

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
เล่มที่ 1 รายงานหลัก

โครงการ การทำนาย Probable Maximum Flood (PMF)
โดยใช้เงื่อนไขภูมิพลเป็นต้นแบบ

ผศ.ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร
อ.เชาวน์ ทิรญุตียะกุล
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สนับสนุนโดย
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การตรวจรับโครงการวิจัย
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

Job No. 565

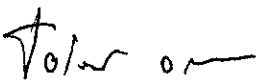
โครงการ

การทำนาย Probable Maximum Flood (PMF) โดยใช้เขื่อนภูมิพลเป็นต้นแบบ

ตามที่ คณะกรรมการตรวจรับ โครงการวิจัย ได้รับการแต่งตั้งจากประธานคณะกรรมการบริหารงานวิจัยและพัฒนา กฟผ. (คบบพ.กฟผ.) ให้ทำหน้าที่ตรวจรับโครงการวิจัยนี้ มาตั้งแต่วันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ซึ่งคณะกรรมการตรวจรับโครงการวิจัยได้รับทราบ และเห็นชอบผลการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ ของโครงการวิจัยมาโดยตลอด

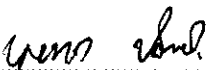
บัดนี้ โครงการวิจัยดังกล่าวได้เสร็จสมบูรณ์และบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ และคณะกรรมการตรวจรับโครงการวิจัยได้ให้ความเห็นชอบผลการดำเนินงานในรายงานฉบับสมบูรณ์นี้แล้ว

ให้ไว้ ณ วันที่ 16 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2552

(ลงนาม).....


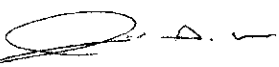
นายชัยโรจน์ จักรไพศาล

ประธานคณะกรรมการตรวจรับโครงการวิจัย

(ลงนาม).....



นายบุญทรง ปีตานนท์ชัย

กรรมการตรวจรับโครงการวิจัย

(ลงนาม).....


นายนริศ สีนธนนพคุณ

กรรมการตรวจรับโครงการวิจัย

(ลงนาม).....


นายสุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย

กรรมการและเลขานุการตรวจรับโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

เขื่อนภูมิพลเปิดใช้งานตั้งแต่ปี 2507 จนถึงปัจจุบัน สภาพพื้นที่ลุ่มน้ำของเขื่อนภูมิพลคือลุ่มน้ำปิงตอนบน มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทำให้สภาพทางกายภาพของพื้นที่ต่างไปจากในช่วงออกแบบมาก จึงควรมีการศึกษาและคำนวณ Probable maximum flood (PMF) และ Probable Maximum precipitation (PMP) ตามมาตรฐานการออกแบบในปัจจุบัน การเปลี่ยน PMP เป็น PMF ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่เหมาะสม แบบจำลองมี 2 องค์ประกอบคือ แบบจำลองการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าของไหลเขา (hillslope runoff generation model) มีพื้นฐานหลักการทำงานจากการกักเก็บความชื้นในดินที่เชื่อมต่อกันแบบขนานและอนุกรม และแบบจำลองการหลาก (distributed flood routing model) มีพื้นฐานหลักการทำงานจากความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บและอัตราการไหลที่ไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับแต่ละช่วงของลำน้ำซึ่งรวมผลของรูปร่างและความขรุขระของที่ราบน้ำท่วม (flood plain) ได้ในแบบจำลอง แบบจำลองสมดุลของน้ำบนไหลเขามีพารามิเตอร์จำนวนหนึ่ง ซึ่งหาค่าได้มาจากการวัดหรือการคำนวณมาจากข้อมูลภูมิอากาศ ดิน และพืชพรรณ หรือจากการวิเคราะห์สภาพส่วนลัด สำหรับการประมาณค่าการไหลสูงสุดซึ่งอยู่เหนือค่าจากการวัดเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของผลที่ได้ พารามิเตอร์ของแบบจำลองการหลากถูกประมาณจากคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ข้อมูลภูมิประเทศและลักษณะพืชพรรณที่อยู่บนที่ราบน้ำท่วมริมลำน้ำหลักเป็นผลรวมอัตราการไหลทั้งลำน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วม ผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลในลำน้ำหลักและจากการไหลในที่ราบน้ำท่วมทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ rating curve แบบจำลองนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำปิงตอนบนขนาด 26,386 ตารางกิโลเมตรเหนือเขื่อนภูมิพลและใช้ประมาณค่า PMF จาก PMP ที่ประมาณสำหรับภูมิภาคนี้ เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลจากน้ำท่าปกติไปเป็น PMF กระบวนการไหลที่มีอิทธิพลหลักในลำน้ำเปลี่ยนจากการไหลในลำน้ำเป็นการไหลล้นตลิ่ง ผลของการเกิดน้ำท่วมล้นตลิ่งและพืชพรรณบนที่ราบน้ำท่วมมีผลต่อการลดขนาดของค่า PMF ค่า PMP ที่เหมาะสมสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนใช้วิธี General Estimates ของกลุ่มแม่น้ำโขงมีช่วงเวลา 3 วัน ความลึกสะสม 348 มิลลิเมตร เมื่อสร้างเป็นพายุฝน 2 ลูกติดกัน ช่วงเวลา 6 วัน ความลึกสะสมเป็น 552 มิลลิเมตร ทำให้เกิดค่า PMF ที่เขื่อนภูมิพล 6,311 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หากเกิดปรากฏการณ์ La Nina ทำให้ปริมาณฝนเพิ่มขึ้น 5% PMF จะเพิ่มเป็น 6,784 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

