



รายงานการวิจัยการพัฒนากการวิจัยการเกษตร ฉบับสมบูรณ์
เสนอ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันอุทกภัย

Reservoir management for flood protection

รหัสโครงการ

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์	หัวหน้าโครงการ
ผศ.นิมิตร เจริญนันทพัฒน์	ผู้ร่วมโครงการ
ดร.ทรงศักดิ์ ภัทรารุณชัย	ผู้ร่วมโครงการ
ดร.ธเนศร์ สมบูรณ์	ผู้ร่วมโครงการ
นายเวสรัส โสภณดิเรกรัตน์	ผู้ร่วมโครงการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ประจำปีงบประมาณ 2562

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 ทำให้โครงการวิจัยนี้สามารถขับเคลื่อนการดำเนินงานศึกษาวิจัยจนเป็นผลสำเร็จ

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องที่สละเวลาในการให้ข้อมูลเชิงลึกและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนผู้ที่ประสานงาน และผู้ที่มีความสะดวกในพื้นที่ที่ทำการวิจัย

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

คณะผู้วิจัย
กุมภาพันธ์ 2563

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) และศึกษาเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการระบายน้ำช่วงน้ำหลากของเขื่อนแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการกำหนดแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลาก ให้เกิดความมั่นคงปลอดภัยต่อตัวเขื่อน พื้นที่ท้ายน้ำ และการใช้น้ำของเขื่อน ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ พบว่า วิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน ให้ผลประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ส่วนใหญ่มีค่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในอดีตของประเทศไทย ผลการวิเคราะห์พายุฝนในคาบ 65 ปี จำนวน 190 ลูก งานวิจัยนี้ได้แสดงค่าพายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรกในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ในการประเมินค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในพื้นที่อื่น ๆ ของประเทศไทย ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีต พบว่า มีค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการศึกษาในอดีต ผลการตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้นและเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำ อาคารระบายน้ำล้น ในปัจจุบันสามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ถึงรอบปีการเกิดซ้ำ 10,000 ปี แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ พบว่า อาคารระบายน้ำล้นในปัจจุบันมีความสามารถไม่เพียงพอที่ควบคุมระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำไม่ให้สูงเกินกว่าระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อนได้ออกแบบไว้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก ด้วยเทคนิค Vacancy Requirement Rule Curves (VRRC) พบว่า มีความเหมาะสมต่อการใช้บริหารจัดการหลาก โดยไม่เกิดปริมาณน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำและไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำเพิ่มขึ้นจากปีปกติ

สารบัญ

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน	8
1. บทนำ (Introduction)	10
1.1 บทนำ	10
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	10
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	11
1.4 ทฤษฎี สมมติฐานและ/หรือกรอบแนวคิดของการวิจัยโดยสรุป	11
1.4.1 การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)	11
1.4.2 การศึกษาปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)	12
1.4.3 การพัฒนา Vacancy Requirement Rule Curve (VRRC)	14
1.4.4 อ่างเก็บน้ำและหลักสมมูลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ	15
1.4.5 หลักสมมูลของอ่างเก็บน้ำ	18
1.4.6 กฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	19
1.4.7 ตัวแปรที่นำมาพิจารณาเพื่อคำนวณปริมาณน้ำระบาย	20
1.4.8 หลักเกณฑ์การจัดสรรน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ	21
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	21
2. วิธีดำเนินการวิจัย	22
2.1 พื้นที่ศึกษา	22
2.1.1 กลุ่มน้ำเพชรบุรี	22
2.1.2 เขื่อนแก่งกระจาน	22
2.1.3 สภาพภูมิอากาศ	26
2.1.4 สภาพน้ำท่า	26
2.1.5 ระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี	26
2.2 การรวบรวม และทบทวนข้อมูล	26
2.3 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุด	29
2.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	29
2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)	29
2.3.3 การวิเคราะห์ประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ	32

สารบัญ (ต่อ)

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุด	32
2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ	32
2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)	32
2.5 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ	33
2.6 การศึกษาเกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก	34
3. ผลการวิจัย	37
3.1 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	37
3.2 การวิเคราะห์และคัดเลือกพายุฝน	40
3.3 การวิเคราะห์ดัชนีปรับแก้พายุฝนและแฟคเตอร์ปรับลดปริมาณฝน	43
3.3.1 การวิเคราะห์ดัชนีปรับแก้พายุฝน	43
3.3.2 การวิเคราะห์แฟคเตอร์ปรับลดปริมาณฝน	48
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุด	49
3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ	49
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	50
3.5 การวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุด	50
3.5.1 ปริมาณฝนสูงสุดสำหรับการออกแบบกราฟน้ำหลากสูงสุด	50
3.5.2 การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า	53
3.5.3 ผลการวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุด	54
3.5.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า PMF ในอดีต	54
3.6 การตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้น	59
3.7 เกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก	61
4 สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)	66
เอกสารอ้างอิง (References)	69
ภาคผนวก	73
ภาคผนวกที่ 1 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย	73
ภาคผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างของสถานีตรวจวัดในประเทศไทย	99
ภาคผนวกที่ 3 ชี้แจงข้อคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ จากรายงานความก้าวหน้าที่เคยได้รับไป	104

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1	ปริมาณน้ำไหลลงอ่างกับน้ำเชื่อมแก่นกระจาน หน่วย-ล้านลูกบาศก์เมตร	35
ตารางที่ 3-1	การเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	39
ตารางที่ 3-2	พายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรก ที่มีอิทธิพลกับเขื่อนในพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย	41
ตารางที่ 3-3	แฟคเตอร์การสูญเสียปริมาณฝนสำหรับพื้นที่ศึกษา	48
ตารางที่ 3-4	แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักสถานีวัดน้ำฝนของพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่นกระจาน	49
ตารางที่ 3-5	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	49
ตารางที่ 3-6	ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดรายปีของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่นกระจาน	50
ตารางที่ 3-7	ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของเขื่อนแก่นกระจาน	51
ตารางที่ 3-8	ปริมาณฝนสูงสุดที่ปรับค่าแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน	52
ตารางที่ 3-9	ผลการคำนวณกราฟน้ำหลากสูงสุดของเขื่อนแก่นกระจาน	55
ตารางที่ 3-10	การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาเดิมของเขื่อนแก่นกระจาน	56
ตารางที่ 3-11	ค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unit Peak Discharge) ของเขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่ในประเทศไทย	58
ตารางที่ 3-12	ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากสูงสุดผ่านอาคารระบายน้ำล้น	60

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1-1	กระบวนกรของระบบปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม	14
ภาพที่ 1-2	ลักษณะของโค้งความจุ-พื้นที่-ระดับ ของอ่างเก็บน้ำ	15
ภาพที่ 1-3	การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ	16
ภาพที่ 1-4	ปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม	17
ภาพที่ 1-5	สมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ	18
ภาพที่ 1-6	กฎการปฏิบัติงานอ่างปกติ (Normal Operation Rule) สำหรับอ่างเพื่อการอุปโภค-บริโภค หรือชลประทานขนาดเล็ก	20
ภาพที่ 2-1	พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	23
ภาพที่ 2-2	ลุ่มน้ำเพชรบุรีและตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนแก่นกระจาน	24
ภาพที่ 2-3	รูปตัดด้านบนของเขื่อนแก่นกระจาน	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 2-4	รูปตัดด้านข้างของเขื่อนแก่งกระจาน	25
ภาพที่ 2-5	ระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี	28
ภาพที่ 2-6	แผนพัฒนาก่อสร้างคลองระบายน้ำ D1 จังหวัดเพชรบุรี	36
ภาพที่ 3-1	ตัวอย่างการสร้างขอบเขตอิทธิพลของพายุฝน	40
ภาพที่ 3-2	เส้นทางพายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรก สำหรับพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย	42
ภาพที่ 3-3	ดัชนีปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวาง	44
ภาพที่ 3-4	ดัชนีปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ	45
ภาพที่ 3-5	ดัชนีปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล	46
ภาพที่ 3-6	ดัชนีปรับแก้เนื่องจากละติจูด	47
ภาพที่ 3-7	แฟกเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่ (ARF) สำหรับพื้นที่ประเทศไทยตอนล่าง	48
ภาพที่ 3-8	กราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของเขื่อนแก่งกระจาน	55
ภาพที่ 3-9	กราฟน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ของเขื่อนแก่งกระจาน	56
ภาพที่ 3-10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่และพื้นที่รับน้ำฝน (FAO, 2000)	57
ภาพที่ 3-11	กราฟน้ำหลากสูงสุดไหลเข้าและออกที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และ PMF	61
ภาพที่ 3-12	การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ Vacancy Requirement ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุดไม่เกิน 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที	62
ภาพที่ 3-13	ความสัมพันธ์ของปริมาตรเก็บกักช่วงท้ายฤดูฝน จากการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน	63
ภาพที่ 3-14	การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ Vacancy Requirement ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุดไม่เกิน 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที	64
ภาพที่ 3-15	การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ Vacancy Requirement ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุดไม่เกิน 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที	65

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 4 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน																																																						
1. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดของพื้นที่ลุ่มน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ	1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจาน วิเคราะห์จากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 4 สถานี โดยใช้แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักธีเอสเซน (Thiessen Weighting Factor)																																																						
	<table><tr><th rowspan="2">ช่วงเวลา (วัน)</th><th colspan="10">ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ , มม.</th></tr><tr><th>2</th><th>5</th><th>10</th><th>25</th><th>50</th><th>100</th><th>200</th><th>500</th><th>1,000</th><th>10,000</th></tr><tr><td>1</td><td>65.11</td><td>83.63</td><td>95.90</td><td>111.43</td><td>122.93</td><td>134.38</td><td>145.75</td><td>160.77</td><td>172.10</td><td>209.81</td></tr><tr><td>2</td><td>84.30</td><td>110.87</td><td>128.45</td><td>150.72</td><td>167.18</td><td>183.56</td><td>199.87</td><td>221.38</td><td>237.63</td><td>291.60</td></tr><tr><td>3</td><td>98.03</td><td>133.95</td><td>157.75</td><td>187.86</td><td>210.19</td><td>232.32</td><td>254.37</td><td>283.49</td><td>305.49</td><td>378.52</td></tr></table>	ช่วงเวลา (วัน)	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ , มม.										2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000	1	65.11	83.63	95.90	111.43	122.93	134.38	145.75	160.77	172.10	209.81	2	84.30	110.87	128.45	150.72	167.18	183.56	199.87	221.38	237.63	291.60	3	98.03	133.95	157.75	187.86	210.19	232.32	254.37	283.49	305.49	378.52
	ช่วงเวลา (วัน)		ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ , มม.																																																				
		2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000																																												
	1	65.11	83.63	95.90	111.43	122.93	134.38	145.75	160.77	172.10	209.81																																												
2	84.30	110.87	128.45	150.72	167.18	183.56	199.87	221.38	237.63	291.60																																													
3	98.03	133.95	157.75	187.86	210.19	232.32	254.37	283.49	305.49	378.52																																													
1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจานที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ																																																							
<table><tr><th rowspan="2">ผลการศึกษา</th><th colspan="10">กราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ</th></tr><tr><th>2</th><th>5</th><th>10</th><th>25</th><th>50</th><th>100</th><th>200</th><th>500</th><th>1,000</th><th>10,000</th></tr><tr><td>Q_p</td><td>345.4</td><td>496.6</td><td>606.8</td><td>756.9</td><td>876.7</td><td>1,002.9</td><td>1,136.1</td><td>1,322.0</td><td>1,472.7</td><td>2,028.9</td></tr><tr><td>V_T</td><td>82.2</td><td>117.8</td><td>143.4</td><td>178.3</td><td>206.0</td><td>235.1</td><td>265.8</td><td>308.5</td><td>343.0</td><td>470.1</td></tr><tr><td>Q_B</td><td>14.5</td><td>18.7</td><td>21.4</td><td>24.9</td><td>27.6</td><td>30.3</td><td>33.0</td><td>36.6</td><td>39.4</td><td>49.0</td></tr></table> หมายเหตุ : Q_p หมายถึง ปริมาณน้ำหลากสูงสุด, ลบ.ม./วินาที V_T หมายถึง ปริมาตรน้ำหลาก, ล้าน ลบ.ม. Q_B หมายถึง ปริมาณการไหลพื้นฐาน, ลบ.ม./วินาที	ผลการศึกษา	กราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ										2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000	Q _p	345.4	496.6	606.8	756.9	876.7	1,002.9	1,136.1	1,322.0	1,472.7	2,028.9	V _T	82.2	117.8	143.4	178.3	206.0	235.1	265.8	308.5	343.0	470.1	Q _B	14.5	18.7	21.4	24.9	27.6	30.3	33.0	36.6	39.4	49.0	
ผลการศึกษา		กราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ																																																					
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000																																													
Q _p	345.4	496.6	606.8	756.9	876.7	1,002.9	1,136.1	1,322.0	1,472.7	2,028.9																																													
V _T	82.2	117.8	143.4	178.3	206.0	235.1	265.8	308.5	343.0	470.1																																													
Q _B	14.5	18.7	21.4	24.9	27.6	30.3	33.0	36.6	39.4	49.0																																													
2. การวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)	2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ โดยวิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน จาก พายุดีเปรสชัน รหัส 076 ซึ่งเกิดในระหว่างวันที่ 31 ตุลาคม ถึงวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2512 และมีจุดศูนย์กลางใกล้กับอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้มากที่สุด โดยมีค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ 1 วัน ถึง 3 วัน ดังนี้																																																						
	<table><tr><th colspan="3">ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (มม.)</th></tr><tr><th>1 วัน</th><th>2 วัน</th><th>3 วัน</th></tr><tr><td>513.85</td><td>722.05</td><td>869.67</td></tr></table>	ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (มม.)			1 วัน	2 วัน	3 วัน	513.85	722.05	869.67																																													
	ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (มม.)																																																						
1 วัน	2 วัน	3 วัน																																																					
513.85	722.05	869.67																																																					
2.1 ผลการวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)																																																							
	<table><tr><th>ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)</th><th>ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)</th><th>ปริมาณการไหลพื้นฐาน (ลบ.ม./วินาที)</th></tr><tr><td>4,676.96</td><td>1,057.62</td><td>86.80</td></tr></table>	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลพื้นฐาน (ลบ.ม./วินาที)	4,676.96	1,057.62	86.80																																																
ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลพื้นฐาน (ลบ.ม./วินาที)																																																					
4,676.96	1,057.62	86.80																																																					

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 4 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
	ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ของเขื่อนแก่งกระจาน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีต พบว่า ค่า PMF ที่ได้จากการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษา PMF ในอดีต นอกจากนั้น เมื่อนำค่า PMF ที่ได้จากงานวิจัยนี้มาหารด้วยพื้นที่รับน้ำฝนเพื่อคำนวณเป็นค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unit Peak Discharge) และนำมาพล็อตลงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่และพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งพัฒนาจากข้อมูล PMF ของโครงการเขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่ต่าง ๆ ในประเทศไทย จำนวน 43 แห่ง จากรายงาน FAO (2000) พบว่า ค่า PMF ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ให้ค่า Unit Peak Discharge อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสม และสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมา
3.การตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้นและเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำ	3.1 ผลการตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้น ในปัจจุบันสามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ถึงรอบปีการเกิดซ้ำ 10,000 ปี โดยระดับน้ำสูงสุดไม่เกินกว่าค่าระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อนออกแบบไว้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ค่า PMF พบว่า อาคารระบายน้ำล้นในปัจจุบันมีความสามารถไม่เพียงพอที่ควบคุมระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำไม่ให้สูงเกินกว่าระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อนได้ออกแบบไว้ และทำให้คงเหลือระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) เพียง 1.30 เมตร เพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อนและพื้นที่ด้านท้ายน้ำ สามารถดำเนินการได้ 2 วิธี เพื่อลดระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ มาตรการไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง โดยทำการพร่องน้ำหรือลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน เพื่อเพิ่มปริมาตรความจุสำรองไว้รองรับ PMF โดยต้องลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงจากระดับเก็บกักปกติ +99.00 เมตร (รทก.) ลดลง 17 เมตร เพื่อให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงมาอยู่ที่ +82.00 เมตร (รทก.) และมาตรการใช้สิ่งก่อสร้าง โดยทำการปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้น เพื่อเพิ่มความยาวสันอาคารระบายน้ำล้นจากเดิม 110 เมตร ให้มียาวสันอาคารระบายน้ำล้นขนาด 280 เมตร (เพิ่มขึ้น 180 เมตร) ซึ่งจะให้มีระดับน้ำหลากสูงสุดอยู่ที่ +102.60 เมตร (รทก.) 3.2 ผลการศึกษาเกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก ด้วยเทคนิค Vacancy Requirement Rule Curves (VRRC) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมต่อการป้องกันน้ำท่วม เมื่อจำลองสถานการณ์ระบายน้ำที่อัตราการระบายน้ำ เท่ากับ 130 140 และ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

แผนการดำเนินงาน (ตามผนวก 4 ในสัญญา)	ผลการปฏิบัติงาน
	ด้วยเทคนิค VRRC พบว่าการจำลองสถานการณ์ระบายน้ำทั้ง 3 แบบ ให้ผลใกล้เคียงกัน โดยอัตราการระบายน้ำไม่เกินอัตราการระบายน้ำที่กำหนด ปริมาณเก็บกักไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ และมีความเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในฤดูแล้งปีถัดไป อีกทั้งปริมาณน้ำเก็บกักหลังฤดูมรสุมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ และมากกว่าปริมาณน้ำเก็บกักในปีปกติ จากการใช้ VRRC สามารถสรุปได้ว่ามีความสามารถในการป้องกันน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำ และมีความเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในปีถัดไป

1 บทนำ (Introduction)

1.1 บทนำ

ลุ่มน้ำเพชรบุรี เป็นลุ่มน้ำขนาดประมาณ 5000 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดเพชรบุรี มีแม่น้ำเพชรบุรีเป็นแม่น้ำสายหลัก ในปัจจุบันประสบปัญหาอุทกภัยอยู่เสมอ เนื่องจากความจุลำน้ำไม่เพียงพอต่อการระบายน้ำในฤดูมรสุม การใช้อ่างเก็บน้ำเก็บกักปริมาณน้ำในช่วงฤดูมรสุมเพื่อบรรเทาปัญหาเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งเนื่องจากสามารถนำมาใช้ได้ โดยแทบไม่ต้องปรับปรุงอาคารบังคับน้ำ หรือต้องก่อสร้างเพิ่มขึ้นเลย ซึ่งในลุ่มน้ำเพชรบุรีมีเขื่อนแก่งกระจาน ที่เริ่มดำเนินการก่อสร้างในปี พ.ศ. 2504 และก่อสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2509 การนำเขื่อนแก่งกระจานมาบรรเทาปัญหาอุทกภัยมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ และแนวทางที่เหมาะสมในการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นของเขื่อนเพื่อควบคุมน้ำหลากและความมั่นคงของเขื่อน เนื่องจากพบว่ามีปัญหาดังนี้

1) เขื่อนแก่งกระจาน มีอายุเขื่อนประมาณ 50 ปี การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) สำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นของเขื่อนในอดีตอาจมีข้อจำกัดในด้านความเพียงพอของข้อมูล

2) ปัจจุบันข้อมูลที่สำคัญทางด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยา ได้มีการเก็บบันทึกทางสถิติที่ยาวนาน และมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลพายุฝนขนาดใหญ่ที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย

3) สภาพพื้นที่ลุ่มน้ำ อาจมีสภาพการใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรม และชุมชนที่อยู่อาศัย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนแปลงไป

4) แนวทางที่เหมาะสมในการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น เพื่อให้เกิดความปลอดภัยเขื่อนและชุมชนท้ายน้ำ ดังเช่น กรณีปริมาณน้ำหลากขนาดใหญ่ได้ไหลเข้าเขื่อนในช่วงเดือนสิงหาคม ปี 2549 ทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานมีปริมาณสูงถึง 720 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าความจุเก็บกักปกติที่ 710 ล้าน ลบ.ม. ทำให้ต้องเร่งระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน

5) จากผลกระทบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนแปลงไป จึงสมควรมีการทบทวนโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน (Upper Rule Curve) ร่วมกับกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม ให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการป้องกันน้ำท่วม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) และทำการศึกษาคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาวิจัย

2) ศึกษา วิเคราะห์ และประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ที่มีความถูกต้องเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมปัจจุบัน และสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ การปฏิบัติการในสภาวะน้ำหลากได้

3) ศึกษาแนวทางปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Flood Operation Rule) ที่ทำงานร่วมกับ โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันอุทกภัย (Vacancy Rule Curve) ในช่วงน้ำหลากที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) พื้นที่ศึกษาเขื่อนแก่งกระจาน และลุ่มน้ำเพชรบุรี

2) ทำการศึกษาวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) และปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ได้แก่ 100 200 500 1,000 และ 10,000 ปีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาวิจัย

3) ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) และปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ได้แก่ 100 200 500 1,000 และ 10,000 ปีที่ไหลเข้าสู่เขื่อนแก่งกระจาน

4) ทำการตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้น Vacancy Requirement Rule Curve (VRRC) ตามกรอบแนวคิดของระบบปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม โดยใช้ข้อกำหนดในปัจจุบันจากกรมชลประทาน ได้แก่ การพิจารณาพร่องน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ การระบายน้ำออกทางท่อระบายลงลำน้ำเดิม (River Outlet) การปล่อยผ่านกังหันผลิตไฟฟ้า ตามค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์น้ำหลาก

1.4 ทฤษฎี สมมติฐานและ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัยโดยสรุป

1.4.1 การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)

การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation : PMP) หมายถึง การศึกษาความลึกของฝนที่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนสูงสุด (Upper Limit) ที่บรรยากาศสามารถทำให้เกิดได้ เมื่อสภาพทุกอย่างเอื้ออำนวยในการทำให้เกิดปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้จะแบ่งพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ออกเป็น 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ภูเขา (Orographic) และพื้นที่ไม่ภูเขา (Non-Orographic) และแบ่งวิธีการตามตำแหน่งอ้างอิงของโลก ออกเป็น 2 เขต ได้แก่ เขตละติจูดกลาง (Mid Latitude) และเขตร้อน (Tropical Zone) สำหรับประเทศไทยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่แบบพื้นที่ไม่ภูเขาและอยู่ในเขตร้อน

สำหรับวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ (PMP) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 8 วิธี (World Meteorological Organization, 2009) ดังนี้

(1) The Local Method (Local Storm Maximization or Local Model) เป็นวิธีการที่ใช้พายุฝนที่เคยเกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษา มาทำให้เป็นพายุฝนมากที่สุด (ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้)

โดยการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง เป็นตัวปรับแก้ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน วิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลพายุฝนที่เคยเกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษาที่ยาวนาน

(2) The Transposition Method (Storm Transposition or Transposition Model) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษาที่ไม่เคยเกิดพายุฝนสูง หรือไม่มีการเก็บข้อมูลพายุฝนที่เคยเกิดไว้ จะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายพายุฝนมาจากพื้นที่ซึ่งเกิดพายุฝนมายังพื้นที่ศึกษา โดยจะต้องแน่ใจว่าพายุฝนนั้นสามารถเคลื่อนย้ายมาได้ ภายใต้รูปแบบและลักษณะของสภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน และพิจารณาตัวปรับแก้ในการเคลื่อนย้ายพายุฝน ได้แก่ ความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง สิ่งกีดขวาง ละติจูด ระยะห่างจากทะเล สภาพภูมิประเทศ ความเร็วลม และฤดูกาล วิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับพื้นที่ที่ไม่ค่อยมีข้อมูลพายุฝนสูง

(3) The Combination Method (Temporal and Spatial Maximization of Storm or Storm Combination or Combination Model) เป็นวิธีการรวมพายุฝนที่เกิดในพื้นที่ 2 ลูกหรือมากกว่าเข้าด้วยกันเหมาะสำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ที่ต้องการระยะเวลาการเกิดพายุฝนที่ยาวเพื่อนำไปใช้หาปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF) ในการจำลองพายุฝนที่มีช่วงเวลายาวๆ ภายใต้อุทุนิยมวิทยา และการคาดการณ์วิธีนี้ต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญด้านอุทุนิยมวิทยา

(4) The Inferential Method (Theoretical Model or Ratiocination Model) เป็นวิธีการสร้างโครงสร้างของพายุฝนแบบ 3D เพื่อสร้างสมการของพายุฝน แบบจำลองที่ใช้ อาจจะเป็น Convergence Model หรือ Laminar Model ข้อมูลที่จะนำมาสร้างแบบจำลองเป็นข้อมูลสภาพอากาศชั้นบน ซึ่งต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญด้านอุทุนิยมวิทยา วิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำขนาดใหญ่

(5) The Generalized Method (Generalized Estimation) ขั้นตอนจะเกี่ยวกับการจัดกลุ่มเป็น Convergence กับฝนปะทะภูเขา วิธีนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่ยาวนานและจำนวนมากในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการวิเคราะห์จึงใช้เวลาดำเนินการค่อนข้างมากและราคาแพง แต่ก็ให้ความถูกต้องสูงและผลการวิเคราะห์สามารถประยุกต์ได้ง่าย เหมาะกับพื้นที่ขนาดไม่เกิน 13,000 ตารางกิโลเมตร สำหรับพื้นที่ภูเขา และพื้นที่ขนาดไม่เกิน 52,000 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่ราบ และพิจารณาระยะเวลาการเกิดพายุฝนไม่เกิน 72 ชั่วโมง

(6) The Statistical Method (Statistical Estimation) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) โดยใช้วิธีการทางสถิติร่วมกับวิธีการเชิงพื้นที่ของสถานีตรวจวัดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาแล้วใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ และ Regional Generalized Method วิธีการทางสถิตินี้จะแตกต่างจากวิธีการทางสถิติทั่วไปอยู่ 2 ประเด็น คือ (1) เป็นการประเมินค่าสถิติของพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อหาพายุฝนที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (2) เป็นวิธีการประเมินค่าสูงสุดทางสถิติโดยใช้การทำเส้นโค้งทางด้านมาก (Envelopment) เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษาขนาดต่ำกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร

นอกจากนี้ สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำใหญ่มาก ๆ ยังต้องมีวิธีการสำหรับพิจารณาเพิ่ม ดังนี้

(7) The Major Temporal (Flood Hydrograph) and Spatial (Flood Source) Combination Method เป็นวิธีการทางอุตุ-อุทกวิทยา ซึ่งมีการวิเคราะห์รวมทั้งกราฟน้ำท่าและแหล่งของ

น้ำท่าใช้สำหรับประเมินในพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือสถานีตรวจวัดที่วิเคราะห์หรือจุดที่สนใจ หรือพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ที่มีความแตกต่างของสภาพอากาศระหว่างเหนือน้ำกับท้ายน้ำ เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ มีพื้นที่รับน้ำมากกว่า 100,000 ตารางกิโลเมตร

(8) The Simulation Method Based on Historical Floods เป็นวิธีการสร้างพายุฝนที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดน้ำท่วมใหญ่ที่เคยเกิดในอดีต มาวิเคราะห์รวมทั้งกราฟน้ำท่า (Flood Hydrograph) ต้องใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า สถานการณ์น้ำท่วมในลำน้ำหลักและลำน้ำสาขาของเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ ในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษา เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่หลายๆ มีพื้นที่รับน้ำมากกว่า 100,000 ตารางกิโลเมตร

1.4.2 การศึกษาปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)

ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ คือ ค่าปริมาณน้ำหลากที่เกิดจากการแปลงค่าปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการวิเคราะห์จากรายงานการวิจัย Dam Safety Research Program: Hydrologic Hazard Curve Estimating Procedures โดย U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (2004) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ได้พัฒนาและเสนอแนะให้เป็นมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) เพื่อใช้ในการประเมินความปลอดภัยของเขื่อนในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งสามารถสรุปหลักการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ได้ดังนี้

(1) แบ่งพื้นที่การระบายน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเท่าที่จำเป็นและให้เหมาะสมกับสภาพการไหลและระบายน้ำของพื้นที่

(2) คัดเลือกแบบจำลองในการวิเคราะห์น้ำท่า: งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph Techniques) ตามคำแนะนำของ U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (2004) ให้ใช้ในการแปลงค่าปริมาณฝนสูงสุด (PMP) ให้กลายเป็นปริมาณน้ำท่าซึ่งวิธีการกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเป็นวิธีการสังเคราะห์กราฟจากข้อมูลพารามิเตอร์ลุ่มน้ำและพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของลุ่มน้ำและลุ่มน้ำใกล้เคียง จึงเป็นวิธีการที่สามารถวิเคราะห์กราฟน้ำหลากได้ทั้งกรณีมีสถานีวัดน้ำท่าและไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่

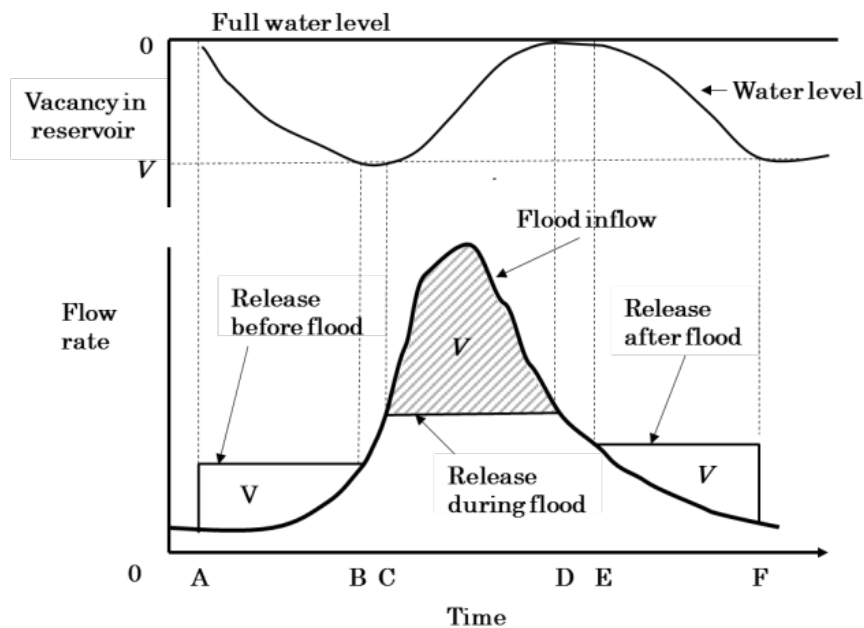
(3) ทำการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีกัมเบล (Gumbel Distribution) ตามคำแนะนำจากผลงานวิจัยของ Sabur (1982) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์น้ำท่วมในประเทศไทย และได้สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบทฤษฎีความเป็นไปได้ 4 วิธีคือ ทฤษฎีกัมเบล ทฤษฎีล็อกนอร์มอลแบบสองพารามิเตอร์ ทฤษฎีเพียร์สันประเภทสาม และทฤษฎีล็อกเพียร์สันประเภทสาม สรุปได้ว่าถ้าใช้ Kolmogorov-Smirnov test เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบทฤษฎีกัมเบลและล็อกนอร์มอลซึ่งมีเพียงสองพารามิเตอร์จะ

เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าใช้ Chi-square test เป็นมาตรฐานการเปรียบเทียบพบว่าทฤษฎีแก้มเบลจะเด่นสุด และไม่
ว่าจะใช้เกณฑ์มาตรฐาน การเปรียบเทียบวิธีใดก็ตามทั้งทฤษฎีเพียร์สันประเภทสามและทฤษฎีล็อกเพียร์สัน
ประเภทสาม ซึ่งต่างก็มีสามพารามิเตอร์ก็ไม่แสดงความเหมาะสมดีกว่าทฤษฎีที่มีสองพารามิเตอร์อย่างใด และ
ได้แนะนำให้ใช้ทฤษฎีแก้มเบลในการวิเคราะห์แจกแจงความถี่สำหรับประเทศไทย

- (4) จัดเรียงปริมาณฝนสูงสุดที่วิเคราะห์ได้ตามรูปแบบพายุน
- (5) ประมาณการค่าการสูญเสียปริมาณน้ำฝนสูงสุดเนื่องจากการเก็บกักบนพื้นผิวและการซึม
ลงดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ
- (6) หักค่าการสูญเสียปริมาณฝนออกจากพายุนเพื่อให้ได้ค่าปริมาณฝนส่วนเกิน (Rainfall
Excess) ในแต่ละช่วงเวลา
- (7) ประยุกต์ค่าปริมาณฝนส่วนเกินเข้ากับแบบจำลองน้ำท่า (Unit Hydrograph) สำหรับแต่
ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ทำการศึกษา
- (8) เพิ่มปริมาณการไหลพื้นฐาน (Base Flow) เข้ากับกราฟน้ำหลากจากพายุนเพื่อให้ได้
กราฟน้ำหลากสำหรับแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลสูงสุดกับปริมาณการ
ไหลพื้นฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำ
- (9) วิเคราะห์การเคลื่อนกราฟน้ำหลากจากแต่ละลุ่มน้ำย่อยไปยังจุดพิจารณา
- (10) ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ที่คำนวณได้กับ
Envelop Curve ของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากสูงสุด
- (11) เคลื่อนกราฟน้ำหลากเข้าสู่พื้นที่อ่างเก็บน้ำของเขื่อน เพื่อประมาณค่าปริมาตรสูงสุด
ระดับน้ำสูงสุด ปริมาณน้ำที่ไหลออกสูงสุดที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ของเขื่อนเก็บกักน้ำ

1.4.3 การพัฒนา Vacancy Requirement Rule Curve (VRRC)

กระบวนการของระบบปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมด้วย Vacancy
Requirement Rule Curve (VRRC) แสดงได้ดังภาพที่ 1-1 ทั้งนี้เป็นการแสดงกระบวนการขั้นพื้นฐานเพื่อ
ป้องกันน้ำท่วมกรณีที่มีพายุเพียง 1 ครั้ง โดยปริมาณน้ำที่เกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำคือ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ,
ปริมาณน้ำระบาย และปริมาตรเก็บกัก ในขั้นตอนนี้สมมติว่าผู้ปฏิบัติงานทราบปริมาณของน้ำท่วมล่วงหน้าเพื่อ
การควบคุมน้ำท่วมในอุดมคติ Satoh (1978) และ Satoh et al. (2003)



ภาพที่ 1-1 กระบวนการของระบบปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม

(1) ปริมาณน้ำที่ระบายในช่วงระยะเวลาที่เกิดอุทกภัยคำนวณได้จาก อัตราระบายสูงสุดจาก ผังเกณฑ์ปริมาณน้ำเฝ้าระวังเพื่อการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำระบายสูงสุดนี้จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายจากอุทกภัย หากจำเป็นให้ปรับเกณฑ์เพิ่มขึ้น โดยพิจารณามูลค่าความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ให้น้อยที่สุด กำหนดให้ปริมาณน้ำที่เก็บกักในอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมด้วยตัวแปร V

(2) ปริมาตรเก็บกักเพื่อป้องกันน้ำท่วม (V) ของอ่างเก็บน้ำจะเริ่มเก็บกักเมื่อระบบปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมเริ่มดำเนินการ ทั้งนี้สามารถเริ่มการระบายน้ำได้หลากหลายวิธีการ การระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำคงที่ ทั้งนี้สมมติว่าปริมาณน้ำก่อนเข้าฤดูฝนนั้น เก็บกักที่เต็มระดับเก็บกักปกติ (Full Water Level, FWL) ปริมาณน้ำระบายก่อนฤดูฝน ด้วยอัตราคงที่เพื่อสามารถระบายน้ำจากเต็มระดับเก็บกักปกติให้พร่องสู่ปริมาณเก็บกักเพื่อป้องกันน้ำท่วม (V)

(3) หลังจากการป้องกันน้ำท่วม ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะอยู่ที่เต็มระดับเก็บกักปกติ (FWL) ต้องทำการลดระดับน้ำเพื่อเตรียมการป้องกันน้ำท่วมจากพายุฝนลูกต่อไป การระบายน้ำด้วยอัตราคงที่ภายหลังการป้องกันน้ำท่วม ซึ่งผู้ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำต้องคำนวณหาปริมาณน้ำระบายในช่วงนี้ให้เหมาะสม

(4) เพื่อการรักษาปริมาณน้ำระบาย ไม่ให้เกิน เป้าหมายในช่วงก่อนและหลังการป้องกันน้ำท่วม ระดับน้ำที่แสดงในรูป ถูกนำมาใช้เป็น เส้นปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตัวบน (Upper Rule Curve, URC) ซึ่งหากในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจริงการรักษากระดับน้ำเก็บกักสูงสุดไว้ที่ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level) และไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Pool Level)

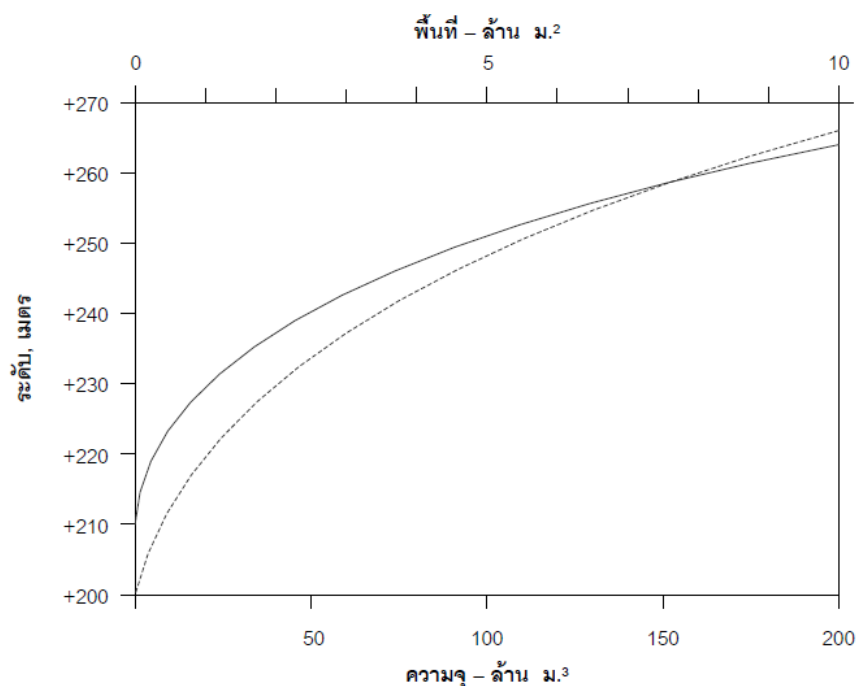
1.4.4 อ่างเก็บน้ำและหลักสมมูลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) หมายถึงพื้นที่เก็บกักน้ำเหนือเขื่อนที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติเพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน ไม่ว่าจะเป็น

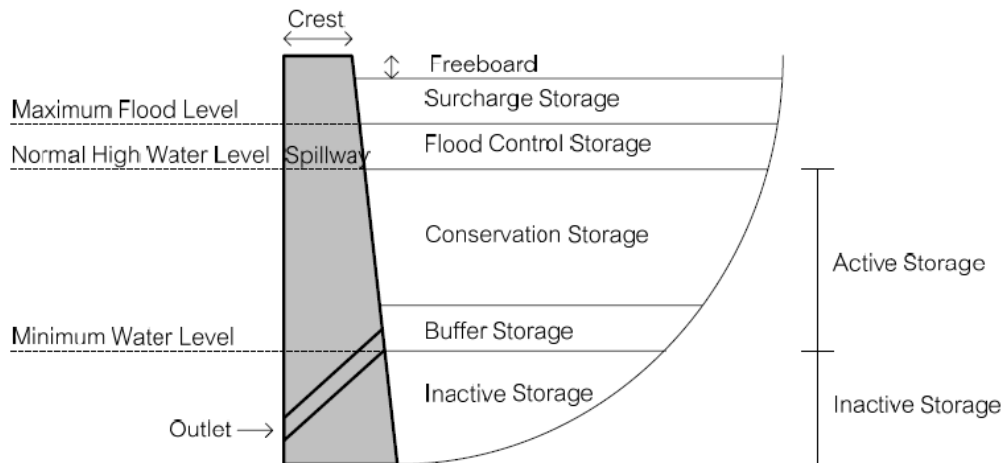
เป็นเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการอุปโภค บริโภค การอุตสาหกรรม การชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า การผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง การควบคุมคุณภาพน้ำในแม่น้ำ การคมนาคมทางน้ำ การควบคุมหรือการบรรเทา น้ำท่วม เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นสถานที่ท่องเที่ยว เป็นต้น โดยอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะเรียกว่า อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) ส่วน อ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เพื่อวัตถุประสงค์หลาย ๆ อย่างเรียกว่าอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multipurpose Reservoir) (วรารุณ, 2538)

ส่วนประกอบของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Components) อ่างเก็บน้ำ ทั่ว ๆ ไป ที่ทำหน้าที่ ทั้ง เก็บกักน้ำ และควบคุมน้ำ ท่วม จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำ ล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet Works)

อ่างเก็บน้ำ เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นหุบเขา ปริมาตรอ่างเก็บน้ำ ขึ้นอยู่กับลักษณะของหุบเขาและความสูงของเขื่อนที่สร้าง การหาปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำ จะต้องมีการสำรวจภูมิประเทศบริเวณที่ตั้งอ่าง นำผลมาทำแผนที่ระดับชั้น ความสูง (Contour Map) ใช้แพลนนิมิเตอร์วัดพื้นที่ภายในเส้นชั้น ความสูงแต่ละเส้น จะสามารถนำมาหาโค้งพื้นที่-ระดับ (Area-Elevation Curve) ได้ เมื่อเอาพื้นที่เฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นความสูงคูณด้วยระดับชั้น ความสูงจะได้ปริมาตรที่อยู่ระหว่างเส้นชั้น ความสูงใด ๆ คือปริมาตรอ่างที่ระดับของเส้นชั้น ความสูงนั้น เมื่อนำปริมาตรอ่างมาพล็อตเทียบกับระดับความสูงจะได้โค้งปริมาตร-ระดับ (Storage-Elevation Curve) หรือบางครั้ง เรียกว่าโค้งความจุ-ระดับ (Capacity-Elevation Curve) แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 1-2 อ่างเก็บน้ำ เพื่อการเก็บกักน้ำ ทั่ว ๆ ไปจะมีการแบ่งปริมาตรอ่างออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานดังภาพที่ 1-3 อธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 1-2 ลักษณะของโค้งความจุ-พื้นที่-ระดับ ของอ่างเก็บน้ำ



ภาพที่ 1-3 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ

(1) ระดับเก็บกักต่ำสุด (Minimum Pool Level)

ระดับน้ำ ต่ำสุดที่จะสามารถเอาน้ำ จากอ่างออกไปใช้ได้ เป็นตัวกำหนดระดับปากของอาคารทางออก (Outlet) ตัวที่อยู่ต่ำที่สุด ปริมาตรอ่างที่อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุดนี้เรียกว่า ปริมาตรสูญเปล่า (Dead Storage) เนื่องจากปกติจะไม่มี การนำเอาปริมาณน้ำ ในส่วนนี้ไปใช้ ปริมาตรสูญเปล่าเป็น ปริมาตรอ่างที่เพื่อไว้สำหรับการตกตะกอนในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ

(2) ระดับเก็บกักปกติ (Normal Pool Level)

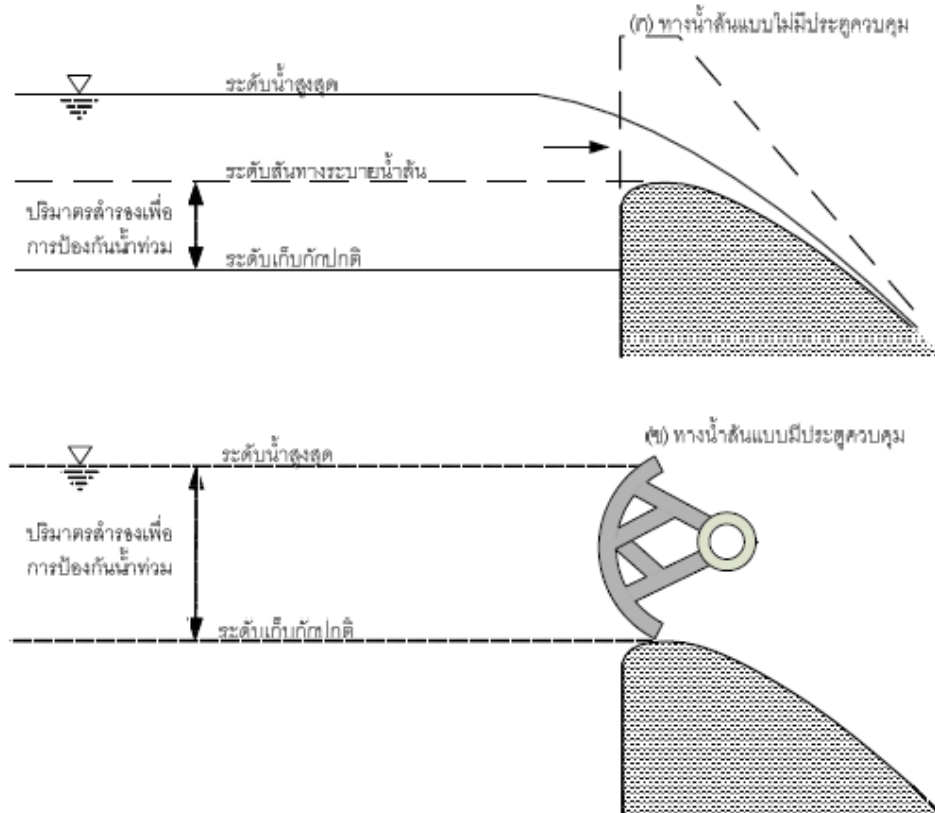
ระดับเก็บกักน้ำ สูงสุดของอ่างในการปฏิบัติงานตามปกติ (Normal Operation) ซึ่ง บางครั้งเรียกว่าระดับน้ำสูงสุดปกติ (Normal High Water Level) เป็นตัวกำหนดระดับสันทางระบายน้ำล้น แบบไม่มีประตูควบคุม ปริมาตรที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักต่ำสุดและระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรใช้การ (Active Storage) ปริมาตรใช้การถูกออกแบบให้มีขนาดเพียงพอที่จะเก็บกักน้ำ ไว้สำหรับความต้องการน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่แล้งมาก ๆ ตลอดช่วงอายุการใช้งานของอ่าง

