัดทำแผนที่เส้นชั้นน้ำฝน (Isohyetal Map) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของฝนทั่วทั้งลุ่มน้ำ รวมทั้งนำข้อมูลฝนมาใช้คำนวณค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนผิวดินเพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ยังได้คัดเลือกข้อมูลฝนของบางสถานี ได้แก่ สถานี 450023, 450401 และ 450201 เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองสโตคาสติกสำหรับสังเคราะห์อนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิและ Side Flow ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เชื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนา ตามลำดับ

2) ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน (Runoff Data) โดยรวบรวมข้อมูลในช่วงระหว่างปี 2508-2546 จากสถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน ซึ่งทำการตรวจวัดทั้งในลำน้ำสาขาหลักและลำน้ำสาขารอง ได้แก่ แม่น้ำแควใหญ่ แม่น้ำแควน้อย แม่น้ำแม่กลอง ลำตะเพิน และลำภาชี จำนวน 6 สถานี ได้แก่ K.10, K.11A, K.12, K.17, K.35A และ K.37 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบปริมาณการไหลในลำน้ำในแต่ละช่วงเวลา

3) ข้อมูลสถิติภูมิอากาศรายเดือนของ จ. กาญจนบุรีในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ปี 2514-2543 เพื่อศึกษาลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำแม่กลอง

1.2 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำ (Required Reservoir Data)

ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลของน้ำในอ่างบนพื้นฐานรายวันตั้งแต่ปี 2528-2547 ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ข้อมูล Side Flow นับเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้วิเคราะห์สถานภาพของน้ำต้นทุนในกลุ่มน้ำแม่กลองปัจจุบัน นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลป้อนเข้าหลักที่ใช้ร่วมกับข้อมูลปริมาณการระเหยและการรั่วซึม และข้อมูลอื่น ๆ ในการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำทั้งในสถานการณ์ปัจจุบันและในอนาคต และแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

สำหรับข้อมูลการจัดสรรน้ำจริงของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลการปล่อยน้ำจริงและปริมาณน้ำสูบลกลับ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพรวมของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบัน โดยนำแผนการจัดสรรน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งปี 2546/2547 ของสำนักชลประทานที่ 13 กรมชลประทาน และแผนการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยตั้งแต่ปี 2544-2547 มาร่วมพิจารณาด้วย ทั้งนี้เพื่อกำหนดแนวทางการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำให้ใกล้เคียงกับแนวทางการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด

1.3 ข้อมูลสำหรับคำนวณปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของกลุ่มน้ำแม่กลอง

ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดรายวันในกลุ่มน้ำแม่กลองตั้งแต่ปี 2528-2547 คำนวณจากผลรวมของกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ได้แก่

1) ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน กำหนดจากปริมาณน้ำที่ผันเข้าคลองชลประทานรายวันได้แก่ LMC, 1L, 2L, 1R และ 2R รวมกันเพื่อส่งน้ำไปใช้ในพื้นที่โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่จำนวน 3,230,360 ไร่ โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ตั้งแต่ปี 2528-2547

2) ปริมาณการใช้น้ำของโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ เป็นปริมาณน้ำที่สูบน้ำไปใช้ในพื้นที่ส่งน้ำตามคำร้องขอของเกษตรกรจากแม่น้ำแควใหญ่ แม่น้ำแควน้อย แม่น้ำแม่กลอง

ลำตะเพิน และลำภาชี โดยคำนวณจากผลคูณระหว่างอัตราการสูบน้ำกับจำนวนชั่วโมงของการสูบน้ำ ทั้งนี้ได้ใช้ฐานข้อมูลที่มีอยู่ในปี 2546 ซึ่งประกอบด้วย 53 สถานีสูบน้ำเป็นตัวแทนของปริมาณการใช้น้ำของโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำตั้งแต่ปี 2528-2547

3) ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค เป็นผลรวมของปริมาณน้ำดิบที่สูบน้ำไปใช้ผลิตน้ำประปาโดยการประปาส่วนภูมิภาคที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง และใช้แหล่งน้ำดิบจากลุ่มน้ำแม่กลองเป็นหลักได้แก่ การประปากาญจนบุรี การประปาท่ามะกา การประปาพนมทวน การประปาจอมบึง-สวนผึ้ง การประปาคำเนินสะดวก การประปาบ้านโป่ง การประปาปากท่อ และการประปาสมุทรสงคราม และใช้ฐานข้อมูลที่มีอยู่ในปี 2546 เป็นตัวแทนของปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคตั้งแต่ปี 2528-2547

4) ปริมาณน้ำที่ผันไปใช้เพื่อการชลประทานในลุ่มน้ำท่าจีน คิดจากปริมาณน้ำที่ผันผ่านคลองจรเข้สามพัน และคลองท่าสาร-บางปลารายวัน โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ตั้งแต่ปี 2528-2547

5) ปริมาณน้ำที่ผันไปใช้ผลิตน้ำประปาที่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ คิดจากปริมาณน้ำดิบรายวันที่นำไปใช้ผลิตน้ำประปาดังแต่ปี 2545-2547 เท่านั้น

6) ปริมาณน้ำเพื่อผลักดันน้ำเค็มท้ายลุ่มน้ำแม่กลอง กำหนดตามหลักเกณฑ์ในการปล่อยน้ำต่ำสุดท้ายเขื่อนแม่กลองในสภาพของการปฏิบัติงานจริงของกรมชลประทาน

สำหรับรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้สรุปไว้ในตารางที่ 2-4 นอกจากนี้ยังมีข้อมูลศึกษาอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่ ข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำ (Physical Reservoir Data) ลักษณะสำคัญของระบบไฟฟ้าพลังน้ำ ใ้คงกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ใ้คงความจุเก็บกักพื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำ ใ้คงสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาของกลุ่มน้ำแม่กลองที่นำมาใช้ศึกษา

Data	Type of Data	Station	Station Name	Province	Latitude	Longitude	Length of Data
1. Rainfall Data	Daily Data	450001	Sai Yok	Kanchanaburi	14.05.00	99.12.00	1974-2004
		450002	Sangkhla Buri	Kanchanaburi	15.05.00	98.31.00	1974-2004
		450003	Tha Muang	Kanchanaburi	13.55.00	99.39.00	1975-2004
		450004	Tha Maka	Kanchanaburi	13.53.00	99.47.00	1975-2004
		450007	Bo Phloi	Kanchanaburi	14.17.00	99.32.00	1975-2002
		450008	Phanom Tuan	Kanchanaburi	14.05.00	99.43.00	1975-2003
		450009	Ban Rai School	Kanchanaburi	14.42.00	98.32.00	1975-2004
		450011	Ban Lin Thin School	Kanchanaburi	14.34.00	98.49.00	1975-2004
		450019	Erawan National Parks	Kanchanaburi	14.23.00	99.09.00	1975-2004
		450023	Ban Khao Lek	Kanchanaburi	14.42.00	99.15.00	1975-2004
		450201	Kanchanaburi	Kanchanaburi	14.01.00	99.32.00	1974-2003
		450401	Thong Pha Phum	Kanchanaburi	-	-	1975-2003
		410001	Uthai Thani	Uthai Thani	15.21.00	100.03.00	1975-2004
		410002	Ban Rai	Uthai Thani	15.02.00	99.33.00	1975-2002
		410003	Nong Khayang	Uthai Thani	15.19.00	99.57.00	1975-2004
		410004	Nong Chang	Uthai Thani	15.21.00	99.52.00	1975-2003
		410005	Thap Than	Uthai Thani	15.25.00	99.55.00	1975-2003
		410006	Sawang Arom	Uthai Thani	15.31.00	99.53.00	1975-2004

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Data	Type of Data	Station	Station Name	Province	Latitude	Longitude	Length of Data
		376003	Sam Ngao	Tak	17.11.00	99.04.00	1975-2003
		376004	Tha Song Yang	Tak	17.10.00	98.17.00	1975-2004
		376007	Tak Animal Husbandry Center	Tak	16.55.00	99.07.00	1975-2004
		376008	Ban San Pa Pui	Tak	17.16.00	98.52.00	1975-2002
		376009	Ban Samong	Tak	17.20.00	98.49.00	1975-2002
		376201	Tak	Tak	16.53.00	99.07.00	1974-2003
		376202	Mae Sot	Tak	16.39.33	98.33.03	1975-2003
		376203	Bhumibol Dam	Tak	17.14.00	99.03.11	1974-2003
		425002	Song Phi Nong	Suphan Buri	14.13.00	100.01.00	1975-2004
		425003	Doembang Nangbuat	Suphan Buri	14.50.37	100.06.01	1975-2004
		425004	U Thong	Suphan Buri	14.22.00	99.52.00	1975-2004
		425005	Sam Chuk	Suphan Buri	14.46.00	100.05.00	1975-2004
		425006	Si Prachan	Suphan Buri	14.38.00	100.11.00	1975-2004
		425007	Don Chedi	Suphan Buri	14.37.00	100.02.00	1975-2002
		425010	Suphan Buri Rice Research Sta.	Suphan Buri	14.28.00	100.07.00	1975-2004
		425201	Suphan Buri	Suphan Buri	14.28.00	100.08.00	1974-2003
		425301	U Thong Agromet	Suphan Buri	14.18.00	99.52.00	1974-2004
		424001	Ratchaburi	Ratchaburi	13.31.00	99.50.00	1975-2002

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Data	Type of Data	Station	Station Name	Province	Latitude	Longitude	Length of Data
		424002	Photharam	Ratchaburi	13.39.00	99.52.00	1975-2002
		424003	Damnoen Saduak	Ratchaburi	13.30.00	99.58.00	1976-2004
		424004	Pak Tho	Ratchaburi	13.20.00	99.52.00	1975-2003
		424005	Ban Pong	Ratchaburi	13.46.00	99.54.00	1975-2004
		424006	Chom bung	Ratchaburi	13.35.00	99.40.00	1975-2003
		424007	Wat Phleng	Ratchaburi	13.25.00	99.55.00	1975-2002
		424009	Bang Phae	Ratchaburi	13.39.00	99.57.00	1975-2004
		438001	Samut Songkhram	Samut Songkhram	13.24.00	100.01.00	1974-2004
		438002	Amphawa	Samut Songkhram	13.23.00	99.59.00	1975-2003
		438003	Bang Khonthi	Samut Songkhram	13.26.00	99.59.00	1975-2004
		428001	Samut Sakhon	Samut Sakhon	13.24.00	100.14.00	1974-2004
		428002	Ban Phaeo	Samut Sakhon	13.37.00	100.06.00	1975-2004
		428003	Krathum Baen	Samut Sakhon	13.39.00	100.16.00	1975-2003
		428004	Ban Rai Co-Operation Settlement	Samut Sakhon	13.31.00	100.18.00	1975-2004
		451001	Nakhon Pathom	Nakhon Pathom	13.49.00	100.04.00	1974-2004
		451002	Nakhon Chaisi	Nakhon Pathom	13.48.01	100.11.24	1975-2004
		451003	Kamphaeng Saen	Nakhon Pathom	14.02.00	100.01.00	1975-2004
		451004	Sam Phran	Nakhon Pathom	13.43.00	100.13.00	1975-2004

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Data	Type of Data	Station	Station Name	Province	Latitude	Longitude	Length of Data
		451005	Don Tum	Nakhon Pathom	3.56.00	100.05.00	1977-2004
		451006	Bang Len	Nakhon Pathom	14.01.00	100.10.00	1974-2004
		451301	Kamphaeng Saen Agromet	Nakhon Pathom	14.01.00	99.58.00	1974-2004
Data	Type of Data	Station	Station Name	River Name/Province	Drainage Area (sq km)	Length of Data	
2. Runoff	Daily Data	K.10	Ban Lum Sum, Sai Yok, Kanchanaburi	Khwae Noi	7,008	1965-2002	
		K.11A	Ban Wang Kha Nau, Tha Muang, Kanchanaburi	Mae Klong	26,449	1965-2001	
		K.12	Ban Thun Na Nang Rok, Muang, Kanchanaburi	Lam Taphoen	2,340	1965-2003	
		K.17	Frontier Station, Chom Bung, Ratchaburi	Lam Phachi	1,355	1966-2003	
		K.35A	Ban Nang Bua, Muang, Kanchanaburi	Khwae Yai	14,528	1984-2003	
		K.37	Ban Wang Yen, Muang, Kanchanaburi	Khwae Noi	10,630	1984-2003	
3. Climatological Data	Monthly Data	-	Kanchanaburi	Kanchanaburi	-	1971-2000	

ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลที่ใช้เป็นของอ่างเก็บน้ำที่นำมาใช้ศึกษา

Required Reservoir Data	Reservoir/Station	Type of Data	Length of Available Data
1. Net Inflow	Srinagarind	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
	Vajiralongkorn	Daily Data	1/10/1984-14/9/2004
	Tha Thung Na	Daily Data	1/12/1981-14/9/2004
2. Side Flow	Srinagarind-Tha Thung Na	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
	Vajiralongkorn/Tha Thung Na-Mae Klong	Daily Data	1/10/1984-14/9/2004
3. Losses	Srinagarind	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
	Vajiralongkorn	Daily Data	1/10/1984-14/9/2004
	Tha Thung Na	Daily Data	1/12/1981-14/9/2004
4. Water Level/Water Storage	Srinagarind	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
	Vajiralongkorn	Daily Data	1/10/1984-14/9/2004
	Tha Thung Na	Daily Data	1/12/1981-14/9/2004
	Mae Klong	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
5. Water Release	Srinagarind	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
	Vajiralongkorn	Daily Data	1/10/1984-14/9/2004
	Tha Thung Na	Daily Data	1/12/1981-14/9/2004
	Mae Klong	Daily Data	1/2/1985-30/6/2004
6. Reverse Pumping Water	Tha Thung Na-Srinagarind	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Required Reservoir Data	Reservoir/Station	Type of Data	Length of Available Data
7. Hydro-Power	Srinagarind	Daily Data	1/1/1980-14/9/2004
	Vajiralongkorn	Daily Data	1/10/1984-14/9/2004
	Tha Thung Na	Daily Data	1/12/1981-14/9/2004
8. Curves			
-Rule Curves	Srinagarind, Vajiralongkorn, Tha Thung Na	-	-
-Elevation-Area-Storage Curves	Srinagarind, Vajiralongkorn, Tha Thung Na	-	-
-Capability-Discharge-Efficiency Curves	Srinagarind, Vajiralongkorn, Tha Thung Na	-	-
9. Water Allocation Plans & Water Requirement Plans			
-Water Allocation Plan (EGAT)	Vajiralongkorn, Tha Thung Na	Daily Plan	2001-2004
-Water Requirement Plan (RID)	Mae Klong	Daily Plan	2001-2004

ตารางที่ 4 สรุปรายละเอียดของข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของลุ่มน้ำแม่กลอง

Water Uses Data	Details	Type of Data	Length of Available Data
1. Irrigation of GMKIP	Left Main Canal, 1L, 2L, 1R, and 2R Canal	Daily Data	Feb-85 to Jun-04
2. Pumping Irrigation	Khwaee Yai River	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Khwaee Noi River	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Lam Taphoen River	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Lam Phachi River	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Mae Klong River	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
3. Domestic Uses	Ban Pong Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Damnoen Saduak Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Chom Bung-Suan Phung Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Pak Tho Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Samut Songkhram Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Kanchanaburi Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Phanom Tuan Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
	Tha Maka Waterworks Scheme	Daily Data	Jan-03 to Dec-03
4. Transbasin Diversion to Tha Chin	Jorrakhe Sarmpun Canal	Daily Data	Feb-85 to Jun-04
	Thasarn Bangpla Canal	Daily Data	Feb-85 to Jun-04
5. Diversion to Bangkok Metropolitan Water Works Authority	-	Daily Data	May-02 to Jun-04
6. Salinity control	Downstream Water Release of MK	Daily Data	Jan-03 to Dec-03

2. เครื่องมือใช้งาน

เครื่องมือใช้งานที่สำคัญได้แก่ โปรแกรม MATLAB Version 6.0 โดยนำ Simulink Toolbox ซึ่งอยู่ใน Library Package ของโปรแกรม MATLAB มาใช้พัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ และนำโปรแกรม HEC-3 มาใช้ในการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำร่วมด้วย สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมได้จะทำการต่อเติมให้สมบูรณ์ด้วยโปรแกรม HEC-4 ก่อนนำไปใช้ศึกษา

วิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบเบื้องต้น

รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ตามรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ศึกษารายละเอียดของพื้นที่โครงการจากรายงานการศึกษาและรายงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนรายละเอียดของโปรแกรม MATLAB ซึ่งนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ในเบื้องต้นจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยการพล็อตอนุกรมเวลา (Time Series Plot) เพื่อดูแนวโน้มความผิดพลาดของข้อมูลและทำการปรับแก้ก่อนนำไปวิเคราะห์ ตลอดจนทำการต่อเติมข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยโปรแกรม HEC-4 สำหรับในส่วนของการข้อมูลฝนจะทำการวิเคราะห์ Double Mass Curve เพื่อคัดเลือกข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลสูง

2. การวิเคราะห์ข้อมูลในเบื้องต้น

ทำการวิเคราะห์ลักษณะอุตุ-อุทกวิทยาในลุ่มน้ำแม่กลอง และสถานภาพของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบัน โดยครอบคลุมถึงปริมาณน้ำต้นทุนของระบบและปริมาณการใช้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งในปัจจุบันและที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ตลอดจนวิเคราะห์วิธีการของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำจริงในปัจจุบัน เพื่อใช้กำหนดแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของลุ่มน้ำแม่กลอง

3. การพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง

พัฒนาแบบจำลองที่เลียนแบบการปฏิบัติงานจริงรายวันของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองตั้งแต่ปี 2528-2547 โดยใช้โศกฏการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงาน และพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันเฉพาะในช่วงปี 2544-2547 ด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบค่าพารามิเตอร์ (Parametric Rule) โดยทำการกำหนดเงื่อนไขและปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ (Calibration) ให้สอดคล้องกับการจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำในสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด ตลอดจนมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) ก่อนนำไปใช้งาน จากนั้นเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบกับผลการปฏิบัติงานจริงใน 3 องค์ประกอบหลักได้แก่ ปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดรายปี พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปี และปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของระบบหลังสิ้นสุดการจำลอง เพื่อคัดเลือกเกณฑ์การปฏิบัติงานที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้พัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำเมื่อปริมาณน้ำต้นทุนและปริมาณความต้องการน้ำผันแปรไปตามสถานการณ์น้ำในอนาคต ทั้งนี้เพื่อรองรับการพัฒนาที่มีแนวโน้มจะขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคต

4. การพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง

พัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้จากโอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบจะประสบความล้มเหลวจากทั้งสภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) สภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode) ประกอบกัน โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้าง (Structural Reliability) เพื่อวิเคราะห์ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (Limit State Function) ของทั้ง 3 สภาวะสำหรับนำมาประเมินค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Indices) ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ รายละเอียดการพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้จะครอบคลุม 5 ประเด็นหลักดังนี้

4.1 การพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบเพื่อจัดกลุ่ม (Combination) ของตัวแปรสุ่ม

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบจะถูกพิจารณาถึงความสำคัญที่มีต่อการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง ทั้งนี้เพื่อคัดเลือกตัวแปรที่มีความเหมาะสม รวมถึงทำ

การทดสอบลักษณะความเป็นตัวแปรสุ่ม (Randomness) ด้วยการวิเคราะห์ Autocorrelation Function ที่ช่วงเวลาต่างกัน k (Lag k) เพื่อศึกษาความเป็นอิสระของตัวแปรนั้น ๆ จากนั้นทำการจัดกลุ่มของตัวแปรสุ่มในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับเป็นข้อมูลป้อนเข้า (Input Data) ในการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ ในที่นี้ประกอบด้วย 5 ตัวแปรสุ่มหลักได้แก่

- 1) **X1** เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Reservoir Inflow) ของเขื่อนศรีนครินทร์ ซึ่งคิดจากผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนผิวอ่างของเขื่อนศรีนครินทร์ ลบด้วยปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยและการรั่วซึมของอ่างเก็บน้ำ
- 2) **X2** เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนวชิราลงกรณ์ ซึ่งคิดจากผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนผิวอ่างของเขื่อนวชิราลงกรณ์ ลบด้วยปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยและการรั่วซึมของอ่างเก็บน้ำ
- 3) **X3** เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนท่าทุ่งนา โดยคิดจากผลรวมของปริมาณ Side Flow ระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์-ท่าทุ่งนาและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนผิวอ่างของเขื่อนท่าทุ่งนา ลบด้วยปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยและการรั่วซึมของอ่างเก็บน้ำ
- 4) **X4** เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนแม่กลอง โดยคิดจากผลรวมของปริมาณ Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณ์-แม่กลองและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนผิวอ่างของเขื่อนแม่กลอง ลบด้วยปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยและการรั่วซึมของอ่างเก็บน้ำ
- 5) **X5** เป็นปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ การอุปโภค-บริโภค การผลักดันน้ำเค็ม การชลประทานในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ โครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ และการผันน้ำไปใช้นอกลุ่มน้ำ

จากนั้นทำการวิเคราะห์ฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ของแต่ละตัวแปรสุ่มและทดสอบการฟิตความเหมาะสม (Goodness of Fit Test) สำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนของการทดสอบความน่าเชื่อถือได้ที่กล่าวถึงในลำดับถัดไป

เนื่องจากตัวแปรสุ่มทั้ง 5 มีโอกาสแปรผันค่าในช่วงต่าง ๆ ได้ทั้งในลักษณะสูงกว่าและต่ำกว่าค่าจริงที่มีอยู่ ดังนั้นเพื่อให้ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำได้ค่าความเสี่ยงในช่วงที่ยอมรับได้ จึงทำการกำหนดค่าของตัวแปรสุ่ม X1-X5 เป็น [X1; X11, X12, X13], [X2; X21, X22, X23], [X3; X31, X32, X33], [X4; X41, X42, X43] และ [X5; X51, X52, X53] โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) คูณด้วยข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรสุ่มนั้นจะแตกต่างกันไปตามโหมดสถานะความล้มเหลวที่พิจารณา ตลอดจนสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง ส่งผลให้การจัดกลุ่มของตัวแปรสุ่มครอบคลุมสถานการณ์ต่าง ๆ ที่มีโอกาสเป็นไปได้มากยิ่งขึ้น

4.2 การจำลองการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ

ทำการจำลองการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำรายวันเพื่อวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นทั้ง 3 สถานะด้วยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Analysis Simulation Model) ที่พัฒนาขึ้นจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบการรับข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันให้สามารถรับข้อมูลป้อนเข้าของกลุ่มตัวแปรสุ่มทั้งหมด ตลอดจนมีการระบุสถานะความล้มเหลวของระบบด้วย Load และ Resistance ในขณะที่เกณฑ์การปฏิบัติงาน และเงื่อนไขค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวัน ซึ่งผ่านการปรับเทียบจนกระทั่งสามารถเลียนแบบพฤติกรรมจริงของระบบได้อย่างใกล้เคียง สำหรับข้อกำหนดเพื่อระบุสถานะความล้มเหลวของระบบในแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงสรุปไว้ในตารางที่ 5 โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

4.2.1 สถานะน้ำท่วม (Flood Mode)

กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนจำนวน 4 จุดเป็น Load ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์ ($R_L(SND)$) ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนวชิราลงกรณ ($R_L(VJK)$) ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนา ($R_L(TN)$) และปริมาณน้ำที่ปล่อยท้ายเขื่อนแม่กลอง ($R_L(MK)$) และกำหนดให้ความจุของแม่น้ำแควใหญ่บริเวณท้ายเขื่อนศรีนครินทร์ ($C(KY_{snd})$) ความจุของแม่น้ำแควน้อย ($C(KN)$) ความจุของแม่น้ำแควใหญ่บริเวณท้ายเขื่อนท่าทุ่งนา ($C(KY_{TN})$) และความจุของแม่น้ำแม่กลอง ($C(MK)$) เป็น Resistance ของแต่ละจุดที่พิจารณาตามลำดับ หากบริเวณจุดใดจุดหนึ่งมีปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเกินความจุทางด้านท้ายลำนน้ำแสดงว่าระบบกำลังประสบกับสถานะน้ำท่วม ดังแสดงในสมการ

$$\left. \begin{array}{l} R_t(\text{SND}) > C(\text{KY}_{\text{snd}}) \text{ or} \\ R_t(\text{VJK}) > C(\text{KN}) \text{ or} \\ R_t(\text{VJK}) > C(\text{KY}_{\text{TN}}) \text{ or} \\ R_t(\text{MK}) > C(\text{MK}) \end{array} \right\} ; \text{Failure} \text{ -----} (35)$$

4.2.2 สภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode)

กำหนดให้ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของกลุ่มน้ำแม่กลอง (D_t) เป็น Load และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ (WS) เป็น Resistance ในที่นี้ได้แบ่งการพิจารณาสภาวะการขาดน้ำออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกปริมาณน้ำต้นทุนของระบบจะพิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ (S_t) เท่านั้น และประเภทที่สองปริมาณน้ำต้นทุนของระบบจะรวมถึงปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่และปริมาณ Side Flow (SF) ดังนั้นหากปริมาณน้ำต้นทุนมีไม่เพียงพอที่จะตอบสนองกับปริมาณน้ำที่ต้องการของระบบ จะทำให้เกิดภาวะการขาดน้ำขึ้นดังแสดงในสมการ

$$D_t > WS \text{ [Type 1: } WS = S_t, \text{ Type 2: } WS = S_t + SF] ; \text{Failure} \text{ -----} (36)$$

4.2.3 สภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode)

สภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพหมายถึง สภาวะที่ระดับน้ำเก็บกักที่เวลาใดเวลาหนึ่งของอ่างเก็บน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เต็มที่ ส่งผลให้ระบบมีแรงดันน้ำไม่พอที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ ด้วยเหตุนี้จึงกำหนดให้ระดับน้ำที่ช่วงเวลาใด ๆ (WL_t) เป็น Load และระดับน้ำต่ำสุดในอ่างที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เต็มที่ (WL_m) เป็น Resistance โดยจะพิจารณาเฉพาะเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ ซึ่งกำหนดระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เต็มที่อยู่ที่ 162.50 m.msl. (ยูนิต 1-3) และ 147.00 m.msl. ตามลำดับ

$$WL_t > WL_m ; \text{Failure} \text{ -----} (37)$$

ตารางที่ 5 ข้อกำหนดสภาวะความล้มเหลวสำหรับนำมาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ

Mode	Load	Resistance	Allowable Risk
1. Flood Mode	Reservoir Release (R_t)	River Capacity (C)	
-Khwaee Yai River	$R_t(\text{SND})$	C(KY)	3%
-Khwaee Noi River	$R_t(\text{VJK})$	C(KN)	3%
-Mae Klong River	$R_t(\text{MK})$	C(MK)	3%
2. Shortage Mode	Water Demand (D_t)	Water Supply (WS)	
-Type 1	D_t	$WS = S_t$	5%
-Type 2	D_t	$WS = S_t + SF$	5%
3. Energy Mode	Water Level (WL_t)	Min. Water Level (WL_m)	
-SND (Unit 1-3)	WL_t	162.50 m.msl.	30%
-VJK	WL_t	147.00 m.msl.	30%

4.3 การกำหนดค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (Allowable Risk)

กำหนดค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของการออกแบบในแต่ละสภาวะต่าง ๆ กล่าวคือ 3%, 5% และ 30% สำหรับสภาวะน้ำท่วม สภาวะการขาดน้ำ และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ ตามลำดับ (Raudkivi, 1979) ทั้งนี้เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด

4.4 การวิเคราะห์ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด (Limit State Function)

ผลที่ได้จากการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง จะทำให้ทราบค่าความเสี่ยงของกลุ่มตัวแปรสุ่มทั้งหมด จากนั้นคัดเลือกเฉพาะกลุ่มของตัวแปรสุ่มที่สามารถจำลองการปฏิบัติงานแล้วให้ค่าความเสี่ยงในช่วงที่ยอมรับได้ เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในกลุ่มของตัวแปรสุ่มกับค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ในรูปของสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) ภายใต้การวิเคราะห์ในลักษณะที่แต่ละตัวแปรสุ่มไม่มีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Uncorrelated Random Variables) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ไม่ซับซ้อน สะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดังแสดงในสมการ

$$\text{Allowable Risk} = c1.X1+c2.X2+c3.X3+c4.X4+c5.X5 \text{ -----(38)}$$

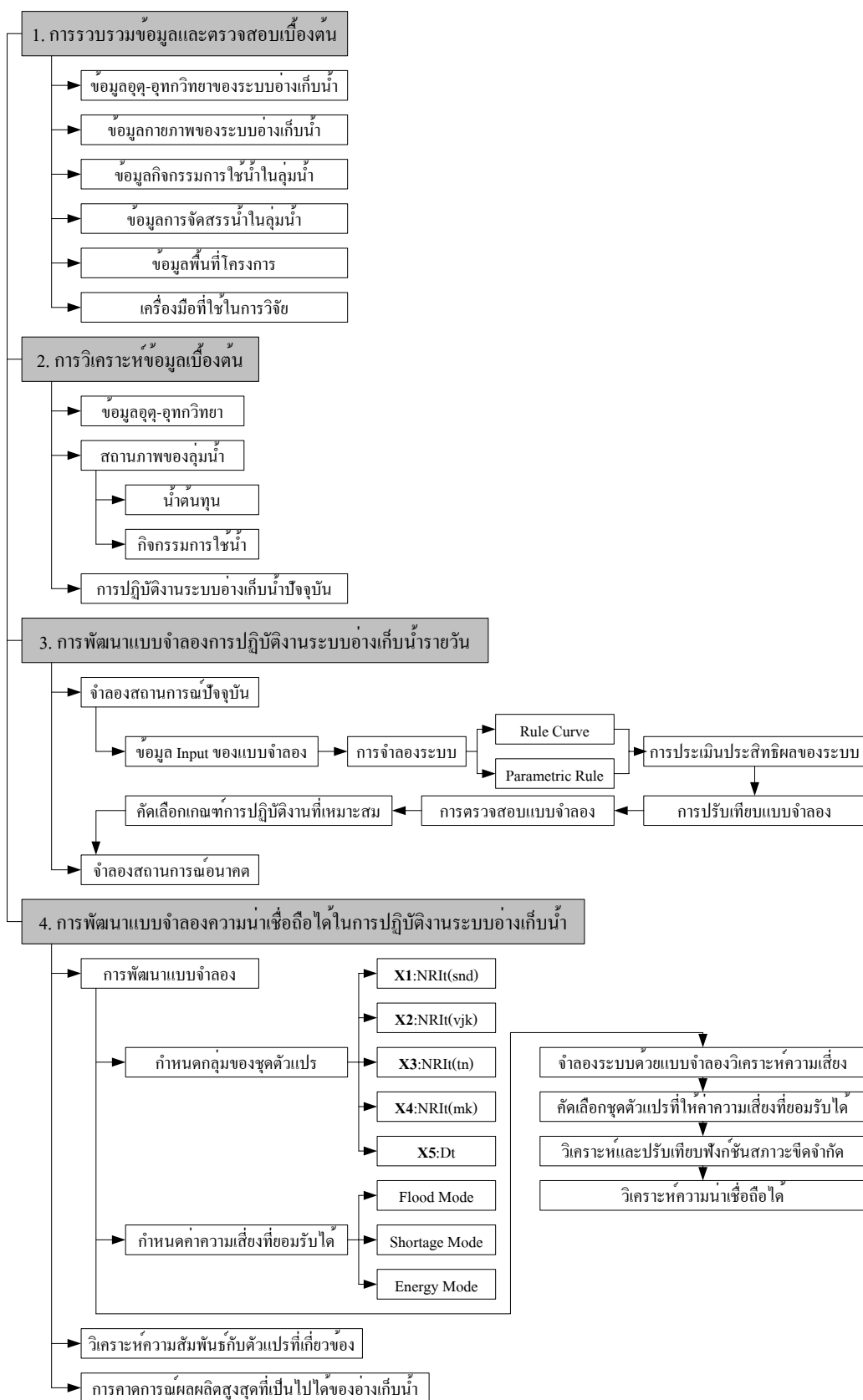
จากนั้นวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ c_i เพื่อกำหนดฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดในรูปของ Performance Function $g(\mathbf{X}) = \Delta - [c1.X1+c2.X2+c3.X3+c4.X4+c5.X5] = 0$ ซึ่งหมายถึงระบบอยู่ในสภาพสมดุลนั่นเอง โดยที่ Δ เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ที่ถูกกำหนดขึ้นมาข้างต้น สำหรับวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ c_i นั้นจะใช้ Solver ใน Microsoft Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยแนวคิดหลักคือเป็นความพยายามที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์ c_i ที่เหมาะสมในฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดที่ประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้แล้วได้ค่าใกล้เคียงกับค่าความน่าเชื่อถือได้จริงของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ ด้วยการ Minimize ผลต่างระหว่างค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ของกลุ่มตัวแปรคู่ต่าง ๆ กับฟังก์ชัน $c1.X1+c2.X2+c3.X3+c4.X4+c5.X5$ ให้ใกล้เคียง 0 มากที่สุด โดยที่ทั้งค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้และตัวแปร $X1-X5$ เป็นตัวแปรที่ทราบค่า ในขณะที่สัมประสิทธิ์ c_i กำหนดให้เป็นตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ที่ต้องการทราบค่า

4.5 การทดสอบความน่าเชื่อถือได้

ในลำดับสุดท้ายจะทดสอบความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ โดยทำการสังเคราะห์ข้อมูลของตัวแปรคู่ทั้ง 5 ตัวแปรคือ $X1, X2, \dots, X5$ ที่ใช้ในฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของแต่ละตัวแปรที่ผ่านการทดสอบการ fit ความเหมาะสม และคัดเลือกฟังก์ชันการแจกแจงก่อนนำมาใช้งาน จากนั้นนำคุณสมบัติทางสถิติซึ่งในที่นี้คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สังเคราะห์มาแทนค่าในฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด หากค่าที่ได้เกินความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (Δ) ซึ่งหมายความว่า $g(\mathbf{X}) < 0$ แสดงว่าระบบอยู่ในสถานะความล้มเหลว (Failure Mode) นั่นเอง จากนั้นทำซ้ำหลาย ๆ รอบในลักษณะของ Monte Carlo Simulation เพื่อตรวจสอบโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดการความล้มเหลว (Failure Probability, P_f) สำหรับนำไปประเมินโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดความปลอดภัย (Safety Probability, P_s) ซึ่งก็คือดัชนีค่าความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Indices, RI) นั่นเอง

ผลที่ได้จากแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ จะสามารถประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานปัจจุบันซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิผลของการดำเนินงานว่ามีความน่าเชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหน ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ได้นี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำจริงจนกระทั่งได้ค่า

ใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งแสดงว่าฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ถูกพัฒนาขึ้นมานั้นสามารถใช้เป็นตัวแทนในการประเมินความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำปัจจุบันได้ ในทางกลับกันหากค่าความน่าเชื่อถือที่ได้จากการประเมินไม่สอดคล้องกับค่าจริงจะต้องทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดใหม่จนกระทั่งได้ฟังก์ชันที่สามารถประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้แล้วให้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด จากนั้นนำฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ได้มาประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของทั้ง 3 สภาวะ และศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความน่าเชื่อถือได้ เมื่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบและปริมาณความต้องการน้ำผันแปรที่ค่าต่าง ๆ กัน โดยครอบคลุมทั้งสถานการณ์จริงปัจจุบันและสถานการณ์ที่มีโอกาสเป็นไปได้ในอนาคต และลำดับสุดท้ายจะนำฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่พัฒนาข้างต้นมาใช้ในการคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ (Maximum Possible Firm Yield) ของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ระดับความน่าเชื่อถือได้ต่าง ๆ ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษาทั้งหมดแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัย

ผลและวิจารณ์

รายละเอียดของข้อมูลศึกษา

ข้อมูลศึกษาทั้งในส่วนข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยารายวัน และข้อมูลที่เป็นของอ่างเก็บน้ำรายวันที่มีอยู่ทั้งหมดได้สรุปเป็นข้อมูลรายเดือนไว้ในภาคผนวก ก ตารางผนวกที่ ก1-ก20 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการระเหยและการรั่วซึม ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ ข้อมูลปริมาณน้ำที่ระบาย ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และข้อมูลสภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีในคาบ 30 ปี ในตารางผนวกที่ ก21 สำหรับข้อมูลที่สำคัญอื่น ๆ ในพื้นที่โครงการแสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางผนวกที่ ข1-ข3 สำหรับเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และข้อกำหนดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโค้งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำ โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนท่าทุ่งนา แสดงในภาคผนวก ค ตารางผนวกที่ ค1-ค2 และภาพผนวกที่ ค1-ค7 ตามลำดับ

ผลจากการพล็อตอนุกรมเวลาของข้อมูลฝนรายวันของสถานี 450023 จ.กาญจนบุรี และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี K.17 ในภาพที่ 16 พบว่า ทั้งข้อมูลฝนและปริมาณน้ำท่าจากสถานีตัวอย่างมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มที่อยู่ภายใต้กระบวนการทางสโตคาสติก (Stochastic Process) อย่างชัดเจน กล่าวคือไม่สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ที่แน่นอนได้เมื่อเวลาเปลี่ยนไป จำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นมาช่วยในการอธิบายและทำนายผล นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนยังปรากฏอิทธิพลของวัฏจักร (Cyclical Effect) ที่อนุกรมเวลามีการเคลื่อนไหวแบบเกิดซ้ำแล้วซ้ำอีกในหนึ่งช่วงเวลาอีกด้วย กล่าวคือในช่วงต้นปีตั้งแต่เดือนมกราคมถึงราวเดือนพฤษภาคมปริมาณน้ำท่าจะค่อนข้างน้อย และจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในราวเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายนจนกระทั่งสูงสุดในราวเดือนสิงหาคมและกันยายน หลังจากนั้นปริมาณน้ำท่าจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งต่ำสุดในเดือนธันวาคม โดยรูปแบบของปริมาณน้ำท่าในแต่ละปีจะไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่ข้อมูลฝนรายวันปรากฏอิทธิพลของวัฏจักรไม่ชัดเจนมากนัก

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในตารางที่ 6 พบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองในช่วงระหว่างปี 2517-2547 จาก 57 สถานีมีค่าเท่ากับ 1,114 มม./ปี หรือเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 93 มม.

อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนทั่วพื้นที่ก่อนข้างสูง โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เท่ากับ 77 กล่าวคือปริมาณฝนก่อนข้างน้อยในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคม-เมษายน ซึ่งมีค่าต่ำสุดรายเดือนอยู่ที่ 3.1 มม. และค่าสูงสุดรายเดือนอยู่ที่ 55.4 มม. ในขณะที่ปริมาณฝนเฉลี่ยทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำก่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม โดยมีค่ารายเดือนอยู่ระหว่าง 123-224 มม. และจะลดลงในเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงสิ้นสุดฤดูฝน โดยมีค่ารายเดือนเท่ากับ 50.7 มม.

ในขณะที่คุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของสถานีวัดน้ำที่คัดเลือกมาศึกษาได้แก่ K.10, K.11A, K.12, K.17, K.35A และ K.37 ในตารางที่ 6 พบว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลก่อนข้างสูงในทำนองเดียวกันทุกสถานี โดยปัจจัยของสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเกิดน้ำท่า ความเข้มฝน รวมถึงขนาดของพื้นที่รับน้ำ (Drainage Area) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่าของแต่ละสถานี ยกตัวอย่างเช่น สถานีวัดน้ำ K.35A ซึ่งเป็นจุดวัดน้ำในลำน้ำแควใหญ่ที่บ้านนางบัว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 14,528 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2527-2546 มีค่าเท่ากับ 3,929 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่สถานีวัดน้ำ K.10 ซึ่งเป็นจุดวัดน้ำในลำน้ำแควน้อยที่ อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี และมีพื้นที่รับน้ำเพียง 7,008 ตร.กม. ซึ่งน้อยกว่าสถานี K.35A แต่ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2508-2546 จะสูงกว่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,211 ล้าน ลบ.ม./ปี ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของค่าความเข้มฝนทางตอนบนของลำน้ำแควน้อยที่มีค่อนข้างสูง สำหรับสถานี K.11A ซึ่งเป็นจุดวัดน้ำในลำน้ำแม่กลองที่ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี และมีพื้นที่รับน้ำ 26,449 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2508-2546 เท่ากับ 8,548 ล้าน ลบ.ม.

ผลจากการพล็อตอนุกรมเวลาของข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำรายวันของเขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนวชิราลงกรณ์ในภาพที่ 17-18 พบว่า ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างทั้งสองอ่าง จะปรากฏทั้งอิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Effect) ในช่วงเวลาหนึ่งปี และอิทธิพลของวัฏจักรการเกิดซ้ำในช่วงเวลาระยะยาวอย่างชัดเจน โดยปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนศรีนครินทร์เฉลี่ยตั้งแต่ 2523-2547 มีค่าเท่ากับ 4,557 ล้าน ลบ.ม./ปี ในขณะที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนวชิราลงกรณ์จะสูงกว่า โดยมีค่าอยู่ที่ 5,379 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลที่มีอยู่ตั้งแต่ปี 2524-2547 อย่างไรก็ตามพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เขื่อนวชิราลงกรณ์ซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 558 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนท่าทุ่งนา ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยจาก

เขื่อนศรีนครินทร์ และปริมาณ Side Flow บางส่วนระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์ถึงเขื่อนท่าทุ่งนาพบว่า ข้อมูล Side Flow ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติไม่ได้มีผลทำให้อนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนท่าทุ่งนาปรากฏอิทธิพลใด ๆ เลย เนื่องจาก Side Flow ในส่วนนี้มีปริมาณน้อยมากเฉลี่ยเพียง 9.05 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนท่าทุ่งนามีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์ในแต่ละช่วงเวลา โดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2524-2547 เท่ากับ 3,960 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังแสดงในภาพที่ 19

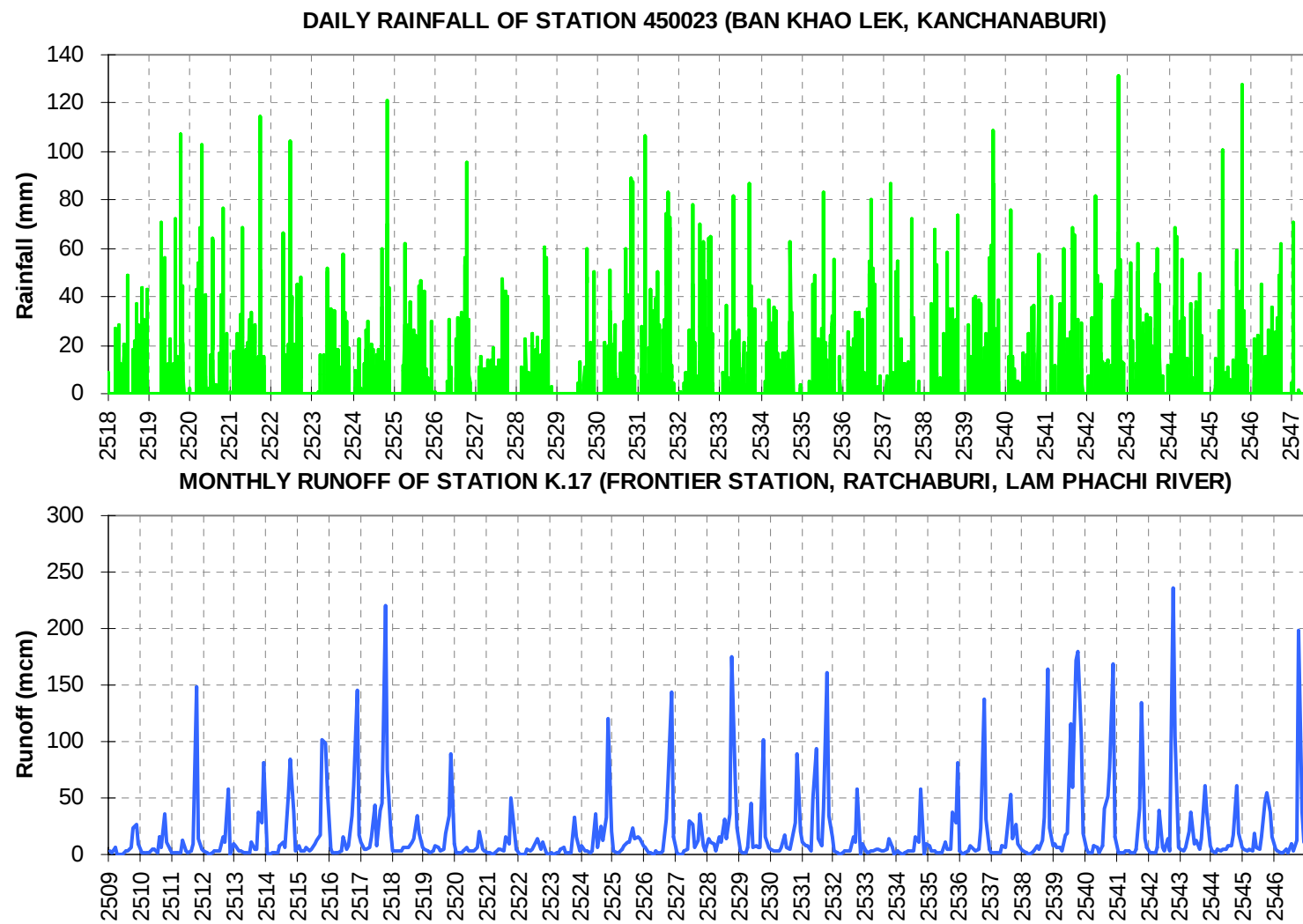
จากการพิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาของข้อมูล Side Flow 2 จุดได้แก่จุดแรกเป็น Side Flow ระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์ถึงเขื่อนท่าทุ่งนา และจุดที่สองเป็น Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนาถึงเขื่อนแม่กลองดังแสดงในภาพที่ 20 พบว่า จะมีลักษณะของตัวแปรสุ่มที่ปรากฏอิทธิพลอันเนื่องมาจากเวลาไม่ชัดเจนนัก โดยปริมาณ Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนาถึงเขื่อนแม่กลองเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2528-2547 มีค่าสูงถึง 2,769 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือคิดเป็น 99.67% ของปริมาณ Side Flow ทั้ง 2 จุดรวมกัน และจะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนตุลาคมเท่ากับ 4.87 ล้าน ลบ.ม. และ 697 ล้าน ลบ.ม. สำหรับ Side Flow จุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ในขณะที่ Side Flow เฉลี่ยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายนมีค่าค่อนข้างน้อย โดยมีค่ารายเดือนอยู่ระหว่าง 45-48 ล้าน ลบ.ม. สำหรับ Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนาถึงเขื่อนแม่กลอง และแทบจะไม่เกิด Side Flow ระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์ถึงเขื่อนท่าทุ่งนาขึ้นเลยในช่วงเดือนดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าปัจจัยสภาพและลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำในลำน้ำแควน้อยมีผลทำให้ปริมาณ Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนาถึงเขื่อนแม่กลองมีค่าสูง

สำหรับข้อมูลการระเหยและการรั่วซึมของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 472, 383 และ 9.17 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของข้อมูลการระเหยและการรั่วซึมจากเขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนวชิราลงกรณนั้นมีลักษณะเป็นอนุกรมเวลาที่เสถียร (Stationary Time Series) อย่างชัดเจน กล่าวคือเป็นอนุกรมเวลาที่ค่าเฉลี่ยที่เวลาต่าง ๆ คงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 39 และ 32 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่อนุกรมเวลาของข้อมูลการระเหยและการรั่วซึมจากเขื่อนท่าทุ่งนามีลักษณะของเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect) ปรากฏขึ้นในปี 2530 โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 0.76 ล้าน ลบ.ม.

ในขณะที่ข้อมูลที่จำเป็นอื่น ๆ ของอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นข้อมูลระดับน้ำเก็บกัก ปริมาณน้ำที่ปล่อย และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทั้ง 3 อ่าง รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำสูบกกลับที่เขื่อนศรี

นครินทร์ จะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มที่อยู่ภายใต้แนวทางการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนท่าทุ่งนาจะอยู่ที่ 172.00, 146.30 และ 58.65 ม.รทก. ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนท่าทุ่งนาจะอยู่ที่ 5,049, 4,828 และ 3,944 ล้าน ลบ.ม/ปี ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยได้ถึง 1,199, 767 และ 166 กิกะวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับปริมาณน้ำสูบกลับไปใช้ที่เขื่อนศรีนครินทร์เฉลี่ยเท่ากับ 780 ล้าน ลบ.ม./ปี

สำหรับการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ รายวันในกลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งเป็นผลรวมจากกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ทั้งหมดตั้งแต่ปี 2528-2547 พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเส้นตรง (Linear Upward Trend) ดังแสดงในภาพที่ 21 จากการคำนวณปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดรายปีปัจจุบัน โดยคิดจากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน สูงสุดในปี 2546 และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีอยู่จากกิจกรรมการใช้น้ำอื่น ๆ พบว่าปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 8,200 ล้าน ลบ.ม./ปี โดยแยกเป็นปริมาณการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม 4,585 ล้าน ลบ.ม. และในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน 3,615 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณการใช้น้ำค่อนข้างสูงในช่วงปลายฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม กล่าวคือมีค่ารายเดือนอยู่ระหว่าง 724-979 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำในช่วงฤดูฝนค่อนข้างคงที่ โดยมีค่ารายเดือนอยู่ระหว่าง 576-671 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในตารางที่ 7



ภาพที่ 16 การเคลื่อนไหวยของอนุกรมเวลาของข้อมูลฝนรายวันของสถานี 450023 และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี K.17

ตารางที่ 6 สรุปคุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาและข้อมูลที่ใช้เป็นของอ่างเก็บน้ำ

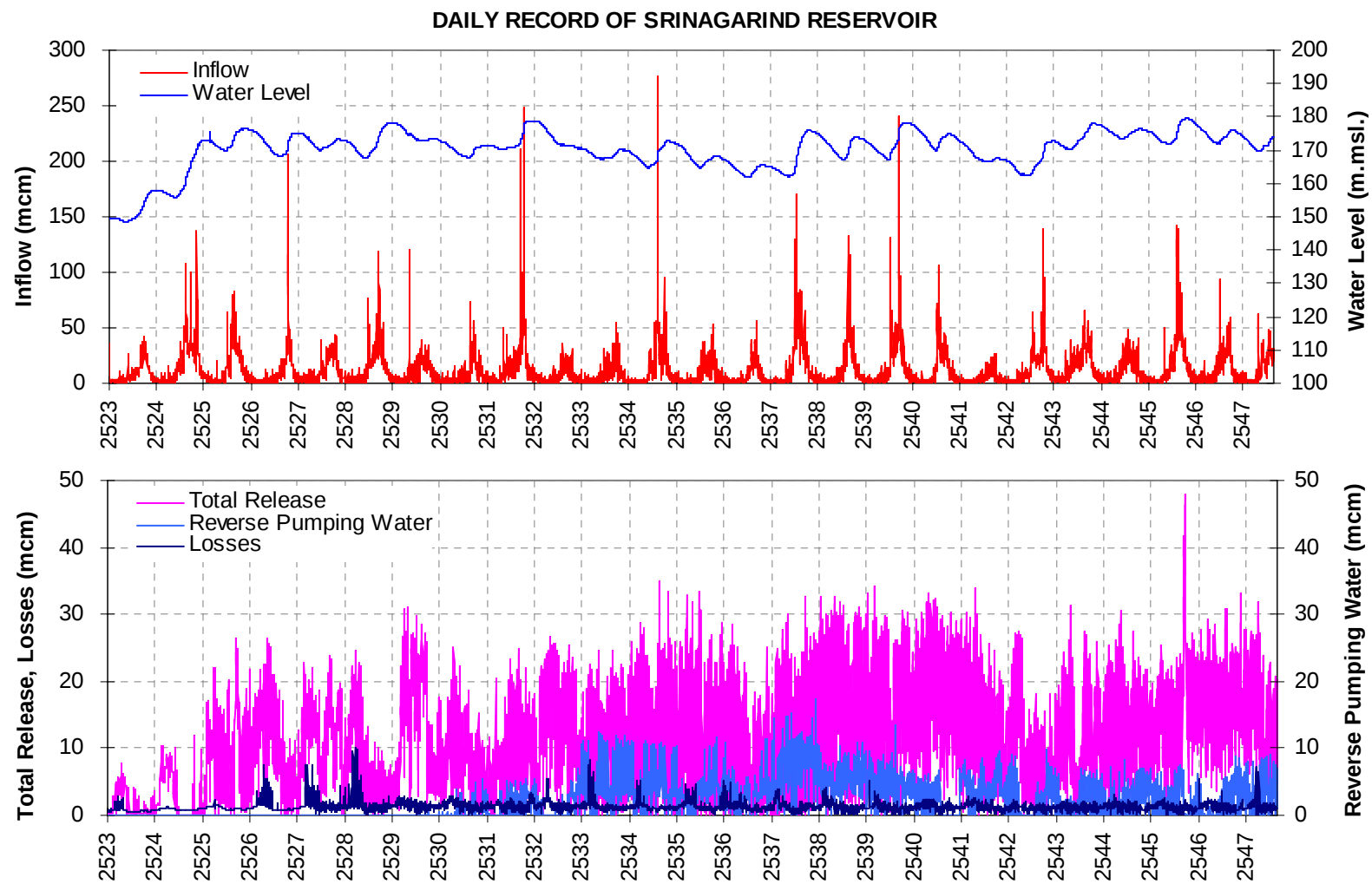
Data	Average Monthly Data												Basic Statistics		
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual	Avg.	Stdev.
Hydro-Meteorological Data															
1. Rainfall [1975-2004] (mm)	3.1	8.8	27.6	55.4	139.3	123.8	137.9	146.3	224.1	192.4	50.7	4.9	1,114.4	92.9	77.1
2. Runoff [1965-2003] (mcm)															
-K.10	201	208	275	250	275	466	751	1,342	1,088	742	366	247	6,211	517.6	380.7
-K.11A	340	218	256	261	328	661	931	1,617	1,470	1,353	671	442	8,548	712.3	510.9
-K.12	4	3	3	5	8	6	4	3	16	62	39	10	163	13.6	18.3
-K.17	5	2	3	4	11	12	11	14	24	80	49	13	228	19.0	23.1
-K.35A	244	269	417	400	408	330	241	275	338	424	343	240	3,929	327.4	72.4
-K.37	344	381	531	511	547	536	551	913	999	926	566	396	7,201	600.1	221.9
Required Reservoir Data															
1. SND [1980-2004]															
-Inflow (mcm)	113	79	70	83	160	246	491	896	950	932	378	160	4,557	380	353
-Side Flow (mcm)	0.13	0.50	0.14	0.00	0.18	0.00	0.07	0.25	0.30	4.87	2.61	0.00	9.05	0.75	1.48
-Losses (mcm)	37	43	57	57	45	36	33	32	33	31	31	37	472	39.3	9.4
-Water Level (m.msl.)	171.4	170.8	169.6	168.5	167.8	167.4	168.0	169.5	171.2	172.9	173.1	172.8	-	170.2	2.1
-Water Release (mcm)	361	372	514	481	471	428	371	426	440	417	412	356	5,049	421	51
-Hydro-Power (GWh)	84	93	127	115	111	99	84	98	108	98	99	84	1,199	100	13

ตารางที่ 6 (ต่อ)

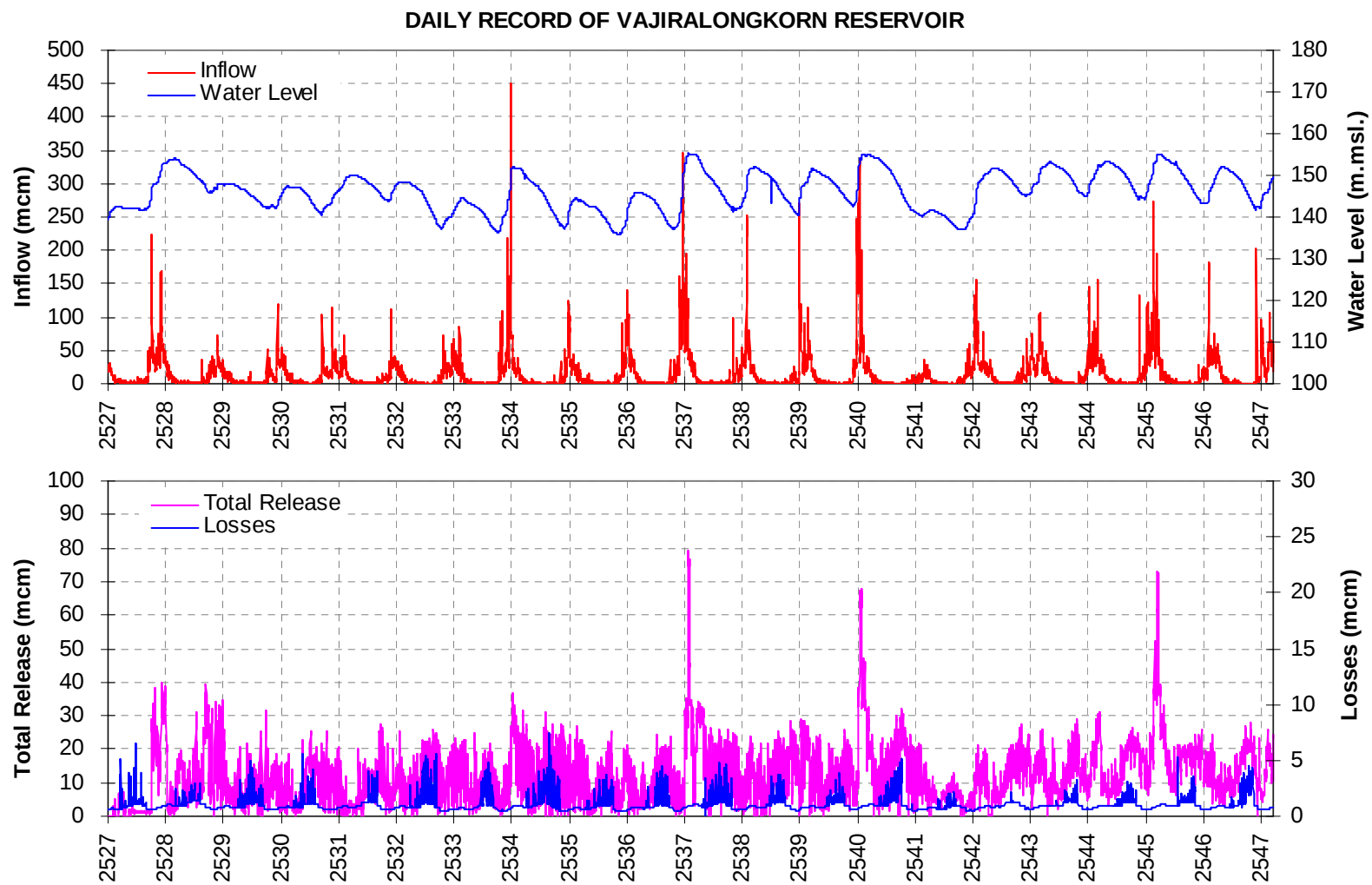
Data	Average Monthly Data												Basic Statistics		
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual	Avg.	Stdev.
-Reverse Pumping (mcm)	77	53	52	39	50	61	71	65	71	82	80	81	780	65	14
Required Reservoir Data															
2. VJK [1984-2004]															
-Inflow (mcm)	50	26	22	28	151	470	1,096	1,719	1,059	531	158	68	5,379	448	558
-Side Flow (mcm)	159	47	45	48	138	197	220	302	364	697	303	249	2,769	231	181
-Losses (mcm)	31	41	59	56	33	20	18	21	25	28	24	27	383	32	14
-Water Level (m.msl.)	147.6	146.4	144.7	143.0	141.9	142.1	144.7	148.2	149.6	149.6	149.1	148.4	-	146.3	2.9
-Water Release (mcm)	281	343	481	452	428	388	361	563	603	344	313	271	4,828	402	106
-Hydro-Power (GWh)	47	57	78	82	61	57	53	84	95	57	51	44	767	64	17
3. TN [1981-2004]															
-Inflow (mcm)	248	304	436	422	404	349	280	315	354	310	308	231	3,960	330	65
-Losses (mcm)	0.83	0.71	0.86	0.91	0.80	0.86	0.69	0.57	0.57	0.57	0.52	1.30	9.17	0.76	0.22
-Water Level (m.msl.)	58.31	58.61	58.65	58.67	58.66	58.53	58.41	58.70	58.90	58.92	59.03	58.41	-	58.65	0.22
-Water Release (mcm)	248	301	435	421	403	349	280	312	350	309	304	232	3,944	329	65
-Hydro-Power (GWh)	11	13	18	18	17	15	12	13	14	13	13	10	166	14	3

ตารางที่ 6 (ต่อ)

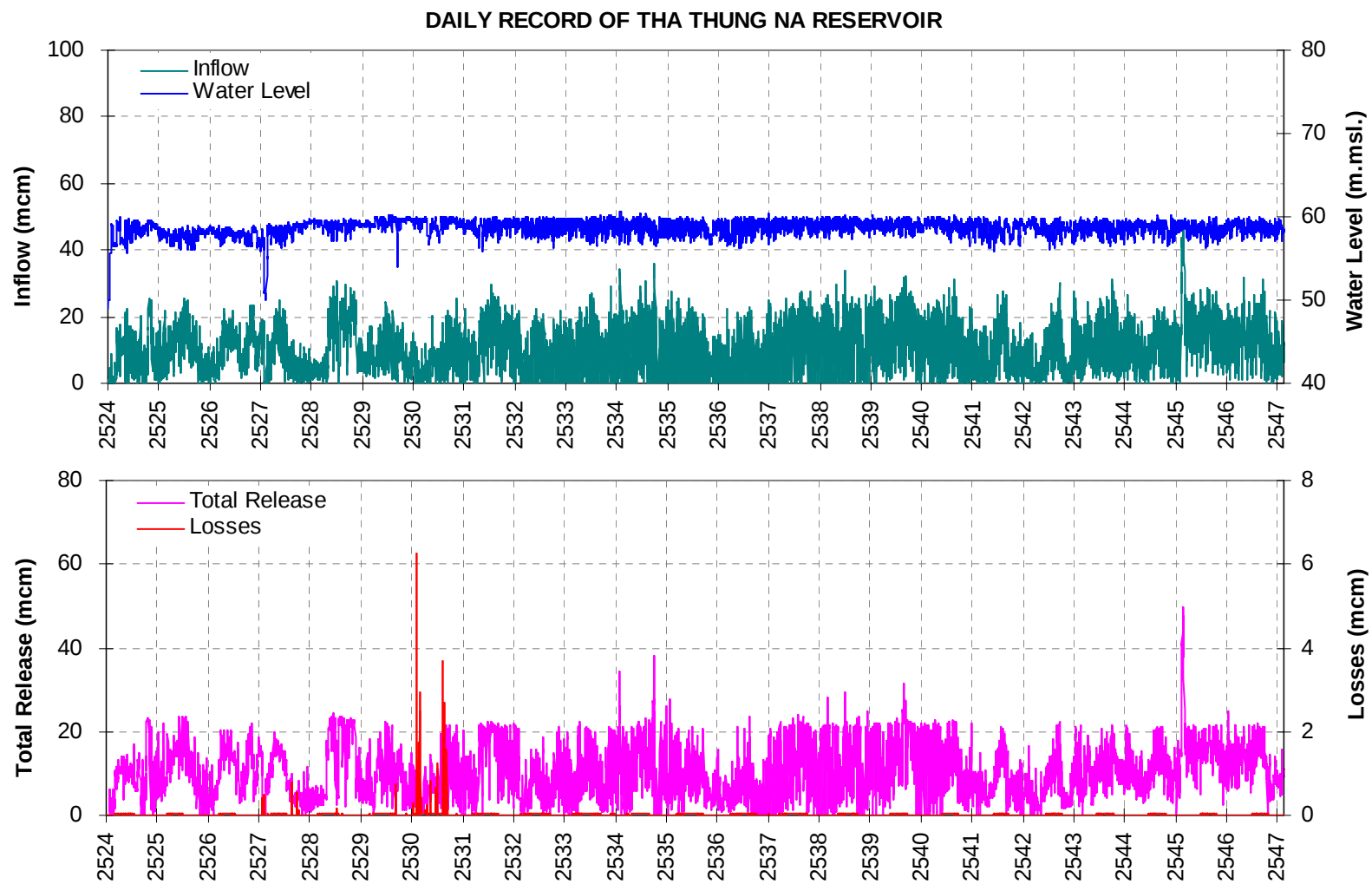
Data	Average Monthly Data												Basic Statistics		
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual	Avg.	Stdev.
Required Reservoir Data															
4. MK [1985-2004] (mcm)															
-Downstream Release	149	99	126	113	148	210	169	232	304	366	207	180	2,301	192	79
-LMC	30	71	88	90	74	56	62	83	76	50	53	34	767	64	20
-1L	7	10	12	13	14	11	9	12	11	10	11	8	129	11	2
-2L	21	38	52	60	52	44	40	44	41	27	28	22	467	39	12
-1R	29	37	49	52	48	21	29	48	45	41	42	28	469	39	10
-2R	7	9	13	14	13	8	7	14	13	12	13	8	132	11	3



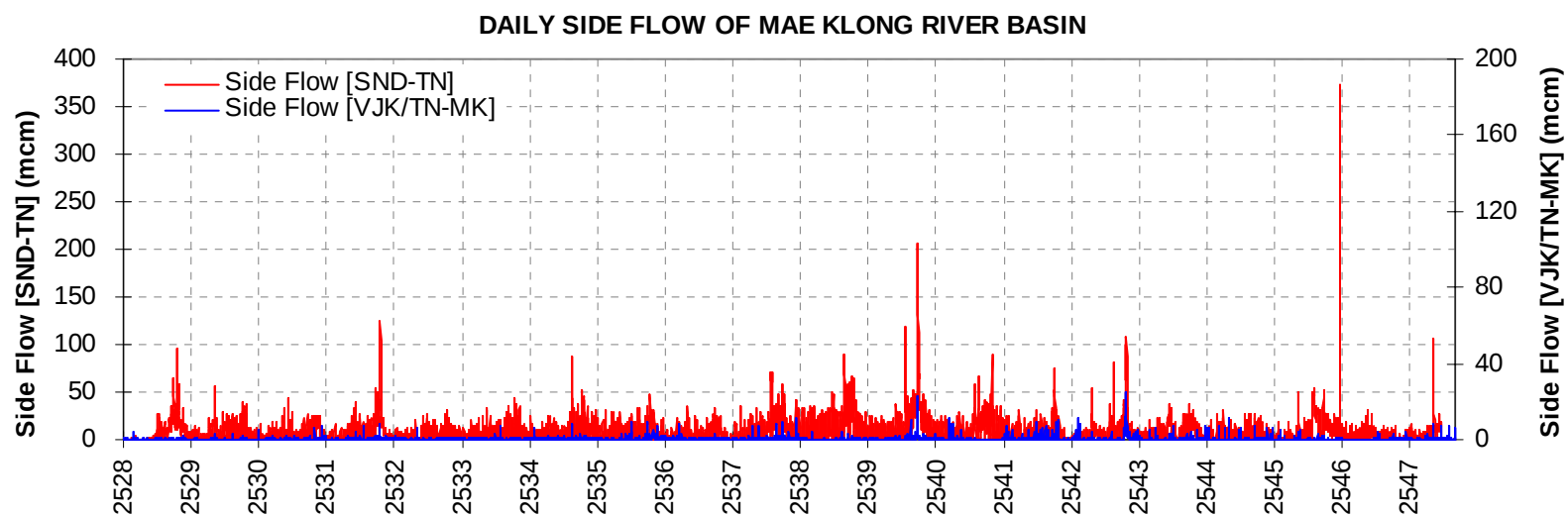
ภาพที่ 17 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์รายวัน



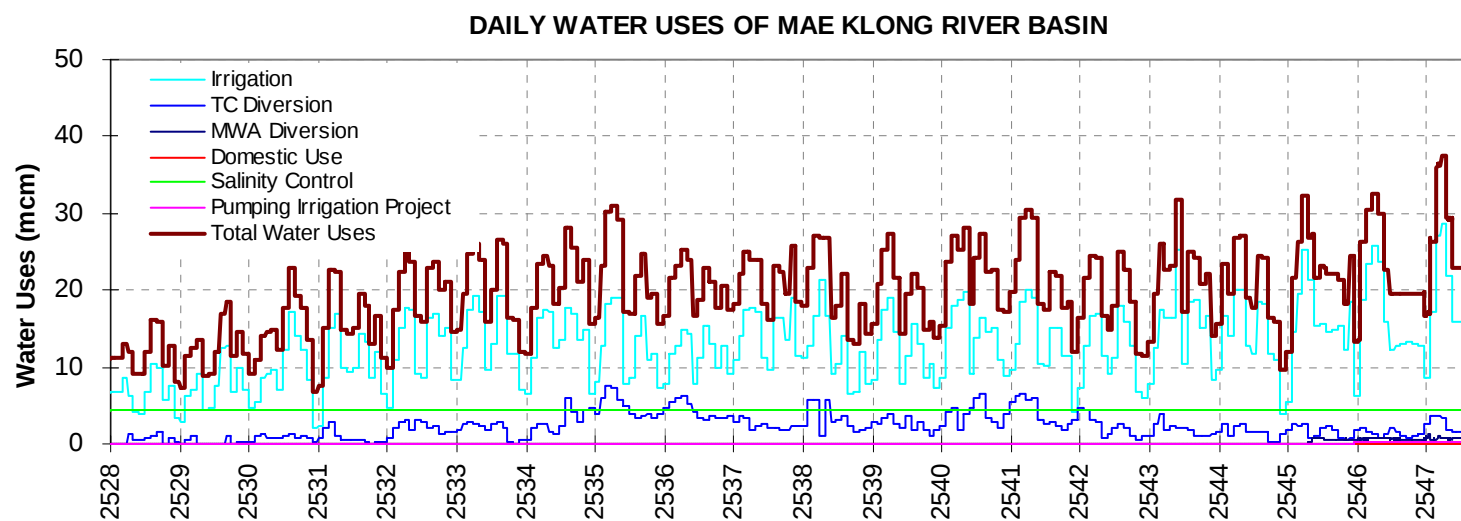
ภาพที่ 18 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณรายวัน



ภาพที่ 19 ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนท่าทุ่งนารายวัน



ภาพที่ 20 ข้อมูลปริมาณ Side Flow รายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง



ภาพที่ 21 ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ รายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง

ตารางที่ 7 สรุปคุณสมบัติทางสถิติพื้นฐานของข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ

Water Uses Data	Average Monthly Data (mcm)												Basic Statistics			
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual	Dry Season ⁷	Wet Season ⁸	
1. Irrigation of GMKIP ¹																
-2003*	197	524	725	773	733	477	376	394	394	413	391	396	5,793	3,347	2,446	
-1985-2004	227	346	505	539	488	321	340	485	441	356	359	239	4,645	2,343	2,302	
2. Pumping Irrigation ² [2003]	5.49	5.49	5.49	5.49	5.49	5.49	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	59.86	31.95	27.91	
3. Domestic Use ³ [2003]	1.61	1.49	1.71	1.78	1.69	1.72	1.65	1.65	1.54	1.59	1.57	1.62	19.61	9.90	9.72	
4. TC Diversion ⁴ [1985-2004]	43.68	53.03	59.83	46.54	44.09	35.62	38.99	45.21	38.31	31.19	31.97	37.46	505.93	284.63	221.29	
5. MWA Diversion ⁵ [2002-2004]	23.68	18.67	23.12	22.63	19.26	21.77	20.73	19.55	18.78	18.72	18.51	18.64	244.05	125.99	118.06	
6. Salinity control ⁶	134	121	134	130	134	130	134	134	130	134	130	134	1,577	786	791	
Total Water Uses*	405	724	949	979	937	671	576	599	587	603	577	592	8,200	4,585	3,615	

¹ Irrigation water requirement of Greater Mae Klong Irrigation Project over the approximated area of 3.2 million rai

² Pumping irrigation water requirement from Khwae Yai, Khaw Noi, and Mae Klong river about 127,871 rai

³ Domestic use in the downstream of Mae Klong diversion dam

⁴ Transfer basin diversion to Tha Chin

⁵ Diversion to Bangkok Metropolitan Water Works Authority

⁶ Minimum release from Mae Klong diversion dam for salinity control

⁷ Dry season = Dec–May , ⁸ Wet season = Jun–Nov

พื้นที่ศึกษา

1. ลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำแม่กลอง

1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

กลุ่มน้ำแม่กลองตั้งอยู่ทางภาคตะวันตกของประเทศไทย มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสองรองจากกลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 30,836 ตร.กม. โดยครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัดได้แก่ จ.กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร นครปฐม สุพรรณบุรี และอุทัยธานี ทางด้านทิศเหนือติดต่อบริเวณพื้นที่ จ.ตาก ทิศตะวันตกจรดชายแดนพม่าบริเวณเทือกเขาตะนาวศรี ทิศตะวันออกจะติดต่อกับพื้นที่บางส่วนของ จ.อุทัยธานี สุพรรณบุรี และนครปฐม และทางด้านทิศใต้ติดต่อกับ จ.เพชรบุรี พื้นที่กลุ่มน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือกลุ่มน้ำแม่กลองตอนบน ซึ่งลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ภูเขาสลับกับหุบเขาและบางส่วนเป็นที่ราบระหว่างเชิงเขา และกลุ่มน้ำแม่กลองตอนล่างซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบขนาดใหญ่ ประมาณ 60% ของพื้นที่กลุ่มน้ำทั้งหมดมีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาและหุบเขา ในขณะที่พื้นที่ราบมีประมาณ 20% ของพื้นที่กลุ่มน้ำ และอีก 20% ของพื้นที่มีลักษณะเป็นที่ราบเชิงเขา

แม่น้ำสำคัญในพื้นที่ได้แก่ แม่น้ำแควใหญ่ โดยมีต้นกำเนิดน้ำบริเวณเทือกเขาถนนธงชัย ไหลผ่าน อ.สังขละบุรี อ.ทองผาภูมิ และอ.ศรีสวัสดิ์ในเขต จ.กาญจนบุรี ความยาวตลอดลำน้ำทั้งสิ้นประมาณ 380 กม. และแม่น้ำแควน้อยซึ่งมีต้นกำเนิดน้ำบริเวณเทือกเขาตะนาวศรี ไหลผ่าน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี มีความยาวตลอดลำน้ำทั้งสิ้น 320 กม. แม่น้ำแควใหญ่และแควน้อยไหลมาบรรจบกันที่ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี กลายเป็นแม่น้ำแม่กลอง จากนั้นไหลผ่าน จ.ราชบุรีและลงสู่อ่าวไทยที่ จ.สมุทรสงคราม โดยมีความยาวประมาณ 132 กม. ดังแสดงในภาพที่ 22

1.2 ระบบอ่างเก็บน้ำ

ระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองประกอบด้วยเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ 2 เขื่อนที่เชื่อมต่อกันในลักษณะขนานคือ เขื่อนศรีนครินทร์ซึ่งสร้างปิดกั้นแม่น้ำแควใหญ่บริเวณบ้านเจ้าแรต ต.ท่ากระดาน อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี มีปริมาณน้ำใช้การ 7,469 ล้าน ลบ.ม.และเขื่อนวชิราลงกรณสร้างปิดกั้นลำน้ำแควน้อยที่บ้านท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี มีปริมาณน้ำใช้การ 5,849 ล้าน

ลบ.ม. รวมปริมาณน้ำใช้การทั้งสิ้นประมาณ 13,318 ล้าน ลบ.ม.และทางด้านการทำเขื่อนศรีนครินทร์มีเขื่อนทด่น้ำท่าทุ่งนา ที่ทำหน้าที่พักน้ำสำหรับสูบกลับไปใช้ที่เขื่อนศรีนครินทร์อีกครั้ง รวมถึงทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำในลำน้ำแควใหญ่ทางด้านการทำน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณและท่าทุ่งนาจะถูกนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านการทำน้ำตามวัตถุประสงค์ของโครงการ โดยมีเขื่อนแม่กลองซึ่งตั้งอยู่ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำที่ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ทำหน้าที่ทดน้ำไปใช้ในกิจกรรมดังกล่าว สำหรับลักษณะสำคัญของแต่ละอ่างเก็บน้ำและแผนผังระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 23 ตามลำดับ

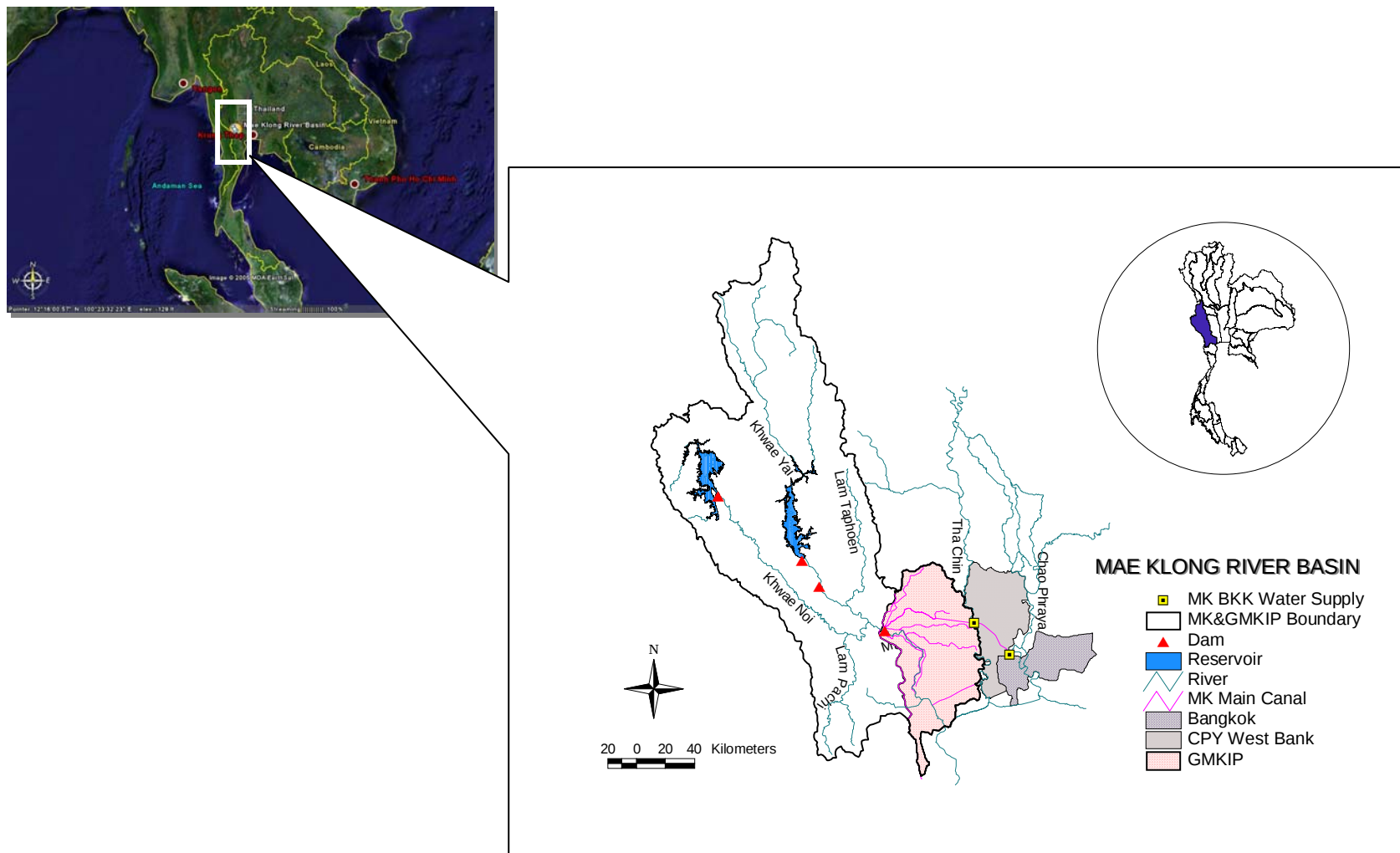
1.3 วัตถุประสงค์หลักของโครงการพัฒนากลุ่มน้ำแม่กลอง

โครงการพัฒนากลุ่มน้ำแม่กลองเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2506 เป็นต้นมา ภายใต้ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านการดำเนินการก่อสร้างเขื่อน ระบบส่งน้ำ และระบายน้ำ ตลอดจนการดำเนินงานจนกระทั่งถึงปัจจุบัน เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนาดำเนินงานภายใต้ความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในขณะที่ภารกิจการจัดสรรน้ำทางตอนล่างของกลุ่มน้ำตั้งแต่เขื่อนแม่กลองลงมาจะอยู่ภายใต้การความรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ 13 กรมชลประทาน จ.กาญจนบุรี เป็นหลัก

วัตถุประสงค์หลักของโครงการพัฒนากลุ่มน้ำแม่กลองก็เพื่ออำนวยความสะดวกในด้านชลประทานบริเวณสองฝั่งของแม่น้ำแม่กลอง ตลอดจนจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค การบรรเทาอุทกภัย และเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ โดยกิจกรรมการใช้น้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มหลักดังนี้คือ การใช้น้ำภายในกลุ่มน้ำเอง และการผันน้ำไปใช้นอกกลุ่มน้ำ (เอกสิทธิ์, 2546) ในสภาพปัจจุบันพบว่า การใช้น้ำภายในกลุ่มน้ำเองประกอบด้วย การส่งน้ำเพื่อการชลประทานในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่เป็นหลัก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่โครงการทั้งสิ้น 3,230,360 ไร่ การสูบน้ำไปใช้เพื่อช่วยเหลือพื้นที่เกษตรกรรมของโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ ภายใต้การดำเนินงานของฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า สำนักงานชลประทานที่ 13 รวมถึงการนำน้ำไปผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภคในเขต จ.กาญจนบุรี จ.ราชบุรี และ จ.สมุทรสงคราม ภายใต้การดำเนินงานของการประปาส่วนภูมิภาคและบริษัทเอกชน และเพื่อการหล่อเย็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนราชบุรีซึ่งกำลังอยู่ในช่วงเริ่มต้นการดำเนินงานของโครงการ ตลอดจนการรักษาระบบนิเวศน์และผลัดดันน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบริเวณ จ.สมุทรสงคราม ในขณะที่การผันน้ำไปใช้นอกกลุ่มน้ำประกอบด้วย การผันน้ำเพื่อช่วยเหลือพื้นที่

เพาะปลูกในเขตโครงการเจ้าพระยาตอนล่าง โดยการผันน้ำผ่านคลองจรเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา และการผันน้ำไปใช้เพื่อผลิตน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ในความรับผิดชอบของการประปานครหลวง ปัจจุบันการประปานครหลวงได้สร้างคลองประปาฝั่งตะวันตกระยะที่ 2 ต่อจากคลองประปาฝั่งตะวันตกระยะที่ 1 แล้วเสร็จในปี 2545 ซึ่งสามารถรับน้ำจากแม่น้ำแม่กลองไปใช้ได้โดยตรง

นอกเหนือไปจากกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนายังเป็นเขื่อนเอนกประสงค์ที่เอื้อประโยชน์ที่สำคัญในด้านการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำอีกด้วย โดยมีกำลังผลิตติดตั้งรวม 1,058 เมกกะวัตต์ รายละเอียดสำคัญของระบบไฟฟ้าพลังน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 9



ภาพที่ 22 ระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

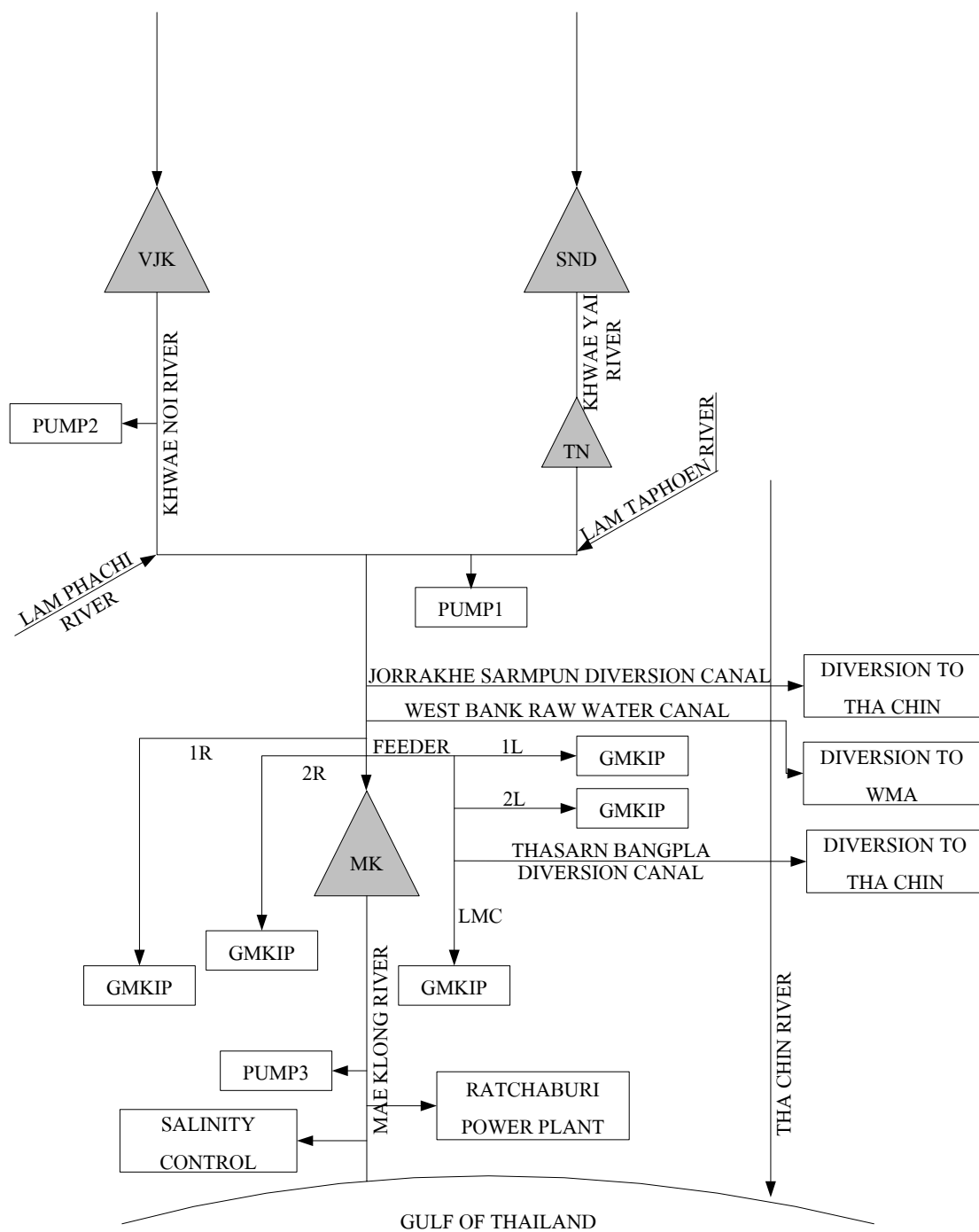
ตารางที่ 8 รายละเอียดสำคัญของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

รายละเอียดสำคัญ	อ่างเก็บน้ำ			
	เขื่อนศรีนครินทร์	เขื่อนวชิราลงกรณ์	เขื่อนท่าทุ่งนา	เขื่อนแม่กลอง
1. สถานที่ตั้ง	บ้านเจ้าเณร ต.ท่ากระดาน อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	บ้านท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี	บ้านท่าทุ่งนา ต.ช่องสะเดา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	ต.ม่วงชุม อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี
2. ปี พ.ศ. ที่สร้างแล้วเสร็จ	2523	2527	2525	2513
3. ประเภทเขื่อน	เขื่อนเก็บกักน้ำ	เขื่อนเก็บกักน้ำ	เขื่อนทดน้ำ	เขื่อนระบายน้ำ/ทดน้ำ
4. ลักษณะสำคัญของเขื่อน	เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว	เขื่อนหินถม ดาดผิวด้านหน้า ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก	เขื่อนผสมระหว่างเขื่อนหินถม แกนดินเหนียวและเขื่อนคอนกรีต	เขื่อนคอนกรีต
5. พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	10,800	3,720	-	26,441
6. ระดับเก็บกัก (ม.รทก.)				
-ระดับเก็บกักสูงสุด	+182.40	+160.50	+59.77	+23.66
-ระดับเก็บกักปกติ	+180.00	+155.00	+59.70	+22.50
-ระดับเก็บกักต่ำสุด	+159.00	+135.00	+55.50	-
7. ความจุเก็บกัก (ล้าน ลบ.ม.)				
-ความจุเก็บกักสูงสุด	18,790	11,000	-	-
-ความจุเก็บกักปกติ	17,745	8,860	55.03	50
-ความจุเก็บกักต่ำสุด	10,276	3,011	28.95	-
8. ปริมาณน้ำใช้การ (ล้าน ลบ.ม.)	7,470	5,848	28.80	-
9. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี (ล้าน ลบ.ม.)	4,535	5,357	-	10,184

ตารางที่ 9 รายละเอียดสำคัญของระบบไฟฟ้าพลังน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง

รายละเอียดสำคัญ	อ่างเก็บน้ำ		
	เขื่อนศรีนครินทร์	เขื่อนวชิราลงกรณ	เขื่อนท่าทุ่งนา
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Unit)	5	3	2
2. กำลังผลิตชนิดละ (MW)	120 (1-3) 180 (4-5)	100	19
3. กำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด (MW)	720	300	38
4. อัตราการระบายน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า (Rated Discharge, cms)	120.00 (1-3) 175.10 (4-5)	167	-
5. ความสูงของหัวน้ำ (Rated Head, m)	105.00 (1-3) 111.10 (4-5)	63	-
6. ระดับน้ำต่ำสุดที่ผลิตไฟฟ้าได้ (m.msl.)	159.00 (1-3) 164.50 (4-5)	135.00	55.50
7. ระดับน้ำต่ำสุดที่ผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ (m.msl.)	162.50 (1-3) 168.00 (4-5)	147.00	55.50
8. ระดับน้ำท้ายเขื่อน (m.msl.)	55.50	87.00	41.50
9. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีเฉลี่ย (GWh)	1,228	767	166
10. ความต้องการไฟฟ้าต่ำสุด			
-กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้ (MW)	100	40	10
-พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่ได้รายปี (GWh)	876	350	88

ที่มา : กองแผนงาน ฝ่ายพัฒนาและแผนงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2543)

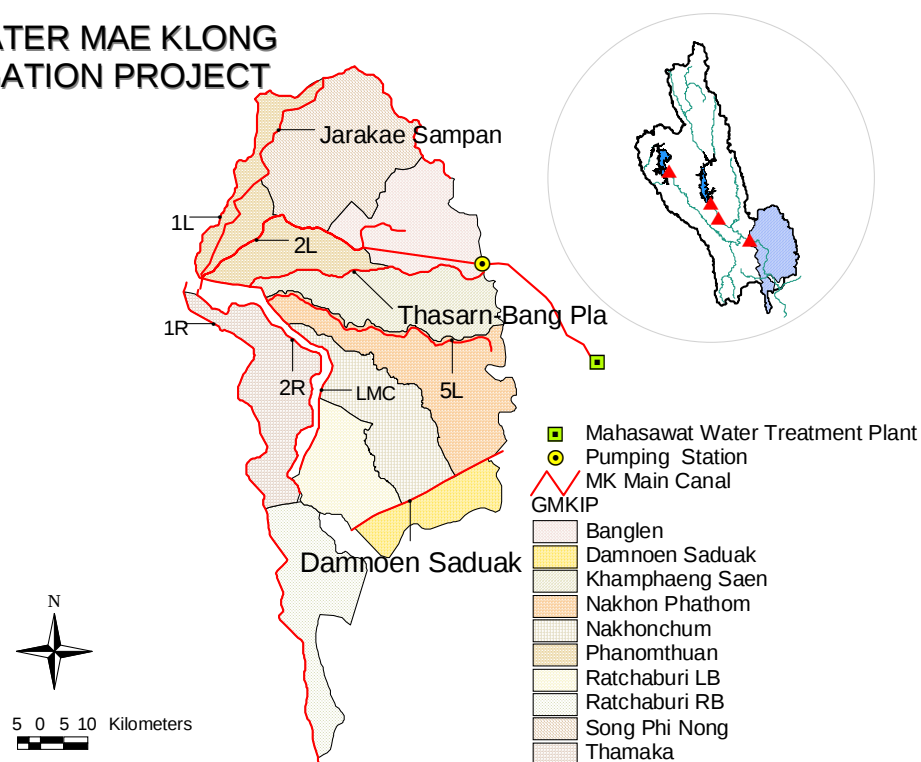


ภาพที่ 23 แผนผังระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

1.4 ลักษณะสำคัญของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่เป็นหนึ่งในแผนพัฒนาลุ่มน้ำแม่กลองประกอบไปด้วย 10 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา รวมพื้นที่โครงการ 3,230,360 ไร่ ประกอบด้วย โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน สองพี่น้อง บางเลน กำแพงแสน นครปฐม นครปฐม ราชบุรีฝั่งซ้าย ราชบุรีฝั่งขวา ท่ามะกา และดำเนินสะดวก (Vudhivanich *et al.*, 1998) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 10 โดยผันน้ำไปใช้ในเขตชลประทานของโครงการผ่านคลองสายใหญ่ฝั่งซ้ายได้แก่ คลอง 1L, 2L...,12L และคลองสายใหญ่ฝั่งขวาได้แก่ 1R และ 2R ตลอดจนคลองจรเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา ซึ่งเป็นคลองธรรมชาติเดิม ดังแสดงในภาพที่ 24

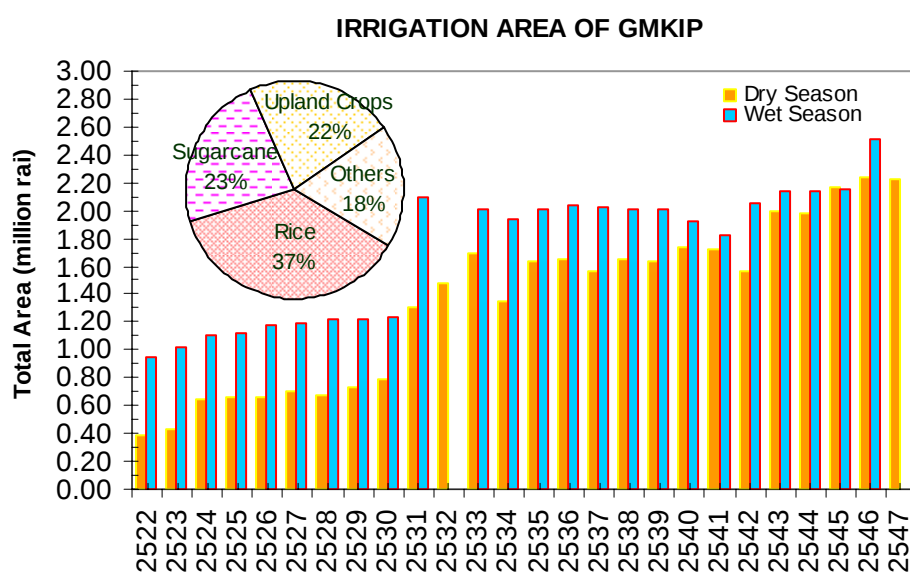
GREATER MAE KLONG IRRIGATION PROJECT



ภาพที่ 24 โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ตั้งแต่ปี 2522-2547 พบว่าพื้นที่เพาะปลูกมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ดังแสดงในภาพที่ 25 โดยในปี 2546/2547 มีพื้นที่เพาะปลูกจริงรวม 2,509,459 ไร่ในช่วงฤดูแล้งและ 2,220,997 ไร่ในช่วง

ฤดูฝน (กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547) หรือกล่าวได้ว่าประมาณ 80% ของพื้นที่โครงการทั้งหมดถูกใช้ไปเพื่อดำเนินกิจกรรมทางการเกษตร ซึ่งกิจกรรมการเพาะปลูกหลักในพื้นที่ได้แก่ การทำนาประมาณ 37% ปลูกอ้อยประมาณ 23% ไม้ยืนต้นประมาณ 22% และที่เหลือจะเป็นการปลูกพืชไร่พืชผัก บ่อปลา และอื่น ๆ



ภาพที่ 25 พื้นที่เพาะปลูกในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ตั้งแต่ปี 2522-2547

ตารางที่ 10 รายละเอียดของพื้นที่โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

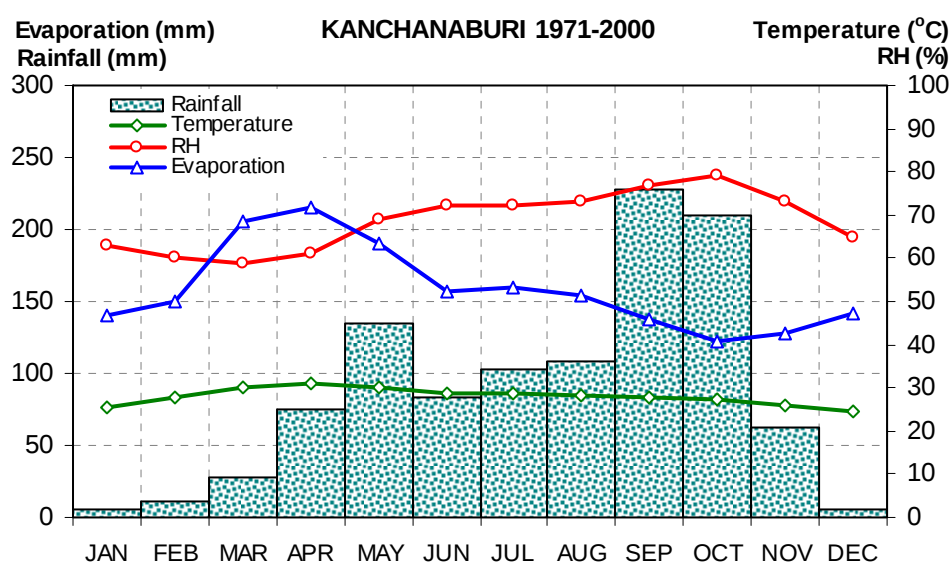
ลำดับที่	ชื่อโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษา	พื้นที่โครงการ ทั้งหมด (ไร่)	ความยาวคลองส่งน้ำ รวมทั้งหมด (กม.)	พื้นที่อยู่ในเขตปกครอง			จำนวนหน่วยส่งน้ำ	
				จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	งานส่งน้ำ (ตอน)	หน่วยส่งน้ำ (โซน)
1	พนมทวน	355,400	303.72	กาญจนบุรี	4	18	3	34
				สุพรรณบุรี	2	2		
				นครปฐม	1	5		
2	สองพี่น้อง	370,900	297.79	กาญจนบุรี	1	2	4	43
				สุพรรณบุรี	2	16		
3	บางเลน	372,300	172.41	สุพรรณบุรี	1	6	4	-
				นครปฐม	3	19		
4	กำแพงแสน	309,000	258.74	กาญจนบุรี	1	4	3	27
				นครปฐม	1	29		
				ราชบุรี	1	1		
5	นครปฐม	449,600	165.90	กาญจนบุรี	1	6	4	27
				นครปฐม	4	55		
				ราชบุรี	1	3		
				สมุทรสาคร	2	8		
6	นครปฐม	295,000	96.42	กาญจนบุรี	1	3	2	16
				นครปฐม	2	7		
				ราชบุรี	4	21		

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษา	พื้นที่โครงการ ทั้งหมด (ไร่)	ความยาวคลองส่งน้ำ รวมทั้งหมด (กม.)	พื้นที่อยู่ในเขตปกครอง			จำนวนหน่วยส่งน้ำ	
				จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	งานส่งน้ำ (ตอน)	หน่วยส่งน้ำ (โชน)
7	ราชบุรีฝั่งซ้าย	241,300	90.89	สมุทรสาคร	1	3		
				ราชบุรี	5	28	2	15
8	ท่ามะกา	342,000	348.98	สมุทรสงคราม	1	1		
				กาญจนบุรี	2	11	5	42
9	ราชบุรีฝั่งขวา	337,300	-	ราชบุรี	4	26		
				ราชบุรี	3	16	4	32
10	ดำเนินสะดวก	157,560	-	สมุทรสงคราม	2	12		
				เพชรบุรี	3	21		
				ราชบุรี	1	6	4	-
				สมุทรสาคร	2	14		
				สมุทรสงคราม	3	8		
รวมทั้งหมด		3,230,360			59	351	35	236

2. ลักษณะอุตุนิยมวิทยาของกลุ่มน้ำแม่กลอง

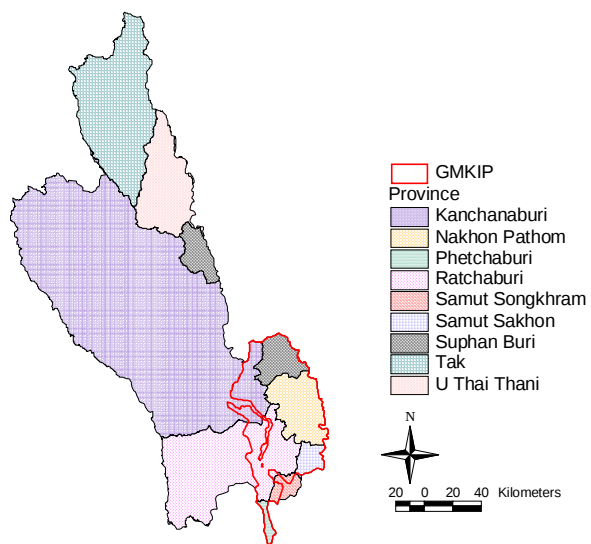
ลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไปในบริเวณลุ่มน้ำแม่กลองจากข้อมูลสถานีตรวจอากาศ จ. กาญจนบุรีในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ปี 2514-2543 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2546) สรุปได้ว่าปริมาณฝนรายปี เฉลี่ยเท่ากับ 1,055 มม. และปริมาณฝนสูงสุดจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน โดยมีความแปรปรวนของ ข้อมูลฝนทั้งในฤดูฝน (มิ.ย.-พ.ย.) และฤดูแล้ง (ธ.ค.-พ.ค.) ก่อนข้างสูง อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วพื้นที่อยู่ใน เกณฑ์สูงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 59-77% ปริมาณการระเหยก่อนข้างสูงตั้งแต่ช่วงกลางฤดูแล้งระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมโดยมี ค่าอยู่ระหว่าง 190-216 มม. และมีค่าต่ำสุดในเดือนตุลาคมคือ 123 มม. ดังแสดงในภาพที่ 26



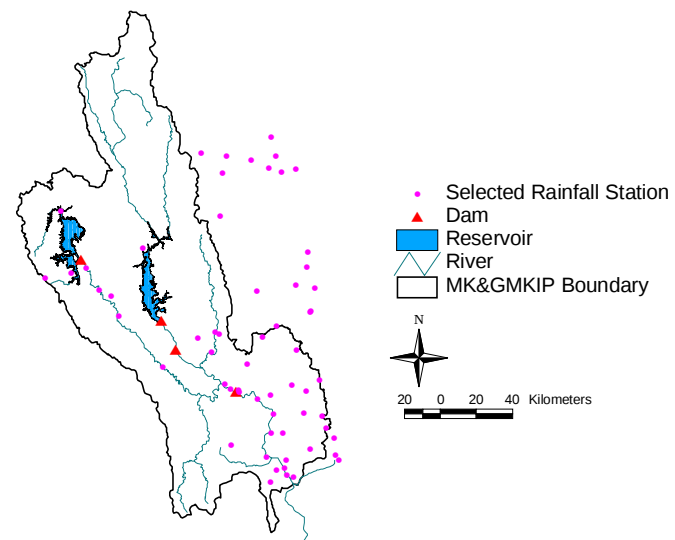
ภาพที่ 26 สภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีในคาบ 30 ปี (2514-2543)

นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลฝนรายเดือนจำนวน 57 สถานีในเขตลุ่มน้ำแม่กลอง และสถานีใกล้เคียงในภาพที่ 27 สรุปได้ว่า ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำมีประมาณ 1,114 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลฝนรายปีเฉลี่ยของสถานี จ.กาญจนบุรี โดยพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองตอนบนมีการแผ่กระจายของปริมาณฝนรายปีก่อนข้างสูงเฉลี่ยสูงกว่า 2,000 มม./ปี และจะลดน้อยลงทางบริเวณตอนล่างของลุ่มน้ำซึ่งเฉลี่ยประมาณ 1,000 มม./ปี ดังแสดงในภาพที่ 28

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย โดยอาศัยข้อมูลน้ำท่าที่คัดเลือกจาก สถานีวัดน้ำของกรมชลประทานจำนวน 6 สถานีตั้งแต่บริเวณท้ายเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณลงมาได้แก่ สถานี K.10, K.11A, K.12, K.17, K.35A และ K.37 ซึ่งส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นปริมาณการไหลในลำน้ำที่ถูกควบคุมโดยอ่างเก็บน้ำ (Regulated Flow) พบว่า มีความผันแปรของข้อมูลค่อนข้างสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานี K.10 และ K.37 ซึ่งวัดน้ำในลำน้ำแควน้อยนั้นมีความผันแปรของข้อมูลสูงสุด ทั้งนี้เกิดจากอิทธิพลของ Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณและเขื่อนแม่กลองเป็นสำคัญ สำหรับสถานี K.12 และ K.17 ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำบริเวณต้นลำน้ำลำตะเพินและลำภาชี มีรูปแบบปริมาณการไหลในลำน้ำในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือมีค่าค่อนข้างสูงเฉพาะในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน ในขณะที่เดือนอื่น ๆ มีค่าค่อนข้างน้อย ในทำนองเดียวกัน สถานี K.10 และ K.11A ซึ่งวัดน้ำบริเวณท้ายเขื่อนแม่กลองนั้นจะมีรูปแบบปริมาณการไหลในลำน้ำคล้ายคลึงกัน โดยมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคม รองลงมาคือเดือนกันยายน สำหรับสถานี K.35A และ K.37 ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำที่ลำน้ำสาขาย่อยไหลมาบรรจบกับลำน้ำสาขาหลักนั้น รูปแบบปริมาณการไหลในลำน้ำมีลักษณะไม่แน่นอน ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 29 อาจกล่าวได้ว่าความผันแปรของข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาในกลุ่มน้ำแม่กลองที่มีค่อนข้างสูงทั้งในส่วนของคุณสมบัติและปริมาณน้ำท้านับเป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อศักยภาพของน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง

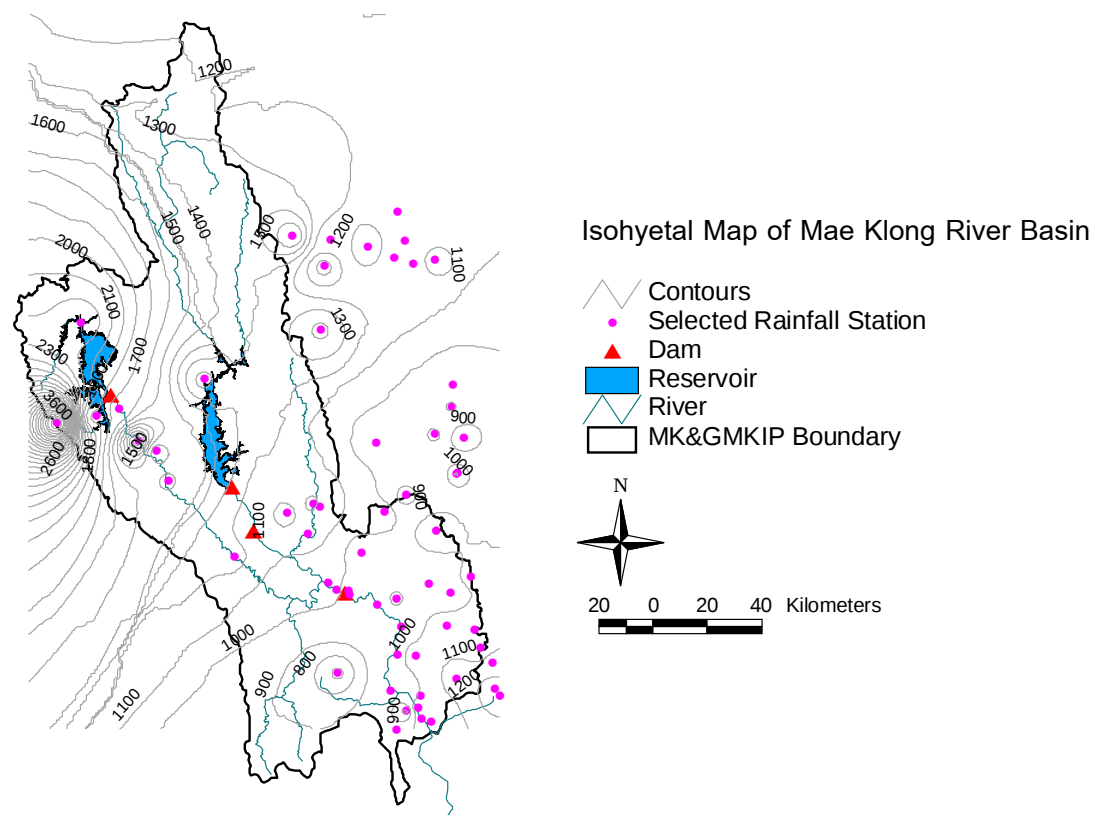


a) Mae Klong river basin and GMKIP classified by province

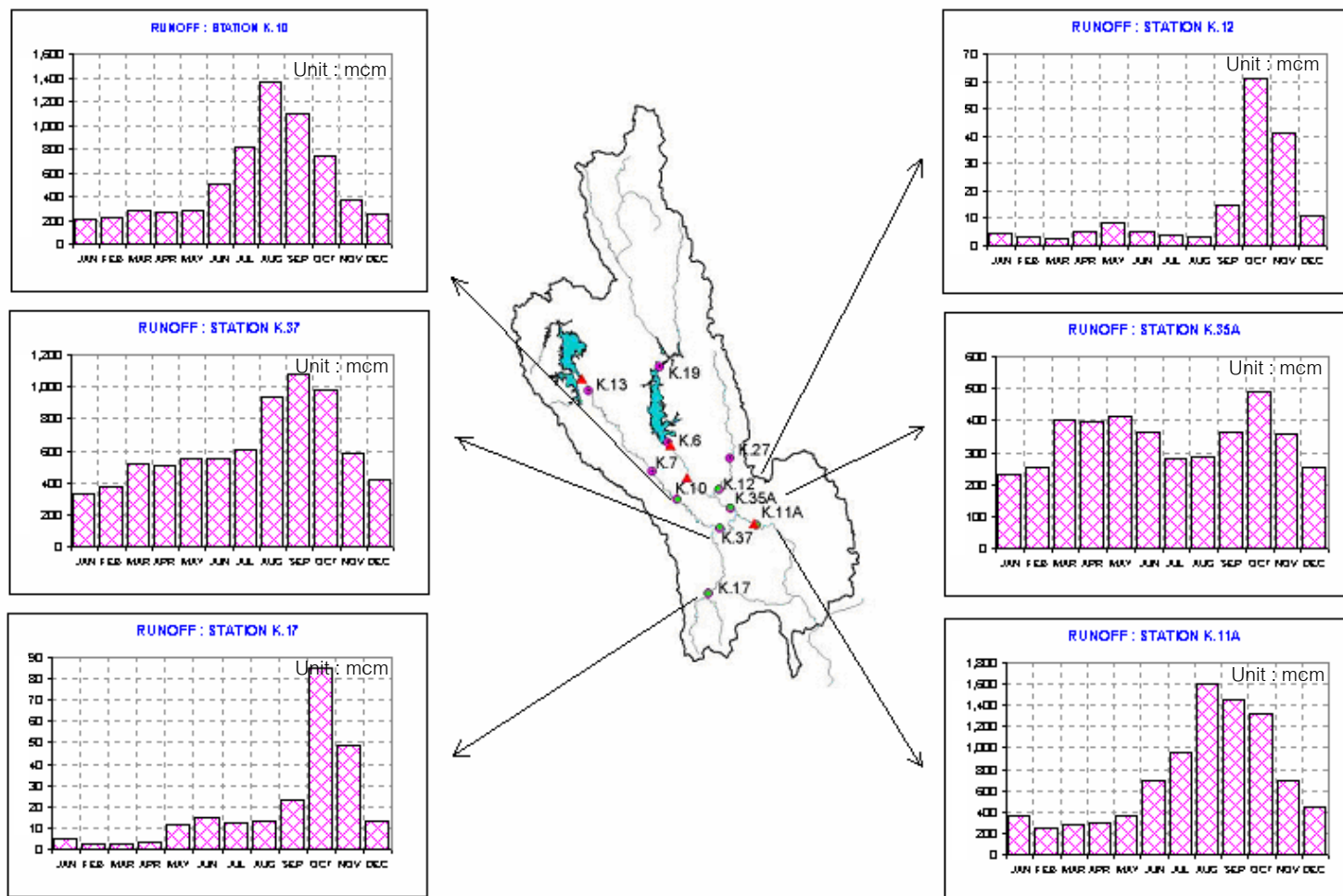


b) Rainfall stations used in this study

ภาพที่ 27 ขอบเขตจังหวัด และสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ศึกษา



ภาพที่ 28 แผนที่เส้นชั้นน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง



ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง

สถานภาพของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง ณ สถานะปัจจุบัน

1. ปริมาณน้ำต้นทุนของลุ่มน้ำแม่กลอง

แหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญของระบบลุ่มน้ำแม่กลองมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ และปริมาณ Side Flow ระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์-ท่าทุ่งนา และเขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนา-แม่กลอง โดยมีปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิเฉลี่ยทั้งสิ้น 12,638 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือคิดเป็น 6.32% ของปริมาณน้ำท่าทั้งหมดทั่วทั้งประเทศไทยที่มีอยู่ถึง 200,000 ล้าน ลบ.ม./ปี (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546) โดยแยกเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย 9,892 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือคิดเป็น 78% และที่เหลืออีก 22% เป็นปริมาณ Side Flow เฉลี่ย 2,746 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณน้ำต้นทุนในระบบลุ่มน้ำแม่กลอง

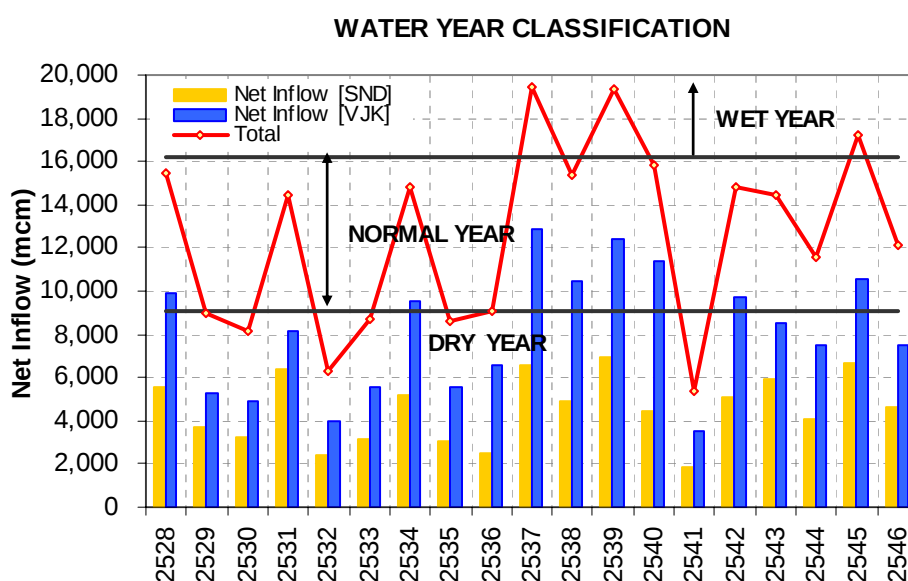
แหล่งน้ำต้นทุน	ปริมาณน้ำต้นทุนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม./ปี)
1. ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย	9,892
-เขื่อนศรีนครินทร์	4,535
-เขื่อนวชิราลงกรณ	5,357
2. ปริมาณ Side Flow เฉลี่ย	2,746
-เขื่อนศรีนครินทร์-ท่าทุ่งนา	2
-เขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนา-แม่กลอง	2,744
รวม	12,638

ประมาณ 54% ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยของระบบ เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนวชิราลงกรณ ในขณะที่ 46% เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนศรีนครินทร์ ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกกระจายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยบริเวณเหนือเขื่อนศรีนครินทร์มีค่าต่ำกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างของเขื่อนศรีนครินทร์ถือได้ว่าเป็นแหล่งน้ำต้นทุนที่มีความน่าเชื่อถือได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่เขื่อนวชิราลงกรณในช่วงเวลาที่เกิดภาวะแห้งแล้งติดต่อกันยาวนาน (Sugiyama *et al.*, 1998) และเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการเก็บกักน้ำและการใช้ประโยชน์กับปริมาณน้ำต้นทุนของแต่ละอ่างพบว่า เขื่อนวชิราลงกรณซึ่งมีขนาดอ่างเก็บน้ำ

เพียงครั้งหนึ่งของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ แต่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีค่าสูงกว่า ทำให้บ่อยครั้งต้องประสบปัญหาในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำมาก ดังนั้นการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจึงได้เสนอมาตรการที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์ให้มากขึ้น เพื่อเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ไว้ใช้ประโยชน์ในระยะยาว นอกจากนี้ยังพบว่าประมาณ 87% ของปริมาณน้ำต้นทุนรายปีเฉลี่ยจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน และเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าของอ่างเก็บน้ำเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณค่อนข้างน้อยคิดเป็น 13% ของปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดรายปีเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ Vudhivanich *et al.* (1998) ได้เสนอมาตรการในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองในช่วงที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีน้อย ด้วยการควบคุมปริมาณน้ำที่ปล่อยรายวันจากเขื่อนท่าทุ่งนาให้คงที่ รวมทั้งได้เสนอให้มีการเพิ่มระดับน้ำเก็บกักของเขื่อนแม่กลองจากระดับ 22.50 ม.รทก. เป็น 22.70 ม.รทก. เพื่อให้สามารถกระจายน้ำไปใช้ในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ได้อย่างทั่วถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีความต้องการน้ำจากระบบสูง

การศึกษานี้ยังได้มีการจำแนกประเภทปีน้ำ (Water Year) ของระบบกลุ่มน้ำแม่กลอง ด้วยการพิชิตฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีตั้งแต่ปี 2528-2546 จากนั้นคำนวณค่าปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีที่ค่าโอกาสความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2 และ 0.8 ซึ่งกำหนดให้เป็นขอบเขตโอกาสความน่าจะเป็นล่างและบน ตามลำดับ เพื่อกำหนดเป็นปีน้ำมาก ปีน้ำปานกลาง และปีน้ำน้อยโดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังนี้คือ กำหนดให้เป็นปีน้ำน้อยเมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% ในขณะที่จะกำหนดให้เป็นปีน้ำมากเมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีมากกว่าหรือเท่ากับ 80% และกำหนดเป็นปีน้ำปานกลางเมื่อโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีอยู่ระหว่าง 20-80% จากผลการทดสอบการพิชิตด้วยวิธี Smirnov-Kolmogorov เพื่อคัดเลือกฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นที่เหมาะสมให้กับข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีพบว่า ทั้งฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Normal และ Gumbel มีความเหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิตายปีของระบบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้เลือกฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบ Normal มาใช้ในการจัดแบ่งประเภทปีน้ำ เนื่องจากผลการทดสอบการพิชิตความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบ Normal ให้ค่าการทดสอบความแตกต่างที่มากที่สุด ($\Delta_{\max}$) ระหว่างความถี่ของข้อมูลที่คำนวณจากสูตร Plotting Position ($F'(X)$) และค่าโอกาสความน่าจะเป็นที่คำนวณจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม ($F(X)$) น้อยกว่าฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบ Gumbel โดยที่ค่าโอกาส

ความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2 และ 0.8 ปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิจะอยู่ที่ 9,054 และ 16,221 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ดังนั้นหากข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิของระบบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 9,054 ล้าน ลบ.ม./ปี จะกำหนดให้เป็นปีน้ำน้อย ในทางกลับกันเมื่อข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 16,221 ล้าน ลบ.ม./ปี จะกำหนดให้เป็นปีน้ำมาก และเมื่อข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิมีค่าตั้งแต่ 9,054-16,221 ล้าน ลบ.ม./ปี จะกำหนดให้เป็นปีน้ำปานกลาง จากผลการจำแนกประเภทปีน้ำตามหลักเกณฑ์ข้างต้นพบว่า ข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิรายปีส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงปีน้ำปานกลาง ในขณะที่ปีน้ำน้อยจะปรากฏชัดเจนในช่วงปี 2532 และ 2541 ซึ่งปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิของระบบลดลงถึง 6,332 และ 5,375 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ในขณะที่ในปี 2537 และ 2539 ซึ่งปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิของระบบสูงถึง 19,442 และ 19,334 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมตามมาในหลายจุดพื้นที่ของกลุ่มน้ำแม่กลอง ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การจัดแบ่งประเภทของปีน้ำ

2. การใช้น้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง

โครงการพัฒนากลุ่มน้ำแม่กลองได้ดำเนินการเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ทั้งภายในกลุ่มน้ำเองและนอกกลุ่มน้ำ จากสภาพการใช้น้ำในปัจจุบันพบว่ากิจกรรมการใช้น้ำหลักภายในกลุ่มน้ำได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคทางตอนล่างของกลุ่มน้ำในเขตพื้นที่ จ.กาญจนบุรี จ.

ราชบุรี และจ.สมุทรสงคราม การปล่อยน้ำเพื่อการผลักดันน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำแม่กลองและรักษาระบบนิเวศน์ทางด้านท้ายน้ำ ตลอดจนมีการใช้น้ำเพื่อการชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทานประเภทสูบน้ำขนาดเล็กบางส่วน รวมปริมาณความต้องการน้ำภายในลุ่มน้ำเองในปี 2546 ทั้งสิ้น 7,450 ล้าน ลบ.ม./ปี นอกจากนี้ยังมีการผันน้ำไปช่วยเสริมการชลประทานในลุ่มน้ำท่าจีนซึ่งประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง และผันน้ำไปให้การประปา นครหลวงเพื่อผลิตน้ำดิบที่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์สำหรับส่งไปใช้ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลบางส่วน รวมทั้งสิ้นเฉลี่ย 750 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้นปริมาณความต้องการน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองจะมีทั้งสิ้น 8,200 ล้าน ลบ.ม./ปี ในปัจจุบันกรมชลประทานได้มีโครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนหลักรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทานของลุ่มน้ำแม่กลองให้สอดคล้องตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 ซึ่งโครงการที่สำคัญประกอบด้วย งานปรับปรุงโครงการชลประทานท่าล้อ 198,927 ไร่ และพื้นที่ชลประทานแม่กลองใหญ่รวมเพิ่มเป็น 320,000 ไร่ (ส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ 13 กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546) ตลอดจนโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานี (บ. ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2547) นอกจากนี้ยังมีการสูบน้ำจากแม่น้ำแม่กลองไปใช้ในขั้นตอนการหล่อเย็นที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนราชบุรีซึ่งกำลังอยู่ในช่วงเริ่มต้นการดำเนินงานของโครงการอีกด้วย ส่งผลให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองในอนาคตคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 11,651 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยพิจารณาแยกในรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 12 กิจกรรมการใช้น้ำในระบบลุ่มน้ำแม่กลอง

กิจกรรมการใช้น้ำ	ปริมาณความต้องการน้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	
	ปี 2546	คาดว่าในอนาคต
1. การชลประทานโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่	5,793	5,793
2. การอุปโภคบริโภค	20	20
3. การชลประทานโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ	60	60
4. การผันน้ำเพื่อการชลประทานฤดูแล้งในลุ่มน้ำท่าจีน	506	1,261
5. การผันน้ำเพื่อผลิตน้ำดิบที่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์	244	1,261
6. การรักษาระบบนิเวศน์ท้ายน้ำ	1,577	1,577
7. การหล่อเย็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าราชบุรี	-	75

ตารางที่ 12 (ต่อ)

กิจกรรมการใช้น้ำ	ปริมาณความต้องการน้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	
	ปี 2546	คาดว่าในอนาคต
8. การชลประทานโครงการชลประทานท่าล้อ 198,927 ไร่ และพื้นที่ชลประทานแม่กลองใหญ่รวมเพิ่มเป็น 320,000 ไร่	-	882
9. โครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานี	-	722
รวม	8,200	11,651

2.1 การใช้น้ำเพื่อการชลประทาน

การใช้น้ำเพื่อการชลประทานจะพิจารณาจากการผันน้ำใช้น้ำในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่เป็นหลัก ในปี 2546 พบว่าปริมาณน้ำที่ผันไปใช้เพื่อการชลประทานทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 5,793 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือ 184 ลบ.ม./วินาที หรือคิดเป็น 71% ของกิจกรรมการใช้น้ำทั้งหมด และคาดว่าปริมาณการใช้น้ำเพื่อการชลประทานในอนาคตจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 882 ล้าน ลบ.ม./ปี อันเนื่องมาจากแผนรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทานของกลุ่มน้ำแม่กลอง

2.2 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและผลักดันน้ำเค็ม

ปริมาณน้ำที่ระบายลงท้ายเขื่อนแม่กลองทั้งหมดจะนำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคและผลักดันน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำ รวมทั้งสูบน้ำไปใช้ในโครงการชลประทานขนาดเล็กในพื้นที่ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำบางส่วน จากข้อมูลการจัดสรรน้ำของเขื่อนแม่กลองตั้งแต่ปี 2528-2547 พบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 6,091 ล้าน ลบ.ม.หรือเฉลี่ยเท่ากับ 193 ลบ.ม./วินาที โดยแยกเป็นเพื่อการอุปโภคบริโภคเพียง 20 ล้าน ลบ.ม.หรือ 0.6 ลบ.ม./วินาที เพื่อการผลักดันน้ำเค็มและรักษาสภาพลำนํ้าอันเนื่องมาจากปัญหานํ้าเน่าเสียในพื้นที่ท้ายลำนํ้ารวม 1,577 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามหลักเกณฑ์ในการปล่อยน้ำท้ายเขื่อนแม่กลองในสภาพของการปฏิบัติงานจริง ซึ่งกำหนดให้ปริมาณความต้องการน้ำต่ำสุดเพื่อป้องกันการรुकล้าของน้ำเค็มบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำแม่กลองไว้ที่ 50 ลบ.ม./วินาที (Asian Institute of Technology, 1994) ในขณะที่การสูบน้ำไปใช้ใน

โครงการชลประทานขนาดเล็กค่อนข้างน้อยมากในทางปฏิบัติ และส่วนที่เหลือ 4,494 ล้าน ลบ.ม. เป็นปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้ง (Surplus Release)

2.3 การใช้ น้ำของโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำด้วยไฟฟ้า

นอกเหนือจากการผันน้ำไปใช้เพื่อการชลประทานในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่แล้ว ฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า สำนักชลประทานที่ 13 จ.กาญจนบุรี ได้สูบน้ำเพื่อการชลประทานจากลำน้ำแควใหญ่ แควน้อย แม่กลอง ลำตะเพิน และลำภาชี จำนวน 53 สถานี ครอบคลุมพื้นที่โครงการจำนวน 127,871 ไร่ ของ จ.กาญจนบุรีและราชบุรี โดยปริมาณน้ำที่สูบไปใช้ในปี 2546 เท่ากับ 60 ล้าน ลบ.ม.หรือคิดเป็น 1.9 ลบ.ม./วินาที ทั้งนี้เพื่อช่วยเหลือพื้นที่ชลประทานขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่อยู่ระหว่าง 500-4,200 ไร่ อย่างไรก็ตามผลจากการปฏิรูประบบราชการในปีงบประมาณ 2546 กรมชลประทานซึ่งเดิมดูแลรับผิดชอบโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าต่อจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (เดิม) นั้น ได้ถ่ายโอนต่อให้องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบ ซึ่งปัจจุบันอยู่ในระหว่างการดำเนินการอยู่

2.4 การใช้ น้ำในขั้นตอนการหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนราชบุรี

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนราชบุรีได้วางแผนสูบน้ำจากแม่น้ำแม่กลองเพื่อการหล่อเย็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งสิ้นประมาณ 75 ล้าน ลบ.ม./ปี (กองแผนงาน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2538) ซึ่งปัจจุบันกำลังอยู่ในช่วงเริ่มต้นการดำเนินงานของโครงการ อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการน้ำในส่วนนี้นับได้ว่าเป็นหนึ่งในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำลุ่มน้ำแม่กลองเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้เต็มศักยภาพในอนาคต

2.5 การผันน้ำไปใช้ข้ามลุ่มน้ำ

การผันน้ำไปใช้ข้ามลุ่มน้ำแยกพิจารณาได้ดังนี้

1) แม่น้ำแม่กลอง-แม่น้ำท่าจีน : เป็นการผันน้ำเพื่อช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกในโครงการเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนล่างได้แก่ โครงการเจ้าเจ็ด-บางยี่หน โครงการพระยาบรรลือ โครงการพระพิมล และโครงการภาษีเจริญ โดยผันน้ำผ่านคลองจรเข้สามพันและคลองท่าสาร-

บางปลา ปริมาณน้ำที่ผันเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2528-2547 เท่ากับ 506 ล้าน ลบ.ม.หรือคิดเป็น 16 ลบ.ม./วินาที โดยอัตราการผันน้ำในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคม-พฤษภาคมจะอยู่ที่ 18 ลบ.ม./วินาที ซึ่งสูงกว่าในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน ซึ่งมีอัตราการผันน้ำเท่ากับ 14 ลบ.ม./วินาที

2) แม่น้ำแม่กลอง-การประปานครหลวง : เป็นการผันน้ำไปใช้เพื่อผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์สำหรับแจกจ่ายไปใช้ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยความรับผิดชอบของการประปานครหลวง มีกำลังการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 800,000 ลบ.ม./วัน และคาดว่าจะสามารถขยายกำลังการผลิตเป็น 3,200,000 ลบ.ม./วัน ในปี 2558 (การประปานครหลวง, 2543, 2546) จากการดำเนินงานของการประปานครหลวงที่ผ่านมาตั้งแต่ปี 2545-2547 พบว่า ปริมาณน้ำที่ผันไปใช้มีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 244 ล้าน ลบ.ม. หรือ 7.7 ลบ.ม./วินาที หรือคิดเป็น 665,942 ลบ.ม./วัน

นอกจากนี้กรมชลประทานได้มีแผนที่จะเพิ่มปริมาณการผันน้ำไปใช้ข้ามลุ่มน้ำมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปี 2560 (เอกสิทธิ์, 2546) โดยได้เสนอโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานีประมาณ 722 ล้าน ลบ.ม./ปี ส่งผลให้ในอนาคตคาดว่าปริมาณการผันน้ำไปใช้ข้ามลุ่มน้ำสูงสุดทั้งสิ้น 3,244 ล้าน ลบ.ม./ปี ทั้งนี้กำหนดให้ปริมาณการผันน้ำไปใช้สูงสุดเพื่อการชลประทานในลุ่มน้ำท่าจีนและเพื่อการผลิตน้ำดิบของการประปานครหลวงรวมกันประมาณ 2,522 ล้าน ลบ.ม./ปี

2.6 การผลิตพลังงานไฟฟ้า

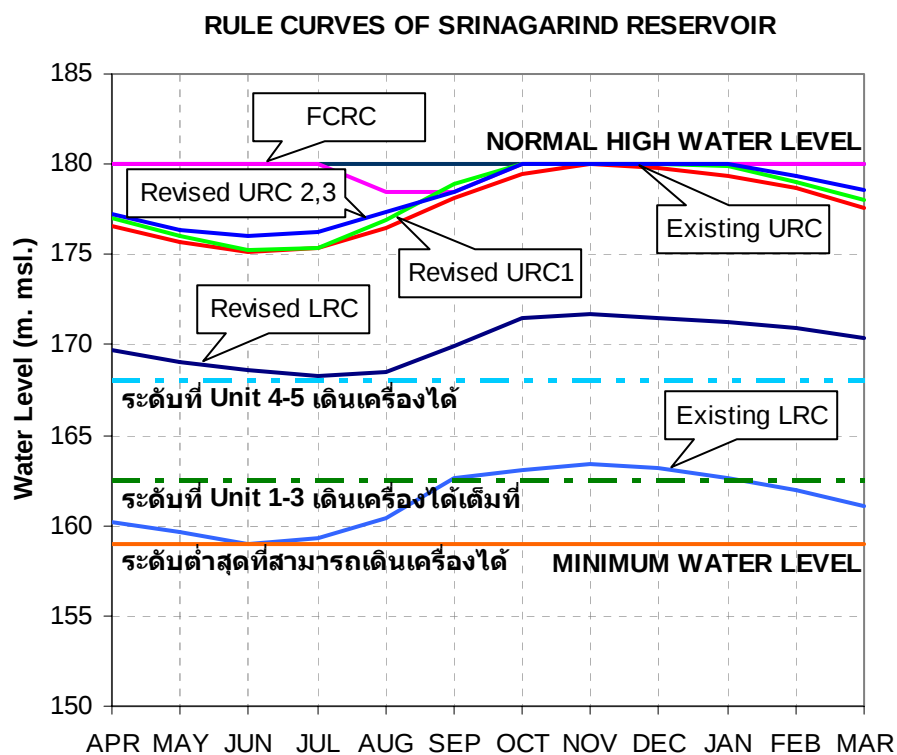
พลังงานไฟฟ้าถือเป็นผลผลิตที่ได้จากการปล่อยน้ำให้กับความต้องการน้ำด้านต่าง ๆ ในปี 2545/2546 พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากลุ่มน้ำแม่กลองเท่ากับ 3,017 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือประมาณ 40% ของพลังงานไฟฟ้าพลังน้ำจากลุ่มน้ำอื่น ๆ ทั้งหมด (กองประมวลผลและพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) และคิดเป็น 2.55% ของปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดจากทุกแหล่งผลิตทั่วทั้งประเทศที่มีอยู่ถึง 118,411 กิกะวัตต์ชั่วโมงในปี 2546 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2547)

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของลุ่มน้ำแม่กลองกับปริมาณความต้องการน้ำทั้งในสภาวะปัจจุบันปี 2546 และที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ในภาพรวมรายปีสรุปได้

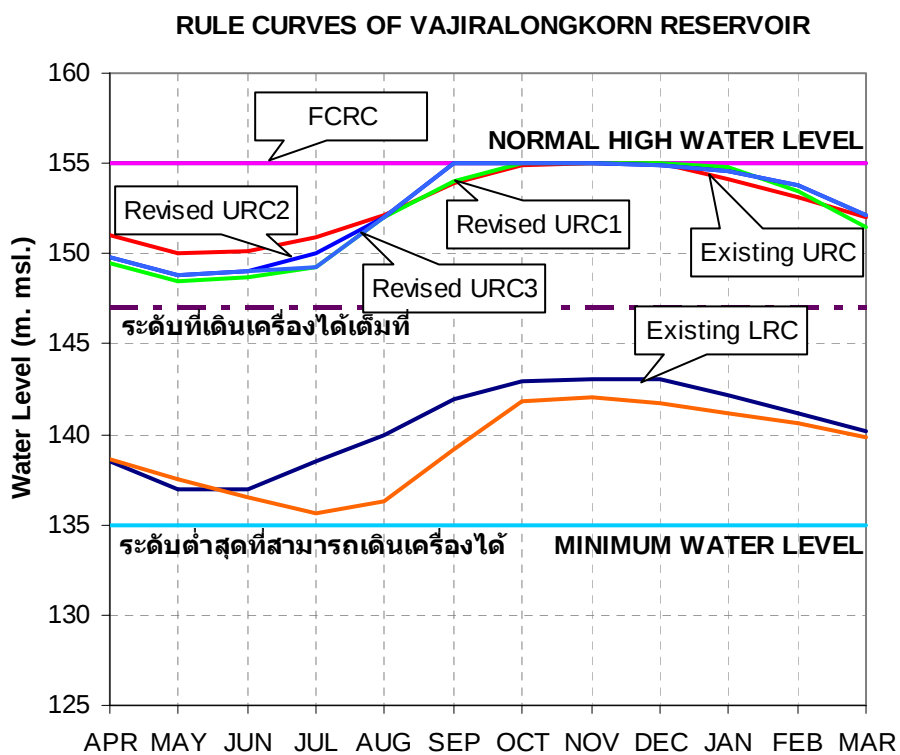
ว่าลุ่มน้ำแม่กลองซึ่งมีปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิเฉลี่ย 12,638 ล้าน ลบ.ม./ปี จะมีน้ำต้นทุนเพียงพอที่จะรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งมีค่าสูงถึง 8,200 ล้าน ลบ.ม. ในปี 2546 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในรายฤดูกาลพบว่า ระบบอาจประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำบ้างในช่วงฤดูแล้งที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความต้องการน้ำในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,547 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนในช่วงฤดูแล้งมีเพียง 13% ของปริมาณน้ำต้นทุนสุทธิทั้งหมดรายปีหรือคิดเป็นปริมาณ 1,643 ล้าน ลบ.ม.เท่านั้น ในขณะที่สถานการณ์ในอนาคตที่ปริมาณความต้องการน้ำสูงขึ้นเป็น 11,651 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือประมาณ 40% ของปริมาณความต้องการน้ำในปี 2546 ในภาพรวมรายปีถึงแม้ว่าจะมีปริมาณน้ำต้นทุนของระบบเพียงพอ อย่างไรก็ตามปัญหาการขาดแคลนน้ำในระยะยาวอาจส่งผลกระทบต่อระบบมากขึ้น ดังนั้นกลยุทธ์ในการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมจะช่วยให้การจัดการในระยะยาวเกิดประโยชน์เชิงรูปธรรมสูงสุด

ภาพรวมการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำของลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบัน

จากการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของลุ่มน้ำแม่กลองเป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้พัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ และทำการปรับปรุงเรื่อยมาเป็นลำดับเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพอุทกวิทยาและสถานะการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [กฟผ.], 2535) โดยขั้นตอนการพัฒนาระดับน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve) และระดับน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดนั้น ในขั้นแรกจะต้องสมมุติค่าของ URC และ LRC จากนั้นจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำโดยใช้โปรแกรม HEC-3 ทำการค้นแปรค่า URC และ LRC ไปเรื่อย ๆ และจำลองการปฏิบัติงานโดยอาศัยกระบวนการทำซ้ำหลาย ๆ รอบ จนกระทั่งได้ URC และ LRC ที่ให้ค่าผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์สูงสุด กล่าวคือ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ในขณะที่เดียวกันไม่เกิดปัญหาการไหลล้นอ่างและการขาดแคลนน้ำหรือเกิดขึ้นน้อยครั้งที่สุด (กฟผ., 2544ก) รายละเอียดของเกณฑ์การปฏิบัติงานแสดงในภาพที่ 31-32 และภาคผนวก ค ตารางผนวกที่ ค1-ค2

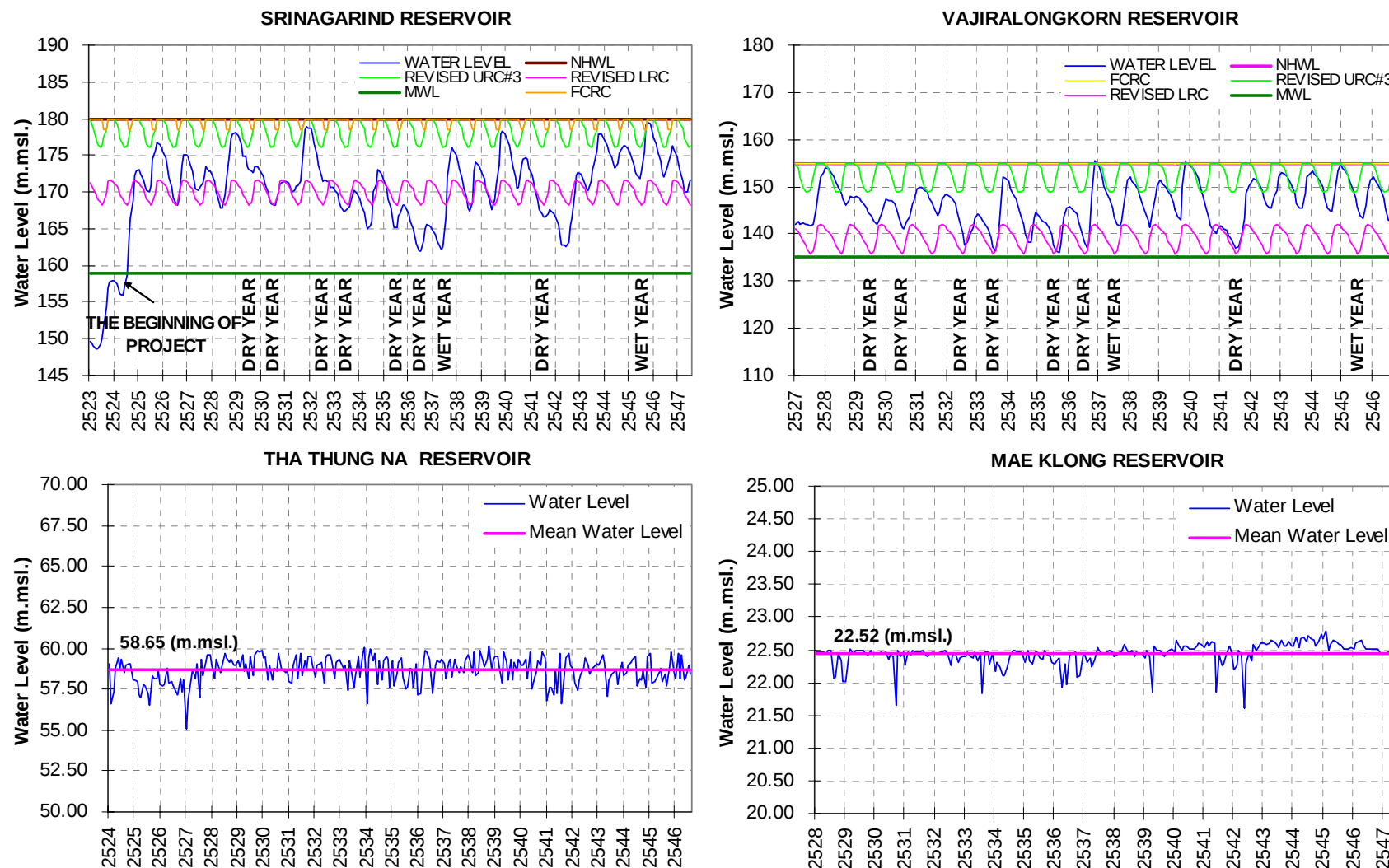


ภาพที่ 31 เงาม์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์



ภาพที่ 32 เงาม์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณ

จากผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนศรีนครินทร์และวชิราลงกรณ์ตั้งแต่ปี 2523-2547 พบว่าจะปฏิบัติงานภายใต้ Rule Curves ของแต่ละอ่างเก็บน้ำ โดยจะพยายามรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ใกล้เคียงระดับ Rule Curves ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (กฟผ., 2544ข, 2544ค) ในขณะที่การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนาและเขื่อนแม่กลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือจะพยายามรักษาระดับน้ำเก็บกักรายเดือนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 58.65 และ 22.52 ม.รทก. ในทางปฏิบัติการพยายามรักษาระดับน้ำให้อยู่ภายใต้เกณฑ์การปฏิบัติงานในช่วงปีน้ำน้อยนั้นเป็นงานที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีปัจจัยในเรื่องของความต้องการน้ำเป็นตัวควบคุม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในช่วงปีน้ำน้อย ระดับน้ำของอ่างจะต่ำกว่าระดับ LRC ทั้งนี้เพื่อปล่อยน้ำตอบสนองความต้องการของระบบบางส่วน ในขณะที่เดียวกันในช่วงปีน้ำมากระดับน้ำในอ่างจะสูงขึ้นจนกระทั่งเต็มอ่าง ในทางปฏิบัติหกระดับน้ำในอ่างสูงกว่า Flood Control Rule Curve (FCRC) ซึ่งเป็นระดับที่กำหนดขึ้นสำหรับควบคุมการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากนั้น จะต้องเร่งระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำล้น (Spillway) เพื่อเตรียมปริมาณเก็บกักของอ่างสำหรับรองรับปริมาณน้ำหลากที่อาจจะเกิดขึ้น



ภาพที่ 33 ระดับน้ำเก็บกักรายเดือนของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

ในเบื้องต้นของการศึกษาสภาพปัญหาการบริหารจัดการ ได้ทำการประเมินผลการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำทั้งในแง่ของสถานะการขาดน้ำ และสถานะการไหลล้นอ่างที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่ปี 2523-2547 ตามข้อกำหนดดังนี้คือ เมื่อปริมาณน้ำที่ระบายลงท้ายเขื่อนแม่กลองน้อยกว่า 50 ลบ.ม./วินาที จะกำหนดให้เป็นช่วงเวลาที่เกิดการขาดน้ำ ในขณะที่สถานะการไหลล้นอ่างจะพิจารณาจากช่วงเวลาที่ทำการปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนท่าทุ่งนา

ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลาเมื่อพิจารณาจากสถานะที่เกิดการขาดน้ำเท่ากับ 82% โดยมีจำนวนความถี่ของการขาดน้ำทั้งสิ้น 1,279 ครั้งในช่วงระหว่างปี 2528-2547 ในขณะที่ความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานเวลาที่พิจารณาจากสถานะที่เกิดการไหลล้นอ่างค่อนข้างสูง เนื่องจากความถี่ของการไหลล้นอ่างเกิดขึ้นน้อยครั้งในช่วงระหว่างปี 2523-2547 ที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีค่าเท่ากับ 99.8%, 99.3% และ 99.9% สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนท่าทุ่งนา ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสภาพความล้มเหลวจากการไหลล้นอ่างที่เขื่อนวชิราลงกรณ์มีค่าความถี่สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความถี่ของการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างจากการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Reservoir	Range of Daily Record	Failure Frequency		Time-Based Reliability (%)	
		Shortage	Spillage	Shortage	Spillage
SND	1980-2004	-	23	-	99.8
VJK	1984-2004	-	50	-	99.3
TN	1981-2004	-	11 (210)*	-	99.9
MK	1985-2004	1,279	-	82	-

หมายเหตุ : (*) ความถี่ที่ปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นทั้งหมด

สถานะการขาดน้ำรายวันปรากฏขึ้นบ่อยครั้งในปี 2534, 2536 และ 2542 ดังแสดงในภาพที่ 34 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์การจดจำแนกประเภทปีน้ำพบว่าส่วนใหญ่จะเป็นปีน้ำน้อยถึงน้ำปานกลาง นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของตัวแปรป้อนเข้าระบบ (Input Data Reliability) ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ และ

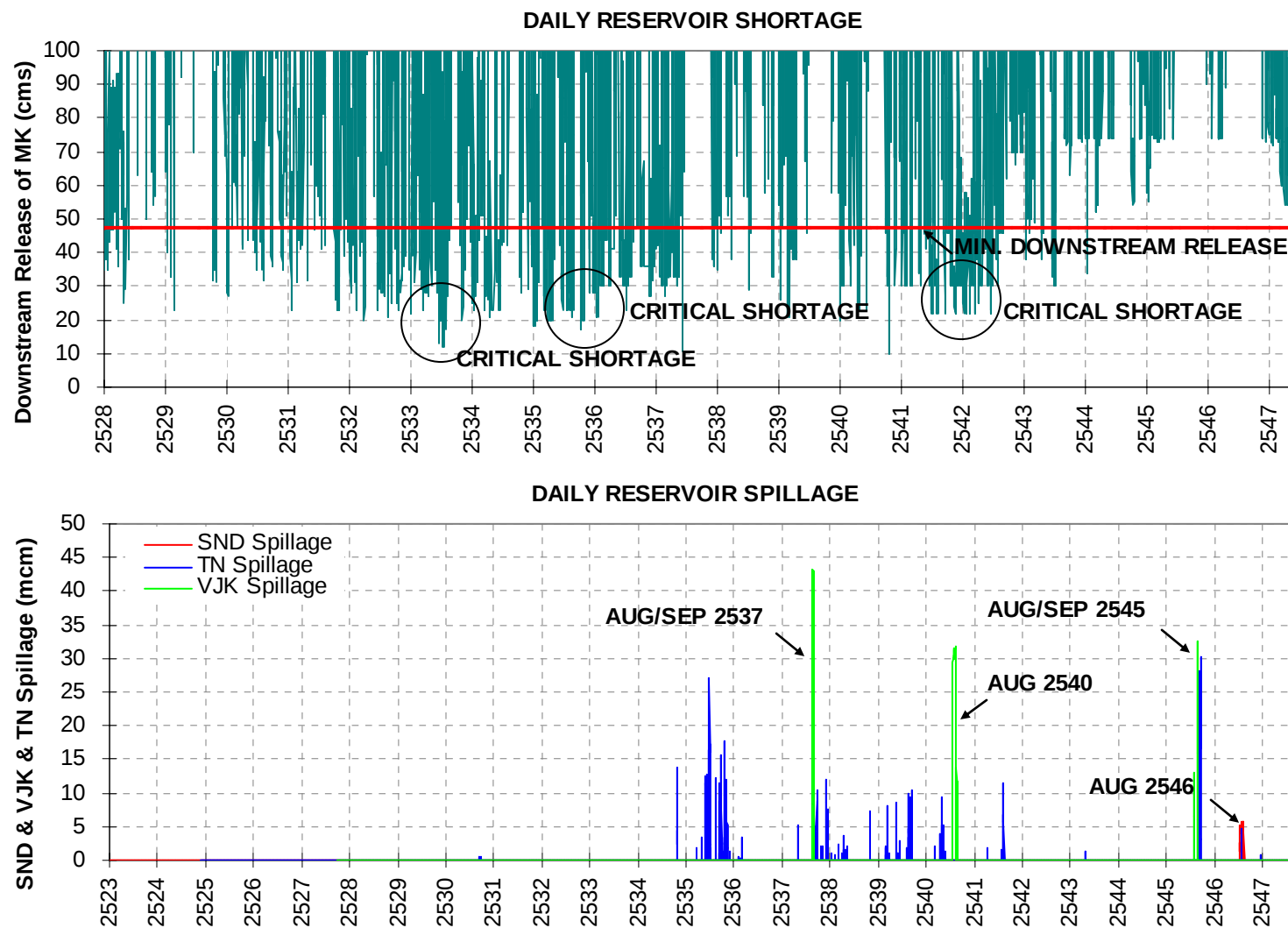
ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่ระยะเวลาเริ่มต้น โดยนำแนวคิดในการวิเคราะห์ดัชนีแสดงผลการจัดการระบบแหล่งน้ำที่ Hashimoto (1982) ได้เสนอไว้มาศึกษา (Tsheko, 2003) พบว่าความน่าเชื่อถือได้ของตัวแปรทุกตัวมีค่าค่อนข้างน้อยกล่าวคือ ข้อมูลฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ในช่วงที่เกิดสภาวะการขาดน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 32-47% ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธรมีค่าความน่าเชื่อถือได้ของตัวแปรอยู่ระหว่าง 5-60% และปริมาณน้ำเก็บกักที่ระยะเวลาเริ่มต้นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนา มีค่าความน่าเชื่อถือได้ของตัวแปรอยู่ระหว่าง 5-63% นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ยังพบว่า โอกาสที่จะเกิดสภาวะการขาดน้ำค่อนข้างสูงในปีที่ 2 ของปีที่สภาพทางอุทกวิทยามีลักษณะเป็นปีน้ำน้อยติดต่อกัน ซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับค่าความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่ระยะเวลาเริ่มต้นของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณในปีก่อนหน้านั้นมีค่าต่ำหรือมีระดับน้ำเก็บกักต่ำกว่า LRC ด้วย

ในขณะที่เมื่อพิจารณาสภาวะการไหลล้นอ่างรายวันของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ซึ่งเกิดขึ้นในปี 2546 และเขื่อนวชิราลงกรณที่เกิดขึ้นในปี 2537, 2540 และ 2545 พบว่าเป็นปีน้ำค่อนข้างมากถึงน้ำมาก ในทำนองเดียวกันเมื่อทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของตัวแปรป้อนเข้าหลักของระบบพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 33-54%, 80-95% และ 27-96% สำหรับข้อมูลฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิ และข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่ระยะเวลาเริ่มต้นตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าช่วงสภาวะการขาดน้ำค่อนข้างมาก ดังนั้นจากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมขาดน้ำและการไหลล้นอ่างที่เกิดขึ้น ส่วนหนึ่งมีอิทธิพลจากสถานภาพของระบบที่เอื้ออำนวย

จากผลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองรายวันยังแสดงให้เห็นว่าสภาวะการขาดน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงกลางฤดูแล้งของเดือนกุมภาพันธ์และ มีนาคม ซึ่งมีความผันแปรของปริมาณน้ำที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ค่อนข้างสูง นอกจากนี้การที่ปริมาณน้ำที่ปล่อยทางท้ายน้ำของเขื่อนแม่กลองต่ำกว่าเงื่อนไขข้อกำหนดเพื่อการผลักดันน้ำเค็มในช่วงระหว่างปี 2528-2544 ในขณะที่ตั้งแต่ปี 2545 เป็นต้นมาไม่ปรากฏปัญหาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าแนวทางการจัดสรรน้ำจริงรายวันที่เขื่อนแม่กลองตั้งแต่ปี 2528-2544 ไม่ได้คำนึงถึงลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์เพื่อการผลักดันน้ำเค็มมากนัก เนื่องจากมีความจำเป็นต้องปล่อยน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดได้ในบางช่วงเวลาเพื่อนำน้ำที่มีจำกัดไปใช้ในกิจกรรมการใช้น้ำอื่น ๆ ในขณะที่หลังจากมีการจัดตั้งคณะกรรมการบริหารจัดการลุ่มน้ำแม่กลองโดย

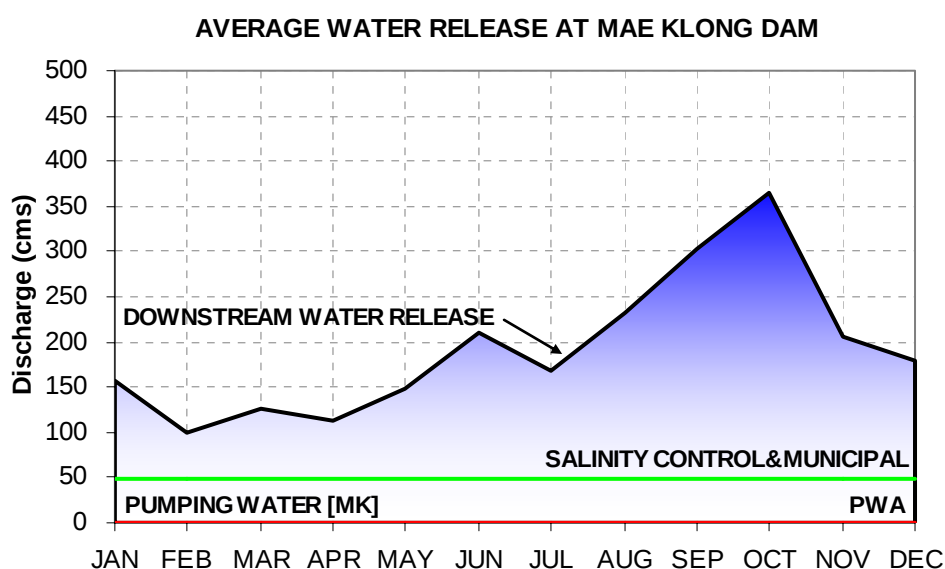
คณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติในปี 2545 เป็นต้นมา เพื่อกำหนดกรอบวิสัยทัศน์ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำ แนวทางในการพัฒนาลุ่มน้ำ ตลอดจนกำหนดแผนปฏิบัติการ ทำให้แนวทางการจัดสรรน้ำของเขื่อนแม่กลองคำนึงถึงลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำและสิทธิผู้ใช้น้ำ (Water Right) มากยิ่งขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์เพื่อการผลักดันน้ำเค็มจึงถูกกำหนดให้มีความสำคัญอยู่ในลำดับต้นรองจากการอุปโภคบริโภค

ในขณะที่สภาวะการไหลล้นอ่างที่เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ซึ่งเป็นช่วงกลางฤดูฝนที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างค่อนข้างสูง นอกจากนี้จากการตรวจสอบผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนท่าทุ่งนาซึ่งมีการปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นบ่อยครั้งพบว่า ส่วนหนึ่งเกิดจากการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางชนิดเพื่อการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นแทน และอีกประการหนึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนของปริมาณ Side Flow บริเวณใต้เขื่อนศรีนครินทร์ที่มีลักษณะเป็น Uncontrollable Flow จึงจำเป็นต้องปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นที่เขื่อนท่าทุ่งนาอยู่บ่อยครั้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่ Side Flow เข้ามาในระบบในปริมาณมาก



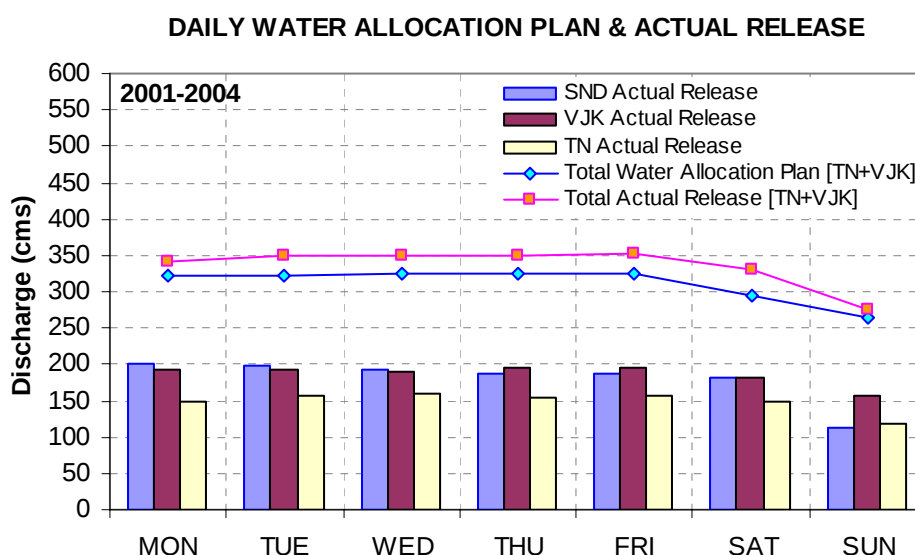
ภาพที่ 34 สถานะการขาดน้ำและการไหลล้นอ่างรายวันจากการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองระหว่างปี 2528-2547

จากพฤติกรรมความล้มเหลวของสภาวะการขาดน้ำรายวันที่เกิดขึ้นในปี 2534, 2536 และ 2542 ซึ่งเป็นผลจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่ปล่อยลงท้ายเขื่อนแม่กลองรายวันที่มีค่อนข้างสูงทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่ภาพรวมของปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้งเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่ปี 2528-2547 นั้นสูงกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดเพื่อการผลักดันน้ำเค็มตลอดทั้งปี โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหาคุณภาพน้ำทางด้านท้ายเขื่อนแม่กลองแต่อย่างใด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ และปริมาณ Side Flow ระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณถึงเขื่อนแม่กลองที่มีค่อนข้างสูง ดังแสดงในภาพที่ 35 ประกอบกับการปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างจากเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนา ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนของระดับน้ำเก็บกักที่เขื่อนแม่กลองอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยเหตุนี้ Satoh *et al.* (1999) จึงได้พัฒนาขอบเขตปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดรายฤดูกาล (Seasonal Upper Limit of Water Storage) ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณมาใช้ในการจำลองระบบเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการไหลล้นอ่างในช่วงฤดูน้ำหลาก รวมทั้งได้นำเสนอมาตรการในการลดการสูญเสียน้ำในระบบจากการระบายทิ้งท้ายเขื่อนแม่กลองที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ด้วยการลดการปล่อยน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณให้น้อยลงเพื่อประหยัดน้ำส่วนหนึ่งสำหรับเก็บกักไว้ในอ่าง (Savable Water) และเอื้อประโยชน์ในแง่ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าแนวคิดดังกล่าวสามารถตอบสนองความต้องการด้านต่าง ๆ ในระดับที่น่าพอใจโดยสามารถหลีกเลี่ยงสภาวะการขาดน้ำที่เกิดขึ้นได้ รวมถึงเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 5.2% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานจริง



ภาพที่ 35 ปริมาณน้ำที่ปล่อยท้ายเขื่อนแม่กลองรายเดือน

เพื่อพิจารณาหาสาเหตุของปัญหาการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในภาพรวม การศึกษา
นี้ได้้นำแผนการจัดสรรน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งปี 2546/2547 ของสำนักอุทก
วิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ร่วมกับแผนการระบายน้ำจาก
เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณและเขื่อนท่าทุ่งนาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ตั้งแต่ปี 2544-2547 มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการปล่อยน้ำจริงในช่วงเวลาเดียวกันจาก
อ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนาทั้งในลักษณะรายวัน รายสัปดาห์
และรายเดือน จากแผนการระบายน้ำรายวันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยพบว่า แผนการ
ระบายน้ำในช่วงวันจันทร์ถึงวันศุกร์ค่อนข้างคงที่ และจะปรับลดลงในช่วงวันหยุดเสาร์และอาทิตย์
โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ระบายแต่ละวันจากเขื่อนวชิราลงกรณมีอัตราสูงกว่าเขื่อนท่าทุ่งนา ดัง
แสดงในภาพที่ 36

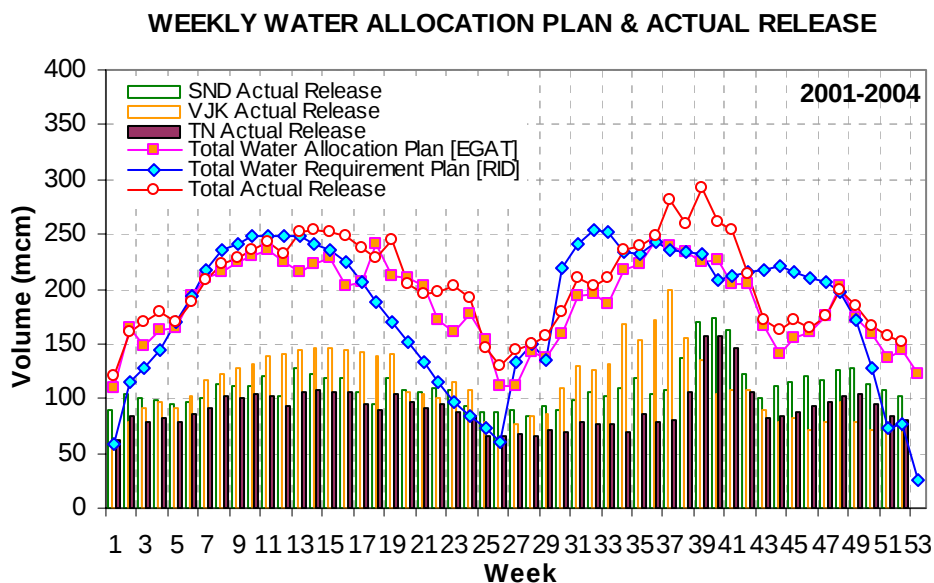


ภาพที่ 36 แผนการระบายน้ำและผลการปล่อยน้ำจริงรายวัน

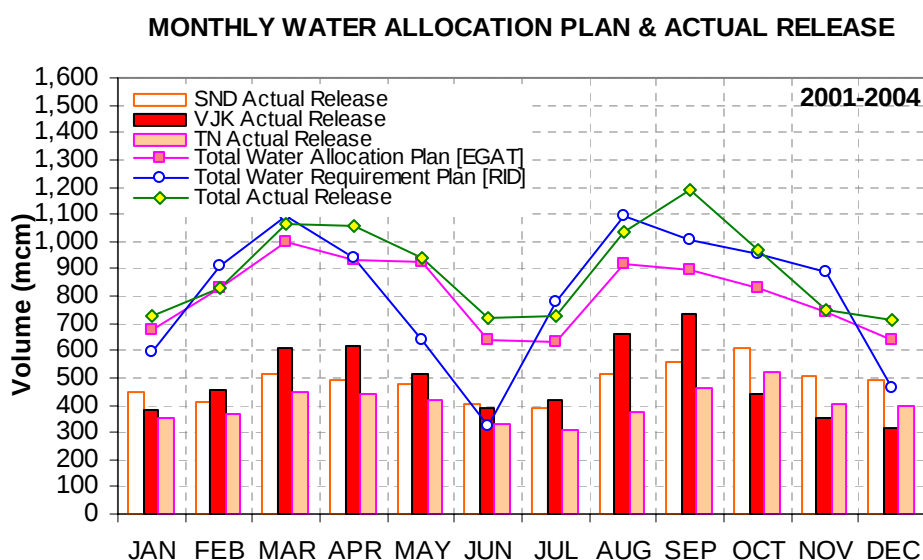
แผนการระบายน้ำรายวันนี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารายวัน
ของแต่ละอ่าง กล่าวคือในช่วงวันจันทร์ถึงวันศุกร์กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ของเขื่อนศรี
นครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณจะเกิดขึ้น 3 ช่วงเวลาคือประมาณ 11.00 น., 14.00 น. และ 19.00 น.
ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง และมีการหยุดเดินเครื่องบ้างในช่วงที่ปริมาณ
ความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ ในขณะที่ในช่วงวันหยุดกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด จะเกิดขึ้นช่วงเวลาเดียวคือ
เริ่มตั้งแต่เวลาประมาณ 18.00-21.00 น. สำหรับเขื่อนท่าทุ่งนาจะมีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่

เวลาประมาณ 5.00-24.00 น. ตลอดทั้งสัปดาห์ จากลักษณะของรูปแบบของแผนการระบายน้ำรายวันตามที่กล่าวมา ส่งผลให้ผลรวมของปริมาณน้ำที่จะจัดส่งระหว่างช่วงต้นและสิ้นสุดทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งตามแผนการระบายน้ำรายสัปดาห์และรายเดือนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนั้นมีความแตกต่างไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากคำนึงถึงผลประโยชน์ในแง่ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ในขณะที่แผนการจัดสรรน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองของกรมชลประทานจะพิจารณาจากปริมาณความต้องการน้ำที่แท้จริงของโครงการ ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละฤดูกาล กล่าวคือในช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดฤดูฝนและฤดูแล้งปริมาณความต้องการน้ำจะต่ำ และจะมีค่าสูงสุดในช่วงกลางฤดูดังแสดงในภาพที่ 37-38

จากผลการปฏิบัติงานจริงพบว่า รูปแบบการปล่อยน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนวชิราลงกรณจะสอดคล้องตามแผนการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และจากการเปรียบเทียบกับผลรวมของการปล่อยน้ำจริงรายวันจากเขื่อนวชิราลงกรณและเขื่อนท่าทุ่งนาพบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้ำจริงเฉลี่ยรายวันตั้งแต่ปี 2544-2547 สูงกว่าแผนการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และเป็นไปในทำนองเดียวกันเมื่อทำการวิเคราะห์บนพื้นฐานรายสัปดาห์และรายเดือน ตามลำดับ เนื่องจากการปฏิบัติงานที่แท้จริงจะยึดตามเกณฑ์การปฏิบัติงาน Rule Curve รวมทั้งยังมีคำร้องขอจากกรมชลประทานให้มีการส่งน้ำเพิ่มในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ระดับน้ำเก็บกักหน้าเขื่อนแม่กลองค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการปฏิบัติงานของแต่ละอ่างรายสัปดาห์และรายเดือนยังแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณจะมีปริมาณสูงกว่าเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนท่าทุ่งนา ยกเว้นในช่วงสิ้นสุดฤดูฝนและช่วงต้นฤดูแล้งตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมกราคม นอกจากนี้ผลจากการปล่อยน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนาตามแผนการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และปรับลดลงในช่วงวันหยุดเสาร์และอาทิตย์นั้น ทำให้ระดับน้ำหน้าเขื่อนแม่กลองลดลงต่ำกว่าระดับ 22.50 ม.รทก. เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปลายสัปดาห์การส่งน้ำ (วันพฤหัสบดีถึงวันพุธ) ตั้งแต่วันอาทิตย์ถึงวันอังคารของฤดูแล้งอาจมีน้ำไม่เพียงพอที่จะจัดสรรน้ำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ อย่างทั่วถึง (Vudhivanich *et al.*, 1998)



ภาพที่ 37 แผนการระบายน้ำและผลการปล่อยน้ำจริงรายสัปดาห์



ภาพที่ 38 แผนการระบายน้ำและผลการปล่อยน้ำจริงรายเดือน

สำหรับในขั้นตอนการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำนั้นได้มีการประสานความร่วมมือกันระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยในเบื้องต้นแผนการจัดสรรน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองซึ่งดำเนินการภายใต้ความรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ 13 กรมชลประทานจะถูกจัดส่งให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยทุกช่วงปลายปีในราวเดือนตุลาคม เพื่อนำมาใช้ประกอบการพิจารณากำหนดแผนการ

ระบายน้ำและแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตลอดทั้งปีอีกครั้งหนึ่ง จากภาพที่ 36-37 แผนการระบายน้ำในปริมาณที่เท่ากัน ลักษณะรูปแบบการระบายน้ำจะแตกต่างกันกล่าวคือแผนการระบายน้ำของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะพยายามควบคุมปริมาณน้ำที่ปล่อยสูงสุดในช่วงกลางฤดูแล้ง/กลางฤดูฝน และปริมาณน้ำในช่วงสิ้นสุดฤดูแล้ง/สิ้นสุดฤดูฝน ไม่ให้เกิดความแตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลป้อนเข้าของระบบได้แก่ ข้อมูลฝนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิพบว่า มีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ารูปแบบการระบายน้ำที่คำนึงถึงผลประโยชน์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับการตอบสนองความต้องการในด้านอื่น ๆ ซึ่งบางช่วงเวลา ลักษณะของรูปแบบการระบายน้ำอาจไม่สอดคล้องกับปริมาณความต้องการน้ำที่แท้จริงในช่วงเวลานั้น ๆ รวมถึงปัจจัยด้านความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิที่มีค่อนข้างสูง นับเป็นสาเหตุที่ทำให้การปล่อยน้ำจริงนั้นยากต่อการควบคุมและมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวทั้งการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง หรืออีกนัยหนึ่งก็ถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองนั่นเอง

การพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

1. แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลอง

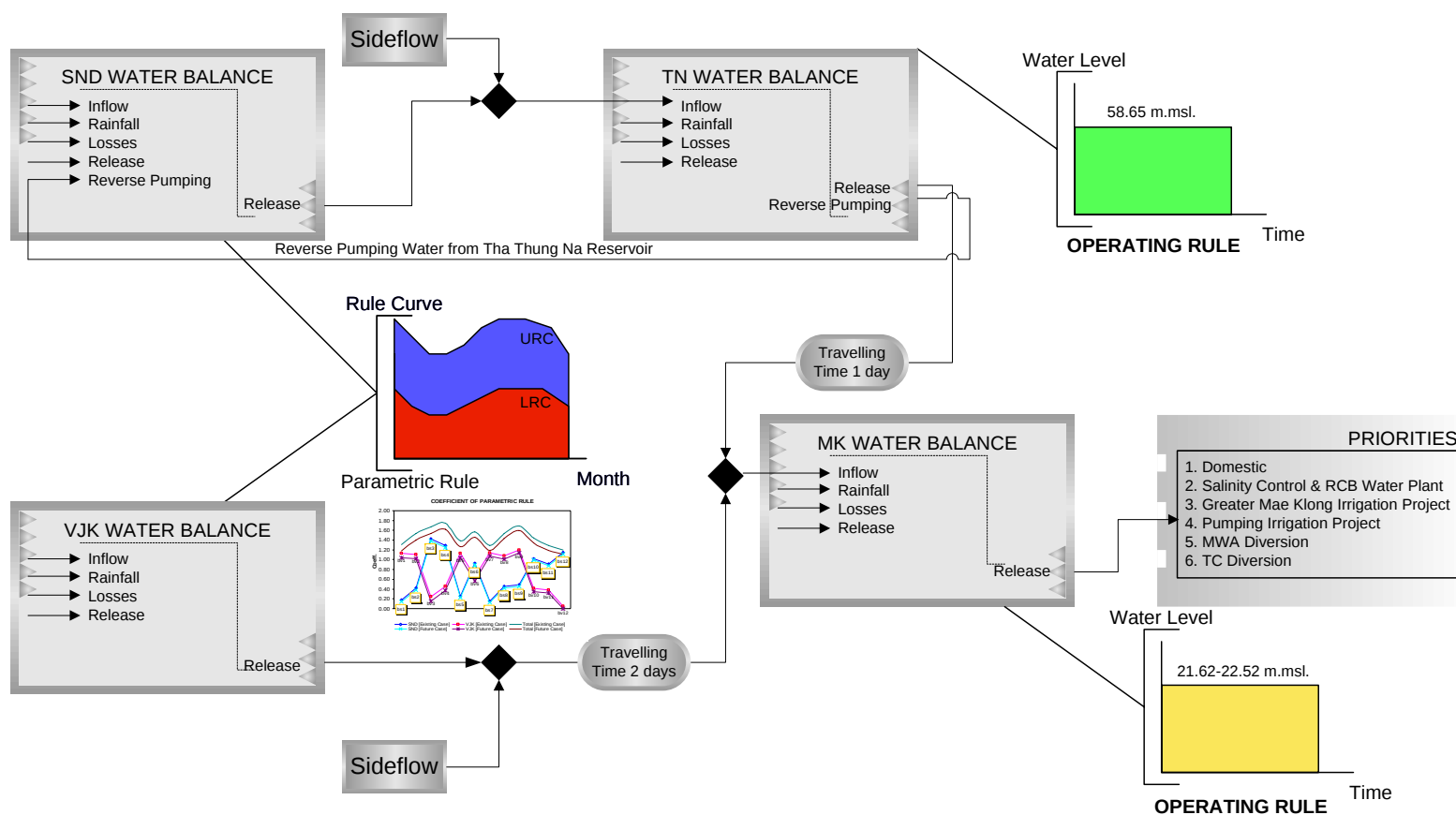
แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองได้พัฒนาขึ้นภายใต้สมมุติฐานที่จะเลียนแบบพฤติกรรมจริงของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในสภาพปัจจุบันให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ทั้งนี้ได้อาศัยหลักการวิเคราะห์สมดุลของน้ำ (Water Balance) ทั้งระบบโดยใช้ Rule Curve และ Parametric Rule เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานสำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนวชิราลงกรณ หลักสมดุลของน้ำในอ่างพื้นฐานคือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างลบด้วยปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างทั้งหมดจะเท่ากับปริมาณน้ำในอ่างที่เปลี่ยนไป หรือเขียนเป็นสมการสมดุลของน้ำในอ่างได้ดังนี้ (วรารุณ, 2541)

$$V_{t+1} = V_t + Q_t + P_t - R_t - E_t - Se_t \quad \text{-----}(39)$$

เมื่อ	t	=	ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์สมดุลของน้ำ (วัน เดือน ปี)
	V_{t+1}	=	ปริมาณน้ำในอ่างที่ช่วงเวลาเริ่มต้น t+1
	V_t	=	ปริมาณน้ำในอ่างที่ช่วงเวลาเริ่มต้น t
	Q_t	=	ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเวลา t
	P_t	=	ปริมาณน้ำที่ตกลงในอ่างเฉลี่ยในช่วงเวลา t
	R_t	=	ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างตามกฎการปฏิบัติงานอ่างในช่วงเวลา t
	E_t	=	ปริมาณการระเหยจากอ่างในช่วงเวลา t
	Se_t	=	ปริมาณการรั่วซึมจากอ่างในช่วงเวลา t

เนื่องจากลักษณะกายภาพของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง ทำให้แนวทางการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณเป็นลักษณะของการปฏิบัติงานเพื่อตอบสนองต่อกิจกรรมการใช้น้ำทางตอนล่างของกลุ่มน้ำแบบร่วมกัน โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์และ Side Flow ได้เขื่อนศรีนครินทร์จะกลายเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างของเขื่อนท่าทุ่งนา การตัดสินใจปล่อยน้ำที่เขื่อนท่าทุ่งนาจะอาศัยหลักการรักษาระดับน้ำหน้าเขื่อนในฝั่งที่อยู่

ที่ระดับ 58.65 ม.รทก. โดยพยายามให้ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Inflow) เท่ากับปริมาณน้ำที่ออกจากอ่าง (Outflow) มากที่สุด น้ำจะถูกปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และอีกส่วนหนึ่งสามารถสูบน้ำกลับไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกครั้งที่เขื่อนศรีนครินทร์ เช่นเดียวกันปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนวชิราลงกรณจะถูกปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองสูบน้ำกลับและแบบจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นมาเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนาและเขื่อนวชิราลงกรณซึ่งรวม Side Flow ระหว่างเขื่อนจะกลายเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างของเขื่อนแม่กลอง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านลำน้ำโดยวิธี Muskingum พบว่ามีระยะเวลาในการเดินทางของน้ำ (Travelling Time) อยู่ที่ 15 ชั่วโมง และ 50 ชั่วโมง อย่างไรก็ดีในการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นแบบจำลองรายวันจะทำการประมาณค่าระยะเวลาในการเดินทางของน้ำเป็น 1 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ น้ำจากเขื่อนแม่กลองจะถูกจัดสรรไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ตามลำดับความสำคัญ โดยพยายามควบคุมระดับน้ำหน้าเขื่อนให้อยู่ที่ประมาณ 21.62-22.52 ม.รทก. สำหรับรายละเอียดของแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง

2. เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง

2.1 โค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule Curve)

จากแนวทางการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจริงตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้นำ Rule Curves ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ทำการศึกษาและปรับปรุงไว้มาเป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานสำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ สำหรับหลักเกณฑ์การปล่อยน้ำจะเป็นไปตามแผนผังซึ่งปรากฏในภาพที่ 40 ซึ่งสามารถแบ่งโหมดการปล่อยน้ำได้เป็น 3 โหมด ดังนี้คือ (กฟผ., 2544ข, 2544ค)

1) โหมด 1 : ปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นในส่วนของระดับน้ำที่เกินระดับเก็บกักปกติ (Normal High Water Level, NHWL) และปล่อยน้ำผ่านโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับ URC โดยพยายามรักษาระดับน้ำเมื่อเวลาเริ่มต้นให้อยู่ในระดับ URC ให้มากที่สุดเพื่อประโยชน์ที่สำคัญ 2 ประการคือ ทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรสำรองสำหรับรองรับสภาพน้ำหลากเหนืออ่างเก็บน้ำ และลดการปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นโดยเปล่าประโยชน์

2) โหมด 2 : เมื่อระดับน้ำอยู่ระหว่าง LRC กับ URC จะปล่อยน้ำให้เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำด้านต่าง ๆ ผ่านโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยพิจารณาปล่อยน้ำร่วมกันระหว่างอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณด้วยสัดส่วนการใช้น้ำของแต่ละอ่าง (Release Ratio) ที่กำหนดขึ้นจากความพยายามที่จะรักษาสัดส่วนปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำทั้งสองให้อยู่ในระดับเดียวกัน หากอ่างเก็บน้ำใดมีสัดส่วนปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าซึ่งหมายถึงมีปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างสูงจะปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำนั้นด้วยสัดส่วนที่มากกว่า และเมื่อระดับน้ำอยู่ระหว่างระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด (Minimum Water Level, MWL) กับ LRC จะปล่อยน้ำให้กับความต้องการน้ำต่ำสุดเท่าที่จำเป็น (Minimum Water Demand) ตามลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำ

3) โหมด 3 : เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Water Level, MWL) ไม่มีการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

สำหรับหลักเกณฑ์การปล่อยน้ำที่เขื่อนท่าทุ่งนา มีดังนี้

1) เมื่อระดับน้ำเกิน 58.65 ม.รทก. จะปล่อยน้ำทางท้ายน้ำเต็มที่โดยรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ไม่เกิน 58.65 ม.รทก.

2) เมื่อระดับน้ำต่ำกว่า 58.65 ม.รทก. จะไม่ปล่อยน้ำจากเขื่อนท่าทุ่งนา

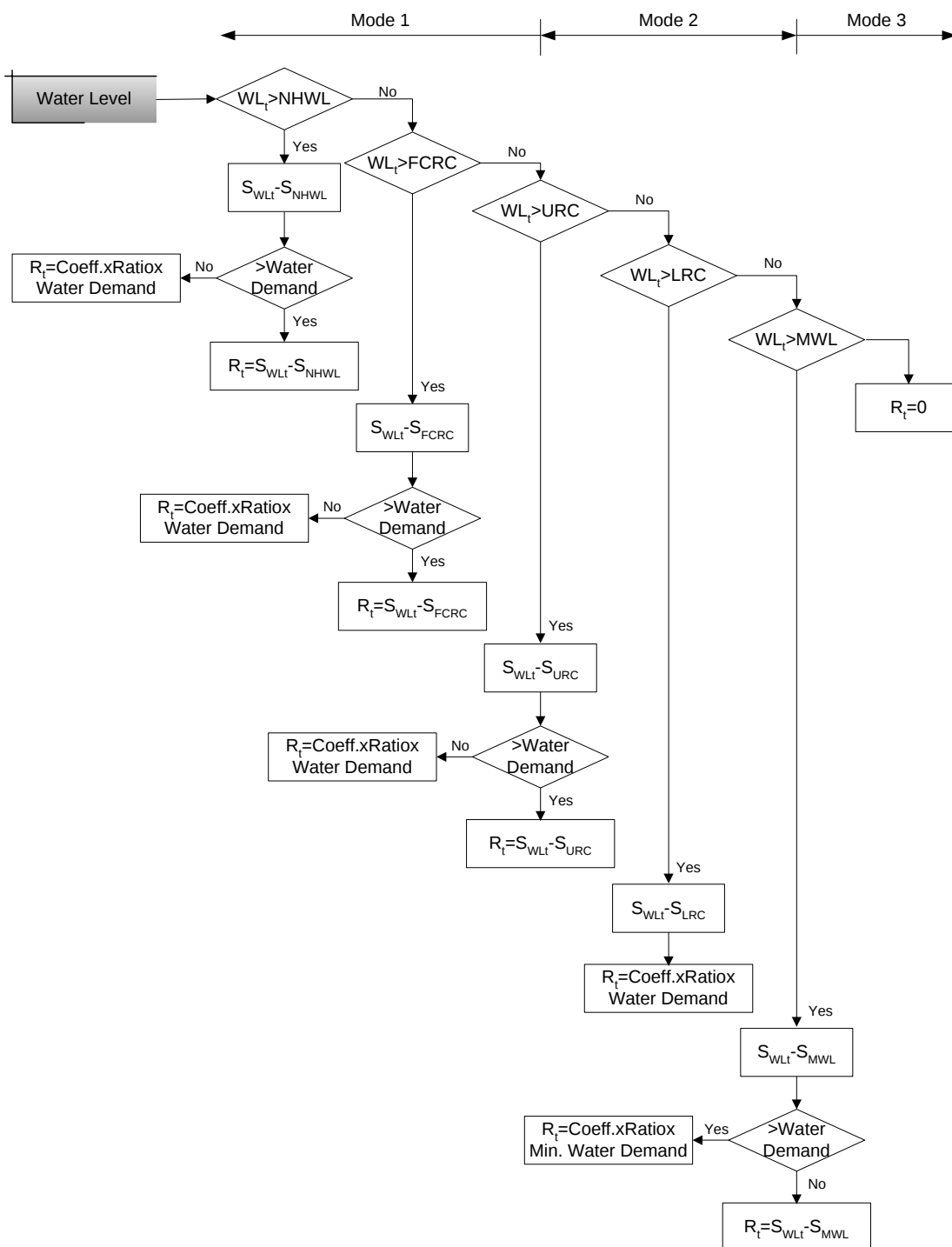
และหลักเกณฑ์การปล่อยน้ำที่เขื่อนแม่กลองสรุปได้ดังนี้

1) เมื่อระดับน้ำเกิน 22.52 ม.รทก. จะปล่อยน้ำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในโครงการอย่างเต็มที่โดยรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ไม่เกิน 22.52 ม.รทก.

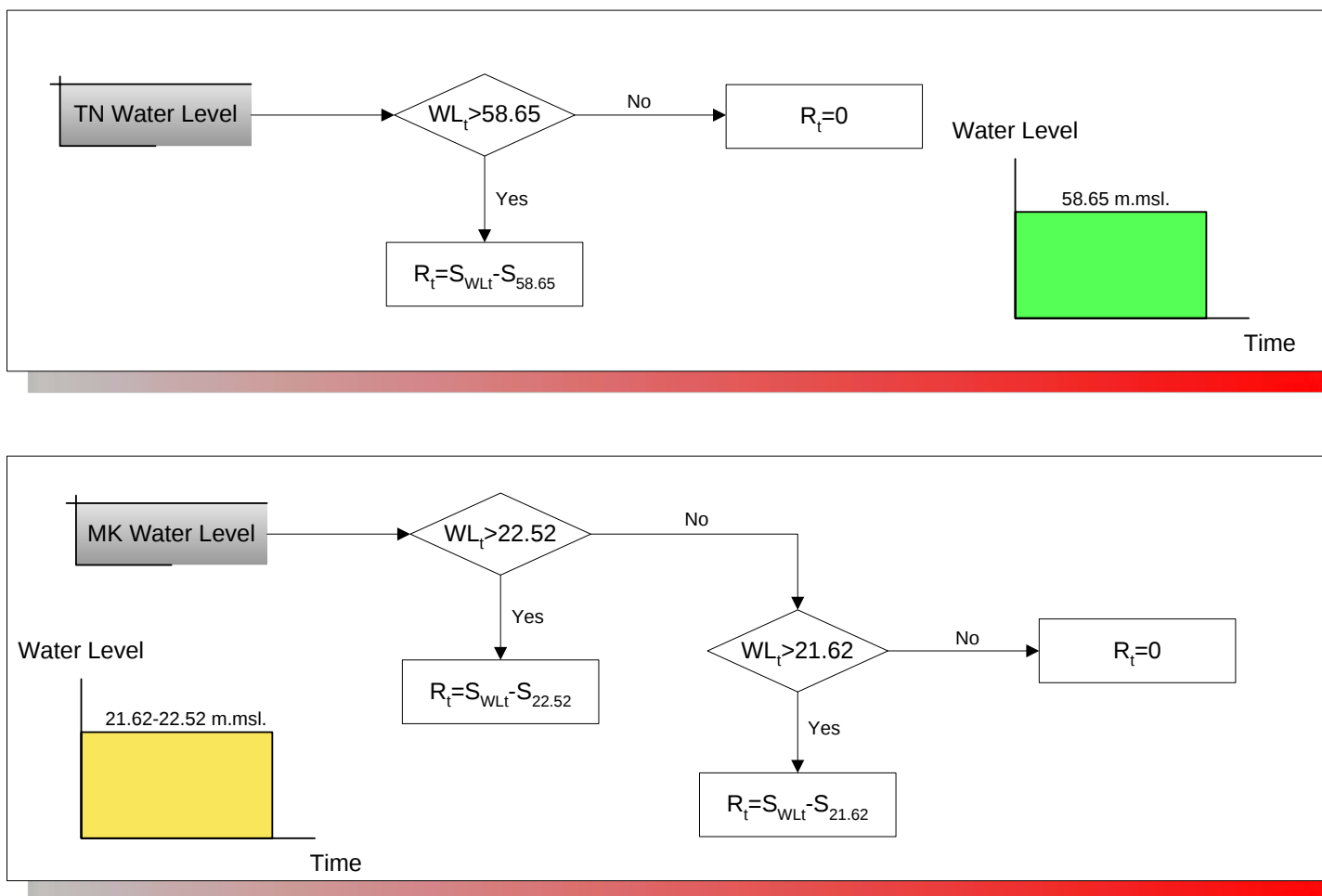
2) เมื่อระดับน้ำอยู่ระหว่าง 21.62-22.52 ม.รทก. จะปล่อยน้ำเท่าที่จำเป็นตามลำดับความสำคัญโดยรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 21.62 ม.รทก.

3) เมื่อระดับน้ำต่ำกว่า 21.62 ม.รทก. จะไม่ปล่อยน้ำจากเขื่อนแม่กลอง

จะสังเกตได้ว่าหลักเกณฑ์การปฏิบัติงานของเขื่อนท่าทุ่งนาและเขื่อนแม่กลองซึ่งเป็นเขื่อนทดน้ำจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือพยายามรักษาระดับน้ำหน้าเขื่อนให้คงที่ตลอดเวลา โดยควบคุมให้ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสุทธิ (Net Inflow) เท่ากับปริมาณน้ำที่ออกจากอ่าง (Outflow) มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 41 น้ำจากเขื่อนแม่กลองนี้จะถูกจัดสรรไปใช้ในกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆ ตามลำดับความสำคัญ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับถัดไป



ภาพที่ 40 หลักเกณฑ์การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ



ภาพที่ 41 เกณฑ์การปฏิบัติงานของเขื่อนท่าทุ่งนาและเขื่อนแม่กลอง

2.2 เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์ (Parametric Rule)

เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่มีการประเมินค่าพารามิเตอร์ของระบบ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวปรับแก้ในการวางแผนการปล่อยน้ำให้เกิดความเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำให้ได้มากที่สุด วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบค่าพารามิเตอร์นี้ก็เพื่อสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ตลอดจนมีความยืดหยุ่นต่อสภาวะความต้องการน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดรูปแบบของการประเมินค่าพารามิเตอร์เป็น 2 กรณีคือ

- 1) กำหนดให้การพิจารณาปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความต้องการน้ำในรูปของสมการ

$$R_t = b_i \cdot WR \quad \text{-----}(40)$$

เมื่อ	R_t	=	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำรายวัน
	b_i	=	พารามิเตอร์ของแบบจำลองซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนประกอบด้วย $bs_1, bs_2, \dots, bs_{12}$ สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และ $bv_1, bv_2, \dots, bv_{12}$ สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์จำนวนทั้งสิ้น 24 ค่า
	WR	=	ปริมาณความต้องการน้ำรายวัน

ในที่นี้จะกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเป็นค่ารายเดือน เพื่อสามารถนำมาอ้างอิงกับ Rule Curves ซึ่งเป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานรายเดือน ตลอดจนลดข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนพารามิเตอร์ที่มีมากเกินไปหากกำหนดให้พารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะรายวัน ซึ่งหมายถึงการที่ต้องใช้เวลาในการประเมินผลค่อนข้างนานนั่นเอง ขณะเดียวกันรูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำรายวันจะพิจารณาทั้งสถานการณ์น้ำปัจจุบันและคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

2) ทำการประเมินค่าพารามิเตอร์เพื่อหาปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่เวลาใด ๆ ของการดำเนินงานจริงปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์ในรูปของสมการ

$$S_j^* = a_j + b_j \cdot V \quad \text{-----}(41)$$

- เมื่อ V = ปริมาณน้ำเก็บกักทั้งหมดของระบบในช่วงเวลาสิ้นสุดที่พิจารณาซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์
- a_j, b_j = พารามิเตอร์ของแบบจำลองประกอบด้วย a_1, b_1 สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ และ $a_2, b_2 = 1 - b_1$ สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์
- S_j^* = ปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายของอ่างเก็บน้ำ j ที่ช่วงเวลาสิ้นสุดที่พิจารณา

ในกรณีนี้ปริมาณน้ำที่ปล่อยของแต่ละอ่างจะเป็นค่าจริงของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะทำให้ทราบปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายที่ช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งนอกเหนือจะนำมาใช้ในการวางแผนการใช้น้ำให้เกิดความเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้ปริมาณน้ำเก็บกักทั้งสองอ่างเกินขอบเขตข้อจำกัดต่ำสุดและสูงสุด (Lower and Upper Constraint Bound) ที่กำหนดแล้วค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวยังจะเป็นตัวบ่งบอกถึงสัดส่วนของการเก็บกักน้ำที่เหมาะสมระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์อีกด้วย และเช่นเดียวกันจะประเมินผลทั้งในสถานการณ์น้ำปัจจุบันและที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

สำหรับขั้นตอนการประเมินค่าพารามิเตอร์ของระบบนั้นจะอาศัย Simulink Response Optimization Toolbox ซึ่งมี Graphical User Interface ที่ใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของแบบจำลองระบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Simulation Model) ของโปรแกรม MATLAB โดยหลักการเบื้องต้นนั้นต้องออกแบบแบบจำลองให้มีลักษณะเป็นแบบไม่เชิงเส้น มีการระบุตัวแปรที่จะหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และนำ Signal Constraint Block ที่อยู่ใน Simulink Response Optimization Toolbox มาใช้เพื่อกำหนดข้อแม้แบบกราฟฟิกที่อ้างอิงกับเวลา (Graphical Time-Domain Constraint) ให้กับแบบจำลอง จากนั้น Simulink Response Optimization จะทำการแปลง Graphical Time-Domain Constraint ไปเป็นปัญหาในลักษณะที่มีข้อแม้ (Constrained Optimization

Problem) และทำการแก้ปัญหาโดยใช้ Gradient Descent algorithm โดย Simulink จะจำลองระบบเพื่อให้สัญญาณผลลัพธ์สุดท้าย (Final Response Signal) ใกล้เคียงกับสัญญาณผลลัพธ์เป้าหมาย (Reference Response Signal) มากที่สุด ด้วยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และค่าสูงสุดของข้อแม้ (Max Constraint) เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรไปจนกระทั่งพบค่าที่ดีที่สุด

ในการประเมินค่าพารามิเตอร์ทั้งในรูปแบบ $R_i = b_i \cdot WR$ และ $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$ นี้จะกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักตลอดช่วงเวลาที่พิจารณาตั้งแต่ปี 2544-2547 ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณเป็นสัญญาณผลลัพธ์เป้าหมาย และกำหนดให้ระดับน้ำเก็บกักปกติและระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดของทั้งสองอ่างเก็บน้ำเป็น Upper Constraint Bound และ Lower Constraint Bound ซึ่งหมายความว่าโปรแกรม MATLAB จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองจนกระทั่งปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และวชิราลงกรณอยู่ภายในขอบเขตของข้อจำกัด (Constraint Bound) ตามที่กำหนด และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำเก็บกักจริงมากที่สุด สำหรับผลที่ได้จากการประเมินค่าพารามิเตอร์ของระบบแสดงในตารางที่ 14 และ 15

ตารางที่ 14 เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบของ $R_i = b_i \cdot WR$

Month	Existing Case : $R_i = b_i \cdot WR$				
	SND (bs_i)	Coefficient	VJK (bv_i)	Coefficient	Total
Jan	bs_1	0.1775	bv_1	1.1320	1.3095
Feb	bs_2	0.4245	bv_2	1.1080	1.5325
Mar	bs_3	1.4256	bv_3	0.2448	1.6704
Apr	bs_4	1.2897	bv_4	0.4584	1.7481
May	bs_5	0.2528	bv_5	1.1310	1.3838
Jun	bs_6	0.9244	bv_6	0.6466	1.5710
Jul	bs_7	0.1503	bv_7	1.1369	1.2872
Aug	bs_8	0.4583	bv_8	1.0780	1.5363
Sep	bs_9	0.4899	bv_9	1.2020	1.6919
Oct	bs_{10}	1.0247	bv_{10}	0.4161	1.4408
Nov	bs_{11}	0.9079	bv_{11}	0.3821	1.2900
Dec	bs_{12}	1.1495	bv_{12}	0.0490	1.1985

ตารางที่ 14 (ต่อ)

Month	Future Case : $R_t = b_i \cdot WR$				
	SND (bs_i)	Coefficient	VJK (bv_i)	Coefficient	Total
Jan	bs_1	0.1430	bv_1	1.0403	1.1833
Feb	bs_2	0.3769	bv_2	1.0222	1.3991
Mar	bs_3	1.3857	bv_3	0.1538	1.5395
Apr	bs_4	1.2498	bv_4	0.3697	1.6195
May	bs_5	0.2252	bv_5	1.0374	1.2626
Jun	bs_6	0.8925	bv_6	0.5670	1.4595
Jul	bs_7	0.1232	bv_7	1.0688	1.1920
Aug	bs_8	0.4202	bv_8	1.0108	1.4310
Sep	bs_9	0.4560	bv_9	1.1359	1.5919
Oct	bs_{10}	0.9941	bv_{10}	0.3478	1.3419
Nov	bs_{11}	0.8771	bv_{11}	0.3168	1.1939
Dec	bs_{12}	1.1169	bv_{12}	0.0000	1.1169

ตารางที่ 15 ค่าพารามิเตอร์ของการปฏิบัติงานจริงปัจจุบันในรูปของ $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$

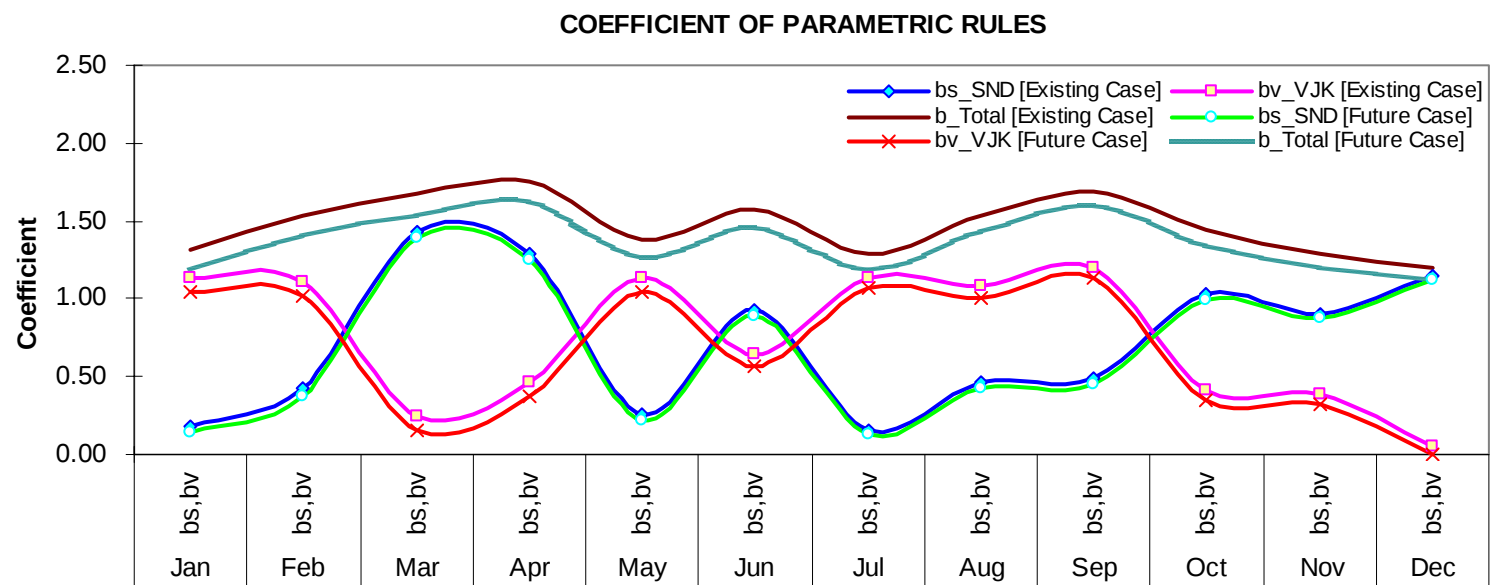
Case	SND		VJK	
	a_1	b_1	a_2	$1-b_1$
Existing Case : $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$	420.0701	0.50860	-275.2155	0.49140
Future Case : $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$	336.0865	0.50740	-358.6031	0.49260

จากการเปรียบเทียบเกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์ในรูปของ $R_t = b_i \cdot WR$ พบว่าสัดส่วนการปล่อยน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณจะเป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือเมื่อสัดส่วนการปล่อยน้ำรายเดือนของเขื่อนศรีนครินทร์สูง สัดส่วนการปล่อยน้ำรายเดือนของเขื่อนวชิราลงกรณจะต่ำ ในทางกลับกันเมื่อสัดส่วนการปล่อยน้ำรายเดือนของเขื่อนศรีนครินทร์ต่ำ สัดส่วนการปล่อยน้ำรายเดือนของเขื่อนวชิราลงกรณจะสูง และเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งในสถานการณ์ปัจจุบันและคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

โดยผลรวมทั้งหมดของสัดส่วนการปล่อยน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณสูงกว่าปริมาณความต้องการน้ำประมาณ 1.1-1.7 เท่า มีค่าสูงสุดในช่วงกลางฤดูแล้ง ระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายน ซึ่งปริมาณความต้องการน้ำของระบบค่อนข้างสูง และในขณะเดียวกันปริมาณน้ำที่ปล่อยเกินความต้องการส่วนหนึ่งจะเป็นประสิทธิภาพของการชลประทานในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ซึ่งมีค่าประมาณ 45% สำหรับช่วงฤดูแล้ง (สิงหา, 2544) ในขณะที่ช่วงเริ่มต้นถึงกลางฤดูฝนระหว่างเดือนสิงหาคม-กันยายน ซึ่งปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีมาก และมีความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงฤดูฝนที่ค่อนข้างสูง (Sato *et al.*, 2003) ส่งผลให้ต้องระบายน้ำส่วนหนึ่งซึ่งเกินปริมาณความต้องการน้ำจริง ทั้งนี้เพื่อรักษาปริมาตรว่างของอ่างเก็บน้ำไว้ดังแสดงในภาพที่ 42

นอกจากนี้เมื่อประเมินผลค่าพารามิเตอร์ของการปฏิบัติงานจริงปัจจุบันในรูปของ $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$ พบว่าระบบมีการกระจายปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ทั้งหมด (V) ไปยังอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ โดยสัดส่วนการเก็บกักน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์สูงกว่าเขื่อนวชิราลงกรณกล่าวคือ การปฏิบัติงานของเขื่อนศรีนครินทร์จะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างอย่างน้อยที่สุดไม่ต่ำกว่า 50.86% ของปริมาณน้ำเก็บกักทั้งหมดของระบบ รวมกับค่าคงที่ของปริมาณน้ำที่จะต้องเก็บกักของเขื่อนศรีนครินทร์อย่างน้อย 420 ล้าน ลบ.ม./วัน หรือเขียนเป็นให้อยู่ในรูปของสมการปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายคือ $S_{snd}^* = 420.0701 + 0.5086V$ ในขณะที่สัดส่วนการเก็บกักน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณจะอยู่ประมาณ 49.14% ของปริมาณน้ำเก็บกักทั้งหมดของระบบ ลบด้วยค่าคงที่ของปริมาณน้ำเก็บกัก 275 ล้าน ลบ.ม./วัน หรือเขียนเป็นสมการปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายคือ $S_{vj}^* = -275.2155 + 0.4914V$ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสัดส่วนการปล่อยน้ำจริงของเขื่อนศรีนครินทร์ต่ำกว่าเขื่อนวชิราลงกรณนั่นเอง นอกจากนี้ในสถานการณ์อนาคตยังพบว่า สัดส่วนการเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์จะลดลงโดยมีสมการปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายเป็น $S_{snd}^* = 336.0865 + 0.5074V$ ในขณะที่สัดส่วนเก็บกักน้ำในอ่างของเขื่อนวชิราลงกรณจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีสมการปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายเป็น $S_{vj}^* = -358.6031 + 0.4926V$

เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์ในรูปของ $R_t = b_t \cdot WR$ ที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานเพื่อจำลองผลการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองตั้งแต่ปี 2544-2547



ภาพที่ 42 เหน้การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบค่าพารามิเตอร์

3. การพัฒนาแบบจำลองย่อยของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

3.1 แบบจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าพลังน้ำนับเป็นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า โดยอาศัยแรงดันน้ำมาหมุนกังหันน้ำ โดยหลักการทำงานเบื้องต้นนั้นน้ำในอ่างเก็บน้ำต้องอยู่ในระดับที่สูงกว่าโรงไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีแรงดันน้ำมหาศาล จากนั้นทำการปล่อยน้ำในปริมาณที่ต้องการเข้ามาทางท่อส่งน้ำเพื่อส่งน้ำไปยังอาคารโรงไฟฟ้าที่อยู่ต่ำกว่า น้ำจะไหลเข้าเครื่องกังหันน้ำ (Turbine) เพื่อผลักดันใบพัดทำให้กังหันน้ำหมุน เพลาของเครื่องกังหันน้ำซึ่งต่อกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จะทำให้โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งมีขดลวดตัวนำฝังอยู่หมุน เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้วโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะผลิตไฟฟ้ามาใช้เสริมเฉพาะในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงหรือเรียกว่า Peak Load เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในด้านปริมาณและเวลาที่ใช้ประโยชน์เพื่อวัตถุประสงค์ด้านอื่น ๆ ประกอบกัน และสามารถเดินเครื่องจ่ายไฟฟ้าที่รวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการเดินเครื่องนาน (กองสารสนเทศ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2546) จากหลักการทำงานดังกล่าวจึงได้ทำการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ อันได้แก่ ระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ อัตราการระบายน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Water Discharge) อัตราการระบายน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้สูงสุด (Rated Discharge) โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแต่ละเขื่อน (Capability-Discharge- Efficiency Curves) และความสูงของหัวน้ำ (Head) จากนั้นคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการปล่อยน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยสมการดังนี้

$$P_E = n \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_T \quad \text{-----}(42)$$

เมื่อ	P_E	=	Power (kW)
	n	=	Efficiency (%)
	γ	=	Specific Weight of Water (9.81 kN/m ³)
	Q	=	Water Discharge (cms)
	H_T	=	Head (m)

$$E = P_E \cdot T \quad \text{-----}(43)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } E &= \text{Energy (kWh)} \\ T &= \text{Time (h)} \end{aligned}$$

จากข้อกำหนดในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์พบว่า ระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้จะอยู่ที่ 159.00 ม.รทก. และ 168.00 ม.รทก. สำหรับยูนิต 1-3 และ 4-5 ตามลำดับ ซึ่งในทางทฤษฎีถ้าระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ต่ำกว่าระดับน้ำที่กำหนด จะไม่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโดยเฉพาะในช่วงสภาวะวิกฤติพบว่ายูนิต 4-5 สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เมื่อระดับน้ำอยู่ต่ำถึง 163.73 ม.รทก. แต่ประสิทธิภาพจะต่ำมาก ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ระดับน้ำที่ระดับ 164.50 ม.รทก. เป็นระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องยูนิต 4-5 ได้ ส่วนยูนิตที่ 1-3 กำหนดไว้เช่นเดิมคือ 159.00 ม.รทก. (กฟผ., 2544ข) ด้วยเหตุที่ระดับต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ของเขื่อนศรีนครินทร์ยูนิต 1-3 และ 4-5 ไม่เท่ากัน ดังนั้นในแบบจำลองจึงกำหนดให้การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์จะต้องเดินเครื่องยูนิต 1-3 จนเต็มกำลังการผลิตเสียก่อน ปริมาณน้ำส่วนที่เหลือจะระบายผ่านยูนิต 4 และ 5 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ระดับน้ำเก็บกักของอ่างต้องไม่ต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตามข้อกำหนดที่กล่าวมา ในขณะที่ระดับน้ำต่ำสุดที่สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณและเขื่อนท่าทุ่งนาอยู่ที่ 135.00 ม.รทก. (กฟผ., 2544ค) และ 55.50 ม.รทก. ตามลำดับ สำหรับหลักเกณฑ์การปล่อยน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ในรายละเอียดแสดงในภาพที่ 43 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) หากระดับน้ำในอ่างต่ำกว่า 159.00 ม.รทก. จะไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้
- 2) หากระดับน้ำในอ่างสูงกว่า 159.00 ม.รทก. และอัตราการระบายน้ำน้อยกว่า 360 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นอัตราการระบายน้ำได้สูงสุดของยูนิต 1-3 รวมกันยูนิตละ 120 ลบ.ม./วินาที จะปล่อยน้ำผ่านยูนิต 1-3 ตามลำดับ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า
- 3) หากอัตราการระบายน้ำมากกว่า 360 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นอัตราการระบายน้ำได้สูงสุดรวมของยูนิต 1-3 และน้อยกว่า 720 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นอัตราการระบายน้ำได้สูงสุดรวมทั้ง 5 ยูนิต ปริมาณน้ำจะถูกปล่อยผ่านยูนิต 1-3 จนเต็มกำลังการผลิต โดยระดับน้ำในอ่างต้องสูงกว่า