Abstract

Bhumibol Dam built on Ping River has been operated since 1964. The physical characteristics of catchment area called Upper Ping River has been changed. Physical condition of the catchment is different from the condition on design period. Design extreme flood for Bhumibol dam should be revised based on standard concept of Probable Maximum Precipitation (PMP) and Probable Maximum Flood (PMF). To convert PMP to PMF, a distributed rainfall-runoff model is developed. The model has two components: a hillslope runoff generation model based on a configuration of soil moisture stores in parallel and series, and a distributed flood routing model based on non-linear storage–discharge relationships for individual river reaches that includes the effects of floodplain geometries and roughness. The hillslope water balance model contains a number of parameters, which are measured or derived a priori from climate, soil and vegetation data or streamflow recession analyses. For reliable estimation of extreme discharges that may extend beyond recorded data, the parameters of the flood routing model are estimated from hydraulic properties, topographic data and vegetation cover of compound channels (main channel and floodplains). This includes the effects of the interactions between the main channel and floodplain sections, which tend to cause a change to the rating curve. The model is applied to the upper Ping River Basin, 26,386 km², and used to estimate the PMF from PMP estimates for this region. The effects of floodplain inundation and floodplain vegetation can significantly reduce the magnitude of the estimated PMFs. This study has highlighted the need for the estimation of a number of critical parameters (e.g. cross-sectional geometry, floodplain vegetation, soil depths) through concerted field measurements or surveys, and targeted laboratory experiments. Using the method of general estimates for Maekong River Basin, an appropriate PMP for the upper Ping River is estimate to 348 mm, with duration 3 day. This PMF is applied to 2 consecutive storm with PMP depth 552 mm, duration 6 day for PMF estimation. PMP is converted to PMF at Bhumibol Dam, giving PMF 6,311 m³/s. For La Nina Phenomenon causing 5% rainfall increased, PMP is increased to 6,784 m³/s.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาวิจัยขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) โดยคณะกรรมการบริหารงานวิจัยและพัฒนา (คบวพ. กฟผ.) ที่ได้อนุมัติสนับสนุนทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ คณะกรรมการตรวจรับโครงการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย นายชัยโรจน์ จักรไพศาล ผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายบำรุงรักษาโยธา (ประธานคณะกรรมการ ฯ) นายบุญทรง ปิตานนท์ชัย หัวหน้ากองจัดการทรัพยากรน้ำ ฝ่ายสำราจ นายนิริศ สิ้นชนนพคุณ หัวหน้ากองบำรุงรักษาโยธาทั่วไป ฝ่ายบำรุงรักษาโยธา และนายสุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย หัวหน้ากลุ่มงานส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย ฝ่ายบริหารงานวิจัยและพัฒนา (กรรมการและเลขานุการ) ตลอดจนคุณปรกรณ์ กิจสมพร วิศวกรระดับ 9 กองความปลอดภัยเขื่อน ฝ่ายบำรุงรักษาโยธา และคุณสงวน มณีอนันต์ทรัพย์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำ ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณคุณสุรชัย ประเสริฐวิทย์ หัวหน้ากลุ่มงานตรวจติดตามและประสานโครงการวิจัย ที่ช่วยประสานงาน และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการนำเสนอผลงานวิจัยเป็นระยะ ๆ ตลอดมา

ขอขอบคุณ หน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล เช่น สำนักงานอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล และ กฟผ. โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสำรวจข้อมูลภาคสนามได้รับการอำนวยความสะดวกในการนำทางให้ข้อมูลเป็นอย่างดีจาก คุณวีระวุธ พรรดิพันธ์ ผู้อำนวยการส่วนอุทกวิทยา คุณแสงดาว พรหมตัน เจ้าพนักงานธุรการชำนาญงาน ฝ่ายบริหารงานทั่วไป คุณอมร ทิพย์แดง พนักงานตรวจทานข้อมูล กลุ่มงานวิชาการ ส่วนอุทกวิทยา เชียงใหม่ กรมทรัพยากรน้ำ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาการรับรู้ระยะไกล ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท (LANDSAT) บริเวณลุ่มน้ำปิงเหนือเขื่อนภูมิพลจำนวน 3 ระวัง

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีมหาวิทาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ระหว่างดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ บุคคลากรของสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ผู้ช่วยวิจัย คุณวิชาญ พันธุ์ดี และคุณพรพิไล กิติรัตนตระกูล ที่ได้ร่วมทำงานวิจัยโครงการนี้ ช่วยดูแลการเงิน-บัญชีของโครงการ จัดการอบรมการใช้โปรแกรมและการจัดเตรียมรายงานการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1-1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1-1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1-2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1-2
2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	2-1
2.1 ความหมาย PMF และ PMP.....	2-1
2.2 แนวคิดการใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาเปลี่ยนรูป PMP เป็น PMF.....	2-2
2.3 การประมาณค่า PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทย.....	2-4
2.4 สภาพพื้นที่ศึกษา.....	2-5
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3-1
3.1 แนวทางการศึกษา.....	3-1
3.1.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	3-1
3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของลักษณะลุ่มน้ำ.....	3-3
3.2 การพัฒนาและทดสอบองค์ประกอบแบบจำลอง Extreme Flood Model.....	3-4
3.2.1 การพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำ.....	3-4
3.2.2 การพัฒนาแบบจำลองทำนาย PMF.....	3-4
3.2.3 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	3-5
3.3 การเปรียบเทียบกับวิธีเอกชลภาพ (Unit Hydrograph).....	3-6