(3) ระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum Water Surface)

ระดับน้ำสูงสุดที่จะยอมให้เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำ ในช่วงเวลาที่มีน้ำท่วมใหญ่เคลื่อนตัวเข้าสู่ อ่าง ปริมาตรอ่างที่อยู่ระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge Storage) เป็นปริมาตรอ่างที่ทำหน้าที่หน่วงคลื่นน้ำ ท่วมไม่ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำ เร็วและมีอัตรามากเกินไปจนก่อให้เกิดน้ำ ท่วมทางด้านท้ายน้ำ ในการออกแบบปริมาตรเก็บกัก ต้องสัมพันธ์กับขนาดทางระบายน้ำ ล้น และคลื่นน้ำ ท่วมที่คาดว่าจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง อย่างไรก็ตามระดับน้ำ สูงสุดอาจถูกกำหนดจากสภาพกายภาพของหุบเขาเช่น ระดับช่องเขาขาด หรือพื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้ วนอุทยาน เมืองที่จะถูกน้ำ ท่วม ฟรีบอร์ด (Freeboard) คือระยะระหว่างระดับน้ำ สูงสุดและเส้นระดับสันเขื่อนที่ต้องเผื่อไว้เพื่อความ ปลอดภัยว่าน้ำ จะไม่ไหลล้นสันเขื่อนขณะที่คลื่นน้ำ ท่วมใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ

(4) ทางระบายน้ำล้น (Spillway)

เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำ ส่วนเกินในยามที่คลื่นน้ำ ท่วมขนาดใหญ่เคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้ระดับน้ำ ในอ่างยกตัวสูงมากเกินไปจนเป็นการเสี่ยงต่อความปลอดภัยของตัวเขื่อน การออกแบบทางระบายน้ำ ล้นจะพิจารณาจากขนาดของคลื่นน้ำ ท่วมที่ใหญ่ที่สุดที่คาดว่าจะเคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ ในช่วงเวลาที่วิกฤตที่สุดคือ ช่วงเวลาที่มีน้ำ เต็มอ่าง หรือระดับน้ำ ในอ่างอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติ บางครั้งในการออกแบบทางระบายน้ำ ล้นอาจมีการจำกัดระดับน้ำ สูงสุดเอาไว้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของอ่างและสภาพธรณีวิทยาของตัวเขื่อนถ้าการป้องกันน้ำ ท่วมเป็นวัตถุประสงค์ที่มีความสำคัญเป็นอันดับหนึ่งในการออกแบบอัตราการระบายน้ำ ผ่านทางระบายน้ำ ล้นควรจะต้องไม่เกินขีดความสามารถของทางน้ำ ที่จะผันน้ำ ออกไปโดยไม่ก่อให้เกิดน้ำ ท่วมทางด้านท้ายน้ำ ถ้าผลจากการออกแบบตามสมมุติฐานที่ว่า คลื่นน้ำ ท่วมเคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ ขณะที่มีน้ำ เต็มอ่าง ประกอบกับได้มีการกำหนดระดับน้ำสูงสุดเอาไว้ ทำให้อัตราการระบายน้ำ ผ่านทางระบายน้ำ ล้นสูงจนก่อให้เกิดน้ำ ท่วมทางด้านท้ายน้ำ ในกรณีนี้ต้องมีการกำหนดปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Reserve) เอาไว้ด้วย ปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำ ท่วม คือ ปริมาตรระหว่างปลายด้านบนของบานถึงระดับสันฝายทางระบายน้ำล้นดังภาพที่ 1-4 โดยทั่วไปจะต้องมีอาคารที่สามารถระบายน้ำ ออกจากเขตปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำ ท่วมได้หมดก่อนที่จะมีคลื่นน้ำ ท่วมลูกที่สองเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง



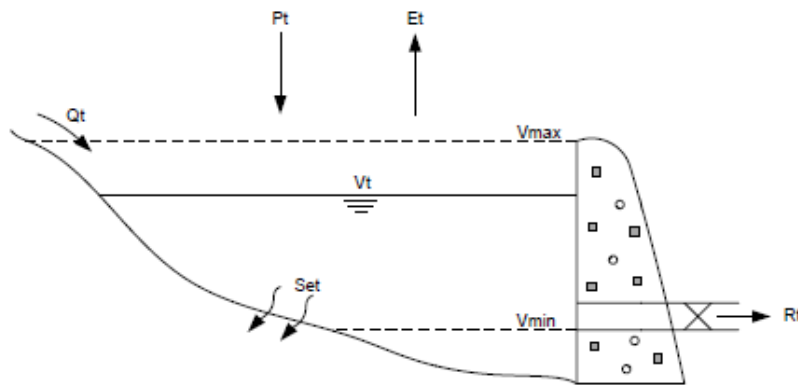
ภาพที่ 1-4 ปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม

(5) อาคารทางออก (Outlet Works)

เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยน้ำ จากอ่างเพื่อนำไปใช้ในการชลประทาน การควบคุมคุณภาพน้ำในแม่น้ำ การผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง โดยขนาดของอาคารทางออกจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการน้ำ จากอ่างเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในช่วงที่มีความต้องการน้ำ สูงสุด และเฮดของน้ำ (Head) ในอ่างเก็บน้ำ เหนืออาคารทางออก ขนาดของอาคารทางออกจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณน้ำ และแปรผันผกผันกับรากที่สองของเฮด และเพื่อให้อาคารทางออกสามารถทำหน้าที่ได้ตลอดเวลา ปากอาคารทางออกควรจะต้องตั้ง อยู่ในระดับที่สามารถปล่อยน้ำ ได้ตลอดเวลาทราบเท่าที่ระดับน้ำ ในอ่างอยู่เหนือระดับเก็บกักต่ำสุดและควรจะให้มีความสูงของน้ำ เหนือระดับปากอาคารทางออกอย่างน้อยเท่ากับเฮดที่ออกแบบไว้

1.4.5 หลักสมมูลของอ่างเก็บน้ำ

หลักสมมูลของน้ำในอ่างเก็บน้ำนับได้ว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการออกแบบหาขนาดของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Design) ตลอดจนนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) เพื่อให้สามารถนำน้ำไปใช้จากอ่างให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยหลักการวิเคราะห์สมมูลของน้ำในอ่างเก็บน้ำพื้นฐานก็คือ ผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Reservoir Outflow) เท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Storage) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการสมมูลของน้ำในอ่างได้ดังสมการที่ 1 แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 1-5



ภาพที่ 1-5 สมมูลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ

$$V_{t+1} = V_t + Q_t + P_t - R_t - E_t - S_{et} \quad (1)$$

ถ้าช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์สมมูลของน้ำคือเดือน

V_{t+1} = ปริมาณน้ำในอ่างเมื่อต้นเดือน t+1

V_t = ปริมาณน้ำในอ่างเมื่อต้นเดือน t

Q_t = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในเดือน t

P_t = ปริมาณฝนที่ตกลงในอ่างเฉลี่ยในเดือน t

R_t = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างตามกฎการปฏิบัติอ่างในเดือน t

E_t = ปริมาณการระเหยจากอ่างในเดือน t

$$E_t = e_t A(\overline{V}_t) \quad (2)$$

e_t = อัตราการระเหยในเดือน t

$A(\overline{V}_t)$ = พื้นที่ผิวน้ำในอ่างเฉลี่ยในเดือน t ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่างเฉลี่ยในเดือน t

$$P_t = (1 - C) P_t A(\overline{V}_t) \quad (3)$$

$$Se_t = BK(V_{t+1} - V_t) \quad (4)$$

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient)

Se_t = ปริมาณน้ำรั่วซึมจากอ่างในเดือน t

BK = สัมประสิทธิ์ความจุตลิ่ง (Bank Storage Coefficient)

$V_{\min}$ = ความจุอ่างที่ระดับเก็บกักต่ำสุด

$V_{\max}$ = ความจุอ่างที่ระดับเก็บกักสูงสุด

1.4.6 กฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำเป็นงานที่ต้องจ่ายค่าใช้จ่ายมหาศาล ต้องสร้างเขื่อนและอาคารประกอบมากมาย จึงต้องมีการวางกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules) เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างและน้ำ ในอ่างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และก่อให้เกิดผลกำไรในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด กฎนี้ใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติ ไม่ใช่ช่วงเก็บกักหลังจากที่สร้างเขื่อนเสร็จใหม่ ๆ หรือช่วงที่กำลังมีการเปลี่ยนวัตถุประสงค์ของการใช้อ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1-6

กฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำมีหลายแบบ แต่ละแบบจะบอกปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างหรือไม่ก็บอกปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี ซึ่งเรียกว่า โค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule Curves) หรือบางประเภทจะแบ่งปริมาตรอ่างออกเป็นโซนต่าง ๆ แต่ละโซนจะมีนโยบายการปล่อยน้ำ (Release Policy) ต่างกันออกไป

กฎในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในเวลาปกติ (Normal Operating Rule) คือ

$$\text{ถ้า } V_{\min} < V_{t+1} < V_{\max} : R_t = D_t \text{ (ความต้องการน้ำจากอ่างในเดือน t)} \quad (5)$$

$$\text{ถ้า } V_{t+1} > V_{\max} : R_t = D_t + V_{spill_t} \quad (6)$$

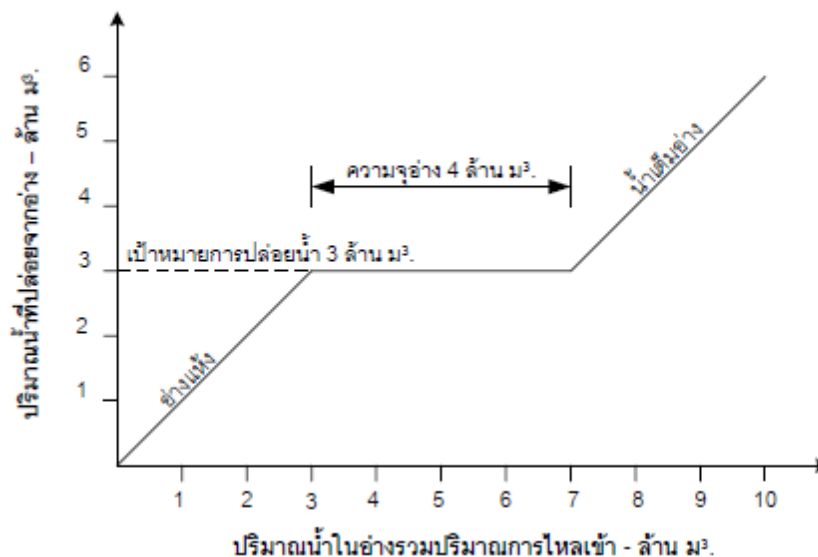
$$V_{spill_t} = V_{t+1} - V_{\max} = \text{ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางระบายน้ำล้นในเดือน t} \quad (7)$$

$$V_{t+1} = V_{\max} \quad (8)$$

$$\text{ถ้า } V_{t+1} < V_{\min} : R_t = D_t - V_{def_t} \quad (9)$$

$$V_{def_t} = V_{\min} - V_{t+1} = \text{ปริมาณน้ำที่ขาดในเดือน t} \quad (10)$$

$$V_{t+1} = V_{\min} \quad (11)$$



ภาพที่ 1-6 กฎการปฏิบัติงานอ่างปกติ (Normal Operation Rule) สำหรับอ่าง
เพื่อการอุปโภค-บริโภค หรือชลประทานขนาดเล็ก

1.4.7 ตัวแปรที่นำมาพิจารณาเพื่อคำนวณปริมาณน้ำระบาย

ปริมาณน้ำในการเกิดอุทกภัยกำหนดด้วยชุดข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างที่มีปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำเฝ้าระวัง หรือปริมาณน้ำระบายในช่วงอุทกภัยที่ใช้ออกแบบ (Q_r) ที่พื้นที่ด้านท้ายน้ำสามารถรองรับได้ หรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด

ปริมาณน้ำระบายก่อนอุทกภัย ผู้ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำมีความจำเป็นต้องระบายเพื่อให้เกิดช่องว่าง เตรียมรับน้ำในฤดูฝน ก่อนการใช้กฎการปฏิบัติงานเพื่อป้องกันอุทกภัยโดยเมื่อมีปริมาณน้ำมากกว่าเส้นปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำตัวบนจะมีการระบายออกมาที่ ปริมาณน้ำระบายก่อนฤดูฝน (Q_b) ที่อัตราเฉลี่ยเพื่อ

การระบายน้ำจากระดับเก็บกักปกติจนถึง ปริมาตรเก็บกักเพื่อป้องกันน้ำท่วม (Vacancy Requirement) โดยเริ่มระบายที่ต้นฤดูแล้ง (ช่วง A-B)

อัตราการระบายน้ำระหว่างช่วงเวลาเกิดอุทกภัย คือช่วงกลางของระบบปฏิบัติงานเพื่อป้องกันน้ำท่วม ในการศึกษาครั้งนี้ ปริมาณน้ำระบายระหว่างช่วงเวลาเกิดอุทกภัย (Q_r) กำหนดไว้ให้เป็นอัตราคงที่ในช่วงการเกิดอุทกภัยเนื่องจาก 1) ระบบปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำควรทำแบบเรียบง่าย เข้าใจง่าย 2) การพยากรณ์น้ำท่าที่ด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ กระทำได้แม่นยำ สามารถบริหารน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ช่วง C-D)

การกำหนดอัตราการระบายน้ำระหว่างช่วงเวลาเกิดอุทกภัย ในระดับต่ำส่งผลให้อ่างเก็บน้ำมีความต้องการปริมาตรเพื่อการป้องกันน้ำท่วมเป็นปริมาณมาก ทำให้เกิดผลกระทบเชิงลบ ต่อการเก็บกักน้ำเพื่ออุปสงค์ต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ เช่นด้านน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค น้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ น้ำเพื่อการเกษตร น้ำเพื่ออุตสาหกรรม

การออกแบบอัตราการระบายน้ำหลังช่วงเวลาเกิดอุทกภัย (Q_d) กำหนดให้อยู่ในระดับที่สามารถพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันปริมาณน้ำเนื่องจากพายุฤดูฝน ลูกต่อไปที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ โดยไม่กระทบพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ค่าการออกแบบสามารถปรับให้ยืดหยุ่นได้ ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์อุทกภัยด้านท้ายน้ำ (ช่วง E-F)

1.4.8 หลักเกณฑ์การจัดสรรน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ

การบริหารจัดการน้ำจะวางแผนการใช้น้ำแบบยั่งยืนโดยจัดสรรน้ำให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำเพื่อสนับสนุนการใช้น้ำทุกกิจกรรมในพื้นที่ต่างๆ อย่างทั่วถึง และเป็นธรรมโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก และสนับสนุนน้ำชลประทานเสริมในช่วงต้นฤดูฝน และ/หรือช่วงที่เกิดฝนทิ้งช่วง ซึ่งมีการจัดลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำดังนี้

- 1) เพื่อการอุปโภค-บริโภค และการประปา
- 2) เพื่อการรักษาระบบนิเวศ เช่น การผลักดันน้ำเค็ม การผลักดันน้ำเสีย เป็นต้น
- 3) เพื่อการเกษตรกรรม
- 4) เพื่อการอุตสาหกรรม

การจัดสรรน้ำยังต้องคำนึงถึงแผนการป้องกันและบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ เนื่องจากในช่วงฤดูฝนของทุกปีจะเกิดอุทกภัยขึ้นบ่อยครั้ง การกำหนดแผนการป้องกันและบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ (ฤดูฝน) มีความจำเป็นต้องเตรียมแผน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการปฏิบัติงานและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ การแจ้งข้อมูลสถานการณ์น้ำ และการให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งมีแนวทางการประสานงานระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องการการป้องกันบรรเทาสาธารณภัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แนวทางการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลากได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความมั่นคงปลอดภัยต่อตัวเขื่อนและชุมชนท้ายน้ำ
- 2) ผลงานวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับชาติ
- 3) การใช้ผลงานวิจัยเป็นเอกสารประกอบการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมชลประทานทั้งในระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา
- 4) หน่วยงานของรัฐ ได้แก่ กรมชลประทาน และหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมทรัพยากรน้ำ สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม ควบคุมปริมาณน้ำหลากในสภาวะวิกฤติ

2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่การศึกษา

2.1.1 กลุ่มน้ำเพชรบุรี

กลุ่มน้ำเพชรบุรีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม และราชบุรี มีลักษณะกลุ่มน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตัวในแนวตะวันตก – ตะวันออก โดยมีแม่น้ำเพชรบุรีเป็นแม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำ ต้นกำเนิดของแม่น้ำเพชรบุรีอยู่บริเวณเทือกเขาตะนาวศรีทางด้านตะวันตกของกลุ่มน้ำ บริเวณอำเภอแก่งกระจาน ไหลผ่านอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานและเขื่อนเพชร มีลำน้ำสายสั้นๆ กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งลำน้ำส่วนใหญ่จะไหลลงสู่แม่น้ำเพชรบุรีและออก ทะเลบริเวณอำเภอบ้านแหลม รวมความยาวลำน้ำ 227 กม. โดยมีขนาดพื้นที่กลุ่มน้ำทั้งหมดประมาณ 6,254.45 ตร.กม. ดังแสดงในภาพที่ 2-1

ลักษณะภูมิประเทศของกลุ่มน้ำเพชรบุรีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1) กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำเพชรบุรีตอนบน เป็นส่วนแม่น้ำเพชรบุรีสายหลักเหนือเขื่อนเพชร มีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาสูงและพื้นที่ลาดชันจากทิศตะวันตกมาตะวันออก 2) กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำเพชรบุรีตอนล่าง เป็นส่วนที่ต่อเนื่องจากท้ายเขื่อนเพชร บริเวณนี้เป็นพื้นที่ราบลุ่ม ซึ่งเหมาะแก่ทำการเกษตร 3) กลุ่มน้ำสาขาห้วยแม่ประจันต์ เป็นพื้นที่ลาดเชิงเขามีที่ราบริมแม่น้ำเล็กน้อย

2.1.2 เขื่อนแก่งกระจาน

เขื่อนแก่งกระจาน เป็นเขื่อนดินกั้นแม่น้ำเพชรบุรี ที่บริเวณเขาเจ้าและเขาไม้รวก อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี ดังแสดงตำแหน่งที่ตั้งในภาพที่ 2-2 สร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2509 สันเขื่อนยาว 760 เมตร กว้าง 8 เมตร สูง 58 เมตร ระดับสันเขื่อน 106 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง นอกจากตัวเขื่อน ยังมีเขื่อนดินปิดเขาด้า ทางขวางของเขื่อนอีก 2 แห่ง แห่งแรกสูง 36 เมตร สันเขื่อนยาว 305 เมตร แห่งที่ 2 สูง 24 เมตร สันเขื่อนยาว 255 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2-3 และภาพที่ 2-4 (www.kaengkrachan.go.th, 2559)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เขื่อนแก่งกระจาน โดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง ขนาดกำลังผลิต 19,000 กิโลวัตต์ ให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 70 ล้าน กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยมีสายส่งไฟฟ้าจากเขื่อนแก่งกระจานไปยังสถานีไฟฟ้าแรงสูงชะอำ

ที่ตั้ง

หมู่ที่ 1 ตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

มาตราส่วน 1:50,000 ระบาย 4934 IV

พิกัด 47 PNQ 275675

ละติจูด 12°-54'-57"N ลองจิจูด 99°-38'-00"E

ผู้ดูแล โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี กรมชลประทาน

ข้อมูลทั่วไปเขื่อน

เริ่มก่อสร้าง	พ.ศ. 2505	
ก่อสร้างแล้วเสร็จ	พ.ศ. 2509	
พื้นที่ผิวหน้าของอ่างฯ	46.50	ตร.กม.
ปริมาณน้ำไหลลงอ่าง ฯ	1,100.00	ล้าน ลบ.ม./ปี
พื้นที่รับน้ำฝน	2,210.00	ตร.กม.
ปริมาณฝนเฉลี่ย	1,083.00	มม./ปี

ลักษณะห้วงงาน

เขื่อนหลัก	เป็นชนิดเขื่อนดิน (Earth fill Dam)	
เขื่อนยาว	760.00	เมตร
เขื่อนสูง	58.00	เมตร
สันเขื่อนกว้าง	8.00	เมตร
ระดับสันเขื่อน	+106.00	เมตร รทก.
ระดับน้ำสูงสุด	+102.67	เมตร รทก.
ระดับน้ำเก็บกัก	+99.00	เมตร รทก.
ระดับน้ำต่ำสุด	+75.00	เมตร รทก.
ปริมาตรน้ำสูงสุด	900.00	ล้าน ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำเก็บกัก	710.00	ล้าน ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำต่ำสุด	65.00	ล้าน ลบ.ม.

อาคารระบายน้ำล้นหลัก

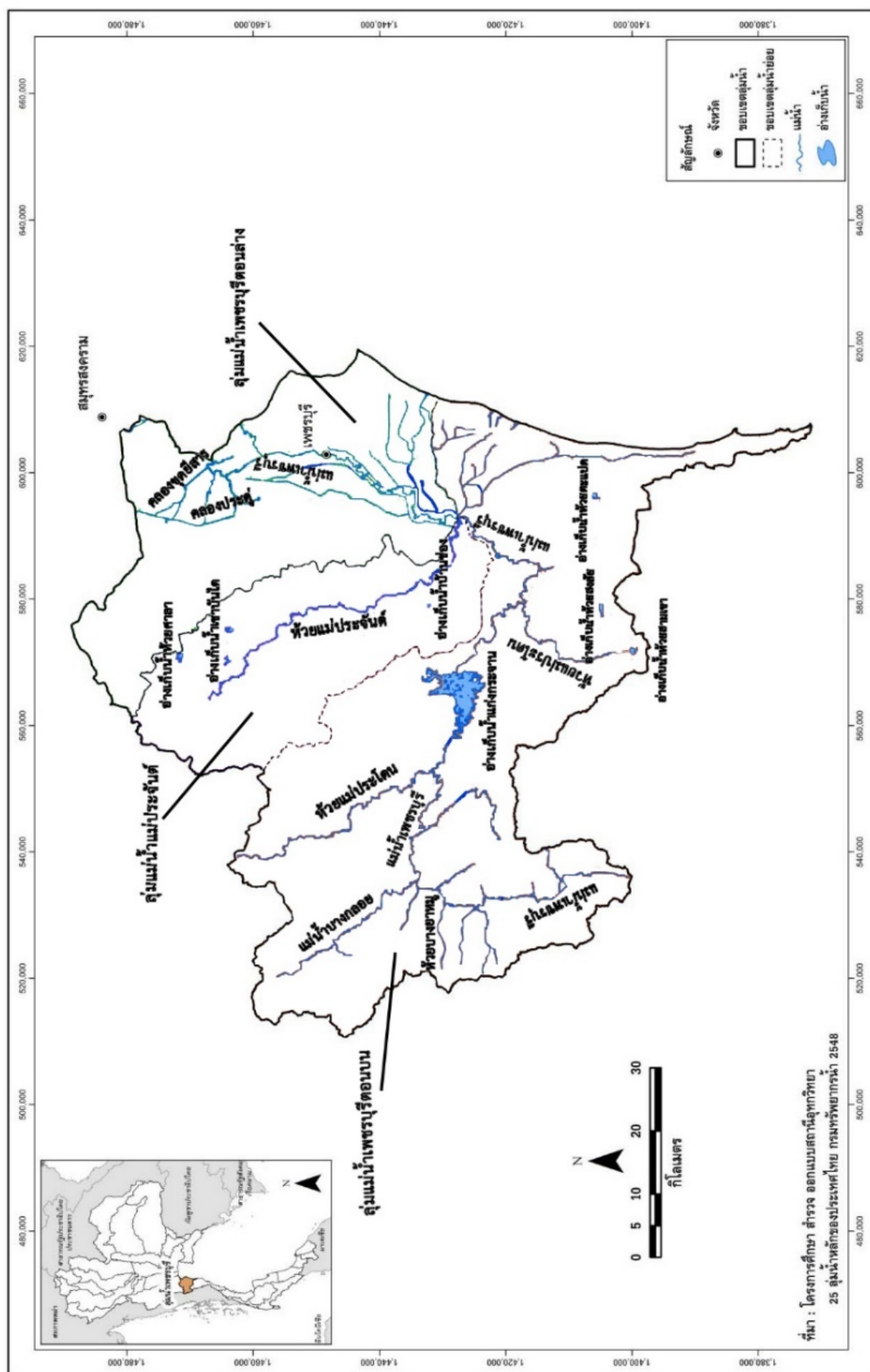
แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway)	ชนิด Weir	
ขนาด	110.00	เมตร
ระบายน้ำได้	1,380.00	ลบ.ม./วินาที

อาคารท่อระบายลงลำน้ำเดิม (River Outlet)

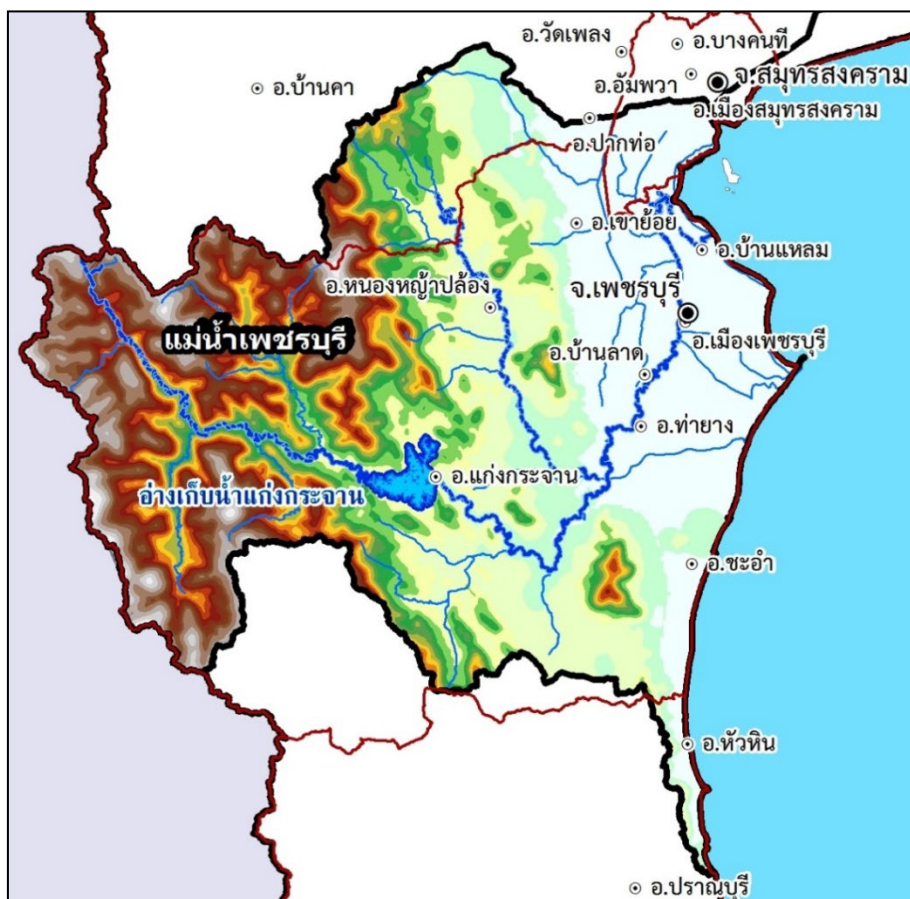
ขนาด	Ø 3.50	เมตร
ระบายน้ำได้	75.00	ลบ.ม./วินาที

เขื่อนดินปิดเขาตำแหน่งที่ 1

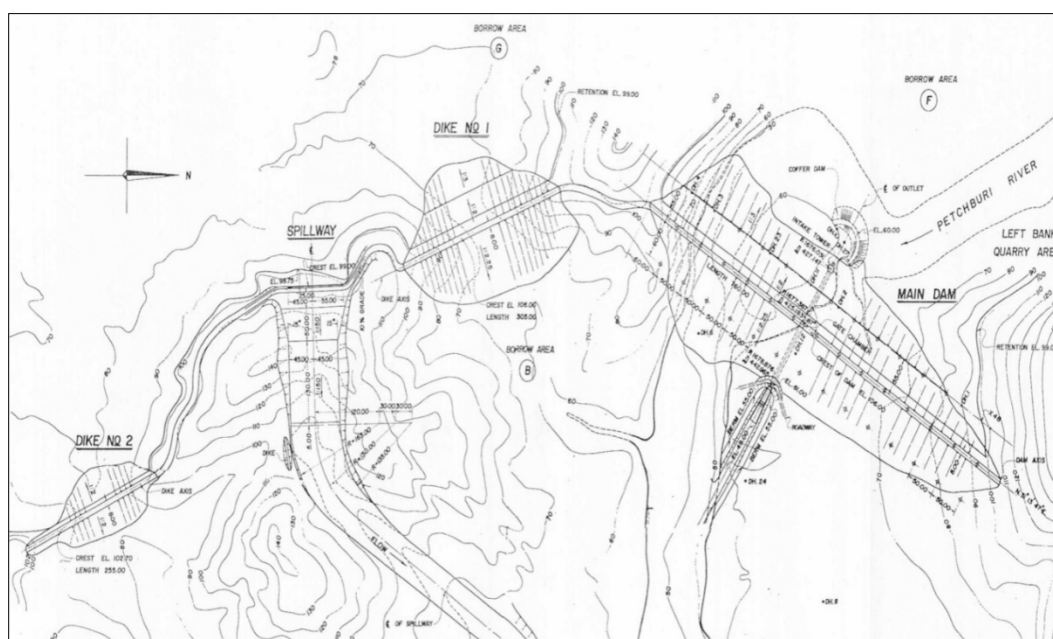
เขื่อนยาว	305.00	เมตร
เขื่อนสูง	36.00	เมตร
สันเขื่อนกว้าง	8.00	เมตร
ระดับสันเขื่อน	+106.00	เมตร รทก.



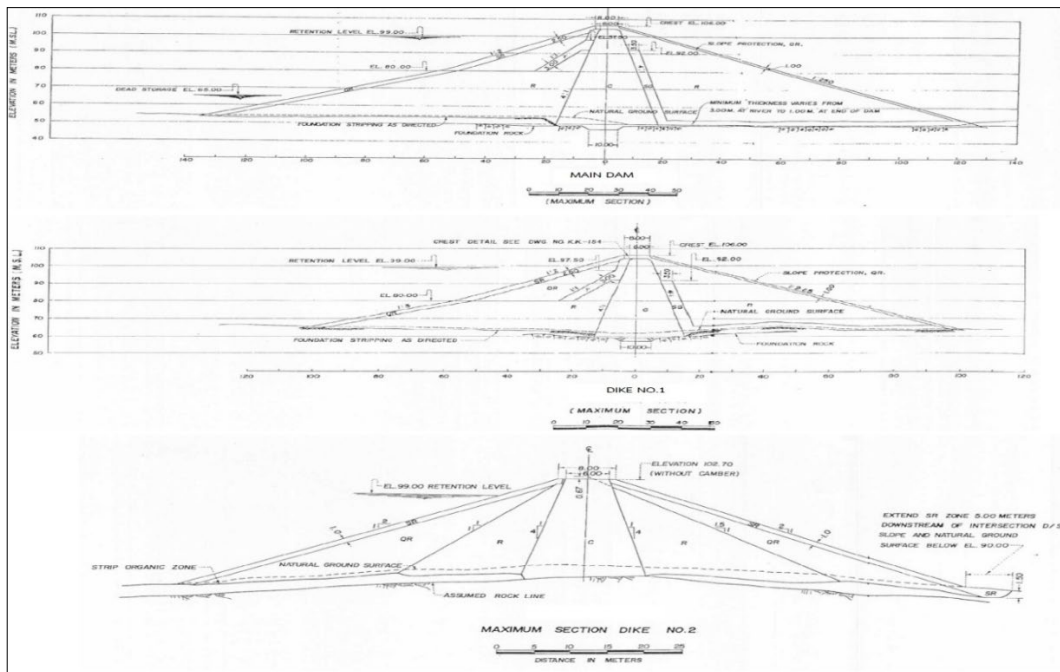
ภาพที่ 2-1 พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี



ภาพที่ 2-2 กลุ่มน้ำเพชรบุรีและตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนแก่งกระจาน



ภาพที่ 2-3 รูปตัดด้านบนของเขื่อนแก่งกระจาน



ภาพที่ 2-4 รูปตัดด้านข้างของเขื่อนแก่งกระจาน

เขื่อนดินปิดเขาดำแห่งที่ 2

เขื่อนยาว	255.00	เมตร
เขื่อนสูง	22.00	เมตร
สันเขื่อนกว้าง	8.00	เมตร
ระดับสันเขื่อน	+102.70	เมตร รทก.

พื้นที่รับประโยชน์

ส่งน้ำให้แก่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีเพื่อขยายพื้นที่ชลประทานจากเดิม 214,000 ไร่ ขยายเพิ่มเป็น 336,000 ไร่ ในฤดูฝน และเพื่อการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง 174,000 ไร่ และเพื่อการอุปโภคบริโภคในพื้นที่ตั้งแต่ปากอ่าวเพชรบุรีถึงอำเภอดำเนินสะดวก

2.1.3 สภาพภูมิอากาศ

สภาพทางภูมิอากาศของกลุ่มน้ำเพชรบุรีอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกชุกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และสภาพอากาศแห้งและเย็น ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์นอกจากลมมรสุมที่พัดผ่านประจำแล้ว ยังมีลมพายุจรเมื่อพัดผ่านจะทำให้เกิดฝนตกหนักในพื้นที่ ส่วนช่วงลมมรสุมยังมีอิทธิพลไม่รุนแรงทำให้อากาศร้อน ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดจะเกิดขึ้นในเดือนเมษายน จากสถิติในรอบ 30 ปี พบในเดือนเมษายนวัดอุณหภูมิเฉลี่ย 33.5 องศาเซลเซียส และในเดือนธันวาคมอุณหภูมิเฉลี่ย 21.6 องศาเซลเซียส มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,110 มิลลิเมตร และการกระจายตัวของปริมาณฝนจะเกิดตั้งแต่เดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนกันยายน

2.1.4 สภาพน้ำท่า

แม่น้ำเพชรบุรีมีลักษณะการไหลของน้ำมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝน และมีน้ำน้อยในฤดูแล้ง จากสถิติทางอุทกวิทยาเป็นเวลามากกว่า 20 ปีในช่วงปี พบว่า แม่น้ำเพชรบุรีมีปริมาณน้ำไหลเฉลี่ยทั้งปี ประมาณ 2,700 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยแบ่งออกเป็นปริมาณน้ำในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – พฤศจิกายน) ประมาณ 2,000 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 74 ของปริมาณน้ำท่ารายปี ส่วนในช่วงฤดูแล้ง (ธันวาคม – พฤษภาคม) พบว่ามีปริมาณน้ำไหลเพียง 667 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 26 ของปริมาณน้ำท่ารายปี และจากเหตุการณ์ปริมาณน้ำหลากในปี 2561 ที่ผ่านมา จะเห็นว่า ปริมาณน้ำท่าในปี 2561 จะมีปริมาณน้ำท่ารวมกันประมาณ 1,700 ล้านลูกบาศก์เมตร และเนื่องจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน มีความจุประมาณ 710 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับเก็บกักปกติ และประมาณ 930 ล้านลูกบาศก์เมตรที่ระดับเก็บกักสูงสุด ในขณะที่มีปริมาณน้ำท่า 1,728 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งมากกว่าความสามารถเก็บกักถึง 2 เท่า การบริหารจัดการของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ระบายออกให้เหมาะสมด้วยแนวคิด Vacancy Requirement Rule Curve เป็นแนวทางที่เหมาะสมควร ศึกษาเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

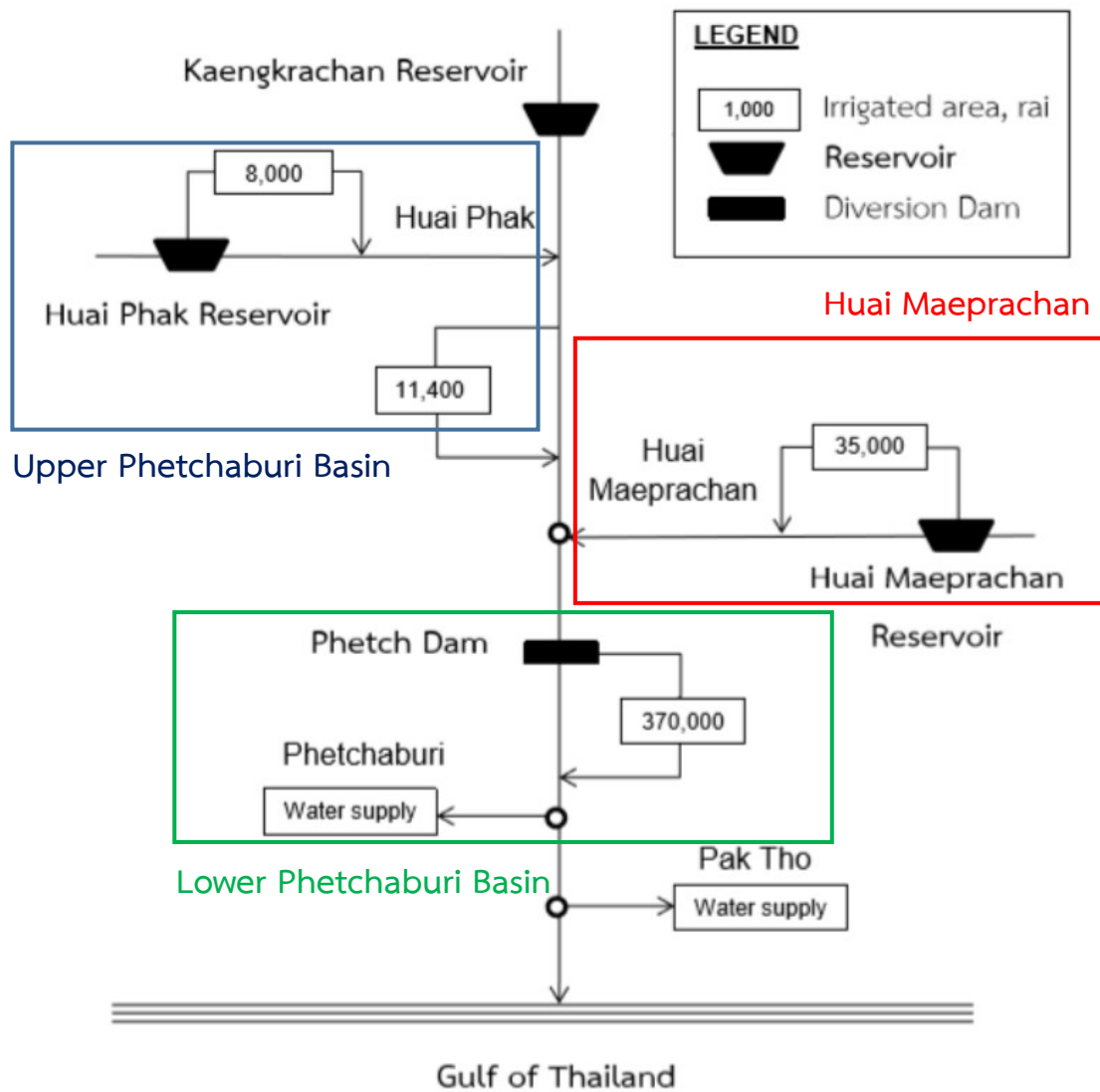
2.1.5 ระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี

ลุ่มน้ำเพชรบุรี สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลุ่มน้ำสาขา ดังแสดงในภาพที่ 2-5 ประกอบด้วย

1) ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำเพชรบุรีตอนบน หรือพื้นที่ลุ่มน้ำของแม่น้ำเพชรบุรีสายหลักเหนือเขื่อนเพชร มีพื้นที่ประมาณ 3,508 ตร.กม. พื้นที่ตอนบนเหนืออ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานเป็นเขตภูเขาสูง และพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ลาดเทจากทิศตะวันตกมาตะวันออก มีความลาดชันมากกว่า 35% ความสูงพื้นที่โดยเฉลี่ย 700 ม.รทก. ไม่เหมาะที่จะทำการเกษตรกรรมเพราะเป็นเนินเขาสูง โดยทั่วไปเป็นพื้นที่ป่าส่วนใหญ่เป็นเขตวนอุทยานแห่งชาติ พื้นที่ลุ่มน้ำตอนล่างได้เขื่อนแก่งกระจานถึงเขื่อนเพชรเป็นเขตที่ลาดเชิงเขาที่มีแม่น้ำสาขาสายสั้นและลำธารหลายสาย ลำน้ำสายสำคัญ ได้แก่ ห้วยสงไสยและห้วยผาก ซึ่งห้วยผากมีความยาวลำน้ำ 32 กม. ความจุลำน้ำประมาณ 120 ลบ.ม./วินาที (ที่สถานี B.8A) และมีความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ (Average Slope) ประมาณ 1:600 ทั้งนี้ สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำสาขาเป็นลูกคลื่นลอนลาดและมีที่ราบเชิงเขาสั้นๆ ตามแนวลำน้ำสายหลัก ความสูงพื้นที่โดยเฉลี่ย 100 ม.รทก. ลักษณะดินเกิดจากตะกอน ทบถมมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ จึงเหมาะแก่การเกษตร และพื้นที่ด้านตะวันออกเป็นพื้นที่เขตที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล ความสูงพื้นที่โดยเฉลี่ย 3 ม.รทก. มีการใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมบางส่วนเป็นหาดทรายและสถานที่พักผ่อน เป็นเขตพัฒนาการท่องเที่ยว

2) ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำเพชรบุรีตอนล่าง หรือพื้นที่ท้ายเขื่อนเพชร มีพื้นที่ประมาณ 1,593 ตร.กม. เป็นเขตที่ราบลุ่ม ความสูงพื้นที่โดยเฉลี่ย 5 ม.รทก. เหมาะแก่การเกษตร พื้นที่ปัจจุบัน ได้แก่ พื้นที่เกือบทั้งหมดในเขตชลประทานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี โดยพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำมีน้ำทะเลท่วมถึง

3) ลุ่มน้ำสาขาห้วยแม่ประจันต์ มีพื้นที่ประมาณ 1,152 ตร.กม. ลำน้ำสายหลัก ได้แก่ แม่น้ำห้วยแม่ประจันต์ ซึ่งมีความยาวลำน้ำ 56 กม. ความจุลำน้ำประมาณ 480 ลบ.ม./วินาที (ที่สถานี B.6) และมีความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ (Average Slope) ประมาณ 1:700 ทั้งนี้ สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำสาขาโดยทั่วไป เป็นพื้นที่ลาดเชิงเขามีที่ราบริมแม่น้ำเล็กน้อย ตอนบนเป็นเขตพื้นที่เขาค่อนข้างสูงชัน ตอนล่างเป็นที่ราบลาดเชิงเขา มีความเหมาะสมต่อการเกษตรไม่มากนัก



ภาพที่ 2-5 ระบบลุ่มน้ำเพชรบุรี

2.2 การรวบรวม และทบทวนข้อมูล

1) รวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของกลุ่มน้ำและสถานีวัดน้ำท่า ได้แก่ ข้อมูลที่วัดและคำนวณได้จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร สำหรับลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่รับน้ำฝนเหนืออ่างเก็บน้ำ และสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา ประกอบด้วย ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่ นับจากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) และจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงบนลำน้ำที่มากที่สุด (L_c) และความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก

2) รวบรวมข้อมูลที่วัดและคำนวณได้จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร สำหรับลำน้ำที่คลื่นน้ำท่วมไหล ได้แก่ ความยาวลำน้ำของแต่ละช่วงลำน้ำ (ระหว่างจุดควบคุม) และความลาดเทเฉลี่ยของแต่ละช่วงลำน้ำ

- 3) รวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ-ปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอัตราการไหลออกจากทางระบายน้ำล้น และคุณลักษณะของอาคารระบายน้ำล้น
- 4) รวบรวมข้อมูลพายุฝนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และเส้นทางของพายุที่พัดผ่านเข้าประเทศไทยจากรายงานพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียง
- 5) รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์กระแสลม เมฆปกคลุม อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ ที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ จากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 6) รวบรวม ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีภูมิอากาศในบริเวณพายุฝนที่เลือกศึกษา จากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 7) รวบรวมปริมาณฝนสูงสุดในช่วงเวลา 1 วันถึง 7 วัน ของสถานีตรวจวัดหลักขณะที่เกิดพายุฝนที่เลือกศึกษาแต่ละลูก และปริมาณฝน ณ วันที่เกิดพายุฝนที่เลือกศึกษาของสถานีใกล้เคียงรอบข้างสถานีตรวจอากาศหลัก
- 8) ข้อมูลการแพร่กระจายของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง ที่สถานีวัดน้ำฝนต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำและข้างเคียง
- 9) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของโครงการอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่ได้สร้างแล้วเสร็จ และโครงการที่มีการศึกษาไว้โดยหน่วยงานต่างๆ
- 10) รวบรวมข้อมูลการระบายน้ำที่ผ่านมาของเขื่อนที่ศึกษา

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุด

2.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) มีแนวทางการศึกษาเปรียบเทียบ ดังนี้

- 1) ทำการรวบรวมวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)
- 2) ทำการรวบรวมวิธีการศึกษาและผลการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) ที่มีการศึกษาไว้ในอดีต
- 3) ทำการศึกษา เปรียบเทียบ วิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) และทำการศึกษาคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาวิจัย โดยพิจารณาจากประเด็นด้านข้อจำกัดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา และลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศที่เหมาะสมของแต่ละวิธีการศึกษา เป็นสำคัญ