159.00 ม.รทก. สำหรับส่วนที่เหลือจะถูกปล่อยผ่านยูนิต 4 และ 5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระดับน้ำในอ่างต้องสูงกว่า 164.50 ม.รทก. ด้วย เพื่อให้มีแรงดันน้ำสูงเพียงพอในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

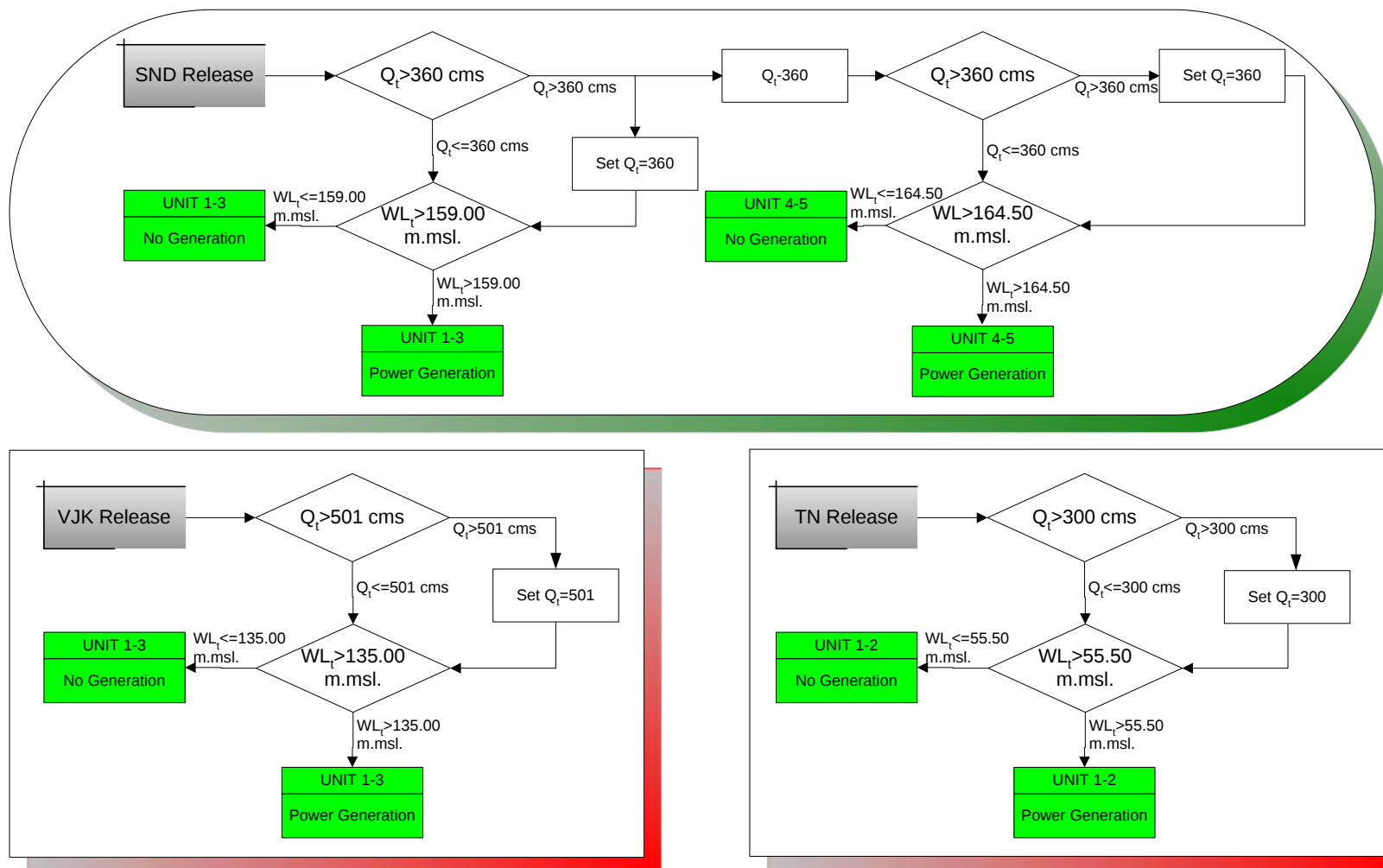
4) หากอัตราการระบายน้ำมากกว่า 720 ลบ.ม./วินาที และระดับน้ำต่ำสุดในอ่างอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด น้ำจะถูกปล่อยผ่านทุกยูนิตจนเต็มกำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละหน่วย ปริมาณน้ำส่วนที่เกินกว่านี้จะปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น

ในทำนองเดียวกันหลักเกณฑ์การปล่อยน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณและเขื่อนท่าทุ่งนาในภาพที่ 42 สามารถสรุปได้ดังนี้

1) หากระดับน้ำในอ่างต่ำกว่า 135.00 ม.รทก. สำหรับเขื่อนวชิราลงกรณ และ 55.50 ม.รทก. สำหรับเขื่อนท่าทุ่งนาจะไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

2) หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณสูงกว่า 135.00 ม.รทก. และอัตราการระบายน้ำน้อยกว่า 501 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นอัตราการระบายน้ำได้สูงสุดของยูนิต 1-3 รวมกัน ยูนิตละ 167 ลบ.ม./วินาที จะปล่อยน้ำผ่านยูนิต 1-3 ตามลำดับ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่หากระดับน้ำที่เขื่อนท่าทุ่งนาสูงกว่า 55.50 ม.รทก. และอัตราการระบายน้ำน้อยกว่าอัตราการระบายน้ำได้สูงสุดของยูนิต 1-2 รวมกันเป็น 300 ลบ.ม./วินาที จะปล่อยน้ำผ่านยูนิต 1 และ 2 ตามลำดับ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

3) หากอัตราการระบายน้ำมากกว่า 501 ลบ.ม./วินาที และ 300 ลบ.ม./วินาที สำหรับเขื่อนวชิราลงกรณและท่าทุ่งนาตามลำดับ และระดับน้ำต่ำสุดในอ่างอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด น้ำจะถูกปล่อยผ่านทุกยูนิตจนเต็มกำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละหน่วย ปริมาณน้ำส่วนที่เหลือจะปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้น



ภาพที่ 43 หลักเกณฑ์การปล่อยน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนา

3.2 แบบจำลองระบบสูบน้ำกลับ

เนื่องจากเขื่อนศรีนครินทร์มีลักษณะพิเศษที่สำคัญคือมีระบบสูบน้ำกลับ (Reverse Pumping) โดยมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสูบน้ำกลับชนิดที่ 4-5 หลังจากการก่อสร้างเขื่อนท่าทุ่งนาแล้วเสร็จ ส่งผลให้สามารถนำน้ำจากเขื่อนท่าทุ่งนากลับไปผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เขื่อนศรีนครินทร์ได้อีกครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองสูบน้ำกลับขึ้นมาเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าการสูบน้ำกลับมีหลักเกณฑ์ไม่แน่นอนทั้งในแง่ของการเกิดเหตุการณ์และปริมาณน้ำที่สูบน้ำกลับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองย่อย โดยขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองการสูบน้ำกลับมีดังนี้

- 1) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องรายวันตั้งแต่ปี 2528-2547 ได้แก่ ปริมาณน้ำสูบน้ำกลับ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนา ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์ และระดับน้ำเก็บกักของเขื่อนท่าทุ่งนา
- 2) วิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์สูบน้ำกลับของแต่ละปี
- 3) วิเคราะห์หาสัดส่วนปริมาณน้ำสูบน้ำกลับต่อปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนาที่ค่าต่าง ๆ ดังนี้ >30 ล้าน ลบ.ม./วัน, >20 ล้าน ลบ.ม./วัน, >10 ล้าน ลบ.ม./วัน และ ≥ 0 ล้าน ลบ.ม./วัน
- 4) สร้างแบบจำลองระบบสูบน้ำกลับรายวัน โดยกำหนดความถี่ที่จะเกิดเหตุการณ์เท่ากับความถี่ของเหตุการณ์จริงในแต่ละปีที่ได้จากผลการวิเคราะห์ในข้อ 2) และกำหนดปริมาณน้ำที่สูบน้ำกลับจากสัดส่วนการปล่อยน้ำที่ได้จากผลการวิเคราะห์ในข้อ 3) ซึ่งแปรผันแบบผกผันตามปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนา

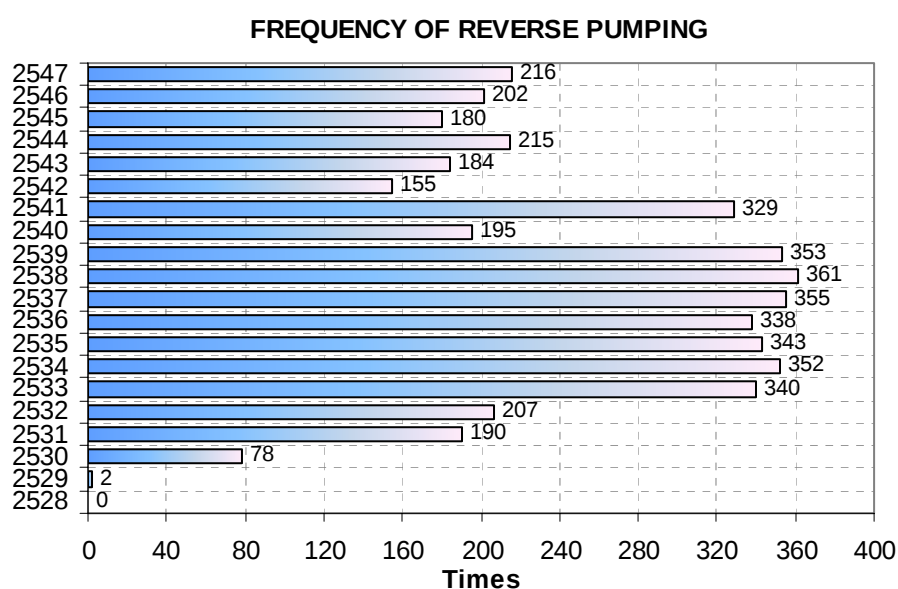
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์โดยมีค่า $R^2 = 0.8159$ และปริมาณน้ำที่สูบน้ำกลับมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนา กล่าวคือปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนาก็ยิ่งมาก สัดส่วนการสูบน้ำกลับก็จะยิ่งลดลง ทั้งนี้สืบเนื่องจากปริมาณน้ำที่ปล่อย

จากเขื่อนศรีนครินทร์ที่ค่อนข้างสูงทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอตามความต้องการ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องสูบน้ำกลับไปใช้อีกครั้ง สำหรับสัดส่วนการสูบน้ำกลับสรุปไว้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 สัดส่วนการสูบน้ำกลับของเขื่อนท่าทุ่งนา

ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนา (ล้าน ลบ.ม./วัน)	สัดส่วนการสูบน้ำกลับ
>30	0.0681
>20	0.1337
>10	0.2123
>=0	0.5220

สำหรับความถี่ของการเกิดเหตุการณ์สูบน้ำกลับจริงในช่วงเริ่มต้นโครงการนั้นจะมีค่อนข้างน้อย แต่จะดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีในช่วงปี 2533-2539 ในขณะที่ในช่วง 4 ปีหลังของการปฏิบัติงานตั้งแต่ปี 2544 จนกระทั่งถึงปัจจุบันพบว่า สัดส่วนของความถี่ในการสูบน้ำกลับจริงเฉลี่ยจะอยู่ที่ 204 วันหรือประมาณ 56% ต่อปี ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์สูบน้ำกลับจริงตั้งแต่ปี 2528-2547

ปริมาณน้ำที่สูบลกลับในส่วนนี้จะนำไปคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อีกครั้งโดยอาศัยแบบจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยนำข้อกำหนดเบื้องต้นในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของยูนิตที่ 4-5 มาใช้ในการคำนวณ

3.3 แบบจำลองสโตคาสติก

เนื่องจาก Simulink มี Library ในส่วนของ System Identification ซึ่งประกอบด้วย Toolbox ต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในวิเคราะห์แบบจำลองสโตคาสติกได้โดยเฉพาะ ไม่ว่าจะเป็น Autoregressive Model Estimator (AR Model), Autoregressive with External Input Model Estimator (ARX Model), Autoregressive Moving Average with External Input Model Estimator (ARMX Model), Box-Jenkins Model Estimator และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังได้พัฒนา The Graphical User Interface for the System Identification Toolbox (Ident) ขึ้นมาเพื่อใช้ในการสังเคราะห์และพยากรณ์ข้อมูลที่ค่อนข้างสะดวกและรวดเร็ว การศึกษานี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองสโตคาสติกโดยอาศัย Ident Toolbox ใน Simulink เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธี (Net Inflow) และ Side Flow สำหรับใช้ในแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์น้ำในอนาคต และปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธีของอ่างเก็บน้ำ (Net Reservoir Inflow) สำหรับพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ ผลที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองสโตคาสติกแยกพิจารณาในรายละเอียดได้ดังนี้

1) การพัฒนาแบบจำลองสโตคาสติกสำหรับใช้ในแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์น้ำในอนาคต

ทำการพัฒนาแบบจำลองสโตคาสติกเพื่อสังเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้า 2 ตัวแปรหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธีของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ และข้อมูล Side Flow ได้เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ โดยกำหนดให้ข้อมูลฝนรายวันเป็น Exogenous Input ที่มีความสัมพันธ์กับทั้งสองตัวแปรข้างต้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า รูปแบบ ARX10101 มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธีของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ และข้อมูล Side Flow ได้เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ โดยอิทธิพลของ Autocorrelation Function ที่ช่วงเวลาต่างกัน (Lag t) เท่ากับ 10 ของทั้งข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธีและ Side Flow ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการทำนายค่า (Prediction Output) และข้อมูลฝนรายวันซึ่งเป็น Exogenous Input ยังคงมีอิทธิพลของ Dependent Variable ที่ค่อนข้าง

สูง ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองสโตคาสติกของข้อมูลดังกล่าว ยกเว้นอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์ที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบ ARX1012 ซึ่งนำอิทธิพลของ Autocorrelation Function ของข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของอ่างเก็บน้ำและฝนรายวันที่ช่วงเวลาต่างกันเท่ากับ 10 และ 1 ตามลำดับ มาใช้ในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองสโตคาสติก ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แบบจำลองสโตคาสติกสำหรับนำมาใช้ในแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Net Inflow		
Reservoir	Statistical Model	Model Descriptions
1. SND	ARX10101	$A(q) = 1 - 1.539(\pm 0.01207)Y_{(t-1)} + 0.5376(\pm 0.02211)Y_{(t-2)} + 0.05287(\pm 0.02284)Y_{(t-3)} - 0.09479(\pm 0.02272)Y_{(t-4)} + 0.1057(\pm 0.02274)Y_{(t-5)} - 0.01714(\pm 0.02275)Y_{(t-6)} - 0.2235(\pm 0.02272)Y_{(t-7)} + 0.2515(\pm 0.02286)Y_{(t-8)} - 0.1354(\pm 0.022)Y_{(t-9)} + 0.06337(\pm 0.01164)Y_{(t-10)}$ $B(q) = 2.061(\pm 0.1117)U_{(t-1)} - 1.094(\pm 0.1575)U_{(t-2)} - 0.5161(\pm 0.1579)U_{(t-3)} - 0.2144(\pm 0.1574)U_{(t-4)} - 0.1502(\pm 0.1574)U_{(t-5)} + 0.4614(\pm 0.1574)U_{(t-6)} - 0.1101(\pm 0.1576)U_{(t-7)} - 0.4768(\pm 0.158)U_{(t-8)} + 0.01457(\pm 0.1577)U_{(t-9)} + 0.0505(\pm 0.1134)U_{(t-10)}$
2. VJK	ARX1012	$A(q) = 1 - 1.953(\pm 0.01177)Y_{(t-1)} + 1.26(\pm 0.02576)Y_{(t-2)} - 0.4149(\pm 0.02973)Y_{(t-3)} + 0.1991(\pm 0.03007)Y_{(t-4)} - 0.01948(\pm 0.03008)Y_{(t-5)} - 0.2069(\pm 0.03008)Y_{(t-6)} + 0.1499(\pm 0.03009)Y_{(t-7)} + 0.09194(\pm 0.02974)Y_{(t-8)} - 0.2411(\pm 0.02577)Y_{(t-9)} - 0.1395(\pm 0.01169)Y_{(t-10)}$ $B(q) = 0.2188(\pm 0.03971)U_{(t-2)}$

ตารางที่ 17 (ต่อ)

Side Flow		
Reservoir	Statistical Model	Model Descriptions
1. SND	ARX10101	$A(q) = 1 - 0.4694(\pm 0.01186)Y_{(t-1)} - 0.2545(\pm 0.01307)$ $A(q).Y(t) = B(q).U(t) + e(t)$
		$Y_{(t-2)} - 0.02198(\pm 0.01341)Y_{(t-3)} + 0.02487(\pm 0.01323)$ $Y_{(t-4)} - 0.0268(\pm 0.01323)Y_{(t-5)} - 0.01757(\pm 0.01323)Y_{(t-6)}$ $- 0.1897(\pm 0.01328)Y_{(t-7)} + 0.04821(\pm 0.01348)Y_{(t-8)} +$ $0.06053(\pm 0.01313)Y_{(t-9)} - 0.04765(\pm 0.01177)Y_{(t-10)}$ $B(q) = 0.118(\pm 0.01329)U_{(t-1)} + 0.01353(\pm 0.0148)$ $U_{(t-2)} + 0.01179(\pm 0.01498)U_{(t-3)} + 0.004095(\pm 0.0149)$ $U_{(t-4)} - 0.008658(\pm 0.01489)U_{(t-5)} - 0.01649(\pm 0.01489)$ $U_{(t-6)} - 0.01194(\pm 0.01491)U_{(t-7)} - 0.001823(\pm 0.01499)$ $U_{(t-8)} + 0.01196(\pm 0.01481)U_{(t-9)} - 0.03221(\pm 0.01345)$ $U_{(t-10)}$
2. VJK	ARX10101	$A(q) = 1 - 1.031(\pm 0.01182)Y_{(t-1)} + 0.2007(\pm 0.01697)$ $A(q).Y(t) = B(q).U(t) + e(t)$
		$Y_{(t-2)} - 0.02637(\pm 0.01588)Y_{(t-3)} + 0.02007(\pm 0.01469)$ $Y_{(t-4)} - 0.004946(\pm 0.01468)Y_{(t-5)} - 0.06037(\pm 0.01468)$ $Y_{(t-6)} - 0.5215(\pm 0.0147)Y_{(t-7)} + 0.5343(\pm 0.01593)Y_{(t-8)} -$ $0.05392(\pm 0.01697)Y_{(t-9)} - 0.03179(\pm 0.01161)Y_{(t-10)}$ $B(q) = 0.509(\pm 0.1428)U_{(t-1)} + 0.3074(\pm 0.18)U_{(t-2)}$ $+ 0.502(\pm 0.1782)U_{(t-3)} + 0.1623(\pm 0.1739)U_{(t-4)} + 0.241$ $(\pm 0.1742)U_{(t-5)} + 0.0762(\pm 0.1745)U_{(t-6)} - 0.1362$ $(\pm 0.1748)U_{(t-7)} - 0.3949(\pm 0.1791)U_{(t-8)} - 0.454$ $(\pm 0.1811)U_{(t-9)} - 0.2911(\pm 0.146)U_{(t-10)}$

2) การพัฒนาแบบจำลองสโตนัสติกสำหรับใช้ในแบบจำลองวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

ทำการพัฒนาแบบจำลองสโตคาสติกเพื่อสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิของอ่างเก็บน้ำ (Net Reservoir Inflow) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิต่อปีกับปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยและการรั่วซึมของอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 ในลุ่มน้ำแม่กลอง และเช่นเดียวกันได้นำข้อมูลฝนรายวันที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิของอ่างเก็บน้ำมาเป็น Exogenous Input ผลจากการวิเคราะห์พบว่าการนำค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสุทธิของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่างกันเท่ากับ 2 มาร่วมพิจารณาในการกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสุทธิของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนท่าทุ่งนา และเขื่อนแม่กลองในรูปแบบของ ARMX2221 ในขณะที่อนุกรมเวลาของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสุทธิของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณมีความเหมาะสมกับรูปแบบ ARX10101 โดยอิทธิพลของ Autocorrelation Function ที่ช่วงเวลาต่างกันเท่ากับ 10 ของทั้งข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสุทธิของอ่างเก็บน้ำและฝนรายวันยังคงมีอิทธิพลของ Dependent Variable ค่อนข้างสูงดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แบบจำลองสโตคาสติกสำหรับนำมาใช้ในแบบจำลองวิเคราะห์ความเสี่ยงของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

Net Reservoir Inflow		
Reservoir	Statistical Model	Model Descriptions
1. SND	ARMX2221	$A(q) = 1 - 1.844(\pm 0.02332)Y_{(t-1)} + 0.8445$
		$A(q).Y(t) = B(q).U(t) + C(q).e(t) \quad (\pm 0.0231)Y_{(t-2)}$
		$B(q) = 3.384(\pm 0.2325)U_{(t-1)} - 3.35(\pm 0.2213)U_{(t-2)}$
		$C(q) = 1 - 1.218(\pm 0.01464)e_{(t-1)} + 0.2399$ $(\pm 0.01448)e_{(t-2)}$
2. VJK	ARX10101	$A(q) = 1 - 1.675(\pm 0.01273)Y_{(t-1)} + 0.826$
		$A(q).Y(t) = B(q).U(t) + e(t) \quad (\pm 0.02454)Y_{(t-2)} - 0.2113(\pm 0.02656)Y_{(t-3)} +$ $0.1366(\pm 0.02667)Y_{(t-4)} + 0.01912(\pm 0.02663)Y_{(t-5)} +$ $-0.1961(\pm 0.02663)Y_{(t-6)} + 0.1257(\pm 0.02668)Y_{(t-7)} +$ $+0.05101(\pm 0.02658)Y_{(t-8)} - 0.1875(\pm 0.024)Y_{(t-9)} +$ $0.1206(\pm 0.01146)Y_{(t-10)}$

ตารางที่ 18 (ต่อ)

Net Reservoir Inflow		
Reservoir	Statistical Model	Model Descriptions
		$B(q) = 5.238(\pm 0.1847)U_{(t-1)} - 4.874(\pm 0.2562)U_{(t-2)} + 0.6139(\pm 0.2627)U_{(t-3)} - 0.5888(\pm 0.2633)U_{(t-4)} + 0.5784(\pm 0.2638)U_{(t-5)} + 0.04288(\pm 0.2646)U_{(t-6)} - 0.324(\pm 0.265)U_{(t-7)} + 0.09065(\pm 0.2645)U_{(t-8)} - 0.3888(\pm 0.262)U_{(t-9)} + 0.06133(\pm 0.1904)U_{(t-10)}$
3. TN	ARMX2221	$A(q) = 1 - 1.725(\pm 0.07591)Y_{(t-1)} + 0.7252(\pm 0.07575)Y_{(t-2)}$ $A(q).Y(t) = B(q).U(t) + C(q).e(t)$
		$B(q) = 7.985(\pm 0.6624)U_{(t-1)} - 7.332(\pm 0.636)U_{(t-2)}$ $C(q) = 1 - 1.468(\pm 0.01701)e_{(t-1)} + 0.5043(\pm 0.017)e_{(t-2)}$
4. MK	ARMX2221	$A(q) = 1 - 1.863(\pm 0.024)Y_{(t-1)} + 0.8639(\pm 0.02384)Y_{(t-2)}$ $A(q).Y(t) = B(q).U(t) + C(q).e(t)$
		$B(q) = 1.347(\pm 0.1351)U_{(t-1)} - 1.316(\pm 0.131)U_{(t-2)}$ $C(q) = 1 - 1.147(\pm 0.01572)e_{(t-1)} + 0.1513(\pm 0.01567)e_{(t-2)}$

3.4 แบบจำลองดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน

ในแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันได้พัฒนาแบบจำลองย่อยเพื่อประเมินตัวชี้วัดในรูปของดัชนีความน่าเชื่อถือได้ 2 สถานะคือ สถานะของการขาดน้ำ และสถานะน้ำท่วม สำหรับสถานะการขาดน้ำในที่นี้จะหมายถึงการที่ระบบไม่สามารถส่งน้ำได้เพียงพอตามปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ รายวันที่เขื่อนแม่กลอง โดยครอบคลุมถึงดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลา ด้านปริมาณ และด้านความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถอธิบายประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานจากดัชนีตัวชี้วัดที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด

ขณะเดียวกันได้ทำการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลาของสถานะน้ำท่วม ซึ่งปริมาณน้ำที่ปล่อยจากระบบเกินความจุท้ายลำน้ำที่จะรับได้โดยพิจารณาใน 5 จุดหลักของลำน้ำ ได้แก่ ลำน้ำแควใหญ่บริเวณท้ายเขื่อนศรีนครินทร์ ลำน้ำแควใหญ่บริเวณท้ายเขื่อนท่าทุ่งนา ลำน้ำแควน้อยบริเวณท้ายเขื่อนวชิราลงกรณ์ ลำน้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนแม่กลองซึ่งปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนวชิราลงกรณ์และท่าทุ่งนาไหลมาบรรจบกัน และบริเวณท้ายเขื่อนแม่กลอง

4. การจัดลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำ

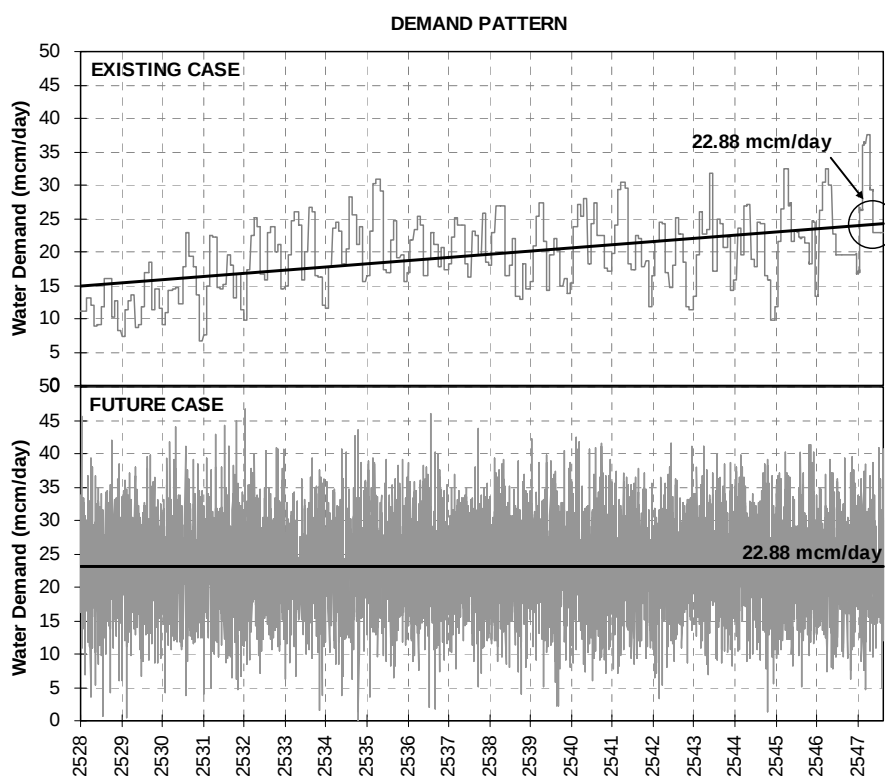
เนื่องจากลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการบริหารจัดการน้ำต้นทุนที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดความยุติธรรมต่อทุกภาคกิจกรรมการใช้น้ำ ดังนั้นลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำที่ใช้ในแบบจำลองจะคำนึงถึงผู้ที่เคยใช้น้ำอยู่ก่อน ตลอดจนพิจารณาจากสิทธิผู้ใช้น้ำทั้งในกลุ่มน้ำและนอกกลุ่มน้ำดังนี้

- 1) การอุปโภคบริโภค
- 2) การผลักดันน้ำเค็ม
- 3) การชลประทานในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่
- 4) การชลประทานในโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำด้วยไฟฟ้า
- 5) การผันน้ำเพื่อผลิตน้ำดิบที่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์
- 6) การผันน้ำเพื่อการชลประทานในกลุ่มน้ำท่าจีน

ในขณะที่วัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น ถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการปล่อยน้ำให้กับความต้องการน้ำด้านต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำ (คณะอนุกรรมการบริหารจัดการกลุ่มน้ำแม่กลอง สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี, 2545)

5. รูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ได้กำหนดรูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำใน 2 ลักษณะเพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบในระยะยาว กล่าวคือกรณีแรกจะพิจารณารูปแบบความต้องการน้ำจริงตั้งแต่ปี 2528-2547 ซึ่งสะท้อนสถานะความต้องการน้ำจริงจนกระทั่งถึงปัจจุบันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยมีปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ย 22.88 ล้าน ลบ.ม./วัน ในปี 2547 อย่างไรก็ตามสถานะความต้องการน้ำนี้คาดว่าจะมีแนวโน้มคงที่ตามทิศทางการพัฒนาลุ่มน้ำเต็มศักยภาพที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นจึงได้สังเคราะห์ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำรายวันโดยเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบ Normal ที่ผ่านการทดสอบการ-fit ความเหมาะสมของข้อมูลด้วยวิธี Smirnov-Kolmogorov ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แล้ว นอกจากนี้ยังเป็นฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นที่มีลักษณะ Symmetry ซึ่งสอดคล้องกับสถานะความต้องการน้ำที่คาดว่าจะมีแนวโน้มคงที่ ในที่นี้กำหนดให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณความต้องการน้ำรายวัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับค่าสูงสุดจริงในปี 2547 คือ 22.88 ล้าน ลบ.ม./วัน และ 6.70 ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อกำหนดเป็นรูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำที่สะท้อนสถานการณ์ความต้องการน้ำที่แท้จริงในอนาคต ดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45 รูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำรายวันที่ใช้ในการศึกษา

6. การเปรียบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสามารถเลียนแบบการปฏิบัติงานจริงของระบบอ่างเก็บน้ำได้ดีมากน้อยเพียงใดนั้น จำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลการปฏิบัติงานจริง และทำการปรับแก้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด แบบจำลองที่ได้ทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนกระทั่งให้ผลใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงนั้น จะถูกนำมาใช้ตรวจสอบผลการปฏิบัติงานในช่วงที่มีข้อมูลการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำจริงคือตั้งแต่ปี 2544-2547 สำหรับผลลัพธ์ที่ใช้ในการตรวจสอบกับผลการปฏิบัติงานจริงได้แก่ ระดับน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากแต่ละอ่างเก็บน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำเก็บกักเมื่อสิ้นสุดการจำลองระบบของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำและอื่น ๆ

7. ผลการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

การพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและสถานการณ์น้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตนั้นมีความแตกต่างกันในแง่ของรูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำดังที่กล่าวมาข้างต้น ตลอดจนข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลอง กล่าวคือแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันของสถานการณ์ปัจจุบันในภาพที่ 46 และ 47 ซึ่งใช้ Rule Curve และ Parametric Rule เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานนั้น จะใช้ข้อมูลจริงที่มีอยู่รายวันเป็นข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลอง โดยยึดรูปแบบปริมาณความต้องการน้ำที่เป็นอยู่จนกระทั่งถึงปัจจุบันไว้ ในขณะที่แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันของสถานการณ์อนาคตในภาพที่ 48 ข้อมูลที่นำมาใช้จะถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จากข้อมูลชุดเดิมที่มีอยู่โดยใช้แบบจำลองสโตคาสติกในรายละเอียดตามที่กล่าวมาข้างต้น ดังสรุปไว้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ข้อแตกต่างของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

ข้อแตกต่าง	สถานการณ์ปัจจุบัน (Existing Case)	สถานการณ์ในอนาคต (Future Case)
1. รูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำ	มีแนวโน้มสูงขึ้น	คงที่
2. ข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลอง (Input Data)	ข้อมูลจริงที่มีอยู่ (Historical Data)	ข้อมูลสังเคราะห์ใหม่ (Synthetic Data)

องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันทั้ง 2 กรณีประกอบด้วย

1) ข้อมูลป้อนเข้ารายวันของแบบจำลอง (Daily Data Input) จะเป็นส่วนที่แสดงข้อมูลป้อนเข้าทั้งหมดสำหรับนำไปจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ ข้อมูล Side Flow ระหว่างเขื่อนศรีนครินทร์-ท่าทุ่งนา และระหว่างเขื่อนวชิราลงกรณ/ท่าทุ่งนา-แม่กลอง ข้อมูลปริมาณน้ำที่สูญเสียของอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 อ่าง ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ และข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงผลในรูปของการพล็อตค่าอนุกรมเวลา (Time Series Plot) ได้

2) ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Characteristics) จะเป็นส่วนที่แสดงค่าระดับน้ำเก็บกักปกติ (NHWL) และระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด (MWL) ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ สำหรับนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการแสดงผลเพื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบ

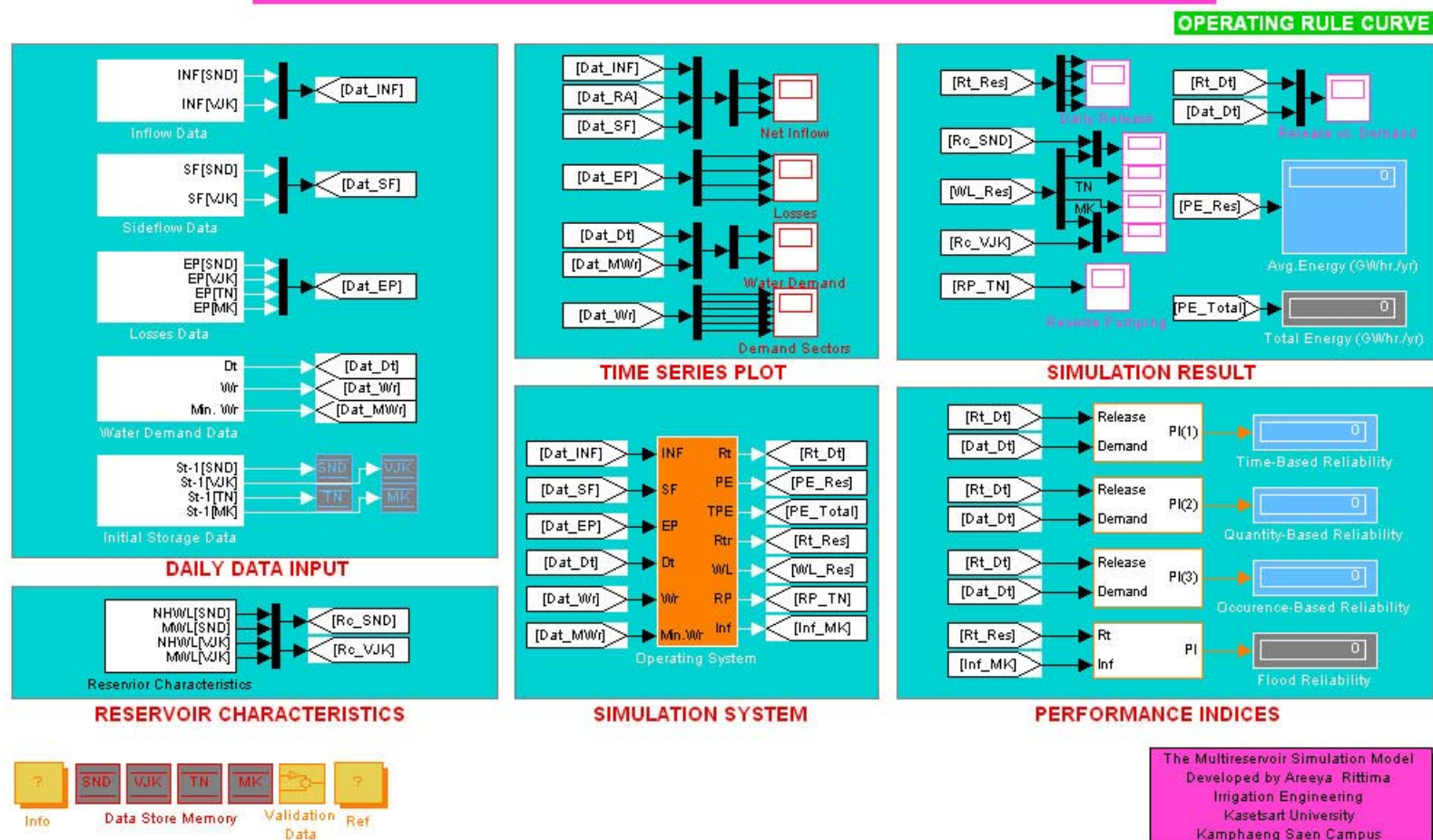
3) การพล็อตค่าอนุกรมเวลา (Time Series Plot) จะเป็นส่วนของการแสดงผลข้อมูลป้อนเข้ารายวันของแบบจำลองในรูปของอนุกรมเวลา

4) การจำลองระบบ (Simulation System) จะเป็นส่วนของการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์สมดุลของน้ำทั้งระบบตามแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองข้างต้นดังแสดงในภาพที่ 49 โดยรับค่าข้อมูลป้อนเข้ารายวันทั้งหมดในข้อ 1) จากนั้นระบบจะทำการตัดสินใจปล่อยน้ำโดยอาศัยเกณฑ์การปฏิบัติงานด้วย Rule Curve และ Parametric Rule

5) การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง (Simulation Result) เป็นส่วนของการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบในข้อ 4) ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลการปล่อยน้ำรายวัน ข้อมูลระดับน้ำของแต่ละอ่าง ข้อมูลปริมาณน้ำที่สูบกลับ ข้อมูลผลการปล่อยน้ำจากแบบจำลองเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำ ตลอดจนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปีของแต่ละเขื่อนและผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด

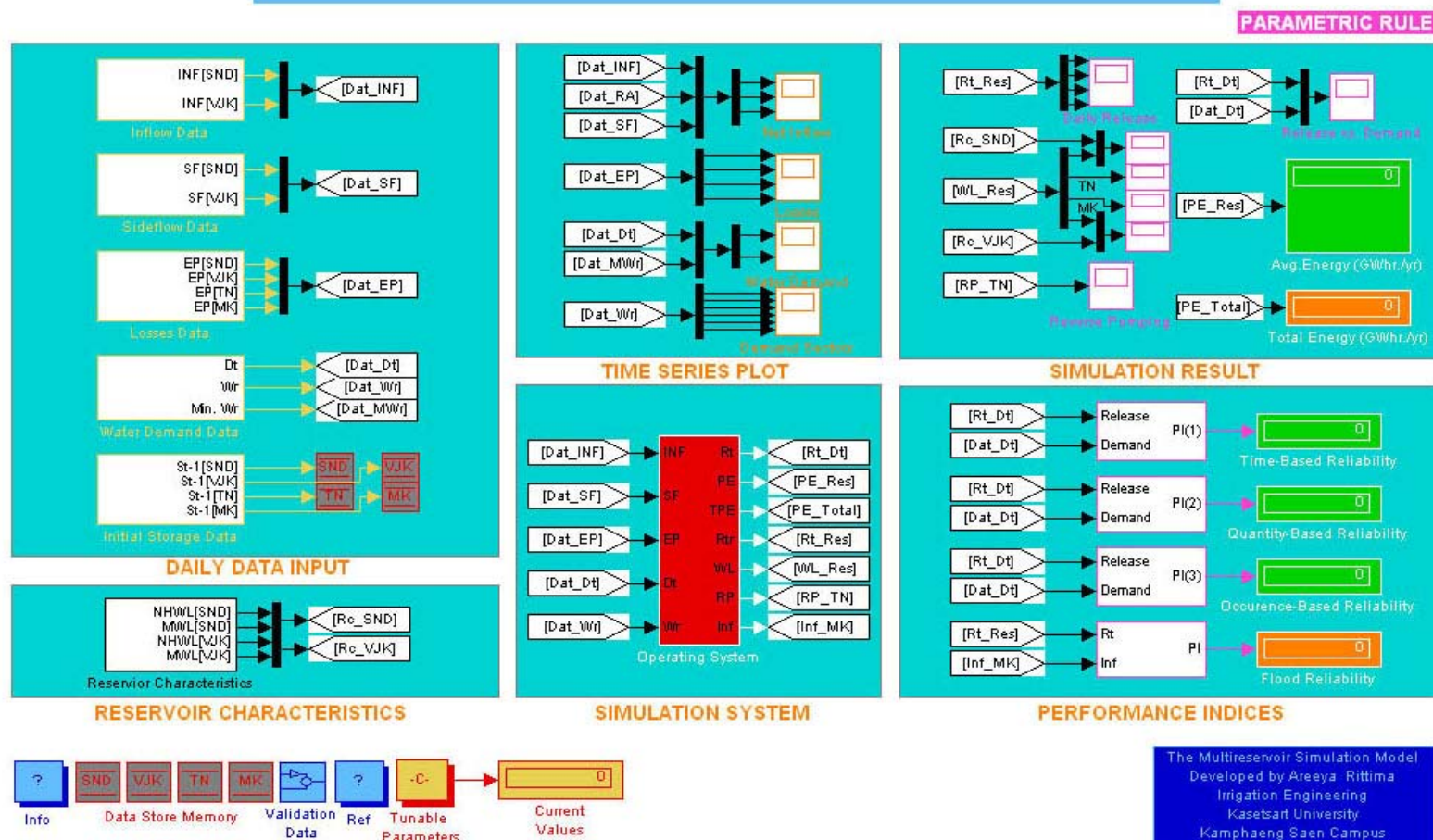
6) ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน (Performance Indices) เป็นส่วนของการประเมินตัวชี้วัดในรูปของดัชนีความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานของระบบ 2 สถานะคือ สถานะของการขาดน้ำและสถานะน้ำท่วม ด้วยแบบจำลองดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน และแสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้ในรูปของโอกาสความน่าจะเป็น (Probability)

PART 1 : MULTIRESERVOIR SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



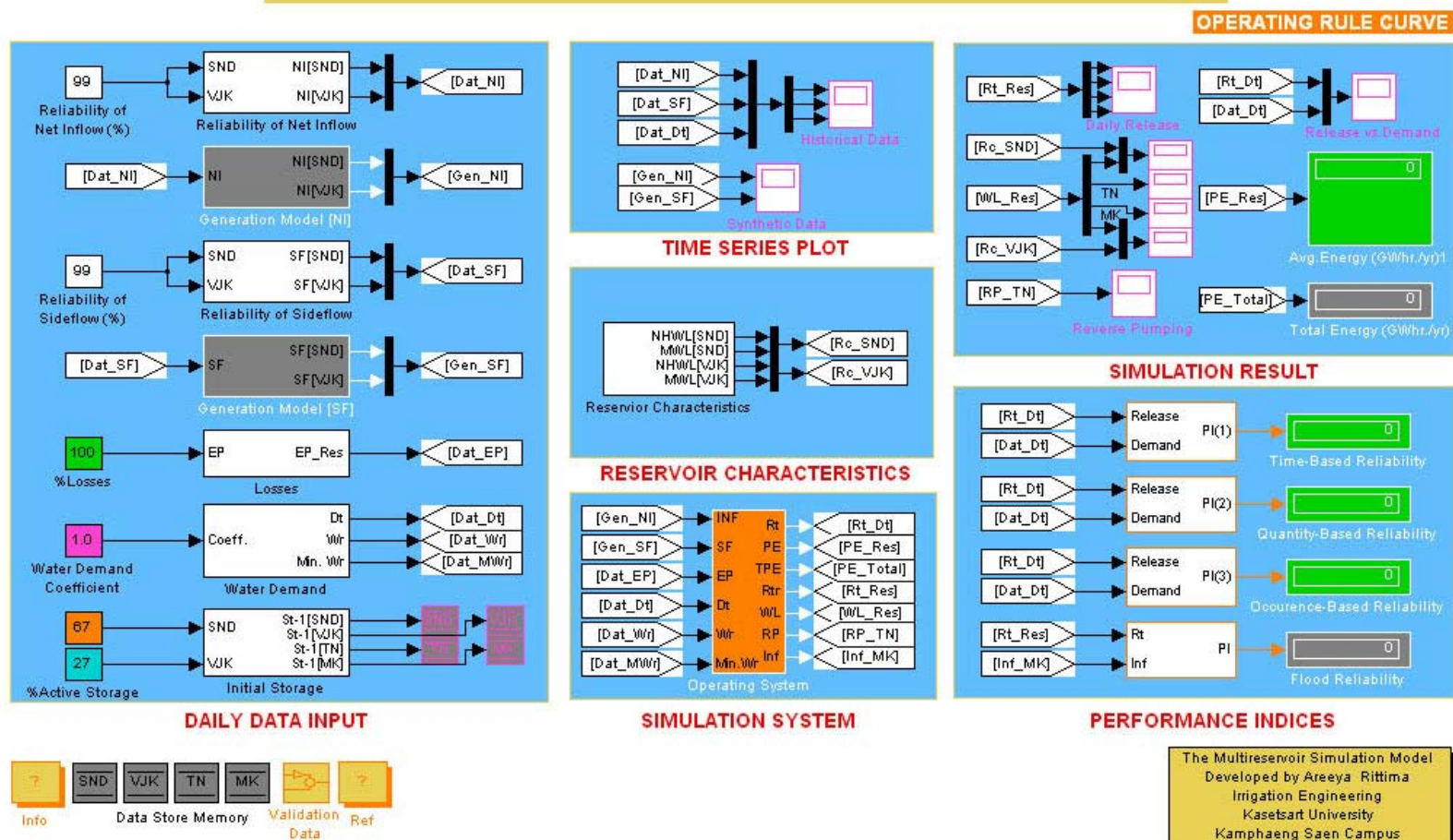
ภาพที่ 46 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์ปัจจุบันโดยใช้ Rule Curve

PART 1 : MULTIRESERVOIR SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



ภาพที่ 47 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์ปัจจุบัน โดยใช้ Parametric Rule

PART 2 : MULTIRESERVOIR SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



ภาพที่ 48 แบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของสถานการณ์ในอนาคต

ภาพที่ 49 องค์ประกอบของการจำลองระบบโดยการวิเคราะห์สมมูลของน้ำทั้งระบบ

ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองรายวัน จะถูกนำตรวจสอบกับผลการปฏิบัติงานจริงใน 3 องค์ประกอบหลักได้แก่

1) ปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดเฉลี่ยรายปี

ทำการตรวจสอบปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2528-2547 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้นถึงสิ้นสุดการจำลองระบบ โดยครอบคลุมถึงปริมาณน้ำที่ปล่อยจากทั้ง 4 อ่าง ปริมาณน้ำสูบกลับ (Reverse Pumping) ปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้ง (Surplus Release) ตลอดจนปริมาณน้ำที่ปล่อยจากระบบอ่างเก็บน้ำ ซึ่งคิดจากผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดของระบบ

2) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปี

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในที่นี่จะเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปีจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนา ตลอดช่วงเวลาของการจำลองตั้งแต่ปี 2528-2547 และสรุปผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดของระบบ

3) ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของระบบหลังสิ้นสุดการจำลอง

ในส่วน of ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของระบบหลังสิ้นสุดการจำลองระบบ จะพิจารณาเฉพาะอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณซึ่งเป็นเขื่อนเก็บกักเท่านั้น จากนั้นคำนวณหาผลรวมของทั้งระบบ เพื่อตรวจสอบว่าหลังสิ้นสุดการจำลองระบบปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่นั้นแตกต่างไปจากสถานการณ์จริงมากน้อยแค่ไหน ซึ่งในทางทฤษฎีค่าดังกล่าวต้องใกล้เคียงกันมากที่สุด

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันในที่นี่จะแบ่งเป็น 2 กรณีตามรูปแบบของการพัฒนาแบบจำลองที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ

1) ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันในสถานการณ์ปัจจุบัน

ผลจากการจำลองระบบ (Simulation) โดยใช้ Rule Curve ซึ่งใช้งานมาตั้งแต่ระบบลุ่มน้ำแม่กลองสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ครบทุกยูนิตเป็นเกณฑ์ปฏิบัติงานนั้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานจริงตั้งแต่ปี 2528-2547 จากนั้นนำ Rule Curve ซึ่งพัฒนาปรับปรุงล่าสุดในปี 2544 มาทำการปรับเทียบผล (Calibration) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สอดคล้องกับสถานะจริงมากที่สุด จากตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติงานจริงตั้งแต่ปี 2528-2547 นั้น ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์รายปีเฉลี่ยจะสูงกว่าเขื่อนวชิราลงกรณ 3.73% โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,046 ล้าน ลบ.ม./ปี สำหรับเขื่อนศรีนครินทร์และ 4,865 ล้าน ลบ.ม./ปี สำหรับเขื่อนวชิราลงกรณ รวมปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งสิ้น 9,911 ล้าน ลบ.ม./ปี ทั้งนี้เพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ย 6,975 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยได้ถึงปีละ 1,970 กิกะวัตต์ชั่วโมง โดย 60% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดผลิตได้จากเขื่อนศรีนครินทร์ และ 33% เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเขื่อนวชิราลงกรณ ส่วนที่เหลือเพียง 7% เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเขื่อนท่าทุ่งนา อย่างไรก็ตาม เมื่อตรวจสอบข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุดท้ายของเขื่อนศรีนครินทร์ซึ่งมีสัดส่วนต่ำกว่าเขื่อนวชิราลงกรณถึง 8% แต่มีความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ใช้ได้มากกว่าเขื่อนวชิราลงกรณเกือบสองเท่า อาจกล่าวได้ว่าแนวทางการเพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณให้มากขึ้น เพื่อลดผลกระทบของสถานะน้ำท่วม ตลอดจนเก็บกักน้ำไว้ใช้ที่เขื่อนศรีนครินทร์ให้ได้มากที่สุด เป็นแนวทางการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในระยะยาวให้ได้มากที่สุด และจากการตรวจสอบปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้งทางท้ายน้ำของเขื่อนแม่กลองพบว่า ประมาณ 40% ของปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนแม่กลองทั้งหมดจะเป็นน้ำที่ปล่อยส่วนเกินนอกเหนือไปจากปริมาณความต้องการน้ำทุก ๆ กิจกรรมหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงน้ำมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 4,494 ล้าน ลบ.ม./ปี ข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นแนวทางการบริหารจัดการน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้งให้น้อยลง เป็นอีกหนึ่งแนวทางในการจัดการน้ำต้นทุนให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั่นเอง นอกจากนี้จากผลการปฏิบัติงานจริงยังแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์มีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนท่าทุ่งนาปริมาณน้ำสูบลับทั้งหมดซึ่งเป็นไปตามหลักสมดุลของน้ำ และจากการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานจริงสำหรับสถานะการขาดน้ำในรูปของดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลา (Time Based Reliability) ความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านปริมาณ (Quantity Based Reliability) ความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ (Occurrence Based Reliability) และความน่าเชื่อถือได้ของการเกิดสถานะน้ำท่วมบนพื้นฐานของเวลา (Flood Reliability) พบว่ามีค่าเป็น

0.8769, 1.5200, 0.4988 และ 0.9998 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิผลของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทั้ง 2 สภาวะ กล่าวคือโอกาสที่ระบบจะสามารถสนองตอบปริมาณความต้องการน้ำรายวันได้อย่างเพียงพอมีถึงประมาณ 88% โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดเฉลี่ยแล้วจะสูงกว่าปริมาณความต้องการประมาณ 50% แม้ว่าส่วนใหญ่ปริมาณน้ำที่ปล่อยจะเกินปริมาณความต้องการอยู่ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจะมีบางช่วงเวลาซึ่งปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีน้อย ส่งผลให้เกิดสภาวะการขาดน้ำขึ้นในบางช่วง และจากการพิจารณาความถี่ของเหตุการณ์ที่ระบบจะประสบสภาวะความล้มเหลว (Failure Mode) กับสภาวะปกติ (Non-Failure Mode) พบว่าจะใกล้เคียงกันมาก ทำให้โอกาสความน่าจะเป็นที่ระบบจะสลับโหมดการทำงานระหว่างสภาวะปกติกับสภาวะความล้มเหลวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีค่าเท่ากับ 0.4988 ถึงแม้ว่าช่วงความถี่ของเหตุการณ์ที่ระบบประสบกับสภาวะความล้มเหลวจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ก็ตาม

ผลจากการจำลองระบบโดยใช้ Rule Curve ที่พัฒนาขึ้นตั้งแต่ระบบลุ่มน้ำแม่กลองสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ครบทุกยูนิต และเปรียบเทียบผลโดยใช้ Rule Curve ซึ่งพัฒนาปรับปรุงในปี 2544 พบว่าทั้งสองเกณฑ์ช่วยลดสัดส่วนการปล่อยน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์ลง 1.26% และ 1.67% โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนศรีนครินทร์คิดเป็น 4,983 ล้าน ลบ.ม./ปี และจะลดลงเป็น 4,962 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ขณะเดียวกันแบบจำลองที่พัฒนาก็สามารถเพิ่มสัดส่วนการปล่อยน้ำที่เขื่อนวชิราลงกรณขึ้นเล็กน้อยเป็น 1.57% และ 1.64% ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนวชิราลงกรณคิดเป็น 4,941 ล้าน ลบ.ม./ปี ในส่วนของจำลองระบบและจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 4,945 ล้าน ลบ.ม./ปี ในส่วนของการเปรียบเทียบแบบจำลอง จากการตรวจสอบผลรวมทั้งหมดของปริมาณที่ปล่อยรายปีเฉลี่ยจากทั้ง 2 อ่างเก็บน้ำพบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยของแบบจำลองทั้งสองเกณฑ์ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการปฏิบัติงานจริง โดยในส่วนของเปรียบเทียบแบบจำลองนั้นปริมาณน้ำที่ปล่อยรายปีเฉลี่ยจะต่ำกว่าผลการปฏิบัติงานจริงเล็กน้อย กล่าวคือ ปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งสิ้น 9,924 ล้าน ลบ.ม./ปี และ 9,907 ล้าน ลบ.ม./ปี สำหรับการจำลองระบบและการเปรียบเทียบแบบจำลอง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสามารถลดปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้งให้น้อยลง 2.05% และ 1.07% ตามลำดับ โดยมีค่ารายปีเฉลี่ยเท่ากับ 4,402 ล้าน ลบ.ม./ปี และ 4,446 ล้าน ลบ.ม./ปี สำหรับการจำลองระบบและการเปรียบเทียบแบบจำลอง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาช่วยสนับสนุนแนวทางในการจัดการน้ำต้นทุนให้เกิดประโยชน์สูงสุด และด้วยเหตุที่ผลรวมของปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดของระบบจากแบบจำลอง ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลแล้วให้ค่าต่ำกว่าผลการปฏิบัติงานจริง ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักที่เหลืออยู่หลังสิ้นสุดการจำลองมากกว่าผลการปฏิบัติงานจริง 2.24% หรือประมาณ 475 ล้าน ลบ.ม. และจากการ

วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแบบจำลองทั้งสองเกณฑ์ปฏิบัติงานพบว่า ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการปฏิบัติงานจริง โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีเฉลี่ยเท่ากับ 2,010 กิกะวัตต์ชั่วโมงในส่วนของการจำลองระบบและ 2,017 กิกะวัตต์ชั่วโมงในส่วนของการเปรียบเทียบแบบจำลอง และในขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจสอบผลพบว่า ดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานในรูปของดัชนีความน่าเชื่อถือได้ทั้งสองสถานะจากแบบจำลองให้ผลไม่แตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริง กล่าวคือ ในส่วนของการจำลองระบบนั้น ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลา ด้านปริมาณ ด้านความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ของสถานะการขาดน้ำ และความน่าเชื่อถือได้ของการเกิดสถานะน้ำท่วมบนพื้นฐานของเวลามีค่าเป็น 0.8856, 1.5940, 0.5011 และ 0.9987 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองจะทำให้ดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลาของสถานะการขาดน้ำจะลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าเป็น 0.8615 อย่างไรก็ตามดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านปริมาณ ด้านความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ของสถานะดังกล่าว และดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของการเกิดสถานะน้ำท่วมบนพื้นฐานของเวลาที่ไม่แตกต่างจากผลการปฏิบัติงานจริงมากนัก โดยมีค่าเท่ากับ 1.5910, 0.5010 และ 0.9986 ตามลำดับ

จากผลที่กล่าวมาข้างต้นได้นำแบบจำลองที่พัฒนาและทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ จนกระทั่งให้ผลใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลองมาทำการตรวจสอบแบบจำลอง (Validation) อีกครั้ง โดยเลือกใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2544-2547 มาทำการจำลองการปฏิบัติงาน ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานจริงและผลการปฏิบัติงานโดยใช้ Parametric Rule ในช่วงเวลาเดียวกัน จากผลในตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความต้องการน้ำรายปีเฉลี่ยในช่วงปี 2544-2547 เพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 15% ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ปล่อยรายปีเฉลี่ยจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณจริงมีส่วนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยมีผลรวมทั้งสิ้นประมาณ 11,586 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 16.90% อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่า ในช่วง 4 ปีหลังของการปฏิบัติงานจริง สัดส่วนการปล่อยน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์จะน้อยกว่าเขื่อนวชิราลงกรณอยู่ 3.04% โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยรายปีเฉลี่ยจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณมีค่าเป็น 5,704 และ 5,883 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยถึงปีละ 1,970 กิกะวัตต์ชั่วโมง นอกจากนี้จากการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานพบว่า ให้ค่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลาของสถานะการขาดน้ำและสถานะน้ำท่วมนั้นมีการปรับค่าสูงขึ้นเป็น 0.9999 และ 1.0000 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในระยะยาวตั้งแต่ปี 2528-2547 ในขณะที่ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ตัวอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกับผลการปฏิบัติงานในระยะยาว จาก

ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงหลังนั้น ได้มีการปรับกลยุทธ์เพื่อให้บริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ผลจากการตรวจสอบแบบจำลองโดยใช้ Rule Curve และจำลองการปฏิบัติงานโดยใช้ Parametric Rule พบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยทั้งหมดรายปีเฉลี่ยจะสูงกว่าค่าจริงในทางปฏิบัติประมาณ 5.80% หรือคิดเป็น 12,259 ล้าน ลบ.ม./ปี และ 6.91% หรือคิดเป็น 12,387 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่หลังสิ้นสุดการจำลองระบบของอ่างเก็บน้ำทั้งสองมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงในทางปฏิบัติ ในขณะที่สัดส่วนการปล่อยน้ำยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการปฏิบัติงานจริงในช่วงเวลาดังกล่าว อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้งทางด้านท้ายจะลดลงจากเดิม ถึงแม้ว่าน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนเก็บกักทั้งหมดจะมีปริมาณค่อนข้างมากก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อตรวจสอบผลการปล่อยน้ำที่เขื่อนแม่กลองพบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยจะน้อยกว่าผลการปฏิบัติงานจริงอยู่ถึง 14.21% สำหรับในขั้นตอนของการตรวจสอบแบบจำลอง และ 13.73% ในส่วนของการปฏิบัติงานโดยใช้ Parametric Rule ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีเฉลี่ยจะเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมเป็น 2,539 กิกะวัตต์ชั่วโมงสำหรับการตรวจสอบแบบจำลอง และ 2,568 ล้านกิกะวัตต์ชั่วโมงเมื่อปฏิบัติงานโดยใช้ Parametric Rule ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยในด้านของปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาค่อนข้างสูงเป็นสำคัญ นอกจากนี้จากผลการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานพบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือดัชนีความน่าเชื่อถือได้บนพื้นฐานด้านเวลา ด้านปริมาณ ด้านความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ของสภาวะการขาดน้ำ และความน่าเชื่อถือได้ของการเกิดสภาวะน้ำท่วมบนพื้นฐานของเวลามีค่าเป็น 0.9799, 1.3150, 0.5000 และ 1.0000 ตามลำดับสำหรับในส่วนของการตรวจสอบแบบจำลองและ 0.9582, 1.3220, 0.5000 และ 1.0000 ตามลำดับสำหรับในส่วนของการปฏิบัติงานด้วย Parametric Rule

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานทั้งสองแสดงให้เห็นว่า การปฏิบัติงานด้วย Rule Curve ให้ค่าประสิทธิผลที่ดีกว่า Parametric Rule โดยครอบคลุมทุก ๆ ประเด็นดังที่กล่าวมา ดังนั้นแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันซึ่งผ่านการปรับเทียบจนกระทั่งสามารถเลียนแบบพฤติกรรมจริงของระบบได้ใกล้เคียงที่สุดแล้ว จะถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการจำลองระบบในแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำลุ่มน้ำแม่กลองในลำดับถัดไป สำหรับผลที่ได้จากการจำลองระบบทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก จ ภาพผนวกที่ จ1-จ9

2) ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันในสถานการณ์อนาคต

เมื่อจำลองการปฏิบัติงานตั้งแต่ปี 2528-2547 โดยอ้างอิงข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในสถานการณ์อนาคตที่มีค่าเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นประมาณ 25% จากสถานะเดิม หรือคิดเป็น 8,760 ล้าน ลบ.ม./ปี อันเนื่องมาจากการขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ที่เพิ่มมากขึ้นพบว่า ระบบพยายามที่จะตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นให้ได้มากที่สุด โดยเพิ่มการปล่อยน้ำจากทั้งสองอ่างขึ้นประมาณ 14.33% เป็น 11,331 ล้าน ลบ.ม./ปี ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น 12.13% หรือเฉลี่ยรายปีมีค่าเป็น 2,209 กิกะวัตต์ชั่วโมง อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำต้นทุนของระบบที่เหลืออยู่หลังสิ้นสุดการจำลองจะน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะจริงของระบบ ซึ่งจากการตรวจสอบการใช้งานด้วยการจำลองระบบต่อไปอีกพบว่า ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีปริมาณมาก นอกจากนี้จากการประเมินดัชนีแสดงผลการปฏิบัติงานโอกาสที่จะเกิดการขาดน้ำมีสูงขึ้น ในขณะที่โอกาสที่จะเกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 20 ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Reservoir States	Operation Record		Multireservoir Operation Model				
	1985-2004	2001-2004	Existing Case			Parametric Rule: $R_i=b_i \cdot WR$	Future Case
			Operating Rule Curve				Operating Rule Curve
			Simulation ¹	Calibration ²	Validation ³		Simulation ³
1. Average release (mcm/yr)							
-Total release of SND	5,046	5,704	4,983	4,962	6,052	6,125	5,330
-Total release of VJK	4,865	5,883	4,941	4,945	6,207	6,262	6,001
-Total release of the system	9,911	11,586	9,924	9,907	12,259	12,387	11,331
-Total release of TN	4,068	4,938	4,086	4,080	5,016	6,196	4,225
-Total release of MK	10,907	12,619	11,397	11,382	10,826	10,886	12,215
-Total Reverse pumping	978	766	985	991	1,095	1,162	1,108
-Total surplus release	4,494	4,693	4,402	4,446	2,702	2,798	4,075
-Total water demand	6,975	8,234	6,975	6,975	8,234	8,234	8,760
2. Average energy (GWh/yr)							
-Total energy of SND	1,176	1,176	1,274	1,289	1,592	1,625	1,353
-Total energy of VJK	645	645	587	581	771	789	707
-Total energy of TN	148	148	149	147	176	154	149
-Total energy of the system	1,970	1,970	2,010	2,017	2,539	2,568	2,209

ตารางที่ 20 (ต่อ)

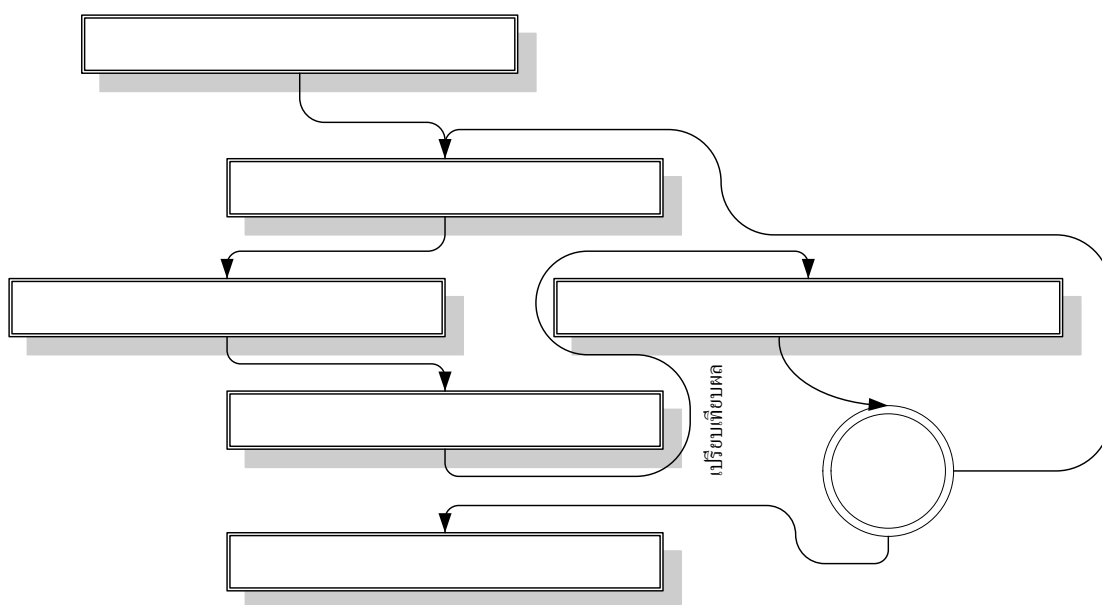
Reservoir States	Operation Record		Multireservoir Operation Model				
	1985-2004	2001-2004	Existing Case			Future Case	
			Operating Rule Curve			Parametric Rule: $R_t=b_t \cdot WR$	Operating Rule Curve
			Simulation ¹	Calibration ²	Validation ³		
3. Available storage at the end of simulation (mcm)							
-Storage of SND	14,217	14,217	16,007	16,169	15,052	14,977	14,491
-Storage of VJK	7,025	7,025	5,635	5,548	5,811	5,606	6,044
-Total storage of the system	21,242	21,242	21,642	21,717	20,863	20,583	20,535
4. Performance indices (Ratio)							
-Time based reliability	0.8769	0.9999	0.8856	0.8615	0.9799	0.9582	0.7334
-Quantity based reliability	1.5200	1.5300	1.5940	1.5910	1.3150	1.3220	1.3950
-Occurrence based reliability	0.4988	0.4988	0.5011	0.5010	0.5000	0.5000	0.5007
-Flood reliability	0.9998	1.0000	0.9987	0.9986	1.0000	1.0000	0.9982
Total release of TN+Total Reverse pumping	5,046	5,704	5,071	5,071	6,111	7,358	5,333
Total release of VJK+Total release of TN	8,933	10,821	9,027	9,024	11,223	12,458	10,226
Total release of MK-Total surplus release	6,412	7,926	6,995	6,936	8,123	8,087	8,141

¹ The existing rule curve was used for the multireservoir simulation model from 1985 to 2004.² The revised rule curve developed in 2001 was used for the multireservoir simulation model from 1985 to 2004.³ The data from 2001 to 2004 was used for validation and parametric rule simulation model.

การพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

1. แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลอง

ในการพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำนั้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นการพัฒนาองค์ประกอบย่อยที่สำคัญเข้าด้วยกันเพื่อเป็นแบบจำลองหลัก โดยในเบื้องต้นจะเป็นการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง และใช้กลุ่มของตัวแปรสุ่มเป็นข้อมูลป้อนเข้าของระบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้จะถูกคัดเลือกสำหรับนำมาใช้ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัด จากนั้นทดสอบการใช้งานของฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดเพื่อประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ หากค่าที่ได้จากผลการทดสอบไม่สอดคล้องกับดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผลการปฏิบัติงานจริง จะต้องทำการปรับเทียบฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดใหม่ ด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันจนกระทั่งสามารถให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ตอบรับกับผลการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 50

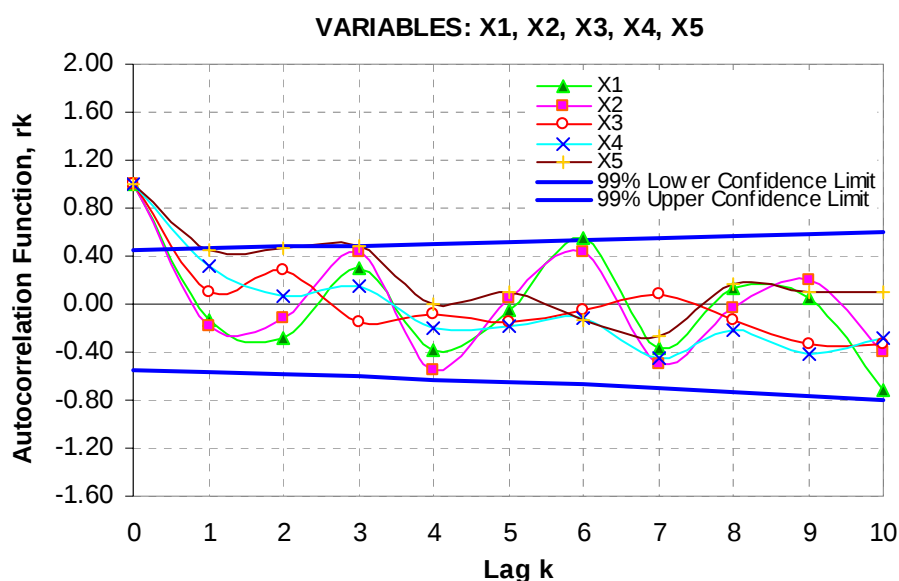


ภาพที่ 50 แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว จะถูกนำมาใช้งานจริงทั้งในส่วนของการประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ และคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ระดับความน่าเชื่อถือได้ต่าง ๆ ในลำดับถัดไป

2. การคัดเลือกตัวแปรและทดสอบความเป็นตัวแปรสุ่ม (Randomness)

ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลักสมมูลของน้ำทั้งระบบในกลุ่มน้ำแม่กลองจะถูกนำมาพิจารณาความสำคัญ เพื่อทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีความเหมาะสม ในที่นี้ได้พิจารณาใน 5 ตัวแปรหลักได้แก่ X1, X2, X3, X4 และ X5 โดยหมายถึงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธของเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ เขื่อนท่าทุ่งนา เขื่อนแม่กลอง และปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ตามลำดับ ตามรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วในส่วนของการศึกษา ซึ่งจากการทดสอบลักษณะความเป็นตัวแปรสุ่มของตัวแปร X1-X5 รายปีด้วยการวิเคราะห์ Autocorrelation Function ที่ช่วงเวลาต่างกัน k (Lag k) เพื่อศึกษาความเป็นอิสระของแต่ละตัวแปรพบว่า ทุกตัวแปรมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มอิสระ (Independence Random Variables) ที่ให้ค่า Autocorrelation Function อยู่ภายในช่วงขอบเขตความเชื่อมั่นต่ำสุดและสูงสุดที่ 99% ซึ่งหมายถึงค่าความสัมพันธ์ในตัวเองของแต่ละตัวแปรไม่แตกต่างไปจาก 0 นั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 Autocorrelation Function ของตัวแปรสุ่ม X1-X5

แต่ละตัวแปรนับได้ว่าเป็นมีความสำคัญต่อการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง เนื่องจากเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงสถานภาพทางด้านปริมาณน้ำต้นทุนของแต่ละอ่างเก็บน้ำ รวมถึงปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ครอบคลุมทั้งระบบ นอกจากนี้ทั้งข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธของเขื่อนแต่ละอ่างเก็บน้ำและข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำที่มีลักษณะเป็นตัว

แปรสุม ยังสะท้อนให้เห็นถึงหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำที่แตกต่างกันไปในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือได้ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำโดยตรง

สำหรับผลจากการทดสอบการฟิตฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของตัวแปร **X1-X5** ด้วยวิธี Smirnov-Kolmogorov พบว่า ฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Gumbel มีความเหมาะสมกับตัวแปร **X1-X5** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งผลการฟิตของข้อมูลแต่ละตัวแปรแสดงในภาคผนวก ง ภาพผนวกที่ ง1-ง5

3. การจัดกลุ่มของตัวแปรสุม

จากตัวแปรที่ผ่านการพิจารณาความสำคัญและทำการคัดเลือกในลำดับข้างต้น จะนำมากำหนดค่าของตัวแปรสุม **X1-X5** เป็น **[X1; X11, X12, X13], [X2; X21, X22, X23], [X3; X31, X32, X33], [X4; X41, X42, X43]** และ **[X5; X51, X52, X53]** เพื่อจัดกลุ่มของตัวแปรสุมในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง ทั้งนี้เพื่อให้ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำได้ค่าความเสี่ยงในช่วงที่ยอมรับได้ตามที่ต้องการ สำหรับผลการจัดกลุ่มของตัวแปรสุมในรูปแบบต่าง ๆ นั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง ตารางผนวกที่ ง1 ในขณะที่หลักเกณฑ์การกำหนดค่าของตัวแปรสุม **X1-X5** จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณด้วยข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรสุมนั้นจะแตกต่างกันไปตามโหมดสถานะความล้มเหลวที่พิจารณา ตลอดจนสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างเช่น **X5** ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งระบบลุ่มน้ำแม่กลอง จะกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ให้มีค่าสูงกว่าข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งสอดคล้องตามสถานการณ์ความต้องการน้ำที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ ในขณะที่การจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำให้ได้ค่าความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมในช่วงที่ยอมรับได้นั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร **X1-X4** ซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณต้นทุนของระบบจะกำหนดให้มีค่าสูงกว่าข้อมูลจริงที่มีอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากสถานะน้ำท่วมเป็นผลกระทบโดยตรงจากการที่ระบบมีปริมาณน้ำต้นทุนมากเกินไป สำหรับสถานะการขาดน้ำซึ่งเป็นผลจากการที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร **X1-X4** จะกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าข้อมูลจริงที่มีอยู่ ในขณะที่สถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร **X1-X4** จะกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าและสูงกว่าข้อมูลจริงที่มีอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การกำหนดค่าของตัวแปรสุ่ม **X1-X5** สำหรับนำมาใช้จัดกลุ่มของตัวแปรสุ่มเพื่อจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง

Random Variables	Flood Mode	Shortage Mode		Energy Mode
		Type 1	Type 2	
1. X1 (Net Reservoir Inflow of SND)				
X11	X1	0.80 X1	0.80 X1	0.80 X1
X12	1.25 X1	0.90 X1	0.90 X1	X1
X13	1.50 X1	X1	X1	1.25 X1
2. X2 (Net Reservoir Inflow of VJK)				
X21	X2	0.80 X2	0.80 X2	0.80 X2
X22	1.25 X2	0.90 X2	0.90 X2	X2
X23	1.50 X2	X2	X2	1.25 X2
3. X3 (Net Reservoir Inflow of TN)				
X31	X3	0.80 X3	0.80 X3	0.80 X3
X32	1.25 X3	0.90 X3	0.90 X3	X3
X33	1.50 X3	X3	X3	1.25 X3
4. X4 (Net Reservoir Inflow of MK)				
X41	X4	0.80 X4	0.80 X4	0.80 X4
X42	1.25 X4	0.90 X4	0.90 X4	X4
X43	1.50 X4	X4	X4	1.25 X4
5. X5 (Water Demand)				
X51	X5	X5	X5	X5
X52	1.25 X5	1.25 X5	1.25 X5	1.25 X5
X53	1.50 X5	1.50 X5	1.50 X5	1.50 X5

หมายเหตุ Flood Mode: **X11 = X1, X21 = X2, X31 = X3, X41 = X4, X51 = X5**

Shortage Mode: **X13 = X1, X23 = X2, X33 = X3, X43 = X4, X51 = X5**

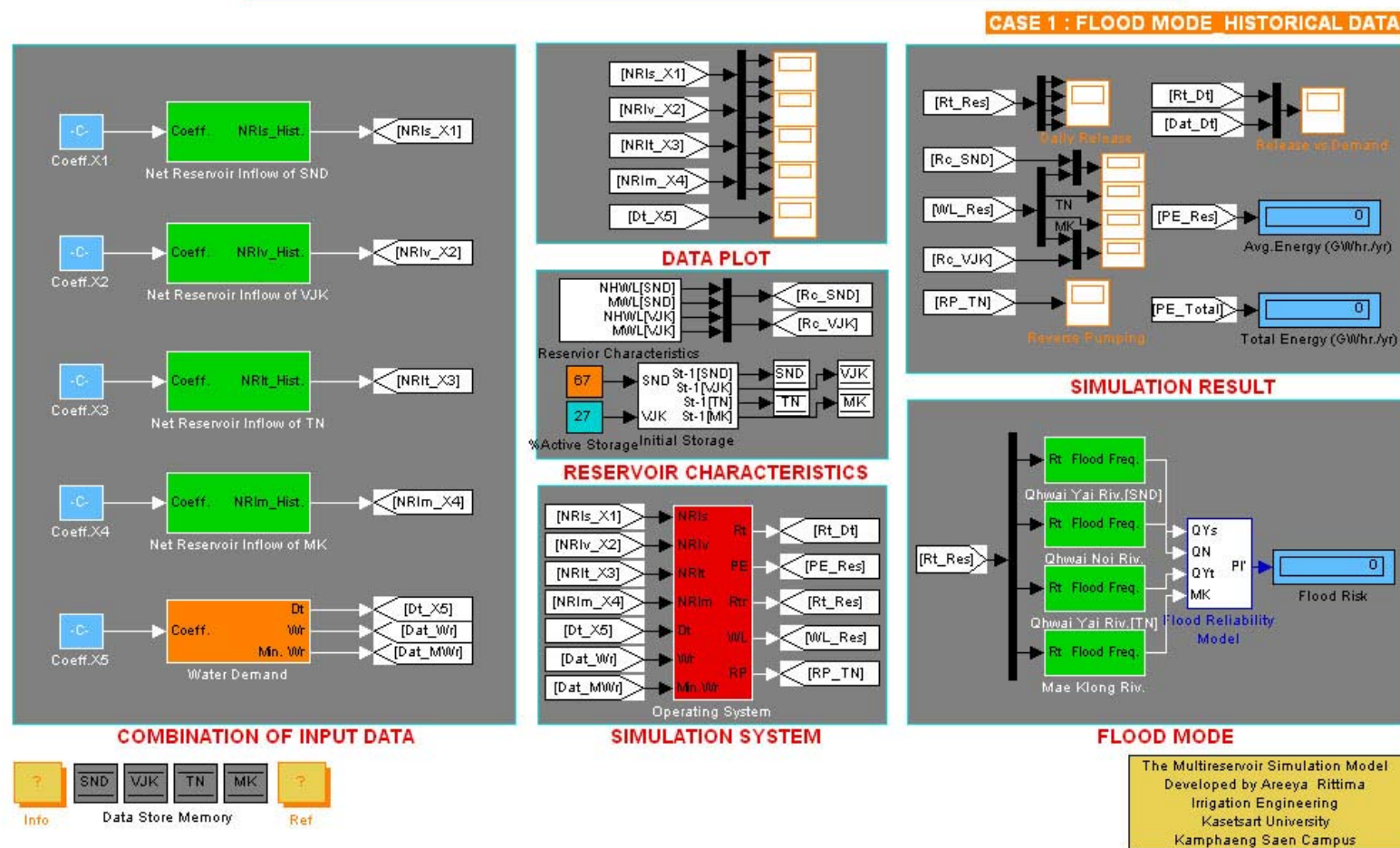
Energy Mode: **X12 = X1, X22 = X2, X32 = X3, X42 = X4, X51 = X5**

4. ผลการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง

ผลการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Analysis Simulation Model) ด้วยโปรแกรม MATLAB สำหรับใช้เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำนั้นจะครอบคลุม 3 สภาวะได้แก่ สภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) สภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode) โดยครอบคลุม 2 สถานการณ์ดังนี้คือ สถานการณ์ปัจจุบัน (Existing Case หรือ Case 1) ซึ่งกำหนดให้รูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงปัจจุบัน และใช้กลุ่มของตัวแปรสุ่มจากข้อมูลจริงที่มีอยู่ (Historical Data) เป็นข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลอง และสถานการณ์ในอนาคต (Future Case หรือ Case 2) ที่กำหนดรูปแบบของปริมาณความต้องการน้ำให้มีแนวโน้มคงที่ตามทิศทางการพัฒนาลุ่มน้ำเต็มศักยภาพในอนาคต และใช้กลุ่มของตัวแปรสุ่มจากข้อมูลสังเคราะห์ใหม่ (Synthetic Data) เป็นข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลอง ผลการพัฒนาแบบจำลองทั้งหมดแสดงในภาพที่ 52-57

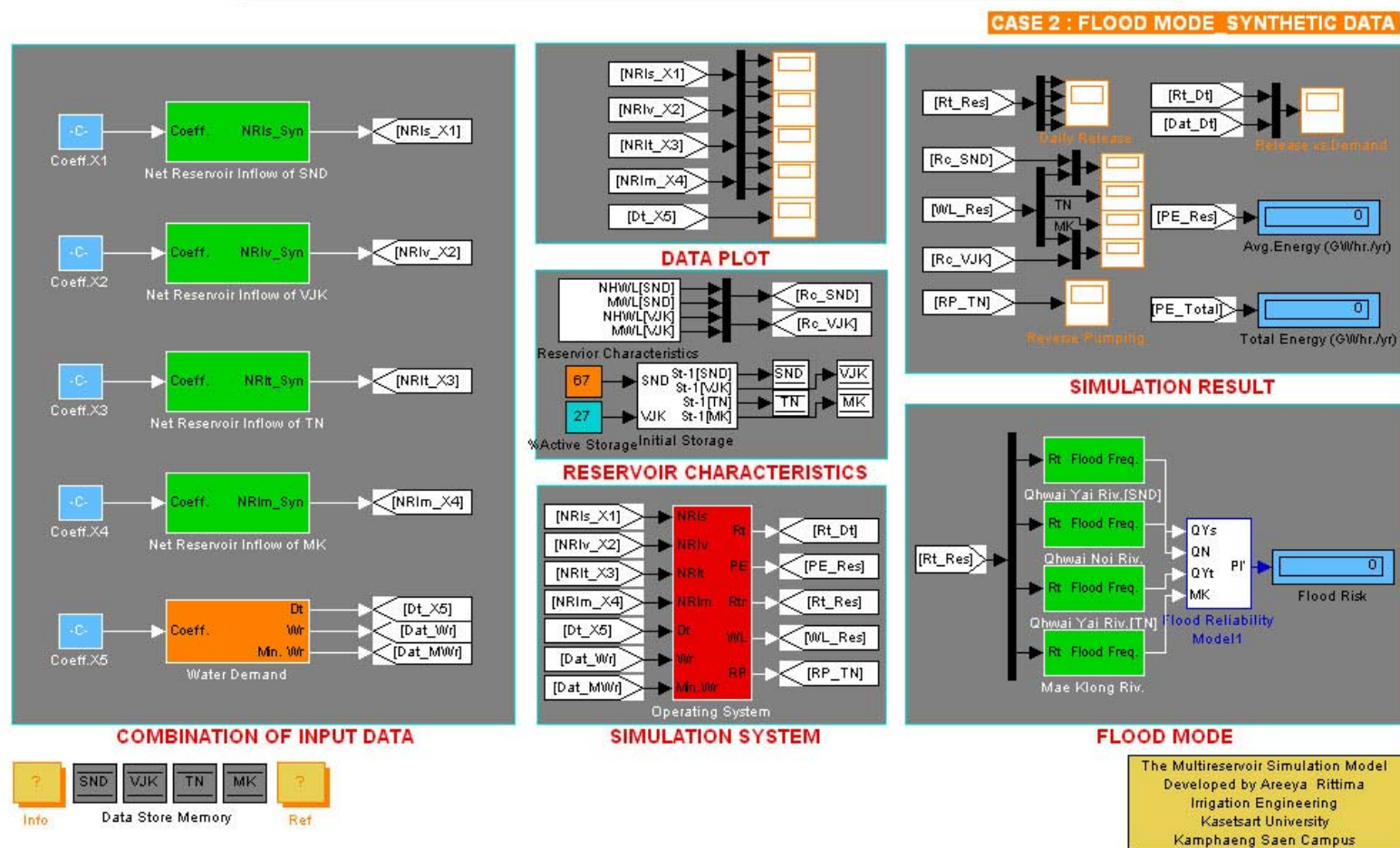
องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง จะคล้ายคลึงกับแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง กล่าวคือจะประกอบด้วยองค์ประกอบของข้อมูลป้อนเข้ารายวันของแบบจำลองซึ่งเป็นกลุ่มของตัวแปรสุ่มทั้ง 5 ตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้น ลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Characteristics) การพล็อตค่าของข้อมูล (Data Plot) การจำลองระบบ (Simulation System) ซึ่งกำหนดเงื่อนไข เกณฑ์การปฏิบัติงาน ตลอดจนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำซึ่งผ่านการปรับเทียบจนกระทั่งสามารถเลียนแบบพฤติกรรมจริงของระบบได้ใกล้เคียงที่สุด การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง (Simulation Result) และการกำหนดสถานะความล้มเหลวของระบบในเทอมของ Load และ Resistance ทั้ง 3 สภาวะการทำงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เพิ่มเข้ามาสำหรับแบบจำลองนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบจะเป็นค่าความเสี่ยง (Risk) ในการปฏิบัติงานของกลุ่มของตัวแปรสุ่มในรูปแบบต่าง ๆ

PART 3.1 : RISK ANALYSIS SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



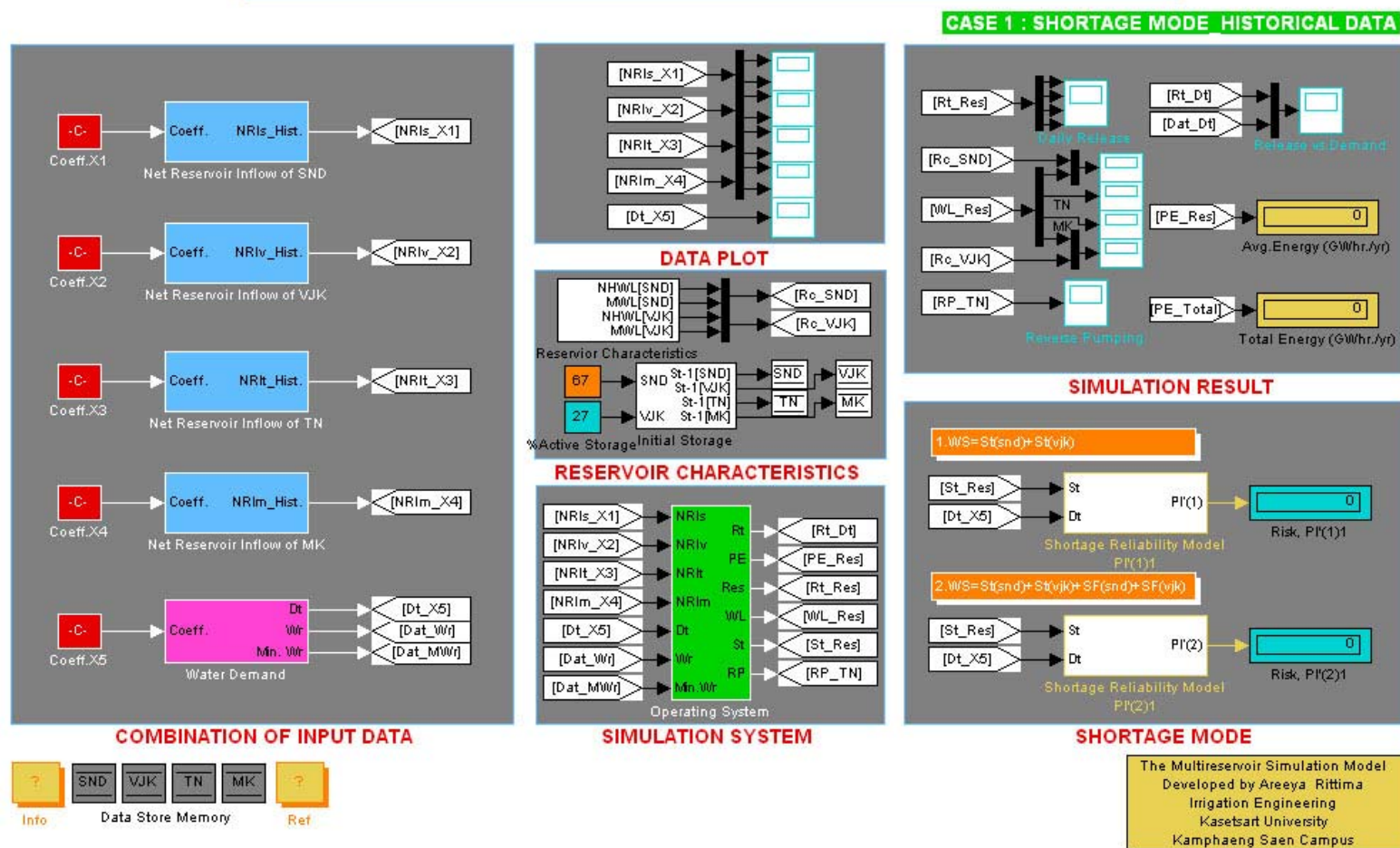
ภาพที่ 52 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสภาวะน้ำท่วมในสถานการณ์ปัจจุบัน

PART 3.1 : RISK ANALYSIS SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



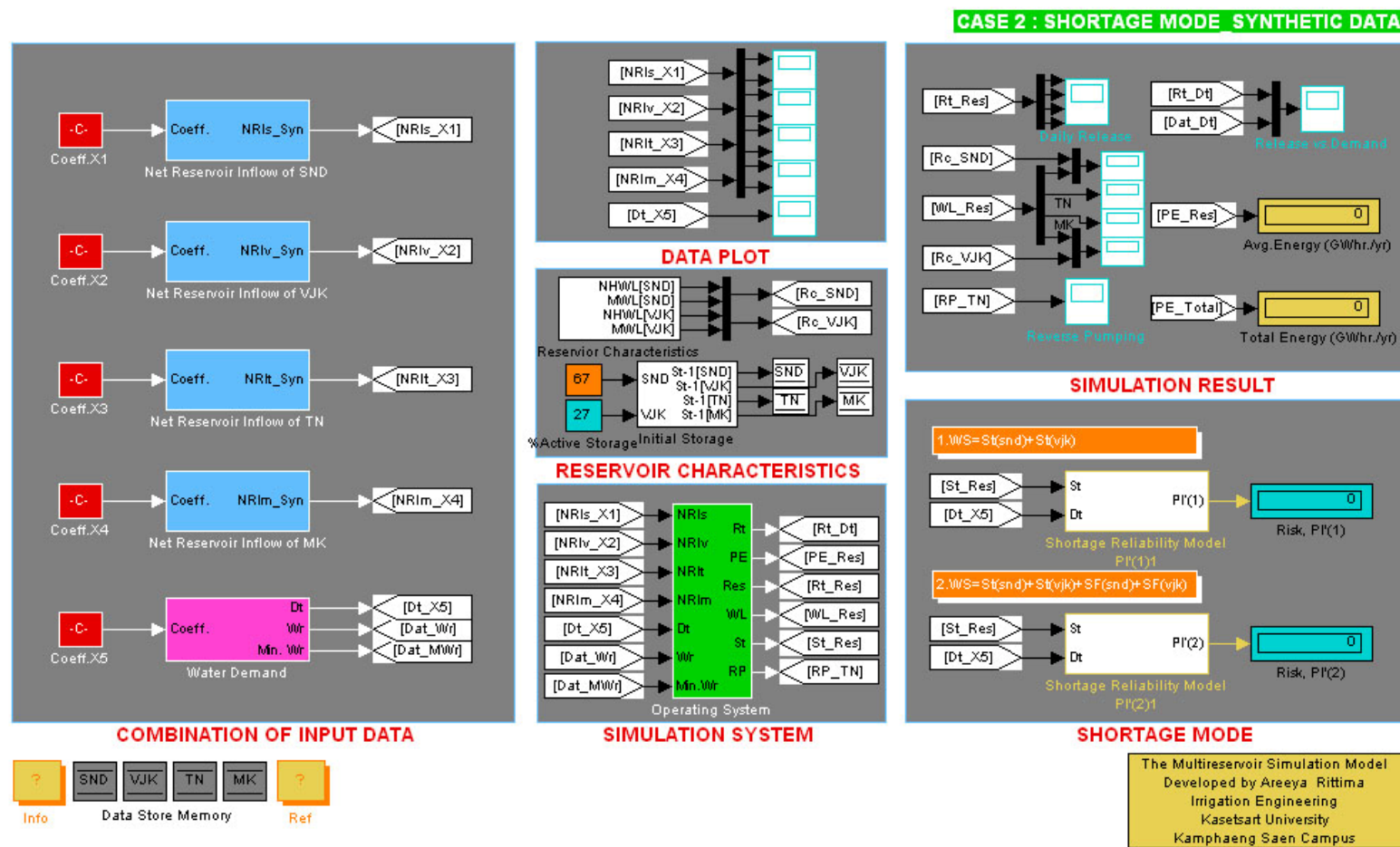
ภาพที่ 53 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสภาวะน้ำท่วมในสถานการณ์อนาคต

PART 3.2 : RISK ANALYSIS SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



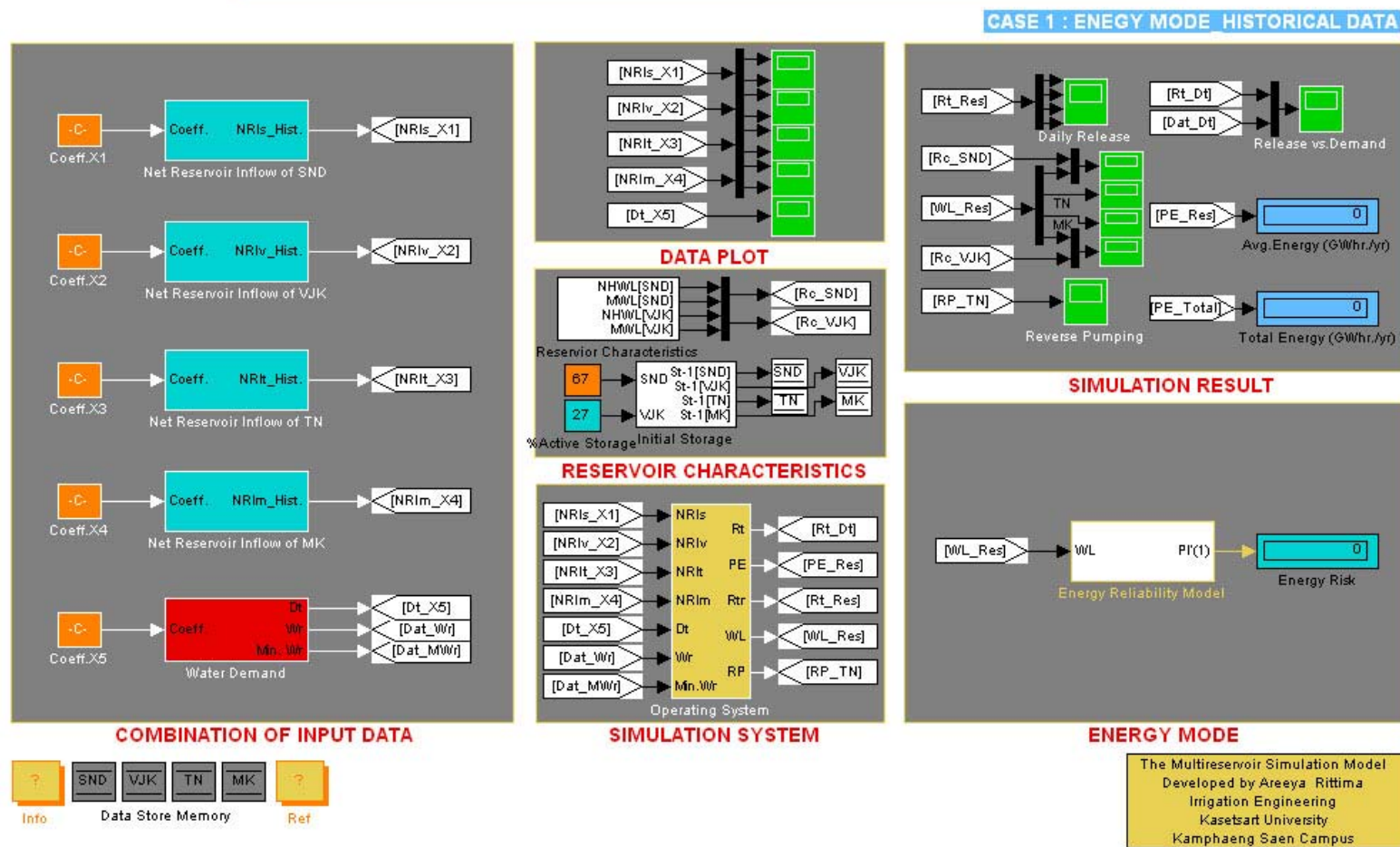
ภาพที่ 54 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานการณ์ขาดน้ำในสถานการณ์ปัจจุบัน

PART 3.2 : RISK ANALYSIS SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



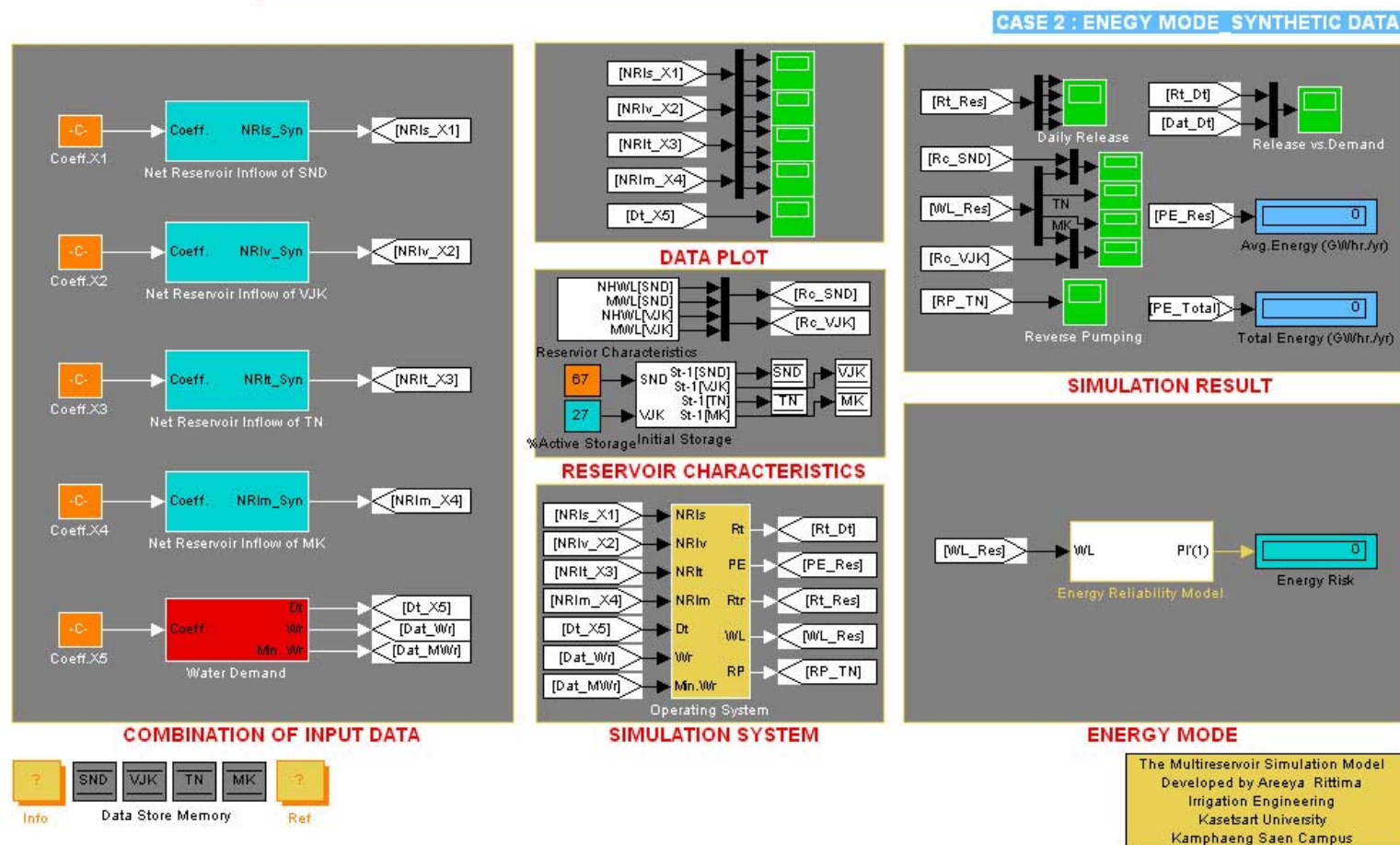
ภาพที่ 55 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสภาวะการขาดน้ำในสถานการณ์อนาคต

PART 3.3 : RISK ANALYSIS SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



ภาพที่ 56 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพในสถานการณ์ปัจจุบัน

PART 3.3 : RISK ANALYSIS SIMULATION MODEL OF MAE KLONG RIVER BASIN SINCE 1985-2004



ภาพที่ 57 แบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพในสถานการณ์อนาคต

5. การวิเคราะห์ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำนั้นจะเป็นค่าความเสี่ยงในแต่ละกลุ่มของตัวแปรสุ่มของแต่ละสถานะที่กำหนด จากนั้นจะคัดเลือก กลุ่มของตัวแปรสุ่มต่าง ๆ ที่สามารถจำลองการปฏิบัติงานแล้วให้ค่าความเสี่ยงในช่วงที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดในตารางที่ 5 เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในกลุ่มของตัวแปรสุ่มกับค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ในรูปของสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) คือ $\text{Allowable Risk} = c1.X1+c2.X2+c3.X3+c4.X4+c5.X5$ จากนั้นวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ c_i โดยใช้ Solver ใน Microsoft Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดในรูปของ $g(X) = \Delta-[c1.X1+c2.X2+c3.X3+c4.X4+c5.X5] = 0$ ซึ่งหลักการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ c_i ได้กล่าวถึงในรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษาที่ผ่านมา ผลที่ได้จะทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์ $c1, c2, c3, c4$ และ $c5$ ซึ่งสรุปผลไว้ในตารางที่ 22

ดังนั้นฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดของแต่ละโหมดการทำงานที่พัฒนาขึ้น จึงเป็นสมการที่บ่งชี้ถึงสภาพสมดุลระหว่างขอบเขตความปลอดภัย (Safety Domain) และขอบเขตความล้มเหลว (Failure Domain) ของการปฏิบัติงานภายใต้ความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ของแต่ละสถานะความล้มเหลวที่พิจารณา กล่าวคือหาก $g(X) \geq 0$ จะถือว่าระบบจะอยู่ในสถานะปลอดภัย (Safe Mode) ในทางกลับกันหาก $g(X) < 0$ จะหมายถึงระบบจะอยู่ในสถานะที่ประสบความล้มเหลว (Failure Mode) นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำก็คือฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (Limit State Function) ที่พัฒนาขึ้นมานั่นเอง

ตารางที่ 22 ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่ได้สำหรับนำไปวิเคราะห์ดัชนีความน่าเชื่อถือได้

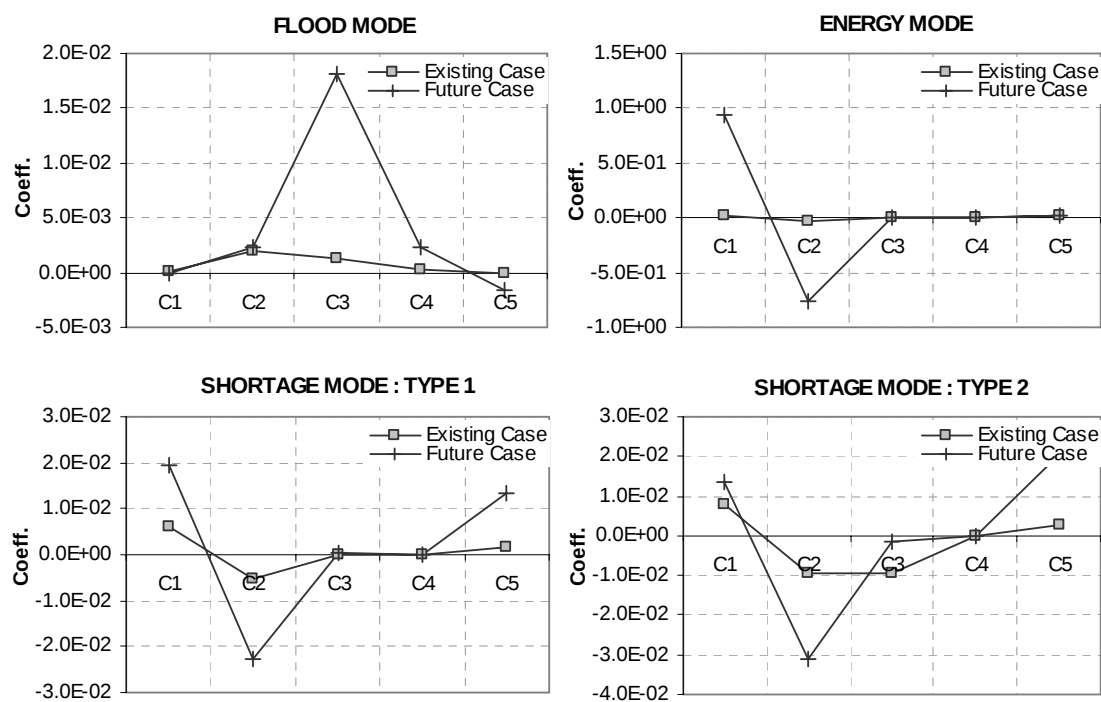
Mode	Case	Probability Density Function of Random Variables					Allowable Risk (Δ_i)	Limit State Function
		X1	X2	X3	X4	X5		
1. Flood Mode	Existing Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	3%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(8.46542\text{E-}05\mathbf{X1}) + (0.00192378\mathbf{X2}) + (0.00136079\mathbf{X3}) + (0.00024683\mathbf{X4}) + (0.00012741\mathbf{X5})] = 0$
	Future Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	3%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(1.02704\text{E-}05\mathbf{X1}) + (0.00225344\mathbf{X2}) + (0.01809699\mathbf{X3}) + (0.00237978\mathbf{X4}) - (0.00162241\mathbf{X5})] = 0$
2. Shortage Mode								
-Type 1*	Existing Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	5%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(0.00601641\mathbf{X1}) - 0.00537854\mathbf{X2}) - (1.81049\text{E-}04\mathbf{X3}) + (0.00000040\mathbf{X4}) + (0.00167812\mathbf{X5})] = 0$
	Future Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	5%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(0.01959680\mathbf{X1}) - (0.02281626\mathbf{X2}) + (4.16858\text{E-}04\mathbf{X3}) + (0.00016734\mathbf{X4}) + (0.01350511\mathbf{X5})] = 0$

ตารางที่ 22 (ต่อ)

Mode	Case	Probability Density Function of Random Variables					Allowable Risk (Δ_i)	Limit State Function
		X1	X2	X3	X4	X5		
-Type 2*	Existing Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	5%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(0.00801934\mathbf{X1}) - (0.00958606\mathbf{X2}) - (9.69685E-03\mathbf{X3}) + (0.00261409\mathbf{X5})]$ $= 0$
	Future Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	5%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(0.01343904\mathbf{X1}) - (0.03098628\mathbf{X2}) - (1.61614E-03\mathbf{X3}) + (0.00000001\mathbf{X4}) + (0.02083130\mathbf{X5})]$ $= 0$
3. Energy Mode	Existing Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	30%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(0.02768906\mathbf{X1}) - (0.02588305\mathbf{X2}) - (0.00502800\mathbf{X3}) + (0.00000005\mathbf{X4}) + (0.01783694\mathbf{X5})]$ $= 0$
	Future Case	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	30%	$g(\mathbf{X}) = \Delta_i - [(0.93908717\mathbf{X1}) - (0.75549954\mathbf{X2}) - (0.00258583\mathbf{X3}) + (0.01758811\mathbf{X5})]$ $= 0$

* Side flow data wasn't considered to define the resistance term of limit state function for type 1 of shortage mode whereas it was taken into account for type 2 of shortage mode.

จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ c_1, c_2, c_3, c_4 และ c_5 ของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทั้ง 3 สถานะโดยครอบคลุมทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและสถานการณ์ในอนาคตซึ่งแสดงในภาพที่ 58 พบว่าตัวแปรทุกตัวไม่ว่าจะเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อน วชิราลงกรณ เขื่อนท่าทุ่งนา และเขื่อนแม่กลอง ตลอดจนปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการกิจกรรมต่าง ๆ นั้นมีความสำคัญต่อฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดที่ได้ของสถานะน้ำท่วม (Flood Mode) และสถานะการขาดน้ำ (Shortage Mode) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างไปจาก 0 อย่างชัดเจนทั้งในสถานการณ์ปัจจุบันและคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนแม่กลอง หรือ X_4 มีความสำคัญค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานะการขาดน้ำประเภทที่สองให้ค่าสัมประสิทธิ์ใกล้เคียง 0 อย่างชัดเจน ในทำนองเดียวกันสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode) พบว่าตัวแปรที่มีความสำคัญได้แก่ X_1, X_2, X_3 และ X_5 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนท่าทุ่งนา และปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการกิจกรรมต่าง ๆ ตามลำดับ ในขณะที่ X_4 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนแม่กลองมีค่าเข้าใกล้ 0 โดยครอบคลุมทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิของเขื่อนแม่กลองไม่มีผลต่อสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบมากนัก



ภาพที่ 58 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดในแต่ละโหมด

6. การทดสอบแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

การทดสอบการใช้งานของฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดหรือแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 โหมดที่พิจารณานั้นจะครอบคลุมทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและในอนาคต โดยทำการพัฒนาใน Microsoft Excel เพื่อสังเคราะห์ตัวแปรสุ่มตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของแต่ละตัวแปรที่ผ่านการทดสอบการฟิตเพื่อคัดเลือกฟังก์ชันการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Gumbel เพื่อสังเคราะห์ตัวแปรสุ่มทั้ง 5 คือ **X1**, **X2**, **X3**, **X4** และ **X5** ตามคุณสมบัติทางสถิติของแต่ละตัวแปรสุ่มดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 คุณสมบัติทางสถิติของตัวแปรสุ่ม **X1-X5**

Random Variables	Statistical Characteristics		Probability Density
	Mean	Standard Deviation	Function
1. Existing Case			
X1	11.34	18.22	Gumbel
X2	14.00	28.57	Gumbel
X3	0.31	1.06	Gumbel
X4	6.81	13.63	Gumbel
X5	19.62	5.75	Gumbel
2. Future Case			
X1	11.34	18.22	Gumbel
X2	14.00	28.57	Gumbel
X3	0.31	1.06	Gumbel
X4	6.81	13.63	Gumbel
X5	22.88	6.70	Gumbel

กำหนดจำนวนรอบในการทดสอบทั้งสิ้น 500 รอบ ในแต่ละรอบจะสังเคราะห์ข้อมูลตามจำนวนช่วงเวลา (Time Step) ที่กำหนดคือ 365 วัน หรือ 1 ปี ข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์สามารถแสดงในลักษณะกราฟของตัวแปรนั้น ๆ เพื่อตรวจสอบความเคลื่อนไหวของข้อมูลในเบื้องต้นก่อน

นำไปใช้วิเคราะห์ในลำดับถัดไป จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติในเทอมของค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของตัวแปรสุ่มทั้งหมด และนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สังเคราะห์มาแทนค่าในฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด หาก $g(\mathbf{X}) < 0$ แสดงว่าระบบอยู่ในสถานะความล้มเหลว (Failure Mode) นั่นเอง และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการตรวจสอบความถี่ที่ระบบประสบความล้มเหลวจากจำนวนรอบทั้งหมดที่ทำการสังเคราะห์ข้อมูล ทั้งนี้เพื่อประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบบนพื้นฐานของเวลา รายละเอียดทั้งหมดแสดงในภาพที่ 59

การทดสอบการใช้งานของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทั้ง 3 โหมดที่พิจารณา จะแตกต่างกันที่ค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดและค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของแต่ละโหมด ในขณะเดียวกันการสังเคราะห์ $\mathbf{X5}$ ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในสถานการณ์ปัจจุบันจะกำหนดค่าคุณสมบัติทางสถิติแตกต่างไปจากสถานการณ์ในอนาคตที่ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $\mathbf{X5}$ สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การทดสอบการใช้งานของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดด้วยการกระทำซ้ำหลาย ๆ รอบเพื่อประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้เฉลี่ย จะทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสูงยิ่งขึ้น

TEST OF RELIABILITY MODEL

DEVELOPED BY AREEYA RITTIMA
DEPARTMENT OF IRRIGATION ENGINEERING, KASETSART UNIVERSITY

LIMIT STATE FUNCTION

RELIABILITY MODEL AT 5% OF RISK

$$g(X) = \Delta - [c1.X1 + c2.X2 + c3.X3 + c4.X4 + c5.X5]$$

NUMBER OF TIME STEPS (N) 365

NUMBER OF VARIABLES (M) 5

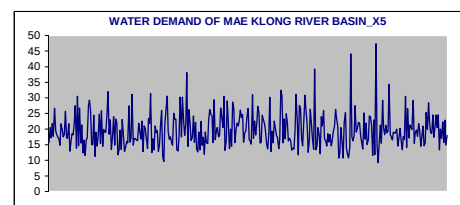
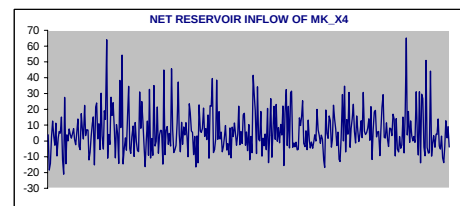
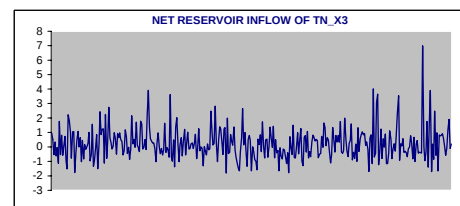
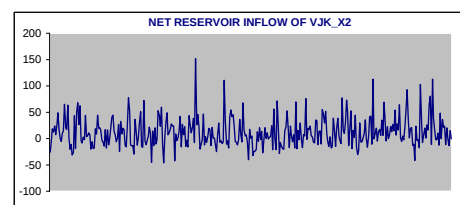
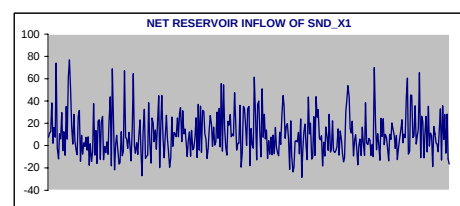
ITERATIONS (ITER) 500

Reliability Analysis

	X1	X2	X3	X4	X5
MEAN OF VARIABLES	9.07	11.20	0.25	5.45	19.62
STDEV. OF VARIABLES	18.22	28.57	1.06	13.63	5.75
RELIABILITY INDICES	0.9980				

ALLOWABLE RISK	0.053
C1	0.00601641
C2	-0.00537854
C3	-1.810E-04
C4	0.00000040
C5	0.00167812
FAILURE EVENT	1.00
F(X)	0.025
CONDITION	0

TIME SERIES	GENERATION OF CONTINUOUS RANDOM NUMBER				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	7.6404	-25.6806	0.9529	3.8842	15.6375
2	11.2608	-3.8754	0.5169	-18.3251	20.4530
3	12.7311	18.4217	-0.5397	-14.2715	17.1783
4	38.2610	12.4268	0.3447	2.6060	21.7402
5	2.2160	24.2394	-0.6134	12.5916	17.6717
6	16.3277	7.3792	-0.0494	2.9473	26.7148
7	7.5381	22.7408	-1.1221	-2.6704	19.5392
8	74.0440	48.8658	1.7655	11.2324	18.3317
9	-2.2721	17.3722	-0.5391	-9.4663	17.3942
10	-12.0077	0.7277	0.8024	1.9722	16.9550
11	10.5841	-5.4027	-0.5856	5.9261	14.8333
12	6.1379	10.8056	-0.0109	4.8987	21.7297
13	29.6099	14.0310	0.7208	15.0460	19.8201
14	-4.3701	64.9604	-0.9793	-11.9410	17.5495
15	12.5798	19.9935	-1.5194	-21.0249	18.2972
16	-8.6549	16.9965	2.2133	27.5592	25.7067
17	35.1214	63.6142	1.8265	-14.4490	17.3123
18	5.9349	1.2878	1.0844	3.8604	17.0632
19	61.4803	-20.2776	-0.7782	0.1016	21.6972
20	76.9197	-10.7285	1.0442	7.6081	12.9204
21	51.0795	-31.1079	1.0614	4.1215	15.6267
22	16.6897	-26.3109	-1.7709	1.6934	18.5526
23	1.3800	43.5867	-0.4713	4.5641	18.1500
24	28.1190	-18.5819	0.5294	7.7579	21.9024
25	4.3863	49.4366	1.0730	0.8735	27.4970
26	-4.3243	67.9583	-0.0074	-2.3954	13.9502
27	-8.1668	26.2615	0.6474	6.6622	30.5674
28	26.1017	62.2035	-1.0267	13.8740	14.6743
29	31.6365	-4.4218	0.4442	-3.4867	26.7437
30	-14.0814	-8.5490	-0.8349	-5.6056	15.5351
31	9.3146	2.9075	0.1690	17.2228	21.3436
32	-7.6221	-2.3300	-0.1625	7.1641	12.3642
33	2.5550	44.0365	-0.0306	1.1765	16.4897
34	-0.7404	3.6882	0.2475	22.5348	11.5880
35	7.4533	5.4594	1.0005	3.3600	16.5027
36	-3.9295	11.0059	-0.9686	7.1731	17.0909
37	7.9248	6.3273	-0.5159	6.9143	27.6455
38	-17.5203	-20.1327	1.5745	-12.0319	29.3257
39	1.7251	-5.8744	-1.3463	-7.1578	25.9524
40	-14.1387	-18.7763	-0.9586	3.1212	15.0159
41	-5.0210	-18.1805	0.0004	10.9536	15.1306
42	37.7455	18.3831	0.8593	15.1887	24.4878
43	-8.5369	8.6201	-1.5100	-15.1771	11.2529
44	13.5645	44.3048	0.2387	21.3831	19.0027
45	-15.9196	19.5156	2.4374	23.9830	14.5953
46	21.9843	20.4050	0.8511	1.3719	18.1388
47	23.1779	15.3041	1.2176	10.8840	24.7844
48	-12.3505	-2.8381	1.2477	-5.4407	15.3745
49	20.8655	-7.4937	-1.1201	30.2570	25.8588
50	26.2235	-14.3324	2.2346	3.2660	14.4709
51	-12.7297	17.1326	-0.7931	-5.0872	19.9558
52	-0.6908	-17.8146	0.3835	18.9624	19.1244
53	-6.4466	16.3848	2.7403	13.6679	18.8970
54	3.3834	-11.8374	0.6383	63.9350	25.0413
55	-7.7600	-1.2174	0.2842	-10.9249	32.0060
56	20.6601	22.3495	-0.1385	4.0330	18.3854
57	43.6678	40.4130	0.0398	-2.1902	22.9746
58	-18.1390	44.4252	0.9809	27.6213	13.4572
59	68.9434	13.7211	0.5775	16.1767	17.3092
60	17.3397	6.6083	-0.5047	24.2219	23.9823
61	-21.6338	-6.1439	0.9333	6.2522	14.8900
62	1.4506	1.0434	0.6406	-10.7543	23.2647
63	9.3543	26.8119	0.9728	10.3600	22.0389
64	-4.8474	-24.0663	0.4890	4.6892	11.7566
65	-16.6079	32.2253	0.3890	-14.2188	13.2120
:	-15.4651	8.8432	-0.5572	38.2374	19.7349
365	12.5286	19.7354	-0.2559	8.4303	13.4514



ภาพที่ 59 การทดสอบแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

7. การประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้และศึกษาความสัมพันธ์กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

การที่องค์ประกอบของ Load และ Resistance ทั้งสองมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ที่ Resistance น้อยกว่า Load อันจะทำให้ระบบประสบกับสภาวะความล้มเหลว พฤติกรรมการตอบสนองของระบบในสภาวะความล้มเหลวนี้ สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดในเทอมของ Load และ Resistance ในรูปของสมการเชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดกับประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจริงตั้งแต่ปี 2528-2547 โดยใช้รูปแบบความต้องการน้ำที่มีแนวโน้มสูงขึ้นมาทำการจำลองระบบพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 สภาวะกล่าวคือ 98.60% สำหรับสภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) 99.80% และ 100% สำหรับสภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) ประเภทที่ 1 และ 2 และ 73.60% สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode) โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริงค่อนข้างน้อยกล่าวคือ 0.72%, 0.02% และ 1.26% ตามลำดับ ที่ปริมาณน้ำความต้องการน้ำเฉลี่ย 6,975 ล้าน ลบ.ม./ปี แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำนั้นมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ดีในการนำมาใช้งาน

อย่างไรก็ตามค่าความน่าเชื่อถือได้ในสภาวะของการขาดน้ำและความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง เมื่อใช้รูปแบบความต้องการน้ำในอนาคตซึ่งมีแนวโน้มคงที่ตามทิศทางการพัฒนาลุ่มน้ำในการจำลองระบบ โดยมีค่าความน่าเชื่อถือได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันสภาวะขีดจำกัดเป็น 95.60% และ 98.40% สำหรับสภาวะการขาดน้ำประเภทที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และลดลงเป็น 51% สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ ซึ่งถึงแม้ว่าผลการจำลองระบบในสถานการณ์อนาคตนั้น จะให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงขึ้นอันเนื่องจากการปล่อยน้ำเพื่อตอบสนองกับปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายตัวของระดับน้ำเก็บกักในอ่าง (Dispersion of Reservoir Storage Level) ที่ค่อนข้างสูงทำให้ความน่าเชื่อถือได้ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานเวลาลดลง ในขณะที่โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมล้นตลิ่งแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย อันเป็นผลเนื่องจากปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยในอนาคตที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยในสภาวะปัจจุบัน ทำให้ความน่าเชื่อถือได้ของสภาวะน้ำท่วมเป็น 100% นอกจากนี้จากผลการเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือได้ของสภาวะการขาดน้ำทั้งสองประเภทชี้ชัดให้เห็นว่าการที่ระบบมีปริมาณน้ำต้นทุนที่สูงขึ้นจากการพิจารณา Side Flow เข้าไปเป็นส่วน

หนึ่งของปริมาณน้ำต้นทุนประมาณ 22% นั้น จะช่วยเพิ่มค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบให้สูงขึ้น 2.80% อีกด้วย สำหรับรายละเอียดทั้งหมดแสดงในตารางที่ 24

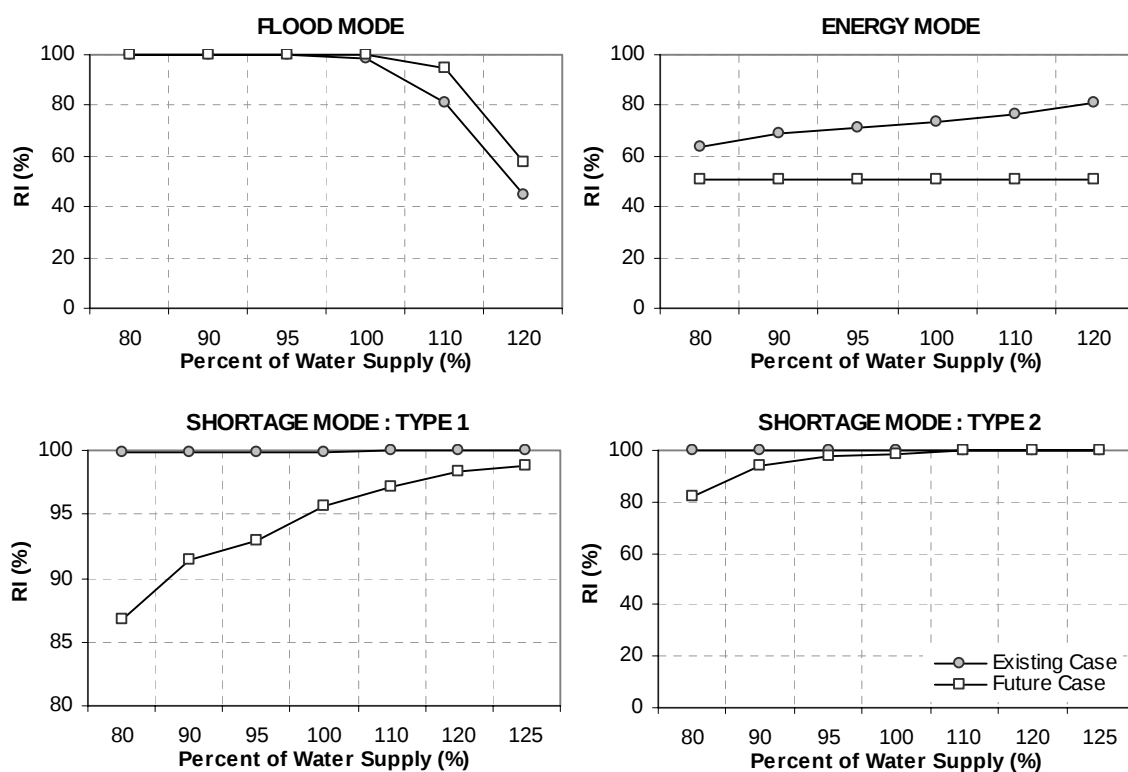
ตารางที่ 24 ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ได้จากผลการวิเคราะห์การปฏิบัติงานจริงกับแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง

Mode	Reliability Indices (RI, %)		
	Reservoir Operation Record	Reliability Model	
		Existing Case	Future Case
1. Flood Mode	97.88	98.60	100.00
2. Shortage Mode			
-Type 1: $WS = S_t$	100.00	99.80	95.60
-Type 2 $WS = S_t + SF$	100.00	100.00	98.40
3. Energy Mode	72.34	73.60	51.00

จากการประเมินผลค่าความน่าเชื่อถือของการปฏิบัติงานจริงของระบบกลุ่มน้ำแม่กลองตามแนวทางของการศึกษานี้พบว่า ในปัจจุบันโอกาสที่ระบบจะประสบความล้มเหลวจากสถานะน้ำท่วมมีค่อนข้างสูงกว่าสถานะของการขาดน้ำ อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของความจุลำนํ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งลำนํ้าแควน้อยซึ่งมีความยาวค่อนข้างมาก ทำให้มีปัญหาน้ำล้นตลิ่งเกิดขึ้นในหลาย ๆ จุดที่มีการเฝ้าระวัง ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบที่มีค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยในปัจจุบัน ทำให้โอกาสเกิดเหตุการณ์ที่ Resistance น้อยกว่า Load มีน้อยมากเมื่อวิเคราะห์สถานะการขาดน้ำ ในส่วนของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะยึดตามเกณฑ์การปฏิบัติงานปัจจุบัน ซึ่งกำหนดให้วันทำการปกติมีการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มที่ ยกเว้นวันหยุดซึ่งการใช้ไฟฟ้ามีสัดส่วนค่อนข้างน้อย

นอกจากนี้เพื่อให้เห็นแนวโน้มของค่าความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองให้มีความชัดเจนและเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น จึงได้ขยายผลการศึกษาโดยค้นแปรค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นไปได้ของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่หวัของอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 อ่าง หรือ **X1-X4** และข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำหรือ **X5** ที่ค่าต่าง ๆ กัน ได้แก่ 80%, 90%, 95%, 100%, 110% และ 120% สำหรับสถานะการไหลล้นอ่างและสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็ม

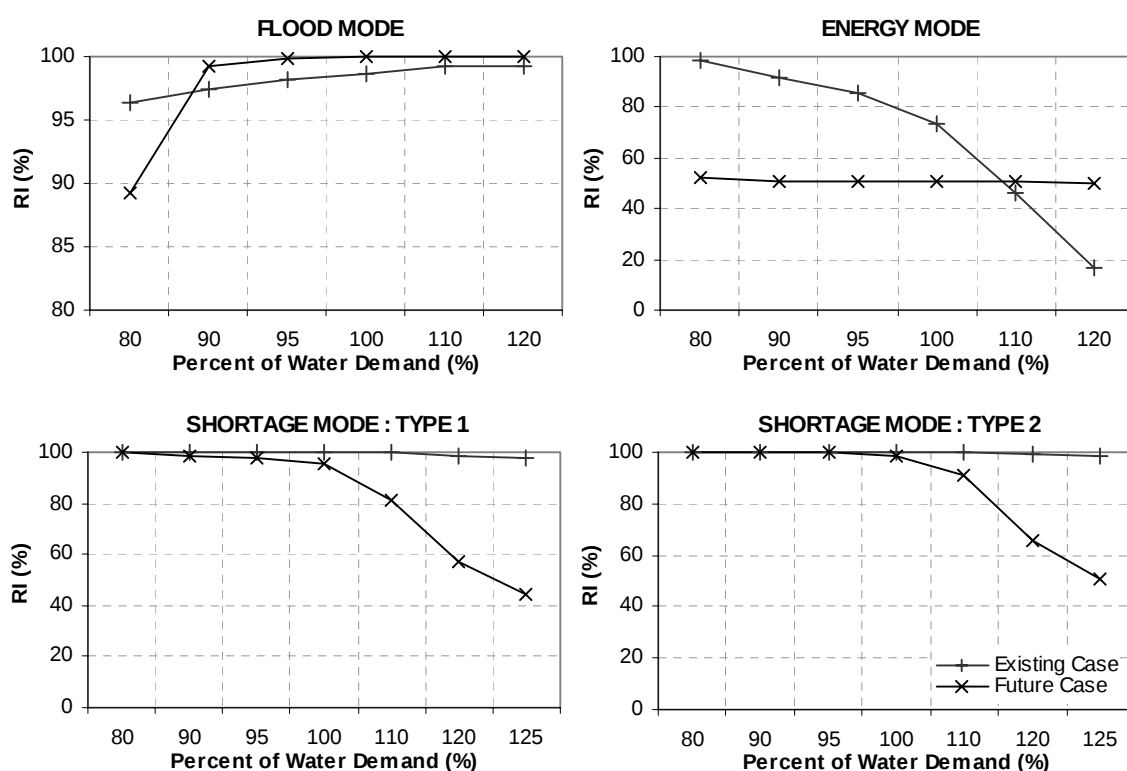
ศักยภาพ และ 80%, 90%, 95%, 100%, 110%, 120% และ 125% สำหรับสถานะการขาดน้ำ โดยครอบคลุมทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต ผลที่ได้พบว่าเมื่อปริมาณน้ำต้นทุน (Water Supply) ของระบบเพิ่มขึ้น (X1-X4) โอกาสที่จะบริหารอ่างในช่วงสภาวะน้ำมากโดยทำการปล่อยน้ำมากกว่าสภาวะปกติจะมีมากขึ้น ซึ่งหมายถึงโอกาสเสี่ยงที่ระบบจะประสบสภาวะน้ำท่วมมีมากขึ้น หรือความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานในสภาวะดังกล่าวลดลงนั่นเอง ในขณะเดียวกันการที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีมากขึ้นนี้ ส่งผลให้การสนองตอบต่อปริมาณความต้องการน้ำสามารถทำได้ดีขึ้น โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำจึงมีค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับเก็บกักในอ่างเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเอื้อประโยชน์โดยตรงต่อศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น และจากการพิจารณาพบว่าแนวโน้มของค่าความน่าเชื่อถือได้จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตดังแสดงในภาพที่ 60



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าเชื่อถือได้กับปริมาณน้ำต้นทุนของระบบ

เมื่อปริมาณความต้องการน้ำ (Water Demand) ของระบบเพิ่มขึ้น (X5) ศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับกับปริมาณความต้องการน้ำในส่วนที่

เพิ่มขึ้น ทำให้ความน่าเชื่อถือได้จากสถานะการขาดน้ำลดลง และด้วยเหตุที่ปริมาณความต้องการน้ำของระบบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ในอ่างลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง ในขณะที่โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดภาวะน้ำท่วมฉับพลันเกิดขึ้นได้ค่อนข้างน้อย นอกจากนี้อิทธิพลของรูปแบบปริมาณความต้องการน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต ยังส่งผลให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบที่มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดทุกสถานะ ยกเว้นสถานะน้ำท่วมที่ค่าความน่าเชื่อถือได้สูงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าเชื่อถือได้กับปริมาณความต้องการน้ำของระบบ

นอกจากนี้จากการประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้จากสถานการณ์ความต้องการน้ำต่าง ๆ ของลุ่มน้ำแม่กลองที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาพบว่า ถ้ามีการพัฒนาโครงการชลประทานทำล่อและขยายพื้นที่ชลประทานในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่รวมเพิ่มเป็น 320,000 ไร่ จะทำให้โอกาสเสี่ยงที่จะเผชิญกับสถานะการขาดน้ำของระบบเพิ่มสูงขึ้น โดยให้ค่าความน่าเชื่อถือได้เป็น 96.26% และ 98.20% เมื่อทำการประเมินจากฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดของการขาดน้ำประเภทที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงจากสถานการณ์ความต้องการน้ำ

ปัจจุบันอยู่ถึง 3.54% และ 1.80% ตามลำดับ และจะยังทวีความรุนแรงในแง่ของความน่าเชื่อถือได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงซึ่งเหลือเพียง 11.60% เท่านั้น อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการน้ำจากระบบที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือได้ที่จะเกิดจากสถานะน้ำท่วม

ในทำนองเดียวกันถ้ามีการพัฒนาโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่ จ.อุทัยธานี ในอนาคต จะทำให้แนวโน้มความน่าเชื่อถือได้ของระบบทั้ง 3 สถานะที่พิจารณาเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการมีโครงการชลประทานท่าล้อ อย่างไรก็ตามระดับความรุนแรงจากการขาดน้ำและศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ลดลงจะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีโครงการชลประทานท่าล้อ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ผันไปใช้น้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานในโครงการอยู่ถึง 160 ล้าน ลบ.ม./ปี

นอกจากนี้ถ้ามีทั้งสองโครงการเกิดขึ้นพร้อมกันในอนาคต จะทำให้โอกาสเสี่ยงที่จะเผชิญกับสถานะการขาดน้ำของระบบยิ่งเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากปริมาณความต้องการน้ำของระบบที่เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 20% จากปริมาณความต้องการน้ำเดิมในปี 2546 โดยให้ค่าความน่าเชื่อถือได้เป็น 93.84% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่ถึง 1.16% เมื่อทำการประเมินจากฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดของการขาดน้ำประเภทที่ 1 และจะยังส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีค่าน้อยมากเพียง 4.60% เท่านั้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ความน่าเชื่อถือได้ที่สถานการณ์ความต้องการน้ำต่าง ๆ ของลุ่มน้ำแม่กลอง

สถานการณ์ความต้องการน้ำ	Reliability Indices (RI, %)			
	Flood Mode	Shortage Mode		Energy Mode
		Type 1	Type 2	
1. สถานการณ์ความต้องการน้ำปัจจุบัน	98.60	99.80	100.00	73.60
2. ถ้ามีโครงการชลประทานท่าล้อ	99.20	96.26	98.20	11.60
3. ถ้ามีโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่ จ.อุทัยธานี	99.20	96.71	98.44	12.10
4. ถ้ามีโครงการชลประทานท่าล้อและโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่ จ.อุทัยธานี	99.40	93.84	96.93	4.60

8. การคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

เนื่องจากวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกลุ่มน้ำแม่กลอง ถือได้ว่าเป็นผลผลิตได้จากการปล่อยน้ำให้กับความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ทางด้านทำนน้ำ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการน้ำไม่มีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความน่าเชื่อถือได้จากสถานะน้ำท่วม ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณีสำหรับคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำคือ กรณีแรกไม่นำวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาร่วมพิจารณา แต่จะพิจารณาเฉพาะสถานะการขาดน้ำเท่านั้นเพื่อคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำที่ระดับความน่าเชื่อถือต่างๆ ในขณะที่กรณีที่สอง ความน่าเชื่อถือได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพเป็นส่วนสำคัญที่นำมาใช้ในการคาดการณ์ และในที่นี้ได้นำฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดของสถานการณ์ปัจจุบันมาใช้คาดการณ์ผลในอนาคต ซึ่งผลการคาดการณ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 การคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

(I) Shortage Mode		(II) Energy Mode	
Reliability Indices	Max. Possible Firm	Reliability Indices	Max. Possible Firm
(%)	Yield (mcm)	(%)	Yield (mcm)
80	10,979	50	7,554
85	10,672	60	7,268
90	10,114	70	7,055
95	9,451		

ผลจากการคาดการณ์แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำต้นทุนที่สามารถนำเอาไปใช้ได้สูงสุดโดยที่โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำของระบบน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลยจะอยู่ที่ 6,626 ล้าน ลบม./ปี นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ตอบสนองต่อความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 35% ของปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยปัจจุบันที่ค่าความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ 95% หรืออาจกล่าวได้ว่าการยอมให้เกิดความเสี่ยงเพิ่มขึ้นประมาณ 5% ทำให้สามารถนำน้ำไปใช้ในระบบได้ถึง 9,451 ล้าน ลบม./ปี ซึ่งเพิ่มจากปริมาณความต้องการน้ำเดิมในปี 2546 ได้อีกประมาณ 1,251 ลบม./ปี อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาร่วมพิจารณาในการคาดการณ์พบว่า การ

เพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการน้ำมีผลต่อการลดลงของความน่าเชื่อถือได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นหากกำหนดให้ค่าความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ในการผลิตไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพเท่ากับ 70% ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่จะสามารถนำไปใช้ตอบสนองต่อปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นได้เพียงแค่ 1.15% ของปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยปัจจุบันหรือคิดเป็น 7,055 ล้าน ลบม./ปี เท่านั้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยเรื่องการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ สรุปผลได้ดังนี้

1) จากการประเมินสถานภาพของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบันเพื่อตรวจสอบความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำต้นทุน (Water Supply) และปริมาณความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด (Water Demand) ในภาพรวมสรุปได้ว่ากลุ่มน้ำแม่กลองมีปริมาณน้ำต้นทุนเพียงพอที่จะรองรับปริมาณความต้องการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2528-2547 ประมาณ 6,975 ล้าน ลบ.ม. โดยเพิ่มสูงขึ้นถึง 8,200 ล้าน ลบ.ม. ในปี 2546 อย่างไรก็ตามอาจประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำบ้างในช่วงที่ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบมีน้อย โดยโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดการขาดน้ำค่อนข้างสูงในปีที่ 2 ของปีที่สภาพทางอุทกวิทยามีลักษณะเป็นปีน้ำน้อย (Dry Year) ติดต่อกัน เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว

2) หลักเกณฑ์การจัดสรรน้ำรายวันที่เขื่อนแม่กลองตั้งแต่ปี 2528-2544 พบว่า มีการยอมให้มีการปล่อยน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดในการผลักดันน้ำเค็มได้ในบางช่วงเวลาเพื่อนำน้ำที่มีอยู่จำกัดไปใช้ในกิจกรรมการใช้น้ำอื่น ๆ อย่างไรก็ตามหลังจากมีการจัดตั้งคณะกรรมการบริหารจัดการกลุ่มน้ำแม่กลองโดยคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติในปี 2545 เป็นต้นมา ทำให้มาตรการในการจัดสรรน้ำของเขื่อนแม่กลองในแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำดำเนินไปด้วยความเหมาะสม มีประสิทธิภาพ และเกิดความเป็นธรรมแก่ทุก ๆ ฝ่ายมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ได้นำประเด็นการรักษาระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อมมาร่วมพิจารณาในการจัดลำดับความสำคัญของการจัดสรรน้ำ ซึ่งกำหนดให้วัตถุประสงค์เพื่อการผลักดันน้ำเค็มมีความสำคัญเป็นลำดับต้นรองจากการอุปโภคบริโภค

3) เกณฑ์การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบ Parametric Rule เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่มีการประเมินค่าพารามิเตอร์ของระบบ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวปรับแก้ในการวางแผนการปล่อยน้ำให้เกิดความเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตอบสนองปริมาณความต้องการน้ำให้ได้มากที่สุด จากผลการประเมินค่าพารามิเตอร์ในรูปของ $R_t = b_t \cdot WR$ ตั้งแต่ปี 2544-2547 สรุปได้ว่า

สัดส่วนการปล่อยน้ำรวมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณสูงกว่าปริมาณความต้องการน้ำประมาณ 1.1-1.7 เท่า และผลการประเมินค่าพารามิเตอร์ของการปฏิบัติงานจริงในรูปของ $S_j^* = a_j + b_j \cdot V$ สรุปได้ว่าสัดส่วนการเก็บกักน้ำปัจจุบันของเขื่อนศรีนครินทร์จะสูงกว่าเขื่อนวชิราลงกรณ โดยมีสมการปริมาณน้ำเก็บกักเป้าหมายเป็น $S_{snd}^* = 420.0701 + 0.5086V$ และ $S_{vj}^* = -275.2155 + 0.4914V$ ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ ตามลำดับ นอกจากนี้สัดส่วนการเก็บกักน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์จะถูกปรับค่าลดลงเป็น $S_{snd}^* = 336.0865 + 0.5074V$ เมื่อสถานการณ์ความต้องการน้ำในอนาคตเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่สัดส่วนเก็บกักน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณถูกปรับให้มีความสูงขึ้นอีกเล็กน้อยจากสถานการณ์ปัจจุบันเป็น $S_{vj}^* = -358.6031 + 0.4926V$ ซึ่งสอดคล้องตามมาตรการในการบริหารจัดการที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เสนอไว้

4) ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองด้วย Rule Curve พบว่าสามารถเพิ่มการปล่อยน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงที่จะบริหารอ่างในช่วงสภาวะน้ำมากที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการไหลล้นอ่าง ขณะเดียวกันยังสามารถเพิ่มสัดส่วนเก็บกักน้ำไว้ใช้ที่เขื่อนศรีนครินทร์สูงขึ้น ซึ่งช่วยยกระดับขีดความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานจริง และจากความพยายามที่จะลดความผันแปรของระดับน้ำเก็บกักหน้าเขื่อนแม่กลองให้น้อยลงด้วยการรักษาระดับน้ำให้คงที่ทุก ๆ ช่วงเวลา ยังมีส่วนทำให้ความผันแปรของปริมาณน้ำส่วนเกินที่ระบายทิ้งท้ายลำนํ้าลดลงอีกด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำต่ำสุดที่ปล่อยจากเขื่อนแม่กลองยังคงสูงกว่าข้อกำหนดในการผลักดันน้ำเค็ม

5) การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำด้วย Rule Curve เป็นการนำข้อมูลสถานะของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้น ๆ มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อกำหนดการปล่อยน้ำที่เหมาะสม โดยพยายามควบคุมการใช้น้ำในอ่างให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำให้น้อยที่สุดในช่วงฤดูแล้ง และมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดภาวะน้ำท่วมให้น้อยที่สุดในช่วงฤดูน้ำหลาก ในขณะเดียวกันก็พยายามปล่อยน้ำให้เพียงพอตามความต้องการให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำด้วย Parametric Rule ซึ่งการพิจารณาปล่อยน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำในช่วงเวลานั้น ๆ เป็นหลัก โดยไม่ได้นำข้อมูลสถานะของอ่างเก็บน้ำมาร่วมพิจารณา ส่งผลให้การกำหนดการปล่อยน้ำในบางช่วงเวลาอาจไม่สอดคล้องกับสถานะของอ่างในช่วงเวลานั้น ๆ ด้วยเหตุนี้การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองด้วย Rule Curve จึงให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่า Parametric Rule

โดยครอบคลุมทุก ๆ องค์ประกอบหลักที่ทำการตรวจสอบ ดังนั้นแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำรายวันด้วย Rule Curve ซึ่งผ่านการเปรียบเทียบจนกระทั่งสามารถเลียนแบบพฤติกรรมจริงของระบบได้ใกล้เคียงที่สุดแล้ว จะถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการจำลองระบบในการพัฒนาแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำลุ่มน้ำแม่กลอง

6) การที่องค์ประกอบของ Load และ Resistance ทั้งสองมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ที่ Resistance น้อยกว่า Load อันจะทำให้ระบบประสบกับสภาวะความล้มเหลว พฤติกรรมการตอบสนองของระบบในสภาวะความล้มเหลวนี้ สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (Limit State Function) ในเทอมของ Load และ Resistance ในรูปของสมการเชิงเส้น $g(X) = \Delta_i - [c1.X1 + c2.X2 + c3.X3 + c4.X4 + c5.X5]$ สำหรับใช้เป็นฟังก์ชันตัวแทน (Implement Function) ในการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองที่ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงในสภาวะปัจจุบัน ตลอดจนยังสามารถทำนายค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบในสถานการณ์อนาคต โดยฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดที่ได้จากการศึกษามีดังนี้คือ

-ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดสำหรับใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในสภาวะปัจจุบันประกอบด้วย $g(X) = 0.03 - [(8.46542E05X1) + (0.00192378X2) + (0.00136079X3) + (0.00024683X4) + (0.00012741X5)] = 0$ สำหรับสภาวะน้ำท่วม (Flood Mode), $g(X) = 0.05 - [(0.00601641X1) - (0.00537854X2) - (1.81049E-04X3) + (0.00000040X4) + (0.00167812X5)] = 0$ สำหรับสภาวะการขาดน้ำประเภทที่ 1 (Shortage Mode, Type 1) ซึ่งไม่ได้นำ Side Flow มาร่วมพิจารณาในการกำหนดเทอมของ Resistance, $g(X) = 0.05 - [(0.00801934X1) - (0.00958606X2) - (9.69685E-03X3) + (0.00261409X5)] = 0$ สำหรับสภาวะการขาดน้ำประเภทที่ 2 (Shortage Mode, Type 2) ซึ่งได้นำ Side Flow มาพิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ของระบบ (Storage) ในการกำหนดเทอมของ Resistance และ $g(X) = 0.30 - [(0.02768906X1) - (0.02588305X2) - (0.00502800X3) + (0.00000005X4) + (0.01783694X5)] = 0$ สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ (Energy Mode)

-ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดสำหรับใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในอนาคตประกอบด้วย $g(X) = 0.03 - [(1.02704E-05X1) +$

$(0.00225344X_2)+(0.01809699X_3)+(0.00237978X_4)-(0.00162241X_5)] = 0$ สำหรับสถานะน้ำท่วม
 $, g(X) = 0.05-[(0.01959680X_1)-(0.02281626X_2)+(4.16858E-04X_3)+(0.00016734X_4)+$
 $(0.01350511X_5)] = 0$ สำหรับสถานะการขาดน้ำประเภทที่ 1, $g(X) = 0.05-[(0.01343904X_1)-$
 $(0.03098628X_2)-(1.61614E-03X_3)+(0.00000001X_4)+(0.02083130X_5)] = 0$ สำหรับสถานะการ

ขาดน้ำประเภทที่ 2 และ $g(X) = 0.30-[(0.93908717X_1)-(0.75549954X_2)-(0.00258583X_3)$
 $+(0.01758811X_5)] = 0$ สำหรับสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ

7) สามารถนำฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรสุ่มตัวใดตัวหนึ่งที่ต้องการทราบค่า (X_1-X_5) ด้วยการกำหนดค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (Allowable Risk, Δ_i) ตามที่ต้องการ เพื่อแทนค่ากลับหาค่าตัวแปรที่ต้องการในฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดนั้น ๆ

8) ค่าความน่าเชื่อถือได้ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดกับผลการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี 2528-2547 มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 สถานะคือ 98.60% สำหรับสถานะน้ำท่วม 99.80-100% สำหรับสถานะการขาดน้ำ และ 73.60% สำหรับสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างไปจากผลการปฏิบัติงานจริงค่อนข้างน้อยเพียง 0.72%, 0.02% และ 1.26% ตามลำดับ

9) ผลจากการคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำ (Maximum Possible Firm Yield) ในลุ่มน้ำแม่กลองด้วยแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำต้นทุนที่สามารถนำเอาไปใช้ได้สูงสุดโดยที่โอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการขาดน้ำของระบบน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลยจะอยู่ที่ 6,626 ล้าน ลบ.ม./ปี แต่ถ้าความต้องการน้ำเพิ่มสูงขึ้น 35% ของปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ยปัจจุบัน จะทำให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบลดลงเหลือเพียง 95% เท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าการยอมให้เกิดความเสี่ยงเพิ่มขึ้นประมาณ 5% ทำให้สามารถนำน้ำไปใช้ในระบบเพิ่มขึ้นถึง 9,451 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งเพิ่มจากปริมาณความต้องการน้ำเดิมในปี 2546 ได้อีกประมาณ 1,251 ลบ.ม./ปี

10) จากการประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้ของสถานการณ์ความต้องการน้ำต่าง ๆ ของลุ่มน้ำแม่กลองที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตด้วยแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้พบว่า ถ้ามีการพัฒนาโครงการชลประทานทำล้อและขยายพื้นที่ชลประทานในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่รวมเพิ่มเป็น 320,000 ไร่ หรือแม้กระทั่งมีการพัฒนาโครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่ จ.อุทัยธานี

ในอนาคต จะทำให้ความเสี่ยงของระบบที่จะเผชิญกับสภาวะการขาดน้ำ และไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพตามแผนที่วางไว้เพิ่มสูงขึ้นจากสถานการณ์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามค่าความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานโดยไม่ประสบกับสภาวะการขาดน้ำยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในขณะที่ถ้ามีการพัฒนาทั้งสองโครงการพร้อมกันในอนาคต จะยิ่งทำให้สถานการณ์การขาดน้ำและศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่น้อยลงมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่ถึง 1.16% สำหรับสภาวะการขาดน้ำและ 65.40% สำหรับสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพ

11) แบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของระบบที่พัฒนาขึ้นมาในรูปของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด (Limit State Function) นับเป็นเทคนิคของการประเมินความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ค่อนข้างง่าย รวดเร็ว และเอื้อประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานจริงในทางปฏิบัติ เมื่อปริมาณน้ำต้นทุนและปริมาณความต้องการน้ำของระบบเปลี่ยนแปลงไปของ 3 สภาวะได้แก่ สภาวะน้ำท่วม (Flood Mode) สภาวะการขาดน้ำ (Shortage Mode) และสภาวะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพตามแผนการผลิตในปัจจุบัน (Energy Mode) โดยครอบคลุมทั้งสถานการณ์ปัจจุบันและคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งผลจากการประเมินค่าความน่าเชื่อถือได้จากแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนการจัดการด้านความเสี่ยง (Risk Management) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวิกฤติ (Extreme Condition) เพื่อให้การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำระยะยาวมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ (Reliability Based Maximum Possible Firm Yield Forecasting) สำหรับนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำต้นทุนที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งภายในลุ่มน้ำเองและลุ่มน้ำใกล้เคียง

12) มาตรการในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบันได้นำแนวคิดในการบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสาน (Integrated Water Resources Management, IWRM) มาประยุกต์ใช้ให้เป็นรูปธรรมชัดเจนมากยิ่งขึ้นกล่าวคือ มีการผสมผสานการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพที่เน้นประสิทธิภาพของการบริหารจัดการ สิทธิของผู้ใช้น้ำ และการรักษาสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์ทางท้ายน้ำ มีการผสมผสานการทำงานระหว่างหน่วยงานรับผิดชอบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น และอื่น ๆ เป็นต้น และมีการผสมผสานภาคการใช้น้ำต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกกลุ่มน้ำที่เป็นระบบ ตลอดจนมีการสนับสนุนกลไกการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วน

เลียมมากยิ่งขึ้น กล่าวได้ว่าการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลองบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้นับเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยสร้างความเชื่อมั่นในมาตรฐานของการบริหารจัดการเพื่อให้แนวทางการบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสานในกลุ่มน้ำแม่กลองขับเคลื่อนต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นธรรม และเกิดความยั่งยืนต่อไปในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง รวมถึงความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำนั้น ควรมีการพิจารณาและดำเนินการเพิ่มเติมในส่วนที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

1) ในการพัฒนาแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองให้เกิดความสมบูรณ์มากที่สุดนั้น ควรมีการพัฒนาแบบจำลองย่อยที่สำคัญเพิ่มเติมไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองย่อยฝน-น้ำท่า เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างสุทธิที่มีความถูกต้องและแม่นยำ แบบจำลองย่อยสำหรับคาดการณ์ปริมาณ Side Flow ให้มีความสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของระบบมากที่สุด แบบจำลอง Hydro-Dynamic เพื่อศึกษาความเชื่อมโยง พฤติกรรม และลักษณะพลวัตของน้ำในระบบ รวมถึงแบบจำลองย่อยสำหรับประเมินปริมาณความต้องการน้ำให้มีความยืดหยุ่นต่อสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป

2) ควรมีการพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในรูปแบบของ Hydropower Operating Rule โดยเฉพาะ สำหรับใช้จำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้งระบบ และนำผลที่ได้มาพิจารณาร่วมกับ Rule Curve เพื่อกำหนดเกณฑ์การปฏิบัติงานให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของทุก ๆ วัตถุประสงค์ โดยครอบคลุมถึงวัตถุประสงค์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย

3) ควรนำเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) มาประยุกต์ใช้เพื่อวัดขีดความสามารถในการนำน้ำไปใช้จากระบบให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำมาพิจารณาร่วมกับผลการคาดการณ์ผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดของระบบอ่างเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลองความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลอง ทั้งนี้หลักเกณฑ์ และเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองจะต้องคงคุณสมบัติของการจำลองระบบ (Simulation) เดิมไว้

4) ประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการเพิ่มผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดจากระบบอ่างเก็บน้ำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น อันเนื่องมาจากการปรับลดค่าความน่าเชื่อถือได้ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของสถานะการขาดน้ำ และสถานะที่ระบบไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เต็มศักยภาพให้น้อยลง รวมถึงผลตอบแทนจากการบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ อันเนื่องจากการเพิ่มค่าความน่าเชื่อถือได้ของสถานะน้ำท่วม

5) นำผลการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือได้ของการทำงานของระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ได้จากการศึกษานี้ มาสร้างดัชนีตัวใหม่ในรูปของดัชนีชี้วัดความยั่งยืนของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำที่สำคัญอื่น ๆ ได้แก่ Fairness, Reversibility, Consensus และ Sustainability Index เป็นต้น เพื่อช่วยให้การประเมินประสิทธิผลของการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำเกิดรูปธรรมชัดเจนยิ่งขึ้น

6) ควรมีการตรวจสอบและติดตามผลของการบริหารจัดการน้ำทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนแม่กลอง โดยครอบคลุมถึงสภาพปัญหาในระดับพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ปัญหาการแย่งชิงน้ำ หรือปัญหาการรุกรานของน้ำทะเล เป็นต้น รวมถึงศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากปัญหาดังกล่าว ตลอดจนนโยบายปฏิบัติและมาตรการความช่วยเหลือจากหน่วยราชการ และการมีส่วนร่วมของทุกภาคฝ่ายที่เกี่ยวข้องเพื่อบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อผลักดันให้มีองค์กรร่วมรับผิดชอบในทุกระดับ และเป็นแนวทางการบริหารจัดการน้ำเชิงบูรณาการอย่างแท้จริง

7) แนวโน้มของปริมาณความต้องการน้ำจากกลุ่มน้ำแม่กลองที่สูงขึ้น อันเนื่องมาจากกิจกรรมการใช้น้ำนอกกลุ่มน้ำนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการร่วมระดมความคิดและวางแผนการจัดการน้ำร่วมกันระหว่างกลุ่มน้ำ เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน และสร้างความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่และปริมาณความต้องการน้ำต่อไปในระยะยาวทั้งระบบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. รายงานสรุปผลก้าวหน้าการเพาะปลูกพืชฤดู
แล้งปี 2546/2547.

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. โครงการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นการ
ผันน้ำส่วนเกินจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานี. รายงานฉบับสมบูรณ์. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมทรัพยากรน้ำ. 2546. บทบาทภารกิจการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ.

กรมอุตุนิคมวิทยา. 2546. สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543). รายงาน
ข้อมูลอุตุนิคมวิทยา เลขที่ 551.5-03-2546.

กองประมวลผลและพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิต
แห่งประเทศไทย. 2544. **Statistical Report Fiscal Year 2003.**

กองแผนงาน ฝ่ายพัฒนาและแผนงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2538. การศึกษา
เบื้องต้นการจัดส่งน้ำให้โรงไฟฟ้าราชบุรี.

กองแผนงาน ฝ่ายพัฒนาและแผนงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2543. รายงานการ
วิเคราะห์บริหารอ่างเก็บน้ำลุ่มน้ำแม่กลองประจำปี 2543. รายงานเลขที่ MKLHD-P22-
01/1999.

กองสารสนเทศ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2546. พลังงานไฟฟ้า.

การประปานครหลวง. 2543. รายงานความสำเร็จของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์และคลองประปา
ฝั่งตะวันตก.

การประปานครหลวง. 2546. รายงานประจำปี 2546.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2535. หลักเกณฑ์การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง. รายงานการวิจัย รหัสวิจัยเลขที่ 60-59.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2544ก. รายงานการศึกษาเพื่อปรับปรุง Rule Curve ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2544ข. รายงานคู่มือการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2544ค. รายงานคู่มือการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ.

คณะกรรมการบริหารจัดการลุ่มน้ำแม่กลอง สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี. 2545. การประชุมคณะกรรมการบริหารจัดการลุ่มน้ำแม่กลอง ครั้งที่ 1/2545. เอกสารการประชุม, สมุทรสงคราม.

บ. ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด. 2547. การศึกษาเบื้องต้น โครงการผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลองสู่จังหวัดอุทัยธานี.

บัญชา ขวัญยืน. 2541. การวิเคราะห์ระบบเพื่อวางแผนและการจัดการโครงการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ภาณุวัฒน์ ปิ่นทอง. 2546. การใช้เกณฑ์แบบฟัชชีจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราวุธ วุฒินิชย์. 2538. การจัดการน้ำขั้นสูง เล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

- วรารุช วุฒินิชย์. 2541. **อุทกวิทยาประยุกต์**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- วรารุช วุฒินิชย์. 2543. **เอกสารประกอบการสอนวิชา 207591 (เทคนิควิจัยทางวิศวกรรม
ชลประทาน)**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- วิชัย กิจวัตรเวทย์. 2541. **วิธีวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง**. เอกสารประกอบการ
สอนวิชา Structural Safety and Reliability (203536). ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชัย กิจวัตรเวทย์ และ เสถียร ทวีชีพ. 2547. การศึกษาความปลอดภัยของเขื่อนโดยใช้วิธีไฟ
ไนต์อีลิเมนต์และวิธีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ. **วิศวกรรมสาร มก.** 51: 71-81.
- สงวน วงษ์ชลิตกุล. 2537. การประเมินความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง. **วารสารวิศวกรรมสาร.**
8: 65-67.
- ส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ 13 กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
2546. รายงานวางโครงการงานปรับปรุงโครงการทำล่อ อำเภอบางมอ จังหวัดกาญจนบุรี.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2547. **สถานการณ์พลังงานของไทยปี 2546**. วารสารนโยบาย
พลังงาน. 63: 43-61.
- สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546. **แผนการ
จัดสรรน้ำและการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งในเขตชลประทานปี พ.ศ. 2546/2547**.
- สิงหา ผงกิจการ. 2544. **การวิเคราะห์การจัดการน้ำโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสิทธิ์ โหมสิตสกุลชัย. 2546. การสร้างแบบจำลองสำหรับการจัดการน้ำทั้งลุ่มน้ำ ตอนที่ 1
แนวคิดและวิธีการ. **วิศวกรรมสาร มก.** 16(48): 87-89.

เอกสิทธิ์ โหมสิตสกุลชัย และ บัญชา ขวัญยืน. 2545. การจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำแม่น้ำแม่กลอง.
วิศวกรรมสาร มก. 46: 122-133.

อารียา ฤทธิมา. 2545. การพัฒนาเกณฑ์ในการปฏิบัติงานเก็บน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำมูลบน-
ลำแซะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Asian Institute of Technology. 1994. **Study of Potential Development of Water Resources in the Mae Klong River Basin.** Office of the National Economic and Social Development Board, Thailand.

Anonymous. 2004. **2E1282 Modeling of Dynamical Systems.** Lecture 9-parameter estimation in linear model.

Archfield, S.A. and R.M. Vogel. 2005. Reliability of reservoir firm yield determined from the historical drought of record. **Conference Proceeding Paper, EWRI.**

Bang, T.N. 1991. **Reliability in Operation of Thaba, Hoabinh and Tabu Reservoir System in the North of Vietnam.** M.S. thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.

Barbagallo S., S. Consoli, N. Pappalardo, S. Greco and S.M. Zimbone. 2006. Discovering reservoir operating rules by a rough set approach. **Water Resour. Managt.** 20: 19-36.

Budhakooncharoen, S. 1990. **Interactive Multi-objective Decision Making in Reservoir Operation.** Ph.D. thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.

- Cai, X., D.C. McKinney and L.S. Lasdon. 2002. A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya basin. **Water Resour. Res.** 38(6): 1-14.
- Cancelliere, A., A. Ancarani and G. Rossi. 1998. Susceptibility of water supply reservoir to drought conditions. **J. Hydrologic Engng., ASCE.** 3(2): 140-148.
- Chang, F. J., L. Chen and L.C. Chang. 2005. Optimizing the reservoir operating rule curves by genetic algorithms. **Hydrological Processes.** 19: 2277-2289.
- Chow, V.T. 1986. Risk and reliability analysis applied to water resources in practice, pp. 243-252. *In* **Engineering Reliability and Risk in Water Resources.** L. Duckstein and E. Plate, eds., Martinus Nijhoff, Publishers BV, Dordrecht, The Netherlands.
- Chow, V.T., D.R. Maidement and L.W. Mays. 1988. **Applied Hydrol.** McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- Draper, A. and R. Lund. 2004. Optimal hedging and carry over storage value. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE.** 130(1): 83-87.
- Dubrovin, T., A. Jolma and E. Turunen. 2002. Fuzzy model for real-time reservoir operation. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE.** 128(1): 66-73.
- 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.
- Fanai, N. and D.H. Burn. 1997. Reversibility as a sustainability criterion for project selection. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology.** 4(4): 259-273.

- Fontane, D. 2001. **Reservoir Simulation Notes**. CE 546 Water Resources Systems Analysis Handout. Department of Civil Engineering, Colorado State Univ., Colorado.
- Hashimoto, T. 1982. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water Resour. Res.** 18(1): 14-20.
- Hyde, K.M., H.R. Maier and C.B. Colby. 2004. Reliability-based approach to multicriteria decision analysis for water resources. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE**. 130(6): 429-438
- Jin, L. 1985. **Reliability, Resiliency and Vulnerability of The Water Resource System for The Eastern Seaboard Development Project, Thailand**. M.S. thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Johnson, S.A., J.R. Stedinger and K. Staschus. 1991. Heuristic operating policies for reservoir system simulation. **Water Resour. Res.** 27: 673-685.
- 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.
- Koutsoyiannis, D. n.d. Reliability concepts in reservoir design. **The Encyclopedia of Water**. SW227: 1-17.
- Kwanyuen, B., N. Cherdchanpipat and M. Satoh. 1998. Analysis of climate change in central plain of Thailand, pp. 85-97. **In Proceeding of the Workshop on Sustainable Development of Agricultural Infrastructure and Organizational Management of Chao Phraya and Mae Klong Basins**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

- Lence, B.J., J. Furst and S. Matheson. 1997. Distributive fairness as a criterion for sustainability evaluative measures and application to project selection. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**. 4(4): 245-258.
- Lien, D.N. 1978. **Probabilistic Storage Models and Reservoir Reliability Estimates**. Ph.D. thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Limnios, N. 1988. Reliability evaluation of reservoir systems. **Reliability Engineering and System Safety**. 23: 65-73.
- Loucks, D.P. and O.T. Sigvaldason. 1982. Multiple-reservoir operation in North America. *In* **The Operation of Multiple Reservoir System, IIASA Collaborative Proc. Ser. CP**: 82-53. Cited S. A. Johnson, J. R. Stedinger and K. Staschus. 1991. Heuristic operating policies for reservoir system simulation. **Water Resour. Res.** 27: 673-685.
- Loucks, D.P. 1997. Quantifying trends in system sustainability. **Hydrological Sciences Journal**. 42(4): 513-530.
- Lund, J.R. and J. Guzman. 1999. Some derived operating rules for reservoirs in series and parallel. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE**. 125(3): 143-153.
- McMahon, T.A. and R.G. Mein. 1986. **River and Reservoir Yield**. Water Resource Publication, USA.
- McMahon, T., A.J. Adeloye and S. Zhou. 2005. Understanding performance measures of reservoirs. **J. Hydrology**. xx: 1-24
- Mujumdar, P.P. 2002. Mathematical tools for irrigation water management: an overview. **IWRA, Water International**. 27(1): 47-57.

- Nalbantis, I. and D. Koutsoyiannis. 1997. A parametric rule for planning and management of multiple-reservoir systems. **Water Resour. Res.** 33(9): 2165-2177.
- Neelakantan, T.R. and N.V. Pundarikanthan. 2000. Neural network-based simulation-optimization model for reservoir operation. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE.** 126: 57-64.
- Neilsen, A.H. 1999. **Parametric and Non-Parametric System Modelling.** Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Denmark.
- Nowak, A.S. and K.R. Collins. 2000. **Reliability of Structures.** McGraw-Hill Higher Education, Singapore.
- Ohsaki, H., M. Murata and H. Miyahara. n.d. **An Application of System Identification to Modeling End-to-End packet Delay Dynamics of the Internet.** Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Japan.
- Oliveira, R. and D.P. Loucks. 1997. Operating rules for multireservoir systems. **Water Resour. Res.** 33(4): 839-852.
- Onoz, B., E.B. Yegen and Y. Ucar. 2005. **Analysis of Istanbul Water Supply and Operation Policies.** Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Hydraulics Division, Turkey.
- Pereira, M.V.F., S.H.F. Cunha and G.C. Oliveira. 1988. **Application of Reliability Evaluation Methods to The Planning of Large Hydroelectric Systems.** Electrical Power & Energy Systems. n.p.
- Prada, F.J. 1999. **The Value of Reliability in Power Systems-Pricing Operating Reserves.** Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, US.

- Raudkivi, A.J. 1979. **An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling.** Pergamon Press, Oxford.
- Sahoo, G.B., R. Loof, C.L. Abernethy and S. Kazama. 2001. Reservoir release policy for large irrigation system. **Journal of Irrigation and Drainage Engi.** 127(5): 302-310.
- Salas, J.D. and W.A. Hall. 1998. Operating rules for storage reservoirs. **Applied Sci.** 58: 208-225.
- Salazar, A.A. and R.A. Wurbs. 2004. Conditional reliability modeling of short-term river basin management. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE.** 130(6): 450-459.
- Satoh, M., A. Kawabata, V. Vudhivanich and N. Cherdchanpipat. 1999. Reservoir operation principles for stable water supply in the Mae Klong river basin, pp. 1-13. **In Proceeding of the Workshop on Sustainable Management of the Mae Klong River Basin, Thailand.**
- Satoh, M., A. Kawabata, V. Vudhivanich, B. Kwanyuen and N. Cherdchanpipat. 2003. Development of operation rule for multipurpose reservoirs to secure water supply in the Mae Klong river basin, Thailand. **Trans. JSIDRE Dec.** 228: 741-747.
- Shiau, J.T. 2003. Water release policy effects on the shortage characteristics for the Shihmen reservoir system during droughts. **Water Resour. Managt.** 17: 463-480.
- Srdjevic, B. 1987. **Identification of the Control Strategies in Water Resources Systems with Reservoirs by Use of Network Models.** Ph.D. thesis, University of Novi Sad, Yugoslavia.

- Srdjevic, B. and D. Obradovic. 1995. Reliability-risk concept in evaluating control strategies for multireservoir water resources system, pp. 609-613. *In* **Large Scale System: Theory and Applications**. Elsevier, London, UK.
- 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.
- Srdjevic, B., Y.D.P. Medeiros and R.L.L. Porto. 2005. Data envelopment analysis of reservoir system performance. **Computers & Operations Research**. 32: 3209-3226.
- Stedinger, J.R. 1984. The performance of LDR models for preliminary design and reservoir operation. **Water Resour. Res.** 20(2): 215-224.
- Sudha, V., N.K. Ambujam and K. Venugopal. n.d. **A Data Mining Approach for Deriving Irrigation Reservoir Operating Rules**. Centre for Water Resources, Anna University, Chennai, India.
- Sugiyama, H., V. Vudhivanich, S. Ngernprasertsri and K. Lorsirirat. 1998. Hydrologic drought characteristics of the upstream reaches of the Mae Klong river, pp. 1-15. *In* **Proceeding of the Workshop on Sustainable Development of Agricultural Infrastructure and Organizational Management of Chao Phraya and Mae Klong Basins**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Taha, H.A. 2003. **Operations Research: An Introduction**. Prentice Hall, USA.
- Tingsanchali, T., S. Liang and B. Suwannarat. 1994. Study of potential development of water resources in the Mae Klong river basin. **Final Rep. Submitted to NESDB**. Water Resources Engineering Program, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Bangkok.

- Tospornsampan, J., I. Kita, M. Ishii and Y. Kitamura. 2005. Optimization of a multiple reservoir system operation using a combination of genetic algorithm and discrete differential dynamic programming: a case study in Mae Klong system, Thailand. **Paddy Water Environ.** 3: 29-38.
- Tsheko, R. 2003. Rainfall reliability, drought and flood vulnerability in Botswana. **Water SA.** 29(4): 389-392.
- Tung, Y., B. Yen and C.S. Melching. 2006. **Hydrosystems Engineering Reliability Assessment and Risk Analysis.** McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- US Army Corps of Engineer. 1975. **Hydrological Engineering Method for Water Resources Development, Reservoir Yield.** Hydrologic Engineering Center, Canada.
- US Army Corps of Engineer. 1998. **HEC-5 Simulation of Flood Control and Conservation Systems.** Hydrologic Engineering Center, Canada.
- Vudhivanich, V. 1986. **Methodology for Inclusion of Risk in Multireservoir Operations.** Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, Colorado State Univ., Colorado.
- Vudhivanich, V., S. Ngernprasertsri, H. Sugiyama, H. Maita and M. Satoh. 1998. Existing rules for operation of Srinagarind and Khao Laem reservoirs and their effects on water management of Mae Klong irrigation system, pp. 16-37. *In* **Proceeding of the Workshop on Sustainable Development of Agricultural Infrastructure and Organizational Management of Chao Phraya and Mae Klong Basins.** Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Wurbs, R.A. 2005a. Comparative evaluation of generalized river/reservoir system models. **Technical Report No. 282.** Texas Water Resources Institute, Texas.

Wurbs, R.A. 2005b. Texas water availability modeling system. **J. Water Resour. Plant and Managt., ASCE.** 131(4): 270-279.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยารายเดือน ข้อมูลที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำรายเดือน
และสภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางผนวกที่ ก1 ฝนรายเดือนเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2528-2546 ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง

(Unit : mm)																
No.	Province	Station	Station Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1	Kanchanaburi	450001	Sai Yok	2.2	18.9	54.0	110.4	154.6	105.5	139.0	116.4	231.4	232.9	43.2	5.2	1,213.8
2		450002	Sangkhlia Buri	3.5	10.4	46.7	80.4	271.8	379.3	475.9	479.1	331.1	161.8	22.5	3.1	2,265.6
3		450003	Tha Muang	5.9	2.8	8.0	48.0	104.8	97.4	104.1	97.5	194.9	183.1	76.2	6.8	929.4
4		450004	Tha Maka	5.6	5.9	15.7	46.9	119.2	96.4	124.2	110.2	186.0	181.3	67.8	8.0	967.3
5		450007	Bo Phloi	3.3	8.1	39.1	85.3	142.2	89.0	125.8	114.7	213.4	241.9	92.8	1.6	1,157.0
6		450008	Phanom Tuan	2.4	8.1	28.0	46.9	107.6	86.0	98.5	92.5	209.3	199.4	44.9	8.3	931.8
7		450009	Ban Rai School	4.0	17.4	44.7	81.3	215.4	305.1	315.9	397.8	293.6	169.4	22.1	3.6	1,870.3
8		450011	Ban Lin Thin School	2.9	21.8	39.8	87.5	209.2	256.1	279.4	305.4	276.1	162.1	22.9	1.9	1,665.2
9		450019	Erawan National Parks	1.1	14.7	53.3	96.8	136.3	110.6	131.6	109.6	198.5	183.5	29.8	5.3	1,071.1
10		450023	Ban Khao Lek	1.0	14.6	57.0	90.7	130.9	88.3	101.8	105.5	235.8	255.4	84.6	8.6	1,174.3
11		450201	Kanchanaburi	3.6	11.2	32.7	75.8	135.6	81.6	103.0	105.0	225.2	216.3	61.7	6.1	1,057.7
12		450401	Thong Pha Phum	2.6	16.6	46.0	102.5	219.6	276.0	300.3	340.8	245.2	186.0	24.9	3.5	1,763.7
13	Uthai Thani	410001	Uthai Thani	1.2	10.5	33.0	72.6	128.1	121.5	120.3	148.3	250.9	145.7	32.6	2.9	1,067.7
14		410002	Ban Rai	4.2	16.6	65.5	100.2	197.7	123.4	142.2	158.3	273.0	269.6	59.2	7.8	1,417.8
15		410003	Nong Khayang	7.4	11.4	30.1	80.1	147.6	134.3	124.2	149.1	238.7	153.5	36.9	5.6	1,119.0
16		410004	Nong Chang	1.7	12.9	32.4	78.9	164.6	121.2	123.3	158.1	241.3	166.3	53.2	4.6	1,158.4
17		410005	Thap Than	4.5	11.3	33.9	75.1	150.9	126.0	141.6	164.2	248.1	154.9	47.7	5.9	1,164.2
18		410006	Sawang Arom	2.5	10.3	25.3	62.2	152.7	135.0	149.0	162.2	261.2	181.4	38.1	3.1	1,183.0
19	Tak	376003	Sam Ngao	2.9	6.4	13.1	55.0	205.7	408.8	462.5	481.3	262.7	107.8	36.8	6.9	2,050.0
20		376004	Tha Song Yang	2.8	4.4	19.4	40.6	184.5	90.6	74.0	92.4	188.6	175.4	42.6	5.4	920.7
21		376007	Tak Animal Husbandry Center	1.8	6.0	11.5	48.7	139.8	94.0	87.6	113.4	201.0	169.7	50.6	4.8	928.9
22		376008	Ban San Pa Pui	1.9	7.9	22.9	54.0	109.8	70.1	63.2	80.9	158.6	163.7	48.4	3.8	785.4
23		376009	Ban Samong	2.6	7.4	14.8	83.2	135.7	92.5	73.5	110.9	181.9	166.5	37.0	6.0	912.0
24		376201	Tak	3.9	8.4	15.8	47.8	167.4	118.2	92.6	130.3	219.8	212.4	58.3	4.4	1,079.2
25		376202	Mae Sot	1.4	8.5	12.2	42.6	169.0	229.3	290.5	330.1	177.2	102.9	26.9	4.8	1,395.4
26		376203	Bhumibol Dam	0.8	7.3	24.8	66.8	192.8	91.4	87.6	112.4	207.1	200.6	54.2	5.1	1,050.7
27	Suphan Buri	425002	Song Phi Nong	0.7	7.1	24.5	54.2	131.7	102.1	119.0	114.0	242.0	209.7	40.7	5.3	1,051.0
28		425003	Doembang Nangbuat	3.2	7.3	21.3	45.5	112.3	84.8	103.6	119.3	222.0	181.1	30.0	2.1	932.5
29		425004	U Thong	2.2	8.5	19.6	38.8	105.3	80.8	99.0	84.8	205.8	173.3	40.2	6.9	865.2
30		425005	Sam Chuk	1.0	7.3	34.3	50.8	120.0	95.7	116.8	122.8	259.4	167.9	28.3	3.1	1,007.3
31		425006	Si Prachan	5.7	5.4	41.0	31.8	95.0	88.4	83.4	96.6	184.2	153.5	20.4	1.5	807.0
32		425007	Don Chedi	5.0	11.5	20.3	74.4	129.7	102.2	111.7	104.3	234.9	179.9	32.2	4.1	1,010.2
33		425010	Suphan Buri Rice Research Sta.	5.0	6.3	18.2	49.9	120.9	94.9	105.9	110.2	227.0	188.9	43.6	8.3	979.0
34		425201	Suphan Buri	4.3	7.3	22.7	59.9	119.4	95.0	108.0	122.5	243.8	208.9	43.6	8.3	1,043.8
35		425301	U Thong Agromet	7.7	15.4	23.5	59.5	123.7	89.7	104.2	104.6	224.7	224.3	47.5	5.7	1,030.6
36	Ratchaburi	424001	Ratchaburi	0.5	0.6	9.8	30.2	108.9	96.0	108.6	97.5	185.8	192.8	75.7	3.2	909.4
37		424002	Photharam	1.2	8.1	15.9	44.4	121.7	108.4	147.2	96.8	201.3	188.4	43.4	4.6	981.3
38		424003	Damnoen Saduak	0.2	5.2	20.8	25.9	116.7	99.0	127.1	94.6	225.1	212.8	67.5	5.6	1,000.4
39		424004	Pak Tho	1.8	2.1	16.5	36.8	137.2	120.3	124.1	111.3	198.8	252.2	95.4	5.0	1,101.5
40		424005	Ban Pong	4.3	4.8	12.4	30.8	109.7	100.7	126.7	105.6	200.9	186.5	50.3	3.2	936.0
41		424006	Chom bung	0.1	7.8	10.7	33.0	89.8	63.7	72.7	73.1	134.0	136.4	60.9	1.6	683.7
42		424007	Wat Phleng	0.2	2.2	15.5	15.8	90.7	79.7	91.0	101.4	151.9	165.9	57.4	2.3	773.9
43		424009	Bang Phae	2.2	3.6	23.1	43.5	134.6	103.0	139.3	121.6	210.5	184.3	62.1	5.7	1,033.5

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

(Unit : mm)																
No.	Province	Station	Station Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
44	Samut	438001	Samut Songkhram	1.6	3.8	20.5	23.9	124.3	112.7	113.8	132.9	230.7	233.1	88.8	3.3	1,089.4
45	Songkram	438002	Amphawa	2.6	4.8	17.4	9.1	108.4	114.0	121.6	112.5	202.3	253.1	79.0	5.4	1,030.3
46		438003	Bang Khonthi	0.8	6.7	23.6	20.2	112.4	107.3	113.7	110.5	238.5	242.6	76.3	4.4	1,057.0
47	Samut Sakhon	428001	Samut Sakhon	4.2	18.2	35.8	69.5	171.8	104.2	120.7	174.1	270.6	251.4	61.0	5.6	1,287.0
48		428002	Ban Phaeo	24.6	5.3	20.1	43.6	125.8	121.8	138.1	169.0	230.5	218.2	85.0	3.2	1,185.0
49		428003	Krathum Baen	1.6	10.3	47.3	48.3	149.9	118.7	141.1	130.2	230.0	209.4	53.6	7.0	1,147.3
50		428004	Ban Rai Co-Operation Settlement	5.2	19.7	43.0	50.6	166.0	97.3	122.9	157.0	281.4	248.2	58.3	6.6	1,256.2
51	Nakhon Pathom	451001	Nakhon Pathom	1.5	5.9	26.4	37.9	118.7	122.0	102.8	108.0	240.8	221.8	45.4	8.3	1,039.5
52		451002	Nakhon Chaisi	1.8	6.8	31.9	45.1	146.3	110.6	134.9	124.5	231.6	180.7	46.5	6.7	1,067.4
53		451003	Kamphaeng Saen	1.1	6.5	26.0	42.2	108.8	94.2	110.3	105.1	210.8	187.0	54.5	4.5	951.0
54		451004	Sam Phran	1.3	3.5	29.2	26.7	117.3	112.4	107.8	142.8	241.6	198.3	40.0	1.3	1,022.1
55		451005	Don Tum	0.5	4.4	31.3	48.1	109.1	108.2	89.0	102.4	204.6	163.6	40.0	4.2	905.4
56		451006	Bang Len	3.7	6.6	23.7	57.0	107.0	99.5	112.0	114.4	233.7	207.8	51.9	6.0	1,023.4
57		451301	Kamphaeng Saen Agromet	2.4	6.9	26.7	49.6	111.7	101.1	112.9	110.5	225.6	203.7	54.6	5.8	1,011.5
Avg.				3.1	8.8	27.6	55.4	139.3	123.8	137.9	146.3	224.1	192.4	50.7	4.9	1,114.4

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยตั้งแต่ปี 2508-2546 ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง

(Unit : mcm)																
No.	Sta. Code	Riv. Name	Station Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1	K.10	Khwae Noi	Ban Lum Sum, Sai Yok, Kanchanaburi	201	208	275	250	275	466	751	1,342	1,088	742	366	247	6,211
2	K.11A	Mae Klong	Ban Wang Kha Nau, Tha Muang, Kanchanaburi	340	218	256	261	328	661	931	1,617	1,470	1,353	671	442	8,548
3	K.12	Lam Taphoen	Ban Thun Na Nang Rok, Muang, Kanchanaburi	4	3	3	5	8	6	4	3	16	62	39	10	163
4	K.17	Lam Phachi	Frontier Station, Chom Bung, Ratchaburi	5	2	3	4	11	12	11	14	24	80	49	13	228
5	K.31	Huai Mae Nam Noi	Ban Mae Nam Noi, Sai Yok, Kanchanaburi	11	8	5	6	16	33	91	157	120	83	35	17	582
6	K.35A	Khwae Yai	Ban Nang Bua, Muang, Kanchanaburi	244	269	417	400	408	330	241	275	338	424	343	240	3,929
7	K.37	Khwae Noi	Ban Wang Yen, Muang, Kanchanaburi	344	381	531	511	547	536	551	913	999	926	566	396	7,201
8	K.49	Lam Taphoen	Ban Yang Sung, Bo Phloi, Kanchanaburi	3	2	2	6	13	8	4	3	16	54	33	8	152
9	K.53	Huai Mae Kraban	Ban Nong Chik, Sai Yok, Kanchanaburi	0	0	0	1	2	1	2	2	12	20	7	1	48
10	K.54	Mae Klong	Ban Lin Thin, Thong Pha Phum, Kanchanaburi	401	461	629	601	572	552	530	950	886	535	398	356	6,871

ตารางผนวกที่ ๓3 ระดับน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์

(Unit : m.msl.)												
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2523	149.58	149.50	149.05	148.56	148.68	149.26	150.09	151.57	154.28	156.87	157.66	157.92
2524	157.96	157.48	156.91	156.17	155.85	156.87	158.63	163.23	166.47	168.84	172.17	172.82
2525	173.07	172.47	171.57	170.81	170.31	170.06	170.81	174.54	175.72	176.61	176.53	176.11
2526	175.56	174.72	173.46	171.99	170.56	169.18	168.37	168.20	168.95	173.64	174.99	175.07
2527	174.96	174.12	172.83	171.63	170.43	170.32	170.63	171.30	172.03	173.50	172.90	172.85
2528	172.44	171.50	169.94	168.69	167.73	167.89	169.66	171.56	175.36	177.28	177.94	178.00
2529	177.95	177.70	176.52	174.88	174.91	173.49	173.02	172.89	172.74	173.47	173.40	173.05
2530	172.49	172.02	170.99	170.01	168.96	168.41	168.21	168.28	170.03	170.99	171.32	171.48
2531	171.36	171.16	170.53	170.12	170.28	170.81	170.83	171.45	173.90	178.49	178.85	178.71
2532	178.64	177.98	176.69	175.10	173.64	172.29	171.52	171.58	171.48	171.46	170.62	170.57
2533	170.28	169.82	168.68	167.93	167.44	167.34	167.82	167.92	168.82	170.23	170.05	169.86
2534	168.99	168.28	167.12	165.90	164.99	165.32	166.05	170.07	171.12	173.09	172.58	172.16
2535	171.67	170.72	169.11	167.73	166.43	165.27	165.13	166.75	167.06	168.21	168.18	167.34
2536	166.97	166.07	164.99	163.99	163.02	162.04	161.96	163.37	164.94	165.55	165.36	165.15
2537	164.83	164.15	163.42	162.54	162.24	162.64	166.66	172.02	174.77	175.98	175.72	175.08
2538	174.36	173.34	171.84	170.66	169.12	167.74	167.30	168.53	172.82	174.12	173.71	173.23
2539	172.32	171.76	170.38	169.30	168.37	167.53	169.06	171.08	173.68	177.99	178.24	177.98
2540	177.30	176.31	174.97	173.74	171.96	170.35	170.72	173.44	174.45	174.75	174.42	173.34
2541	172.45	171.67	170.33	168.89	167.63	166.93	166.68	166.56	167.01	167.67	167.31	167.08
2542	166.56	165.65	164.14	162.80	162.76	162.65	163.16	165.44	166.42	169.82	172.34	172.70
2543	172.53	171.96	170.97	170.44	170.30	171.40	173.00	173.87	175.77	177.99	177.98	177.57
2544	177.11	176.24	175.47	174.68	173.82	173.35	173.94	175.25	175.71	176.34	176.22	175.88
2545	175.49	174.88	173.74	172.58	172.21	171.93	172.75	175.45	179.02	179.44	179.25	178.50
2546	177.53	176.50	175.50	174.16	172.69	172.10	173.09	173.89	175.18	176.25	175.67	174.77
2547	173.81	172.82	171.36	170.02	169.94	170.98	171.61	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ๔ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2523	104.68	50.66	65.97	73.03	158.15	183.37	240.55	413.04	720.03	751.03	253.52	121.74	3,135.77
2524	76.12	71.67	69.93	64.65	125.51	385.29	529.93	1430.84	1087.20	859.42	1235.04	330.73	6,266.33
2525	181.14	101.99	70.55	96.52	92.68	255.88	624.42	1599.12	1008.42	705.30	275.19	146.14	5,157.35
2526	103.81	56.49	46.96	51.55	77.69	96.34	121.43	297.93	500.14	1839.15	656.76	209.70	4,057.95
2527	139.10	100.87	81.28	124.93	82.35	322.21	365.49	677.53	842.03	864.97	287.98	159.40	4,048.14
2528	117.52	89.91	65.84	95.12	93.58	289.01	790.29	861.09	1609.71	908.87	404.03	206.75	5,531.72
2529	141.38	83.25	68.06	103.70	472.27	191.34	436.38	668.07	586.06	573.09	218.58	139.87	3,682.05
2530	85.24	71.12	85.66	100.53	67.91	168.95	236.32	423.62	833.70	612.95	368.93	134.27	3,189.20
2531	111.90	93.08	64.36	103.20	346.10	489.88	422.54	621.69	1306.03	2097.51	450.94	246.30	6,353.53
2532	172.86	109.39	71.88	39.48	128.33	124.36	165.15	503.91	442.32	409.04	128.97	84.16	2,379.85
2533	76.92	94.19	56.37	48.97	103.75	164.89	407.07	397.75	650.17	798.23	230.86	113.03	3,142.20
2534	81.46	56.94	33.27	44.17	80.86	340.39	429.18	1754.82	812.26	1125.08	299.97	134.41	5,192.81
2535	135.76	59.35	48.82	75.17	67.63	76.62	279.92	744.41	465.83	709.37	263.43	120.82	3,047.13
2536	90.13	41.43	61.85	53.62	48.98	78.93	206.24	616.32	750.26	350.22	135.55	60.34	2,493.87
2537	61.40	93.89	49.00	45.85	186.23	294.88	1445.31	2037.39	1279.29	741.42	231.49	122.64	6,588.79
2538	100.85	58.23	50.97	56.20	81.99	126.98	261.89	866.73	1881.19	929.26	334.13	152.78	4,901.20
2539	105.42	96.22	64.08	86.81	173.63	218.74	787.45	1112.67	1372.18	2069.33	603.51	226.72	6,916.76
2540	141.16	82.11	85.20	74.88	55.35	71.42	724.38	1381.79	845.26	638.91	251.97	114.29	4,466.72
2541	77.25	58.92	47.82	37.88	67.83	90.47	161.05	295.71	437.10	396.74	121.88	75.30	1,867.95
2542	63.71	37.89	42.85	129.39	213.65	234.94	374.77	969.77	571.08	1310.71	939.94	232.34	5,121.04
2543	159.38	122.53	89.50	256.41	399.81	566.34	714.34	695.46	1161.68	1149.00	416.50	193.92	5,924.87
2544	146.00	83.09	128.28	101.47	199.89	283.21	609.15	887.23	626.14	622.49	247.99	141.43	4,076.37
2545	106.23	82.73	58.99	65.78	260.56	236.34	612.27	1440.87	2050.74	1028.64	486.63	243.80	6,673.58
2546	127.49	91.93	180.11	90.38	83.38	259.37	797.30	803.29	954.25	874.87	237.64	120.17	4,620.18
2547	125.79	95.78	54.42	50.50	328.43	606.07	523.81	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก5 การระเหยและรั่วซึมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2523	22.48	24.47	34.79	35.38	25.47	18.65	18.14	17.86	19.41	20.57	19.11	22.58	278.91
2524	24.59	27.78	33.23	34.88	28.65	22.05	21.81	22.24	24.48	25.80	24.36	29.50	319.37
2525	31.68	36.27	43.39	46.57	37.39	28.37	27.47	27.27	29.27	29.57	26.71	31.27	395.23
2526	33.13	42.23	52.66	70.00	66.03	45.72	27.54	25.25	26.19	27.38	25.90	30.67	472.70
2527	32.72	38.70	71.72	84.99	61.82	38.74	42.03	42.43	40.75	41.04	36.71	46.65	578.30
2528	43.18	56.18	104.30	79.17	55.49	27.06	32.95	31.74	32.26	35.09	35.99	44.33	577.74
2529	43.66	50.50	63.82	57.16	49.54	47.80	31.37	36.86	40.60	35.02	37.76	38.70	532.79
2530	44.27	44.40	62.04	62.78	59.17	37.74	45.73	38.81	32.91	40.17	27.10	39.60	534.72
2531	41.87	39.69	52.43	48.53	37.07	37.05	42.20	32.89	35.40	30.24	33.17	80.09	510.63
2532	39.89	43.37	59.37	82.68	48.83	37.58	41.41	38.10	39.06	31.55	38.33	39.81	539.98
2533	42.07	43.08	90.43	70.69	39.10	32.44	34.75	36.70	35.28	30.00	33.27	34.42	522.23
2534	39.06	39.14	69.56	58.50	46.17	25.97	32.23	24.15	34.48	32.36	36.38	33.07	471.07
2535	35.69	44.02	76.34	67.93	70.63	44.66	36.07	31.10	33.70	22.97	31.83	43.96	538.90
2536	47.21	48.32	46.98	47.53	49.15	42.54	32.96	25.39	32.56	24.20	33.58	34.95	465.37
2537	35.82	77.70	46.99	52.09	41.25	22.64	20.48	25.42	38.48	40.89	38.35	36.72	476.83
2538	37.52	52.71	59.78	58.53	44.65	37.91	32.25	27.98	27.25	27.55	30.50	35.98	472.61
2539	31.65	43.62	55.75	49.54	40.69	34.46	31.55	31.64	23.24	29.54	29.72	31.70	433.10
2540	35.83	41.43	52.95	53.91	57.05	54.03	28.04	28.34	34.03	40.26	30.74	36.01	492.62
2541	37.49	47.48	57.62	60.93	49.61	43.74	38.64	42.83	34.26	28.36	25.13	30.91	497.00
2542	32.58	37.57	45.97	39.80	32.33	29.16	33.23	30.53	33.77	26.33	26.41	30.43	398.11
2543	34.74	35.06	45.96	41.21	30.43	34.62	34.24	38.79	35.16	33.63	37.66	36.91	438.41
2544	40.86	46.19	39.72	58.67	36.05	40.17	38.96	34.02	42.23	28.70	26.70	34.14	466.41
2545	38.35	40.45	51.97	55.63	39.60	38.04	31.31	34.75	30.94	41.70	33.46	29.47	465.67
2546	38.49	40.54	46.88	57.22	47.98	37.98	37.53	35.44	30.92	29.35	26.47	39.22	468.02
2547	32.35	42.06	53.18	57.73	35.80	29.86	26.98	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณน้ำที่ระบายทั้งหมดรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2523	5.36	44.46	133.96	149.57	105.27	32.23	30.31	15.39	5.18	11.00	8.51	24.82	566.06
2524	40.10	181.14	199.68	241.37	188.36	71.59	4.88	0.00	0.00	18.62	0.87	58.32	1004.93
2525	56.03	289.94	363.50	333.96	309.41	253.67	316.68	178.02	516.25	316.03	280.81	287.62	3501.92
2526	295.97	344.22	465.16	530.89	546.06	541.87	372.43	334.14	216.04	105.32	111.59	148.18	4011.87
2527	149.17	386.42	498.19	486.40	458.36	323.17	211.39	390.90	532.17	272.28	478.00	131.55	4318.00
2528	227.90	381.99	527.82	459.14	372.18	206.64	135.43	140.92	135.43	111.79	100.87	138.00	2938.11
2529	118.07	134.29	478.28	691.18	411.08	688.74	582.78	680.14	604.80	262.63	207.37	233.49	5092.85
2530	251.13	201.65	402.35	392.21	388.86	359.02	263.21	360.43	238.74	247.72	221.24	118.50	3445.06
2531	128.42	126.63	241.09	209.72	260.19	306.51	444.62	437.86	423.56	335.10	351.51	313.85	3579.06
2532	235.21	338.16	534.84	583.68	641.57	595.49	408.71	446.96	457.75	477.83	467.86	187.72	5375.78
2533	266.90	329.29	419.51	308.91	379.95	303.31	325.82	420.17	421.31	397.45	391.49	307.51	4271.62
2534	488.60	360.59	467.48	473.80	468.88	346.26	319.47	460.78	554.00	479.84	530.74	396.53	5346.97
2535	369.44	441.13	621.26	526.79	481.78	518.95	420.20	298.49	466.36	430.53	389.46	486.83	5451.22
2536	315.79	432.16	514.55	402.30	381.29	433.51	289.16	188.20	297.75	252.85	302.09	199.76	4009.41
2537	274.99	348.92	434.20	489.44	491.58	338.61	332.84	385.31	468.51	514.64	566.37	582.38	5227.79
2538	562.55	548.62	709.46	543.56	721.52	747.78	590.46	626.15	439.11	632.28	659.16	491.28	7271.93
2539	609.21	447.61	615.49	541.27	629.02	586.22	372.69	476.01	502.28	489.71	587.55	452.91	6309.97
2540	507.33	516.71	656.69	575.38	723.08	712.93	700.16	586.54	577.54	664.88	531.73	611.32	7364.29
2541	553.82	460.23	578.33	534.02	546.48	421.57	323.99	392.51	357.42	343.03	386.85	198.22	5096.47
2542	257.90	393.65	609.13	519.46	193.98	240.54	179.79	248.00	239.03	154.76	169.82	194.85	3400.91
2543	277.17	323.79	414.00	423.84	431.78	136.17	152.01	406.28	503.50	313.53	442.17	369.89	4194.13
2544	327.26	387.60	428.52	380.83	524.20	461.01	411.89	401.00	474.88	452.92	418.07	358.64	5026.82
2545	342.43	308.45	472.84	479.34	380.79	357.12	348.17	486.78	689.05	813.18	543.90	549.02	5771.07
2546	535.54	480.35	530.98	553.98	594.36	468.84	453.89	651.38	515.42	556.26	558.90	564.21	6464.11
2547	576.02	473.16	624.16	539.37	403.48	321.41	355.20	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ๗ ปริมาณน้ำที่สูบกลับรายเดือนจากเขื่อนท่าทุ่งนา

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2523	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2524	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2525	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2526	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2527	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2528	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.50	1.05
2530	0.41	0.00	0.87	0.42	6.78	34.87	2.89	0.00	56.77	22.21	0.05	86.32	211.59
2531	14.33	0.00	0.00	7.19	8.74	45.52	71.55	75.68	71.03	86.05	81.84	89.96	551.89
2532	73.44	2.15	2.36	0.04	0.04	0.51	0.05	3.27	17.73	93.00	70.70	125.25	388.54
2533	127.31	113.06	49.83	69.23	146.29	136.54	118.77	93.72	120.49	130.91	129.19	160.81	1,396.15
2534	137.18	93.92	103.56	75.71	132.21	140.80	165.79	125.70	156.59	118.58	75.56	138.56	1,464.16
2535	88.02	78.25	72.16	37.59	40.99	99.32	130.09	127.45	139.74	140.47	147.42	119.85	1,221.35
2536	146.39	134.75	140.74	69.91	70.47	88.45	90.91	42.52	89.33	128.55	137.06	104.91	1,243.99
2537	144.06	110.84	196.96	216.22	252.35	192.14	223.57	274.92	270.16	287.32	270.80	246.07	2,685.41
2538	220.51	153.64	156.95	113.80	132.85	176.65	209.48	213.33	141.26	223.96	198.82	192.31	2,133.56
2539	193.89	187.30	103.33	117.69	168.99	110.89	150.03	120.22	123.03	147.73	115.74	151.84	1,690.68
2540	126.60	80.18	98.22	81.00	55.88	106.92	137.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	686.52
2541	179.37	159.39	99.47	43.97	89.38	135.05	116.64	98.98	107.43	200.97	166.34	75.15	1,472.14
2542	46.98	87.85	115.97	0.52	0.00	0.00	0.00	50.25	29.70	51.90	176.48	127.51	687.16
2543	88.88	24.20	6.68	16.30	11.87	4.61	66.90	79.61	113.64	86.85	59.26	46.49	605.29
2544	36.68	3.53	36.56	30.51	29.91	39.27	66.24	53.90	71.17	108.01	149.39	116.98	742.15
2545	121.29	28.31	27.36	31.11	21.81	54.91	72.84	115.69	106.20	0.48	11.77	25.21	616.98
2546	52.48	15.79	2.84	1.21	1.46	27.35	64.63	93.62	90.00	131.43	120.50	132.13	733.44
2547	128.20	44.63	80.96	55.04	82.16	121.10	81.82	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก8 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์

[illegible]

ตารางผนวกที่ ก9 ระดับน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ

(Unit : m.msl.)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	141.87	142.49	142.13
2528	142.18	142.05	141.89	141.85	141.97	145.51	148.10	152.08	153.07	153.89	153.91	152.87
2529	152.01	151.23	150.00	148.68	147.49	146.10	146.96	148.03	147.73	148.00	147.71	147.04
2530	146.49	145.55	144.63	143.77	142.63	142.07	142.59	144.08	146.32	147.31	147.18	147.08
2531	146.50	145.32	143.23	141.51	141.06	142.64	143.55	146.30	147.06	149.45	149.87	149.85
2532	149.36	148.80	147.74	146.74	145.27	144.03	144.52	147.45	148.29	148.45	148.06	147.28
2533	146.41	144.79	142.37	140.11	137.61	138.18	140.03	141.47	143.43	144.25	143.44	143.01
2534	142.08	141.22	139.25	137.39	136.28	139.90	143.80	151.93	151.68	151.17	149.54	148.36
2535	147.42	146.23	143.98	141.90	140.09	138.21	138.12	143.17	144.39	143.96	143.08	142.56
2536	142.30	141.25	139.71	137.71	136.29	135.99	137.60	143.48	145.53	145.94	145.37	144.83
2537	144.06	142.58	140.41	138.35	137.12	138.20	148.52	155.37	155.00	154.36	152.04	150.05
2538	148.75	147.40	145.45	143.55	141.89	141.79	142.67	146.96	151.57	151.93	151.04	150.48
2539	149.50	148.26	146.26	144.46	142.94	141.38	144.79	148.00	150.30	151.34	150.50	149.84
2540	149.19	148.16	146.72	145.18	143.71	142.87	150.15	155.10	154.92	154.39	154.00	152.98
2541	151.77	150.31	148.01	145.51	143.24	141.64	140.85	140.17	141.01	141.81	141.23	140.70
2542	139.92	138.91	137.54	136.89	137.37	139.63	143.30	148.69	150.11	151.09	151.65	151.28
2543	150.59	149.38	147.61	146.16	145.35	145.45	147.85	149.36	152.03	153.12	152.68	152.04
2544	151.41	150.32	148.60	146.42	145.40	145.58	148.64	151.93	152.68	153.18	152.81	152.11
2545	151.13	149.73	147.59	145.39	144.84	144.89	148.96	153.26	154.99	154.06	153.20	152.50
2546	151.05	149.50	147.71	145.70	143.91	143.33	146.08	148.87	151.40	151.99	151.33	150.45
2547	149.29	147.68	145.32	142.82	142.58	145.20	146.00	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ

(Unit : mcm)													
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	604.19	195.56	94.42	-
2528	75.84	40.71	41.74	66.64	96.86	1043.01	1566.07	1935.30	1402.74	466.88	192.32	59.91	6,988.02
2529	48.04	41.61	25.91	36.26	180.54	270.11	702.20	1057.00	562.80	364.88	135.81	63.55	3,488.71
2530	46.24	19.07	71.59	21.90	25.27	286.92	449.60	831.79	1000.42	587.57	207.41	76.87	3,624.65
2531	64.47	35.63	5.49	56.02	266.06	723.41	561.70	1121.29	580.44	949.63	239.42	98.84	4,702.40
2532	78.65	38.54	30.93	17.52	80.39	188.92	365.05	1140.42	683.40	362.77	108.22	40.87	3,135.68
2533	41.57	19.02	4.83	23.95	67.75	447.45	763.59	871.00	1028.70	737.53	157.54	73.34	4,236.27
2534	40.36	29.53	13.98	15.37	33.12	980.41	1327.80	3180.92	719.13	460.96	90.08	42.76	6,934.42
2535	48.46	20.02	1.50	8.42	34.04	154.96	506.88	1729.76	774.69	430.75	129.11	96.21	3,934.80
2536	54.74	29.30	26.11	18.83	51.36	151.77	586.68	1890.90	943.41	327.47	87.96	42.90	4,211.43
2537	40.40	14.04	21.63	6.40	132.23	494.81	3043.55	3361.35	1062.85	442.07	81.64	33.49	8,734.46
2538	41.46	23.02	23.58	15.10	139.23	575.35	590.41	1531.10	2031.65	539.46	117.68	70.52	5,698.56
2539	39.52	32.95	12.11	34.77	78.87	211.72	1393.28	1598.21	1419.50	777.44	195.01	74.20	5,867.58
2540	51.97	27.14	12.63	10.83	45.89	187.72	2587.16	3489.75	870.69	470.73	154.38	60.43	7,969.32
2541	39.50	11.61	4.16	0.00	67.34	106.35	186.68	276.77	509.64	350.94	85.47	21.00	1,659.46
2542	27.05	13.27	22.27	96.41	208.81	658.86	1160.23	2053.07	932.62	599.51	366.72	97.77	6,236.59
2543	62.16	56.54	39.34	107.50	366.61	638.22	1122.00	1018.61	1523.47	692.69	186.03	88.02	5,901.19
2544	57.55	22.02	35.21	9.88	181.40	418.05	1380.70	1787.62	947.87	532.65	132.20	68.19	5,573.34
2545	46.36	18.89	7.07	17.76	465.56	496.37	1734.73	2428.44	1980.51	461.06	187.11	112.44	7,956.30
2546	56.28	24.06	40.08	5.77	99.13	357.90	1219.24	1355.52	1142.35	466.54	116.09	40.71	4,923.67
2547	47.44	10.20	0.50	0.00	389.61	1007.95	676.70	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก11 การระเหยและรั่วซึมรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.35	18.66	30.49	-
2528	23.03	34.72	44.72	39.68	30.57	19.22	20.47	23.25	27.56	31.55	28.11	29.97	352.85
2529	36.57	38.62	56.03	43.92	33.24	21.42	19.67	21.82	24.01	27.06	22.51	25.11	369.98
2530	34.32	43.58	53.81	43.84	38.42	18.62	17.24	18.59	22.01	26.38	22.07	25.14	364.02
2531	35.53	32.85	70.19	40.33	25.98	18.58	17.54	20.47	23.07	27.40	23.77	25.40	361.11
2532	28.50	33.02	48.93	59.86	37.30	20.16	18.19	21.05	24.16	27.47	22.78	28.87	370.29
2533	32.72	57.30	94.58	59.26	56.75	15.56	15.35	17.17	20.25	24.05	19.72	20.58	433.29
2534	22.66	30.39	73.16	55.66	21.93	15.44	16.30	21.95	26.82	29.97	24.14	29.84	368.26
2535	33.97	47.10	79.20	91.15	51.35	43.16	14.28	17.31	21.16	23.96	19.66	22.65	464.95
2536	26.51	35.06	39.55	50.94	48.02	14.57	13.79	17.22	21.61	25.36	21.05	28.58	342.26
2537	24.38	50.93	53.91	55.29	26.66	15.56	17.01	25.49	29.18	32.63	26.14	31.43	388.61
2538	35.40	49.44	67.81	66.57	38.65	20.04	17.05	19.84	25.97	30.17	24.97	26.00	421.91
2539	30.04	43.54	69.32	44.87	28.61	18.45	16.45	21.72	24.77	29.67	24.63	25.52	377.59
2540	32.73	38.03	46.37	46.08	29.26	19.18	18.78	26.15	29.00	32.48	26.72	29.97	374.75
2541	38.78	55.40	74.91	101.04	29.14	19.18	16.52	17.25	18.69	21.79	21.11	25.07	438.88
2542	21.35	35.12	34.27	27.23	22.11	16.19	16.19	21.61	25.12	29.19	25.05	26.55	299.98
2543	29.61	35.06	41.23	38.76	30.47	20.75	19.74	22.35	26.58	30.81	26.00	28.02	349.38
2544	30.24	39.92	43.40	51.84	30.71	20.61	20.45	23.66	27.23	31.23	26.01	28.02	373.32
2545	33.11	40.57	59.65	46.64	29.74	20.25	20.15	24.45	29.02	32.33	26.34	27.49	389.74
2546	38.62	37.77	42.02	64.42	29.60	19.54	18.04	21.77	25.64	30.24	25.08	28.84	381.58
2547	28.72	51.44	77.00	94.39	27.22	19.21	19.22	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก12 ปริมาณน้ำที่ระบายทั้งหมดรายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	13.00	159.49	-
2528	39.61	40.25	39.05	37.44	34.81	34.67	744.52	553.56	1012.66	128.34	156.65	418.39	3239.95
2529	324.72	280.86	396.01	433.34	530.21	678.47	418.85	697.03	634.72	251.51	205.97	249.39	5101.08
2530	181.82	259.02	286.95	222.21	299.37	417.18	294.21	402.77	320.65	254.89	226.11	82.98	3248.16
2531	208.24	357.44	530.16	473.71	355.52	291.58	295.62	300.67	323.24	149.22	74.06	80.22	3439.68
2532	215.09	191.14	325.00	271.20	486.29	526.22	207.39	236.57	390.71	283.37	211.58	259.83	3604.39
2533	278.28	443.74	582.64	543.21	595.55	303.76	311.43	491.66	485.00	483.57	364.97	170.74	5054.55
2534	266.71	222.63	426.80	385.22	249.70	144.62	291.21	560.37	781.82	611.71	626.52	402.57	4969.88
2535	315.17	341.22	580.91	482.28	442.08	556.49	513.06	447.92	412.18	528.76	353.44	214.19	5187.70
2536	97.55	268.19	370.00	432.72	310.65	199.71	227.55	407.06	333.73	179.57	236.81	172.36	3235.90
2537	236.45	370.57	528.25	442.81	380.22	238.85	175.55	792.30	1259.88	656.56	917.74	699.84	6699.02
2538	441.04	407.84	551.67	493.48	547.97	581.48	340.27	267.64	469.25	380.59	408.60	239.31	5129.14
2539	343.02	398.03	570.25	521.28	474.37	605.66	445.28	596.49	630.75	385.39	463.90	274.47	5708.89
2540	237.45	326.47	420.54	428.20	437.47	399.55	337.66	1628.32	935.11	642.75	276.38	412.43	6482.33
2541	440.69	468.07	693.43	671.09	686.51	514.24	372.52	429.02	280.93	123.00	214.42	130.30	5024.22
2542	198.67	219.55	300.20	211.15	82.24	121.85	197.10	406.94	432.37	230.94	143.54	202.47	2747.02
2543	273.76	433.24	574.73	518.35	578.38	587.91	363.58	502.72	569.79	263.42	322.27	292.62	5280.77
2544	252.39	362.38	568.33	647.29	457.27	344.07	404.71	634.74	648.44	316.91	239.95	295.28	5171.76
2545	362.37	460.82	648.02	644.81	596.88	461.60	450.99	893.51	1292.92	786.39	484.00	342.72	7425.03
2546	506.00	518.14	583.12	561.07	588.26	499.73	406.96	452.59	252.04	225.68	322.79	319.11	5235.49
2547	393.01	483.10	646.41	612.17	427.02	252.86	413.14	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก13 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ

[illegible]

ตารางผนวกที่ ก14 ระดับน้ำรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา

(Unit : m.msl.)												
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2524	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59.04
2525	56.58	57.35	58.78	59.45	58.75	59.34	58.49	59.00	59.09	59.04	58.08	58.09
2526	57.95	57.16	57.01	57.82	57.66	57.21	56.48	58.36	58.19	58.13	58.57	57.80
2527	57.65	57.82	58.78	57.83	57.96	57.69	57.33	57.11	58.11	57.31	58.01	55.04
2528	56.77	58.04	58.65	58.12	59.09	56.95	59.29	58.29	59.18	59.60	59.58	59.00
2529	58.14	59.34	58.80	58.53	59.00	59.70	59.44	59.13	59.29	58.93	58.92	59.23
2530	58.84	59.63	58.60	59.04	58.16	59.51	58.32	59.61	59.86	59.79	59.82	59.45
2531	59.50	58.07	58.94	58.02	58.78	58.58	59.70	58.75	58.72	58.53	58.67	58.00
2532	57.89	58.92	59.55	58.19	59.69	58.29	59.22	58.70	59.48	59.48	58.97	58.22
2533	58.97	59.01	59.14	57.90	59.44	59.62	59.58	59.26	58.10	59.13	59.33	59.12
2534	58.78	58.98	57.40	59.21	58.79	57.56	58.32	59.46	58.26	59.69	60.03	56.62
2535	59.43	59.93	59.22	59.72	57.77	59.25	58.04	59.21	59.49	59.32	57.62	59.26
2536	57.72	58.40	59.14	59.37	58.28	57.54	57.62	58.82	58.68	57.64	59.05	57.16
2537	57.27	58.42	59.85	59.79	59.34	58.29	57.23	58.95	59.22	59.17	59.30	59.02
2538	58.11	59.15	59.28	58.24	59.30	58.98	58.47	58.84	58.55	59.21	59.60	59.35
2539	58.47	59.80	58.37	58.50	59.90	59.25	58.91	59.36	60.11	58.68	59.19	59.54
2540	59.51	58.91	57.91	59.78	59.12	58.01	59.28	58.07	59.10	58.60	59.35	58.99
2541	58.98	59.32	58.12	59.74	57.48	58.20	58.49	59.27	58.99	59.81	59.39	56.78
2542	57.60	57.58	57.16	58.69	57.26	59.71	56.65	58.44	59.44	59.71	58.99	58.67
2543	57.88	57.40	58.06	58.38	58.81	59.38	58.96	58.38	58.78	58.83	59.07	58.94
2544	59.13	59.57	59.15	57.10	58.01	58.45	58.49	58.66	57.80	58.39	59.13	58.32
2545	58.48	59.00	59.18	59.32	59.51	57.67	58.16	58.05	58.63	57.56	59.51	59.65
2546	57.90	58.00	58.16	58.53	58.75	57.96	58.46	57.65	58.83	59.74	58.55	58.14
2547	59.64	58.14	59.63	58.04	58.23	58.94	58.46	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา

(Unit : mcm)													
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2524	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57.85	-
2525	57.22	284.96	360.72	330.59	306.49	249.15	308.45	175.02	497.75	313.88	274.83	275.81	3,434.87
2526	285.27	334.85	450.16	509.66	530.61	525.89	366.52	330.69	216.15	128.70	121.26	145.91	3,945.66
2527	149.05	380.21	482.36	469.25	442.40	309.67	207.54	360.32	520.51	264.99	453.35	130.62	4,170.28
2528	220.91	371.45	515.18	446.93	365.45	204.63	136.07	139.65	138.04	121.70	107.82	134.47	2,902.29
2529	114.01	130.83	461.63	659.69	407.15	657.82	566.27	659.10	587.06	273.15	206.92	231.15	4,954.77
2530	247.41	204.99	399.66	389.02	381.17	322.57	262.30	362.67	188.57	229.46	228.11	50.41	3,266.32
2531	117.97	126.92	242.32	200.56	258.46	265.97	373.76	365.59	368.86	291.48	280.36	228.79	3,121.04
2532	168.34	339.03	531.21	580.25	635.74	587.27	403.76	439.77	439.50	387.20	400.27	61.48	4,973.82
2533	143.84	218.83	368.00	238.68	240.37	171.22	205.44	323.79	301.10	279.81	267.65	157.43	2,916.18
2534	356.90	272.01	369.36	399.14	339.09	209.19	154.59	330.30	395.03	377.42	455.78	256.28	3,915.09
2535	281.48	356.14	540.69	476.95	427.39	449.21	316.46	175.75	338.59	342.67	277.61	375.81	4,358.74
2536	176.10	306.63	386.67	335.06	310.45	349.49	201.86	145.01	211.12	125.66	167.47	96.97	2,812.48
2537	125.96	235.11	236.56	271.34	244.44	143.24	102.53	123.87	224.67	263.67	310.96	365.48	2,647.84
2538	342.92	384.26	526.19	395.26	573.96	551.23	375.41	397.03	287.03	418.32	455.11	298.10	5,004.82
2539	409.70	256.74	486.93	400.71	455.16	469.93	221.80	359.47	433.67	399.88	489.33	297.63	4,680.95
2540	373.89	421.99	532.61	480.21	643.21	591.36	539.63	327.66	414.76	479.72	346.88	473.51	5,625.43
2541	366.15	292.76	460.79	478.53	443.85	283.52	199.00	288.29	245.41	163.88	221.42	119.26	3,562.84
2542	201.18	297.67	477.49	506.99	195.61	237.85	171.83	191.31	206.29	143.94	119.60	70.45	2,820.21
2543	174.13	285.14	384.90	391.46	405.55	130.15	85.71	312.78	379.71	228.42	375.62	317.56	3,471.13
2544	280.89	367.12	375.77	334.62	477.37	408.41	333.14	335.93	388.81	346.51	267.03	240.17	4,155.77
2545	213.17	260.48	420.21	424.89	349.37	288.55	264.07	351.24	590.22	807.09	516.21	507.65	4,993.15
2546	466.27	442.76	495.33	519.62	551.87	416.14	374.35	430.76	410.75	423.78	430.74	424.81	5,387.18
2547	440.52	411.07	525.65	456.95	308.72	195.77	280.90	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก16 การระเหยและรั่วซึมรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2524	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	-
2525	0.47	0.70	0.67	0.86	0.69	0.56	0.52	0.50	0.56	0.55	0.46	0.52	7.08
2526	0.53	0.58	0.72	0.76	0.65	0.48	0.44	0.44	0.51	0.49	0.46	0.53	6.58
2527	0.54	0.59	0.78	0.82	0.65	0.50	0.48	0.39	0.46	0.47	0.38	1.15	7.21
2528	0.56	0.64	0.76	0.81	0.71	0.54	1.32	1.17	0.55	0.57	0.52	0.61	8.76
2529	0.62	0.71	0.83	0.90	0.89	0.58	0.54	0.53	0.57	0.56	0.50	0.59	7.82
2530	0.62	0.77	0.89	0.95	0.82	0.64	1.30	0.57	0.61	0.61	0.82	16.61	25.19
2531	6.03	1.10	1.68	1.52	1.95	6.93	2.14	0.58	0.57	0.56	0.49	0.58	24.14
2532	0.59	0.67	0.80	0.90	0.76	0.60	0.55	0.53	0.56	0.57	0.50	0.59	7.62
2533	0.62	0.71	0.84	0.88	0.77	0.60	0.53	0.54	0.55	0.56	0.51	0.60	7.71
2534	0.64	0.69	0.83	0.90	0.76	0.59	0.55	0.56	0.57	0.56	0.49	0.56	7.70
2535	0.60	0.75	0.88	0.90	0.78	0.57	0.50	0.52	0.56	0.56	0.49	0.58	7.69
2536	0.61	0.73	0.85	0.88	0.73	0.58	0.49	0.46	0.56	0.54	0.47	0.50	7.40
2537	0.60	0.72	0.82	0.92	0.76	0.59	0.56	0.54	0.55	0.54	0.51	0.61	7.71
2538	0.64	0.72	0.89	0.92	0.80	0.62	0.55	0.54	0.53	0.60	0.56	0.62	7.99
2539	0.62	0.81	0.91	0.90	0.82	0.62	0.62	0.62	0.60	0.62	0.60	0.62	8.36
2540	0.62	0.71	0.88	0.90	0.89	0.60	0.61	0.62	0.60	0.62	0.60	0.62	8.27
2541	0.62	0.71	0.85	0.91	0.76	0.59	0.61	0.51	0.60	0.56	0.49	0.50	7.71
2542	0.45	0.60	0.83	0.83	0.68	0.59	0.57	0.59	0.60	0.62	0.57	0.62	7.55
2543	0.62	0.62	0.75	0.85	0.70	0.60	0.62	0.50	0.59	0.59	0.53	0.62	7.59
2544	0.62	0.68	0.88	0.86	0.68	0.58	0.60	0.53	0.59	0.57	0.56	0.61	7.76
2545	0.62	0.65	0.87	0.91	0.70	0.50	0.57	0.60	0.60	0.60	0.48	0.62	7.72
2546	0.62	0.65	0.73	0.89	0.71	0.59	0.60	0.60	0.59	0.62	0.56	0.62	7.78
2547	0.62	0.72	0.91	0.89	0.67	0.60	0.60	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก17 ปริมาณน้ำที่ระบายทั้งหมดรายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา

(Unit : mcm)													
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2524	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.18	-
2525	72.51	279.91	350.58	324.75	311.00	244.20	314.24	170.73	496.52	313.70	281.50	275.22	3,434.85
2526	285.70	338.73	448.29	504.32	530.86	527.95	370.21	318.98	216.91	128.66	117.53	150.75	3,938.88
2527	149.35	378.66	474.77	475.18	441.02	310.69	209.09	358.54	514.21	269.25	449.00	144.98	4,174.73
2528	211.90	363.56	509.89	450.06	357.53	218.13	119.23	145.91	130.87	118.01	107.44	138.18	2,870.70
2529	119.68	121.20	464.81	660.79	402.77	652.04	567.66	660.87	585.30	275.27	206.49	228.26	4,945.14
2530	249.68	198.35	406.42	384.80	386.89	311.90	269.84	352.52	186.10	229.37	227.07	36.55	3,239.49
2531	111.56	136.45	234.18	205.87	250.86	260.53	363.29	372.07	368.52	292.33	278.83	233.19	3,107.68
2532	168.37	330.90	525.73	589.46	623.83	597.07	396.30	443.10	433.15	386.63	403.56	66.46	4,964.56
2533	137.65	217.82	366.20	246.83	228.34	169.28	205.21	325.63	309.17	271.60	265.66	158.39	2,901.78
2534	358.78	269.83	379.20	385.86	341.45	216.96	149.18	321.27	403.37	366.24	452.69	278.67	3,923.50
2535	262.45	351.67	545.08	472.33	440.69	438.05	324.95	166.54	335.95	343.37	289.08	363.72	4,333.88
2536	186.43	301.35	380.32	332.47	317.82	353.59	200.92	136.31	211.60	132.20	157.16	109.02	2,819.19
2537	124.74	227.15	225.12	270.87	247.03	150.45	108.48	111.91	222.11	263.50	309.49	366.95	2,627.80
2538	349.04	375.81	524.33	402.07	565.29	552.99	378.65	393.74	288.65	412.82	451.65	299.34	4,994.38
2539	415.59	246.08	496.67	398.85	443.93	474.14	223.77	355.58	387.27	410.11	484.94	294.41	4,631.34
2540	373.49	425.74	539.00	465.57	647.23	599.01	529.58	336.03	406.51	482.81	340.71	475.56	5,621.24
2541	365.61	289.52	468.86	465.58	458.96	278.50	196.24	281.98	246.89	157.23	224.05	135.99	3,569.41
2542	196.09	297.19	479.03	496.28	204.24	220.37	191.60	179.82	198.26	141.31	64.70	72.21	2,741.10
2543	179.17	287.23	380.31	388.24	401.65	125.32	88.21	316.59	376.14	227.46	373.31	317.91	3,461.54
2544	278.85	363.17	378.02	347.39	471.53	404.56	332.24	334.14	394.25	341.91	261.04	245.58	4,152.68
2545	211.36	255.97	418.00	422.94	347.26	301.14	260.44	351.46	585.31	813.66	502.02	505.99	4,975.55
2546	478.51	441.54	493.41	515.98	549.53	421.35	370.10	435.56	402.01	416.40	439.07	427.24	5,390.70
2547	428.74	421.51	513.67	467.87	306.64	189.90	279.85	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก18 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือนของเขื่อนท่าทุ่งนา

(Unit : GWh)

[illegible]

ตารางผนวกที่ ก19 ปริมาณ Side Flow ทั้งหมดรายเดือนของกลุ่มน้ำแม่กลอง

(Unit : mcm)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2528	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.78	290.29	242.20	720.30	1030.47	377.88	200.73	2,932.65
2529	156.36	59.43	0.00	23.46	206.41	151.48	109.79	61.68	109.38	653.07	82.96	202.69	1,816.71
2530	161.12	3.34	0.00	30.26	49.59	96.18	44.04	53.60	178.08	208.55	362.66	140.90	1,328.31
2531	17.26	24.17	16.87	55.89	200.58	330.34	181.78	228.24	502.35	1465.90	225.53	155.37	3,404.26
2532	115.85	38.33	0.00	0.00	0.00	82.46	66.12	63.24	71.07	146.22	68.52	164.80	816.62
2533	203.92	0.00	0.00	12.80	38.13	144.87	160.30	56.15	117.14	307.90	157.53	120.92	1,319.66
2534	72.83	0.00	0.00	33.72	89.20	187.37	175.96	683.12	334.37	565.36	216.91	284.68	2,643.53
2535	190.07	47.93	24.27	61.91	55.57	0.00	30.36	213.31	24.59	450.05	237.33	272.05	1,607.45
2536	277.99	38.18	17.05	59.07	132.69	192.68	145.91	244.39	273.42	514.37	198.01	229.13	2,322.89
2537	222.67	82.10	28.85	76.96	152.61	248.37	583.78	988.62	497.75	573.94	250.69	412.70	4,119.05
2538	287.28	111.39	302.12	96.03	139.51	326.43	386.62	349.70	1127.83	1000.15	309.78	345.28	4,782.12
2539	236.18	63.51	107.52	68.96	147.76	332.74	672.23	565.24	1156.85	2072.88	726.80	399.20	6,549.87
2540	278.24	161.92	101.96	29.05	51.21	24.19	264.89	671.65	495.88	604.57	465.14	233.54	3,382.23
2541	172.31	0.00	0.00	0.00	52.05	142.99	129.11	66.23	216.66	831.23	155.98	81.28	1,847.84
2542	124.70	70.79	0.00	38.51	369.63	166.94	158.28	414.23	104.67	912.66	956.72	183.66	3,500.77
2543	139.90	0.00	0.00	86.23	120.38	559.97	315.25	54.03	353.42	510.71	269.70	237.51	2,647.10
2544	147.44	127.59	89.58	37.94	108.19	136.53	130.36	273.54	288.42	387.15	141.94	88.97	1,957.65
2545	3.96	0.00	0.00	16.91	192.09	134.29	281.39	360.32	0.00	617.72	325.99	681.03	2,613.70
2546	132.06	59.05	135.89	125.72	177.05	230.52	266.27	155.18	355.62	401.25	247.81	296.98	2,583.40
2547	74.92	60.84	81.03	111.23	476.06	380.64	0.00	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก20 ปริมาณน้ำที่ปล่อยรายเดือนของเขื่อนแม่กลอง

(Unit : cms)													
Year	Release	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2528	Downstream	0.00	62.00	72.42	68.97	75.74	71.53	344.32	216.90	584.47	405.81	149.90	239.77
	LMC	0.00	63.91	84.03	69.25	35.27	37.19	48.25	72.51	73.57	36.29	43.34	15.64
	1L	0.00	2.39	1.78	2.91	3.49	4.81	5.52	7.88	6.16	3.44	6.60	4.98
	2L	0.00	2.28	4.01	4.84	4.21	3.57	3.76	3.80	6.02	0.87	1.00	1.40
	1R	0.00	3.34	4.08	4.03	3.94	3.78	19.94	36.14	36.02	19.17	30.66	17.24
	2R	0.00	3.60	6.31	6.99	5.95	3.95	8.83	14.33	11.83	7.42	13.50	3.71
2529	Downstream	189.97	106.89	212.77	326.67	375.26	516.72	323.29	386.65	350.59	356.16	74.13	170.74
	LMC	12.60	60.76	71.36	80.82	35.40	38.71	42.29	67.49	82.30	33.37	45.85	15.30
	1L	4.24	3.50	2.20	1.50	2.17	3.44	5.04	5.44	8.27	4.57	6.20	9.00
	2L	1.40	1.80	5.83	7.00	2.47	4.33	6.32	4.16	11.40	3.06	3.11	3.27
	1R	11.85	6.46	6.62	7.13	4.92	8.55	23.47	51.95	45.01	29.48	45.76	41.09
	2R	4.24	4.77	8.48	8.04	5.17	0.00	8.90	14.32	15.32	9.92	16.10	14.62
2530	Downstream	166.19	101.32	143.97	129.43	155.42	227.77	69.65	87.10	92.37	103.94	207.07	71.55
	LMC	5.35	44.22	65.35	65.20	59.49	49.14	79.33	104.49	85.78	77.52	47.61	6.82
	1L	5.10	1.21	1.35	2.06	12.17	5.31	8.18	9.97	7.73	6.96	5.63	1.68
	2L	4.78	6.29	12.88	13.46	13.08	13.01	23.74	31.27	21.30	11.20	10.26	2.75
	1R	28.88	16.66	21.81	23.84	23.60	13.11	30.69	51.12	42.69	44.68	29.99	6.62
	2R	10.95	7.29	11.10	11.87	10.97	10.05	12.12	17.23	14.34	14.37	11.54	7.82
2531	Downstream	90.58	91.97	81.65	76.83	181.94	225.60	191.16	162.13	302.80	612.29	81.93	95.52
	LMC	3.89	48.95	85.55	72.10	43.28	48.36	51.93	75.23	72.32	40.30	53.19	19.42
	1L	4.40	7.13	9.26	9.65	8.99	8.61	7.64	12.59	7.85	6.89	9.06	8.39
	2L	1.84	30.14	70.45	77.54	36.16	29.89	17.51	18.52	26.21	5.92	9.89	7.18
	1R	15.33	24.05	31.56	33.67	21.25	16.84	32.05	52.73	37.78	36.84	54.51	35.70
	2R	9.80	11.78	12.74	13.94	9.66	11.15	13.59	15.20	13.73	9.92	14.57	8.81

ตารางผนวกที่ ก20 (ต่อ)

(Unit : cms)													
Year	Release	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2532	Downstream	124.55	78.57	109.68	86.40	147.71	324.03	117.81	63.84	122.47	124.55	71.50	67.52
	LMC	13.98	60.49	89.54	96.66	82.92	62.90	69.46	102.04	103.45	82.23	72.37	27.57
	1L	1.23	11.31	13.01	14.31	15.45	12.92	11.11	12.11	10.02	10.00	13.06	12.35
	2L	1.23	26.57	45.22	58.33	60.01	42.12	15.83	35.34	38.67	23.88	34.58	26.20
	1R	35.71	35.73	45.72	54.40	50.26	14.79	32.76	51.30	55.48	49.21	57.00	38.19
	2R	9.72	10.64	13.76	16.41	14.77	8.42	3.11	12.74	15.18	14.87	15.24	11.53
2533	Downstream	111.90	73.18	105.52	59.17	96.77	106.57	72.13	68.94	102.83	257.65	169.07	81.26
	LMC	25.02	74.61	93.25	94.50	80.27	44.48	79.61	110.98	105.26	41.28	35.13	15.21
	1L	11.68	11.01	11.66	12.55	10.39	9.74	9.38	11.62	8.75	8.59	10.91	10.49
	2L	27.26	28.32	51.47	63.61	63.58	50.06	45.66	55.76	51.89	22.18	18.27	14.51
	1R	44.65	51.11	62.86	63.87	56.42	21.60	39.08	61.74	65.04	54.92	55.71	35.68
	2R	10.92	10.31	15.59	16.03	14.41	5.94	6.88	17.07	17.81	12.29	15.00	10.88
2534	Downstream	177.68	43.25	63.87	79.93	38.16	52.13	46.23	309.81	342.07	384.13	275.47	231.19
	LMC	14.62	69.03	89.55	84.85	72.30	63.54	83.87	99.98	82.77	55.16	71.31	35.41
	1L	10.01	9.53	11.47	11.69	11.76	9.45	6.88	10.46	11.92	9.45	12.97	13.03
	2L	6.57	18.93	46.35	60.26	60.69	48.91	45.75	53.41	41.06	33.70	37.34	19.03
	1R	41.42	47.17	60.50	59.93	58.76	29.30	41.88	57.11	60.53	46.49	56.71	23.30
	2R	10.42	9.96	12.56	13.83	12.34	8.45	5.52	15.52	17.91	22.28	21.26	13.67
2535	Downstream	147.84	89.66	130.19	86.17	65.65	211.37	179.26	107.45	64.10	323.84	165.53	188.23
	LMC	29.24	75.74	98.89	100.04	87.63	67.35	75.47	81.03	97.06	56.95	50.29	17.51
	1L	11.05	9.08	12.80	13.48	14.40	7.90	6.48	8.86	12.90	7.10	11.97	13.63
	2L	29.40	39.77	60.99	65.87	71.30	32.22	33.55	32.58	31.00	20.02	23.95	24.61
	1R	38.69	54.07	65.25	65.09	61.75	12.52	17.69	53.30	59.95	41.54	45.95	37.68
	2R	10.41	7.15	16.82	15.28	14.04	5.43	1.64	11.48	14.56	14.51	14.16	8.10

ตารางผนวกที่ ก20 (ต่อ)

(Unit : cms)													
Year	Release	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2536	Downstream	67.19	49.61	69.35	76.07	58.26	148.07	48.55	80.65	123.37	154.35	41.50	41.45
	LMC	27.01	73.32	82.85	89.19	87.00	51.54	77.12	89.06	71.13	49.54	58.04	34.95
	1L	11.92	10.21	10.98	12.45	11.03	11.91	11.97	10.93	8.35	8.45	12.39	11.83
	2L	24.99	25.37	35.70	41.81	40.30	22.52	30.74	38.25	34.93	21.86	30.09	21.91
	1R	42.69	47.71	49.83	56.50	49.85	24.33	30.00	51.28	40.15	33.37	45.21	42.10
	2R	8.41	8.73	12.29	13.05	12.67	8.64	6.08	13.21	13.62	12.13	12.41	9.62
2537	Downstream	58.74	75.36	53.03	78.27	65.52	86.53	187.81	490.52	555.10	382.06	323.43	391.55
	LMC	49.14	74.38	90.13	88.68	82.62	42.36	36.07	81.80	82.72	54.66	85.03	37.77
	1L	11.90	11.98	11.52	11.99	12.70	11.95	10.66	11.44	10.45	10.69	13.88	14.24
	2L	15.27	28.23	38.86	42.69	44.12	36.27	30.83	33.84	33.60	28.06	40.99	20.97
	1R	40.59	39.07	51.30	51.10	48.83	28.72	26.45	52.88	49.35	47.03	60.29	48.36
	2R	9.19	8.77	8.66	11.18	11.30	10.19	7.18	11.23	12.57	15.30	19.81	12.75
2538	Downstream	245.68	156.61	253.94	123.07	208.00	424.77	255.48	173.84	624.03	571.13	291.80	215.87
	LMC	44.05	81.43	99.39	98.40	89.52	40.84	47.82	75.07	42.88	25.21	40.27	23.01
	1L	12.37	10.51	11.43	12.66	11.96	10.15	11.43	10.78	8.48	7.14	10.78	5.93
	2L	14.02	30.28	46.88	58.50	53.15	36.73	35.16	37.10	14.73	5.47	17.89	19.93
	1R	47.07	45.78	54.41	61.81	58.27	21.23	36.23	51.23	12.74	27.86	55.36	38.32
	2R	12.31	11.87	14.04	16.11	19.32	11.16	7.89	10.73	5.91	14.07	16.55	8.21
2539	Downstream	243.77	103.41	197.00	116.63	199.55	431.53	327.23	362.58	656.97	949.65	513.57	254.87
	LMC	28.94	67.09	82.81	99.01	56.32	21.91	64.91	87.00	57.30	22.02	40.36	16.58
	1L	7.76	9.58	9.96	11.52	11.56	9.04	6.46	9.51	9.89	12.60	10.25	7.21
	2L	17.31	39.18	52.45	62.55	50.54	29.57	36.12	37.33	40.71	22.03	27.28	19.40
	1R	42.61	46.89	60.09	59.31	50.06	28.25	42.46	43.68	46.76	38.12	29.48	36.96
	2R	12.28	16.35	24.87	22.57	16.50	11.16	10.10	12.89	13.94	13.01	12.04	12.92

ตารางผนวกที่ ก20 (ต่อ)

(Unit : cms)													
Year	Release	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2540	Downstream	205.74	149.46	134.74	115.63	151.81	234.60	193.74	719.26	500.13	436.94	266.30	271.35
	LMC	27.91	76.72	88.72	78.14	97.57	65.63	90.24	92.84	79.32	80.26	62.32	40.53
	1L	10.43	13.64	14.60	13.68	15.35	5.90	14.06	14.40	13.10	15.82	9.61	4.52
	2L	16.15	40.49	54.33	53.30	62.41	59.88	60.52	53.21	38.49	31.70	31.93	34.43
	1R	45.33	53.71	59.95	64.08	61.95	7.01	18.18	52.73	47.59	56.44	23.26	40.87
	2R	12.92	13.81	22.63	20.51	19.01	2.56	12.72	11.72	12.28	14.80	10.02	4.95
2541	Downstream	189.52	82.11	128.71	137.77	158.19	198.40	107.71	82.23	84.80	262.32	65.97	44.52
	LMC	61.64	93.24	103.74	102.98	97.63	37.04	49.39	65.88	72.67	53.13	70.17	30.69
	1L	8.42	12.32	16.25	16.73	18.80	10.48	13.13	14.40	13.97	9.51	10.18	3.88
	2L	29.92	47.85	68.03	70.38	66.14	45.27	47.01	54.05	47.03	27.50	28.21	21.71
	1R	36.01	31.16	56.85	60.12	57.56	34.12	18.42	49.75	42.86	40.46	35.63	13.63
	2R	6.78	8.62	12.35	12.90	12.98	19.45	11.79	11.51	13.53	9.69	6.83	2.97
2542	Downstream	56.52	45.04	39.68	58.93	102.13	77.87	48.48	135.26	74.00	318.19	365.43	91.87
	LMC	54.48	71.63	84.42	80.64	31.92	34.22	54.29	79.65	71.33	47.92	25.60	23.20
	1L	7.05	10.23	13.95	14.63	14.11	9.48	10.04	13.56	13.87	12.59	8.54	6.80
	2L	24.64	39.71	56.85	54.85	40.70	37.47	43.67	56.84	60.79	37.31	17.68	24.22
	1R	29.79	45.95	50.76	55.83	44.23	27.34	40.95	50.12	52.80	51.52	22.92	18.52
	2R	6.72	10.48	11.53	10.79	9.07	8.06	4.79	36.30	8.60	10.19	7.27	4.51
2543	Downstream	118.35	120.83	100.63	171.80	193.42	175.45	139.61	90.06	272.24	186.10	167.86	205.03
	LMC	26.88	61.71	84.75	77.88	83.06	175.45	46.27	90.84	80.83	65.09	74.32	33.80
	1L	4.98	8.27	17.17	18.03	14.50	50.64	6.52	13.32	15.12	14.70	14.71	10.71
	2L	24.65	56.87	67.27	46.17	43.64	43.41	43.16	69.85	61.21	40.47	46.00	26.02
	1R	36.45	36.45	54.39	54.63	58.75	37.06	44.22	49.47	54.86	51.61	53.80	34.16
	2R	8.03	8.03	11.55	12.86	16.19	7.20	4.59	10.52	15.03	13.99	13.71	4.90

ตารางผนวกที่ ก20 (ต่อ)

(Unit : cms)													
Year	Release	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2544	Downstream	123.93	127.46	211.42	138.83	126.10	175.03	169.58	232.00	285.17	251.68	117.43	175.26
	LMC	27.99	63.54	49.65	88.61	99.50	57.26	55.04	80.12	70.66	23.13	31.79	30.11
	1L	13.36	13.36	16.00	18.49	19.03	19.04	7.33	19.21	19.20	19.09	15.11	1.47
	2L	39.55	64.56	43.97	75.49	59.02	54.35	65.19	61.88	63.81	40.14	38.02	26.22
	1R	44.68	55.21	49.64	60.64	63.11	23.08	21.82	54.48	61.16	44.34	36.34	2.10
	2R	1.87	6.56	11.25	14.33	16.41	10.80	3.02	12.83	13.55	12.14	9.34	0.00
2545	Downstream	130.61	84.39	138.45	95.63	170.19	158.60	166.39	404.63	404.63	642.87	355.83	348.03
	LMC	46.40	80.29	88.76	98.44	80.06	46.94	70.80	51.98	51.98	33.15	30.49	159.01
	1L	0.00	14.68	18.58	24.07	22.24	8.13	18.02	20.40	20.40	22.77	16.66	10.78
	2L	38.67	60.71	70.47	121.39	77.83	99.94	91.86	75.11	75.11	58.37	41.20	34.41
	1R	0.00	33.76	60.40	63.01	61.08	22.83	16.88	36.75	36.75	56.62	47.60	13.31
	2R	0.00	7.66	15.07	15.92	12.81	5.30	3.73	7.48	7.48	11.23	11.26	2.27
2546	Downstream	323.65	180.04	163.84	150.17	207.68	245.60	225.30	225.30	225.30	225.30	225.30	225.30
	LMC	46.58	93.23	101.09	106.39	82.53	63.72	63.44	63.44	63.44	63.44	63.44	63.44
	1L	0.52	17.92	21.21	23.16	22.02	12.54	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57
	2L	38.71	82.85	91.91	101.74	93.45	94.01	76.85	76.85	76.85	76.85	76.85	76.85
	1R	0.00	36.36	58.93	64.53	64.75	20.28	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14
	2R	0.00	8.42	13.44	16.65	17.54	8.14	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07
2547	Downstream	205.00	157.21	109.42	89.24	175.42	116.39	-	-	-	-	-	-
	LMC	63.17	92.17	121.17	126.74	99.62	73.49	-	-	-	-	-	-
	1L	0.60	9.51	18.42	20.40	17.95	5.92	-	-	-	-	-	-
	2L	59.68	88.49	117.29	116.07	88.81	88.49	-	-	-	-	-	-
	1R	0.00	33.94	67.87	75.39	53.00	22.82	-	-	-	-	-	-
	2R	0.00	6.86	13.72	20.20	11.69	9.31	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก21 สภาพภูมิอากาศของสถานีจังหวัดกาญจนบุรีในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1971-2000													
Station: Kanchanaburi								Elevation of station above MSL		28	Meters		
Index station	48450								Height of barometer above MSL		29	Meters	
Latitude	14 01 N								Height of thermometer above ground		1.25	Meters	
Longitude	99 32 E								Height of wind vane above ground		15.00	Meters	
									Height of rain gauge		0.92	Meters	
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
Pressure (Hectopascal)													
Mean	1,012.60	1,011.00	1,009.60	1,008.00	1,007.00	1,006.40	1,006.60	1,006.80	1,008.10	1,010.00	1,012.10	1,013.60	1,009.30
Ext. max.	1,024.40	1,021.90	1,022.60	1,018.10	1,015.10	1,013.60	1,013.70	1,013.50	1,015.60	1,018.70	1,021.50	1,024.00	1,024.40
Ext. min.	1,003.40	1,000.90	1,000.20	999.50	999.90	999.20	998.70	998.80	1,000.30	1,001.70	1,003.40	1,004.00	998.70
Mean daily range	5.20	5.60	5.80	5.60	4.70	3.90	3.80	3.90	4.60	4.70	4.60	4.80	4.80
Temperature (Celsius)													
Mean	25.60	27.90	29.90	31.10	29.90	28.90	28.50	28.20	27.90	27.20	26.10	24.70	28.00
Mean max.	32.80	35.50	37.60	38.30	36.10	34.20	33.80	33.40	33.30	32.00	31.20	31.10	34.10
Mean min.	19.20	21.50	23.80	25.80	25.70	25.30	24.90	24.80	24.40	23.60	21.70	19.00	23.30
Ext. max.	38.10	40.80	42.10	43.50	42.80	40.60	39.70	39.40	37.90	36.00	38.00	37.20	43.50
Ext. min.	9.30	12.10	13.30	21.40	21.50	22.40	21.10	21.60	20.20	16.20	11.60	6.80	6.80
Relative Humidity (%)													
Mean	63.00	60.00	59.00	61.00	69.00	72.00	72.00	73.00	77.00	79.00	73.00	65.00	69.00
Mean max.	85.00	83.00	80.00	80.00	85.00	86.00	86.00	87.00	90.00	92.00	89.00	85.00	86.00
Mean min.	40.00	36.00	34.00	38.00	49.00	55.00	55.00	57.00	59.00	62.00	55.00	44.00	49.00
Ext. min.	15.00	12.00	13.00	15.00	21.00	28.00	31.00	38.00	36.00	31.00	27.00	22.00	12.00
Dew Point (Celsius)													
Mean	17.40	18.50	20.00	21.60	23.00	22.90	22.60	22.70	23.10	22.90	20.50	17.30	21.00
Evaporation (mm)													
Mean-pan	140.00	150.40	205.80	215.70	190.40	157.50	160.40	154.00	138.10	122.60	128.00	142.20	1,905.10
Cloudiness (0-10)													
Mean	3.00	3.20	3.40	4.50	6.60	7.80	8.00	8.40	8.10	7.00	5.00	3.30	5.70
Sunshine Duration (h)													
NO OBSERVATION													
Visibility (km)													
0700 L.S.T.	5.40	5.40	6.10	7.80	9.40	9.50	9.60	9.40	9.00	7.90	7.10	6.60	7.80
Mean	7.00	6.80	7.10	8.60	10.30	10.60	10.50	10.30	10.00	9.30	8.70	7.90	8.90
Wind (Knots)													
Mean wind speed	1.50	2.00	2.30	2.40	2.20	2.20	2.40	2.50	1.80	1.40	2.10	2.10	-
Prevailing wind	NE	SE	SE	W	W	W	W	W	W	NE	NE	NE	-
Max. wind speed	20.00	28.00	40.00	37.00	35.00	33.00	35.00	30.00	40.00	30.00	31.00	27.00	40.00
Rainfall (mm)													
Mean	5.20	11.40	27.50	75.00	135.30	83.80	102.10	109.00	227.80	209.30	62.70	6.20	1,055.30
Mean rainy day	0.90	1.60	2.60	5.80	13.20	14.10	15.60	16.30	18.00	15.20	5.50	1.10	109.90
Daily maximum	54.40	52.90	133.90	89.80	96.90	74.10	65.80	99.50	165.50	132.40	99.50	41.80	165.50

ภาคผนวก ข

รายชื่อการประปาส่วนภูมิภาคในกลุ่มน้ำแม่กลอง
สถานีสูบน้ำในความรับผิดชอบของฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า
และสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย

ตารางผนวกที่ ข1 รายชื่อการประปาส่วนภูมิภาคและแหล่งน้ำดิบในกลุ่มน้ำแม่กลอง

ชื่อการประปา	หน่วยงานรับผิดชอบ	สถานีจ่ายน้ำ	เขตจ่ายน้ำ	แหล่งน้ำดิบ	กำลังการผลิต (ลบ.ม./วัน)
1. การประปាកาญจนบุรี	สำนักงานประปាកาญจนบุรี	สถานีจ่ายน้ำเขาหัวล้าน	ทม.อ.เมือง ทต.ท่าม่วง อ.ท่าม่วง	แม่น้ำแควใหญ่	24,960
2. การประปาทำมะกา	-	-	ส.ท่ามะกา ส.ดอนขมิ้น ส.ห้วยเหนือ	บ่อบาดาล	12,960
3. การประปาพนมทวน	สำนักงานประปาพนมทวน	สถานีจ่ายน้ำตลาดเขต	ทต.พนมทวน อ.พนมทวน ทต.รางหวาย-ตลาดเขต อ.พนมทวน	อ่างเก็บน้ำพนมทวน	2,400
4. การประปาจอมบึง-สวนผึ้ง	หน่วยบริการจอมบึง สำนักงานประปาสวนผึ้ง	สถานีจ่ายน้ำจอมบึง สถานีจ่ายน้ำบ้านซึ้งป่าหวาย	ทต.จอมบึง อ.จอมบึง ทต.บ้านซึ้งป่าหวาย อ.สวนผึ้ง	เขื่อน โนนสมบูรณ์ อ่างเก็บน้ำชลประทาน บ้านซึ้งป่าหวาย	2,640 720
5. การประปาดำเนินสะดวก	บ.แอคคลอมธรา	สถานีจ่ายน้ำสวนผึ้ง สถานีจ่ายน้ำดำเนินสะดวก	ทต.สวนผึ้ง อ.สวนผึ้ง ทต.ดำเนินสะดวก อ.ดำเนินสะดวก	ลำน้ำภาษี แม่น้ำแม่กลอง	720 2,400
6. การประปาบ้านโป่ง	สำนักงานประปาบ้านโป่ง	สถานีผลิตน้ำบ่อบาดาล	ทม.บ้านโป่งและรอบนอก ทต.ท่าผา อ.บ้านโป่ง ทต.กระเจี๊	แม่น้ำแม่กลองและบ่อบาดาล	18,240

หมายเหตุ ทม. = เทศบาลเมือง

ทต. = เทศบาลตำบล

ส. = สถานี

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ชื่อการประปา	หน่วยงานรับผิดชอบ	สถานีจ่ายน้ำ	เขตจ่ายน้ำ	แหล่งน้ำดิบ	กำลังการผลิต (ลบ.ม./วัน)
7. การประปาปากท่อ	หน่วยบริการเขางู-หลักเมือง				
	เมือง	สถานีผลิตน้ำหลักเมือง	ทต.หลักเมือง อ.เมือง	แม่น้ำแม่กลอง	12,000
	สำนักงานประปาปากท่อ	สถานีจ่ายน้ำหลักเมือง (กปภ.)	ทต.เขางู อ.เมือง	แม่น้ำแม่กลอง	2,400
	บ.แอกคอมธรา	สถานีจ่ายน้ำเขางู (กปภ.)	ส.ปากท่อ อ.ปากท่อ	คลองส่งน้ำชลประทาน	3,600
8. การประปาสมุทรสงคราม	บ.แอกคอมธรา	-	ทม.สมุทรสงคราม อ.เมืองและชุมชน	แม่น้ำแม่กลอง	17,520
	สำนักงานประปาสมุทรสงคราม				
รวม					100,560

หมายเหตุ ทม. = เทศบาลเมือง

ทต. = เทศบาลตำบล

ส. = สถานี

ตารางผนวกที่ ๒2 รายชื่อสถานีสูบน้ำในความรับผิดชอบของฝ่ายปฏิบัติการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า (กาญจนบุรี)

ลำดับ ที่	ชื่อสถานีสูบน้ำ	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ประเภทโครงการ	ปีที่จัดตั้ง	ปีที่ส่งน้ำ	แหล่งน้ำ	พื้นที่โครงการ (ไร่)	พื้นที่ส่งน้ำ (ไร่)
1	หัวหิน-บ้านยาง	ท่ามะขาม	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2523	2524	แควใหญ่	4,100	2,250
2	หนองบัว (1)	หนองบัว	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2523	2525	แควใหญ่	2,300	1,600
3	นากาญจน์	วังเย็น	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2523	2527	แควน้อย	2,600	2,150
4	หนองกลางพง (1)	วังเย็น	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2523	2526	แควน้อย	2,500	2,000
5	ลาดทอง	แก่งเสี้ยน	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2523	2525	แควใหญ่	2,500	1,900
6	เกาะสำโรง	เกาะสำโรง	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2526	2527	แควน้อย	4,200	1,650
7	หนองหญ้า (1)	หนองหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2526	2529	แควน้อย	3,500	3,230
8	วังคัง	วังคัง	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2528	2530	แควใหญ่	4,200	2,500
9	แก่งจัน	ลาดหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2530	2530	แควใหญ่	4,000	2,200
10	เก่า (2)	บ้านเก่า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2531	2532	แควน้อย	3,000	1,800
11	ท่าโป่ง	วังคัง	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2531	2538	แควใหญ่	3,000	1,800
12	หนองบัว (2)	หนองบัว	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2531	2532	แควใหญ่	1,000	1,000
13	วังตะเคียน (1)	วังเย็น	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2531	2533	แควน้อย	2,900	1,500
14	ท่ากระบือ	เกาะสำโรง	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2532	2534	แควน้อย	3,300	2,500
15	จันอุย	ลาดหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2533	2534	แควใหญ่	2,000	2,000
16	หนองผักนึ่ง	แก่งเสี้ยน	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2535	2538	แควใหญ่	500	500
17	หนองกลางพง (2)	วังเย็น	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2535	2538	แควน้อย	2,000	1,500
18	หนองสามพราน	วังคัง	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2535	2538	แควใหญ่	1,000	1,000
19	ท่าดินสอพอง	แก่งเสี้ยน	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2537	2540	แควใหญ่	2,000	1,000

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลำดับ ที่	ชื่อสถานีสูบน้ำ	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ประเภทโครงการ	ปีที่จัดตั้ง	ปีที่ส่งน้ำ	แหล่งน้ำ	พื้นที่โครงการ (ไร่)	พื้นที่ส่งน้ำ (ไร่)
20	วังลาน	หนองหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2537	2540	แควน้อย	2,000	1,500
21	เขาปูน	หนองหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2537	2540	แควน้อย	3,000	1,000
22	วังตะเคียน (2)	วังเย็น	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2537	2540	แควน้อย	2,500	1,500
23	หนองหญ้า (2)	หนองหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2538	2541	แควน้อย	1,500	1,000
24	สระหลวงพ่	ลาดหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ฤดูฝน	2539	2541	สระชลประทาน	2,000	1,000
25	วังลาน (2)	หนองหญ้า	เมือง	กาญจนบุรี	ท่อส่งน้ำ	2543	2544	แควน้อย	1,310	1,200
26	ห้วยน้ำขาว	บ้านเก่า	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2544	2546	อ่างเก็บน้ำ	750	750
27	ลุ่มวังยาง	เกาะสำโรง	เมือง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2545	2546	แควน้อย	2,711	1,000
28	เก่า (1)	สิงห์	ไทรโยค	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2528	2530	แควน้อย	3,600	2,000
29	ท่ากิเลน	สิงห์	ไทรโยค	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2531	2532	แควน้อย	2,900	1,200
30	ท่าช้าง	สิงห์	ไทรโยค	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2531	2532	แควน้อย	3,000	1,800
31	หนองปลาไหล	สิงห์	ไทรโยค	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2539	2543	แควน้อย	1,500	1,000
32	ลุ่มผึ้ง (ก)	ลุ่มส้ม	ไทรโยค	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2544	-	แควน้อย	1,000	-
33	แก่งจ้อ	ไทรโยค	ไทรโยค	กาญจนบุรี	ขนาดเล็ก	2544	2546	แควน้อย	1,100	1,100
34	ย่านเจ้า-ยางเกาะ	กลอนโค	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2523	2526	แควน้อย	3,000	2,400
35	ท่าเสาเมรุ	กลอนโค	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2524	2527	ลำภาชี	3,000	1,700
36	จรเข้เผือก (1)	จรเข้เผือก	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2525	2527	แควน้อย	2,200	2,000
37	กลอนโค	กลอนโค	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2528	2530	แควน้อย	4,000	2,100
38	เขาปูนค	กลอนโค	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2530	2532	แควน้อย	2,500	2,000

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลำดับ ที่	ชื่อสถานีสืบน้ำ	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ประเภทโครงการ	ปีที่จัดตั้ง	ปีที่ส่งน้ำ	แหล่งน้ำ	พื้นที่โครงการ (ไร่)	พื้นที่ส่งน้ำ (ไร่)
39	ท่าเสด็จ	จรเข้เผือก	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2533	2535	แควน้อย	2,300	1,500
40	ด่านมะขามเตี้ย	หนองไผ่	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ฤดูฝน	2534	2537	ลำภาชี	2,500	1,500
41	ลำภา	จรเข้เผือก	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2535	2538	แควน้อย	2,000	1,400
42	ข่านเจ้า หมู่ 7	กลอนโค	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2537	2540	แควน้อย	1,800	1,000
43	จรเข้เผือก (2)	จรเข้เผือก	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2539	2541	แควน้อย	1,800	1,000
44	ลุ่มดงยาง	กลอนโค	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2543	2544	แควน้อย	1,200	1,000
45	ห้วยน้ำโจน	เขาน้อย	ท่าม่วง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2531	2534	แม่กลอง	3,000	2,000
46	รางสาลี	รางสาลี	ท่าม่วง	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2539	2541	แควน้อย	2,000	1,500
47	แก่งแซ	ลั่นถัน	ทองผาภูมิ	กาญจนบุรี	ขนาดใหญ่	2532	2534	แควน้อย	3,000	2,100
48	หนองแดง	หนองกุ่ม	บ่อพลอย	กาญจนบุรี	ฤดูฝน	2537	2539	ลำตะเพิน	2,000	1,000
49	ท่าแจง	หนองกุ่ม	บ่อพลอย	กาญจนบุรี	ฤดูฝน	2544	2546	ลำตะเพิน	1,600	1,000
50	กึ่งกระถิน	กึ่งกระถิน	เมือง	ราชบุรี	ขนาดใหญ่	2524	2526	แม่กลอง	4,000	3,000
51	ท้ายเมือง	พงสวาย	เมือง	ราชบุรี	ขนาดใหญ่	2524	2526	แม่กลอง	4,000	1,500
52	คลองข่อย	คลองข่อย	โพธาราม	ราชบุรี	ขนาดเล็ก	2536	2538	แม่กลอง	1,000	500
53	นาคอก	อ่างหิน	ปากท่อ	ราชบุรี	ฤดูฝน	2537	2539	ห้วยอ่างทอง	1,500	1,000
54	หนองชุมแสง	ท่าไม้รวก	ท่ายาง	เพชรบุรี	ขนาดใหญ่	2539	2531	เพชรบุรี	3,000	2,600
55	แม่ประจันต์	วังไคร้	ท่ายาง	เพชรบุรี	ขนาดใหญ่	2533	2535	ห้วยแม่ประจันต์	3,000	2,000
56	ไร่หลวง	ท่าไม้รวก	ท่ายาง	เพชรบุรี	ขนาดใหญ่	2535	2537	เพชรบุรี	1,200	1,200
57	ท่าไม้รวก	ท่าไม้รวก	ท่ายาง	เพชรบุรี	ขนาดเล็ก	2535	2545	เพชรบุรี	1,200	1,000

ตารางผนวกที่ ข3 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย

แหล่งผลิตไฟฟ้า	กำลังผลิตติดตั้งปี 2546 (MW)	สัดส่วน (%)	
1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	14,431	58	
2. ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP)	8,000	32	
3. ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP)	1,912	8	
4. นำเข้าและแลกเปลี่ยน	640	2	
รวม	24,983	100	

การผลิตพลังงานไฟฟ้าแยกตามชนิดของเชื้อเพลิงปี 2546

ชนิดเชื้อเพลิง	สัดส่วน (%)
ก๊าซธรรมชาติ	72.39%
ถ่านหิน	16.30%
พลังน้ำ	6.09%
ก๊าซธรรมชาติ	2.06%
นำเข้าและอื่น ๆ	3.17%

ปี	ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (MW)	ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor, %)	กำลังผลิตสำรองไฟฟ้าต่ำสุด (Reserved Margin, %)
2536	9,839	74.2	12.1
2537	11,064	74.3	13.6
2538	12,268	74.9	5.6
2539	13,311	75.1	8.6
2540	14,506	73.5	8.3
2541	14,180	73.4	20.1
2542	13,712	76.1	22.1
2543	14,918	75.2	22.0
2544	16,126	73.5	30.9
2545	16,681	76.1	27.5
2546	18,121	73.9	35.1

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ประเภทผู้ใช้	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (GWh)		การเปลี่ยนแปลง (%)
	ปี 2545	ปี 2546	
1. การใช้ไฟฟ้าในเขตนครหลวง			
-บ้านและที่อยู่อาศัย	7,526	7,984	6.1
-ธุรกิจ	12,186	12,746	4.6
-อุตสาหกรรม	13,804	14,381	4.2
-อื่น ๆ	1,960	2,045	4.4
รวม	35,476	37,156	4.7
2. การใช้ไฟฟ้าในเขตภูมิภาค			
-บ้านและที่อยู่อาศัย	14,518	15,331	5.6
-ธุรกิจ	11,507	12,605	9.5
-อุตสาหกรรม	30,923	33,872	9.5
-เกษตรกรรม	192	228	18.7
-อื่น ๆ	4,563	4,998	9.5
รวม	61,704	67,033	8.6
3. ลูกค้านำตรง	1,943	1,949	0.3
รวมทั้งสิ้น	99,123	106,138	7.1

ที่มา : สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2547)

ภาคผนวก ค

เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โฉ่งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับ
และ โฉ่งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางผนวกที่ ค1 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์

(Unit : m.msl.)

Rule Curve	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
NHWL	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
FCRC	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	178.50	178.50	180.00	180.00	180.00
Existing URC ¹	179.39	178.65	177.63	176.59	175.67	175.15	175.32	176.51	178.10	179.48	180.00	179.79
Revised URC ¹²	179.90	179.00	178.00	177.00	176.00	175.20	175.40	176.90	178.90	180.00	180.00	180.00
Revised URC ²⁼³	180.00	179.40	178.60	177.30	176.40	176.00	176.30	177.40	178.50	180.00	180.00	180.00
Existing LRC ¹	162.65	162.00	161.10	160.20	159.60	159.00	159.25	160.40	162.60	163.10	163.35	163.20
Revised LRC ³	171.30	170.91	170.39	169.68	169.10	168.62	168.25	168.55	169.90	171.46	171.72	171.48
Min. Water Level to Generate Hydro-Power [Unit 1-3]	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50	162.50
Min. Water Level to Generate Hydro-Power [Unit 4-5]	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00
MWL	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00	159.00

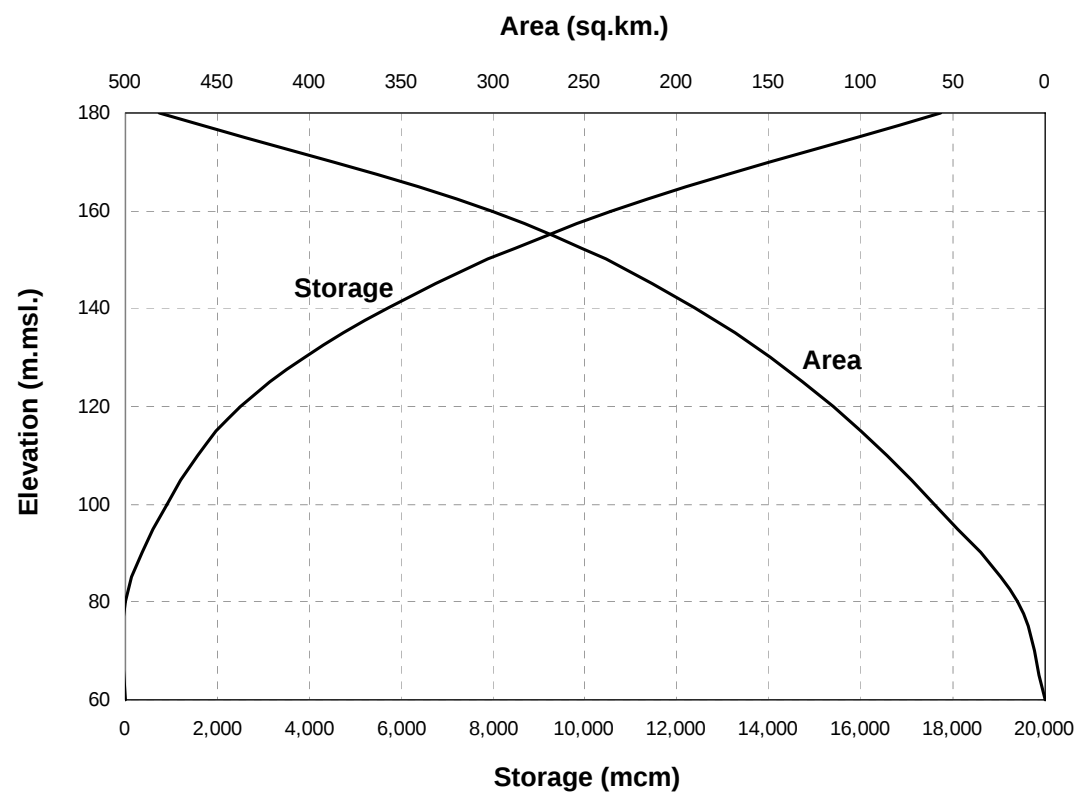
¹ใช้งานตั้งแต่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ครบทุกยูนิต, ²ศึกษาวิจัยในปี 2535 แต่ไม่ได้นำไปใช้งาน, ³ศึกษาวิจัยในปี 2544 นำไปใช้งานในปี 2545 (ม.รทก)

ตารางผนวกที่ ค2 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณ์

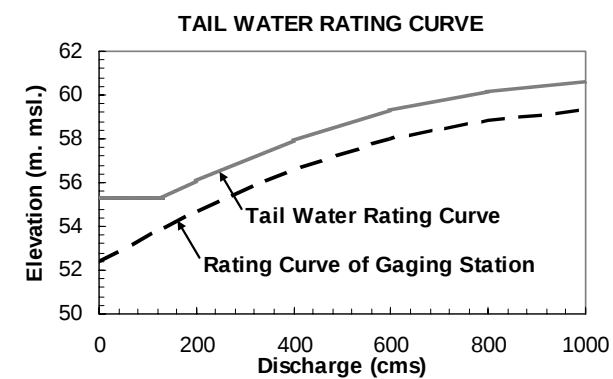
(Unit : m.msl.)

Rule Curve	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
NHWL	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00
FCRC	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00
Existing URC ¹	150.98	150.00	150.12	150.96	152.10	153.90	154.95	155.00	155.00	154.08	153.10	151.99
Revised URC ¹²	149.50	148.50	148.75	149.25	152.00	154.00	155.00	155.00	155.00	154.80	153.50	151.50
Revised URC ²³	149.80	148.80	149.05	150.05	152.00	155.00	155.00	155.00	154.90	154.60	153.80	152.10
Revised URC ³	149.80	148.80	149.00	149.30	152.00	155.00	155.00	155.00	154.90	154.60	153.80	152.10
Existing LRC ¹	149.80	148.80	149.00	149.30	152.00	155.00	155.00	155.00	154.90	154.60	153.80	152.10
Revised LRC ³	138.50	137.00	137.00	138.50	140.00	142.00	142.95	143.10	143.00	142.20	141.20	140.20
Min. Water Level to Generate Hydro-Power [Unit 1-3]	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00	147.00
MWL	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00
NHWL	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00

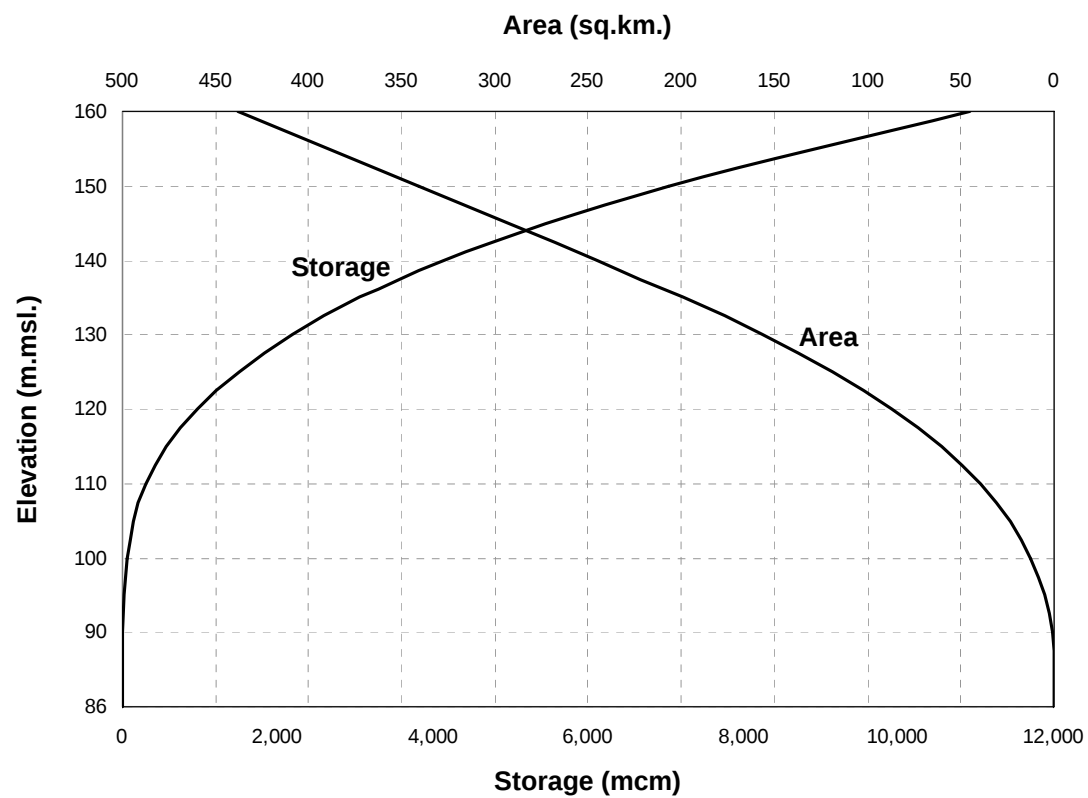
¹ใช้งานตั้งแต่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ครบทุกยูนิต, ²ศึกษาวิจัยในปี 2535 แต่ไม่ได้นำไปใช้งาน, ³ศึกษาวิจัยในปี 2544 นำไปใช้งานในปี 2545 (ม.รทก)



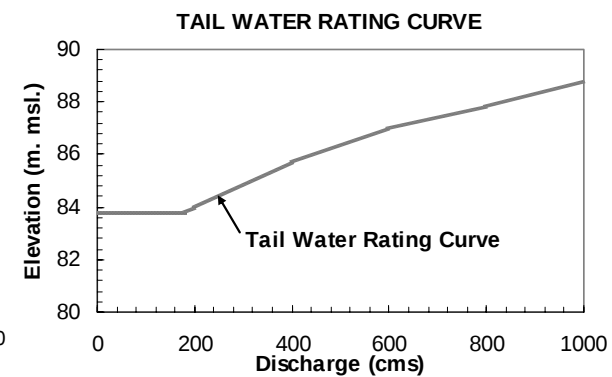
ELEVATION M.MSL.	AREA SQ.KM.	STORAGE MCM
190	483.80	22,262.60
180	481.80	17,745.10
175	389.10	15,724.30
170	358.70	13,855.80
165	329.10	12,136.40
160	300.50	10,562.30
155	271.40	9,132.60
150	241.90	7,849.50
140	190.30	5,694.50
130	151.50	3,995.30



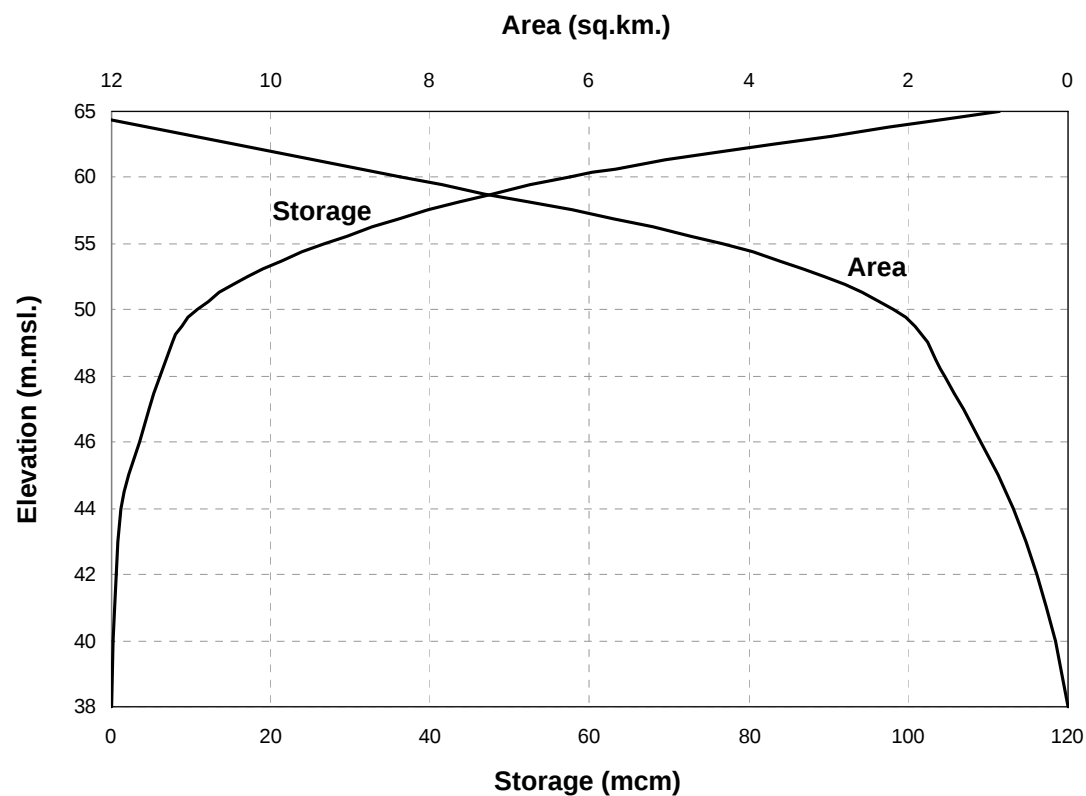
ภาพผนวกที่ ค1 โฉั่งความจุเก็บกั้ก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์



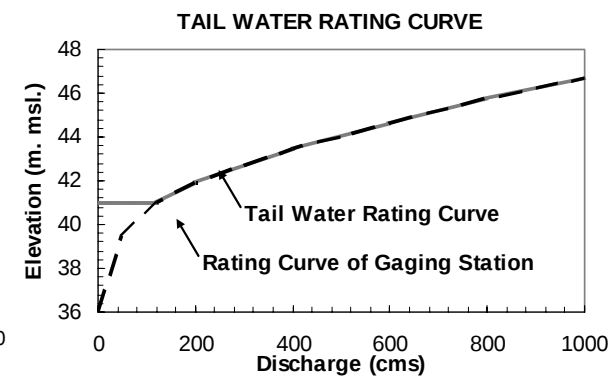
ELEVATION M.MSL.	AREA SQ.KM.	STORAGE MCM
160	438.21	10,913.97
150	340.71	7,036.72
140	244.56	4,117.46
130	156.50	2,201.00
120	86.88	962.54
110	39.50	302.55
100	12.50	58.69



ภาพผนวกที่ ค2 โค้งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ



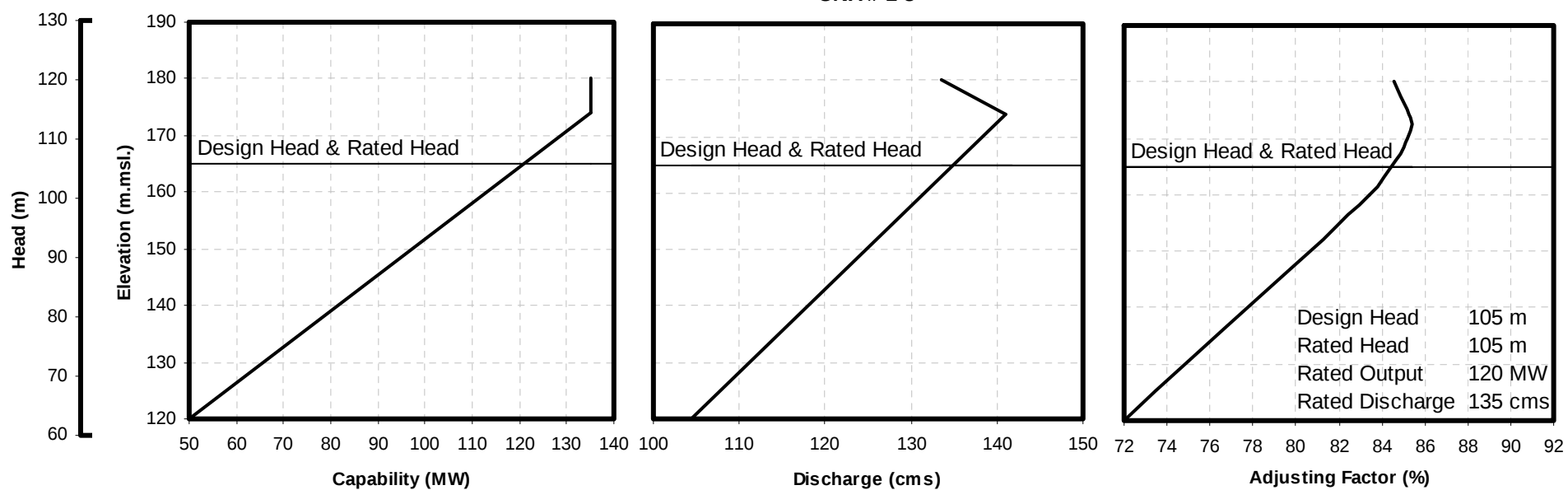
ELEVATION M.MSL.	AREA SQ.KM.	STORAGE MCM
65	12.542	111.303
60	8.378	57.500
55	4.330	26.618
50	2.200	10.716
48	1.554	6.073
46	1.100	3.481
44	0.690	0.741
42	0.400	0.691
40	0.165	0.165
38	0	0



ภาพผนวกที่ ค3 โค้งความจุเก็บกัก-พื้นที่-ระดับของอ่างเก็บน้ำเขื่อนท่าทุ่งนา

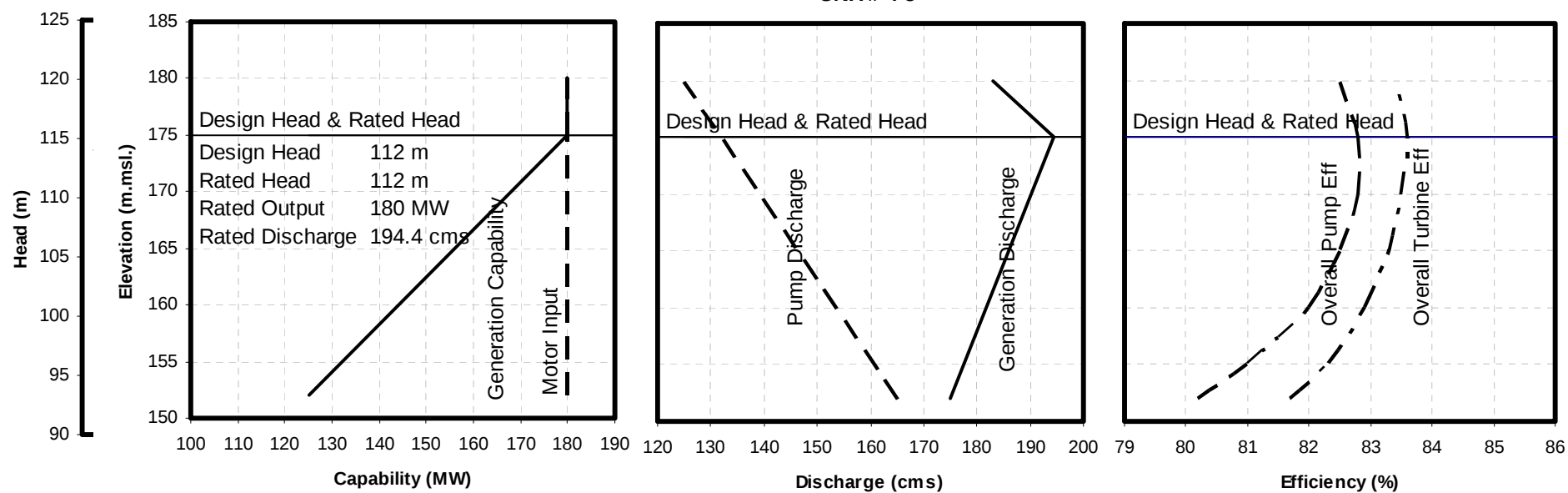
ที่มา : Tingsanchali *et al.* (1994)