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	ผลการวิจัยและผลการพัฒนาแบบจำลอง.....	4-1
4.1	ข้อมูลอุทกนิยามวิทยาและอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำ	4-1
4.1.1	ลักษณะของข้อมูล	4-1
4.1.2	การเลือกใช้ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ข้อมูล	4-11
4.2	ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา.....	4-12
4.2.1	การใช้ที่ดิน	4-12
4.3	ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลงของน้ำรายปี.....	4-15
4.3.1	สมการสมดุลงของน้ำ.....	4-15
4.3.2	การประมาณค่าพารามิเตอร์	4-16
4.3.3	ความซับซ้อนที่ต้องการเพิ่มขึ้น	4-16
4.4	ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลงของน้ำรายเดือน	4-17
4.4.1	สมการสมดุลงของน้ำ.....	4-19
4.4.2	การประมาณค่าพารามิเตอร์	4-20
4.4.3	การวิเคราะห์ความซับซ้อนของแบบจำลอง	4-21
4.5	ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลงของน้ำรายวัน.....	4-21
4.5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บ-อัตราการไหลออก	4-23
4.5.2	การกระจายตัวของความลึกของดิน	4-25
4.5.3	การเชื่อมต่อถึงหลายใบแบบอนุกรม	4-31
4.5.4	การกักเก็บของน้ำใต้ดิน.....	4-31
4.5.5	อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บและ อัตราการไหลออกแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น	4-31
4.5.6	Distributed Model สำหรับสมดุลงของน้ำทั้งกลุ่มน้ำ.....	4-32
4.5.7	การหลากในโครงข่ายลำน้ำ	4-32
4.5.8	ผลการ Simulation จากกลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ.....	4-36
4.6	ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลงของน้ำรายชั่วโมง	4-46
4.7	ผลการพัฒนาแบบจำลองการหลากในลำน้ำที่เป็น Compound Channel	4-47
4.7.1	แบบจำลองการหลากในลำน้ำ.....	4-47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7.2	การประมาณค่า k และ m สำหรับลุ่มน้ำที่ศึกษา.....	4-51
4.7.3	การประยุกต์ใช้ Extreme Flood Model สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน.....	4-57
4.7.4	การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองการหลากในลำน้ำ.....	4-57
4.8	ผลการประมาณค่า PMP.....	4-64
4.9	ผลการประมาณค่า PMF.....	4-72
4.9.1	เปรียบเทียบผลของ PMP 4 รูปแบบ.....	4-73
4.9.2	เปรียบเทียบผลของสภาพความเปียกของลุ่มน้ำ.....	4-73
4.9.3	เปรียบเทียบผลที่ลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ.....	4-75
4.9.4	เปรียบเทียบผลจากปรากฏการณ์ La Nina.....	4-83
4.9.5	ผลการย้ายตำแหน่งศูนย์กลางพายุฝน PMP.....	4-83
4.9.6	ผลการใช้พารามิเตอร์จาก Main channel เท่านั้น.....	4-84
4.9.7	ผลการลดลงของพื้นที่ป่าไม้.....	4-90
4.10	การประมาณค่า PMF โดยวิธีเอกซสภาพ.....	4-91
4.10.1	การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า.....	4-91
4.10.2	การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดด้วยวิธี Regional Analysis.....	4-91
4.10.3	การวิเคราะห์กราฟน้ำนองสูงสุดจากข้อมูลน้ำฝนของลุ่มน้ำย่อย.....	4-92
4.10.4	การประมาณค่า PMF.....	4-93
4.11	ผลการทบทวน Inflow design flood ในอดีต.....	4-99
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	5-1
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	5-1
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	5-2
	บรรณานุกรม.....	6-1

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.3-1	สรุปเปรียบเทียบวิธีการทำนาย PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ ในประเทศไทย 8 แห่ง2-8
4.1-1	สถานีวัดน้ำฝนที่เลือกใช้ในรูปแบบจำลอง.....4-6
4.1-2	สถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้ในรูปแบบจำลอง.....4-8
4.1-3	การแบ่งพื้นที่รับน้ำฝน4-10
4.4-1	ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเฉลี่ยตามพื้นที่4-21
4.4-2	พารามิเตอร์เฉลี่ยตามพื้นที่สำหรับแบบจำลองชุดที่ 2 รายเดือน.....4-21
4.5-1	สรุปข้อมูลชนิด ความลึก ปริมาณหลุมเจาะของดินชั้นบนจากข้อมูล หลุมเจาะน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล4-27
4.5-2	ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน สำหรับลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ 5 แห่ง.....4-36
4.5-3	สรุป การประมาณค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่า และผลตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง4-44
4.7-1	ตัวอย่างพารามิเตอร์สำหรับการกระจายของต้นไม้บนที่ราบน้ำท่วมบริเวณสถานี PE.2 บ้านกองหิน.....4-58
4.7-2	พารามิเตอร์ที่ประมาณค่าจาก storage-discharge curves สำหรับ runoff routing model4-63
4.8-1	การกระจายของ PMP type1 ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ4-69
4.9-1	ค่า PMF ที่ประมาณได้จาก PMP 4 แบบ สำหรับกรณีเกิด PMP ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ที่ 7 ตำแหน่งในกลุ่มน้ำปึงตอนบน4-72
4.9-2	ค่า PMF ที่ประมาณได้สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน ที่ลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ 7 แห่ง กรณี (ก) PMP 4 รูปแบบ จุดศูนย์กลางของ PMP อยู่กึ่งกลางลุ่มน้ำ ประมาณตำแหน่งลุ่มน้ำย่อยหมายเลข 78 กรณี (ข) PMP มีขนาดเพิ่มขึ้น จากปรากฏการณ์ La Nina กรณี (ค) ย้ายตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ PMP กรณี (ง) การลากใช้ค่าพารามิเตอร์จาก main channel เท่านั้น4-76
4.9-3	ชลภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 14-77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.10-1	ข้อมูลทางกายภาพของ 22 กลุ่มน้ำสาขา.....	4-98
4.10-2	ค่า PMF ที่ Control point ต่าง ๆ เมื่อใช้ PMP ทั้ง 4 แบบ	4-99