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)

การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) ทบทวนข้อมูลพายุฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
- 2) คัดเลือกพายุฝนขนาดใหญ่และเป็นพายุที่เกิดขึ้นในเขตอิทธิพลเดียวกันกับพื้นที่ศึกษา สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำของอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ โดยการเลือกปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 3 วัน และตรวจสอบกับข้อมูลพายุฝนที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาณฝนช่วงเวลา 1 วัน ถึง 3 วัน ของพายุฝน
- 3) ทำการคัดเลือกพายุที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากพายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรก ที่มีอิทธิพลกับเขื่อนในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันตกของประเทศไทย
- 4) คัดเลือกสถานีตรวจวัดภูมิอากาศสำหรับเป็นตัวแทนของลุ่มน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำที่ศึกษา
- 5) ทำการคำนวณค่าปรับแก้ความชื้นเพื่อทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุ โดยใช้การปรับแก้ตามสมการ

$$r_1 = \frac{(W_{m1})_{h_1}}{(W_s)_{h_1}} \quad (12)$$

เมื่อ r_1 = ค่าปรับแก้ปริมาณความชื้นสำหรับการทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน

$(W_{m1})_{h_1}$ = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝนที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$(W_s)_{h_1}$ = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ ณ วันที่เกิดพายุฝนที่เลือกศึกษา ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

h_1 = ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

- 6) ทำการคำนวณการปรับแก้ความชื้น ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป โดยการปรับแก้ด้วยอัตราส่วนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุกับตำแหน่งที่ย้ายไป และทำการเปลี่ยนค่าเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้และนำมาหาค่าอัตราส่วน (r_2) การปรับแก้ ดังนี้

$$r_2 = \frac{(W_{m2})_{h_1}}{(W_{m1})_{h_1}} \quad (13)$$

เมื่อ r_2 = ค่าปรับแก้ปริมาณความชื้น ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป

$(W_{m1})_{h_1}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
$(W_{m2})_{h_1}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
h_1	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

7) ทำการคำนวณการปรับแก้เนื่องจากระดับจากน้ำทะเลปานกลางและสิ่งกีดขวาง (Adjustment of Elevation and Barrier) จะต้องพิจารณาด้วยกัน เนื่องจากการปรับแก้เนื่องจากระดับจากน้ำทะเลปานกลางเพียงอย่างเดียวจะใช้วิธีนี้ต่อเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางเนื่องจากภูมิประเทศระหว่างพื้นที่ฝนตกกับแหล่งความชื้น แต่ถ้าหากมีสิ่งกีดขวางเนื่องจากเทือกเขาต่อเนื่องติดต่อกันระหว่างพื้นที่ซึ่งเกิดพายุฝนกับแหล่งความชื้น จะใช้การปรับแก้เนื่องจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณาร่วมด้วย การเคลื่อนย้ายพายุฝนระยะสั้นและมีระดับต่างกันไม่เกิน 300 เมตร จะไม่ทำการปรับแก้เนื่องจากระดับ แต่ถ้าระดับต่างกันเกิน 700 เมตร จะไม่ปรับแก้ด้วยระดับแต่ให้ใช้การปรับแก้เนื่องจากสิ่งกีดขวางโดยการปรับแก้ด้วยอัตราส่วนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป และทำการเปลี่ยนค่าเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้และนำมาหาอัตราส่วน (r_3) การปรับแก้ ดังนี้

$$r_3 = \frac{(W_{m2})_{h_2}}{(W_{m2})_{h_1}} \quad (14)$$

เมื่อ r_3	=	ค่าปรับแก้ค่าสูงสุดระหว่างค่าระดับหรือสิ่งกีดขวาง ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป
$(W_{m2})_{h_1}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
$(W_{m2})_{h_2}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป ที่ระดับ h_2 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
h_1	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
h_2	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่ย้ายไป มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

8) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยการเกิดปริมาณฝนร่วมกันระหว่างวิธีการทำพายุฝนมากที่สุด และวิธีการเคลื่อนย้ายพายุฝน โดยการพิจารณาค่าปรับแก้ความชื้นเพื่อทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุ (r_1) ในสมการข้างต้น ร่วมกับการปรับแก้ความชื้น ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป (r_2) ในสมการที่ และการปรับแก้เนื่องจากระดับจากน้ำทะเลปานกลางและสิ่งกีดขวาง (r_3) ในสมการ จะได้ค่าการปรับแก้รวม (r_m) ดังสมการ

$$r_m = r_1 \times r_2 \times r_3 = \frac{(W_{m1})_{h_1}}{(W_s)_{h_1}} \times \frac{(W_{m2})_{h_1}}{(W_{m1})_{h_1}} \times \frac{(W_{m2})_{h_2}}{(W_{m2})_{h_1}} \quad (15)$$

$$r_m = \frac{(W_{m2})_{h_2}}{(W_s)_{h_1}} \quad (16)$$

เมื่อ r_m	=	ค่าปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวาง
$(W_{m2})_{h_2}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไปที่ระดับ h_2 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
$(W_s)_{h_1}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้ ณ วันที่เกิดพายุฝนที่เลือกศึกษา ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
h_1	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
h_2	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่ย้ายไป มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

โดยค่าปรับแก้ของวิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน เป็นการเปลี่ยนปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายพายุไปไปเทียบกับปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไปต่อปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้ ณ วันที่เกิดพายุ

9) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ที่ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนแล้ว กับปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้จากพายุฝนที่เลือกศึกษา

2.3.3 การวิเคราะห์ประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ

การวิเคราะห์ประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) ทำการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนเพื่อเป็นสถานีดัชนี สำหรับหาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสูงสุดของแต่ละลุ่มน้ำด้วยวิธีแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักทีเอสเซน (Thiessen Weighting Factor)
- 2) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายปีช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน ของแต่ละสถานีดัชนีที่รวบรวมได้ มาทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล ซึ่งจะได้ค่าปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน ที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ
- 3) นำข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์แจกแจงปริมาณฝนตามพื้นที่ด้วยวิธีแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักทีเอสเซน (Thiessen Weighting Factor) เพื่อให้ได้ค่าปริมาณฝนสูงสุดจากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุด

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ซึ่งมีแนวทางการศึกษา ดังนี้

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) จากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของแต่ละลุ่มน้ำย่อยทำการแบ่งช่วงเวลาของพายุฝนให้เท่ากับช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าโดยการใส่เปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายรายชั่วโมงของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง และทำการปรับลดปริมาณฝนด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณฝน จากนั้นทำการจัดลำดับพายุฝนใหม่เพื่อให้กราฟน้ำหลากที่ได้มีลักษณะวิกฤตที่สุด ซึ่งจะได้ปริมาณฝนสูงสุดส่วนเกินจากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายปี ที่มีช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของกลุ่มน้ำ
- 2) นำปริมาณฝนสูงสุดส่วนเกินที่วิเคราะห์ได้นำไปประยุกต์ใช้กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ซึ่งจะได้กราฟน้ำท่าผิวดินของกลุ่มน้ำจากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายปี ที่รอบปีการเกิดต่าง ๆ ตามลำดับ
- 3) พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลพื้นฐาน (Q_B) กับปริมาณการไหลสูงสุด (Q_p) ในรูปสมการเลขยกกำลังระหว่าง Q_B กับ Q_p ของลุ่มน้ำ
- 4) จากกราฟน้ำท่าผิวดินของกลุ่มน้ำย่อยที่วิเคราะห์ได้ข้างต้นนำปริมาณการไหลสูงสุดมาใช้วิเคราะห์ในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลพื้นฐานกับปริมาณการไหลสูงสุด จะได้ปริมาณการไหลพื้นฐานของกลุ่มน้ำ และเมื่อนำไปรวมกับกราฟน้ำท่าผิวดินจะได้กราฟน้ำหลากสูงสุดของกลุ่มน้ำที่รอบปีการเกิดต่าง ๆ จากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายปี

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) มีแนวทางการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) ของลุ่มน้ำย่อยทำการแบ่งช่วงเวลาของพายุฝนให้เท่ากับช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าโดยใช้เปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายรายชั่วโมงของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง และทำการปรับลดปริมาณฝนด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณฝน จากนั้นทำการจัดลำดับพายุฝนใหม่เพื่อให้กราฟน้ำหลากที่ได้มีลักษณะวิกฤตที่สุด จะได้ปริมาณฝนส่วนเกินที่อาจเป็นไปได้ (Probable Rainfall Excess) ที่มีช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของลุ่มน้ำ
- 2) นำปริมาณฝนส่วนเกินที่อาจเป็นไปได้ที่วิเคราะห์ได้นำไปประยุกต์ใช้กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ซึ่งจะได้กราฟน้ำท่าผิวดินของลุ่มน้ำจากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)
- 3) พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลพื้นฐาน (Q_B) กับปริมาณการไหลสูงสุด (Q_p) ในรูปสมการเลขยกกำลังระหว่าง Q_B กับ Q_p ของลุ่มน้ำ
- 4) จากกราฟน้ำท่าผิวดินของลุ่มน้ำย่อยที่วิเคราะห์ได้ข้างต้นนำปริมาณการไหลสูงสุดมาใช้ในการวิเคราะห์ในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลพื้นฐานกับปริมาณการไหลสูงสุด จะได้ปริมาณการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำ และเมื่อนำไปรวมกับกราฟน้ำท่าผิวดินจะได้กราฟน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF)

2.5 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ

การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ เป็นการศึกษารูปร่างของกราฟน้ำท่าที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำเมื่อมีปริมาณน้ำหลาก (Flood Hydrograph) ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยจะพิจารณาใน 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลออกสูงสุด และช่วงเวลาการเกิดปริมาณน้ำไหลออกสูงสุด เมื่อปริมาณน้ำหลากไหลผ่านอ่างเก็บน้ำ รูปร่างของกราฟน้ำท่าจะเปลี่ยนแปลงไป (Attenuation) กล่าวคือ เวลาการเกิดปริมาณน้ำหลากสูงสุดจะช้าลง ขนาดของปริมาณน้ำหลากไหลออกสูงสุดจะน้อยลง ปริมาตรหรือระดับของน้ำในอ่างเก็บน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ความสามารถในการปล่อยน้ำจากอ่างฯ จะขึ้นอยู่กับระดับน้ำในอ่าง (Head ของน้ำ) ซึ่งเมื่อระดับน้ำในอ่างเพิ่มมากขึ้นอัตราการไหลออกจากอ่างก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำจะทำให้ปริมาตรน้ำในอ่างลดลง ถ้าหากว่าปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกในเวลาใดๆ ไม่เท่ากันแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ได้แก่

- กราฟปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow Hydrograph)
- ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำในรูปของ Storage และ Outlets
- ความสัมพันธ์ของระดับ-ปริมาตรเก็บกัก (Elevation-Storage Relationship)
- ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-ปริมาณการไหลออก (Elevation-Outflow Relationship)

- ปริมาณน้ำเริ่มต้น (Initial Storage State) ซึ่งต้องการทราบค่าของระดับน้ำในอ่างปริมาณการไหลออกและปริมาณเก็บกักที่เวลาเริ่มต้น

การทำ Flood Routing ผ่านอ่างเก็บน้ำโดยวิธีของ Goodrich นั้นใช้สมการดังนี้

$$\frac{2S_2}{t} + O_2 = I_1 + I_2 + \left(\frac{2S_1}{t} - O_1\right) \quad (17)$$

$$\frac{2S_2}{t} - O_2 = \frac{2S_1}{t} + O_1 - 2O_2 \quad (18)$$

โดย S คือ Storage มีหน่วยเป็นปริมาตร (m^3 หรือ MCM)

I คือ ปริมาณน้ำไหลเข้า มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา (m^3/s)

O คือ ปริมาณน้ำไหลออก มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา (m^3/s)

t คือ เวลา ปกติมีหน่วยเป็นวัน (หรือวินาที, s)

2.6 การศึกษาเกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก

1) ศึกษาข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือน และข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำ (Physical Reservoir Data) ตลอดจนข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ รายเดือนของเขื่อนแก่งกระจาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2561 รวม 13 ปี ดังแสดงในตารางที่ 2-1

2) พัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ด้วยเทคนิค VRRC จากข้อมูลปริมาณไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน โดยการสร้างเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นบน (Upper Rule Curve) เพื่อใช้ร่วมกับกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Operation Rule) ของเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยชุดข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน ปริมาณน้ำฝนรายวัน และข้อมูลกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเขื่อนแก่งกระจาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - 2561 รวม 13 ปี และทำการคำนวณปริมาตรเก็บกักเพื่อป้องกันน้ำท่วม (Vacancy Requirement) ที่อัตราการระบายน้ำ 130 140 และ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามเงื่อนไขการจำลองสถานการณ์การระบายน้ำ รายละเอียดดังนี้

อัตราการระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน แม่น้ำเพชรบุรี มีความจุลำนน้ำสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นอัตราการระบายน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย ทำให้อัตราการระบายที่ 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นตัวแปรต่ำสุดเพื่อพิจารณาปริมาณออกแบบ และคำนวณอัตราการระบายสูงสุด

อัตราการระบายน้ำที่ 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นอัตราการระบายน้ำเมื่อมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างในปริมาณมากกว่าปกติ จำเป็นต้องมีการระบายน้ำเกินอัตราการระบาย 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่อัตราการระบายน้ำ 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ชุมชนที่ตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำหากแผนโครงการบรรเทาอุทกภัยพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนล่าง ยังไม่แล้วเสร็จ

ตารางที่ 2-1 ปริมาณน้ำไหลลงอ่างกับน้ำเขื่อนแก่งกระจาน หน่วย-ล้านลูกบาศก์เมตร

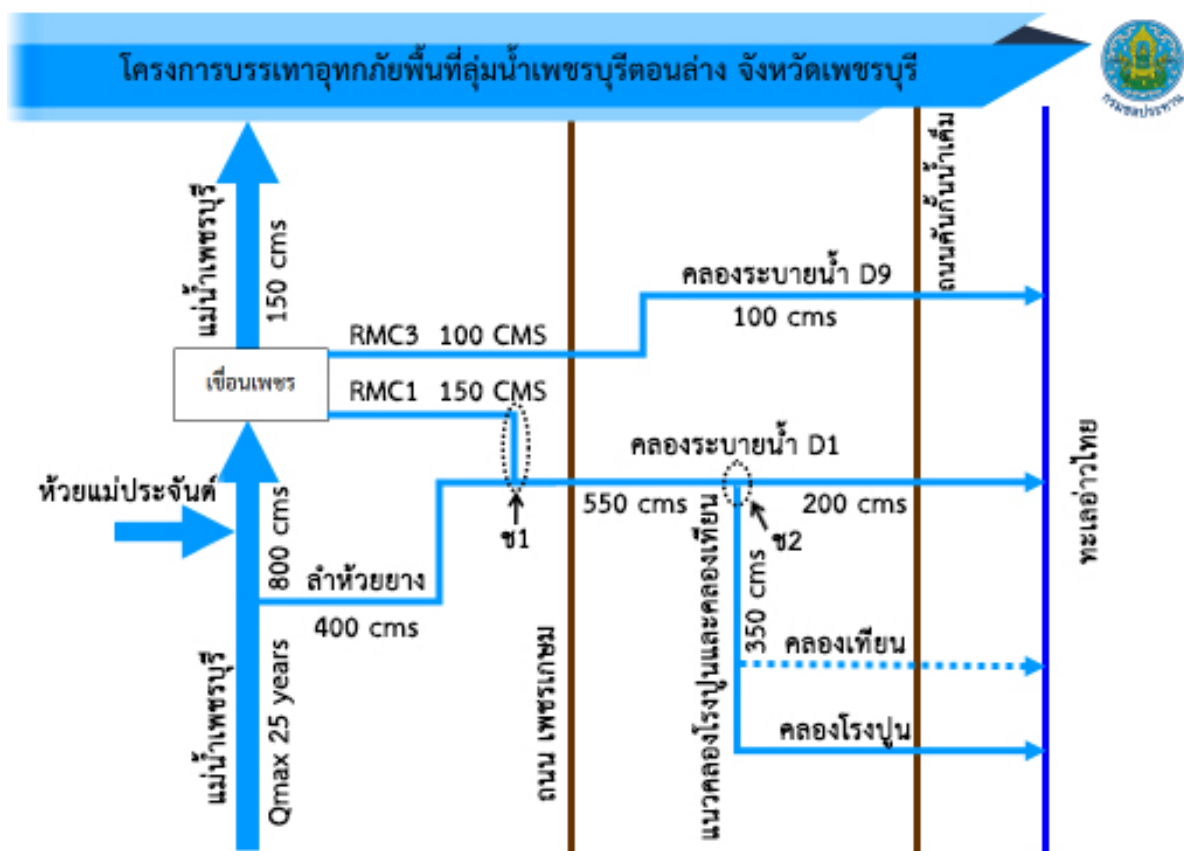
ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
2549	28.07	19.61	16.46	27.43	96.12	75.81	519.95	296.40	180.53	173.52	49.36	23.94	1,507.19
2550	23.23	14.31	26.12	43.18	40.61	28.56	275.56	189.23	185.10	176.14	59.70	26.28	1,088.02
2551	20.51	17.10	17.41	38.49	63.89	48.27	76.86	123.64	167.14	101.97	60.68	29.87	765.83
2552	25.11	27.38	50.61	47.89	67.07	134.93	156.48	307.10	152.21	175.00	65.38	33.13	1242.29
2553	19.10	24.92	33.85	47.32	43.18	24.51	29.97	63.66	97.07	84.18	36.08	18.61	522.45
2554	10.98	13.98	15.60	25.05	42.35	96.53	110.21	231.24	201.79	151.05	69.95	24.35	993.08
2555	34.62	31.97	47.00	54.85	38.73	81.56	148.13	227.32	177.23	127.81	69.38	25.76	1,064.38
2556	15.95	14.07	23.73	39.18	41.21	45.03	92.10	180.98	183.99	310.01	126.96	32.48	1,105.68
2557	22.70	29.35	24.67	52.42	34.71	61.45	114.54	119.94	99.20	201.74	57.66	19.97	838.35
2558	15.62	14.18	19.04	19.55	30.27	58.00	116.95	102.39	101.41	81.28	36.29	19.07	614.05
2559	15.45	10.42	13.58	15.15	21.38	19.80	39.56	73.66	59.96	87.21	103.26	23.32	482.75
2560	22.26	17.14	20.54	20.23	29.75	27.27	88.07	109.95	74.27	92.91	90.76	25.98	619.11
2561	27.59	20.23	12.65	43.40	42.88	65.57	403.34	582.85	231.61	186.23	72.22	39.82	1,728.39
เฉลี่ย	21.63	19.59	24.71	36.47	45.55	59.02	167.05	200.64	147.04	149.93	69.05	26.35	967.04
สูงสุด	34.62	31.97	50.61	54.85	96.12	134.93	519.95	582.85	231.61	310.01	126.96	39.82	1,728.39
ต่ำสุด	10.98	10.42	12.65	15.15	21.38	19.80	29.97	63.66	59.96	81.28	36.08	18.61	482.75

อัตราการระบายที่ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นอัตราการระบายที่นำมาพิจารณาตามข้อมูลอัตราการระบายน้ำของคลอง D1 ซึ่งมีอัตราการระบายน้ำ 550 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยการระบายน้ำผ่านจุดเชื่อมต่อหมายเลข 2 แยกเป็น ระบายน้ำผ่านทางคลองระบายน้ำ D1 สายเก่า 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และระบายผ่านคลองโรงปูนกับคลองเทียนรวม 350 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยคลองระบาย D1 รับน้ำจาก ลำน้ำห้วยยาง 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และรับน้ำจากคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวา 1 (RMC1) จากเขื่อนเพชรบุรีตามแผนโครงการบรรเทาอุทกภัยพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนล่าง จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงจุดเชื่อมต่อหมายเลข 1 ท้ายเขื่อนแก่งกระจานมีอัตราการระบายที่ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 2-6

3) เส้นโค้งปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นบน (Upper Rule Curve) สร้างโดย วิธีการคำนวณสะสมย้อนกลับ (Accumulate Backward Calculation) ปริมาตรเก็บกักเพื่อป้องกันน้ำท่วม (Vacancy

Requirement) ในขั้นตอนนี้ต้องใช้เหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นแล้วทุกปี มาวาดรูป และวางซ้อนกัน เพื่อลากเส้น VRRC ที่อัตราการระบายน้ำ 130 140 และ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

4) จำลองระบบอ่างเก็บน้ำภายใต้หลักการสมดุลน้ำด้วยเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจากเทคนิค ช่องว่างที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการป้องกันน้ำท่วม (Vacancy Requirement Rule Curve) เปรียบเทียบกับ ข้อมูลการจัดการอ่างเก็บน้ำเดิมในอดีต โดยกำหนดปริมาณความต้องการใช้น้ำในแต่ละภาคส่วนคงที่ เท่ากับ ความต้องการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2561 เพื่อประเมินความเพียงพอในการเก็บกักน้ำหลังฤดูมรสุม คำนวณสมดุลน้ำ ในอ่างเก็บน้ำ



ภาพที่ 2-6 แผนพัฒนาก่อสร้างคลองระบายน้ำ D1 จังหวัดเพชรบุรี

3 ผลการวิจัย

3.1 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

World Meteorological Organization (2009) หรือ WMO กล่าวว่า การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้จะแบ่งพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ออกเป็น 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ภูเขา (Orographic) และพื้นที่ไม่ใช่ภูเขา (Non-Orographic) และแบ่งวิธีการตามตำแหน่งอ้างอิงของโลก ออกเป็น 2 เขต ได้แก่ เขตละติจูดกลาง (Mid Latitude) และเขตร้อน (Tropical Zone) สำหรับประเทศไทยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่แบบพื้นที่ไม่ใช่ภูเขาและตั้งอยู่ในเขตร้อน สำหรับวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation, PMP) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 8 วิธี ดังนี้

1) The Local Method (Local Storm Maximization or Local Model) เป็นวิธีการที่ใช้พายุฝนที่เคยเกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษา มาทำให้เป็นพายุฝนมากที่สุด (ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้) โดยการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง เป็นตัวปรับแก้ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน วิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลพายุฝนที่เคยเกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษามายาวนาน

2) The Transposition Method (Storm Transposition or Transposition Model) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษาที่ไม่เคยเกิดพายุฝนสูง ๆ หรือไม่มีการเก็บข้อมูลพายุฝนที่เคยเกิดไว้ จะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายพายุฝนมาจากพื้นที่ที่เกิดพายุฝนมายังพื้นที่ที่ศึกษา โดยจะต้องแน่ใจว่าพายุฝนนั้นสามารถเคลื่อนย้ายมาได้ ภายใต้รูปแบบและลักษณะของสภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน และพิจารณาตัวปรับแก้ในการเคลื่อนย้ายพายุฝน ได้แก่ ความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง สิ่งกีดขวาง ละติจูด ระยะห่างจากทะเล สภาพภูมิประเทศ ความเร็วลม และฤดูกาล วิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับพื้นที่ที่ไม่ค่อยมีข้อมูลพายุฝนสูงๆ

3) The Combination Method (Temporal and Spatial Maximization of Storm or Storm Combination or Combination Model) เป็นวิธีการรวมพายุฝนที่เกิดในพื้นที่ 2 ลูกหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เหมาะสำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ที่ต้องการระยะเวลาการเกิดพายุฝนที่ยาวเพื่อนำไปใช้หาปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF) ในการจำลองพายุฝนที่มีช่วงเวลายาวๆ ภายใต้อุตุนิยมนิยามวิทยา และการคาดการณ์วิธีนี้ต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญด้านอุตุนิยมนิยามวิทยา

4) The Inferential Method (Theoretical Model or Ratiocination Model) เป็นวิธีการสร้างโครงสร้างของพายุฝนแบบ 3D เพื่อสร้างสมการของพายุฝน แบบจำลองที่ใช้ อาจจะเป็น Convergence Model หรือ Laminar Model ข้อมูลที่จะนำมาสร้างแบบจำลองเป็นข้อมูลสภาพอากาศชั้นบน ซึ่งต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญด้านอุตุนิยมนิยามวิทยา วิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับลุ่มน้ำขนาดใหญ่เป็นร้อย-พันตารางกิโลเมตร

5) The Generalized Method (Generalized Estimation) ขั้นตอนจะเกี่ยวพันถึงการจัดกลุ่มเป็น Convergence กับฝนปะทะภูเขา วิธีนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่ยาวนานและจำนวนมากในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการวิเคราะห์จึงใช้เวลาในการดำเนินการค่อนข้างมาก และราคาแพง แต่ก็ให้ความถูกต้องสูงและผลการวิเคราะห์สามารถประยุกต์ได้ง่าย เหมาะกับพื้นที่ขนาดไม่เกิน 13,000 ตารางกิโลเมตร สำหรับพื้นที่ภูเขา และพื้นที่ขนาดไม่เกิน 52,000 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่ราบ และพิจารณาระยะเวลาการเกิดพายุฝนไม่เกิน 72 ชั่วโมง

6) The Statistical Method (Statistical Estimation) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) โดยใช้วิธีการทางสถิติร่วมกับวิธีการเชิงพื้นที่ของสถานีตรวจวัดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาแล้วใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ และ Regional Generalized Method วิธีการทางสถิตินี้จะแตกต่างจากวิธีการทางสถิติทั่วไปอยู่ 2 ประเด็น คือ 1) เป็นการประเมินค่าสถิติของพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อหาพายุฝนที่มีขนาดใหญ่ที่สุด 2) เป็นวิธีการประเมินค่าสูงสุดทางสถิติโดยใช้การทำเส้นโค้งทางด้านมาก (Envelopment) เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษาขนาดต่ำกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร

นอกจากนี้ สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำใหญ่มากๆ ยังต้องมีวิธีการสำหรับพิจารณาเพิ่ม ดังนี้

7) The Major Temporal (Flood Hydrograph) and Spatial (Flood Source) Combination Method เป็นวิธีการทาง อุตุ-อุทกวิทยา ซึ่งมีการวิเคราะห์รวมทั้งกราฟน้ำท่าและแหล่งของน้ำท่าใช้สำหรับประเมินในพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือสถานีตรวจวัดที่วิเคราะห์หรือจุดที่สนใจ หรือพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ที่มีความแตกต่างของสภาพอากาศระหว่างเหนือน้ำกับท้ายน้ำ เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่มาก ๆ มีพื้นที่รับน้ำมากกว่า 100,000 ตารางกิโลเมตร

8) The Simulation Method Based on Historical Floods เป็นวิธีการสร้างพายุฝนที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดน้ำท่วมใหญ่ที่เคยเกิดในอดีต มาวิเคราะห์รวมทั้งกราฟน้ำท่า (Flood Hydrograph) ต้องใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า สถานการณ์น้ำท่วมในลำน้ำหลักและลำน้ำสาขาของเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ ในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ศึกษา เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่มากๆ มีพื้นที่รับน้ำมากกว่า 100,000 ตารางกิโลเมตร

ดังแสดงการเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ทั้ง 8 วิธี ไว้ใน ตารางที่ 3-1 โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการคัดเลือกเปรียบเทียบการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ จำนวน 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 การทำพายุฝนมากที่สุด (The Local Storm Maximization Method) วิธีที่ 2 การทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน (The Storm Transposition Method) และวิธีที่ 3 รูปแบบทั่วไป (The Generalized Method)

โดยทั้ง 3 วิธี มีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีการบันทึกข้อมูลพายุฝนที่ยาวนานเพียงพอในการวิเคราะห์ และพื้นที่ที่เกิดพายุและพื้นที่โครงการมีความสอดคล้องด้านสภาพอุตุนิยมวิทยาและมีโอกาสที่จะเกิดพายุแบบเดียวกัน สามารถเคลื่อนย้ายพายุมายังพื้นที่โครงการได้

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

ลำดับ	วิธีการ	รายละเอียด	ความเหมาะสม	ขนาดพื้นที่
1	Local Method (Local storm maximization)	การทำพายุฝนที่เคยเกิดให้เป็นค่าสูงสุดสำหรับพื้นที่โครงการ	- เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีข้อมูลตรวจวัดพายุฝนที่ยาวนาน	-
2	Transposition method (Storm transposition)	การทำพายุฝนสูงสุดและเคลื่อนย้ายพายุฝนจากพื้นที่ใกล้เคียงมายังพื้นที่โครงการ	- มีความสอดคล้องด้านสภาพอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ที่เกิดพายุฝนและพื้นที่โครงการ - พื้นที่โครงการมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดพายุฝนรูปแบบเดียวกันกับที่จะย้ายมา - พื้นที่โครงการไม่มีการจัดบันทึกข้อมูลพายุฝนที่รุนแรงหรือพื้นที่ใกล้เคียงมีความรุนแรงมากกว่า	-
3	Combination Method	เป็นการรวมพายุฝนที่เกิดในพื้นที่ 2 ลูกหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน	- สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ ต้องการระยะเวลาการเกิดพายุฝนที่ยาว - ต้องการเชี่ยวชาญทางด้านอุตุนิยมวิทยา	- พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่
4	Inferential Method	สร้างแบบจำลอง 3D ของสภาพอากาศของพื้นที่โครงการ และสร้างสมการสำหรับพายุฝน	- ต้องการข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาระดับบนของพื้นที่ศึกษา	- 100 - หลายพัน ตร.กม.
5	Generalized Method	ทำการแบ่งกลุ่มพายุฝนออกเป็นพายุฝนคอนเวอร์เจน หรือฝนประทะภูเขา	- พื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีสภาพอุตุนิยมวิทยาที่คล้ายคลึงกัน - ความถูกต้องสูง และผลการวิเคราะห์สามารถประยุกต์ใช้ได้ง่าย - ข้อมูลฝนในพื้นที่จำนวนมากและยาว - ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน และค่าใช้จ่ายสูง	- ไม่เกิน 13,000 ตร.กม. สำหรับพื้นที่อิทธิพลภูเขา - ไม่เกิน 52,000 สำหรับพื้นที่ไม่มีอิทธิพลของภูเขา - ระยะเวลาการเกิดพายุฝนน้อยกว่า 72 ชั่วโมง
6	Statistical Method	เป็นการวิเคราะห์ PMP โดยใช้วิธีการทางสถิติร่วมกับวิธีการของพื้นที่ของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา	- ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา	- น้อยกว่า 1,000 ตร.กม.
7	Major Temporal and Spatial Combination Method	เป็นวิธีการทาง อุตุ-อุทกวิทยา ซึ่งมีการวิเคราะห์รวมทั้งกราฟน้ำท่า และแหล่งของน้ำท่า	- พื้นที่รับน้ำที่อยู่เหนือสถานีตรวจวัดที่วิเคราะห์ - แม่น้ำขนาดใหญ่ที่มีความแตกต่างด้านสภาพอากาศของพื้นที่ต้นน้ำและท้ายน้ำ	- พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ - มากๆ
8	Storm Simulation Method Based on Historical Floods	สร้างพายุฝนที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดน้ำท่วมใหญ่ที่เคยเกิดในอดีต	- มีข้อมูลปริมาณน้ำท่าบริเวณที่ศึกษา - มีข้อมูลน้ำฝน สถานะการน้ำท่วมในลำน้ำหลักและสาขา ของเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่	- พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ - มากๆ

อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยนี้ได้ทดลองประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ทั้ง 3 วิธี ตามวิธีการของ World Meteorological Organization (2009) พบว่า

วิธีที่ 1 การทำพายุฝนมากที่สุด (The Local Storm Maximization Method) ให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ต่ำกว่าวิธีที่ 2 แต่มากกว่าวิธีที่ 3 และเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่เคยประเมินไว้ของเขื่อนต่าง ๆ ในประเทศ จากรายงานของ FAO (2000) พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าผลการวิเคราะห์ในอดีตของประเทศไทย

วิธีที่ 2 การทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน (The Storm Transposition Method) ให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้สูงกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 และเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่เคยประเมินไว้ของเขื่อนต่าง ๆ ในประเทศ จากรายงานของ FAO (2000) พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในอดีตของประเทศไทย

วิธีที่ 3 รูปแบบทั่วไป (The Generalized Method) ให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ต่ำที่สุดในทั้ง 3 วิธีการประเมินนี้ และเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่เคยประเมินไว้ของเขื่อนต่าง ๆ ในประเทศ จากรายงานของ FAO (2000) พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าผลการวิเคราะห์ในอดีตของประเทศไทยค่อนข้างมาก

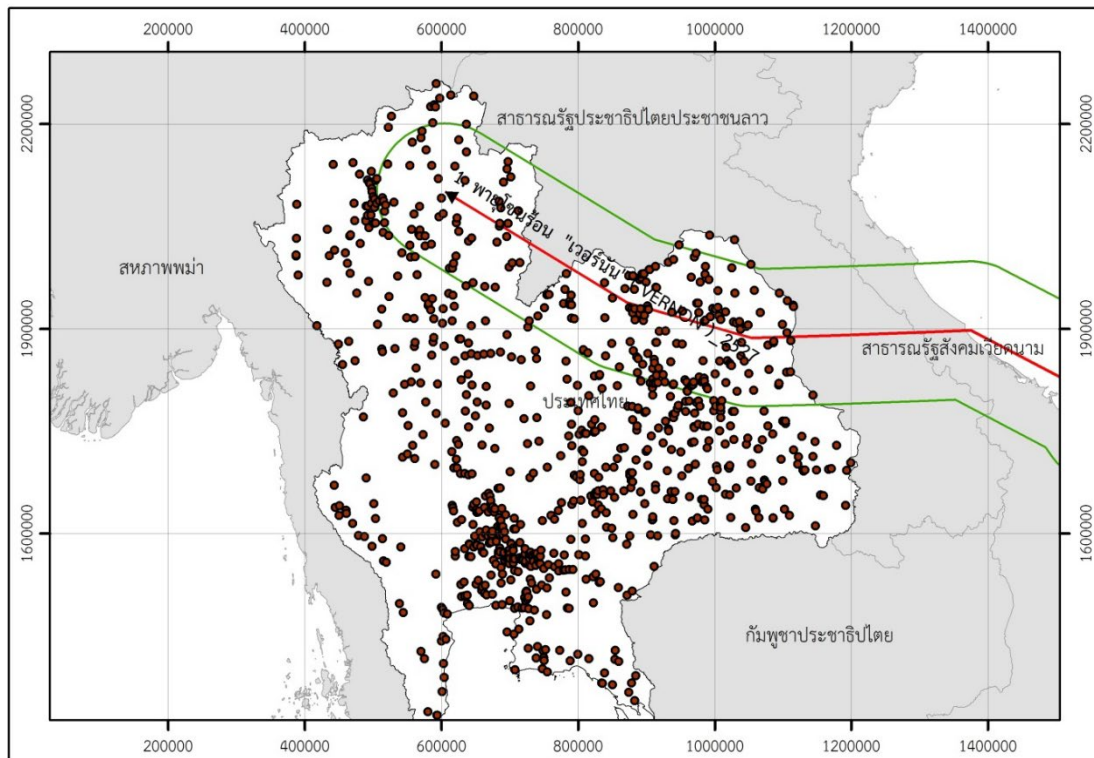
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) โดยใช้วิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน (The Storm Transposition Method) ตามวิธีการของ World Meteorological Organization (2009) ในการวิจัยในลำดับต่อไป

3.2 การวิเคราะห์และคัดเลือกพายุฝน

การวิเคราะห์พายุฝน มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1) จากข้อมูลรายงานพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียง ในคาบ 65 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558 ของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 190 ลูก นำมาสร้าง เส้นทางพายุ ในรูปของ Shape file ใน GIS เนื่องจากข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลในรูปแบบไฟล์ PDF ดังแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวกที่ 1 ของรายงาน

2) จากเส้นทางพายุฝนทำการสร้าง ขอบเขตอิทธิพลของพายุ โดยขยายพื้นที่อิทธิพลของพายุจากแนวเส้นทางพายุออกไปข้างละ 100 กิโลเมตร จะทำให้ทราบรายชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในรัศมี 100 กิโลเมตร ตามแนวเส้นทางพายุทั้ง 190 ลูก ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ตัวอย่างการสร้างขอบเขตอิทธิพลของพายุฝน

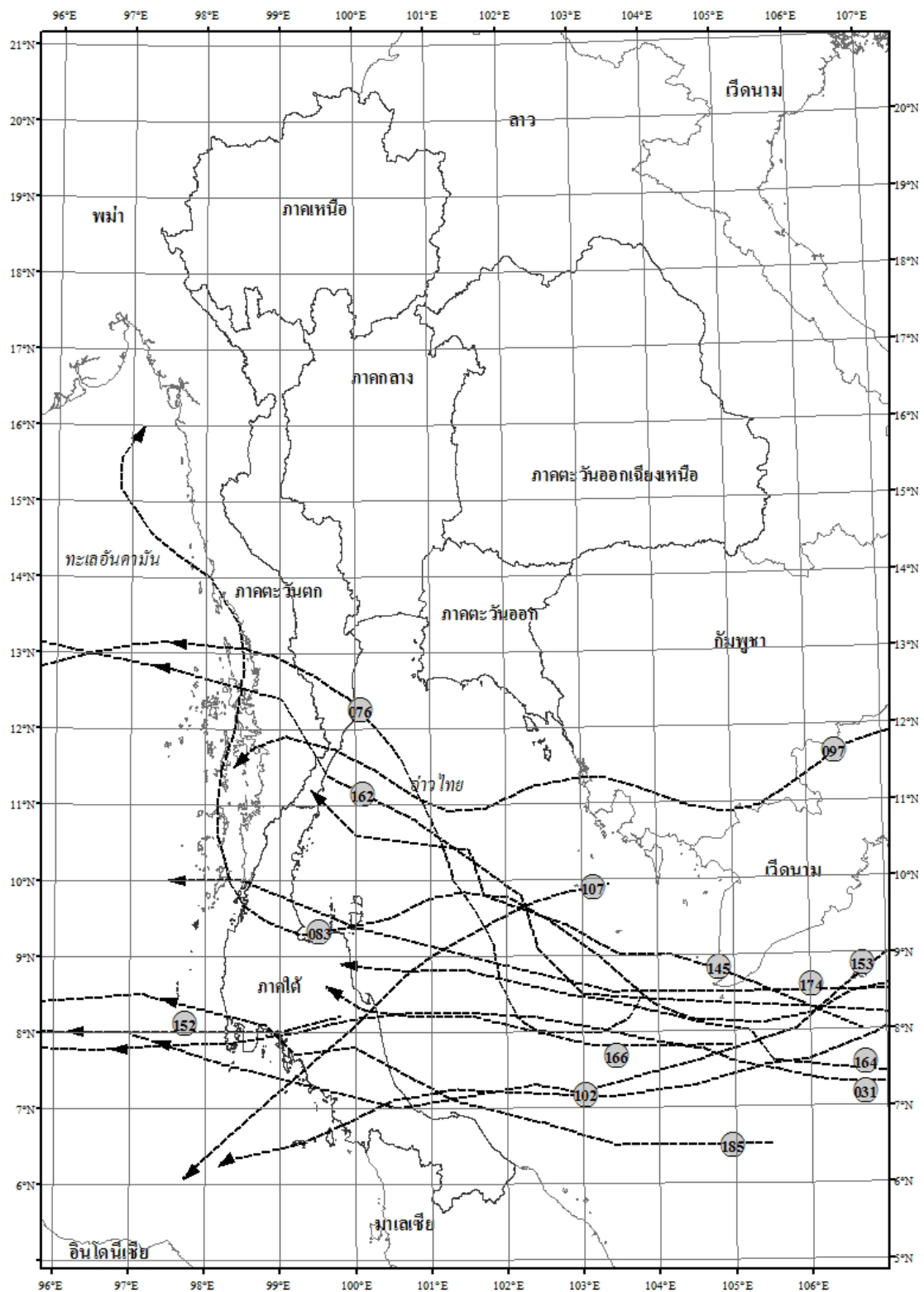
3) จากรายชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในรัศมี 100 กิโลเมตร ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันในช่วงที่เกิดพายุฝน โดยทำการรวบรวมตั้งแต่ 6 วันก่อนเกิดพายุ และ 6 วันหลังเกิดพายุ (+6 วันทั้งก่อนและหลัง) เพื่อหาวันที่เกิดฝนสูงสุดช่วงเวลา 1 วัน ถึง 7 วันที่ให้ค่าฝนสูงสุดของพายุฝนทั้ง 190 ลูก ซึ่งจะทำให้ได้ค่าปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 1 วัน ถึง 7 วันของแต่ละพายุฝน

4) ทำการพิจารณาพายุที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง โดยพิจารณาพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันตกของประเทศไทย เนื่องจากฤดูมรสุมของพื้นที่มีช่วงเวลาการเกิดเดียวกัน โดยจะเกิดฤดูมรสุมอยู่ในช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม

การคัดเลือกพายุที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันตกของประเทศไทย จากการพิจารณาปริมาณฝนสูงสุด 1 วัน ถึง 7 วัน ของพายุฝนทั้ง 190 ลูก ได้ทำการคัดเลือกพายุฝนขนาดใหญ่ 10 อันดับแรกสำหรับพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ สำหรับช่วงเวลา 1 วัน ถึง 7 วัน พบว่า มีพายุที่ทำให้เกิดพายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรก สำหรับช่วงเวลา 1 วัน ถึง 7 วัน จำนวนทั้งสิ้น 14 ลูก ดังแสดงภาพที่ 3-2 และตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 พายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรก ที่มีอิทธิพลกับเขื่อนในพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย

ลำดับ	รหัสพายุ	ชื่อพายุฝน	วันที่พายุเข้า/ สถานีฝนสูงสุด	ฝนสูงสุด						
				1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน
1	031	พายุโซนร้อน HARRIET (6225)	24-27 ต.ค.2505	390.80	394.60	402.00	432.70	434.30	441.10	467.60
			สถานี 34022	25 ต.ค.2505	24-25 ต.ค.2505	23-25 ต.ค.2505	22-25 ต.ค.2505	21-25 ต.ค.2505	20-25 ต.ค.2505	19-25 ต.ค.2505
			24-27 ต.ค.2505	160.30	289.40	426.70	511.40	570.00	622.50	630.00
2	076	พายุดีเปรสชัน	สถานี 61082	26 ต.ค.2505	25-26 ต.ค.2505	24-26 ต.ค.2505	24-27 ต.ค.2505	23-27 ต.ค.2505	23-28 ต.ค.2505	23-29 ต.ค.2505
			31-4 พ.ย.2512	429.20	603.10	726.40	790.40	805.10	805.10	805.10
			สถานี 45043	2 พ.ย.2512	2-3 พ.ย.2512	1-3 พ.ย.2512	1-4 พ.ย.2512	31-4 พ.ย.2512	30-4 พ.ย.2512	29-4 พ.ย.2512
3	083	พายุโซนร้อน RUTH (7026)	26-2 ธ.ค.2513	420.80	511.00	569.00	589.10	589.10	593.20	595.00
			สถานี 10090	29 พ.ย.2513	29-30 พ.ย.2513	28-30 พ.ย.2513	27-30 พ.ย.2513	26-30 พ.ย.2513	25-30 พ.ย.2513	27-3 ธ.ค.2513
4	097	พายุโซนร้อน SARAH (7319)	10-14 พ.ย.2516	193.90	307.80	479.70	483.70	487.30	487.30	556.00
			สถานี 45013	12 พ.ย.2516	12-13 พ.ย.2516	12-14 พ.ย.2516	11-14 พ.ย.2516	10-14 พ.ย.2516	9-14 พ.ย.2516	12-18 พ.ย.2516
5	102	พายุโซนร้อน KIT (7432)	19-27 ธ.ค.2517	220.20	292.60	452.80	553.00	570.80	592.60	596.40
			สถานี 29072	25 ธ.ค.2517	25-26 ธ.ค.2517	25-27 ธ.ค.2517	25-28 ธ.ค.2517	25-29 ธ.ค.2517	25-30 ธ.ค.2517	24-30 ธ.ค.2517
6	107	พายุดีเปรสชัน	10-13 พ.ย.2520	325.40	573.60	669.40	676.60	676.60	676.60	676.60
			สถานี 35012	13 พ.ย.2520	12-13 พ.ย.2520	11-13 พ.ย.2520	10-13 พ.ย.2520	9-13 พ.ย.2520	8-13 พ.ย.2520	7-13 พ.ย.2520
7	145	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)	25-28 ต.ค.2534	296.90	311.70	320.20	320.90	348.40	360.60	377.30
			สถานี 45013	27 ต.ค.2534	26-27 ต.ค.2534	26-28 ต.ค.2534	25-28 ต.ค.2534	23-27 ต.ค.2534	22-27 ต.ค.2534	21-27 ต.ค.2534
8	152	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	29-5 ธ.ค.2536	294.20	374.10	394.90	446.30	452.60	491.40	541.00
			สถานี 58190	28 พ.ย.2536	27-28 พ.ย.2536	26-28 พ.ย.2536	25-28 พ.ย.2536	25-29 พ.ย.2536	23-28 พ.ย.2536	22-28 พ.ย.2536
9	153	พายุไต้ฝุ่น "แมนนี่" (MANNY 9327)	3-17 ธ.ค.2536	238.70	421.40	461.80	462.30	462.60	467.80	698.50
10	162	พายุไต้ฝุ่น "ลินดา" (LINDA 9728)	สถานี 35100	15 ธ.ค.2536	15-16 ธ.ค.2536	15-17 ธ.ค.2536	15-18 ธ.ค.2536	15-19 ธ.ค.2536	15-20 ธ.ค.2536	15-21 ธ.ค.2536
			31-10 พ.ย.2540	338.50	339.70	339.70	339.70	339.70	339.70	339.70
			สถานี 37042	4 พ.ย.2540	4-5 พ.ย.2540	3-5 พ.ย.2540	2-5 พ.ย.2540	1-5 พ.ย.2540	31-5 พ.ย.2540	30-5 พ.ย.2540
11	164	พายุโซนร้อน "จิล" (GIL 9817)	31-10 พ.ย.2540	248.30	369.90	369.90	369.90	369.90	369.90	369.90
			สถานี 37012	4 พ.ย.2540	3-4 พ.ย.2540	2-4 พ.ย.2540	1-4 พ.ย.2540	31-4 พ.ย.2540	30-4 พ.ย.2540	29-4 พ.ย.2540
			9-13 ธ.ค.2541	330.90	399.30	429.80	437.90	439.40	441.90	450.00
12	166	พายุดีเปรสชัน 4	สถานี 27013	12 ธ.ค.2541	11-12 ธ.ค.2541	11-13 ธ.ค.2541	10-13 ธ.ค.2541	9-13 ธ.ค.2541	8-13 ธ.ค.2541	7-13 ธ.ค.2541
			3-6 ธ.ค.2542	225.20	422.40	474.10	523.00	526.70	526.70	561.10
13	174	พายุไต้ฝุ่น "หมุยฟ้า" (MUIFA 0425)	สถานี 27122	4 ธ.ค.2542	4-5 ธ.ค.2542	4-6 ธ.ค.2542	4-7 ธ.ค.2542	3-7 ธ.ค.2542	2-7 ธ.ค.2542	29-5 ธ.ค.2542
			14-26 พ.ย.2547	301.20	328.10	345.70	361.70	362.40	378.20	378.20
14	185	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)-พายุไซโคลน "JAL"	สถานี 10102	19 พ.ย.2547	18-19 พ.ย.2547	17-19 พ.ย.2547	16-19 พ.ย.2547	16-20 พ.ย.2547	16-21 พ.ย.2547	15-21 พ.ย.2547
			31-8 พ.ย.2553	380.00	445.00	465.00	505.00	525.00	550.00	576.00
			สถานี 33032	1 พ.ย.2553	31-1 พ.ย.2553	30-1 พ.ย.2553	29-1 พ.ย.2553	29-2 พ.ย.2553	27-1 พ.ย.2553	29-4 พ.ย.2553
15	185	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)-พายุไซโคลน "JAL"	31-8 พ.ย.2553	372.80	530.20	568.50	585.90	608.70	608.70	645.90
			สถานี 35022	2 พ.ย.2553	1-2 พ.ย.2553	31-2 พ.ย.2553	30-2 พ.ย.2553	29-2 พ.ย.2553	28-2 พ.ย.2553	27-2 พ.ย.2553