SRINAGARIND RESERVOIR
CAPABILITY-DISCHARGE-EFFICIENCY CURVES
UNIT# 1-3



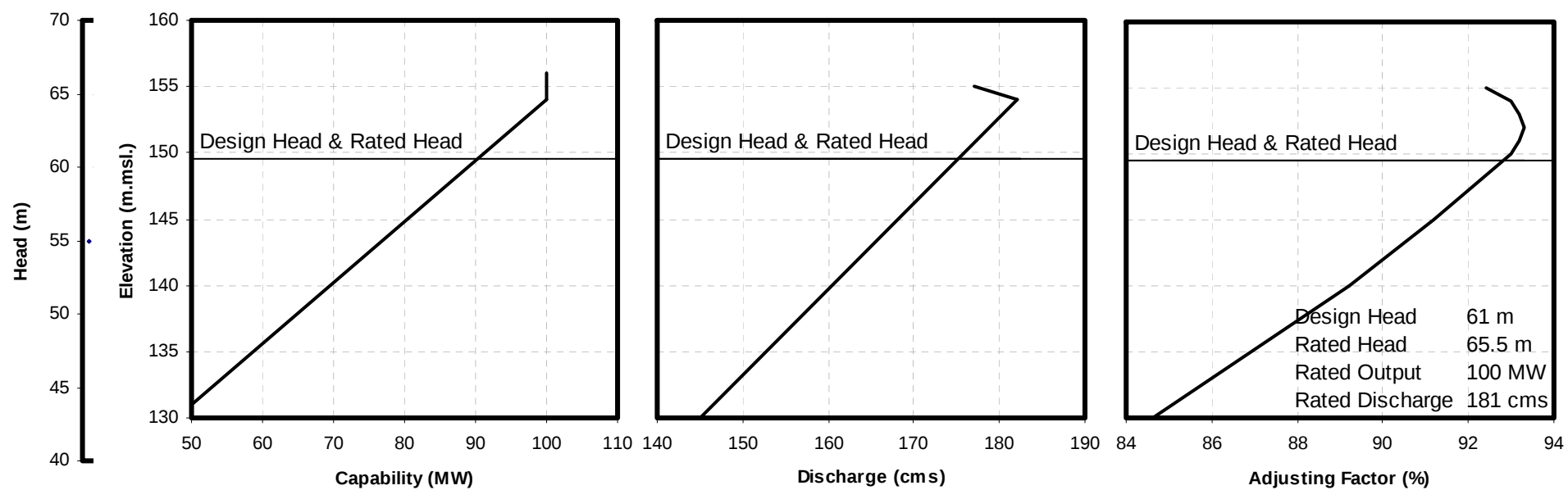
ภาพผนวกที่ ค4 โฉั่มสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ยูนิต 1-3

SRINAGARIND RESERVOIR
CAPABILITY-DISCHARGE-EFFICIENCY CURVES
UNIT# 4-5



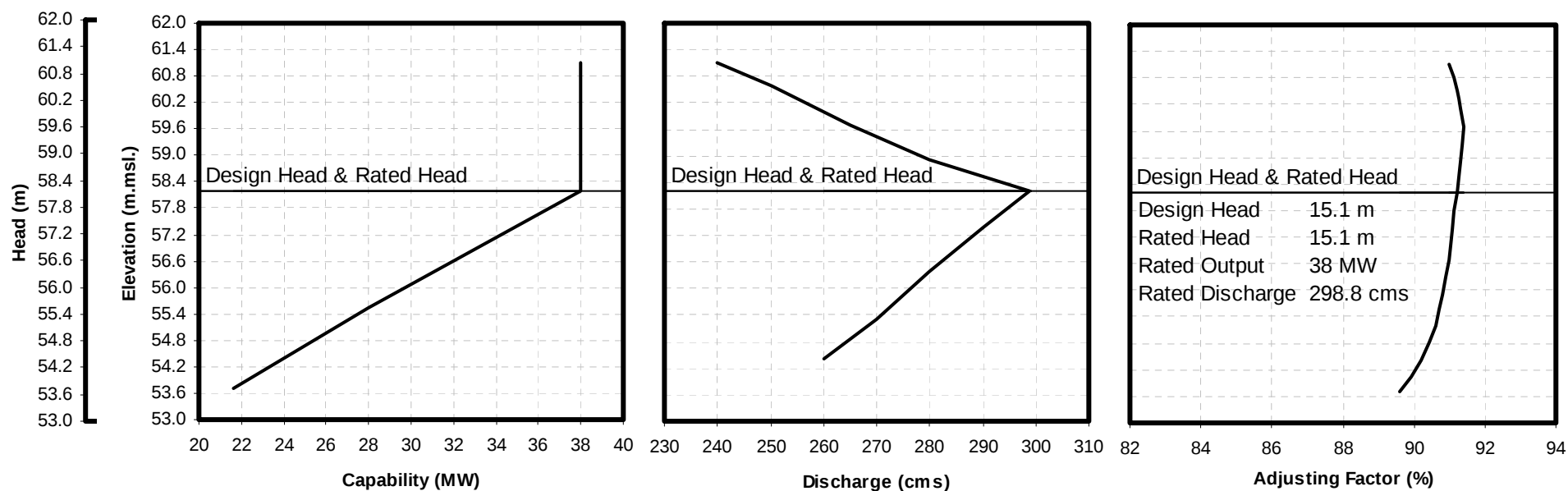
ภาพผนวกที่ ค5 โฉมสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนศรีนครินทร์ยูนิต 4-5

VAJIRALONGKORN RESERVOIR
CAPABILITY-DISCHARGE-EFFICIENCY CURVES



ภาพผนวกที่ ๓๖ โค้งสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนวชิราลงกรณ

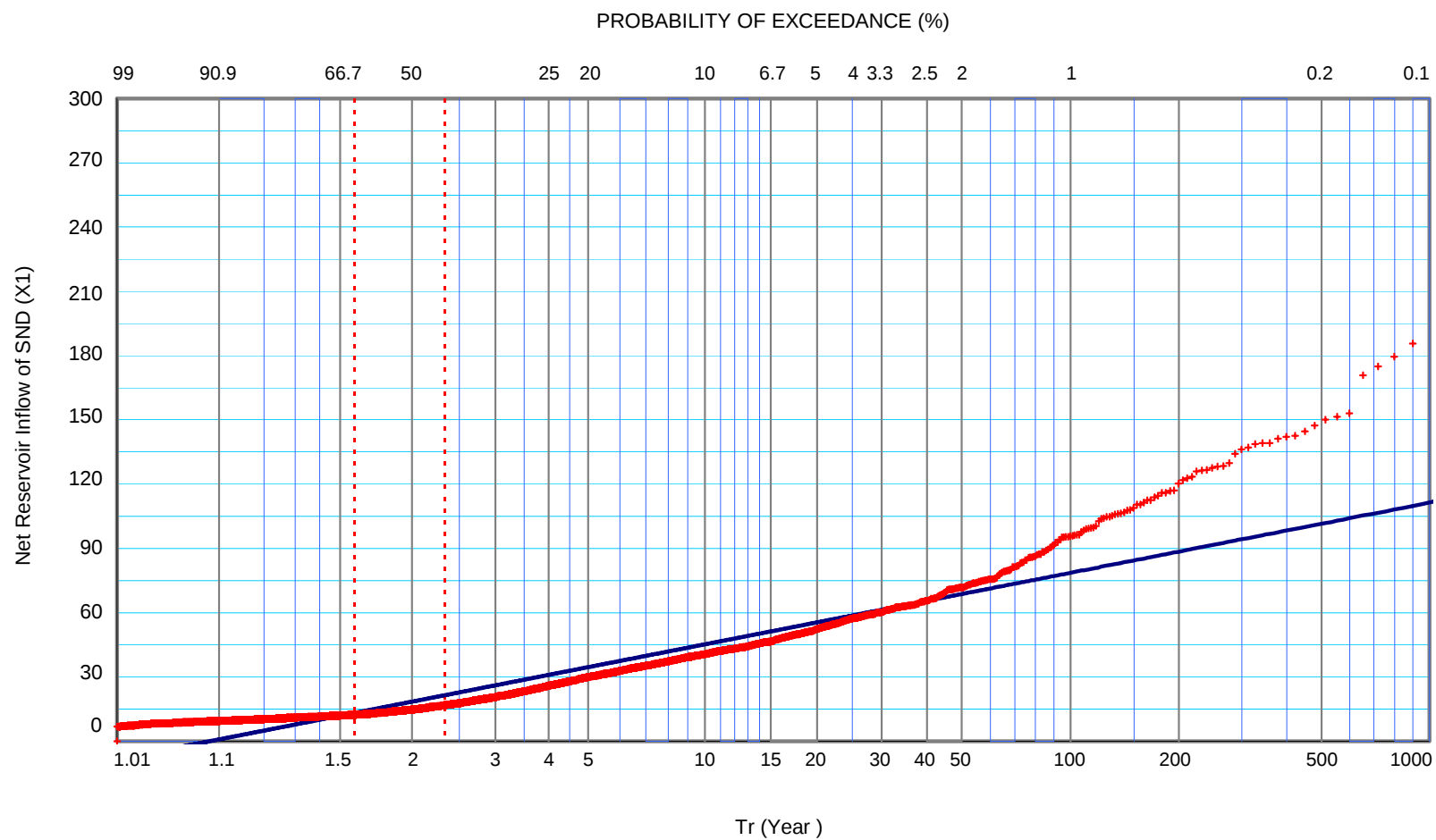
THA THUNG NA RESERVOIR
CAPABILITY-DISCHARGE-EFFICIENCY CURVES



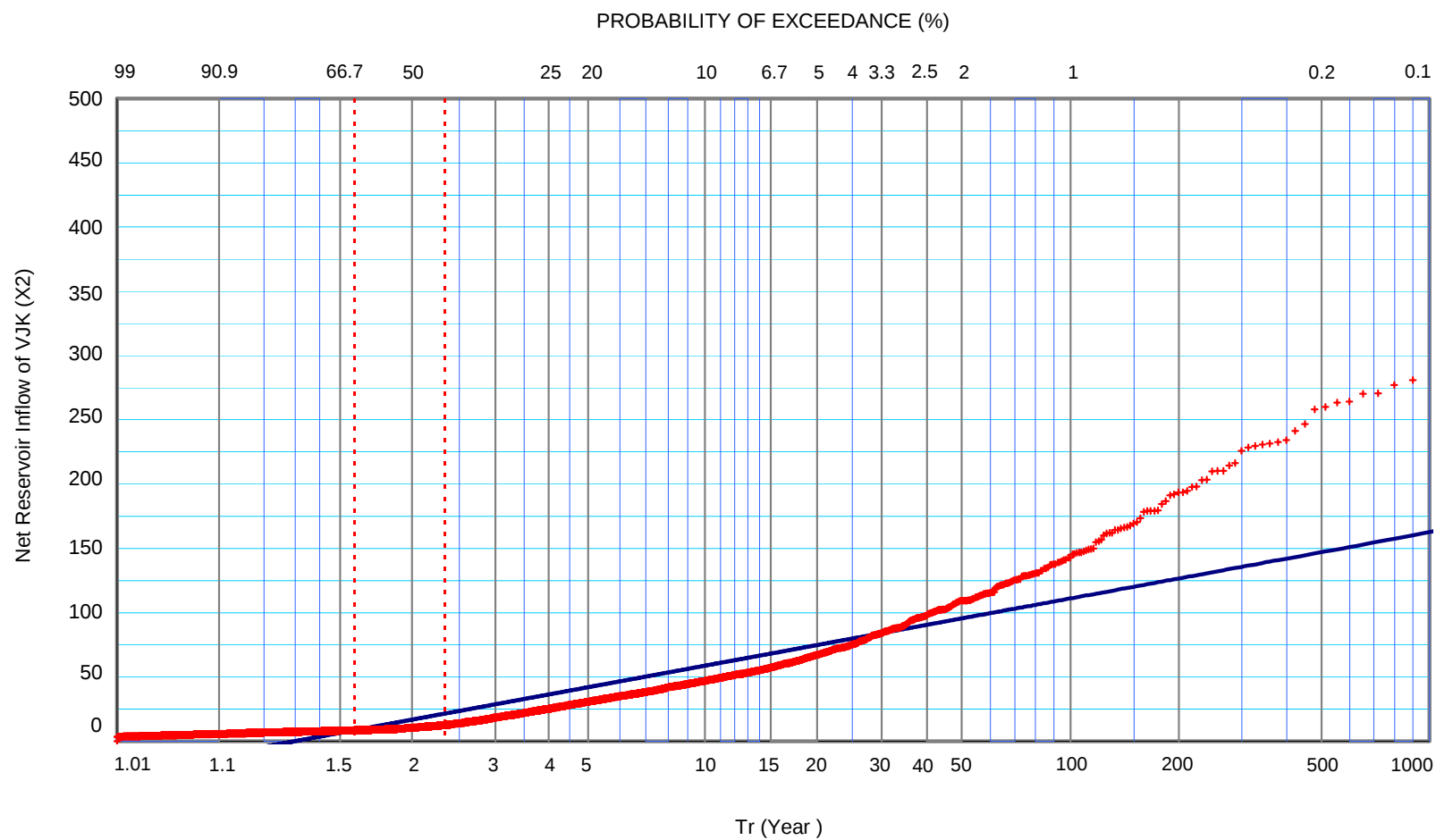
ภาพผนวกที่ ค7 โคงังสมรรถนะ-อัตราการระบายน้ำ-ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนท่าทุ่งนา
ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2535)

ภาคผนวก ง

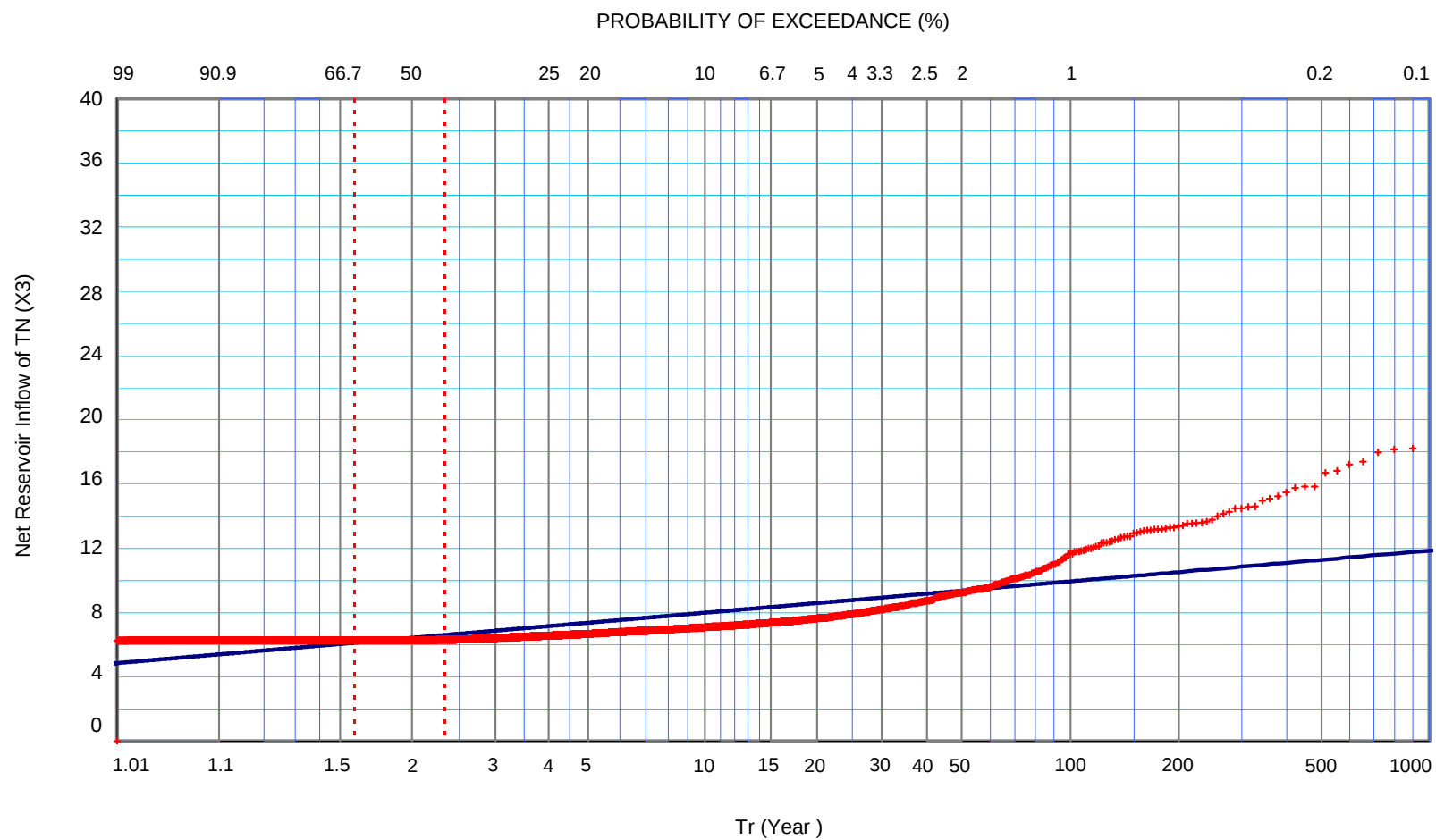
การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของตัวแปร **X1-X5**
และการจัดกลุ่มของตัวแปรสุ่ม



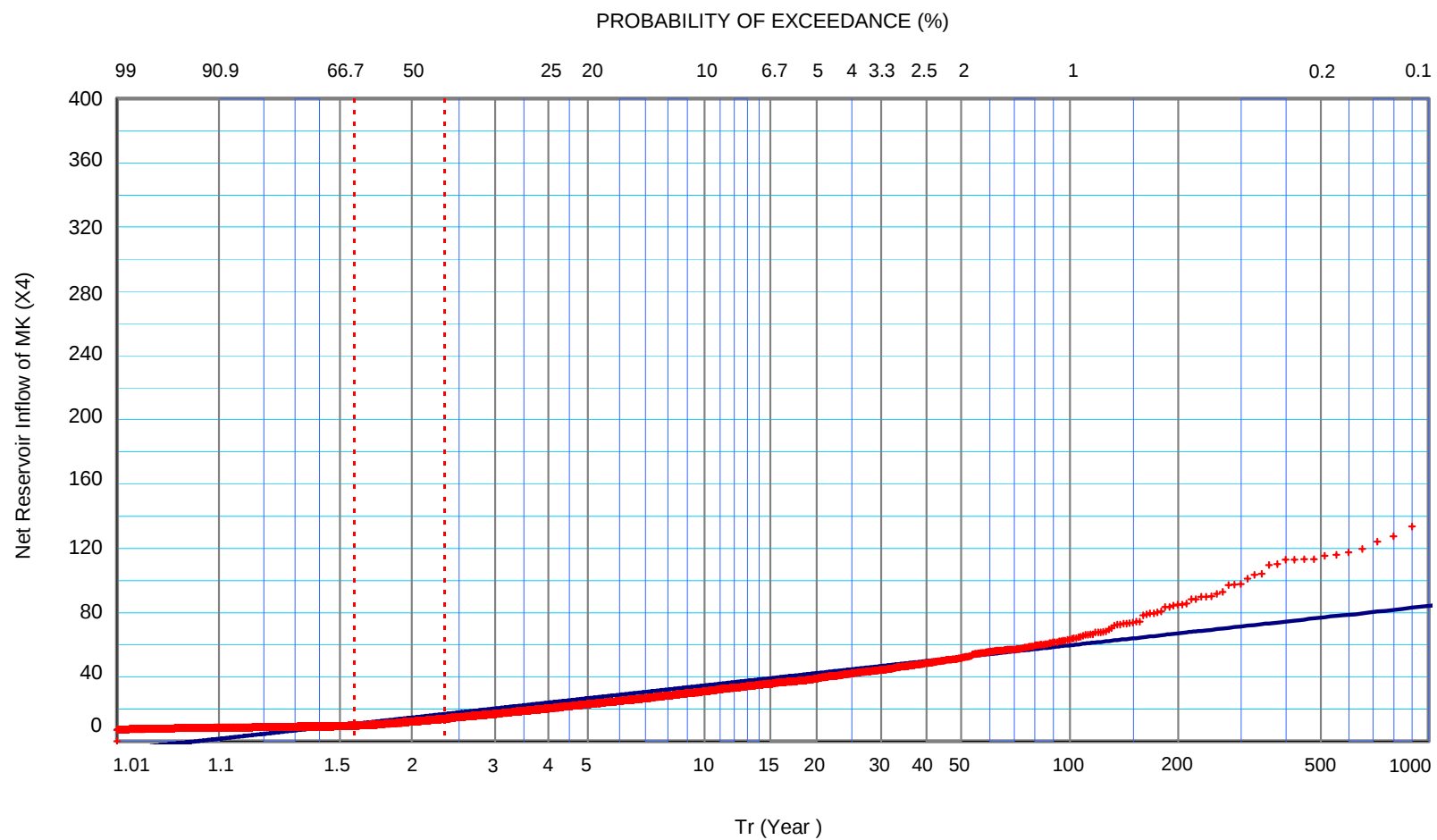
ภาพผนวกที่ ๑ การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุดท้ายของเขื่อนศรีนครินทร์ (X1)



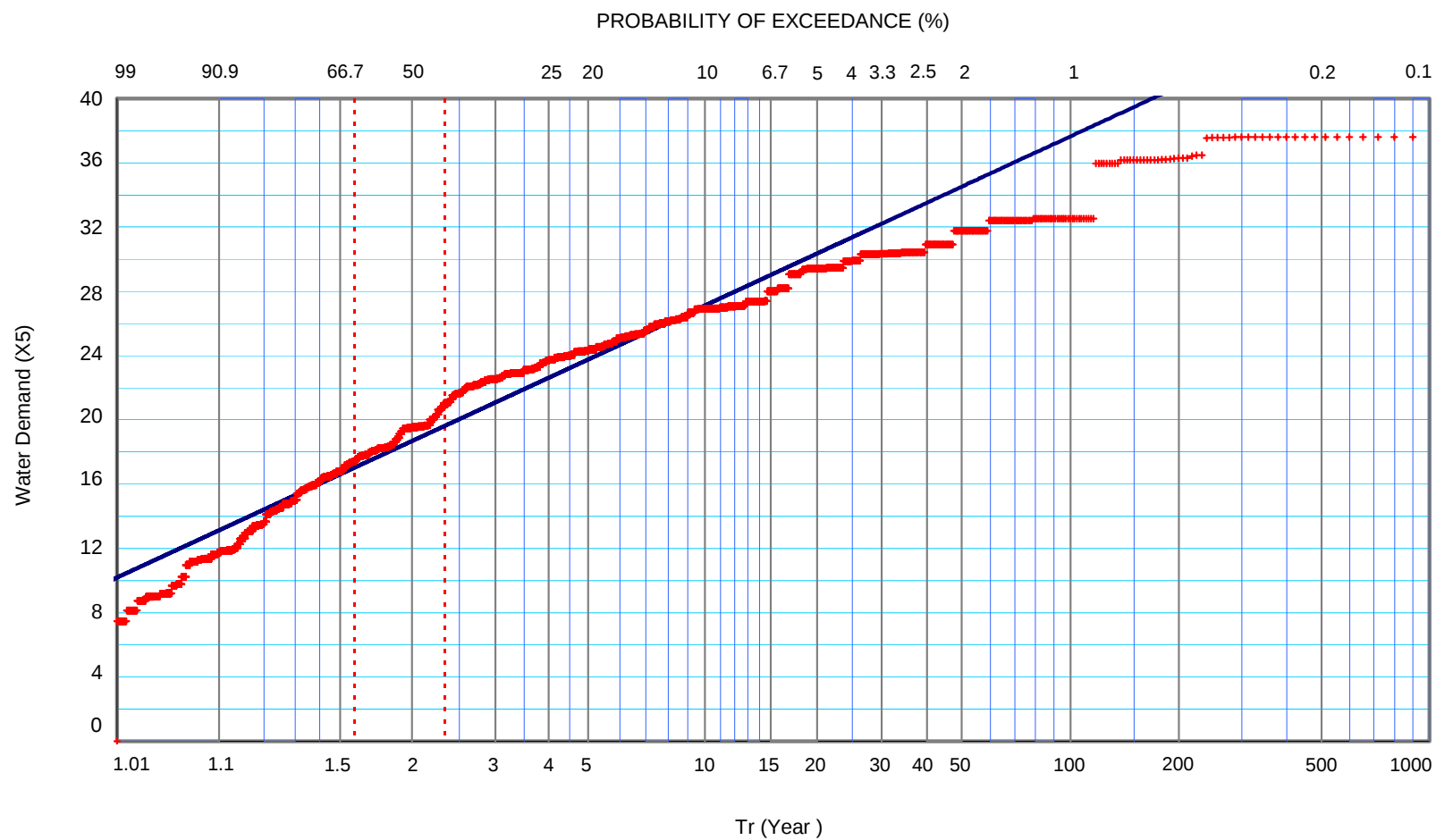
ภาพผนวกที่ 2 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธของเขื่อนวชิราลงกรณ (X2)



ภาพผนวกที่ 3 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทรีของเขื่อนท่าทุ่งนา (X3)



ภาพผนวกที่ 4 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทรีของเขื่อนแม่กลอง (X4)



ภาพผนวกที่ 5 การแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ (X5)

ตารางผนวกที่ 1 การจัดกลุ่มของตัวแปรสู่สำหรับนำมาใช้ศึกษา

No.	Combinations					No.	Combinations					No.	Combinations				
	X1	X2	X3	X4	X5		X1	X2	X3	X4	X5		X1	X2	X3	X4	X5
1	X11	X21	X31	X41	X51	28	X11	X22	X31	X41	X51	55	X11	X23	X31	X41	X51
2	X11	X21	X31	X41	X52	29	X11	X22	X31	X41	X52	56	X11	X23	X31	X41	X52
3	X11	X21	X31	X41	X53	30	X11	X22	X31	X41	X53	57	X11	X23	X31	X41	X53
4	X11	X21	X31	X42	X51	31	X11	X22	X31	X42	X51	58	X11	X23	X31	X42	X51
5	X11	X21	X31	X42	X52	32	X11	X22	X31	X42	X52	59	X11	X23	X31	X42	X52
6	X11	X21	X31	X42	X53	33	X11	X22	X31	X42	X53	60	X11	X23	X31	X42	X53
7	X11	X21	X31	X43	X51	34	X11	X22	X31	X43	X51	61	X11	X23	X31	X43	X51
8	X11	X21	X31	X43	X52	35	X11	X22	X31	X43	X52	62	X11	X23	X31	X43	X52
9	X11	X21	X31	X43	X53	36	X11	X22	X31	X43	X53	63	X11	X23	X31	X43	X53
10	X11	X21	X32	X41	X51	37	X11	X22	X32	X41	X51	64	X11	X23	X32	X41	X51
11	X11	X21	X32	X41	X52	38	X11	X22	X32	X41	X52	65	X11	X23	X32	X41	X52
12	X11	X21	X32	X41	X53	39	X11	X22	X32	X41	X53	66	X11	X23	X32	X41	X53
13	X11	X21	X32	X42	X51	40	X11	X22	X32	X42	X51	67	X11	X23	X32	X42	X51
14	X11	X21	X32	X42	X52	41	X11	X22	X32	X42	X52	68	X11	X23	X32	X42	X52
15	X11	X21	X32	X42	X53	42	X11	X22	X32	X42	X53	69	X11	X23	X32	X42	X53
16	X11	X21	X32	X43	X51	43	X11	X22	X32	X43	X51	70	X11	X23	X32	X43	X51
17	X11	X21	X32	X43	X52	44	X11	X22	X32	X43	X52	71	X11	X23	X32	X43	X52
18	X11	X21	X32	X43	X53	45	X11	X22	X32	X43	X53	72	X11	X23	X32	X43	X53
19	X11	X21	X33	X41	X51	46	X11	X22	X33	X41	X51	73	X11	X23	X33	X41	X51
20	X11	X21	X33	X41	X52	47	X11	X22	X33	X41	X52	74	X11	X23	X33	X41	X52
21	X11	X21	X33	X41	X53	48	X11	X22	X33	X41	X53	75	X11	X23	X33	X41	X53
22	X11	X21	X33	X42	X51	49	X11	X22	X33	X42	X51	76	X11	X23	X33	X42	X51
23	X11	X21	X33	X42	X52	50	X11	X22	X33	X42	X52	77	X11	X23	X33	X42	X52
24	X11	X21	X33	X42	X53	51	X11	X22	X33	X42	X53	78	X11	X23	X33	X42	X53
25	X11	X21	X33	X43	X51	52	X11	X22	X33	X43	X51	79	X11	X23	X33	X43	X51
26	X11	X21	X33	X43	X52	53	X11	X22	X33	X43	X52	80	X11	X23	X33	X43	X52
27	X11	X21	X33	X43	X53	54	X11	X22	X33	X43	X53	81	X11	X23	X33	X43	X53

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

No.	Combinations					No.	Combinations					No.	Combinations				
	X1	X2	X3	X4	X5		X1	X2	X3	X4	X5		X1	X2	X3	X4	X5
82	X12	X21	X31	X41	X51	109	X12	X22	X31	X41	X51	136	X12	X23	X31	X41	X51
83	X12	X21	X31	X41	X52	110	X12	X22	X31	X41	X52	137	X12	X23	X31	X41	X52
84	X12	X21	X31	X41	X53	111	X12	X22	X31	X41	X53	138	X12	X23	X31	X41	X53
85	X12	X21	X31	X42	X51	112	X12	X22	X31	X42	X51	139	X12	X23	X31	X42	X51
86	X12	X21	X31	X42	X52	113	X12	X22	X31	X42	X52	140	X12	X23	X31	X42	X52
87	X12	X21	X31	X42	X53	114	X12	X22	X31	X42	X53	141	X12	X23	X31	X42	X53
88	X12	X21	X31	X43	X51	115	X12	X22	X31	X43	X51	142	X12	X23	X31	X43	X51
89	X12	X21	X31	X43	X52	116	X12	X22	X31	X43	X52	143	X12	X23	X31	X43	X52
90	X12	X21	X31	X43	X53	117	X12	X22	X31	X43	X53	144	X12	X23	X31	X43	X53
91	X12	X21	X32	X41	X51	118	X12	X22	X32	X41	X51	145	X12	X23	X32	X41	X51
92	X12	X21	X32	X41	X52	119	X12	X22	X32	X41	X52	146	X12	X23	X32	X41	X52
93	X12	X21	X32	X41	X53	120	X12	X22	X32	X41	X53	147	X12	X23	X32	X41	X53
94	X12	X21	X32	X42	X51	121	X12	X22	X32	X42	X51	148	X12	X23	X32	X42	X51
95	X12	X21	X32	X42	X52	122	X12	X22	X32	X42	X52	149	X12	X23	X32	X42	X52
96	X12	X21	X32	X42	X53	123	X12	X22	X32	X42	X53	150	X12	X23	X32	X42	X53
97	X12	X21	X32	X43	X51	124	X12	X22	X32	X43	X51	151	X12	X23	X32	X43	X51
98	X12	X21	X32	X43	X52	125	X12	X22	X32	X43	X52	152	X12	X23	X32	X43	X52
99	X12	X21	X32	X43	X53	126	X12	X22	X32	X43	X53	153	X12	X23	X32	X43	X53
100	X12	X21	X33	X41	X51	127	X12	X22	X33	X41	X51	154	X12	X23	X33	X41	X51
101	X12	X21	X33	X41	X52	128	X12	X22	X33	X41	X52	155	X12	X23	X33	X41	X52
102	X12	X21	X33	X41	X53	129	X12	X22	X33	X41	X53	156	X12	X23	X33	X41	X53
103	X12	X21	X33	X42	X51	130	X12	X22	X33	X42	X51	157	X12	X23	X33	X42	X51
104	X12	X21	X33	X42	X52	131	X12	X22	X33	X42	X52	158	X12	X23	X33	X42	X52
105	X12	X21	X33	X42	X53	132	X12	X22	X33	X42	X53	159	X12	X23	X33	X42	X53
106	X12	X21	X33	X43	X51	133	X12	X22	X33	X43	X51	160	X12	X23	X33	X43	X51
107	X12	X21	X33	X43	X52	134	X12	X22	X33	X43	X52	161	X12	X23	X33	X43	X52
108	X12	X21	X33	X43	X53	135	X12	X22	X33	X43	X53	162	X12	X23	X33	X43	X53

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

No.	Combinations					No.	Combinations					No.	Combinations				
	X1	X2	X3	X4	X5		X1	X2	X3	X4	X5		X1	X2	X3	X4	X5
163	X13	X21	X31	X41	X51	190	X13	X22	X31	X41	X51	217	X13	X23	X31	X41	X51
164	X13	X21	X31	X41	X52	191	X13	X22	X31	X41	X52	218	X13	X23	X31	X41	X52
165	X13	X21	X31	X41	X53	192	X13	X22	X31	X41	X53	219	X13	X23	X31	X41	X53
166	X13	X21	X31	X42	X51	193	X13	X22	X31	X42	X51	220	X13	X23	X31	X42	X51
167	X13	X21	X31	X42	X52	194	X13	X22	X31	X42	X52	221	X13	X23	X31	X42	X52
168	X13	X21	X31	X42	X53	195	X13	X22	X31	X42	X53	222	X13	X23	X31	X42	X53
169	X13	X21	X31	X43	X51	196	X13	X22	X31	X43	X51	223	X13	X23	X31	X43	X51
170	X13	X21	X31	X43	X52	197	X13	X22	X31	X43	X52	224	X13	X23	X31	X43	X52
171	X13	X21	X31	X43	X53	198	X13	X22	X31	X43	X53	225	X13	X23	X31	X43	X53
172	X13	X21	X32	X41	X51	199	X13	X22	X32	X41	X51	226	X13	X23	X32	X41	X51
173	X13	X21	X32	X41	X52	200	X13	X22	X32	X41	X52	227	X13	X23	X32	X41	X52
174	X13	X21	X32	X41	X53	201	X13	X22	X32	X41	X53	228	X13	X23	X32	X41	X53
175	X13	X21	X32	X42	X51	202	X13	X22	X32	X42	X51	229	X13	X23	X32	X42	X51
176	X13	X21	X32	X42	X52	203	X13	X22	X32	X42	X52	230	X13	X23	X32	X42	X52
177	X13	X21	X32	X42	X53	204	X13	X22	X32	X42	X53	231	X13	X23	X32	X42	X53
178	X13	X21	X32	X43	X51	205	X13	X22	X32	X43	X51	232	X13	X23	X32	X43	X51
179	X13	X21	X32	X43	X52	206	X13	X22	X32	X43	X52	233	X13	X23	X32	X43	X52
180	X13	X21	X32	X43	X53	207	X13	X22	X32	X43	X53	234	X13	X23	X32	X43	X53
181	X13	X21	X33	X41	X51	208	X13	X22	X33	X41	X51	235	X13	X23	X33	X41	X51
182	X13	X21	X33	X41	X52	209	X13	X22	X33	X41	X52	236	X13	X23	X33	X41	X52
183	X13	X21	X33	X41	X53	210	X13	X22	X33	X41	X53	237	X13	X23	X33	X41	X53
184	X13	X21	X33	X42	X51	211	X13	X22	X33	X42	X51	238	X13	X23	X33	X42	X51
185	X13	X21	X33	X42	X52	212	X13	X22	X33	X42	X52	239	X13	X23	X33	X42	X52
186	X13	X21	X33	X42	X53	213	X13	X22	X33	X42	X53	240	X13	X23	X33	X42	X53
187	X13	X21	X33	X43	X51	214	X13	X22	X33	X43	X51	241	X13	X23	X33	X43	X51
188	X13	X21	X33	X43	X52	215	X13	X22	X33	X43	X52	242	X13	X23	X33	X43	X52
189	X13	X21	X33	X43	X53	216	X13	X22	X33	X43	X53	243	X13	X23	X33	X43	X53

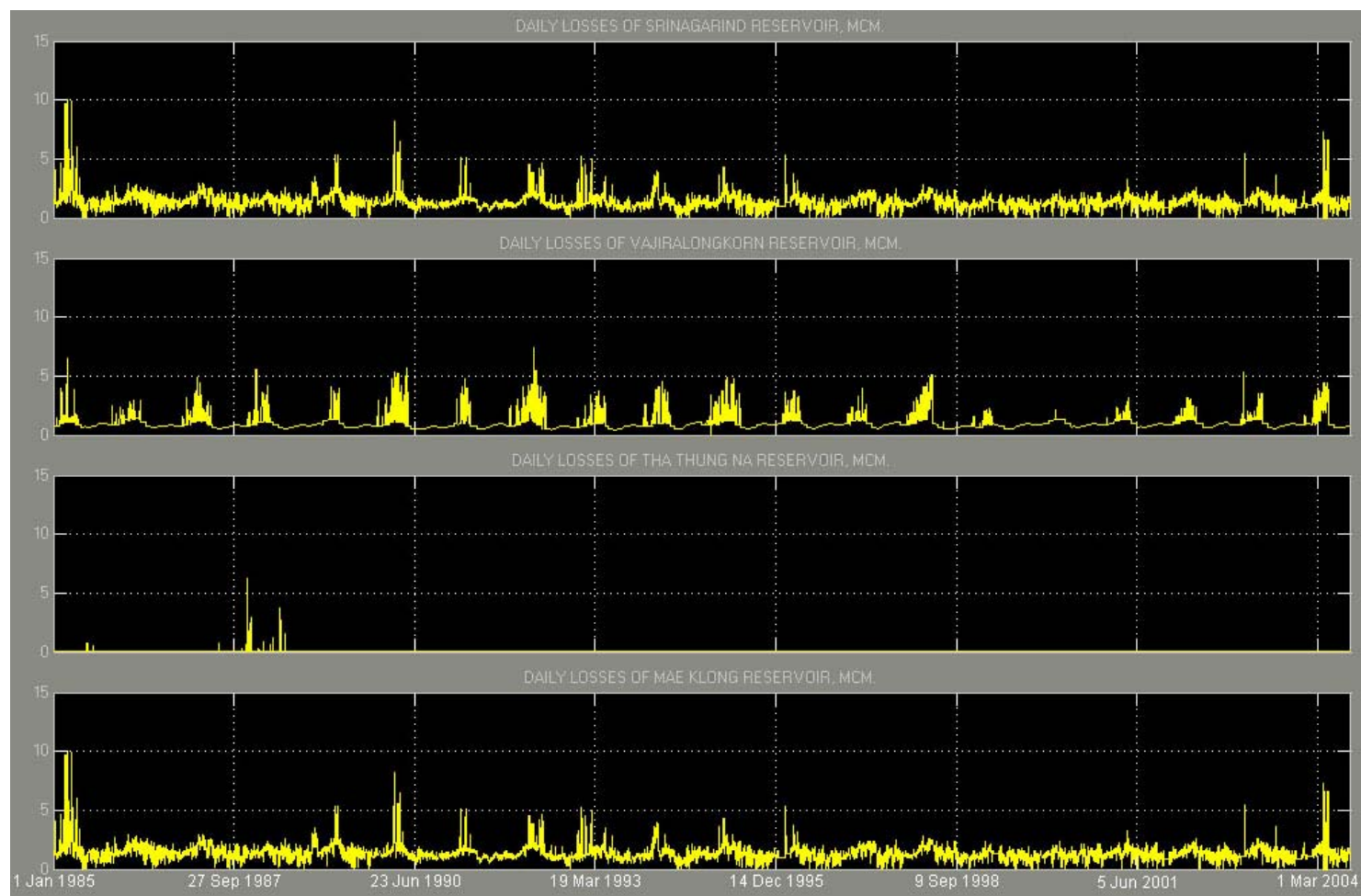
ภาคผนวก จ

ผลการจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำแม่กลอง ณ สถานการณ์ปัจจุบัน

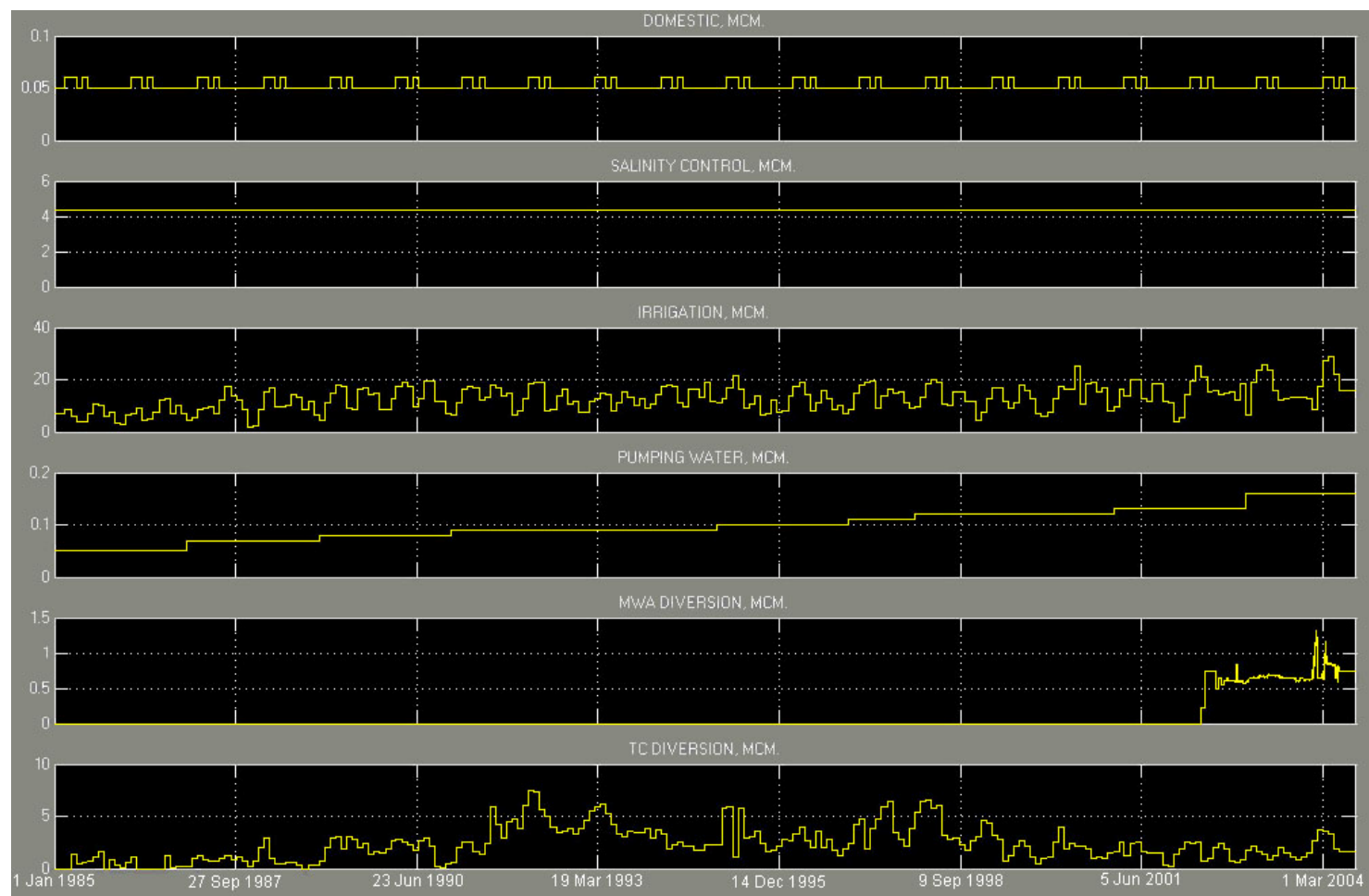
- 1) กราฟแสดงข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง
- 2) กราฟแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง



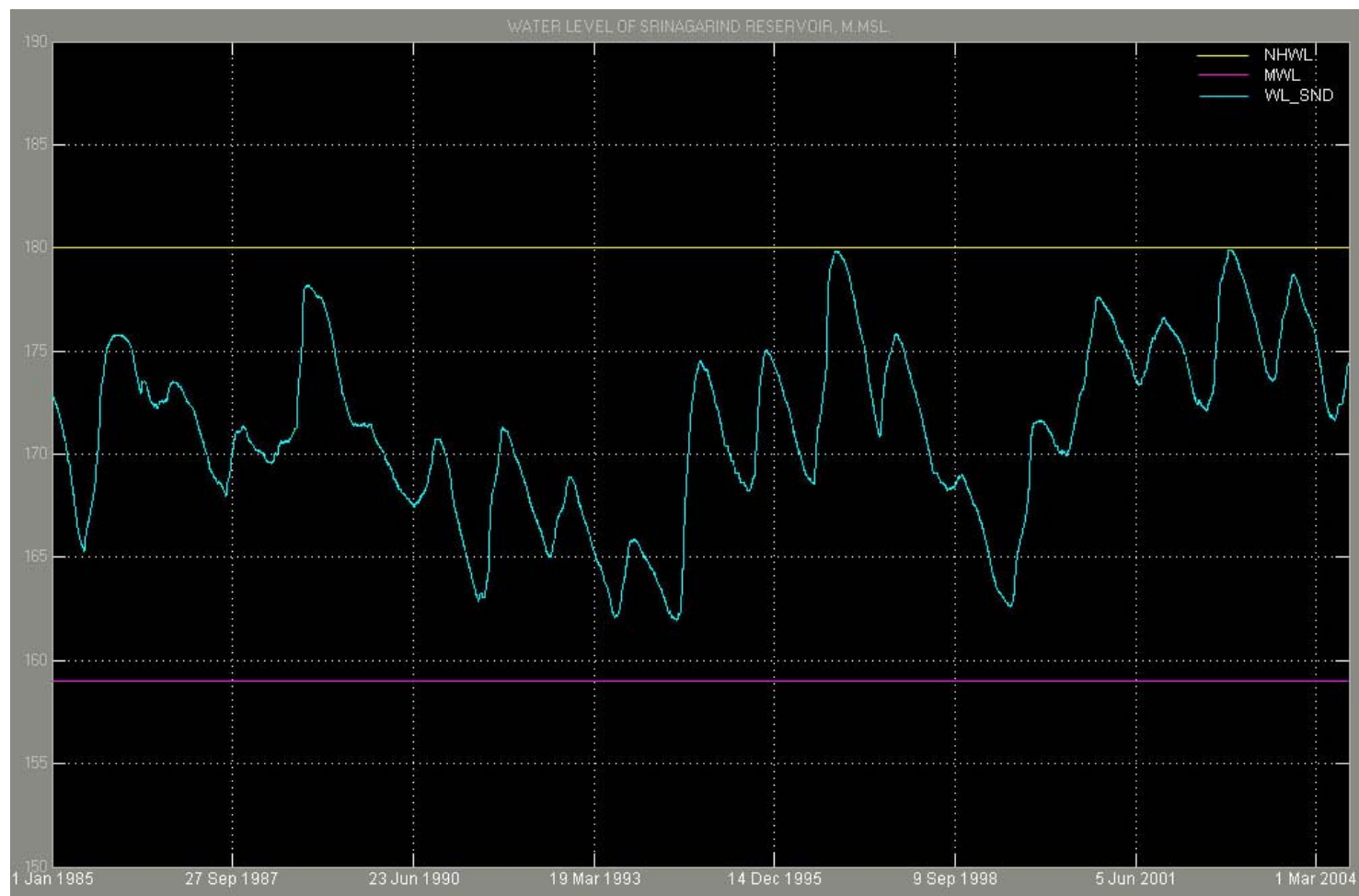
ภาพผนวกที่ ๑๑ ปริมาณน้ำต้นทุนของระบบลุ่มน้ำแม่กลองที่ใช้ในแบบจำลอง



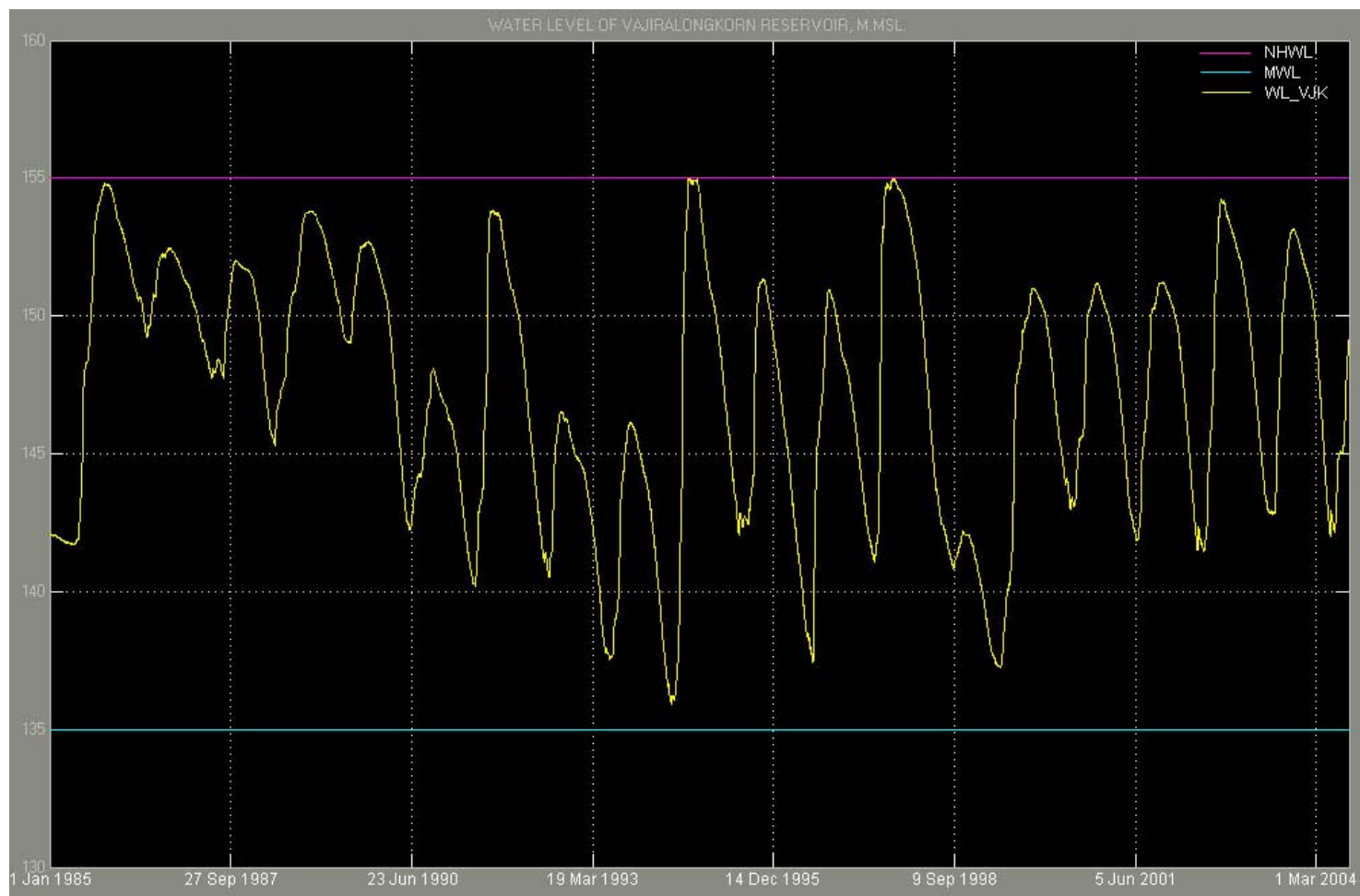
ภาพผนวกที่ ๑๒ ปริมาณน้ำสูญเสียของระบบลุ่มน้ำแม่กลองที่ใช้ในแบบจำลอง



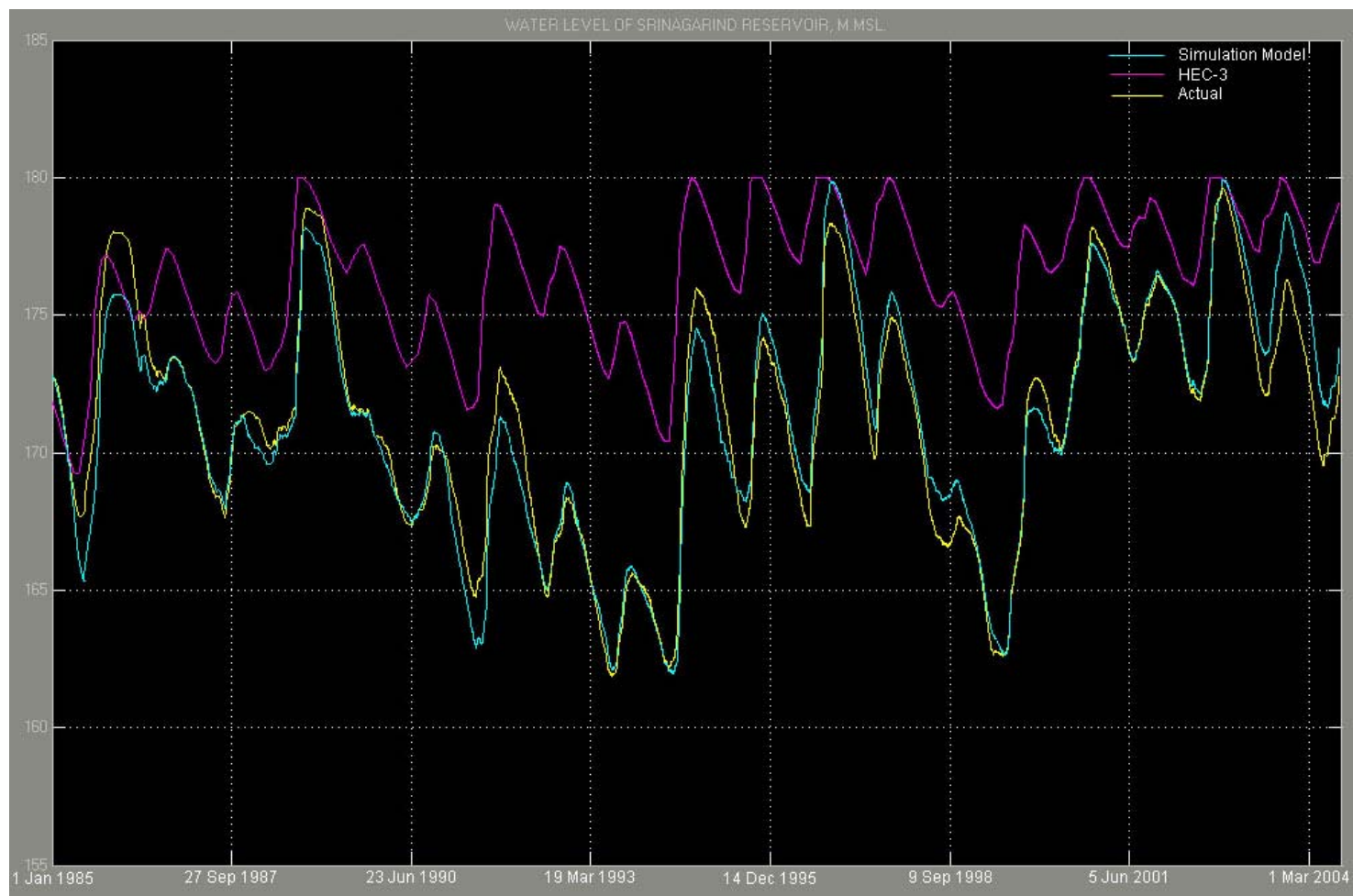
ภาพผนวกที่ ๖๓ ปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของระบบลุ่มน้ำแม่กลอง



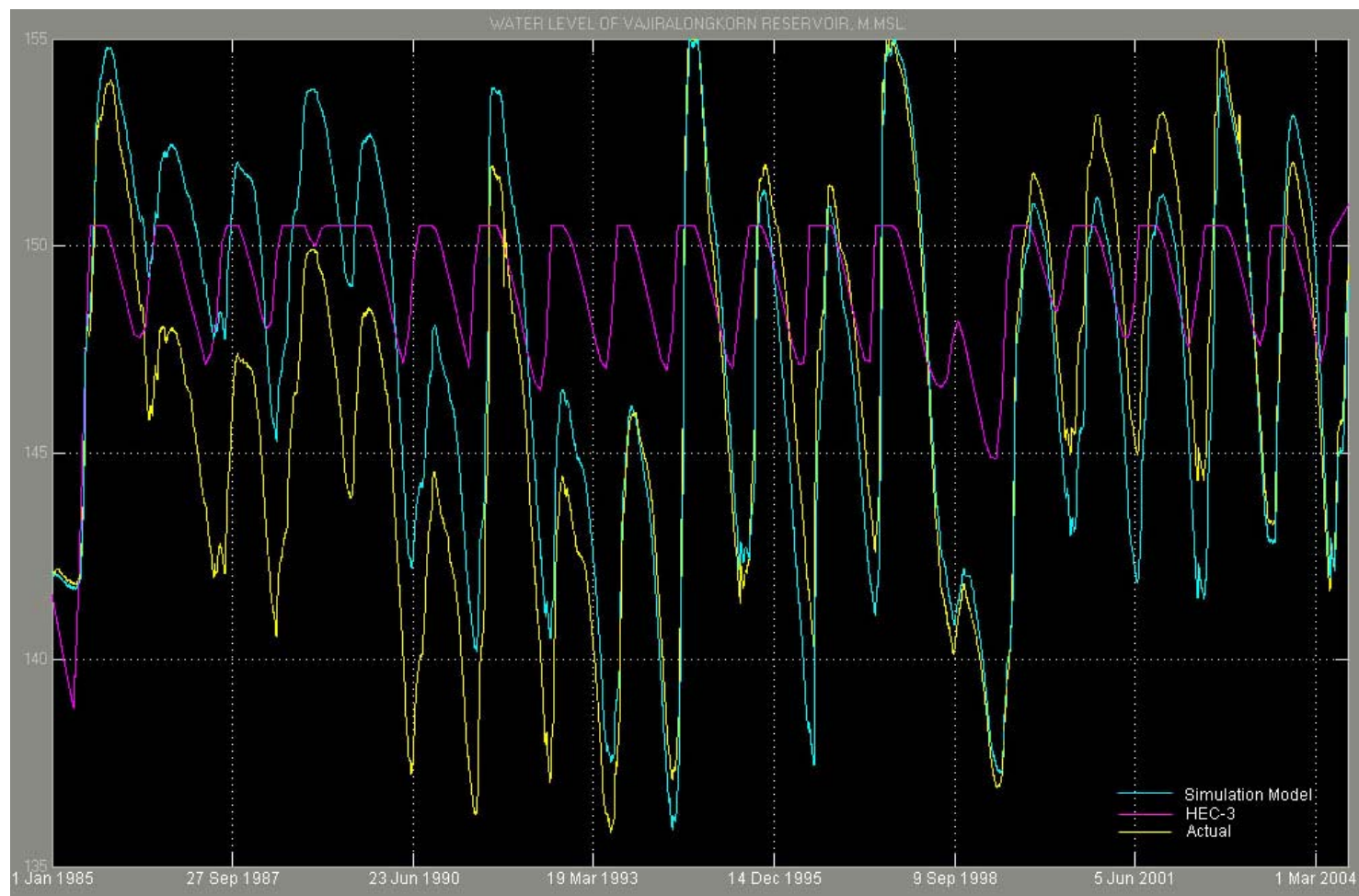
ภาพผนวกที่ จ4 ระดับน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์จากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ



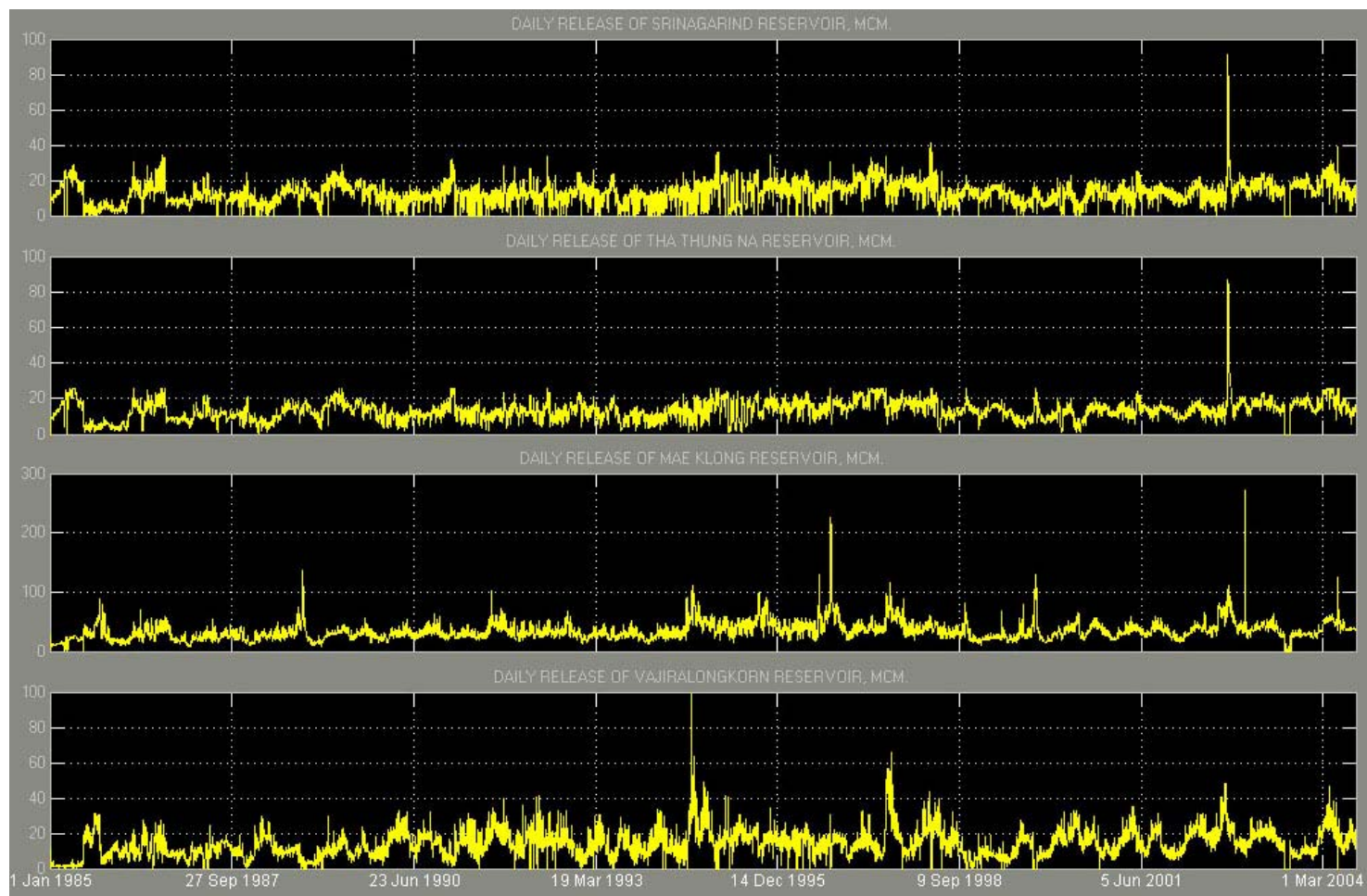
ภาพผนวกที่ จ5 ระดับน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณจากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ



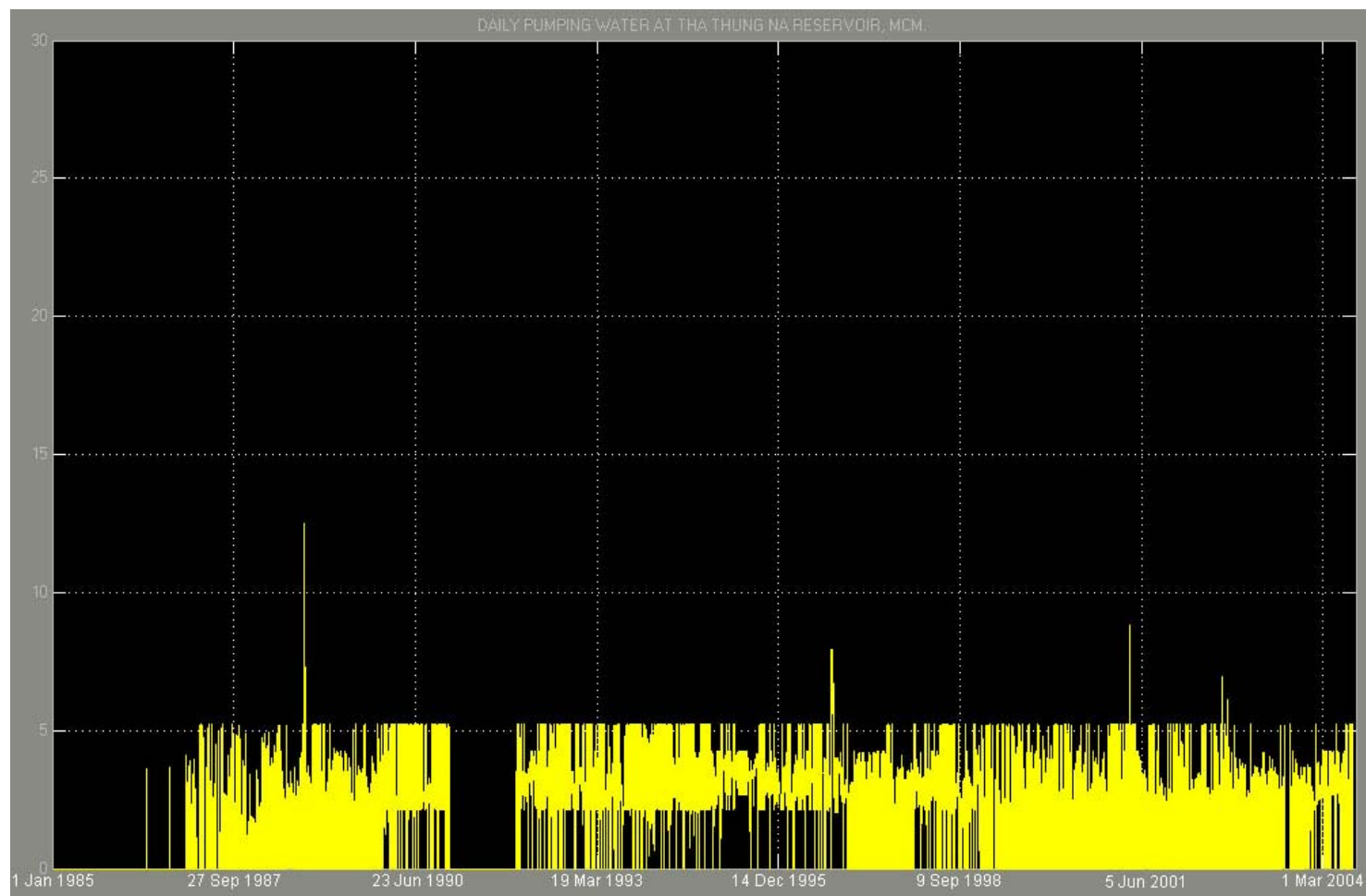
ภาพผนวกที่ จ6 เปรียบเทียบระดับน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลการปฏิบัติงานจริงและผลการจำลองจากโปรแกรม HEC-3



ภาพผนวกที่ จ7 เปรียบเทียบระดับน้ำของเขื่อนวชิราลงกรณ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลการปฏิบัติงานจริงและผลการจำลองจากโปรแกรม HEC-3



ภาพผนวกที่ ๑๘ ปริมาณน้ำที่ปล่อยรายวันจากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ



ภาพผนวกที่ ๑๑ ปริมาณน้ำสูบกลับรายวันจากเขื่อนท่าทุ่งนาจากแบบจำลองการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวอารียา ฤทธิมา
เกิดวันที่	6 กรกฎาคม 2520
สถานที่เกิด	จ.ตรัง
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีชนบท) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (พ.ศ. 2542) วศ.ม. (วิศวกรรมชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2545)
ผลงานดีเด่น	-วิทยานิพนธ์ระดับชมเชยปี 2545 เรื่องการพัฒนาเกณฑ์ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำมูลบน-ลำแซะ -บทความระดับดี เรื่องการพัฒนาเกณฑ์ในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำมูลบน-ลำแซะ ในการประชุมวิชาการครั้งที่ 42 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ -ชนะเลิศรางวัลชมเชย การประกวดเรียงความเรื่องการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของชาติ ระดับอุดมศึกษา ชมรมนักอุทกวิทยาไทย
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนพัฒนาอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2544 (ระดับปริญญาโท) และ พ.ศ. 2545-2547 (ระดับปริญญาเอก)