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1-1	พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำปึงตอนบน	1-3
2.3-1	ขั้นตอนการประมาณ Extreme Flood ของเขื่อนภูมิพล	2-11
2.3-2	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนสิริกิติ์	2-12
2.3-3	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนศรีนครินทร์	2-13
2.3-4	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนเขาแหลม	2-14
2.3-5	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนอุบลรัตน์	2-15
2.3-6	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนรัชชประภา	2-16
2.3-7	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนบางลาง	2-17
2.3-8	ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนแก่งเสือเต้น	2-18
2.4-1	ขอบเขตลุ่มน้ำสาขา 15 สาขาของลุ่มน้ำปึงตอนบน	2-19
3.2-1	ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง Extreme Flood	3-5
3.3-1	ขั้นตอนการวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า	3-8
3.3-2	ขั้นตอนการสร้างชลภาพน้ำท่วมจากข้อมูลน้ำฝนของลุ่มน้ำย่อย	3-9
4.1-1	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนภายในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่โดยรอบ	4-2
4.1-2	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่มีการตรวจวัดการระเหย	4-3
4.1-3	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบน	4-4
4.1-4	ตำแหน่งจุดที่มีรูปตัดขวางลำน้ำ	4-5
4.1-5	แสดงการแบ่ง Thiessen Polygon (หมายเลข 1-49 คือสถานีในตารางที่ 4.1-3)	4-13
4.2-1	ประเภทการใช้ที่ดิน	4-14
4.3-1	การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัด ของแบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายปี	4-17
4.4-1	การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัด ของแบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน	4-18
4.4-2	การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัด ของแบบจำลองประเภทที่สองที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน	4-22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5-1	การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดของแบบจำลองรายเดือนที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายวัน (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่าระหว่างปี, (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี, (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล 4-24
4.5-2	การวิเคราะห์ชลภาพส่วนลด เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ a และ b จากข้อมูลน้ำท่าสถานีแม่จืดที่บ้านดินธาตุ.....4-26
4.5-3	ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน ที่ความลึกต่าง ๆ ข้อมูลจากหลุมเจาะน้ำบาดาล.....4-28
4.5-4	การกระจายของความลึกของดินของชุดดินตัวอย่าง 8 ชุดดิน4-29
4.5-5	ประเภทของชุดดินในเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน4-30
4.5-6	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน กรณีความสัมพันธ์ $S - Q$ เป็นแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) ลุ่มน้ำย่อยที่ 130 สถานีวัดน้ำท่า 060804 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลาและอัตราการไหล.....4-33
4.5-7	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน กรณีความสัมพันธ์ $S - Q$ เป็นแบบเชิงเส้น (linear) ลุ่มน้ำย่อยที่ 130 สถานีวัดน้ำท่า 060804 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลาและอัตราการไหล4-34
4.5-8	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน กรณีความสัมพันธ์ $S - Q$ เป็นแบบไม่เชิงเส้น 50% ผสมกับแบบเชิงเส้น 50% ลุ่มน้ำย่อยที่ 130 สถานีวัดน้ำท่า 060804 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลาและอัตราการไหล..... 4-35
4.5-9	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 182 สถานีวัดน้ำท่า 060402 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล4-37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5-10	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูล ของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 203 สถานีวัดน้ำท่า P.20 (a) การแปรได้ ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่า ภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล4-38
4.5-11	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูล ของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 95 สถานีวัดน้ำท่า P.1 (a) การแปรได้ ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล4-39
4.5-12	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูล ของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 12 สถานีวัดน้ำท่า 061501 (a) การแปรได้ ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล4-40
4.5-13	การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูล ของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) การแปรได้ ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล4-41
4.5-14	เปรียบเทียบข้อมูลตามเวลาจากการวัดและการคำนวณจากแบบจำลองสมมูล ของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อย 38 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) ช่วงเวลา 24 ปี (b) ช่วงเวลาปี ค.ศ.1996 (c) ช่วงเวลาปี ค.ศ.2003-2005 (d) ข้อมูลน้ำท่ารายวัน 24 ปี4-42
4.7-1	ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดย Wormleaton and Merrett (1990) (a) กราฟระดับน้ำ-อัตราการไหลสำหรับรูปร่างหน้าตัด 5 แบบ (b) การประมาณ กราฟความจุ-อัตราการไหลและค่า k และ m โดย n_m และ n_f คือค่าสัมประสิทธิ์ n สำหรับทางน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วม4-50
4.7-2	แสดงการสาธิตการประมาณค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ และ Rating Curve.....4-59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7-3	ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-อัตราการไหล-การกักเก็บน้ำในลำน้ำ ช่วงลุ่มน้ำย่อย 113 สถานีวัดน้ำท่า P.42 (a) รูปตัดขวางลำน้ำ (b) Rating Curve ใน Main channel และใน Flood plain (c) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกักเก็บ-อัตราการไหล4-60
4.7-4	ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-อัตราการไหล-การกักเก็บน้ำในลำน้ำ ช่วงลุ่มน้ำย่อย 68 สถานีวัดน้ำท่า 061201 (a) รูปตัดขวางลำน้ำ (b) Rating Curve ใน Main channel และใน Flood plain (c) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกักเก็บ-อัตราการไหล4-61
4.7-5	ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-อัตราการไหล-การกักเก็บน้ำในลำน้ำช่วง ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) รูปตัดขวางลำน้ำ (b) Rating Curve ใน Main channel และใน Flood plain (c) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกักเก็บ-อัตราการไหล4-62
4.8-1	รูปแบบการกระจาย PMP ตามพื้นที่ (Isohyetal pattern) แนะนำโดย WMO.....4-65
4.8-2	รูปแบบการกระจาย PMP ตามพื้นที่ของพายุฝน Tilda ย้ายมายังลุ่มน้ำปึงตอนบน (Transposed Isohyetal pattern).....4-66
4.8-3	การกระจายของ PMP ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ (a) รูปแบบที่ 1 (b) รูปแบบที่ 2 (c) รูปแบบที่ 3 (d) รูปแบบที่ 4.....4-67
4.9-1	แสดงชลภาพของ PMF ที่เกิดจาก PMP แบบที่ 1.....4-74
4.9-2	แสดงชลภาพของ PMF ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 เชื้อนภูมิพล เปรียบเทียบระหว่าง PMP 4 รูปแบบ4-75
4.9-3	ย้ายศูนย์กลาง PMP มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 40.....4-85
4.9-4	ย้ายศูนย์กลาง PMP มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 24.....4-86
4.9-5	ชลภาพของ PMF ที่ประมาณได้จากการย้ายจุดศูนย์กลาง PMP แบบที่ 1 มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 40 เปรียบเทียบกับ 5 ลุ่มน้ำย่อย (a) อัตราการไหลเป็น mm/h (b) อัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที4-87
4.9-6	ชลภาพของ PMF ที่ประมาณได้จากการย้ายจุดศูนย์กลาง PMP แบบที่ 1 มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 24 เปรียบเทียบกับ 5 ลุ่มน้ำย่อย (a) อัตราการไหลเป็น mm/h (b) อัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที4-88