ภาพที่ 3-2 เส้นทางพายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรก สำหรับพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย

3.3 การวิเคราะห์ดัชนีปรับแก้พายุฝนและแฟคเตอร์ปรับลดปริมาณฝน

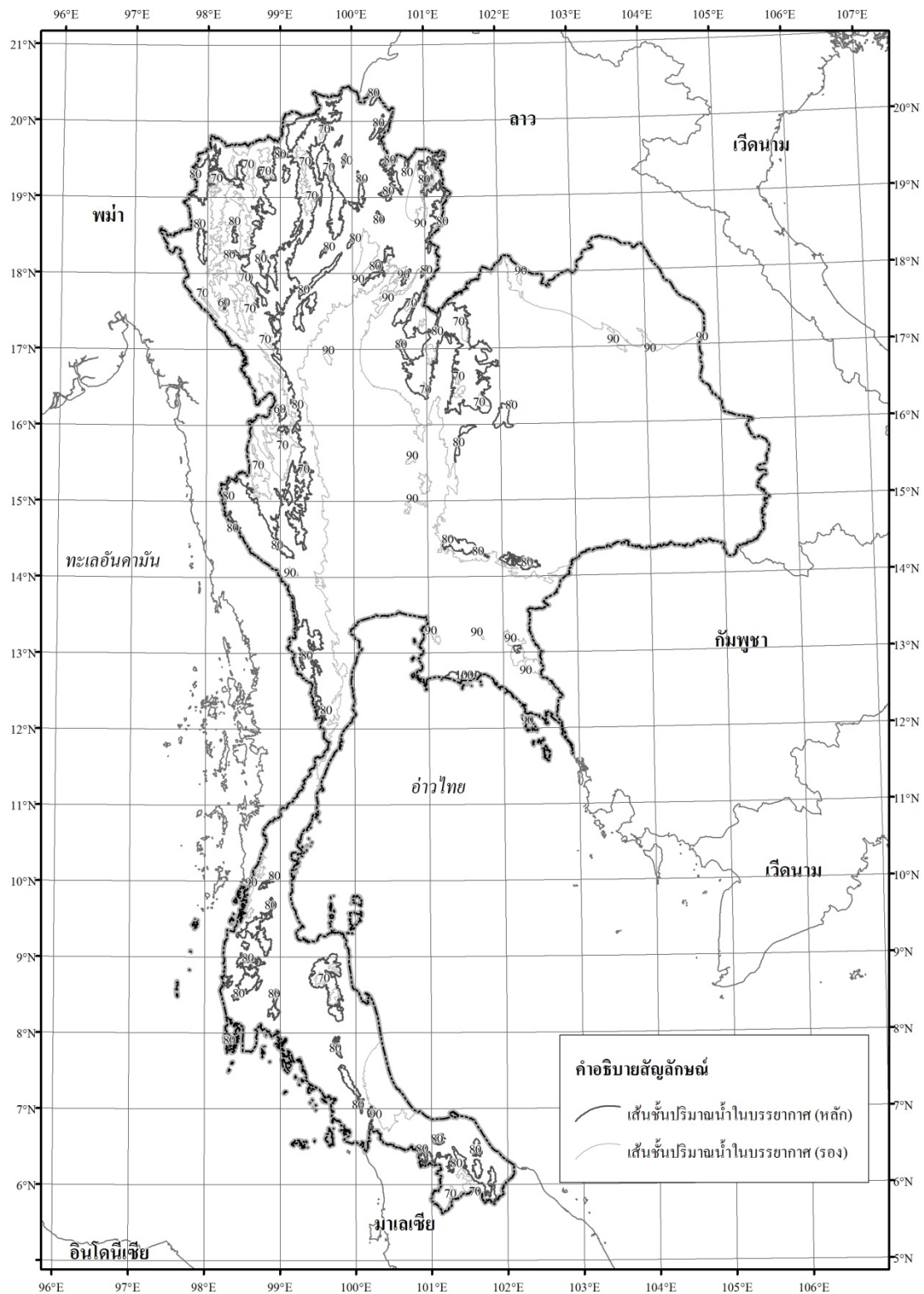
3.3.1 การวิเคราะห์ดัชนีปรับแก้พายุฝน

1) ดัชนีปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลางและสิ่งกีดขวาง ได้ศึกษาจากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ค่าระดับของสถานีตรวจวัดอากาศ ดังแสดงแผนที่ดัชนีปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวางได้ดังภาพที่ 3-3

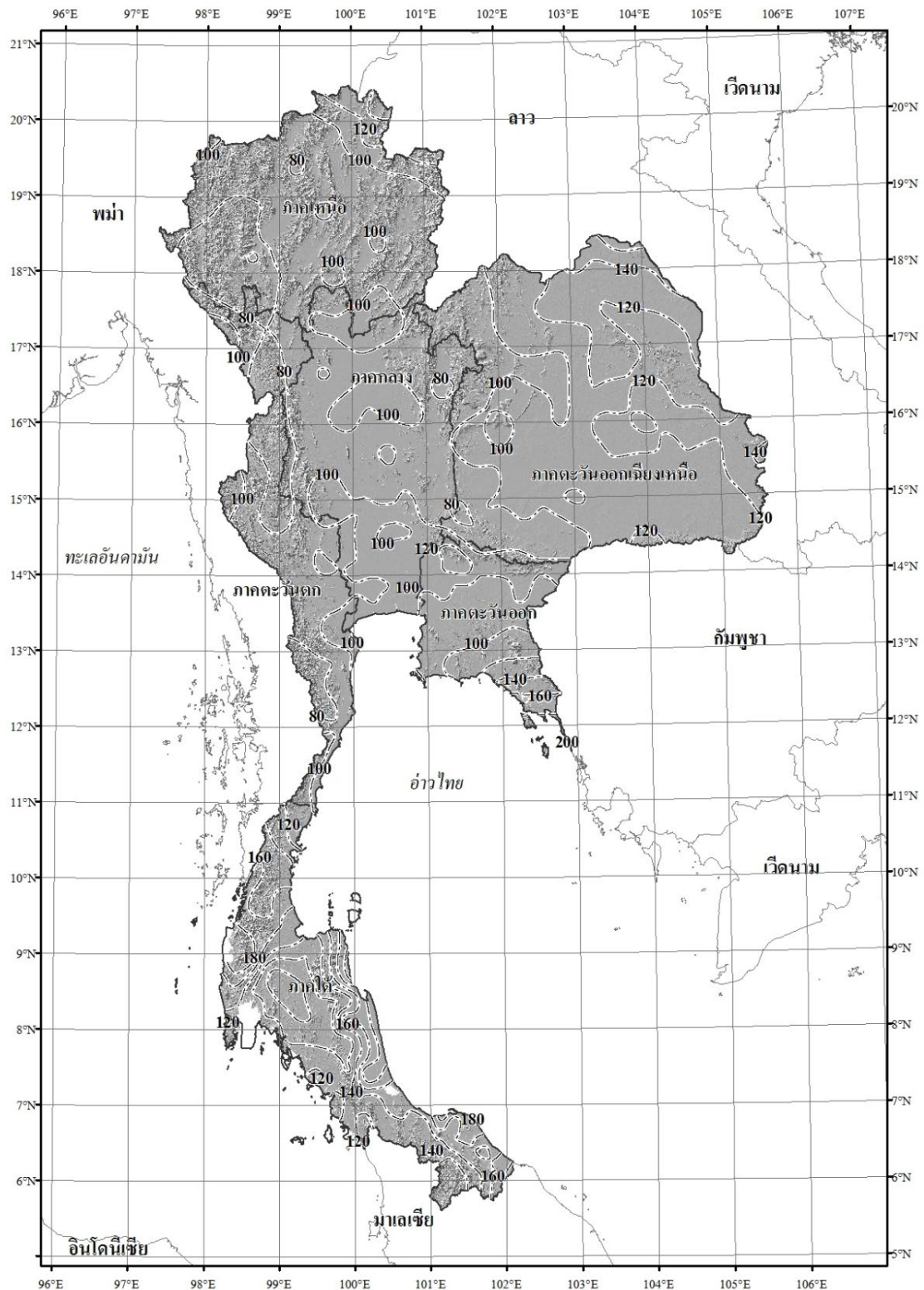
2) ดัชนีปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นราบ ความลาดเทของพื้นที่น้อยและบางพื้นที่ไม่ค่อยชัดเจน มีแนวเขาอยู่ตามแนวขอบเขตของประเทศทางภาคเหนือและภาคตะวันตกเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีความลาดชันสูง จึงเลือกพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิศาสตร์ต่อพลศาสตร์ของพายุ โดยใช้การปรับแก้ของร้อยละของปริมาณฝนรายปีหรือฝนฤดูกาล ตามวิธีการปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศในการศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของกลุ่มน้ำโขงตอนล่าง (HMR46) จากข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน และจำนวนวันที่ฝนตกของสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 654 สถานี ของกรมชลประทานช่วงปี พ.ศ.2495-2552 นำมาหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลและจำนวนวันที่ฝนตกรายฤดูกาล ประกอบด้วย ฤดูกาลสำหรับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และฤดูกาลสำหรับพื้นที่ตอนใต้ของประเทศไทย ได้แก่ ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แผนที่แสดงดัชนีปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศแสดงดังภาพที่ 3-4

3) ดัชนีปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล จากหลักการที่ว่าปริมาณฝนจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากชายทะเลหรือแหล่งความชื้น จากการศึกษาส่วนมากจะให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดของพายุฝนที่เกิดที่ชายฝั่งมีค่าเท่ากับ 1 แล้วพิจารณาพื้นที่ที่ทำการย้ายว่าอยู่ใกล้หรือไกลทะเลแค่ไหน เพื่อจะได้ใช้ดัชนีปรับแก้เนื่องจากระยะทางที่เหมาะสมต่อไป เป็นที่รู้กันดีว่าพายุฝนในเขตร้อนชื้น (Tropical Storm Rainfall) จะลดความรุนแรงลงเมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นดิน (Schwarz, 1965) จากความสัมพันธ์ของการลดลงของปริมาณฝนของพายุฝนในเขตร้อนชื้นกับระยะทางจากชายฝั่งทะเล ใช้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ขอบเขตชายฝั่งทะเล นำมาวิเคราะห์แผนที่แสดงดัชนีปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเลแสดงดังภาพที่ 3-5

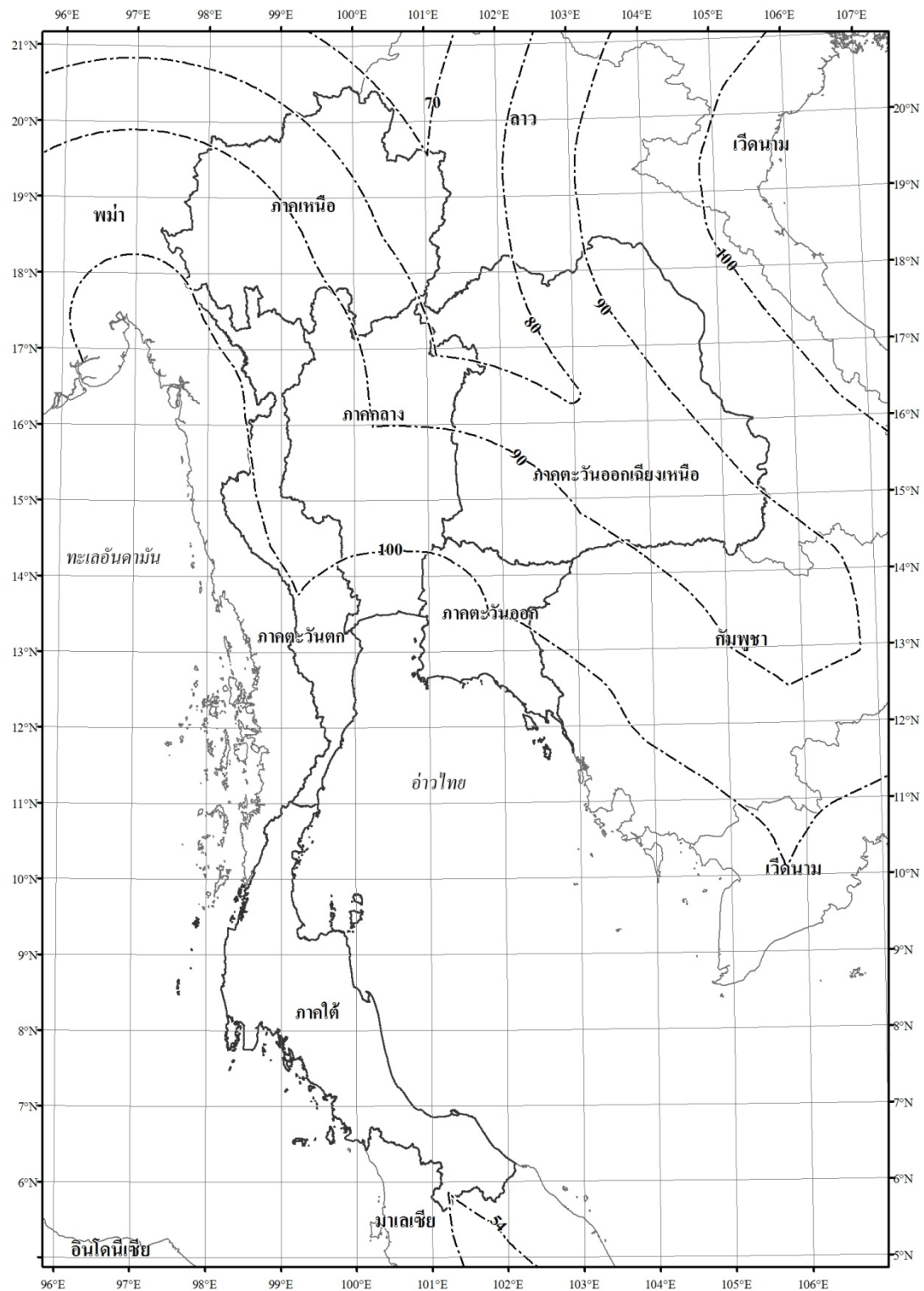
4) ดัชนีปรับแก้เนื่องจากละติจูด การศึกษาค่าดัชนีปรับแก้เนื่องจากละติจูด จากความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของพายุหมุนเขตร้อนกับตำแหน่งการเกิด โดยได้สรุปไว้ว่า ความรุนแรงของพายุหมุนเขตร้อนจะมีความรุนแรงเต็มที่เมื่อเกิดในพื้นที่สูงกว่าละติจูด 15 องศาเหนือ ในช่วงละติจูด 15-10 องศาเหนือ ความรุนแรงจะลดลงร้อยละ 2.5 ทุกๆ 1 องศา จนถึงเส้น 10 องศา และจากนั้นความรุนแรงจะลดลงอย่างรวดเร็วจนกลายเป็น 0 ที่บริเวณเส้นละติจูดที่ 4-5 องศา ใช้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสารสนเทศภูมิศาสตร์แสดงแผนที่ดัชนีปรับแก้เนื่องจากละติจูดได้ดังภาพที่ 3-6



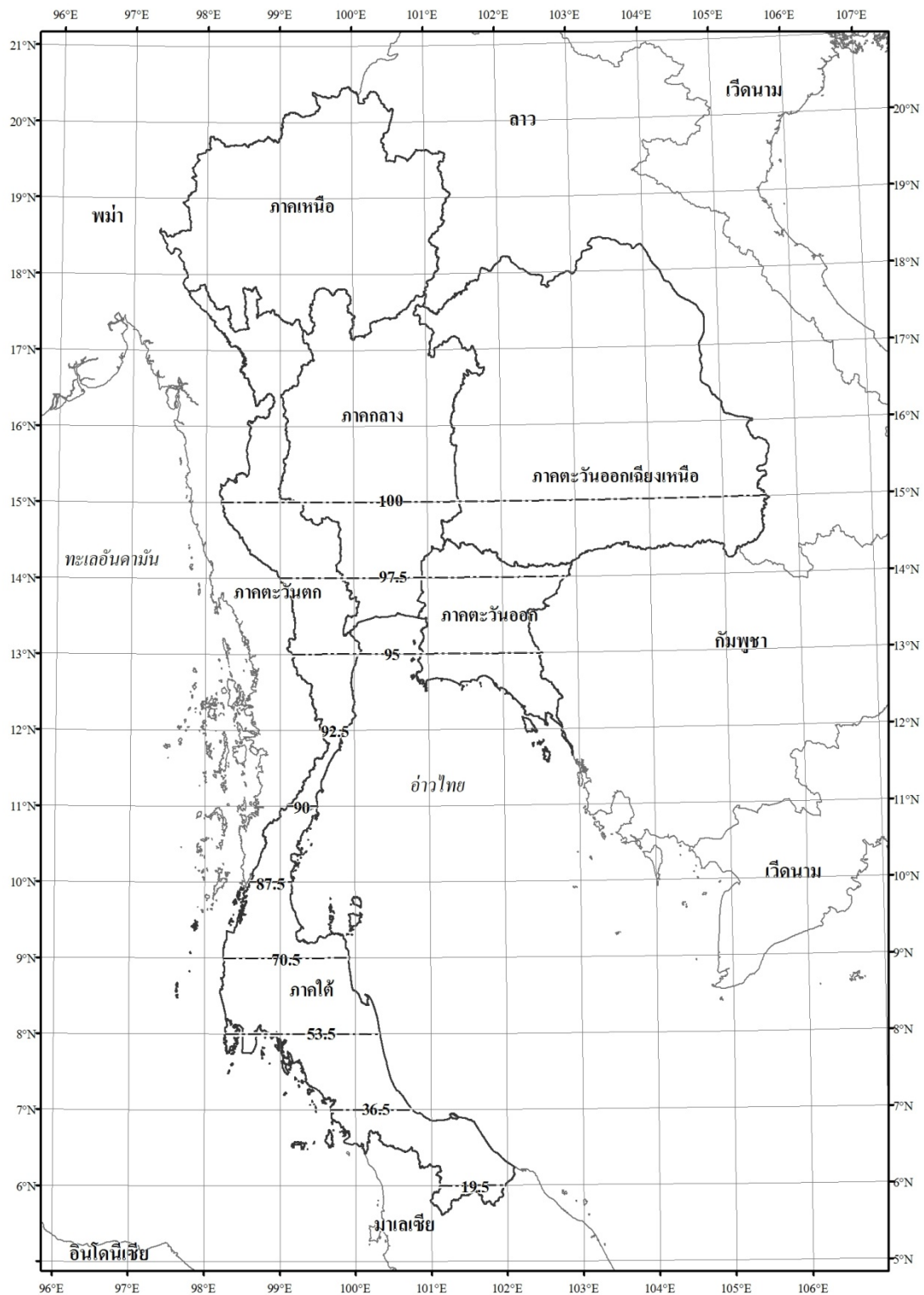
ภาพที่ 3-3 ดัชนีปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 3-4 ดัชนีปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ



ภาพที่ 3-5 ดัชนีปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล



ภาพที่ 3-6 ดัชนีปรับแก้เนื่องจากละติจูด

3.3.2 การวิเคราะห์แฟคเตอร์ปรับลดปริมาณฝน

แฟคเตอร์ปรับลดปริมาณฝน ประกอบด้วย

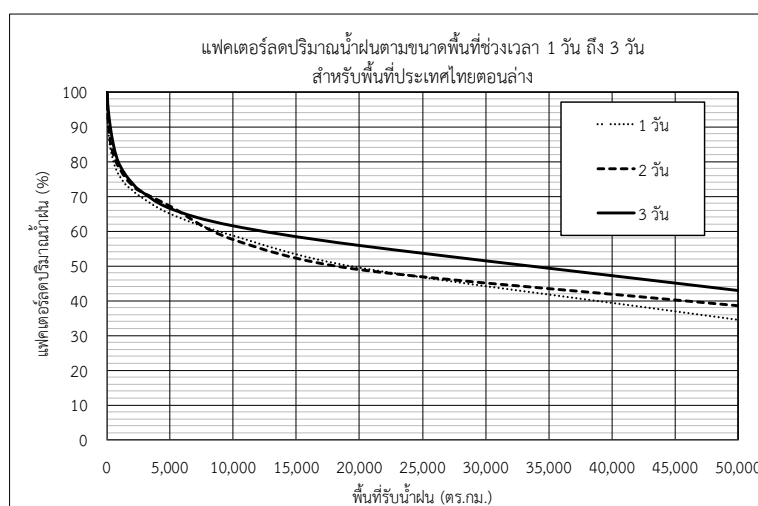
1) แฟคเตอร์การสูญเสียปริมาณฝน (Rainfall Loss Rate Factor, LOSS) ได้พิจารณาใช้และปรับปรุงค่าจาก รายงานการวิจัยศักยภาพการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนด้วยอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลาง ของสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วโรพล, 2544) ซึ่งมีค่าผันแปรตามรอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 3-3

2) แฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่ (Areal Rainfall Reduction Factor, ARF) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์แฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่จากข้อมูลพายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรกในพื้นที่ประเทศไทยตอนล่าง เพื่อใช้สำหรับการวิจัยในลำดับต่อไป ดังแสดงได้ดังภาพที่ 3-7

ตารางที่ 3-3 แฟคเตอร์การสูญเสียปริมาณฝนสำหรับพื้นที่ศึกษา

พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	LOSS	แฟคเตอร์การสูญเสียปริมาณฝน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ										
		2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000	PMP
น้อยกว่า 500	0.35 - 0.20	0.350	0.331	0.318	0.302	0.290	0.278	0.266	0.251	0.239	0.200	0.200
500 - 1000	0.40 - 0.25	0.400	0.381	0.368	0.352	0.340	0.328	0.316	0.301	0.289	0.250	0.250
1000 - 2500	0.45 - 0.30	0.450	0.431	0.418	0.402	0.390	0.378	0.366	0.351	0.339	0.300	0.300
2500 - 5000	0.475 - 0.35	0.475	0.459	0.448	0.435	0.425	0.415	0.405	0.392	0.383	0.350	0.350
5000 - 50,000	0.50 - 0.35	0.500	0.481	0.468	0.452	0.440	0.428	0.416	0.401	0.389	0.350	0.350
50,000 - 100,000	0.55 - 0.45	0.550	0.529	0.521	0.518	0.510	0.502	0.494	0.484	0.476	0.450	0.450
เกินกว่า 100,000	0.675 - 0.60	0.675	0.659	0.653	0.651	0.645	0.639	0.633	0.625	0.620	0.600	0.600

พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	แฟคเตอร์ลดปริมาณน้ำฝน (%)		
	1 วัน	2 วัน	3 วัน
0	100.00	100.00	100.00
10	99.95	99.91	99.98
50	93.64	94.58	96.72
100	90.21	90.98	94.68
250	84.72	85.82	90.06
500	80.48	81.98	84.81
750	77.73	79.61	81.30
1,000	75.96	77.93	78.98
1,500	73.39	75.11	75.95
2,000	71.89	73.19	73.79
2,500	70.36	71.70	71.95
5,000	65.02	67.15	66.48
10,000	58.70	57.57	61.48
20,000	49.46	48.94	55.85
50,000	34.43	38.57	42.90



ภาพที่ 3-7 แฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่ (ARF) สำหรับพื้นที่ประเทศไทยตอนล่าง

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุด

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ

การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนดังนี้ จำนวน 4 สถานี โดยวิธีกัมเบล (Gumbel Distribution) และผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสูงสุดของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนด้วยวิธีแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักทียีสเซน (Thiessen Weighting Factor) ดังแสดงค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจานได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักสถานีวัดน้ำฝนของพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจาน

สถานีวัดน้ำฝน	ค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักของ สถานีวัดน้ำฝน
370101	0.100
370111	0.428
450192	0.073
470402	0.399
รวม	1.000

1) ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำของสถานีวัดน้ำฝน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ช่วงเวลา 1 วัน ถึง 3 วัน ของสถานีวัดน้ำฝนที่มีตำแหน่งตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจาน และพื้นที่ข้างเคียง จำนวน 4 สถานี โดยทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบกัมเบล (Gumbel Distribution) ได้แสดงผลการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ของสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษาดังกล่าวไว้ในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา

ชื่อสถานีวัดน้ำฝน	รหัส สถานี	ช่วงปีสถิติ ข้อมูล	ช่วง เวลา	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ (มม.)									
				2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
1. บ้านตะเคียนห้าบาท (B.5) อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี	370101	2508 - 2558	1 วัน	87.1	117.2	137.1	162.3	180.9	199.5	217.9	242.3	260.7	321.8
			2 วัน	111.7	161.4	194.2	235.7	266.5	297.1	327.6	367.8	398.1	499.0
			3 วัน	126.3	180.9	217.1	262.8	296.7	330.4	363.9	408.1	441.5	552.5
2. แม่น้ำสาป ต.น้ำพัน้อง อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี	370111	2510 - 2512	1 วัน	41.1	43.9	45.8	48.2	50.0	51.8	53.6	55.9	57.6	63.5
			2 วัน	57.9	67.8	74.4	82.7	88.8	94.9	101.0	109.0	115.1	135.2
			3 วัน	71.1	96.0	112.5	133.4	148.9	164.2	179.5	199.7	215.0	265.6
3. บ้านฟ้าประทาน ต.ห้วยสัตว์ใหญ่ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	450192	2524 - 2547	1 วัน	76.9	115.0	140.3	172.1	195.8	219.3	242.6	273.5	296.8	374.2
			2 วัน	103.7	157.3	192.7	237.5	270.8	303.8	336.6	380.0	412.8	521.6
			3 วัน	113.5	168.4	204.8	250.7	284.8	318.7	352.4	396.9	430.5	542.2
4. เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่น้ำภาชี ต.บ้านบึง อ.บ้านคา จ.ราชบุรี	470402	2536 - 2558	1 วัน	83.2	112.1	131.2	155.4	173.3	191.1	208.8	232.2	249.9	308.6
			2 วัน	102.2	135.9	158.2	186.5	207.4	228.2	248.9	276.2	296.8	365.3
			3 วัน	117.0	156.6	182.8	216.0	240.6	265.0	289.3	321.4	345.6	426.1

2) ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำของเขื่อนแก่งกระจาน

จากผลการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 4 สถานี และผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของสถานียังกล่าว นำมาวิเคราะห์เป็นปริมาณฝนของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจาน โดยใช้แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักธีเอสเซน (Thiessen Weighting Factor) ในตารางที่ 3-4 ดังแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจาน ได้ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดรายปีของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจาน

ช่วงเวลา (วัน)	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ , มม.									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
1	65.11	83.63	95.90	111.43	122.93	134.38	145.75	160.77	172.10	209.81
2	84.30	110.87	128.45	150.72	167.18	183.56	199.87	221.38	237.63	291.60
3	98.03	133.95	157.75	187.86	210.19	232.32	254.37	283.49	305.49	378.52

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

จากผลการคัดเลือกพายุที่ทำให้เกิดพายุฝนสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย ภาคใต้และภาคตะวันตก 10 อันดับแรก สำหรับช่วงเวลา 1 วัน ถึง 3 วัน จำนวนทั้งสิ้น 14 ลูก ดังแสดงภาพที่ 3-2 และตารางที่ 3-2 และผลการคำนวณค่าปรับแก้เพื่อการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝนมายังพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจาน สามารถทำการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของเขื่อนแก่งกระจาน โดยวิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน ดังแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3-7 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า พายุดีเปรสชั่น รหัส 076 ซึ่งเกิดในระหว่างวันที่ 31 ตุลาคม ถึงวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2512 และมีจุดศูนย์กลางใกล้กับ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้มากที่สุด โดยมีค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ 1 วัน ถึง 3 วัน ดังนี้

ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (มม.)		
1 วัน	2 วัน	3 วัน
513.85	722.05	869.67

3.5 การวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุด

3.5.1 ปริมาณฝนสูงสุดสำหรับการออกแบบกราฟน้ำหลากสูงสุด

จากค่าแฟคเตอร์การสูญเสียปริมาณฝน (LOSS) และแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่ (ARF) สำหรับพื้นที่ประเทศไทยที่ทำการศึกษาไว้ในหัวข้อที่ 3.3 นำมาปรับค่าปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของเขื่อนแก่งกระจาน เพื่อให้ได้ค่าปริมาณฝนสำหรับลุ่มน้ำ (Catchment Rainfalls) สำหรับการนำไปใช้ในการออกแบบกราฟน้ำหลากสูงสุด ดังแสดงปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่ปรับค่าแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝนได้ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของเขื่อนแม่กวงกระ जान

ลำดับ	รหัสพายุฝน	ชื่อพายุฝน	ปริมาณฝน (มม.)							ตำแหน่งที่เกิดพายุ				ตำแหน่งที่ย้ายไป			
			1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน	สถานี	ระดับสถานี (ม.รทก.)	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (°C)	สถานี	ระดับสถานี (ม.รทก.)	อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุด (°C)	ระดับ h ₂ (ม.รทก.)	
1	076	พายุดีเปรสชั่น	429.2	603.1	726.4	790.4	805.1	805.1	805.1	45043	13.00	21.02	-	94.0	26.37	-	
2	083	พายุโซนร้อน RUTH (7026)	420.8	511.0	569.0	589.1	589.1	593.2	595.0	10090	12.00	23.31	-	94.0	26.37	-	
3	031	พายุโซนร้อน HARRIET (6225)	160.3	289.4	426.7	511.4	570.0	622.5	630.0	34022	17.00	24.07	-	94.0	26.37	-	
4	185	พายุดีเปรสชั่น 4 (TD 4)-พายุไซโคลน "JAL"	372.8	530.2	568.5	585.9	608.7	608.7	645.9	35022	8.00	23.31	-	94.0	26.37	-	
5	162	พายุไต้ฝุ่น "ลินดา" (LINDA 9728)	248.3	369.9	369.9	369.9	369.9	369.9	369.9	37042	3.00	23.71	-	94.0	26.37	-	
6	164	พายุโซนร้อน "จิล" (GIL 9817)	330.9	399.3	429.8	437.9	439.4	441.9	450.0	27013	12.00	22.53	-	94.0	26.37	-	
7	107	พายุดีเปรสชั่น	325.4	573.6	669.4	676.6	676.6	676.6	676.6	35012	21.00	23.25	-	94.0	26.37	-	
8	174	พายุไต้ฝุ่น "หมู่ฟ้า" (MUIFA 0425)	301.2	328.1	345.7	361.7	362.4	378.2	378.2	10102	53.00	22.99	-	94.0	26.37	-	
9	145	พายุดีเปรสชั่น 4 (TD 4)	296.9	311.7	320.2	320.9	348.4	360.6	377.3	45013	9.00	23.37	-	94.0	26.37	-	
10	152	พายุดีเปรสชั่น 3 (TD 3)	294.2	374.1	394.9	446.3	452.6	491.4	541.0	58190	0.00	23.85	-	94.0	26.37	-	
11	153	พายุไต้ฝุ่น "แมนนี" (MANNY 9327)	238.7	421.4	461.8	462.3	462.6	467.8	698.5	58190	0.00	24.19	-	94.0	26.37	-	
12	166	พายุดีเปรสชั่น 4	225.2	422.4	474.1	523.0	526.7	526.7	561.1	27122	12.00	23.53	-	94.0	26.37	-	
13	097	พายุโซนร้อน SARAH (7319)	193.9	307.8	479.7	483.7	487.3	487.3	556.0	45013	9.00	20.97	-	94.0	26.37	-	
14	102	พายุโซนร้อน KIT (7432)	220.2	292.6	452.8	553.0	570.8	592.6	596.4	29072	20.00	22.94	-	94.0	26.37	-	

ตารางที่ 3-7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของเขื่อนแก่งกระจาน (ต่อ)

รหัสพายุฝน	ชื่อพายุฝน	ค่าปรับแก้ไขเนื่องจาก												ค่าปรับแก้มุม (r _m)	ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (มม.)		
		ความชื้น			สภาพภูมิประเทศ			ระยะทางจากทะเล			ระยะจุด						
		ด้านหนึ่งที่ย้ายไป	ด้านหนึ่งพายุฝน	ค่าปรับแก้มุม	ด้านหนึ่งที่ย้ายไป	ด้านหนึ่งพายุฝน	ค่าปรับแก้มุม	ด้านหนึ่งที่ย้ายไป	ด้านหนึ่งพายุฝน	ค่าปรับแก้มุม	ด้านหนึ่งที่ย้ายไป	ด้านหนึ่งพายุฝน	ค่าปรับแก้มุม		1 วัน	2 วัน	3 วัน
076	พายุดีเปรสชัน	88.53	56.96	1.55	80.83	94.90	0.85	100.00	100.00	1.00	84.93	93.90	0.90	1.20	513.85	722.05	869.67
083	พายุโซนร้อน RUTH (7026)	88.53	69.57	1.27	80.83	116.02	0.70	100.00	100.00	1.00	84.93	88.79	0.96	0.85	356.82	433.30	482.48
031	พายุโซนร้อน HARRIET (6225)	88.53	74.36	1.19	80.83	143.14	0.56	100.00	100.00	1.00	84.93	83.47	1.02	0.68	109.65	197.95	291.86
185	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)-พายุไซโคลน "JAL"	88.53	69.65	1.27	80.83	177.58	0.46	100.00	100.00	1.00	84.93	80.87	1.05	0.61	226.49	322.11	345.38
162	พายุไต้ฝุ่น "ลินดา" (LINDA 9728)	88.53	72.32	1.22	80.83	113.09	0.71	100.00	100.00	1.00	84.93	95.61	0.89	0.78	192.97	287.48	287.48
164	พายุโซนร้อน "จิล" (GIL 9817)	88.53	64.84	1.37	80.83	145.24	0.56	100.00	100.00	1.00	84.93	83.54	1.02	0.77	255.61	308.44	332.00
107	พายุดีเปรสชัน	88.53	69.01	1.28	80.83	145.94	0.55	100.00	100.00	1.00	84.93	81.56	1.04	0.74	240.76	424.39	495.27
174	พายุไต้ฝุ่น "มูเยต้า" (MUIFA 0425)	88.53	66.78	1.33	80.83	148.77	0.54	100.00	100.00	1.00	84.93	86.96	0.98	0.70	211.87	230.80	243.18
145	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)	88.53	70.00	1.26	80.83	90.41	0.89	100.00	100.00	1.00	84.93	92.02	0.92	1.04	309.83	325.27	334.14
152	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	88.53	73.31	1.21	80.83	184.14	0.44	100.00	100.00	1.00	84.93	81.81	1.04	0.55	161.89	205.85	217.30
153	พายุไต้ฝุ่น "แมนนี" (MANNY 9327)	88.53	75.52	1.17	80.83	184.14	0.44	100.00	100.00	1.00	84.93	81.81	1.04	0.53	127.50	225.10	246.68
166	พายุดีเปรสชัน 4	88.53	70.93	1.25	80.83	189.30	0.43	100.00	100.00	1.00	84.93	85.51	0.99	0.53	119.20	223.58	250.95
097	พายุโซนร้อน SARAH (7319)	88.53	56.80	1.56	80.83	90.41	0.89	100.00	100.00	1.00	84.93	92.02	0.92	1.29	249.36	395.85	616.92
102	พายุโซนร้อน KT (7432)	88.53	67.14	1.32	80.83	158.84	0.51	100.00	100.00	1.00	84.93	83.25	1.02	0.68	150.71	200.27	309.92

ตารางที่ 3-8 ปริมาณฝนสูงสุดที่ปรับค่าแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน

ช่วงเวลา (วัน)	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดซ้ำต่าง ๆ , มม.										PMP
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000	
1	20.41	27.99	33.51	41.02	47.01	53.34	60.01	69.30	76.83	104.64	256.27
2	26.91	37.79	45.71	56.51	65.11	74.21	83.81	97.19	108.04	148.11	366.75
3	31.49	45.95	56.48	70.87	82.38	94.51	107.33	125.24	139.76	193.47	444.49

หมายเหตุ : ปรับลดปริมาณฝนด้วยแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่ (ARF) แล้ว

3.5.2 การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำ และขั้นตอนที่ 2 เป็นการประยุกต์สมการแสดงความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อนแก่งกระจาน ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

(1) สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำที่ได้จากการสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งใช้สำหรับพื้นที่ศึกษาโดยใช้ผลการศึกษาจากกรมชลประทาน (2552) สมการแสดงดังนี้

$$t_p = 1.2636 (LL_c / \sqrt{S})^{0.2956} \quad (19)$$

$$q_p/A = 0.5379 (t_p)^{-1.2642} \quad (20)$$

- เมื่อ t_p = เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุด, ชั่วโมง
 q_p = ปริมาณการไหลสูงสุด, ลบ.ม./วินาที
 L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไหลสูดบนสันปันน้ำ, กิโลเมตร
 L_c = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด, กิโลเมตร
 S = ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำ
 A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

(2) จากความสัมพันธ์เหล่านี้ และข้อมูลพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำของลุ่มน้ำเหนือเขื่อน นำมาคำนวณค่าพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนแก่งกระจานดังนี้

พารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำ					พารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า		
A	L	L _c	S _{avg}	S _{max}	q _p	t _p	t _r
2,210	119.09	50.17	0.00190	0.00579	108.70	41.00	24.00

เมื่อ A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ, กิโลเมตร

L_c = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด, กิโลเมตร

S_{avg} = ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำ

S_{max} = ความลาดเทสูงสุดของลำน้ำ

q_p = ปริมาณการไหลสูงสุด, ลบ.ม./วินาที

t_p = เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุด, ชั่วโมง

t_r = ช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า, ชั่วโมง

(3) การคำนวณกราฟน้ำหลากสูงสุดจากข้อมูลพายุฝนด้วยวิธีเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำหรับพื้นที่ศึกษา ขั้นตอนหลักประกอบด้วย การวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐาน การคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินที่จะเกิดเป็นน้ำหลากผิวดิน (จากการกำหนดแฟคเตอร์ลดปริมาณน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ และอัตราการสูญเสียปริมาณฝน) และการแบ่งปริมาณฝนออกเป็นช่วง ๆ ที่มีช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยอาศัยเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายรายชั่วโมงของปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

(4) ปริมาณการไหลพื้นฐาน กำหนดให้มีค่าผันแปรกับปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟน้ำหลาก จากผลการศึกษาของ สานิตยดา ฐานิสโร (2543) พบว่ามีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_B = 0.2825 Q_p^{0.6793} \quad (21)$$

เมื่อ Q_p = ปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟน้ำหลาก (ลบ.ม./วินาที)

Q_B = ปริมาณการไหลพื้นฐาน (ลบ.ม./วินาที)

3.5.3 ผลการวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุด

ผลการคำนวณปริมาณน้ำหลากสูงสุดจากข้อมูลพายุฝนที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ และปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) แสดงไว้ในตารางที่ 3-9 และภาพที่ 3-8 และ 3-9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) มีค่าเท่ากับ 4,676.96 ลบ.ม./วินาที ปริมาณน้ำหลาก เท่ากับ 1,057.62 ล้าน ลบ.ม และปริมาณการไหลพื้นฐาน มีค่าเท่ากับ 86.80 ลบ.ม./วินาที

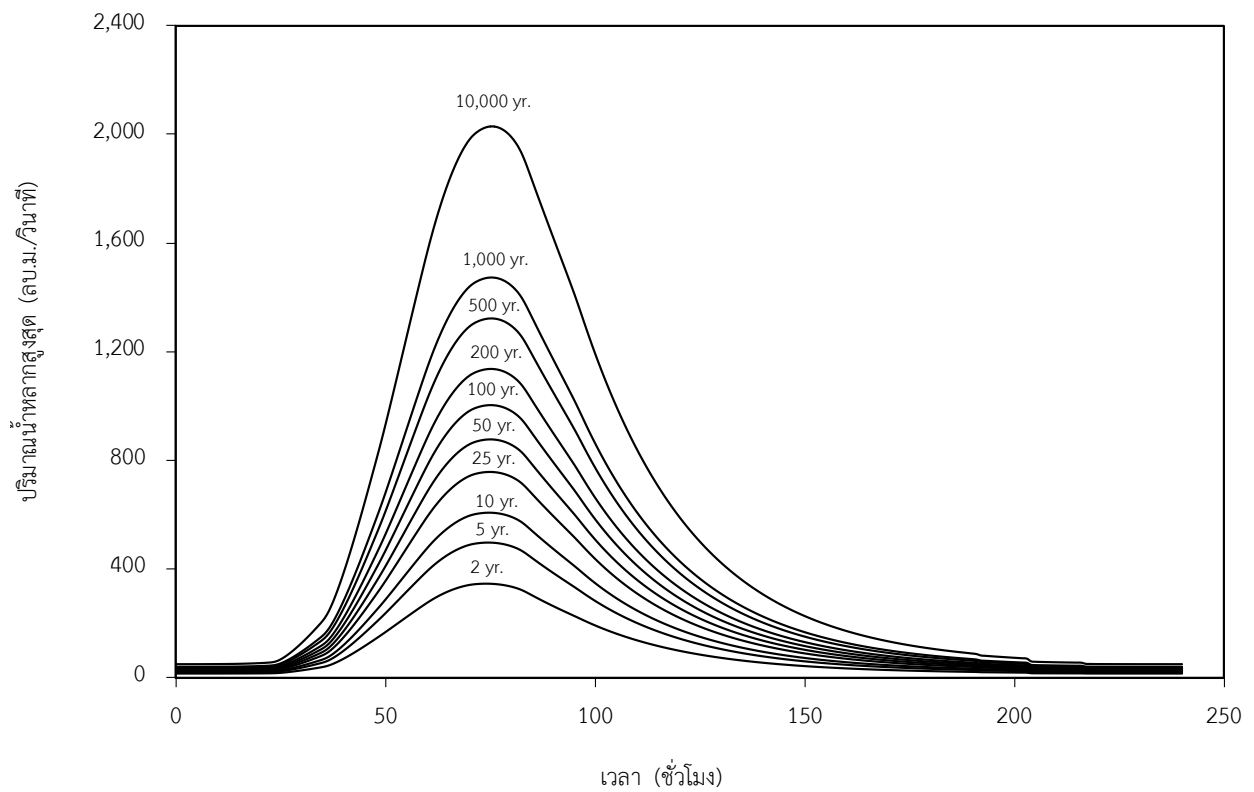
3.5.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า PMF ในอดีต

ผลการการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) กับผลการศึกษาในอดีตปี พ.ศ. 2506 แสดงไว้ในตารางที่ 3-10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ที่ได้จากการศึกษานี้ 4,677.0 ลบ.ม./วินาที มีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาในอดีตเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,720.0 ลบ.ม./วินาที คิดเป็นร้อยละ 0.91 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาตรน้ำหลากพบว่า ปริมาตรน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้จากการศึกษานี้ 1,057.6 ล้าน ลบ.ม. มีค่าที่มากกว่าผลการศึกษาในอดีตซึ่งมีค่า 265.2 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 398

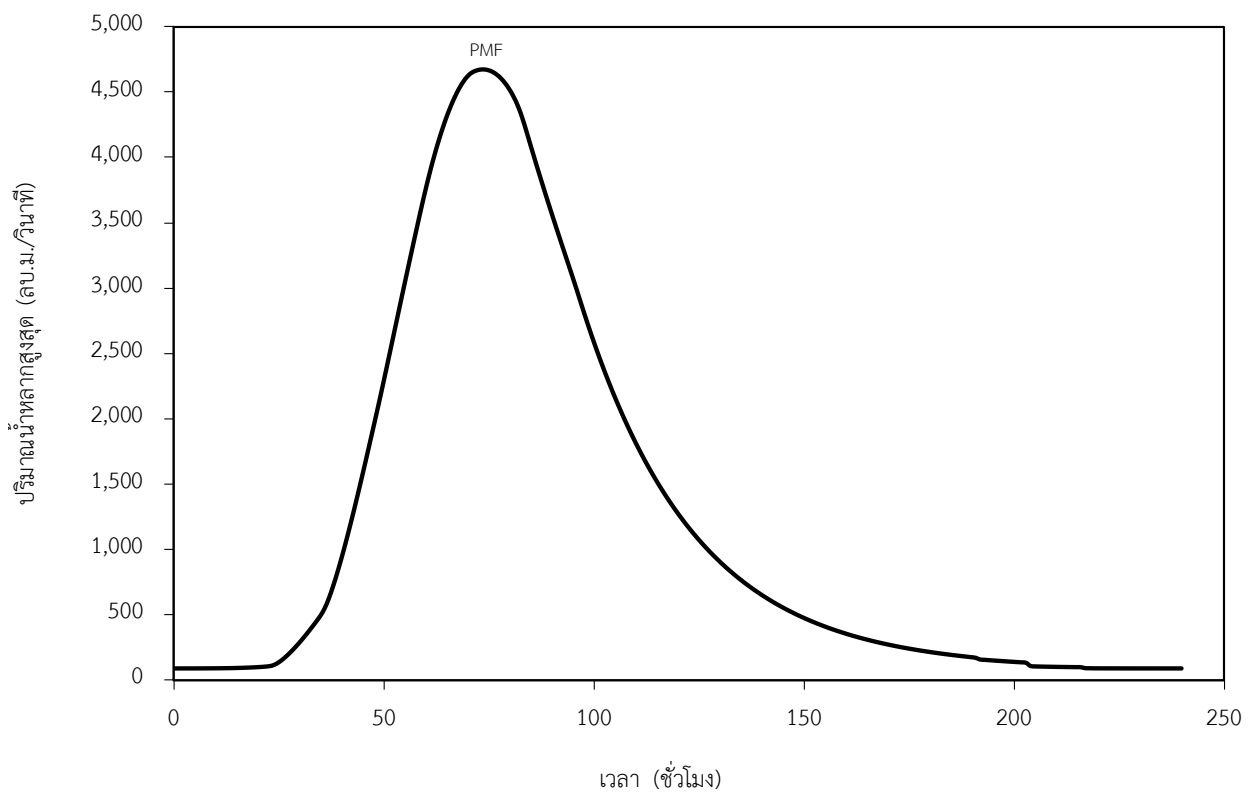
ตารางที่ 3-9 ผลการคำนวณกราฟน้ำหลากสูงสุดของเขื่อนแก่งกระจาน

รอบปีของการเกิด (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลพื้นฐาน (ลบ.ม./วินาที)
2	345.42	82.21	14.54
5	496.65	117.78	18.67
10	606.75	143.44	21.42
25	756.86	178.28	24.94
50	876.67	206.01	27.58
100	1,002.88	235.09	30.25
200	1,136.12	265.75	32.95
500	1,322.03	308.49	36.56
1,000	1,472.70	343.03	39.37
10,000	2,028.93	470.10	49.03
PMF	4,676.96	1,057.62	86.80

หมายเหตุ : Q_p หมายถึง ปริมาณน้ำหลากสูงสุด, ลบ.ม./วินาที
 V_T หมายถึง ปริมาตรน้ำหลาก, ล้าน ลบ.ม.
 Q_B หมายถึง ปริมาณการไหลพื้นฐาน, ลบ.ม./วินาที



ภาพที่ 3-8 กราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ของเขื่อนแก่งกระจาน



ภาพที่ 3-9 กราฟน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ของเขื่อนแก่งกระจาน

ตารางที่ 3-10 การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาเดิมของเขื่อนแก่งกระจาน

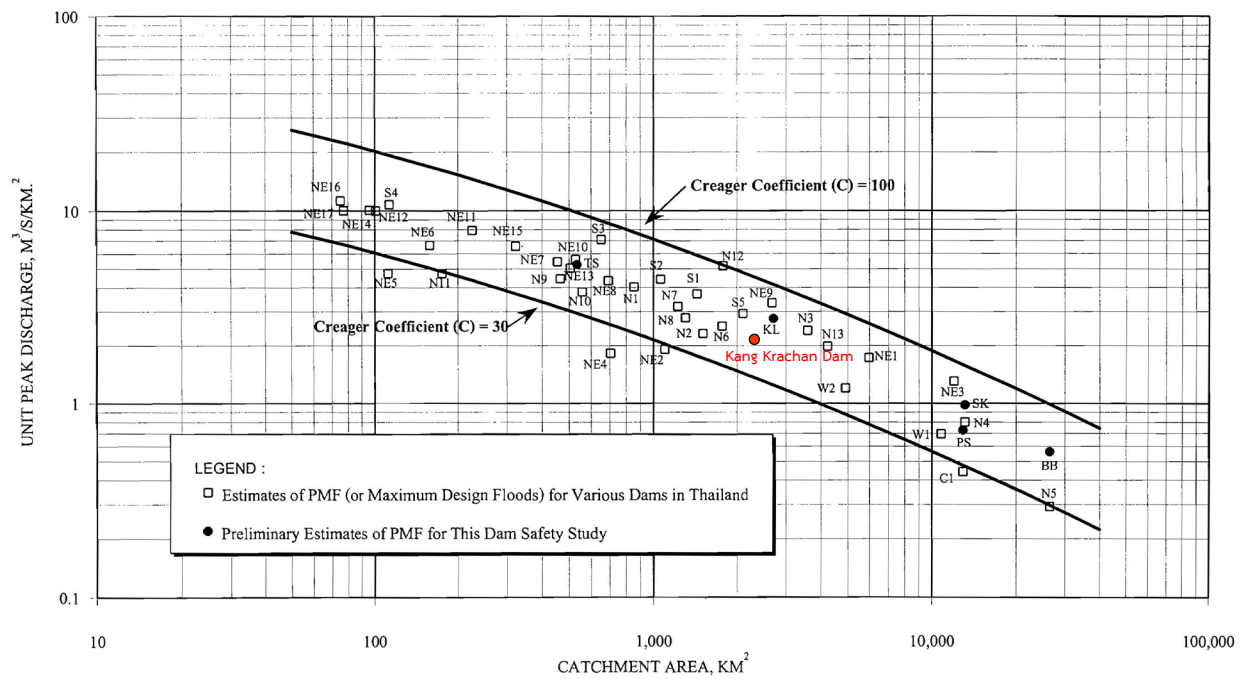
ผลการศึกษา	กราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ										PMF
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000	
1. การศึกษา											
Q _p	345.4	496.6	606.8	756.9	876.7	1,002.9	1,136.1	1,322.0	1,472.7	2,028.9	4,677.0
V _T	82.2	117.8	143.4	178.3	206.0	235.1	265.8	308.5	343.0	470.1	1,057.6
Q _B	14.5	18.7	21.4	24.9	27.6	30.3	33.0	36.6	39.4	49.0	86.8
2. การศึกษาเดิม (ปี 2506)											
Q _p	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,720.0
V _T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	265.2
Q _R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300.0

หมายเหตุ : Q_p หมายถึง ปริมาณน้ำหลากสูงสุด, ลบ.ม./วินาที

V_T หมายถึง ปริมาตรน้ำหลาก, ล้าน ลบ.ม.

Q_B หมายถึง ปริมาณการไหลพื้นฐาน, ลบ.ม./วินาที

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ของเขื่อนแก่งกระจาน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีต พบว่า ค่า PMF ที่ได้จากการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษา PMF ในอดีต นอกจากนั้น เมื่อนำค่า PMF ที่ได้จากงานวิจัยนี้มาหารด้วยพื้นที่รับน้ำฝนเพื่อคำนวณเป็นค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unit Peak Discharge) และนำมาพล็อตลงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่และพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งพัฒนาจากข้อมูล PMF ของโครงการเขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่ต่าง ๆ ในประเทศไทย จำนวน 43 แห่ง จากรายงาน FAO (2000) ดังแสดงค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unit Peak Discharge) ของเขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่ในประเทศไทยได้ดังตารางที่ 3-11 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่และพื้นที่รับน้ำฝน ได้ดังภาพที่ 3-10 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า PMF ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ให้ค่า Unit Peak Discharge อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสม และสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมา



Relationships between Unit Peak Inflows of Probable Maximum Flood (or Maximum Design Flood) and Catchment Area for Various Large and Medium Sized Dams in Thailand

ภาพที่ 3-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่และพื้นที่รับน้ำฝน (FAO, 2000)

ตารางที่ 3-11 ค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unit Peak Discharge) ของเขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่ในประเทศไทย

STORAGE DAM	SYMBOL	PMF** (m ³ /sec)	A (km ²)	PMF/A (m ³ /sec/km ²)
1. NAM KHEK 1	N1	3,440	854	4.028
2. NAM KHEK 3	N2	3,470	1,505	2.306
3. KAENG SUA TEN	N3	8,567	3,583	2.391
4. SIRIKIT	N4	10,500	13,130	0.800
5. BHUMIBOL	N5	7,717	26,386	0.292
6. KAEN KUD	N6	4,436	1,765	2.513
7. TAMAN	N7	3,908	1,226	3.188
8. MAE NGAT	N8	3,625	1,303	2.782
9. MAE KUANG	N9	2,069	465	4.449
10. MAE KHAN	N10	2,121	558	3.801
11. MAE RIM	N11	828	175	4.731
12. PONG	N12	9,220	1,780	5.180
13. KHAO HIN DAT	N13	8,349	4,220	1.978
14. LAM PAO	NE1	10,303	5,960	1.729
15. NAM OON	NE2	2,100	1,100	1.909
16. UBOL RATANA	NE3	15,682	12,000	1.307
17. KAEN KRIANG	NE4	1,281	703	1.822
18. NONG SANUN	NE5	531	112	4.741
19. NAM CHERN	NE6	1,047	158	6.627
20. NAM MUN	NE7	2,480	454	5.463
21. LAM SAE	NE8	3,000	691	4.342
22. NAM CHI	NE9	8,880	2,670	3.326
23. PRONG KHUN PHET	NE10	2,960	528	5.606
24. LAM CHI LONG	NE11	1,780	225	7.911
25. NAM SU	NE12	1,010	101	10.000
26. BAN SONG KHON	NE13	2,550	505	5.050
27. SADUANG YAI	NE14	966	96	10.063
28. HUAI KHON KAEN	NE15	2,112	322	6.559
29. HUAI YAI	NE16	844	75	11.253
30. CHALIANG LAB	NE17	772	77	10.026
31. PASAK	C1	5,707	12,929	0.441
32. CHIEW LARN	S1	5,320	1,437	3.702
33. SAIBURI	S2	4,690	1,062	4.416
34. KAENG KRUNG	S3	4,617	651	7.092
35. KAENG LEH	S4	1,216	113	10.761
36. PATTANI	S5	6,134	2,100	2.921
37. SRINAKARIN	W1	7,500	10,800	0.694
38. NAM CHON	W2	5,900	4,908	1.202
39. BHUMIBOL*	BB	14,817	26,386	0.562
40. SIRIKIT*	SK	12,889	13,130	0.982
41. KIU LOM*	KL	7,440	2,700	2.755
42. THAP SALAO*	TS	2,806	534	5.254
43. PASAK*	PS	9,405	12,929	0.727

Remark : * Estimates of PMF by DSRP

** Maximum Design Floods(rather than PMF) are Used for Some Dams

3.6 การตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้น

การวิเคราะห์กราฟน้ำหลากสูงสุดเคลื่อนตัวผ่านอาคารน้ำล้นของเขื่อนแก่งกระจาน เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกราฟน้ำหลากสูงสุดที่ไหลเข้ามาสู่อ่างเก็บน้ำและระบายผ่านทางระบายน้ำล้นไปด้านท้ายน้ำ ตลอดจนการคำนวณระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำ เมื่อกราฟน้ำหลากสูงสุดขนาดต่าง ๆ ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบความสามารถในการระบายน้ำของอาคารน้ำล้น และระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ระดับรองรับน้ำหลาก (Surcharge) และระยะพ้นน้ำ (Freeboard) ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความปลอดภัยของตัวเขื่อน โดยลักษณะอาคารระบายน้ำล้นของเขื่อนแก่งกระจาน สรุปได้ดังนี้

ที่ตั้ง	ฝั่งขวาของตัวเขื่อน
ชนิด	Overflow Weir Spillway
ความยาวสันอาคารระบายน้ำล้น	110.00 เมตร
ระดับสันฝาย	+99.00 เมตร (รทก.)
ระดับน้ำหลากสูงสุด	+102.65 เมตร (รทก.)
ระบายน้ำได้สูงสุดประมาณ	1,380.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จากผลการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และกราฟน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ผ่านอาคารระบายน้ำล้น แสดงผลวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3-12 และแสดงการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากสูงสุดไหลเข้าและไหลออกจากอาคารน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานได้ดังภาพที่ 3-11 พบว่า ที่รอบปีการเกิด 2 ปี ถึง 10,000 ปี มีระดับน้ำหลากสูงสุดอยู่ระหว่าง +99.70 ถึง +102.10 เมตร (รทก.) ซึ่งมีระดับน้ำสูงกว่าสันอาคารระบายน้ำล้น อยู่ระหว่าง 0.70 ถึง 3.10 เมตร แต่ยังคงมีระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) อยู่ระหว่าง 3.90 ถึง 6.30 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัย และระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นไม่สูงกว่าค่าระดับน้ำสูงสุดที่ออกแบบไว้ที่ระดับ +102.65 เมตร (รทก.)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) เคลื่อนผ่านอาคารระบายน้ำล้น พบว่า มีระดับน้ำหลากสูงสุด +104.70 เมตร (รทก.) ซึ่งสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดที่ออกแบบไว้ 2.05 เมตร และมีระดับน้ำสูงกว่าสันอาคารระบายน้ำล้น 5.70 เมตร คงเหลือระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) เพียง 1.30 เมตร แสดงผลวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3-12

อย่างไรก็ตาม ระดับน้ำสูงสุด +104.70 เมตร (รทก.) จากผลการเคลื่อนปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ผ่านอาคารระบายน้ำล้นนั้น มีระดับน้ำที่สูงกว่าเขื่อนดินปิดเขาตำแหน่งที่ 2 ซึ่งมีระดับสันเขื่อนที่ +102.70 เมตร (รทก.) จึงต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) เคลื่อนผ่านอาคารระบายน้ำล้น ร่วมกับการเคลื่อนผ่านสันเขื่อนปิดเขาตำแหน่งที่ 2 ไปพร้อมกัน ดังนี้

เขื่อนยาว	255.00 เมตร
เขื่อนสูง	22.00 เมตร
สันเขื่อนกว้าง	8.00 เมตร
ระดับสันเขื่อน	+102.70 เมตร รทก.

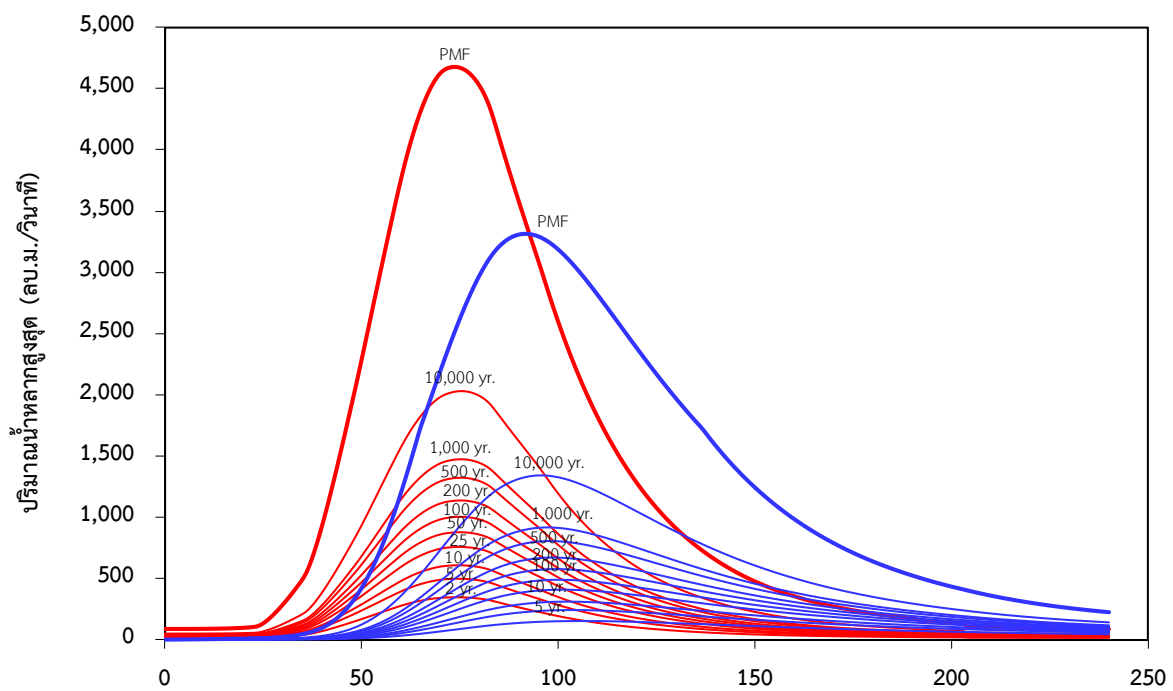
ตารางที่ 3-12 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากสูงสุดผ่านอาคารระบายน้ำล้น

รอบปี ของการเกิด (ปี)	ปริมาณการไหล เข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	ระดับรองรับน้ำหลาก (Surcharge) (ม.)	ปริมาณการไหล ออกสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการลดลงของ ปริมาณการไหลออก สูงสุด (%)	ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) (ม.)
2	345.42	99.70	0.70	151.80	56.05	6.30
5	496.65	100.00	1.00	241.10	51.45	6.00
10	606.75	100.20	1.20	309.90	48.92	5.80
25	756.86	100.40	1.40	407.70	46.13	5.60
50	876.67	100.60	1.60	488.50	44.28	5.40
100	1,002.88	100.80	1.80	575.80	42.59	5.20
200	1,136.12	101.00	2.00	670.00	41.03	5.00
500	1,322.03	101.20	2.20	804.70	39.13	4.80
1000	1,472.70	101.40	2.40	916.10	37.79	4.60
10,000	2,028.93	102.10	3.10	1,340.90	33.91	3.90
PMF	4,676.96	104.70	5.70	3,313.70	29.15	1.30

หมายเหตุ : ระดับน้ำเริ่มต้นเท่ากับ +99.0 ม.รทก. ระดับสันฝายอาคารระบายน้ำล้นเท่ากับ +99.0 ม.รทก.

ระดับน้ำสูงสุดเท่ากับ +102.65 ม.รทก. ระดับน้ำสันเขื่อนเท่ากับ +106.0 ม.รทก.

ความยาวสันอาคารระบายน้ำล้นเท่ากับ 110 ม.



ภาพที่ 3-11 กราฟน้ำหลากสูงสุดไหลเข้าและออกที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และ PMF

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ผ่านอาคารระบายน้ำล้นและเขื่อนปิดเขาดำแห่งที่ 2 พบว่า มีระดับน้ำหลากสูงสุด +104.20 เมตร (รทก.) ซึ่งสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดที่ออกแบบไว้ 1.55 เมตร และมีระดับน้ำสูงกว่าสันอาคารระบายน้ำล้น 5.20 เมตร คงเหลือระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) เท่ากับ 1.80 เมตร ดังแสดงผลวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากสูงสุดผ่านอาคารระบายน้ำล้นและผ่านเขื่อนปิดเขาดำแห่งที่ 2

รอบปีของการเกิด (ปี)	ปริมาณการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำสูงสุด (ม.รทก.)	ระดับรองรับน้ำหลาก (Surcharge) (ม.)	ปริมาณการไหลออกสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการลดลงของปริมาณการไหลออกสูงสุด (%)	ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) (ม.)
2	345.42	99.70	0.70	151.80	56.05	6.30
5	496.65	100.00	1.00	241.10	51.45	6.00
10	606.75	100.20	1.20	309.90	48.92	5.80
25	756.86	100.40	1.40	407.70	46.13	5.60
50	876.67	100.60	1.60	488.50	44.28	5.40
100	1,002.88	100.80	1.80	575.80	42.59	5.20
200	1,136.12	101.00	2.00	670.00	41.03	5.00
500	1,322.03	101.20	2.20	804.70	39.13	4.80
1000	1,472.70	101.40	2.40	916.10	37.79	4.60
10,000	2,028.93	102.10	3.10	1,340.90	33.91	3.90
PMF	4,676.96	104.20	5.20	3,857.10	17.53	1.80

หมายเหตุ : ระดับน้ำเริ่มต้นเท่ากับ +99.0 ม.รทก.

ระดับสันฝายอาคารระบายน้ำล้น เท่ากับ +99.0 ม.รทก. ความยาวสันอาคารระบายน้ำล้น เท่ากับ 110 ม.

ระดับสันเขื่อนดินปิดเขาดำแห่งที่ 2 เท่ากับ +102.7 ม.รทก. ความยาวเขื่อนปิดเขาดำแห่งที่ 2 เท่ากับ 255 ม.

กรณีที่ต้องการควบคุมระดับน้ำสูงสุดของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานในช่วงรองรับปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ไม่ให้เกินค่าระดับที่ออกแบบไว้ +102.65 เมตร (รทก.) เพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อนและพื้นที่ด้านท้ายน้ำ สามารถดำเนินการได้ 2 วิธี ดังนี้

1) **มาตรการไม่ใช่สิ่งก่อสร้าง** โดยทำการพร่องน้ำหรือลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน เพื่อเพิ่มปริมาตรความจุสำรองไว้รองรับปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่า ต้องลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงจากระดับเก็บกักปกติ +99.00 เมตร (รทก.) ลดลง 17 เมตร เพื่อให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงมาอยู่ที่ +82.00 เมตร (รทก.) ซึ่งจะทำให้มีระดับน้ำหลากสูงสุดอยู่ที่ +102.60 เมตร (รทก.) มีระดับน้ำสูงกว่าสันอาคารระบายน้ำล้น 3.60 เมตร และคงเหลือระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) 3.40 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

2) **มาตรการใช้สิ่งก่อสร้าง** โดยทำการปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้น เพื่อเพิ่มความยาวสันอาคารระบายน้ำล้นจากเดิม 110 เมตร ให้มียาวสันอาคารระบายน้ำล้นขนาด 280 เมตร (เพิ่มขึ้น 180 เมตร) ซึ่งจะทำให้มีระดับน้ำหลากสูงสุดอยู่ที่ +102.60 เมตร (รทก.) มีระดับน้ำสูงกว่าสันอาคารระบายน้ำล้น 3.60 เมตร และคงเหลือระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) 3.40 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ดังแสดงผลวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากสูงสุดผ่านอาคารระบายน้ำล้นและผ่านเขื่อนปิดเขาดำแห่งที่ 2

รอบปีของการเกิด (ปี)	ปริมาณการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำสูงสุด (ม.รทก.)	ระดับรองรับน้ำหลาก (Surcharge) (ม.)	ปริมาณการไหลออกสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการลดลงของปริมาณการไหลออกสูงสุด (%)	ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) (ม.)
2	345.42	99.50	0.50	230.80	33.18	6.50
5	496.65	99.70	0.70	354.20	28.68	6.30
10	606.75	99.80	0.80	446.70	26.38	6.20
25	756.86	100.00	1.00	575.50	23.96	6.00
50	876.67	100.10	1.10	680.10	22.42	5.90
100	1,002.88	100.20	1.20	791.80	21.05	5.80
200	1,136.12	100.30	1.30	910.80	19.83	5.70
500	1,322.03	100.50	1.50	1,079.00	18.38	5.50
1000	1,472.70	100.60	1.60	1,216.30	17.41	5.40
10,000	2,028.93	101.00	2.00	1,731.40	14.66	5.00
PMF	4,676.96	102.60	3.60	4,254.20	9.04	3.40

หมายเหตุ : ระดับสันฝายอาคารระบายน้ำล้นเท่ากับ +99.0 ม.รทก.

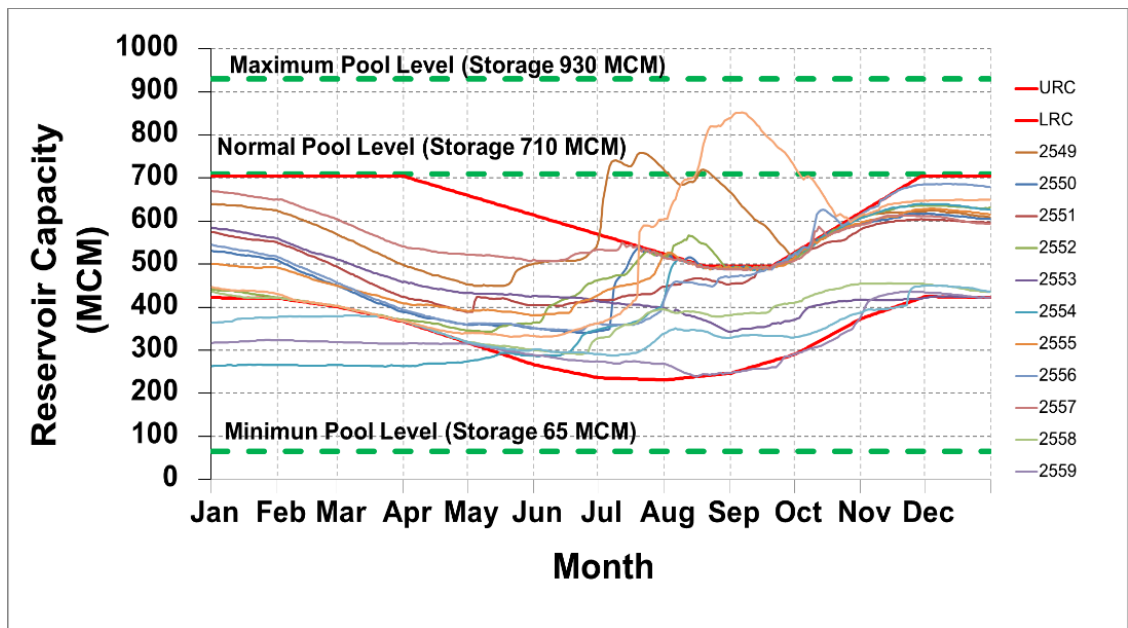
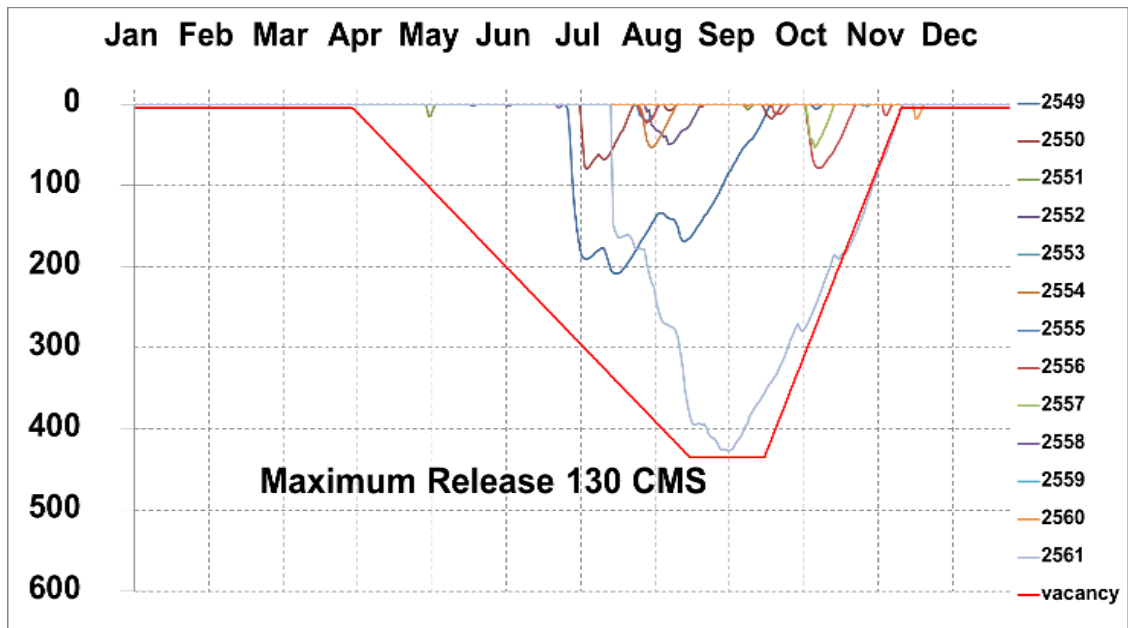
ระดับน้ำสูงสุดเท่ากับ +102.65 ม.รทก. ระดับน้ำสันเขื่อนเท่ากับ +106.0 ม.รทก.

เพิ่มความยาวสันอาคารระบายน้ำล้นจาก 110 ม. เป็น 280 ม.

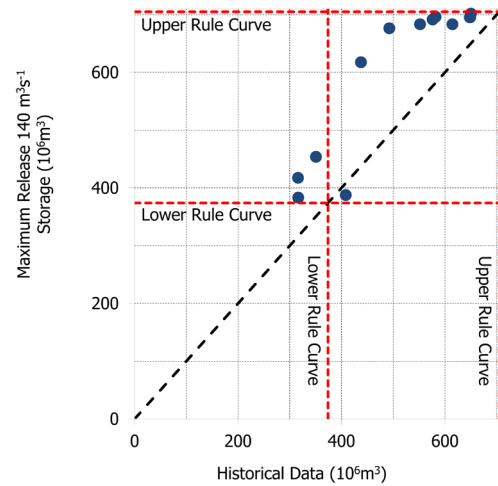
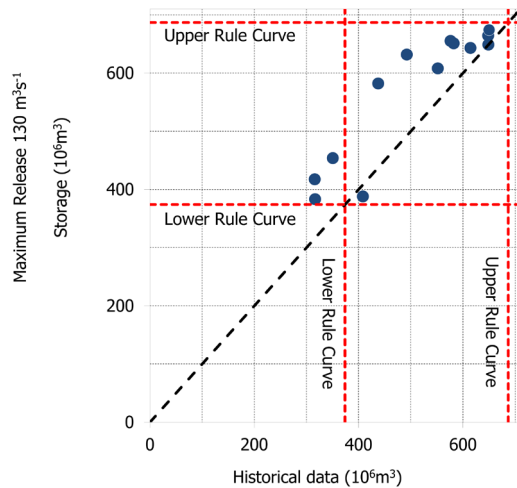
3.7 เกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก

การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำตัวบน (Upper Rule Curve) ที่สร้างมาจากการคำนวณช่องว่างที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการป้องกันน้ำท่วม (Vacancy Requirement Rule Curve) ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุด เท่ากับ 130 140 และ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยที่ อัตราการระบายน้ำสูงสุด เท่ากับ 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นอัตราการระบายที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย อัตราการระบายน้ำสูงสุด เท่ากับ 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นอัตราการระบายที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายบางส่วน และอัตราการระบายน้ำสูงสุด เท่ากับ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นอัตราการระบายที่รองรับแผนพัฒนาก่อสร้างคลองระบายน้ำ D1 จังหวัดเพชรบุรี ของกรมชลประทานในอนาคต

การจำลองใช้ข้อมูลรายวัน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำฝน ของเขื่อนแก่งกระจาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2561 รวม 13 ปี โดยกำหนดปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ คงที่ในทุกปี จากข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำที่กรมชลประทานวางแผนใช้ในปี พ.ศ. 2561 เพื่อการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วย Vacancy Rule Curve ที่อัตราการระบายน้ำทั้ง 3 ค่า มีผลต่อการป้องกันน้ำท่วมและมีผลต่อปริมาณน้ำเก็บกักในท้ายฤดูมรสุม (1 พฤศจิกายน ของทุกปี) อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานด้วย Vacancy Rule Curve พบว่า หากระบายน้ำที่อัตราการระบายน้ำ เท่ากับ 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ไม่มีการระบายน้ำเกินอัตราการระบายน้ำ ปริมาณเก็บกักไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ ดังภาพที่ 3-12 และปริมาณเก็บกักท้ายฤดูมรสุมมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังภาพที่ 3-13 ก) ที่อัตราการระบายน้ำ 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ไม่มีการระบายน้ำเกินอัตราการระบายน้ำ ปริมาณเก็บกักไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ ดังภาพที่ 3-14 แต่จะส่งผลให้มีน้ำบางส่วนเอ่อล้นเข้าท่วมพื้นที่ชุมชนที่ตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำ โดยเฉพาะช่วงเขตที่ติดกับแม่น้ำเพชรบุรี ในอำเภอแก่งกระจาน อำเภอบ้านลาด และอำเภอยายาย ทั้งนี้ปริมาณน้ำเก็บกักในท้ายฤดูมรสุม มีแนวโน้มสูงกว่าระดับเก็บกักปกติทุกปี ดังภาพที่ 3-13 ข)

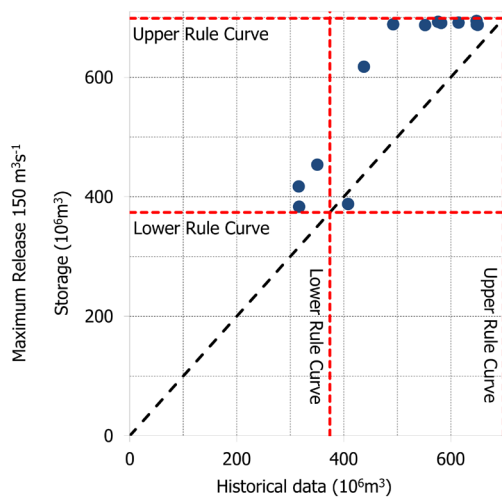


ภาพที่ 3-12 การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ
Vacancy Requirement ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุดไม่เกิน 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



ก) อัตราระบายน้ำสูงสุด 130 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

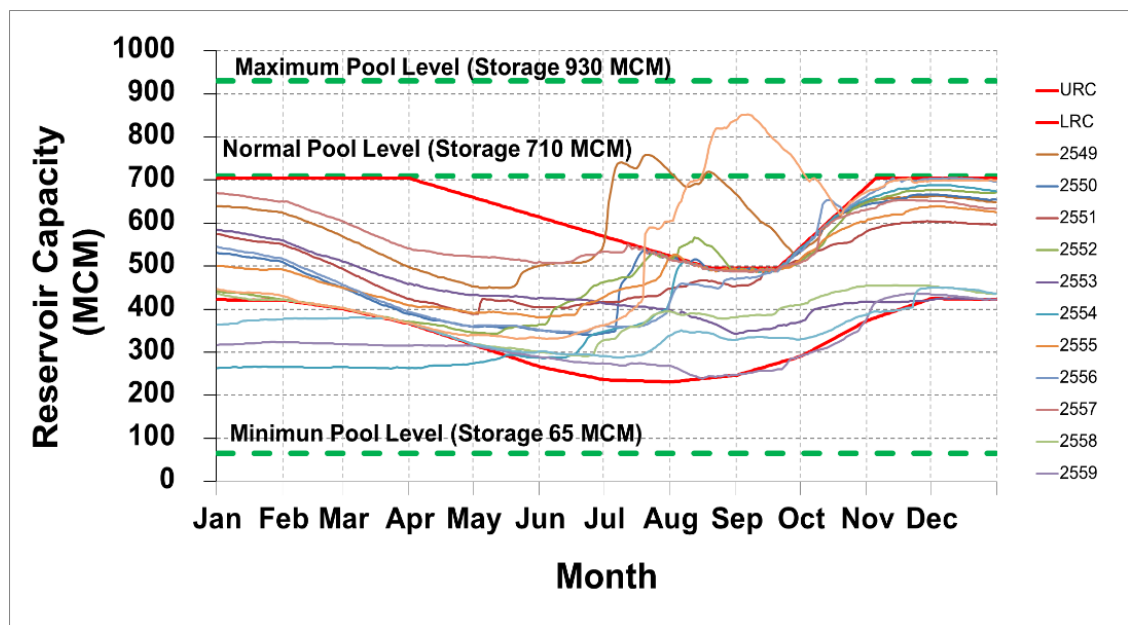
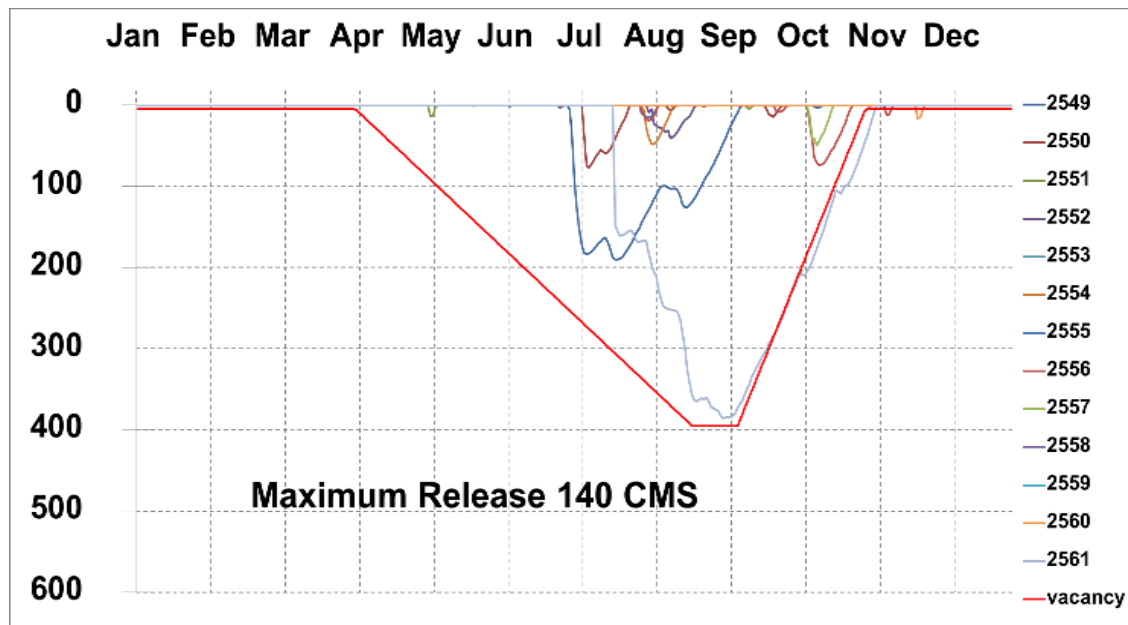
ข) อัตราระบายน้ำสูงสุด 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



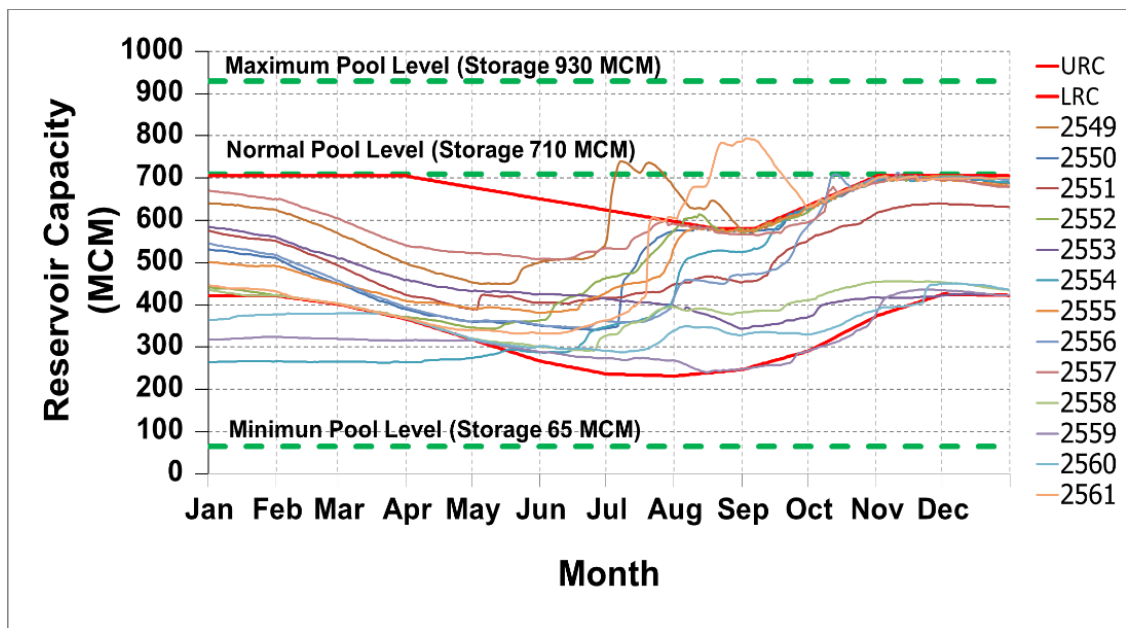
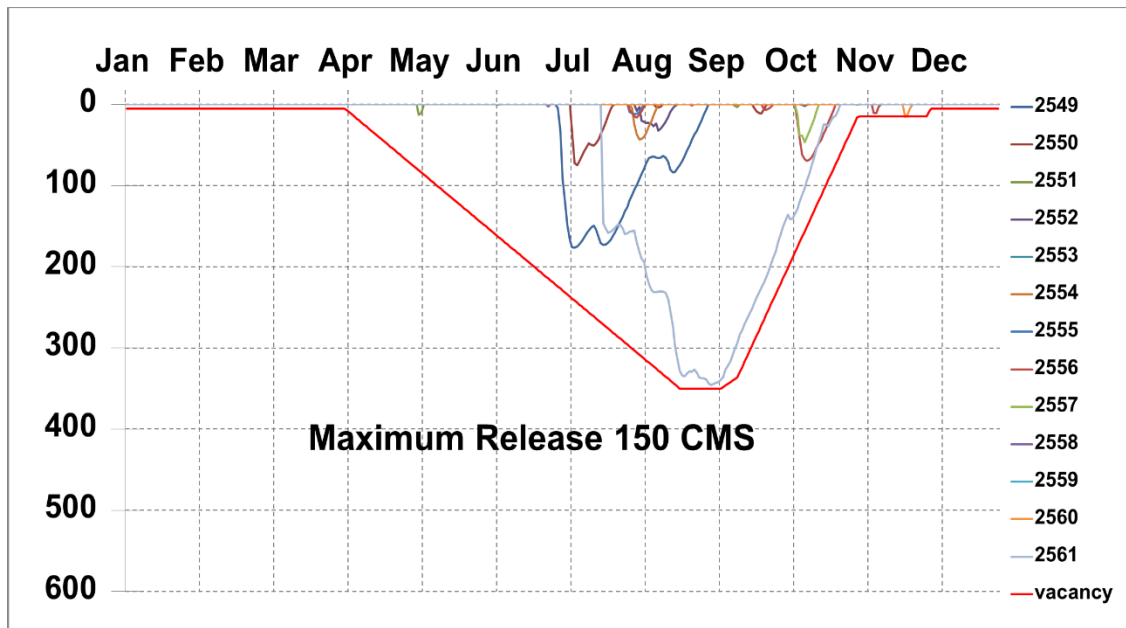
ค) อัตราระบายน้ำสูงสุด 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ภาพที่ 3-13 ความสัมพันธ์ของปริมาตรเก็บกักช่วงท้ายฤดูฝน จากการจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ
เขื่อนแก่งกระจาน

ซึ่งในกรณีอนาคต หากกรมชลประทานได้ดำเนินการปรับปรุงการระบายน้ำตามแผนงานการบรรเทา
อุทกภัยพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนล่างแล้ว การระบายน้ำจากเขื่อนแก่งกระจานจะสามารถปรับเกณฑ์การระบาย
สูงสุดได้มากขึ้น อาทิเช่น หากยอมให้ระบายน้ำในอัตราการระบายน้ำที่ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะไม่มี
การระบายน้ำเกินอัตราการระบายน้ำ ดังภาพที่ 3-15 และปริมาณน้ำเก็บกักในท้ายฤดูมรสุม มีแนวโน้มมากกว่า
ระดับเก็บกักปกติทุกปี ดังภาพที่ 3-13 ค) ส่งผลให้มีปริมาณน้ำเก็บกักไว้ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถ
บรรเทาภัยแล้งและสามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทาน เพื่อเพิ่มผลิตของเกษตรกรในพื้นที่ได้ไม่มากนักน้อย จาก
แบบจำลองพบว่า ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ เมื่อสามารถระบายน้ำได้สูงสุด 150 ลบ.ม./วินาที ท้ายฤดู
มรสุมมีแนวโน้มมากกว่าปริมาณน้ำเก็บกัก 140 และ 130 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 3-14 การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ
Vacancy Requirement ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุดไม่เกิน 140 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 3-15 การจำลองการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ด้วยเส้นปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ
Vacancy Requirement ที่อัตราการระบายน้ำสูงสุดไม่เกิน 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

4 สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

สรุปผล

ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทำพายุฝนมากที่สุด (The Local Storm Maximization Method) วิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน (The Storm Transposition Method) และวิธีรูปแบบทั่วไป (The Generalized Method) พบว่า วิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน (The Storm Transposition Method) ให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้สูงกว่าทั้ง 2 วิธี และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่เคยประเมินไว้ของเขื่อนต่าง ๆ ในประเทศ จากรายงานของ FAO (2000) พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้มีค่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในอดีตของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการนี้ในการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP)

ผลการวิเคราะห์พายุฝนในคาบ 65 ปี พ.ศ. 2494-2558 จำนวน 190 ลูก ทั้งในด้านเส้นทางพายุ ขอบเขตอิทธิพลของพายุ และปริมาณฝน งานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาพายุที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย ภาคใต้และภาคตะวันตก ซึ่งผลการวิเคราะห์พายุฝนสูงสุด 10 อันดับแรกในพื้นที่ตอนล่างของประเทศไทย เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ในการประเมินค่า PMP ของพื้นที่อื่น ๆ ของประเทศไทย ภาคใต้และภาคตะวันตกได้

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ของเขื่อนแก่งกระจาน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีต พบว่า ค่า PMF ที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษา PMF ในอดีต และเมื่อนำค่า PMF ที่ได้จากงานวิจัยนี้มาหารด้วยพื้นที่รับน้ำฝนเพื่อคำนวณเป็นค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unit Peak Discharge) และนำมาพล็อตลงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่และพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งพัฒนาจากข้อมูล PMF ของโครงการเขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่ต่าง ๆ ในประเทศไทย จำนวน 43 แห่ง จากรายงาน FAO (2000) ดังแสดงได้ในภาพที่ 3-10 พบว่า ค่า PMF ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ในค่า Unit Peak Discharge อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสม

ผลการตรวจสอบความสามารถของอาคารระบายน้ำล้น ในปัจจุบันสามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ถึงรอบปีการเกิดซ้ำ 10,000 ปี โดยระดับน้ำสูงสุดไม่เกินกว่าระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อนออกแบบไว้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ค่า PMF พบว่า อาคารระบายน้ำล้นในปัจจุบันมีความสามารถไม่เพียงพอที่ควบคุมระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำไม่ให้สูงเกินกว่าระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อนได้ออกแบบไว้ และทำให้คงเหลือระยะจากระดับน้ำหลากสูงสุดถึงระดับสันเขื่อน (Dry Freeboard) เพียง 1.30 เมตร เพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อนและพื้นที่ด้านท้ายน้ำ สามารถดำเนินการได้ 2 วิธี เพื่อลดระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ มาตรการไม่ใช้สิ่งก่อสร้างโดยทำการพร่องน้ำหรือลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน เพื่อเพิ่มปริมาตรความจุสำรองไว้รองรับ PMF โดยต้องลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงจากระดับเก็บกักปกติ +99.00 เมตร (รทก.) ลดลง 17 เมตร เพื่อให้

ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงมาอยู่ที่ +82.00 เมตร (รทก.) และมาตรการใช้สิ่งก่อสร้าง โดยทำการปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้น เพื่อเพิ่มความยาวสันอาคารระบายน้ำล้นจากเดิม 110 เมตร ให้มียาวสันอาคารระบายน้ำล้นขนาด 280 เมตร (เพิ่มขึ้น 180 เมตร) ซึ่งจะทำให้มีระดับน้ำหลากสูงสุดอยู่ที่ +102.60 เมตร (รทก.)

การศึกษาเกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก ด้วยเทคนิค Vacancy Requirement Rule Curves (VRRC) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมต่อการป้องกันน้ำท่วม เมื่อจำลองสถานการณ์ระบายน้ำที่อัตราการระบายน้ำ เท่ากับ 130 140 และ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ด้วยเทคนิค VRRC พบว่าการจำลองสถานการณ์ระบายน้ำทั้ง 3 แบบ ให้ผลใกล้เคียงกัน โดยอัตราการระบายน้ำไม่เกินอัตราการระบายน้ำที่กำหนด ปริมาณเก็บกักไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ และมีความเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในฤดูแล้งปีถัดไป อีกทั้งปริมาณน้ำเก็บกักหลังฤดูมรสุมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ และมากกว่าปริมาณน้ำเก็บกักในปีปกติ จากการใช้ VRRC สามารถสรุปได้ว่ามีความสามารถในการป้องกันน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำและมีความเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในปีถัดไป

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงเกณฑ์การบริหารอ่างเก็บน้ำดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อความเพียงพอและผลประโยชน์ด้านการใช้น้ำเพื่อการเกษตรสำหรับพื้นที่ท้ายน้ำบางส่วน ทั้งนี้การเพิ่มระดับความสามารถระบายน้ำในช่วงเกิดอุทกภัยให้สามารถระบายน้ำได้มากขึ้น หรือกล่าวได้ว่า ยอมให้พื้นที่ด้านท้ายน้ำบางส่วนเสียหายได้บ้างจะส่งผลต่อปริมาณน้ำเก็บกักสำหรับฤดูแล้งในปีถัดไป ซึ่งในอนาคตหากกรมชลประทานได้ดำเนินการปรับปรุงการระบายน้ำตาม แผนงานการบรรเทาอุทกภัยลุ่มน้ำเพชรบุรีแล้ว การระบายน้ำจากเขื่อนแก่งกระจานจะสามารถปรับเกณฑ์การระบายสูงสุดในช่วงระหว่างอุทกภัยได้มากขึ้น ต้องมีการสร้างโค้งปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำใหม่ ให้ระบายน้ำในช่วงน้ำหลากได้มากขึ้น ส่งผลให้มีการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น

รูปแบบที่เหมาะสมในการบริหารจัดการน้ำในช่วงก่อนฤดูฝนและในฤดูฝน ด้วยกฎปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากเทคนิค Vacancy Requirement Rule Curves (VRRC) มีความเหมาะสมต่อการป้องกันน้ำท่วมโดยตรง โดยสามารถป้องกันน้ำท่วม ทำให้การระบายน้ำไม่มากกว่าปริมาณที่ยอมรับได้ และมีความเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในฤดูแล้งปีถัดไป จากการใช้ VRRC สามารถสรุปได้ว่าการสามารถในการป้องกันน้ำท่วมบริเวณท้ายน้ำและไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำเพิ่มขึ้นจากปีปกติ

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ผลการวิจัยในการบริหารจัดการเขื่อนแก่งกระจานในช่วงฤดูน้ำหลากจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อมีระบบคาดการณ์และการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำล่วงหน้าได้ที่ดี เพื่อให้สามารถประเมินได้ว่าปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำมีความรุนแรงในลำดับใดเป็นปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำเท่าไร หรือเป็นปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ซึ่งจะช่วยให้ทางกรมชลประทาน ตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำในเขื่อนได้เหมาะสม

2. งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) จากข้อมูลพายุฝนในอดีตที่มีการบันทึกไว้ว่าได้ที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยจากกรมอุตุนิยมวิทยา ในกรณีที่ข้อมูลพายุฝนในพื้นที่ประเทศเพื่อนบ้านข้างเคียงมาใช้ในการวิเคราะห์พายุฝนและประเมินค่า PMP และนำค่าเปรียบเทียบกับ PMP ที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะทำให้ทราบค่า PMP ที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณฝนในอนาคตของประเทศไทย จึงควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศว่ามีผลต่อค่าปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMP) อย่างไร รวมทั้งทำการวิเคราะห์ให้ทราบถึงปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ที่เปลี่ยนแปลงไปว่าจะส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการเขื่อนแก่งกระจานอย่างไรในอนาคต

4. การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนหรือน้ำท่า มีความสำคัญมาก เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ หากพัฒนาต่อในลักษณะที่ทำให้สามารถเลือกใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ปรับเปลี่ยนไปตามผลการพยากรณ์ (Dynamic Rule Curve) จะทำให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งในด้านการป้องกันน้ำท่วม และด้านการเก็บกักน้ำสำหรับประโยชน์ด้านอื่น ๆ โดยในปีแล้ง ก็จะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปีที่มีปริมาณฝนมากกว่าปกติ หน่วยงานที่ทำหน้าที่บริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ สามารถระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าก่อนเกิดเหตุการณ์วิกฤตได้ ทั้งนี้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจากเทคนิค VRRRC สามารถนำไปใช้ร่วมกับ Dynamic Rule Curve ได้ โดยอาจจะเลือกใช้ใช้งาน VRRRC ในปีที่มีความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัยสูง และใช้เกณฑ์ปกติเมื่อปริมาณฝนอยู่ในช่วงปริมาณปกติ

5. จากผลการศึกษาที่ได้ มีข้อเสนอแนะในการประเมินการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแก่งกระจานในเรื่องของต้นทุน และผลประโยชน์จากการบริหารเขื่อนด้วย VRRRC และกฎปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม โดยต้นทุนที่เกิดจากการลดลงของปริมาตรเก็บกักในท้ายฤดูฝนเฉลี่ยนั้นสามารถพิจารณาตามมูลค่าของน้ำเพื่อการเกษตรที่จะลด

6. หากเป็นไปได้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกณฑ์ปฏิบัติการ Dynamic Rule Curve ในการจัดการบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจาน ร่วมกับเกณฑ์ปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำเดิม เพื่อบริหารจัดการน้ำให้มีความยืดหยุ่นและสอดคล้องกับสถานการณ์ในแต่ละปี โดยใช้ข้อมูล ณ ปัจจุบัน เป็นเครื่องมือเพื่อให้การบริหารจัดการน้ำมีความแม่นยำยิ่งขึ้น และลดความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัยมากยิ่งขึ้น รวมถึงการคาดการณ์ผลผลิต อีกทั้งยังเป็นฐานข้อมูลด้านชนิดพืช รูปแบบการเพาะปลูก และปฏิทินการเพาะปลูก ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับเจ้าหน้าที่ในการคำนวณการจัดสรรน้ำให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมอุตุนิยมวิทยา จัดทำโดย วิรัช มณีสสาร. 2538. ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศตามฤดูกาลของภาคต่างๆ ในประเทศไทย. เอกสารวิชาการเลขที่ 551.582-02-2538, ISBN : 974-7567-25-3, กันยายน 2538. ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กรมอุตุนิยมวิทยา จัดทำโดย วิรัช มณีสสาร. 2538. สถิติองค์ประกอบอุตุนิยมวิทยาของภาคต่าง ๆ ในประเทศไทย คำนวณ 30 ปี (พ.ศ.2504-2533). เอกสารวิชาการเลขที่ 551.582-03-2538, ISBN : 974-7567-24-5, กันยายน 2538. ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2555. ความรู้อุตุนิยมวิทยา: ภูมิอากาศของประเทศไทย. เผยแพร่ที่ <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22>. นำมาใช้เมื่อ 15 กรกฎาคม 2557.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2557. พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประเทศไทย รายเดือน คำนวณ 63 ปี (พ.ศ.2494-2556). ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. 2557. ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation). เอกสารประกอบการบรรยายโครงการปริญญาโทภาคพิเศษ ปีการศึกษา 2556 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 24 หน้า.
- วีระพล แต่สมบัติ. 2544. รายงานการวิจัยศักยภาพการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนด้วยอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลาง. สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 249 น.
- ปรีชา สุขกล่ำ. 2533. ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ สำหรับการออกแบบทางน้ำล้นของเขื่อนเก็บกักน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- เกื้อศักดิ์ ทาทอง. 2540. การศึกษาลักษณะของพายุฝนในภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- จิตติมา เนตรวงษ์. 2546. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประมาณค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- คณะทำงานจัดทำแผนการบริหารจัดการเขื่อนเก็บกักน้ำหลักและการจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำของประเทศ. 2555. รายงานการปรับปรุงเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำประจำปี 2555. 50 หน้า
- ทองเปลว กองจันทร์. 2546. ขบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำกรณีศึกษาในลุ่มน้ำมูลตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บัญชา ขวัญยืน. 2541. การวิเคราะห์ระบบเพื่อการวางแผนและการจัดการโครงการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

- บัญชา ขวัญยืน. และคณะ. 2556. การพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างการบริหารงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เพื่อรองรับความแปรปรวนของฝน. ใน แบบเสนอโครงการวิจัยประกอบการเสนอของบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ตามมติคณะรัฐมนตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม
- บุญลือ คงชอบ. 2546. การจัดการน้ำโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธวัชชัย ดิงสัญสี และเลอศักดิ์ รุ่งตระกูลไพบุลย์. 2550. การพัฒนาระบบการจัดการสภาวะน้ำท่วมในลุ่มโดยการบริหารอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมและการพยากรณ์เตือนภัย ณ เวลาจริง. รายงานการวิจัย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.).
- ประเสริฐ ลำภากร. 2553. การจำลองการบริหารจัดการอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำวังด้วยแบบจำลองอินโฟเวิร์คอาร์เอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ธีรยุทธ อัสวเมธิน. 2544. การวิเคราะห์การบริหารอ่างเก็บน้ำบางพระ หนองค้อ หนองปลาไหล และดอกกรายโดยโปรแกรมสเปรดชีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภานุวัฒน์ ปิ่นทอง. 2546. การใช้เกณฑ์แบบฟuzzyจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.อ้างถึง บัญชา ขวัญยืน. 2541. การวิเคราะห์ระบบเพื่อวางแผนและการจัดการโครงการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.อ้างถึง วราวุธ วุฒิวิณชัย. 2539. การคำนวณ Eto ของประเทศไทยโดยวิธี Penman – Monteith. วิศวกรรมสารมก. 10(20): 91 – 105. อ้างถึง วีระพล แต่สมบัติ 2538. เอกสารประกอบการสอนวิชาอุทกวิทยาขั้นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ..
- วราวุธ วุฒิวิณชัย. 2538. การจัดการน้ำขั้นสูง เล่มที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- วราวุธ วุฒิวิณชัย. 2539. อุทกวิทยาประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- วราวุธ วุฒิวิณชัย. 2554. การวิเคราะห์ทางสโตแคสติกสำหรับระบบทางชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- Boonyasirikul, T. 2000. Optimal Operation Policy for Real-Time Reservoir Management. pp. WAR 61-66. In Proceeding of the 6th National Conference on Civil Engineering. The Engineering Institute of Thailand under H. M. The King Patronage, Thailand

- Budhakooncharoen, S. 1990. Interactive Multi-Objective Decision Making in Reservoir Operation. Doctoral Dissertation. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Electricity Generation Authority of Thailand. 1989. Basic Data of Dam Including Maximum Design Flood and Criteria for Flood Routing. Report. Applied Hydrology and Research Section Meteorology and Hydrology Division Survey and Ecology Department.
- FAO. 2000. Report on Dam Safety under Natural Resources Management Project for Bhumibol Dam, Sirikit Dam, Kiu Lom Dam, ThapSalao Dam, Pasak Dam. Dam Safety Review Panel, Bangkok.
- Hall, W. A. and N. Buras. 1961. The Dynamic Programming Approach to Water Resources Development. *Journal of Geophysical Research*. 66 (2) : 517-520.
- Hashimoto, T., J.R. Stedinger and D.P. Loucks. 1982. Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation. *Water Resources Research*. 18 (1) : 14-20
- Huang, W-C. 1989. Multi-Objective Decision Making in the On-Line Operation of a Multipurpose Reservoir. Doctoral Dissertation. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Labadie, J. W., 2004. Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. *Journal of Water Resource Planning and Management*. 130(2): 93-111.
- Liu, P., J. Zhao, L. Li and Y. Shen. 2012. Optimal Reservoir Operation Using Stochastic Dynamic Programming. *Journal of Water Resource and Protection*. 4 : 342-345.
- Murray, D. J. and C. J. Perry. 1999. New Directions in Water Research : IWMI at the Threshold of the Twenty-first Century. *J. of Water Resources Development*. 15 (1/2) : 5-16.
- Molden, D. 1997. Accounting for Water Use and Productivity. SWIM Paper 1: Int. Water Management Institute, Columbo, Sri Lanka. 16 p.
- Nagano, T., Y. Ueno, A. Kotera, C. Wattanakarn, K. Kawsard, T. Sukhapunphan, S. Koontanakulvong. 2016. Visualizing submergence risk of field crops in the middle reach of Chao Phraya Delta. pp. 1017-1025. In *Proceeding of the 2nd World Irrigation Forum (WIF2)*. 6-8 November 2016, The International Commission on Irrigation and Drainage. Chiang Mai, Thailand.

- Satoh, M. 1978. Analysis of Operation Rules and Procedures for Flood Control at Multipurpose Reservoirs in Japan -Releases in advance of flood at multipurpose reservoirs (I). Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering. 76: 45-53
- Satoh, A. Kawabota, V. Vudhivanich, B. Kwanyuen and N. Cherdchanpipat. 2003. Development of Operation Rule for Multipurpose Reservoirs to Secure Water in Mae Klong River Basin, Thailand. Transactions of The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering. 228: 17-24
- Sumi, T. and Kantoush, S.A. 2010. Integrated Management of Reservoir Sediment Routing by Flushing, Replenishing, and Bypassing Sediments in Japanese River Basins, pp. 831-838, In Proceedings of the 8th International Symposium on Ecohydraulics. 12-16 September, Korea Institute of Construction Technology. Seoul, Korea.
- Sveinsson, O.G.B., J.D. Salas, W.L. Lane and D.K. Frevert. 2007. Stochastic Analysis Modeling, and Simulation (SAMS) Version 2007. Computing Hydrology Laboratory Department of Civil and Environmental Engineering. Colorado University, Colorado.
- Thepprasit, C. 2012. Watershed Runoff Prediction, Streamflow Analysis and River Modeling in The Chao Phraya River Basin. D.E. Thesis, Kasetsart University.
- U.S. Department of Commerce Environmental Science Services Administration and U.S. Department of the Army, Corps of Engineers. 1970. Probable Maximum Precipitation, Mekong River Basin. Hydrometeorological Report NO.46.152 pages.
- USACE. 2000. Technical Reference Manual Hydrologic Modeling System HEC-HMS. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, USA.
- WachiraSarmwung. 2000. Generalized Estimates of Probable Maximum Precipitation for the Eastern Part of Thailand. AIT Thesis No.WM-99-09, Asian Institute of Technology School of Civil Engineering Bangkok, Thailand.
- Wei, C.C. and N.S. Hsu. 2008. Multireservoir Real-time Operations for Flood Control Using Balanced Water Level Index Method. Journal of Environmental Management. 88 : 1624-1639
- World Meteorological Organization. 1986. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Operation Hydrology Report No.1, WMO-No.332. 269 pages. World

Meteorological Organization. 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No.1045. 257 pages.

Yakowitz, S. 1982. Dynamic Programming Applications in Water Resources. Water Resource Research. 18(4): 673-696.

Yeh, W. W-G. 1985. Reservoir Management and Operation Models: a State of the Art Review. Water Resources Research. 21 (12) : 1797-1818.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย

ตารางที่ ก-1 การเกิดพายุหมุนเขตร้อน แหล่งกำเนิด และอิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558

รหัสพายุ	ชื่อพายุ	วันที่เข้าสู่ประเทศไทย			แหล่งกำเนิดของพายุ	อิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
		วันที่	เดือน	ปี พ.ศ.		
001	พายุดีเปรสชัน	21 - 24	กรกฎาคม	2494	1	ตอนบน
002	พายุดีเปรสชัน	3 - 9	กันยายน	2494	1	ตอนบน
003	พายุไต้ฝุ่น LOUISE (5210)	25 - 30	สิงหาคม	2495	1	ตอนบน
004	พายุไต้ฝุ่น NORA (5212)	3 - 8	กันยายน	2495	1	ตอนบน
005	พายุโซนร้อน SHIRLEY (5216)	15 - 19	ตุลาคม	2495	1	ตอนใต้
006	พายุไต้ฝุ่น VAE (5218)	16 - 24	ตุลาคม	2495	1	ตอนบน
007	พายุไต้ฝุ่น TRIX (5217)	19 - 26	ตุลาคม	2495	1	ตอนบน
008	พายุไต้ฝุ่น WILMA (5219)	26 - 31	ตุลาคม	2495	1	ตอนบน
009	พายุดีเปรสชัน	14 - 20	มิถุนายน	2496	1	ตอนบน
010	พายุไต้ฝุ่น NANCY (5416)	6 - 12	ตุลาคม	2497	1	ตอนบน
011	พายุดีเปรสชัน	17 - 18	กันยายน	2498	1	ตอนบน
012	พายุโซนร้อน (56XX)	12 - 14	พฤศจิกายน	2499	1	ตอนใต้
013	พายุดีเปรสชัน	5 - 7	ตุลาคม	2500	1	ตอนบน
014	พายุดีเปรสชัน	1 - 5	กรกฎาคม	2501	1	ตอนบน
015	พายุดีเปรสชัน	24 - 30	สิงหาคม	2501	1	ตอนบน
016	พายุดีเปรสชัน	6 - 9	กันยายน	2501	1	ตอนบน
017	พายุดีเปรสชัน	19 - 21	ตุลาคม	2501	1	ตอนใต้
018	พายุดีเปรสชัน	22 - 25	กันยายน	2502	1	ตอนบน
019	พายุดีเปรสชัน	1 - 7	ตุลาคม	2502	1	ตอนใต้
020	พายุโซนร้อน GRORIA (60XX)	1 - 6	กันยายน	2503	1	ตอนบน
021	พายุดีเปรสชัน	30 - 8	ตุลาคม	2503	1	ตอนบน
022	พายุดีเปรสชัน	26 - 28	พฤศจิกายน	2503	1	ตอนใต้
023	พายุดีเปรสชัน	11 - 13	เมษายน	2504	1	ตอนใต้
024	พายุดีเปรสชัน	7 - 9	พฤษภาคม	2504	1	ตอนบน
025	พายุดีเปรสชัน	26 - 29	พฤษภาคม	2504	2	ตอนบน
026	พายุดีเปรสชัน	18 - 22	สิงหาคม	2504	1	ตอนบน
027	พายุโซนร้อน WILDA (6125)	9 - 14	ตุลาคม	2504	1	ตอนบน
028	พายุดีเปรสชัน	15 - 22	ตุลาคม	2504	1	ตอนบน
029	พายุดีเปรสชัน	10 - 14	กรกฎาคม	2505	1	ตอนบน
030	พายุดีเปรสชัน	23 - 28	กันยายน	2505	1	ตอนบน
031	พายุโซนร้อน HARRIET (6225)	24 - 27	ตุลาคม	2505	1	ตอนใต้
032	พายุดีเปรสชัน	25 - 27	พฤศจิกายน	2505	1	ตอนใต้

ตารางที่ ก-1 การเกิดพายุหมุนเขตร้อน แหล่งกำเนิด และอิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

รหัสพายุ	ชื่อพายุ	วันที่เข้าสู่ประเทศไทย			แหล่งกำเนิดของพายุ	อิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
		วันที่	เดือน	ปี พ.ศ.		
033	พายุไต้ฝุ่น AGNES (6308)	18 - 28	กรกฎาคม	2506	1	ตอนบน
034	พายุดีเปรสชัน	2 - 7	กันยายน	2506	1	ตอนบน
035	พายุดีเปรสชัน	22 - 26	กันยายน	2506	1	ตอนบน
036	พายุดีเปรสชัน	1 - 8	ตุลาคม	2506	1	ตอนบน
037	พายุดีเปรสชัน	4 - 7	พฤศจิกายน	2506	1	ตอนใต้
038	พายุไต้ฝุ่น TILDA (6419)	13 - 25	กันยายน	2507	1	ตอนบน
039	พายุดีเปรสชัน	17 - 18	กันยายน	2507	1	ตอนบน
040	พายุโซนร้อน BILLIE (6422)	28 - 3	ตุลาคม	2507	1	ตอนบน
041	พายุโซนร้อน CLARA (6423)	3 - 11	ตุลาคม	2507	1	ตอนบน
042	พายุดีเปรสชัน	14 - 17	ตุลาคม	2507	1	ตอนบน
043	พายุโซนร้อน GEORGIA (6426)	20 - 26	ตุลาคม	2507	1	ตอนบน
044	พายุดีเปรสชัน	30 - 3	พฤศจิกายน	2507	1	ตอนใต้
045	พายุไต้ฝุ่น KATE (6430)	12 - 20	พฤศจิกายน	2507	1	ตอนใต้
046	พายุดีเปรสชัน	9 - 15	ธันวาคม	2507	1	ตอนใต้
047	พายุโซนร้อน NADINE (6519)	16 - 21	สิงหาคม	2508	1	ตอนบน
048	พายุดีเปรสชัน	26 - 30	สิงหาคม	2508	1	ตอนบน
049	พายุโซนร้อน POLLY (6521)	1 - 4	กันยายน	2508	1	ตอนบน
050	พายุไต้ฝุ่น ROSE (6522)	1 - 7	กันยายน	2508	1	ตอนบน
051	พายุดีเปรสชัน	9 - 11	กันยายน	2508	1	ตอนบน
052	พายุดีเปรสชัน	15 - 17	กันยายน	2508	1	ตอนใต้
053	พายุดีเปรสชัน	16 - 18	กันยายน	2508	1	ตอนใต้
054	พายุดีเปรสชัน	18 - 21	กันยายน	2508	1	ตอนใต้
055	พายุดีเปรสชัน	20 - 23	ธันวาคม	2508	1	ตอนใต้
056	พายุดีเปรสชัน	17 - 19	มิถุนายน	2509	1	ตอนบน
057	พายุดีเปรสชัน	30 - 2	ตุลาคม	2509	1	ตอนใต้
058	พายุดีเปรสชัน	18 - 26	ตุลาคม	2509	1	ตอนบน
059	พายุดีเปรสชัน	9 - 13	พฤศจิกายน	2509	1	ตอนบน
060	พายุดีเปรสชัน	27 - 29	พฤศจิกายน	2509	1	ตอนใต้
061	พายุดีเปรสชัน	8 - 13	ธันวาคม	2509	1	ตอนใต้
062	พายุโซนร้อน PATSY (6723)	3 - 8	กันยายน	2510	1	ตอนบน
063	พายุดีเปรสชัน	1 - 3	ตุลาคม	2510	1	ตอนบน
064	พายุดีเปรสชัน	2 - 12	ตุลาคม	2510	1	ตอนบน

ตารางที่ ก-1 การเกิดพายุหมุนเขตร้อน แหล่งกำเนิด และอิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

รหัสพายุ	ชื่อพายุ	วันที่เข้าสู่ประเทศไทย			แหล่งกำเนิดของพายุ	อิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
		วันที่	เดือน	ปี พ.ศ.		
065	พายุดีเปรสชัน	3 - 7	ตุลาคม	2510	1	ตอนใต้
066	พายุไต้ฝุ่น FREDA (6736)	9 - 12	พฤศจิกายน	2510	1	ตอนบน
067	พายุโซนร้อน ROSE (6808)	9 - 15	สิงหาคม	2511	1	ตอนบน
068	พายุดีเปรสชัน	17 - 20	สิงหาคม	2511	1	ตอนบน
069	พายุโซนร้อน HESTER (6820)	17 - 23	ตุลาคม	2511	1	ตอนใต้
070	พายุไต้ฝุ่น NINA (6826)	22 - 30	พฤศจิกายน	2511	1	ตอนใต้
071	พายุดีเปรสชัน	23 - 25	มิถุนายน	2512	1	ตอนบน
072	พายุไต้ฝุ่น TESS (6904)	8 - 13	กรกฎาคม	2512	1	ตอนบน
073	พายุไต้ฝุ่น DOLIS (6910)	1 - 5	กันยายน	2512	1	ตอนบน
074	พายุดีเปรสชัน	17 - 22	กันยายน	2512	1	ตอนบน
075	พายุดีเปรสชัน	28 - 30	ตุลาคม	2512	1	ตอนใต้
076	พายุดีเปรสชัน	31 - 4	พฤศจิกายน	2512	1	ตอนใต้
077	พายุดีเปรสชัน	16 - 21	สิงหาคม	2513	1	ตอนบน
078	พายุดีเปรสชัน	3 - 7	กันยายน	2513	1	ตอนบน
079	พายุดีเปรสชัน	23 - 1	กันยายน	2513	1	ตอนบน
080	พายุไต้ฝุ่น KATE (7020)	17 - 28	ตุลาคม	2513	1	ตอนบน
081	พายุโซนร้อน LOUISE (7021)	26 - 2	ตุลาคม	2513	1	ตอนใต้
082	พายุโซนร้อน NORA (7023)	1 - 5	พฤศจิกายน	2513	1	ตอนใต้
083	พายุโซนร้อน RUTH (7026)	26 - 2	พฤศจิกายน	2513	1	ตอนใต้
084	พายุไต้ฝุ่น HARRIET (7112)	2 - 8	กรกฎาคม	2514	1	ตอนบน
085	พายุโซนร้อน KIM (7115)	9 - 15	กรกฎาคม	2514	1	ตอนบน
086	พายุไต้ฝุ่น DELLA (7130)	26 - 1	กันยายน	2514	1	ตอนบน
087	พายุดีเปรสชัน	15 - 18	ตุลาคม	2514	1	ตอนใต้
088	พายุดีเปรสชัน	2 - 6	มิถุนายน	2515	1	ตอนบน
089	พายุไต้ฝุ่น ELSIE (7217)	31 - 9	กันยายน	2515	1	ตอนบน
090	พายุไต้ฝุ่น FLOSSIE (7218)	9 - 21	กันยายน	2515	1	ตอนบน
091	พายุไต้ฝุ่น LORNA (7223)	30 - 4	ตุลาคม	2515	1	ตอนบน
092	พายุไต้ฝุ่น SALLY (7229)	1 - 10	ธันวาคม	2515	1	ตอนใต้
093	พายุไต้ฝุ่น ANITA (7302)	5 - 11	กรกฎาคม	2516	1	ตอนบน
094	พายุโซนร้อน JOAN (7311)	18 - 24	สิงหาคม	2516	1	ตอนบน
095	พายุดีเปรสชัน	22 - 24	กันยายน	2516	1	ตอนบน
096	พายุดีเปรสชัน	4 - 8	ตุลาคม	2516	1	ตอนใต้

ตารางที่ ก-1 การเกิดพายุหมุนเขตร้อน แหล่งกำเนิด และอิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

รหัสพายุ	ชื่อพายุ	วันที่เข้าสู่ประเทศไทย			แหล่งกำเนิดของพายุ	อิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
		วันที่	เดือน	ปี พ.ศ.		
097	พายุโซนร้อน SARAH (7319)	10 - 14	พฤศจิกายน	2516	1	ตอนใต้
098	พายุโซนร้อน THELMA (7320)	13 - 22	พฤศจิกายน	2516	1	ตอนใต้
099	พายุดีเปรสชัน	14 - 18	สิงหาคม	2517	1	ตอนบน
100	พายุดีเปรสชัน	8 - 13	ตุลาคม	2517	1	ตอนบน
101	พายุโซนร้อน FAYE (7427)	31 - 6	พฤศจิกายน	2517	1	ตอนบน
102	พายุโซนร้อน KIT (7432)	19 - 27	ธันวาคม	2517	1	ตอนใต้
103	พายุไซโคลน	5 - 9	พฤษภาคม	2518	2	ตอนบน
104	พายุดีเปรสชัน	6 - 11	กันยายน	2518	1	ตอนบน
105	พายุไต้ฝุ่น ALICE (7511)	17 - 22	กันยายน	2518	1	ตอนบน
106	พายุโซนร้อน CARLA (7710)	1 - 8	กันยายน	2520	1	ตอนบน
107	พายุดีเปรสชัน	10 - 13	พฤศจิกายน	2520	1	ตอนใต้
108	พายุโซนร้อน SHIRLEY (7805)	27 - 3	กรกฎาคม	2521	1	ตอนบน
109	พายุโซนร้อน BESS (7810)	7 - 14	สิงหาคม	2521	1	ตอนบน
110	พายุดีเปรสชัน	17 - 23	กันยายน	2521	1	ตอนบน
111	พายุไซโคลน KIT (7820)	21 - 29	กันยายน	2521	1	ตอนบน
112	พายุดีเปรสชัน	10 - 12	พฤศจิกายน	2521	1	ตอนใต้
113	พายุดีเปรสชัน	6 - 10	สิงหาคม	2522	1	ตอนบน
114	พายุโซนร้อน NANCY (7915)	15 - 26	กันยายน	2522	1	ตอนบน
115	พายุไซโคลน	17 - 21	พฤษภาคม	2523	2	ตอนบน
116	พายุดีเปรสชัน	5 - 8	กันยายน	2523	1	ตอนบน
117	พายุโซนร้อน RUTH (8015)	13 - 17	กันยายน	2523	1	ตอนบน
118	พายุดีเปรสชัน	12 - 19	พฤศจิกายน	2523	1	ตอนบน
119	พายุโซนร้อน FABIAN (8123)	11 - 17	ตุลาคม	2524	1	ตอนบน
120	พายุไซโคลน	3 - 5	พฤษภาคม	2525	2	ตอนบน
121	พายุโซนร้อน HOPE (8216)	4 - 9	กันยายน	2525	1	ตอนบน
122	พายุโซนร้อน "ซารา" (SARAH)	24 - 26	มิถุนายน	2526	1	ตอนบน
123	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)	30 - 4	กันยายน	2526	1	ตอนบน
124	พายุโซนร้อน "เฮอร์เบิร์ต" (HERBERT)	6 - 11	ตุลาคม	2526	1	ตอนบน
125	พายุโซนร้อน "คิม" (KIM)	16 - 21	ตุลาคม	2526	1	ตอนบน
126	พายุดีเปรสชัน 6 (TD 6)	7 - 8	พฤศจิกายน	2526	1	ตอนใต้
127	พายุโซนร้อน "เวอร์นัน" (VERNON)	8 - 12	มิถุนายน	2527	1	ตอนบน
128	พายุโซนร้อน "ซูซาน" (SUSAN)	10 - 14	ตุลาคม	2527	1	ตอนบน

ตารางที่ ก-1 การเกิดพายุหมุนเขตร้อน แหล่งกำเนิด และอิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

รหัสพายุ	ชื่อพายุ	วันที่เข้าสู่ประเทศไทย			แหล่งกำเนิดของพายุ	อิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
		วันที่	เดือน	ปี พ.ศ.		
129	พายุไต้ฝุ่น "แอกเนส" (AGNES)	1 - 9	พฤศจิกายน	2527	1	ตอนบน
130	พายุดีเปรสชัน 9 (TD 9)	14 - 23	กันยายน	2528	1	ตอนบน
131	พายุดีเปรสชัน 10 (TD 10)	10 - 12	ตุลาคม	2528	1	ตอนใต้
132	พายุไต้ฝุ่น "เซซิล" (CECIL)	11 - 17	ตุลาคม	2528	1	ตอนบน
133	พายุไต้ฝุ่น "เวน" (WAYNE)	1 - 7	กันยายน	2529	1	ตอนบน
134	พายุโซนร้อน "จอร์เจีย" (GEORGIA)	17 - 23	ตุลาคม	2529	1	ตอนบน
135	พายุไต้ฝุ่น "เบตตี" (BETTY)	14 - 20	สิงหาคม	2530	1	ตอนบน
136	พายุดีเปรสชัน 6 (TD 6)	15 - 20	ตุลาคม	2531	1	ตอนบน
137	พายุโซนร้อน "เซซิล" (CECIL 8904)	22 - 28	พฤษภาคม	2532	1	ตอนบน
138	พายุไต้ฝุ่น "แองเจลา" (ANGELA 8923)	28 - 11	กันยายน	2532	1	ตอนบน
139	พายุไต้ฝุ่น "แดน" (DAN 8926)	9 - 14	ตุลาคม	2532	1	ตอนบน
140	พายุไต้ฝุ่น "เกย์" (GAY 8929)	1 - 10	พฤศจิกายน	2532	1	ตอนใต้
141	พายุไต้ฝุ่น "เบกกี" (BECKY)	24 - 30	สิงหาคม	2533	1	ตอนบน
142	พายุโซนร้อน "อีรา" (IRA)	1 - 8	ตุลาคม	2533	1	ตอนบน
143	พายุโซนร้อน "โลลา" (LOLA)	15 - 20	ตุลาคม	2533	1	ตอนบน
144	พายุไต้ฝุ่น "เฟรด" (FRED 9111)	9 - 19	สิงหาคม	2534	1	ตอนบน
145	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)	25 - 28	ตุลาคม	2534	1	ตอนใต้
146	พายุดีเปรสชัน 1 (TD 1)	19 - 21	กันยายน	2535	1	ตอนบน
147	พายุไต้ฝุ่น "แองเจลา" (ANGELA 9224)	15 - 31	ตุลาคม	2535	1	ตอนใต้
148	พายุไต้ฝุ่น "คอลลีนา" (COLLEEN 9226)	18 - 29	ตุลาคม	2535	1	ตอนบน
149	พายุโซนร้อน "ฟอร์เรสต์" (FORREST 9229)	10 - 22	พฤศจิกายน	2535	1	ตอนใต้
150	พายุโซนร้อน "ลูอิส" (LEWIS 9303)	7 - 13	กรกฎาคม	2536	1	ตอนบน
151	พายุโซนร้อน "วิโนนา" (WINONA 9312)	23 - 30	สิงหาคม	2536	1	ตอนบน
152	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	29 - 5	ธันวาคม	2536	1	ตอนใต้
153	พายุไต้ฝุ่น "แมนนี่" (MANNY 9327)	3 - 17	ธันวาคม	2536	1	ตอนใต้
154	พายุโซนร้อน "เอมี่" (AMY 9410)	27 - 1	สิงหาคม	2537	1	ตอนบน
155	พายุโซนร้อน "ลุค" (LUKE 9423)	7 - 14	กันยายน	2537	1	ตอนบน
156	พายุโซนร้อน "โลอิส" (LOIS 9509)	24 - 31	สิงหาคม	2538	1	ตอนบน
157	พายุไต้ฝุ่น "วิลลี" (WILLIE 9619)	17 - 23	กันยายน	2539	1	ตอนบน
158	พายุดีเปรสชัน 7 (TD 7)	29 - 30	ตุลาคม	2539	1	ตอนใต้
159	พายุดีเปรสชัน 8 (TD 8)	2 - 4	พฤศจิกายน	2539	1	ตอนบน
160	พายุโซนร้อน "เออร์นี" (ERNIE 9625)	4 - 21	พฤศจิกายน	2539	1	ตอนใต้

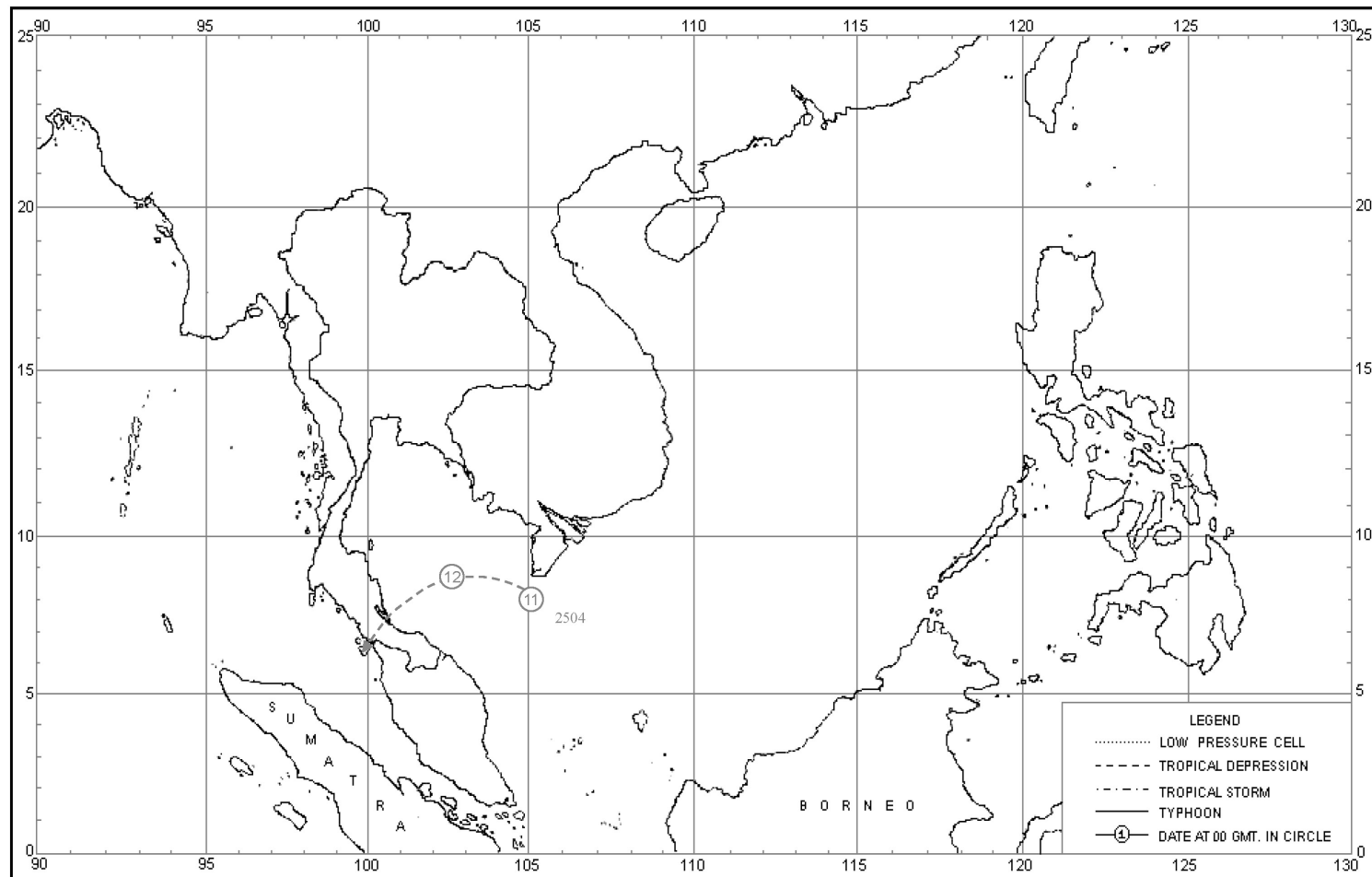
ตารางที่ ก-1 การเกิดพายุหมุนเขตร้อน แหล่งกำเนิด และอิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

รหัสพายุ	ชื่อพายุ	วันที่เข้าสู่ประเทศไทย			แหล่งกำเนิดของพายุ	อิทธิพลต่อพื้นที่ประเทศไทย
		วันที่	เดือน	ปี พ.ศ.		
161	พายุโซนร้อน "ฟริทซ์" (FRITZ 9722)	21 - 26	กันยายน	2540	1	ตอนบน
162	พายุไต้ฝุ่น "ลินดา" (LINDA 9728)	31 - 10	ตุลาคม	2540	1	ตอนใต้
163	พายุโซนร้อน "ชิพ" (CHIP 9813)	11 - 23	พฤศจิกายน	2541	1	ตอนใต้
164	พายุโซนร้อน "จิล" (GIL 9817)	9 - 13	ธันวาคม	2541	1	ตอนใต้
165	พายุดีเปรสชัน 3	23 - 31	ตุลาคม	2542	1	ตอนใต้
166	พายุดีเปรสชัน 4	3 - 6	ธันวาคม	2542	1	ตอนใต้
167	พายุโซนร้อน "เกมี" (KAEMI 0011)	20 - 23	สิงหาคม	2543	1	ตอนบน
168	พายุไต้ฝุ่น "หวู่กง" (WUKONG 0016)	4 - 11	กันยายน	2543	1	ตอนบน
169	พายุดีเปรสชัน 5 (TD 5)	3 - 3	พฤศจิกายน	2543	1	ตอนใต้
170	พายุโซนร้อน "อุซางิ" (USAGI 0110)	9 - 11	สิงหาคม	2544	1	ตอนบน
171	พายุโซนร้อน "โคนิ" (KONI 0308)	16 - 23	กรกฎาคม	2546	1	ตอนบน
172	พายุดีเปรสชัน	22 - 28	ตุลาคม	2546	1	ตอนใต้
173	พายุไต้ฝุ่น "จันทู" (CHUNTHU 0404)	6 - 16	มิถุนายน	2547	1	ตอนบน
174	พายุไต้ฝุ่น "หมุยฟ้า" (MUIFA 0425)	14 - 26	พฤศจิกายน	2547	1	ตอนใต้
175	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	10 - 21	กันยายน	2548	1	ตอนบน
176	พายุโซนร้อน "วิเซนเต" (VICENTE 0516)	13 - 19	กันยายน	2548	1	ตอนบน
177	พายุไต้ฝุ่น "ดอมเรย์" (DAMREY 0518)	19 - 28	กันยายน	2548	1	ตอนบน
178	พายุไต้ฝุ่น "ซ้างसान" (XANGSANE 0615)	25 - 2	กันยายน	2549	1	ตอนบน
179	พายุไต้ฝุ่น "ทุเรียน" (DURIAN 0621)	29 - 8	ธันวาคม	2549	1	ตอนใต้
180	พายุดีเปรสชัน 2 (TD 2)	1 - 5	พฤษภาคม	2550	1	ตอนใต้
181	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	2 - 9	สิงหาคม	2550	1	ตอนบน
182	พายุไต้ฝุ่น "เลกิม่า" (LEKIMA 0714)	27 - 5	กันยายน	2550	1	ตอนบน
183	พายุโซนร้อน "เมขลา" (MEKKHALA 0816)	28 - 1	กันยายน	2551	1	ตอนบน
184	พายุไต้ฝุ่น "กิสนา (ภุชฌนา)" (KETSANA 0916)	24 - 1	กันยายน	2552	1	ตอนบน
185	พายุดีเปรสชัน 4 (TD 4)-พายุไซโคลน "JAL" JAL(05B)	31 - 8	พฤศจิกายน	2553	1	ตอนใต้
186	พายุโซนร้อน "น็อกเตน" (NOCK-TEN 1108)	25 - 31	กรกฎาคม	2554	1	ตอนบน
187	พายุโซนร้อน "แกมี" (GAEMI 1220)	30 - 8	กันยายน	2555	1	ตอนบน
188	พายุดีเปรสชัน	17 - 19	กันยายน	2556	1	ตอนบน
189	พายุไต้ฝุ่น "หวู่ตึบ" (WUTIP 1321)	26 - 2	ตุลาคม	2556	1	ตอนบน
190	พายุโซนร้อน "แวมโก้" (VAMCO 1519)	13 - 16	กันยายน	2558	1	ตอนบน