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9-7	ชลภาพของ PMF เกิดจาก PMP แบบที่ 1 โดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์ของ main channel เท่านั้น เปรียบเทียบกับ 5 กลุ่มน้ำย่อย (a) อัตราการไหลเป็น mm/h (b) อัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที4-89
4.10-1	แบบจำลองการหลากในโครงข่ายลำน้ำสู่เขื่อนภูมิพล ที่จุดควบคุมที่ 13 (CP13).....4-94
4.10-2	เอกชลภาพของ 22 กลุ่มน้ำสาขา ในลุ่มน้ำปิงตอนบน.....4-95
4.10-3	ชลภาพ PMF จาก 22 กลุ่มน้ำสาขา.....4-96
4.10-4	ชลภาพ PMF จาก 13 ช่วงของลำน้ำจุดควบคุมที่ 1 ถึง 13 หลังจากการหลากในลำน้ำ.....4-97
4.11-1	(a) ฝนออกแบบและอัตราการสูญเสียจากการศึกษาในอดีต (b) เอกชลภาพที่มี lag time 4 วัน ที่สถานีวังกระเจ้า (c) เปรียบเทียบชลภาพที่เขื่อนภูมิพลระหว่างการออกแบบเดิม และการทบทวน.....4-101
4.11-2	ชลภาพจากการหลากผ่าน จุดควบคุม (Control point, CP) 13 จุด หลังจากโครงข่ายลำน้ำรับน้ำท่าจาก 22 กลุ่มน้ำย่อย โดยรับปริมาณฝนออกแบบเดิม 380 มม. ช่วง 23 วัน.....4-102
4.11-3	ชลภาพจากการหลากผ่าน จุดควบคุม (Control point, CP) 13 จุด หลังจากโครงข่ายลำน้ำรับน้ำท่าจาก 22 กลุ่มน้ำย่อย โดยรับปริมาณฝนออกแบบ PMP 1 ความลึก 522 มม. ช่วง 6 วัน4-103

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เขื่อนภูมิพลเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้งแห่งเดียวในประเทศไทย สร้างปิดกั้นลำน้ำปิงที่บริเวณเขาแก้ว อำเภอสามเงา จังหวัดตาก เปิดใช้อย่างเป็นทางการตั้งแต่วันที่ 17 พฤษภาคม 2507 มีขนาดพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน และความจุอ่างเก็บน้ำ 26,386 ตารางกิโลเมตร และ 13,462 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีกำลังผลิตไฟฟ้าขนาด 779.2 เมกกะวัตต์ รูปที่ 1.1-1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา ลุ่มน้ำปิงตอนบนเหนือเขื่อนภูมิพล

การศึกษาและออกแบบทางอุทกวิทยาในสมัยนั้นใช้ Design Flood Return Period 1,000 ปี แทนที่จะเป็น PMF ตามมาตรฐานการออกแบบสากล ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นมาภายหลังจากการสร้างเขื่อนภูมิพล ตลอดอายุการใช้งานของเขื่อนภูมิพล จนถึงปัจจุบัน สภาพพื้นที่ลุ่มน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล มีความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของพื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนตลอดมา ทำให้สภาพทางกายภาพของพื้นที่ต่างไปจากในช่วงการออกแบบมาก โดยเฉพาะการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรม การขยายตัวของชุมชน ส่งผลให้อัตราการเกิดน้ำท่าสูงสุดและช่วงเวลาการเกิดเปลี่ยนแปลงไป จึงควรมีการศึกษา และคำนวณ Probable Maximum Flood (PMF) พร้อมทั้งทบทวนค่า Flood Return Period 1,000 ปี ที่เป็นผลจากความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการพิจารณาความสามารถรับน้ำและระบายน้ำจากตัวเขื่อน และใช้ทบทวนการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายด้านความมั่นคงปลอดภัยของเขื่อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาและทำนาย Probable Maximum Flood (PMF) สำหรับเขื่อนภูมิพล ค่า PMF ที่ได้เป็นผลจากความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน โดยมีเป้าหมายของการศึกษาดังนี้

1. ได้แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่เหมาะสมกับสภาพลุ่มน้ำแม่ปิง มีจำนวนพารามิเตอร์ตามความจำเป็น มีความหมายทางกายภาพ โดยประมาณค่าจากการวิเคราะห์ข้อมูล และใช้การ Calibration ให้น้อยที่สุด การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสามารถสะท้อนผลโดยแบบจำลองได้ทันที