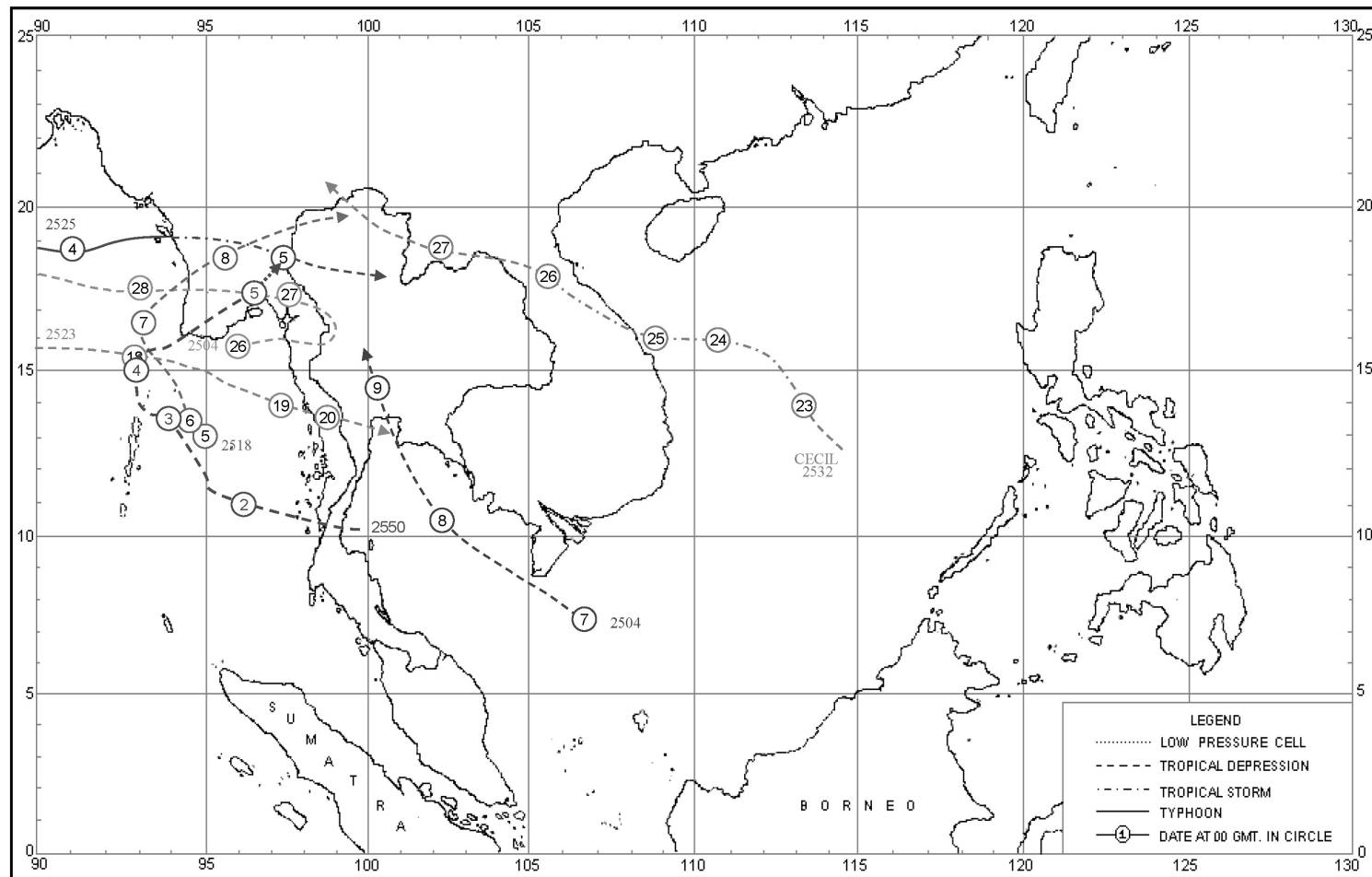
หมายเหตุ : 1. รหัสพายุ เป็นลำดับการเกิดพายุตั้งแต่ปี พ.ศ 2494 - 2556

2. แหล่งกำเนิดของพายุ 1 หมายถึง มหาสมุทรแปซิฟิกและทะเลจีนใต้

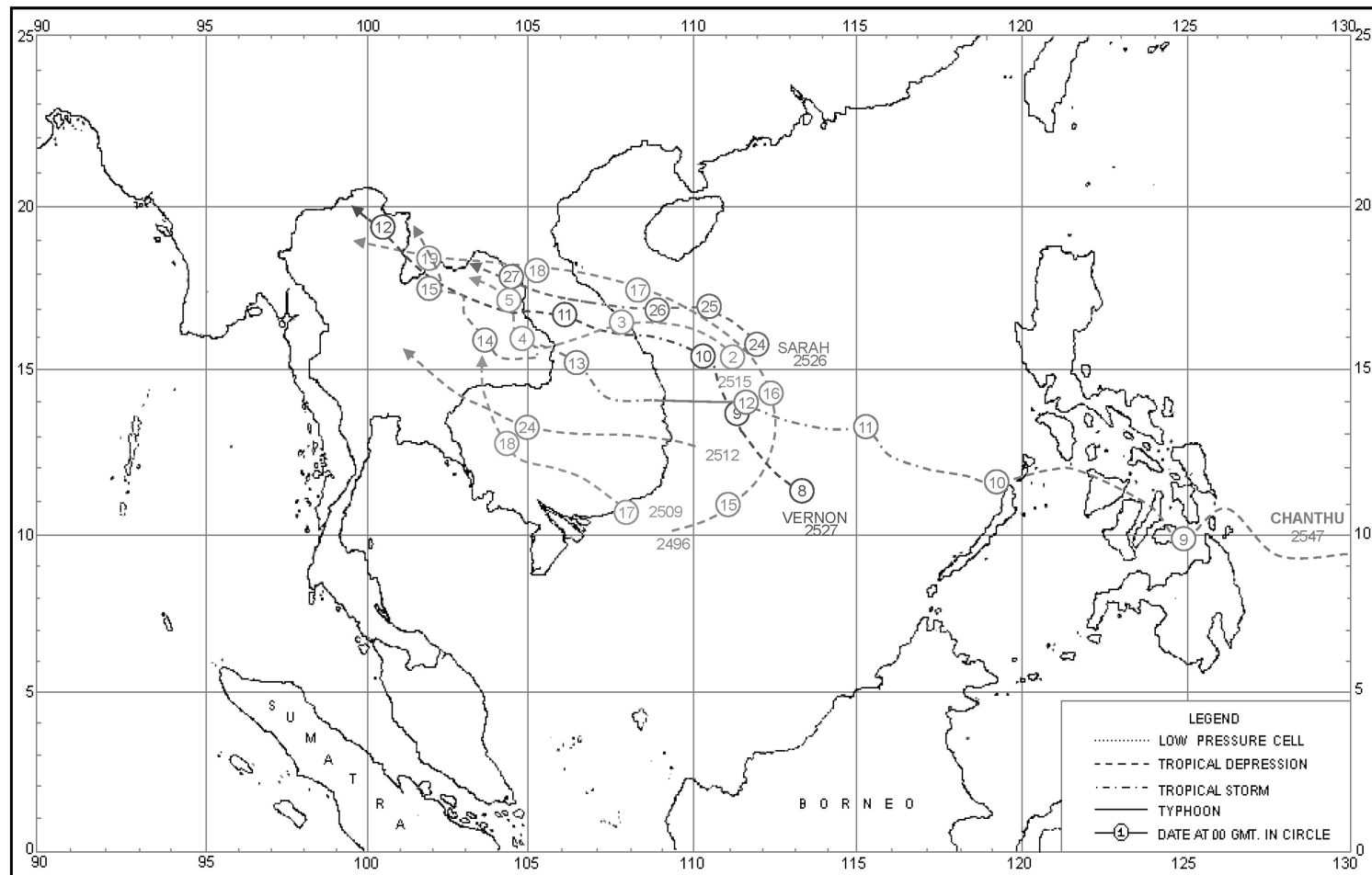
2 หมายถึง อ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน



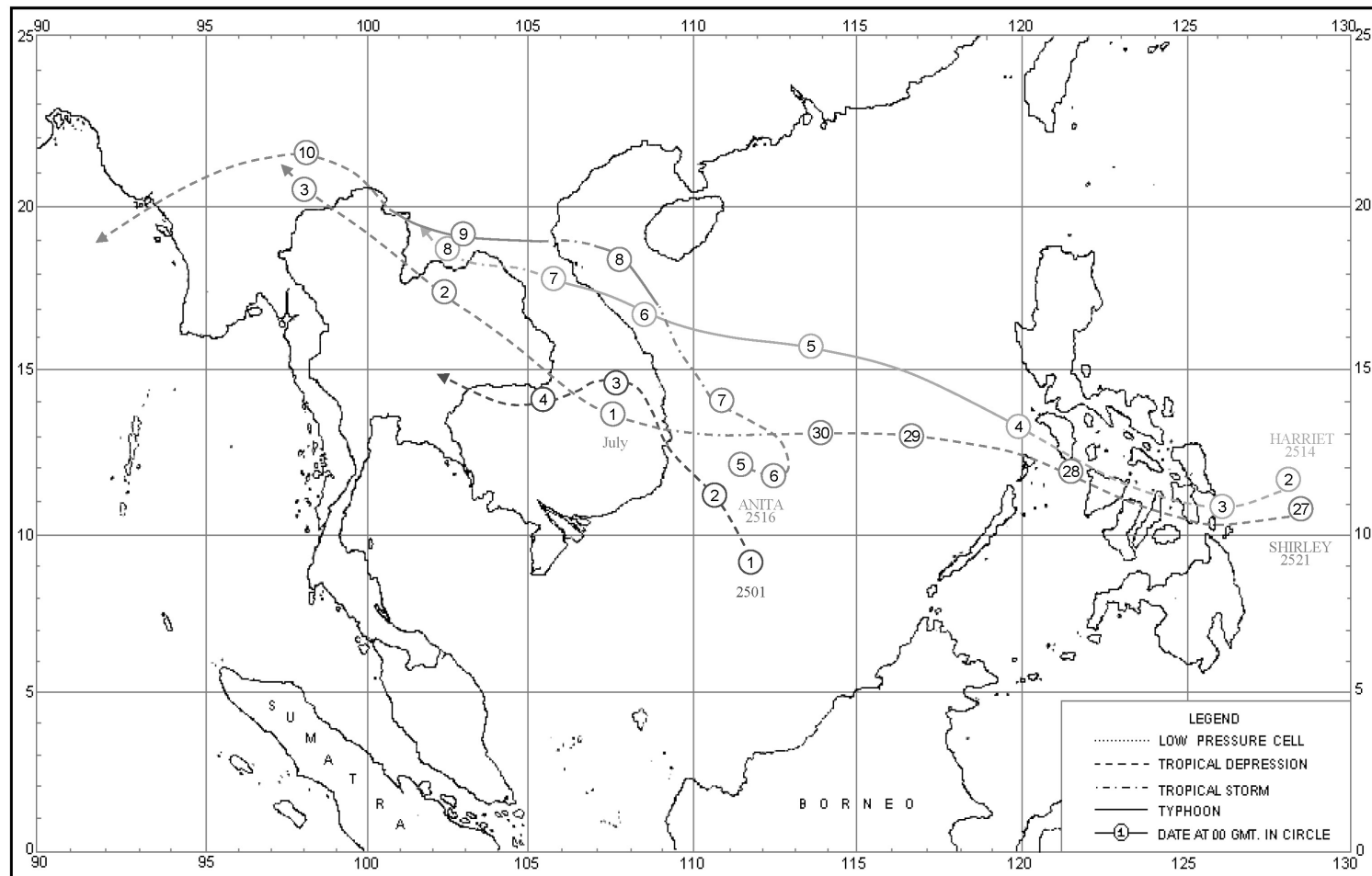
ภาพที่ ก-1 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) เดือนเมษายน จำนวน 1 ลูก



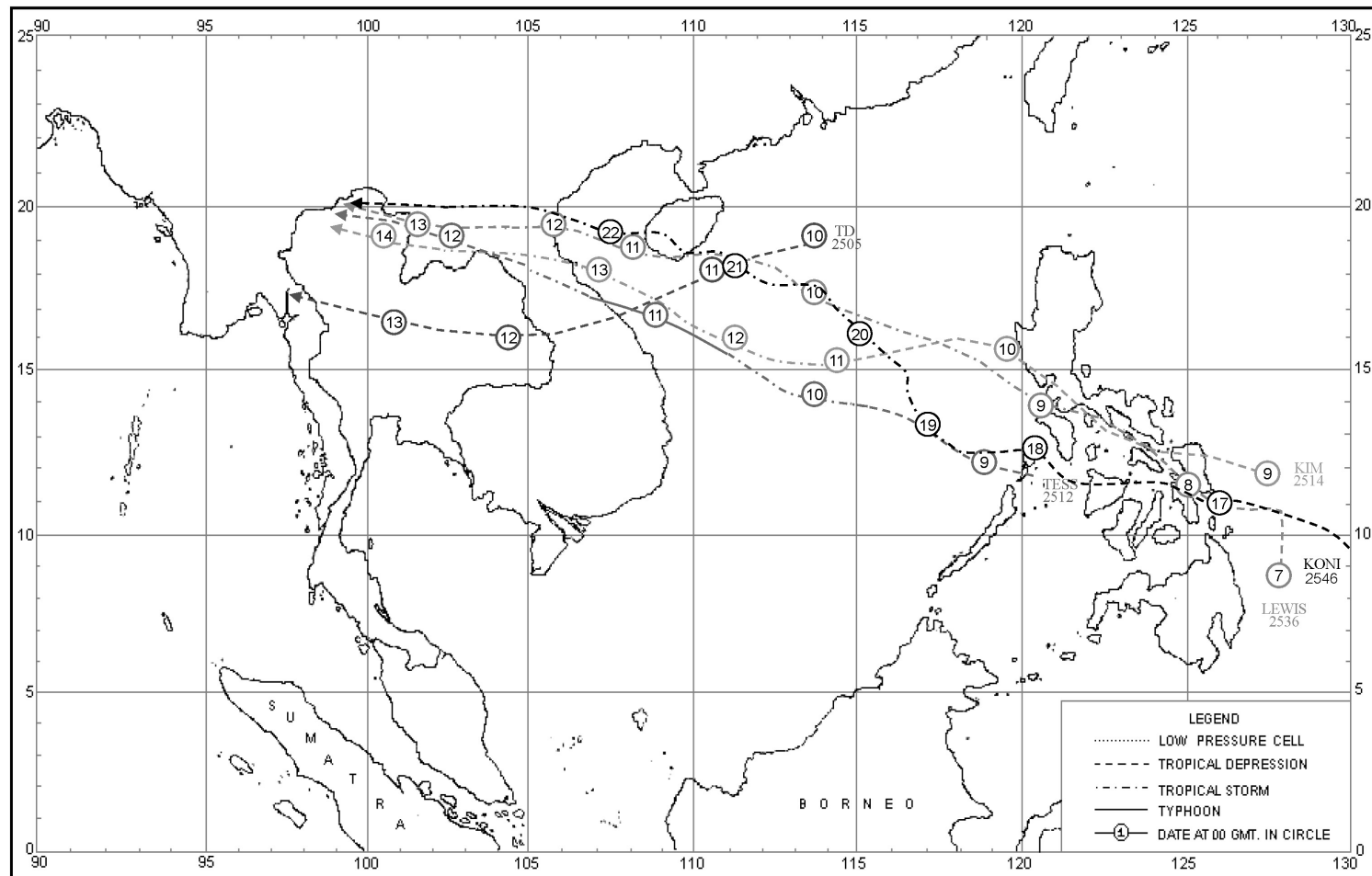
ภาพที่ ก-2 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) เดือนพฤษภาคม จำนวน 7 ลูก



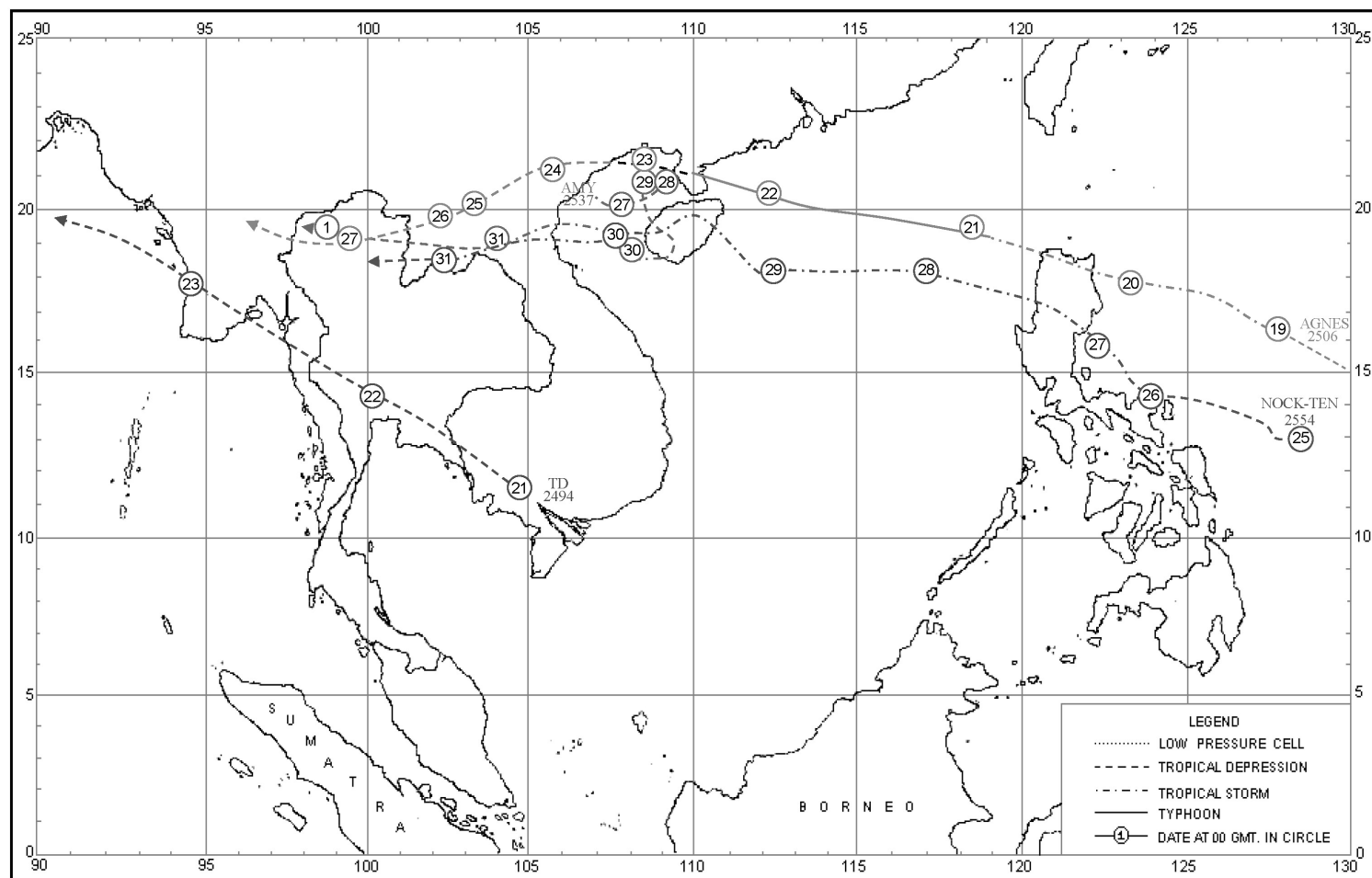
ภาพที่ ก-3 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) เดือนมิถุนายน จำนวน 7 ลูก



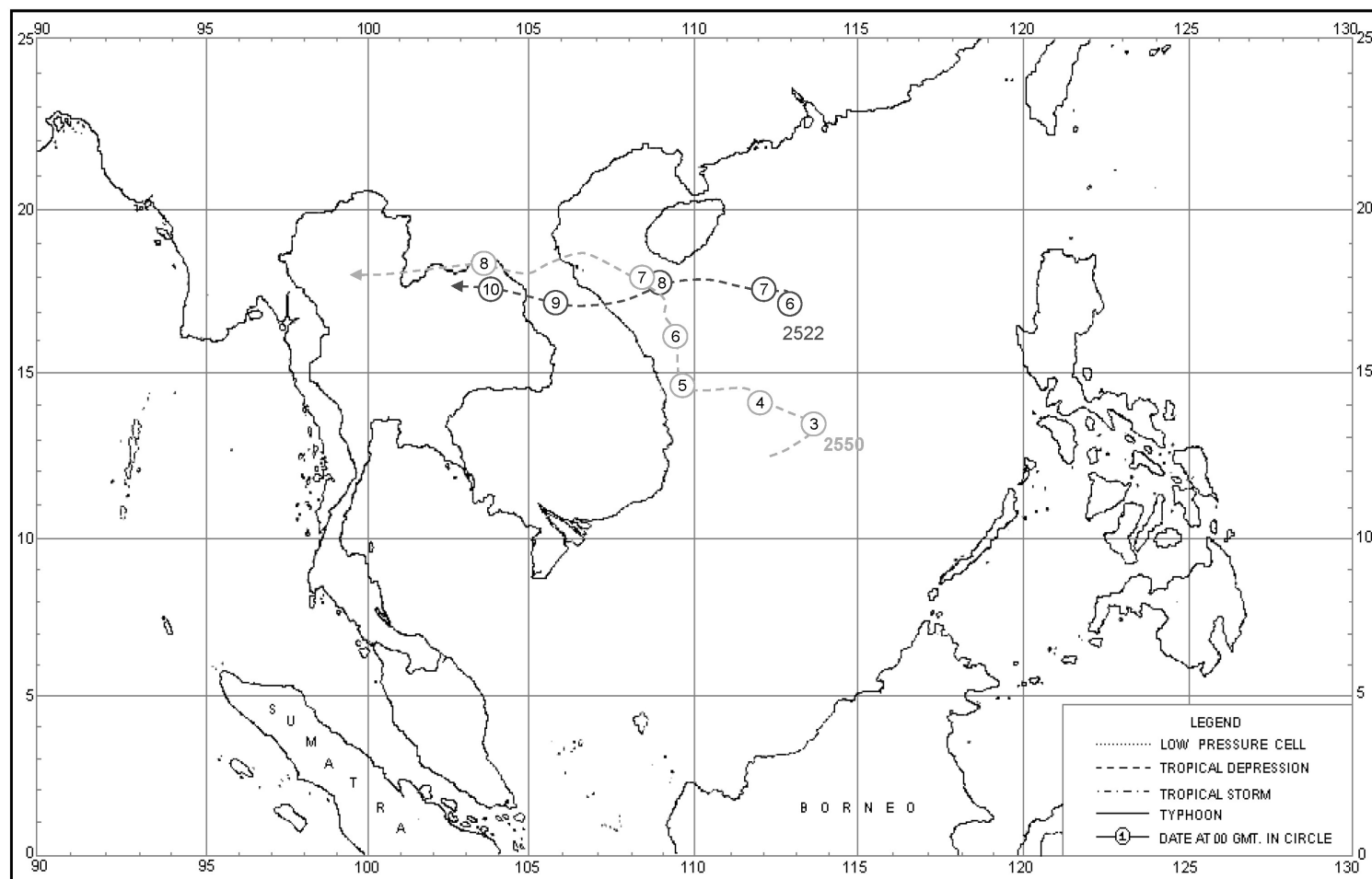
ภาพที่ ก-4 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 1-10 เดือนกรกฎาคม จำนวน 4 ลูก



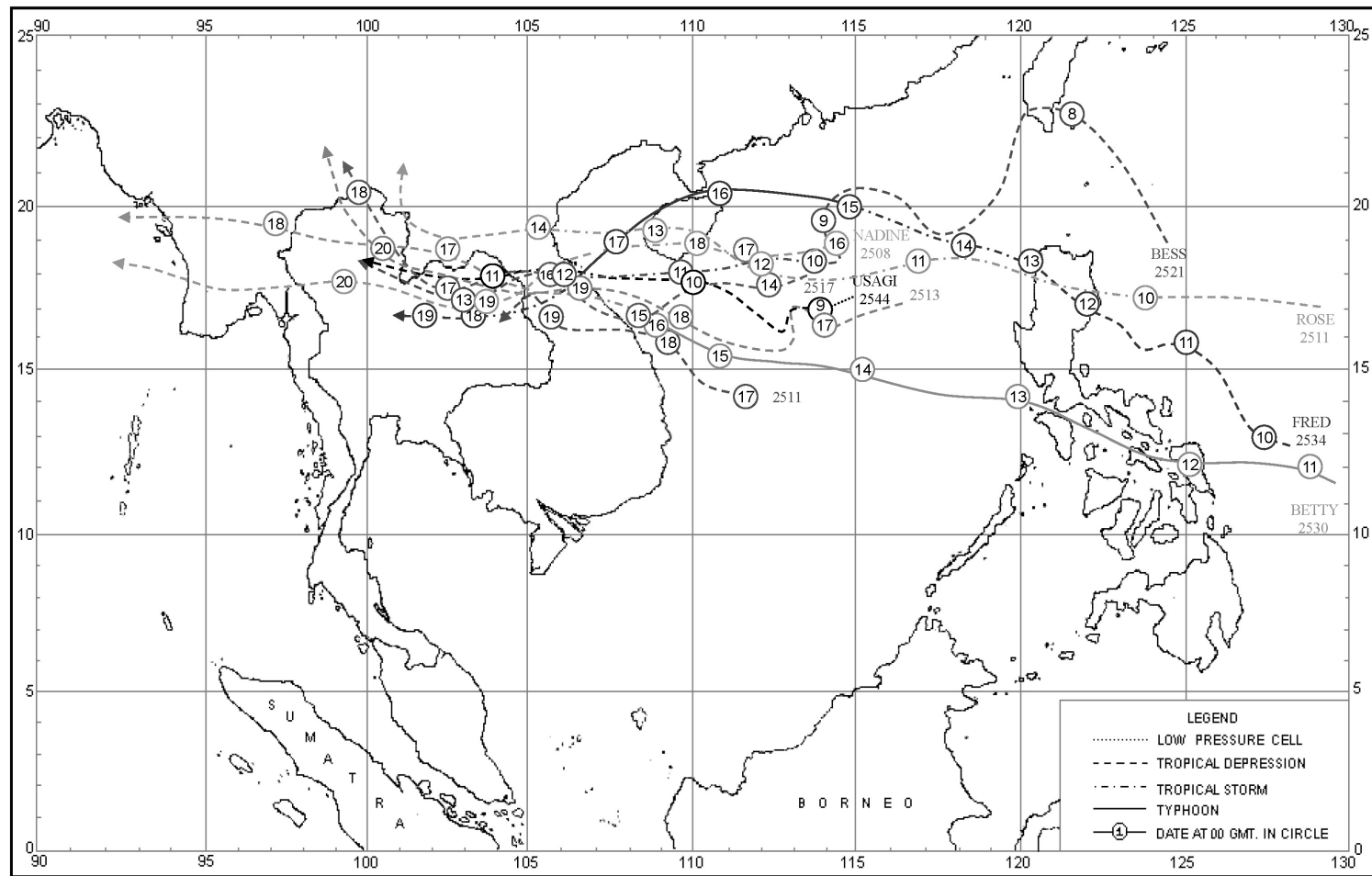
ภาพที่ ก-5 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 11-20 เดือนกรกฎาคม จำนวน 5 ลูก



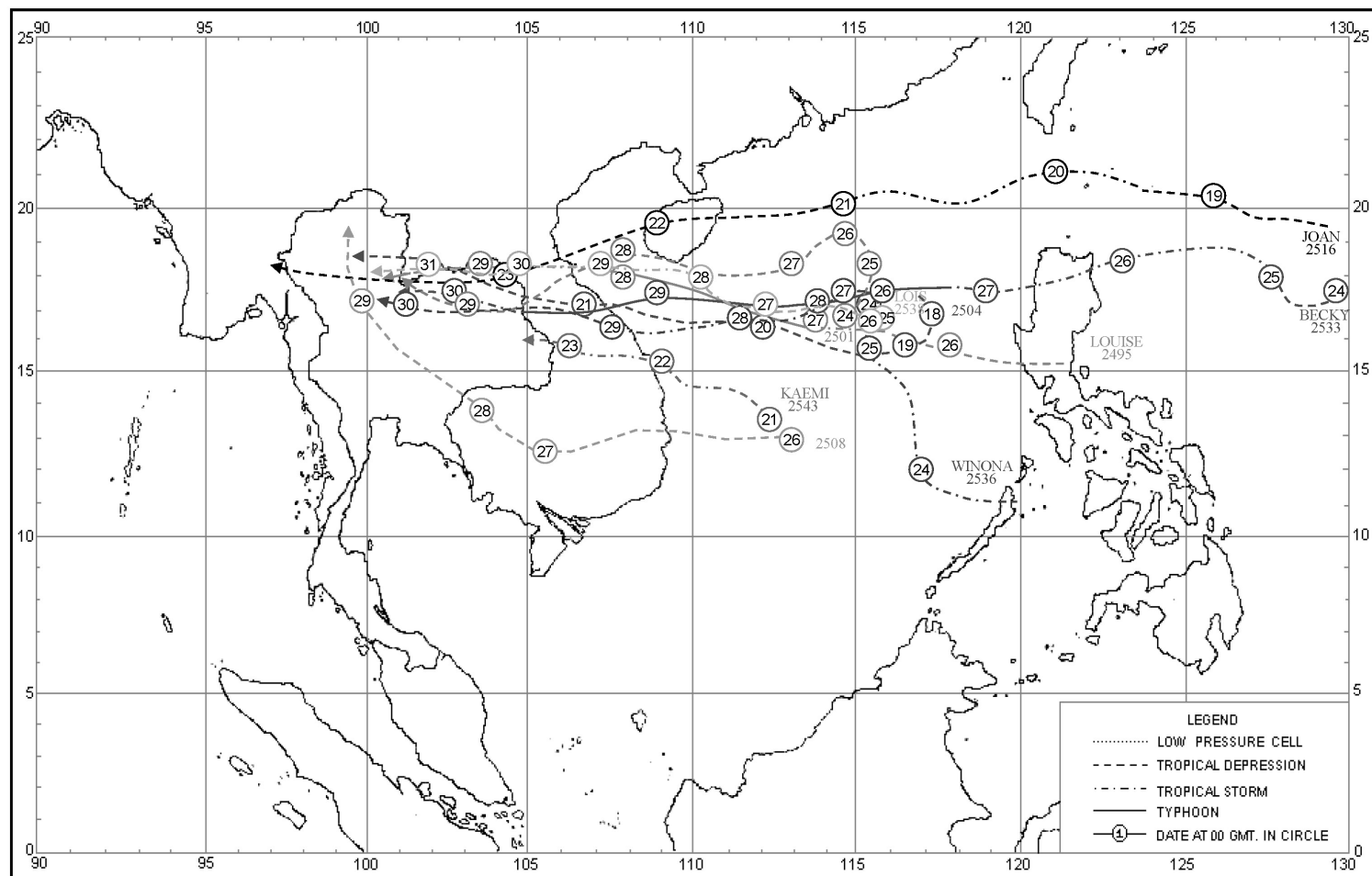
ภาพที่ ก-6 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 21-31 เดือนกรกฎาคม จำนวน 4 ลูก



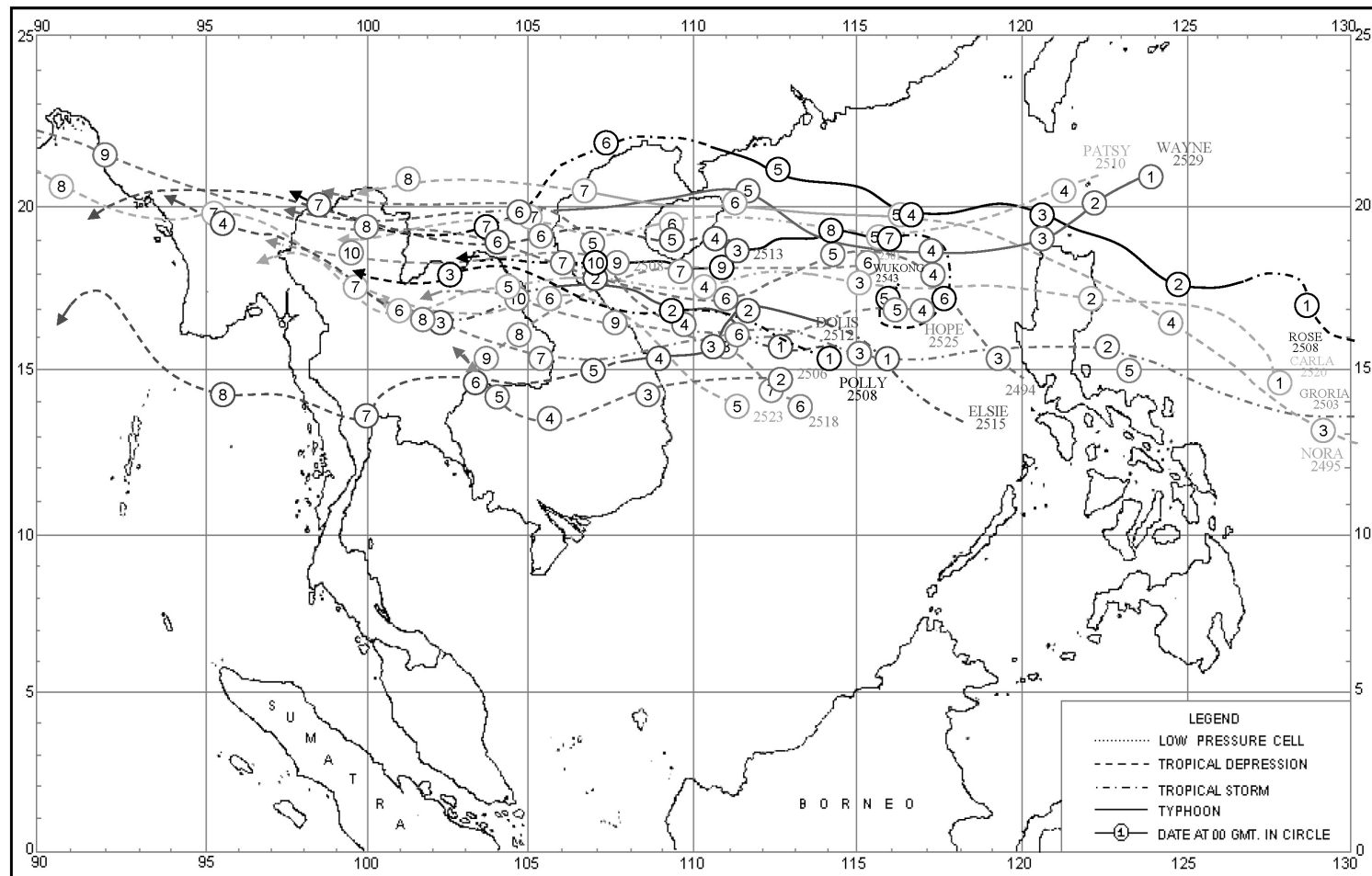
ภาพที่ ก-7 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 1-10 เดือนสิงหาคม จำนวน 2 ลูก



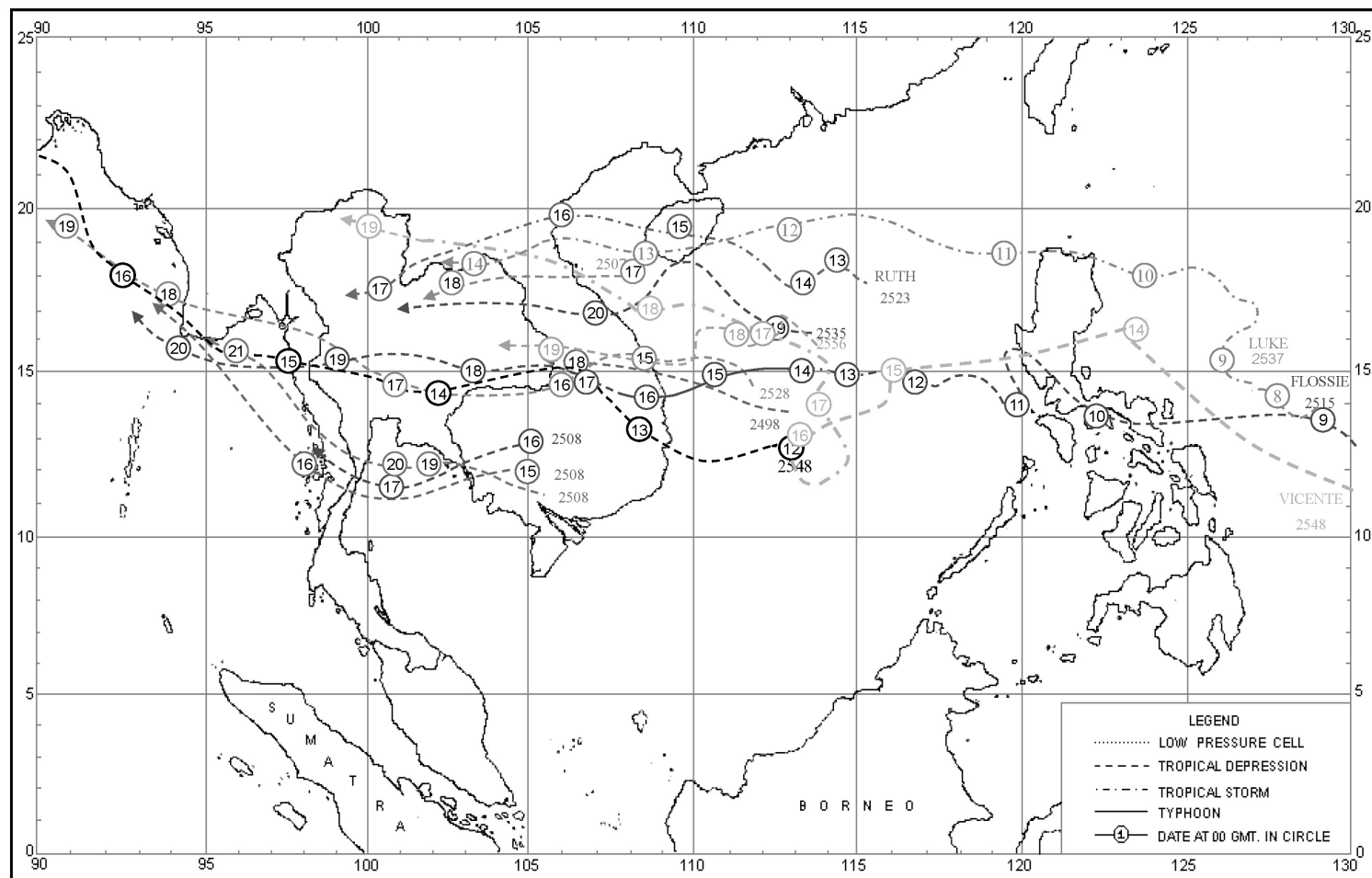
ภาพที่ ก-8 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 11-20 เดือนสิงหาคม จำนวน 9 ลูก



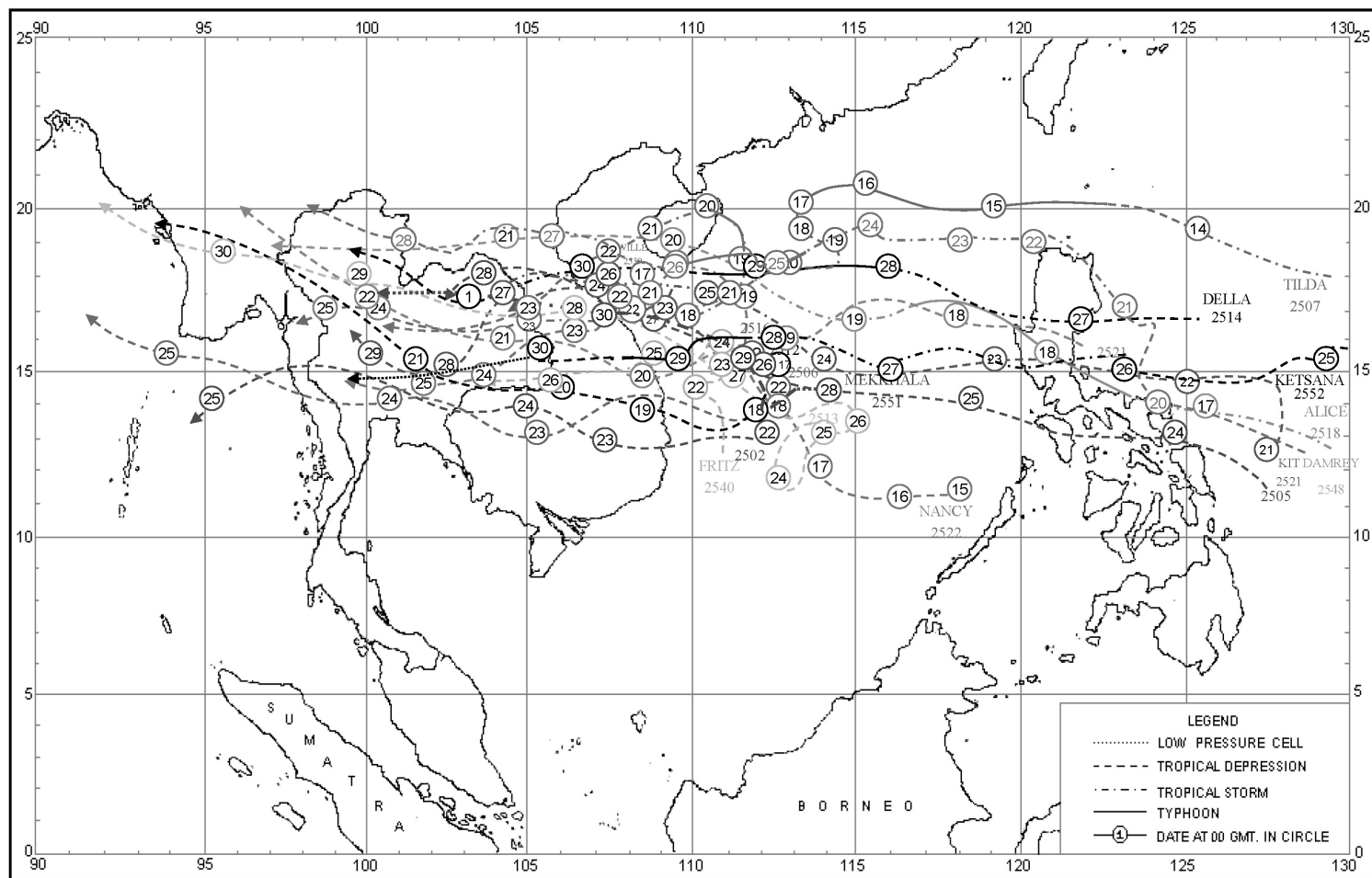
ภาพที่ ก-9 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 21-31 เดือนสิงหาคม จำนวน 9 ลูก



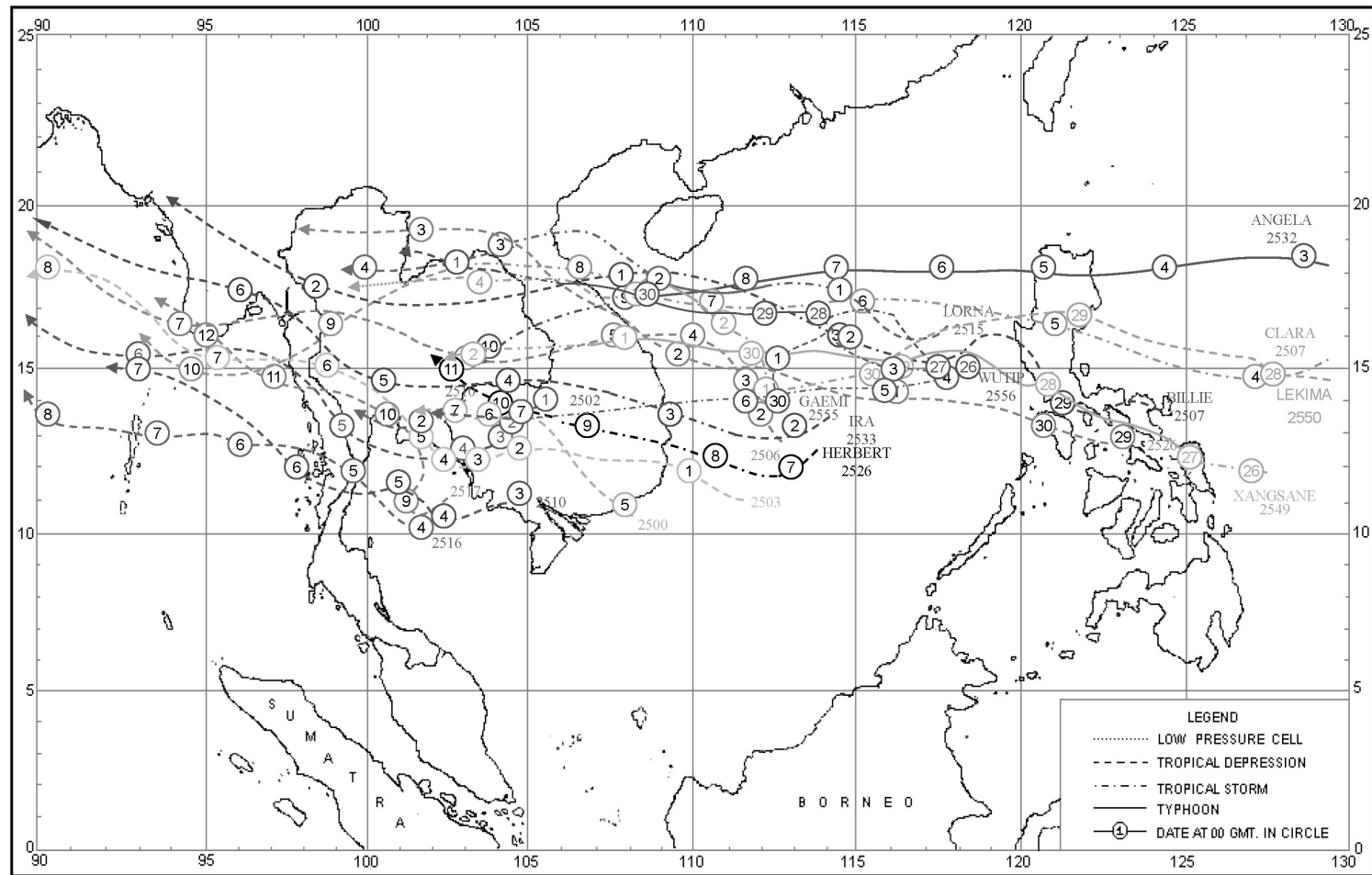
ภาพที่ ก-10 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 1-10 เดือนกันยายน จำนวน 18 ลูก



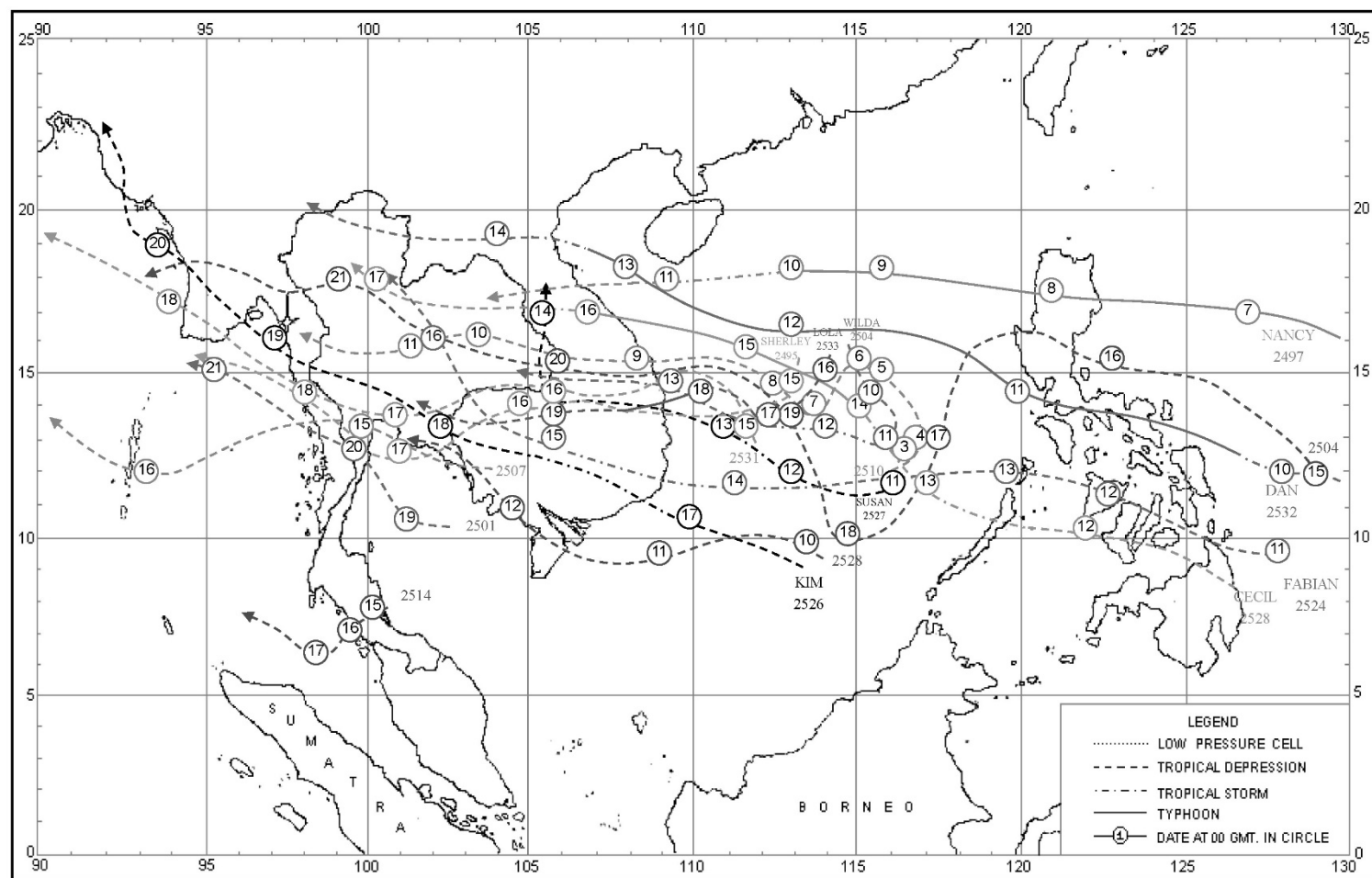
ภาพที่ ก-11 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 11-20 เดือนกันยายน จำนวน 13 ลูก



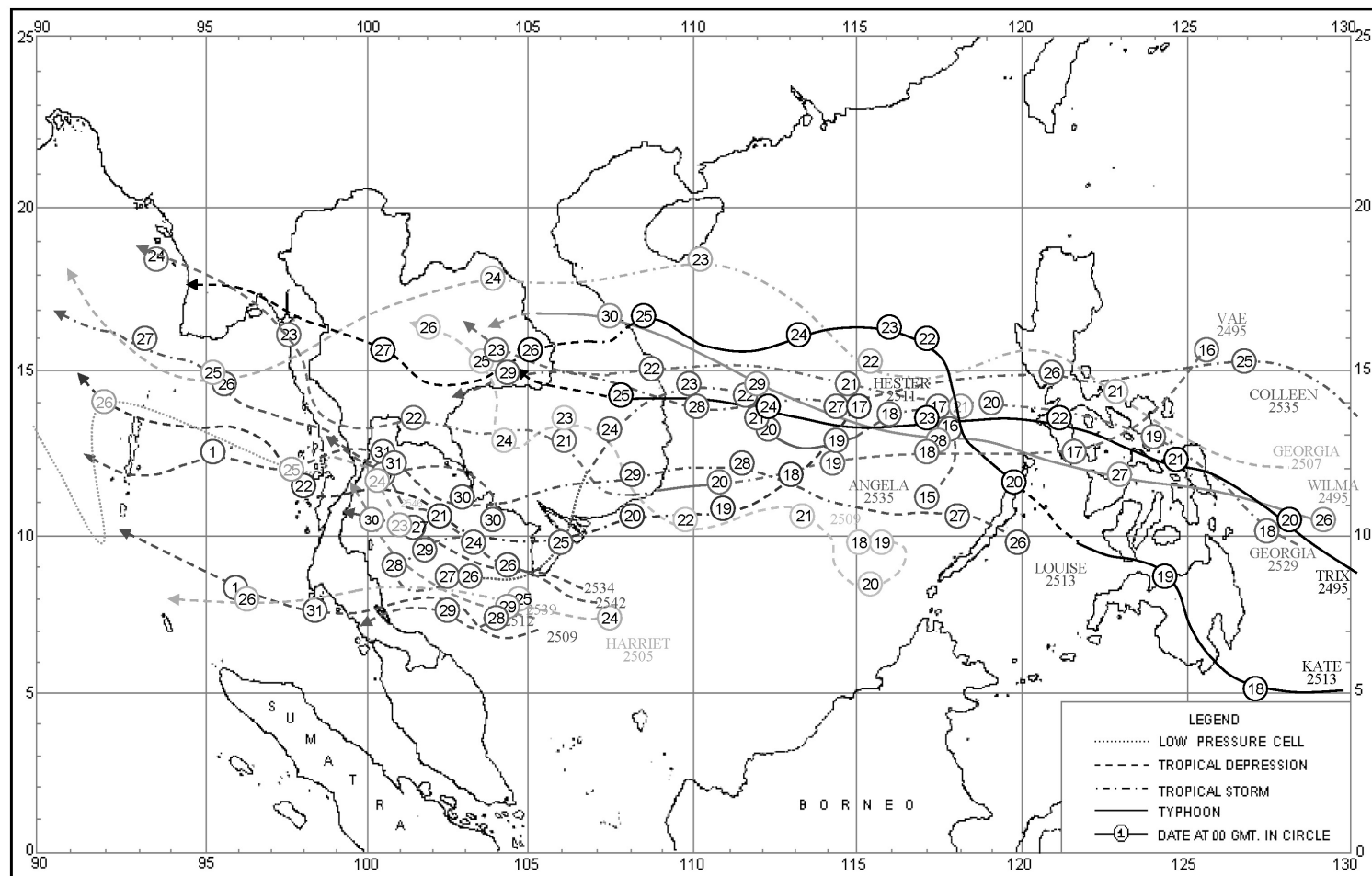
ภาพที่ ก-12 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 21-30 เดือนกันยายน จำนวน 17 ลูก



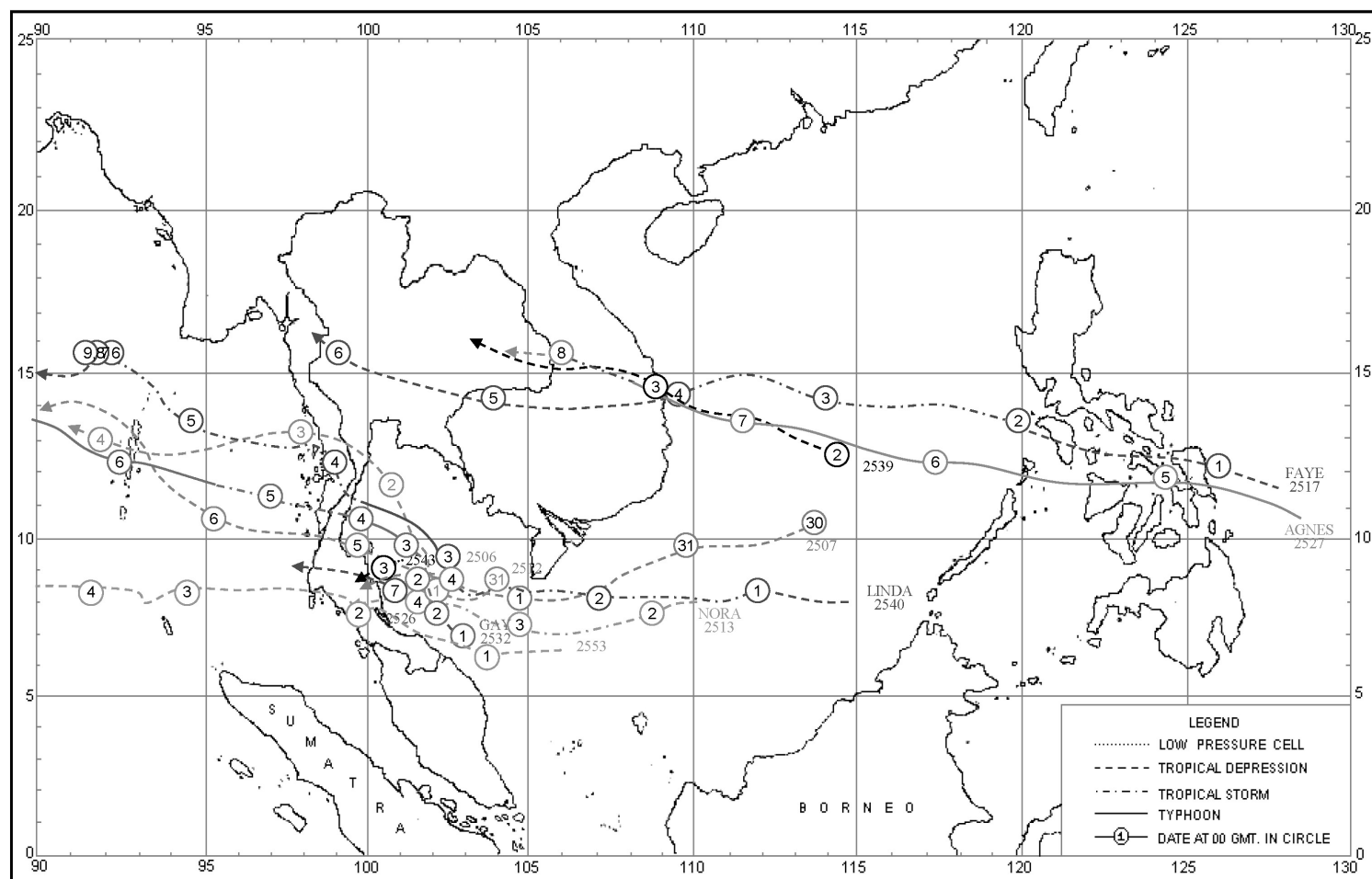
ภาพที่ ก-13 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 1-10 เดือนตุลาคม จำนวน 19 ลูก



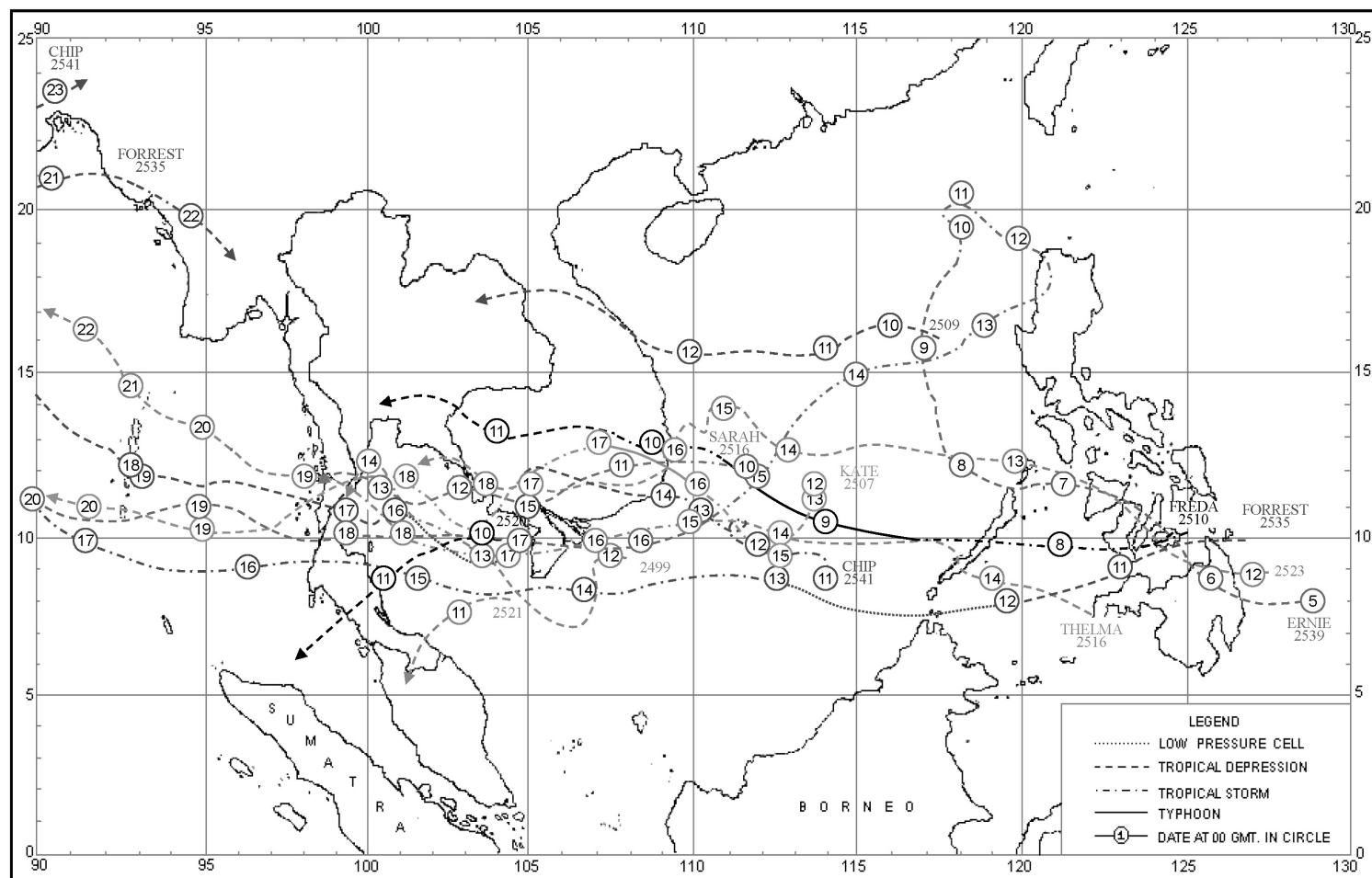
ภาพที่ ก-14 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 11-20 เดือนตุลาคม จำนวน 16 ลูก



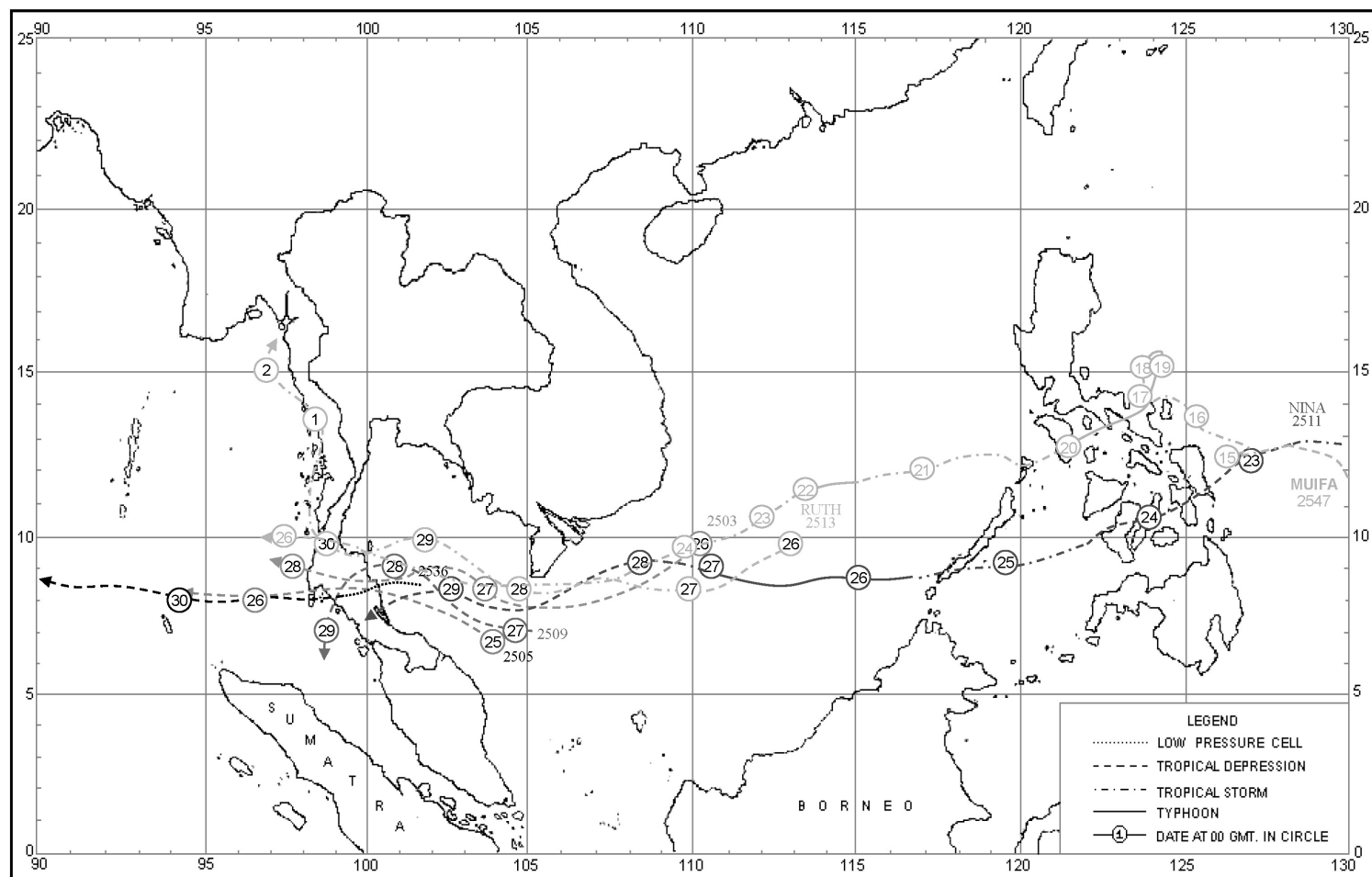
ภาพที่ ก-15 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 21-31 เดือนตุลาคม จำนวน 18 ลูก



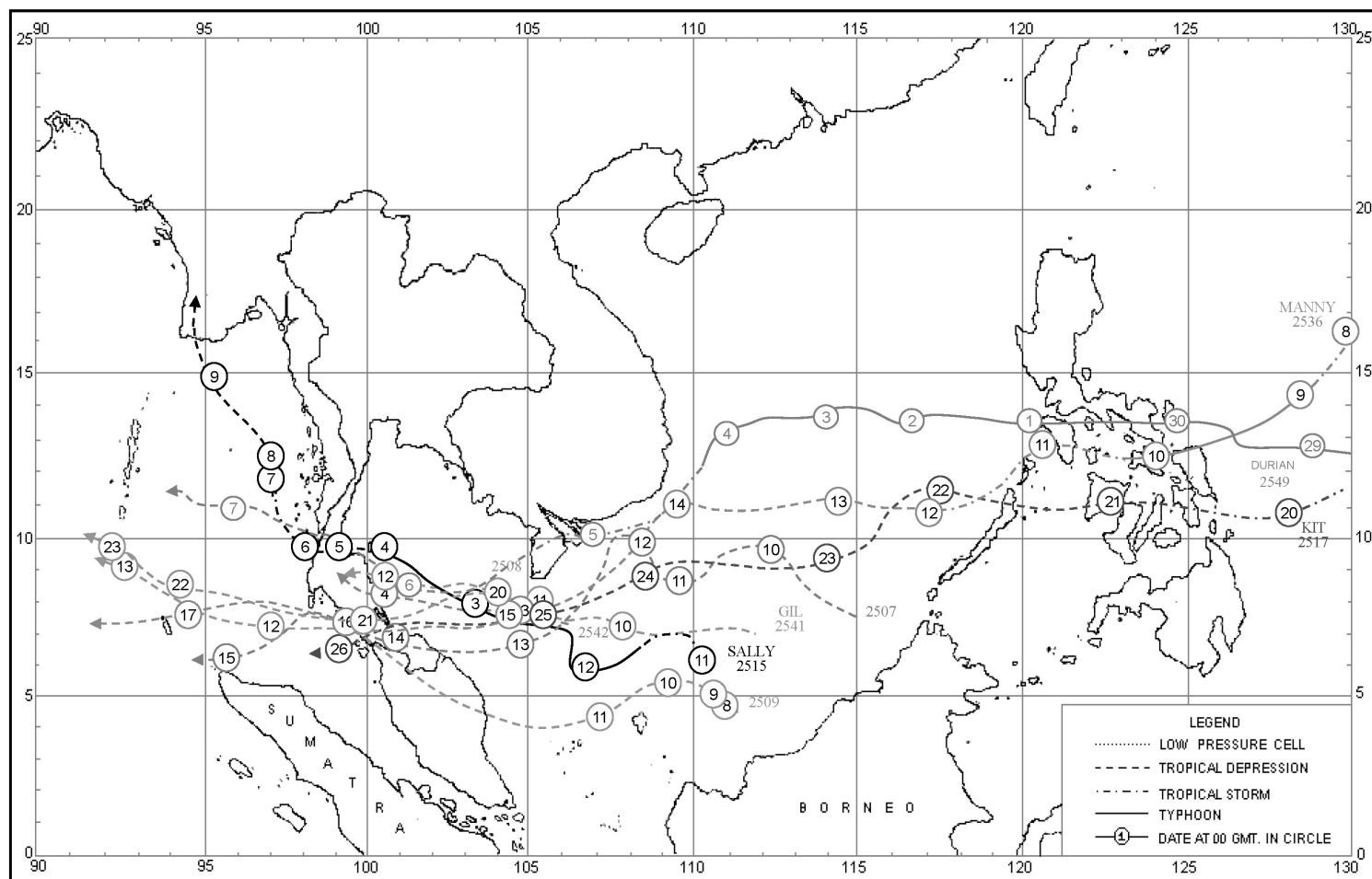
ภาพที่ ก-16 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 1-10 เดือนพฤศจิกายน จำนวน 12 ลูก



ภาพที่ ก-17 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 11-20 เดือนพฤศจิกายน จำนวน 12 ลูก



ภาพที่ ก-18 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) ในช่วงวันที่ 21-30 เดือนพฤศจิกายน จำนวน 7 ลูก



ภาพที่ ก-19 พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย (พ.ศ. 2494-2558) เดือนธันวาคม จำนวน 9 ลูก

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างของสถานีตรวจวัดในประเทศไทย

ตารางที่ ข-1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2494-2558

ลำดับ	รหัส	ชื่อสถานี	จังหวัด	อุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)											
				ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	300201	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน	15.1	14.4	15.1	18.5	22.2	23.4	23.3	23.5	23.5	22.6	19.9	16.6
2	300202	แม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	15.6	15.2	16.6	19.9	22.7	23.5	23.5	23.5	23.6	22.9	20.4	17.1
3	303201	จังหวัดเชียงราย	เชียงราย	14.5	14.5	16.1	19.2	22.0	23.1	23.2	23.3	22.9	21.4	18.4	15.1
4	303301	สภ.เชียงราย	เชียงราย	15.3	15.8	17.6	20.8	22.7	23.5	23.6	23.7	23.3	22.0	18.8	16.0
5	310201	จังหวัดพะเยา	พะเยา	15.3	15.1	16.6	19.7	22.3	23.0	23.1	23.3	23.3	22.1	19.1	15.9
6	327202	ดอยอ่างขาง	เชียงใหม่	9.5	6.9	8.8	13.9	17.1	18.3	18.2	18.3	18.0	16.8	13.9	11.2
7	327301	สภ.แม่ใจ	เชียงใหม่	15.0	15.0	16.7	20.2	22.5	23.5	23.4	23.5	23.6	21.8	18.2	15.6
8	327501	จังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่	14.7	14.2	15.6	18.9	22.0	22.9	22.9	23.0	22.9	21.8	19.1	15.9
9	328201	จังหวัดลำปาง	ลำปาง	15.5	15.6	17.1	20.0	22.7	23.3	23.2	23.5	23.7	22.7	19.8	16.4
10	328202	เถิน	ลำปาง	16.0	16.3	17.5	20.6	22.8	23.4	23.2	23.3	23.6	22.8	20.2	16.9
11	328301	สภ.ลำปาง	ลำปาง	16.0	15.5	16.6	20.0	22.8	23.8	23.8	23.8	23.8	22.8	20.1	17.2
12	329201	จังหวัดลำพูน	ลำพูน	15.2	14.7	16.1	19.3	22.4	23.1	23.0	23.2	23.6	22.7	19.9	16.4
13	330201	จังหวัดแพร่	แพร่	16.3	17.1	18.7	21.2	23.3	23.8	23.7	23.9	24.0	23.0	20.2	16.8
14	331201	จังหวัดน่าน	น่าน	16.0	16.7	18.5	21.4	23.6	24.1	24.1	24.2	24.1	22.8	20.0	16.6
15	331301	สภ.น่าน	น่าน	15.5	16.8	18.4	21.4	23.2	24.0	24.0	24.1	23.9	22.6	19.6	16.5
16	331401	ท่าวังผา	น่าน	16.1	16.6	18.7	21.7	23.6	24.2	24.2	24.2	24.0	22.6	19.5	16.4
17	331402	ทุ่งช้าง	น่าน	15.8	16.5	18.2	21.5	23.2	24.0	24.0	24.1	23.6	22.1	18.9	16.2
18	351201	จังหวัดอุดรดิตถ์	อุดรดิตถ์	16.9	18.0	19.9	22.1	23.9	24.5	24.3	24.5	24.5	23.4	20.7	17.4
19	352201	จังหวัดหนองคาย	หนองคาย	15.7	17.2	19.4	22.1	23.8	24.6	24.6	24.5	24.1	22.1	18.5	15.6
20	353201	จังหวัดเลย	เลย	14.3	15.5	17.4	20.4	22.7	23.2	23.0	23.0	23.1	21.6	18.4	15.0
21	353301	สภ.เลย	เลย	15.7	17.7	19.5	22.1	23.8	24.2	24.1	24.0	24.1	22.7	19.9	16.8
22	354201	จังหวัดอุตรธานี	อุตรธานี	15.1	16.8	18.7	21.4	23.5	24.0	23.8	24.0	23.8	21.8	18.4	15.4
23	356201	จังหวัดสกลนคร	สกลนคร	14.9	16.6	18.9	21.6	23.7	24.2	24.1	24.2	23.7	21.4	18.2	15.3
24	356301	สภ.สกลนคร	สกลนคร	14.8	17.3	19.8	22.1	23.8	24.5	24.3	24.2	24.1	22.1	19.2	15.9
25	357201	จังหวัดนครพนม	นครพนม	15.1	16.8	19.3	21.8	23.8	24.5	24.5	24.4	23.7	21.1	17.9	15.3
26	357301	สภ.นครพนม	นครพนม	14.3	16.8	19.4	21.6	23.6	24.7	24.6	24.5	24.0	21.8	18.8	15.4
27	373201	จังหวัดสุโขทัย	สุโขทัย	13.2	17.4	21.1	19.9	22.7	***	***	***	***	***	***	***
28	373301	สภ.ศรีสำโรง	สุโขทัย	19.3	21.0	22.0	23.4	24.5	24.8	24.4	24.4	24.9	24.5	22.1	19.6
29	376201	จังหวัดตาก	ตาก	18.7	21.0	21.8	23.2	24.5	25.0	24.7	24.6	25.0	24.3	22.1	19.5
30	376202	แม่สอด	ตาก	15.8	15.6	17.0	19.9	22.5	22.9	22.5	22.6	23.2	23.1	20.5	17.1
31	376203	เขื่อนภูมิพล	ตาก	16.1	16.3	17.9	20.6	22.9	23.3	23.1	23.1	23.2	22.5	19.8	16.8
32	376301	สภ.ดอยมูเซอ	ตาก	16.4	16.1	17.5	20.4	22.7	22.9	22.5	22.6	23.3	22.9	20.5	17.6
33	376401	อุ้มผาง	ตาก	13.5	14.4	15.3	18.5	20.2	20.8	20.4	20.4	20.6	19.8	17.5	14.7
34	378201	จังหวัดพิษณุโลก	พิษณุโลก	14.5	14.3	16.3	19.5	21.7	22.1	21.9	22.0	21.9	20.9	18.1	15.2
35	379201	จังหวัดเพชรบูรณ์	เพชรบูรณ์	17.4	19.0	20.7	22.2	23.6	24.1	24.0	24.1	24.3	23.4	20.8	17.6
36	379401	หล่มสัก	เพชรบูรณ์	16.3	18.0	20.1	22.2	23.8	24.3	24.2	24.2	24.2	22.8	19.7	16.5
37	379402	วิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์	16.1	17.4	19.6	21.8	23.5	23.9	23.8	23.9	23.9	22.2	19.0	16.2
38	380201	จังหวัดกำแพงเพชร	กำแพงเพชร	17.3	18.7	20.8	22.6	24.1	24.2	24.1	24.2	24.4	23.0	20.0	17.1
39	381201	จังหวัดขอนแก่น	ขอนแก่น	18.3	19.2	20.9	22.7	24.1	24.7	24.4	24.5	24.6	24.0	21.7	18.6
40	381301	สภ.ท่าพระ	ขอนแก่น	15.5	17.3	19.3	21.6	23.4	23.7	23.6	23.7	23.7	22.0	18.8	15.7

ตารางที่ ข-1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

ลำดับ	รหัส	ชื่อสถานี	จังหวัด	อุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)											
				ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
41	383201	จังหวัดมุกดาหาร	มุกดาหาร	16.6	19.0	20.8	22.8	24.3	24.5	24.3	24.5	24.8	23.4	20.3	17.3
42	386301	สภ.พิจิตร	พิจิตร	15.4	17.0	19.1	21.5	23.5	24.2	24.1	24.2	23.8	21.6	18.6	15.9
43	387401	จังหวัดมหาสารคาม	มหาสารคาม	19.1	21.5	22.7	23.5	24.5	24.7	24.6	24.7	24.9	24.4	22.2	19.8
44	388401	จังหวัดกาฬสินธุ์	กาฬสินธุ์	17.3	18.8	20.8	22.8	24.1	24.3	24.2	24.4	24.5	22.8	19.8	17.2
45	400201	จังหวัดนครสวรรค์	นครสวรรค์	16.3	18.5	20.6	22.8	24.1	24.6	24.6	24.7	24.6	22.7	19.5	16.6
46	400301	สภ.ตากฟ้า	นครสวรรค์	17.5	19.5	21.2	22.8	24.0	24.0	23.9	24.0	24.5	23.9	21.2	18.0
47	402301	สภ.ชัยนาท	ชัยนาท	16.4	19.9	21.9	23.2	24.1	24.4	24.2	24.1	24.4	23.4	20.5	17.6
48	403201	จังหวัดชัยภูมิ	ชัยภูมิ	18.4	21.5	22.5	23.2	24.1	24.2	23.8	23.8	24.3	23.8	21.4	18.9
49	405201	จังหวัดร้อยเอ็ด	ร้อยเอ็ด	15.0	16.7	18.7	21.3	23.0	23.2	23.0	23.1	23.4	21.7	18.3	15.4
50	405301	สภ.ร้อยเอ็ด	ร้อยเอ็ด	15.6	17.4	19.4	21.7	23.5	23.9	23.7	23.9	23.9	22.0	18.9	16.0
51	407301	สภ.อุบลราชธานี	อุบลราชธานี	16.1	18.7	20.8	22.7	24.1	24.6	24.5	24.5	24.7	22.9	20.0	17.1
52	407501	จังหวัดอุบลราชธานี	อุบลราชธานี	16.2	18.4	20.2	22.4	23.9	24.3	24.1	24.3	24.2	22.7	20.2	17.4
53	409301	สภ.ศรีสะเกษ	ศรีสะเกษ	16.2	18.0	20.0	22.2	23.6	23.9	23.8	23.9	23.8	22.1	19.3	16.8
54	415301	อยุธยา	พระนครศรีอยุธยา	16.7	19.1	21.1	23.0	24.2	24.4	24.3	24.5	24.5	23.0	20.5	17.8
55	419301	ปทุมธานี	ปทุมธานี	18.7	21.9	23.3	24.4	24.9	24.6	24.2	24.4	24.9	24.2	21.6	18.9
56	423301	จังหวัดฉะเชิงเทรา	ฉะเชิงเทรา	19.8	22.3	23.5	24.3	24.9	24.7	24.3	24.2	24.6	24.4	22.3	20.0
57	424301	จังหวัดราชบุรี	ราชบุรี	17.9	20.9	22.5	23.9	24.7	24.5	24.2	24.1	24.3	23.8	21.4	18.7
58	425201	จังหวัดสุพรรณบุรี	สุพรรณบุรี	19.0	21.6	23.1	24.0	24.6	24.5	24.0	23.9	24.3	24.4	22.4	19.5
59	425301	สภ.อุททอง	กาญจนบุรี	19.0	21.0	22.4	23.5	24.2	23.9	23.7	23.7	24.3	24.0	21.6	18.8
60	426201	จังหวัดลพบุรี	ลพบุรี	19.2	21.7	22.5	23.5	24.2	24.1	23.6	23.7	24.2	24.2	21.8	19.3
61	426401	บัวชุม	เพชรบูรณ์	17.4	20.0	21.8	23.2	24.0	24.0	23.8	24.0	24.3	23.1	20.1	17.1
62	429201	ท่าเรือกรุงเทพฯ	กรุงเทพมหานคร	17.2	19.0	21.2	23.1	24.4	24.3	24.1	24.3	24.6	23.3	20.1	17.2
63	429601	ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	กรุงเทพมหานคร	20.0	22.9	23.9	24.8	24.6	24.4	23.8	23.9	23.9	23.6	21.6	19.7
64	430201	จังหวัดปราจีนบุรี	ปราจีนบุรี	19.8	22.9	24.7	25.1	25.7	25.2	24.5	24.7	24.7	24.3	23.6	19.2
65	430401	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี	17.6	20.8	21.7	22.6	23.2	23.0	22.7	22.8	22.9	22.6	20.6	17.8
66	431201	จังหวัดนครราชสีมา	นครราชสีมา	18.2	20.5	22.4	23.9	24.8	24.9	24.7	24.7	24.7	23.6	20.7	18.0
67	431301	สภ.ปากช่อง	นครราชสีมา	19.3	20.8	22.6	23.9	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	23.6	21.0	18.7
68	431401	โชคชัย	นครราชสีมา	16.2	18.1	20.0	22.0	23.3	23.1	22.9	23.0	23.4	22.3	19.5	16.5
69	432201	จังหวัดสุรินทร์	สุรินทร์	15.0	17.8	19.7	21.5	22.5	22.3	21.8	22.1	22.6	21.6	18.8	16.0
70	432301	สภ.สุรินทร์	สุรินทร์	17.2	18.7	20.6	22.5	23.6	23.4	23.2	23.2	23.7	22.8	20.1	17.3
71	432401	ท่าตูม	สุรินทร์	16.4	18.2	20.1	22.2	23.7	24.0	23.8	23.9	24.0	22.9	19.9	16.9
72	436201	จังหวัดบุรีรัมย์	บุรีรัมย์	16.8	19.1	21.0	22.9	24.1	24.5	24.2	24.3	24.4	23.2	20.5	17.7
73	436401	นางรอง	บุรีรัมย์	17.2	18.7	20.7	22.6	24.1	24.4	24.4	24.5	24.6	23.0	20.1	17.5
74	440201	อรัญประเทศ	สระแก้ว	15.9	18.0	19.7	22.1	23.7	24.0	23.9	24.0	24.2	22.6	20.0	16.7
75	440401	จังหวัดสระแก้ว	สระแก้ว	17.5	18.9	20.9	22.8	24.0	23.9	23.7	23.8	24.1	23.0	20.2	17.5
76	450201	จังหวัดกาญจนบุรี	กาญจนบุรี	17.7	19.9	21.7	23.3	24.3	24.3	24.1	24.1	24.2	23.4	21.0	18.2
77	450401	ทองผาภูมิ	กาญจนบุรี	18.7	20.8	22.6	24.1	25.0	25.0	24.8	24.8	24.8	24.1	21.7	19.0
78	451301	จังหวัดนครปฐม	นครปฐม	17.5	19.1	20.3	21.9	23.3	23.2	22.8	22.9	23.3	23.2	20.7	17.8
79	455201	กรุงเทพ เมโทรโปลิส	กรุงเทพมหานคร	18.5	18.9	20.5	22.8	24.1	24.2	24.0	23.9	24.0	23.5	21.1	18.7
80	455203	สน.อุตุท่าเรือคลองเตย	กรุงเทพมหานคร	19.4	22.1	23.3	24.3	24.7	24.8	24.3	24.2	24.4	24.3	22.1	19.7

ตารางที่ ข-1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

ลำดับ	รหัส	ชื่อสถานี	จังหวัด	อุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)											
				ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
81	455301	สภ.บางนา	กรุงเทพมหานคร	19.8	22.2	23.6	24.5	24.7	24.3	24.0	23.9	24.2	23.9	21.8	19.4
82	455302	สภ.บางเขน	กรุงเทพมหานคร	18.5	21.8	23.1	24.0	24.4	24.2	23.8	23.7	23.8	23.2	21.0	18.6
83	455601	สนามบินดอนเมือง	กรุงเทพมหานคร	19.8	22.7	23.9	24.7	25.1	24.8	24.4	24.4	24.5	24.1	22.0	19.9
84	459201	จังหวัดชลบุรี	ชลบุรี	19.3	21.4	22.9	23.9	24.2	23.8	23.6	23.7	23.9	23.6	21.7	19.2
85	459202	เกาะสีชัง	ชลบุรี	19.1	21.5	22.9	23.9	24.4	24.0	23.7	23.8	24.0	23.4	21.1	18.6
86	459203	พัทยา	ชลบุรี	20.3	22.4	23.7	24.7	24.9	24.4	24.2	24.2	24.3	23.9	21.8	19.5
87	459204	สัตหีบ	ชลบุรี	20.7	22.6	23.7	24.7	24.8	24.5	24.0	23.9	24.1	23.8	22.0	19.8
88	459205	แหลมฉบัง	ชลบุรี	20.3	22.4	23.8	24.8	25.0	24.4	24.2	24.1	24.2	23.8	21.7	19.6
89	465201	จังหวัดเพชรบุรี	เพชรบุรี	19.8	22.6	23.6	24.5	24.7	24.4	24.0	24.0	24.2	24.0	22.0	19.7
90	478201	จังหวัดระยอง	ระยอง	20.7	22.7	23.9	24.8	24.7	24.1	23.8	23.8	24.2	24.1	22.1	19.7
91	478301	สภ.ห้วยโป่ง	ระยอง	20.8	23.1	24.3	25.2	25.5	25.2	24.9	24.8	24.7	24.0	21.9	19.7
92	480201	จังหวัดจันทบุรี	จันทบุรี	19.5	22.5	23.7	24.6	25.2	25.0	24.5	24.4	24.4	23.9	21.8	19.5
93	480301	สภ.พลับ	จันทบุรี	19.5	21.8	23.2	24.2	24.8	24.8	24.5	24.5	24.4	23.5	21.3	19.0
94	500201	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	ประจวบคีรีขันธ์	19.7	22.6	23.8	24.7	25.3	25.3	24.9	24.8	24.7	24.0	22.0	19.8
95	500202	หัวหิน	ประจวบคีรีขันธ์	20.3	22.1	23.2	24.3	24.2	23.6	23.3	23.2	23.3	23.5	21.9	19.7
96	500301	สภ.หนองพลับ	เพชรบุรี	19.7	21.6	22.7	23.8	23.9	23.3	23.0	23.0	23.3	23.4	21.6	19.3
97	501201	จังหวัดตราด	ตราด	18.2	20.4	21.5	22.7	23.7	23.6	23.1	23.0	23.3	23.4	21.4	18.7
98	517201	จังหวัดชุมพร	ชุมพร	20.6	22.4	23.6	24.4	24.8	24.7	24.4	24.5	24.3	23.8	22.2	20.3
99	517301	สวี	ชุมพร	21.6	22.4	23.1	24.0	24.2	23.9	23.6	23.6	23.7	23.8	22.9	21.4
100	532201	จังหวัดระนอง	ระนอง	21.6	22.3	23.0	23.7	23.9	23.9	23.6	23.5	23.4	23.5	23.0	21.7
101	551201	จังหวัดสุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี	20.9	21.3	22.3	23.7	24.3	24.2	24.0	24.0	23.9	23.7	22.8	21.3
102	551202	สนามบินสุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี	21.8	21.6	22.2	23.2	23.8	23.6	23.3	23.2	23.3	23.2	23.3	22.4
103	551203	เกาะสมุย	สุราษฎร์ธานี	23.1	23.6	24.3	25.0	24.8	24.0	23.7	23.7	23.7	24.1	23.9	23.0
104	551301	สภ.สุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี	22.4	22.1	22.7	23.5	24.0	23.8	23.5	23.1	23.4	23.5	23.5	22.9
105	551401	พระแสง	สุราษฎร์ธานี	22.5	21.9	22.7	23.8	24.3	24.2	24.0	23.9	23.9	24.0	23.9	23.2
106	552201	จังหวัดนครศรีธรรมราช	นครศรีธรรมราช	22.5	22.5	23.0	23.8	24.1	23.5	23.2	23.1	23.3	23.7	23.4	22.9
107	552202	ขนอม	สุราษฎร์ธานี	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
108	552301	สภ.นครศรีธรรมราช	นครศรีธรรมราช	23.5	23.3	24.0	24.8	25.0	24.6	24.2	24.1	24.3	24.5	24.6	24.0
109	552401	สอท.ฉวาง	นครศรีธรรมราช	22.1	21.7	22.7	23.7	24.4	24.3	24.1	24.0	24.0	24.0	23.8	22.8
110	560301	สภ.พัทลุง	พัทลุง	23.7	23.6	24.2	24.9	24.7	24.2	23.8	23.7	23.7	24.1	24.4	24.1
111	561201	ตะกั่วป่า	พังงา	21.9	22.5	23.4	24.6	25.0	24.9	24.6	24.6	24.4	24.1	23.5	22.1
112	564201	จังหวัดภูเก็ต	ภูเก็ต	21.7	22.0	22.9	23.9	24.4	24.1	23.8	23.7	23.7	23.7	23.3	22.3
113	564202	สนามบินภูเก็ต	ภูเก็ต	21.8	22.1	23.1	24.3	24.7	24.5	24.2	24.2	24.2	24.1	23.4	22.3
114	566201	เกาะลันตา	กระบี่	22.5	22.7	23.7	24.8	25.3	25.1	24.8	24.9	24.7	24.5	23.9	22.9
115	566202	จังหวัดกระบี่	กระบี่	22.0	21.6	22.9	24.2	24.7	24.5	24.2	23.9	24.0	23.9	23.7	22.8
116	567201	สนามบินตรัง	ตรัง	21.5	21.4	22.3	23.7	24.5	24.3	24.0	24.0	23.9	23.9	23.4	22.4
117	568301	สภ.คอหงษ์	สงขลา	22.2	22.2	23.0	23.7	24.0	23.8	23.3	23.1	23.3	23.5	23.7	23.0
118	568401	สะเดา	สงขลา	22.8	22.4	23.2	24.2	24.6	24.4	24.1	23.9	24.0	24.2	24.1	23.6
119	568501	จังหวัดสงขลา	สงขลา	22.5	22.7	23.4	24.2	24.2	23.7	23.4	23.2	23.3	23.7	23.8	23.1
120	568502	หาดใหญ่	สงขลา	21.8	21.8	22.3	23.3	23.8	23.5	23.1	23.0	23.1	23.4	23.4	22.7

ตารางที่ ข-1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2494-2558 (ต่อ)

ลำดับ	รหัส	ชื่อสถานี	จังหวัด	อุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)											
				ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
121	570201	จังหวัดสตูล	สตูล	21.2	21.3	22.5	23.9	24.5	24.3	23.9	23.9	23.9	23.8	23.4	22.6
122	580201	สนามบินปัตตานี	ปัตตานี	22.1	22.1	22.7	23.6	24.0	23.8	23.5	23.3	23.5	23.7	23.7	23.0
123	581301	สภ.ยะลา	ยะลา	22.2	21.9	22.7	23.6	23.9	23.7	23.4	23.2	23.4	23.6	23.8	23.1
124	583201	จังหวัดนราธิวาส	นราธิวาส	22.6	22.8	23.4	24.1	24.2	23.9	23.6	23.5	23.5	23.7	23.6	23.1

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 3 ชี้แจงข้อคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ จากรายงานความก้าวหน้าที่เคยได้รับไป

ชี้แจงข้อคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ จากรายงานความก้าวหน้าที่เคยได้รับ

ข้อคิดเห็นทั่วไปจากผู้ทรงคุณวุฒิ
- ควรมีการศึกษาต่อเนื่องถึงประเด็นการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกอาจส่งผลกระทบต่อค่าคำนวณ Return Period ของ Flood ที่เกิดขึ้น