2. ได้ผลการคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเขื่อนจากภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง เช่น การเพิ่มขึ้นของน้ำฝนเนื่องจาก Green House effect และทำให้เกิด Global warming
3. เปรียบเทียบผลการทำนายค่า PMF ของเขื่อนภูมิพล ระหว่างการใช้วิธีเดิม ที่นิยมใช้ในการทำนาย PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศ และผลการทำนายจากวิธีหรือแบบจำลองที่เสนอในการศึกษานี้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาคือเขื่อนภูมิพล อ่างเก็บน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ปิงตอนบนเหนือเขื่อนภูมิพล เพื่อทำนาย ค่า PMF ของเขื่อนภูมิพล ทั้งนี้ได้เลือกศึกษาวิธีการทำนาย Extreme Flood ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับการทำนาย PMF ของเขื่อนภูมิพลที่ใช้แบบจำลองที่เสนอในการศึกษานี้

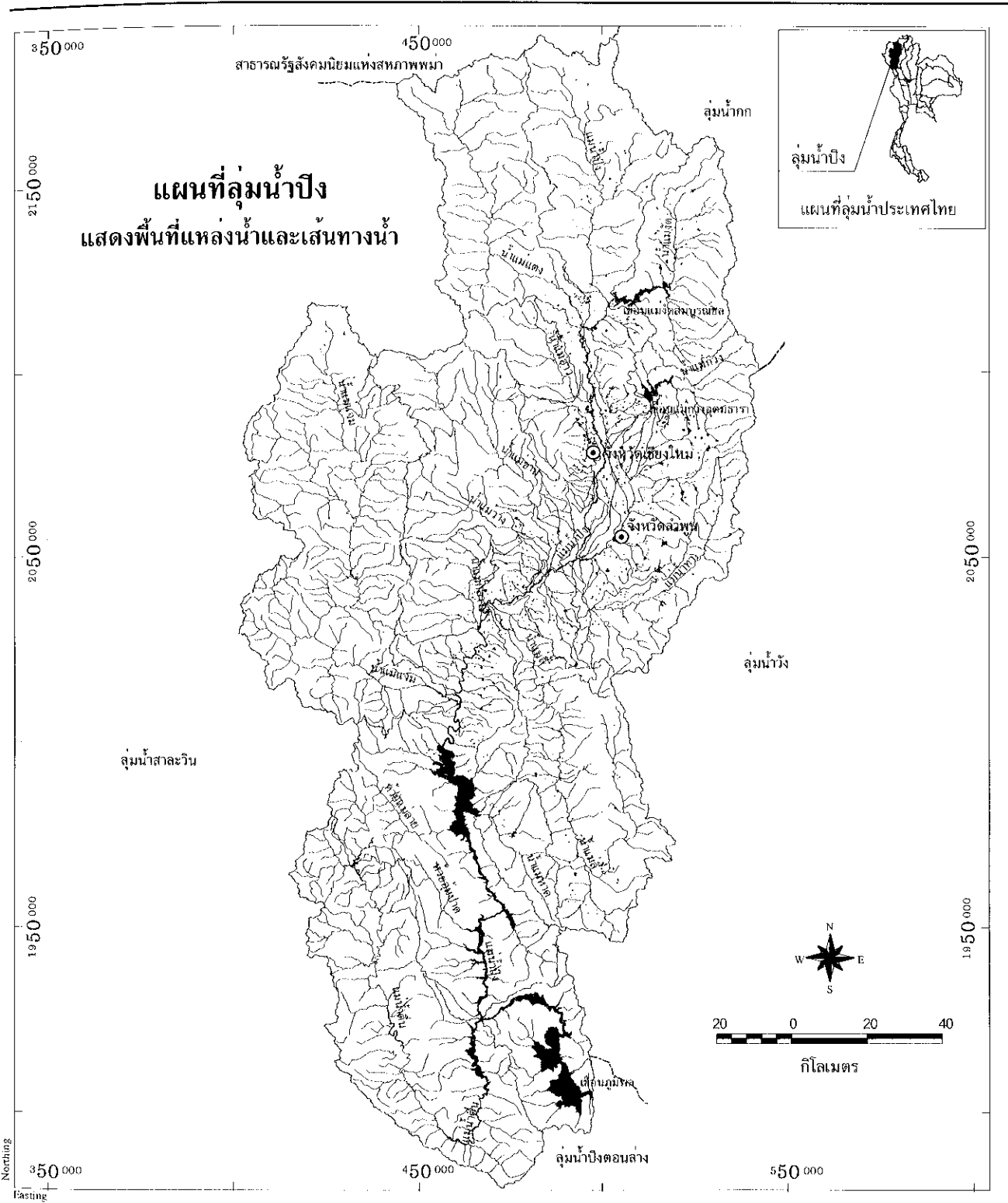
ข้อมูลทางกายภาพสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่มีการบันทึกและสำรวจไว้แล้วจากหน่วยงานต่างๆ การสำรวจข้อมูลปฐมภูมิได้ดำเนินการเฉพาะการสำรวจรูปตัดลำน้ำและสภาพที่ราบน้ำท่วม (flood plain) ที่ไม่มีข้อมูลเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

PMF ของเขื่อนภูมิพลได้รับการตรวจสอบ เป็นข้อมูลทางอุทกวิทยาที่สำคัญสำหรับ กฟผ. นำไปใช้ทบทวนการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ ที่คำนึงถึงความปลอดภัยของตัวเขื่อน

แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการทำนาย PMF มีโครงสร้างและกระบวนการเหมาะสมกับสภาพลุ่มน้ำเหนือเขื่อนภูมิพล หากสภาพการใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต แบบจำลองนี้ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่มีความหมายทางกายภาพ สามารถนำไปปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงนี้มารวมอยู่ด้วย และปรับเปลี่ยนตามสภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำได้ และสามารถสะท้อนผลต่อการเปลี่ยนแปลง PMF ในอนาคตต่อไปได้

กระบวนการพัฒนาแบบจำลองทางอุทกวิทยานี้ตลอดจนแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่เป็นผลจากการพัฒนา กฟผ. สามารถนำไปปรับใช้สร้างแบบจำลองสำหรับเขื่อนอื่น ๆ สำหรับการทำนาย PMF ได้เองต่อไป ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการใช้และการพัฒนาแบบจำลองมอบให้และจัดอบรมให้บุคลากรของ กฟผ.








มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มาตราส่วนแผนที่นำเข้า..... 1 : 50,000. 1 : 250,000

พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47

แหล่งข้อมูล : แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ. กรมแผนที่ทหาร. 2540-2545

สัญลักษณ์

-  จังหวัด
-  เขตลุ่มน้ำ
-  เส้นทางน้ำ, แม่น้ำ
-  พื้นที่แหล่งน้ำ, อ่างเก็บน้ำ, เขื่อน
-  เขตลุ่มน้ำสาขา

รูปที่ 1.1-1 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำปิงตอนบน

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมาย PMF และ PMP

ค่า PMF ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สำคัญ เนื่องจากหากมีการชำรุด พังทลายของโครงสร้างทางชลศาสตร์เหล่านี้จะนำมาซึ่งการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก โดยทั่วไปทางปฏิบัติตามหลักวิศวกรรม PMF จะถูกประมาณจาก Probable Maximum Precipitation (PMP) ซึ่งเป็นเหตุการณ์ฝนตกสูงสุดสำหรับพื้นที่และช่วงเวลาที่น่าสนใจ การเปลี่ยนจาก PMP เป็น PMF ทำได้โดยวิธีการทางอุทกวิทยาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามความเป็นไปได้ที่จะเกิดมากกว่า (Exceedance Probability) ที่เป็นจริงหรือรอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) ที่ถูกต้องไม่สามารถกำหนดได้จากทั้ง PMP และ PMF หากพอกำหนดได้รอบปีการเกิดซ้ำจะมีค่ามากขึ้นไป บางครั้งอยู่ในหลักหมื่นปีหรือมากกว่า (Klemes, 1993; Pilgrim and Rowbottom, 1987) และไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องในทางปฏิบัติได้เลย

Hansen et al. (1982) อธิบายให้คำนิยามของ PMP คือ ปริมาณความลึกของฝนที่มากที่สุดทางทฤษฎีสำหรับช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งมีความเป็นไปได้ทางกายภาพที่จะเกิดเหนือพื้นที่ที่มีพายุฝนที่กำหนด ที่ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจงและเป็นช่วงเวลาหนึ่งของปี ความลึกเฉลี่ยของฝน PMP เหนือลุ่มน้ำหาได้จากค่า PMP ที่จุดศูนย์กลางพายุฝนได้ถูกกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำตามรูปแบบการกระจายตามพื้นที่หรือเส้นชั้นน้ำฝนที่กำหนด

วิธีการประมาณค่า PMP แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีหลัก คือ (WMO, 1986)

1. การประมาณเฉพาะลุ่มน้ำ หรือเฉพาะภูมิภาคที่ประกอบด้วยลุ่มน้ำหลายขนาดจำนวนมาก
2. การประมาณแบบทั่วไปทั้งภูมิภาค (generalized or regional estimates)
3. การประมาณด้วยวิธีทางสถิติ (statistical estimates)

วิธีแรกอาจเรียกว่า convergence model เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนปริมาณฝนสูงสุดจากการวัดเป็น PMP เกี่ยวข้องกับการประมาณความชื้นในอากาศ การปรับแก้หาความชื้นสูงสุด (moisture maximization) การปรับความเร็วลม การย้ายพายุฝน (storm transposition) การจัดลำดับและการกระจายตามพื้นที่ (sequential and spatial maximization) และการพัฒนาเป็นกราฟ depth-area-duration

วิธีที่สองคล้ายกับวิธีแรกแต่เป็นการประมาณทั้งภูมิภาค ความแตกต่างทางภูมิประเทศมีผลมากขึ้นเมื่อลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น การประมาณทั้งภูมิภาคจะมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะภูมิภาคที่มีความสูงต่ำของพื้นดิน (orographic regions) จึงจำกัดขนาดพื้นที่ไม่เกิน 13,000 ตารางกิโลเมตร กรณีมีอิทธิพลของความสูงต่ำของพื้นดินและไม่เกิน 52,000 ตารางกิโลเมตร กรณีไม่มีอิทธิพลของความสูงต่ำของพื้นที่

วิธี Statistical Estimates เป็นการใช้วิธีทางสถิติประมาณค่า PMP สามารถประมาณค่า PMP ได้อย่างรวดเร็ว เหมาะกับพื้นที่ที่มีข้อมูลปริมาณน้ำฝนมากอย่างเพียงพอ แต่ไม่มีข้อมูลภูมิอากาศอื่น เช่น ขาดข้อมูลอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง ความเร็วลม ส่วนใหญ่ใช้ในการประมาณค่า PMP อย่างรวดเร็วสำหรับพื้นที่เล็กกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร แต่ก็มีกรณีนำไปใช้กับพื้นที่ขนาดใหญ่กว่านี้ อย่างกว้างขวาง ข้อจำกัดที่สำคัญของวิธีการนี้คือ ให้ค่า PMP ที่เป็นจุด จึงต้องอาศัยข้อมูล Area reduction factor เพื่อปรับค่าจากจุดให้เป็นสำหรับพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ปัญหาข้อจำกัดที่สองเกี่ยวข้องกับการหาค่า K (Common statistical variable) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามการกระจายความถี่ที่แตกต่างกันของ fitting ข้อมูลอุทกวิทยาที่เป็นค่า extreme value (World Meteorological Organization, 1986)

2.2 แนวคิดการใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาเปลี่ยนรูป PMP เป็น PMF

วิธีทางอุทกวิทยาในปัจจุบันในการเปลี่ยน PMP เป็น PMF มีดังนี้ วิธีที่(1) การใช้แบบจำลองต่อเนื่อง (Continuous simulation models) และ วิธีที่ (2) การใช้เอกชลภาพ (Unit hydrograph) (Pilgrim and Rowbottom, 1987) การศึกษานี้ใช้วิธีที่ การใช้แบบจำลองต่อเนื่อง เพราะมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีเอกชลภาพหลายประการคือ (1) สามารถรวมกระบวนการทางกายภาพที่ซับซ้อนซึ่งมีผลต่อการเกิดน้ำท่าของกลุ่มน้ำ เข้ามาอยู่ในแบบจำลองได้ รวมทั้งพฤติกรรมที่ไม่ใช่เชิงเส้นทั้งหลาย (2) มีศักยภาพในการคิดรวมความแตกต่างตามพื้นที่ของลักษณะลุ่มน้ำและความแตกต่างของกระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า (3) สามารถนำความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและโดยมนุษย์ต่อลักษณะทางกายภาพลุ่มน้ำเข้ามาแสดงผลในแบบจำลองได้

ปริมาณน้ำท่วมสูงสุด (Extreme floods) เช่น PMF เป็นปรากฏการณ์ที่อยู่เหนือการสัมผัสและการรับรู้ได้ของตามประสบการณ์ของมนุษย์ ดังนั้นการทำนายและประมาณค่าต้องทำอย่างระมัดระวัง ในทางทฤษฎี จะเหมาะสมกว่า หากนำแบบจำลองอย่างง่ายมีกลไกที่เข้าใจได้ไม่ยากมาใช้ แทนการใช้แบบจำลองที่ซับซ้อน

ตัวอย่างแบบจำลองทางอุทกวิทยาสำหรับการประมาณค่าน้ำท่วมสูงสุดในประเทศออสเตรเลีย เช่น RORB runoff routing model ของ Laurenson and Mein (1988) Watershed bounded network model (WBNM) ของ Boyd et al. (1979) และ Picewise linear (PLM) และ Quasi-linear (QLM) models ของ Bates and Pilgrim (1986) อย่างไรก็ตามแบบจำลองข้างต้นส่วน

ใหญ่เป็น Runoff routing models จึงมีความคล้ายคลึงกับวิธีเอกซดภาพ ซึ่งก่อนจะทำการหลากได้ ต้องมีแบบจำลองเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าที่เกิดจากฝนส่วนเกิน (Rainfall excess hyetograph) ประสบการณ์ทางอุทกวิทยาของประเทศออสเตรเลีย โดยเฉพาะในพื้นที่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐออสเตรเลียตะวันตก แนะนำให้ใช้ Initial loss-continuing loss method แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง ยังไม่ใช้พารามิเตอร์ของกระบวนการเกิดน้ำจริงในภูมิภาคนี้ นักอุทกวิทยารู้สึกว่าวิธีเหล่านี้ อาจทำให้การประมาณค่าการเกิดน้ำท่วมสูงสุดสูงเกินไป ดังนั้นการตรวจ ทดสอบกลไกที่มีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดน้ำท่าสูงสุดจะมีประโยชน์มาก ทำให้เห็นกลไกภายในของวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณค่าน้ำท่าท่วมสูงสุด สิ่งนี้คือแรงจูงใจที่สำคัญสำหรับการทำงานที่นำมาเสนอนี้ แบบจำลองต่อเนื่องสำหรับการประมาณค่าน้ำท่าท่วมสูงสุด ประสบปัญหาจากข้อจำกัดที่แบบจำลองส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ การ Calibration เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ การ Calibration จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในอดีตจากการสำรวจ การวัด ซึ่งมักเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าน้ำท่าท่วมสูงสุด และใช้วิธีต่อเส้นกราฟ (Extrapolation) ให้ไปถึงจุดน้ำท่าท่วมสูงสุด วิธีการนี้จะไม่สามารถให้คำอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า เหตุการณ์น้ำท่าท่วมในอดีตมีความแตกต่างจากเหตุการณ์การเกิดน้ำท่าท่วมสูงสุดอย่างไร โดยเฉพาะกระบวนการเกิดน้ำท่าจากน้ำฝนที่อาจแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ดังนั้นการตระหนักถึงกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จากการเกิดน้ำท่าท่วมตามปกติไปสู่การเกิดน้ำท่าท่วมสูงสุด จึงเป็นข้อควรพิจารณาที่สำคัญและนำมาเป็นปัจจัยในการประมาณค่าน้ำท่าท่วมสูงสุด

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนของกระบวนการเมื่อรอบการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้น เป็นเรื่องที่มีการศึกษาทำความเข้าใจไว้บ้างแล้วในทางอุทกวิทยา (Sivapalan et al., 1990; Wood et al. 1990) กระบวนการที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่าสามารถเปลี่ยนได้เมื่อขนาดพายุฝน โตขึ้น (ความถี่มากขึ้น) การเปลี่ยนกระบวนการที่มีอิทธิพลเมื่อรอบการเกิดซ้ำมากขึ้น อาจแสดงให้เห็นในรูปร่างของ Flood frequency curve ตัวอย่างเช่น การสร้าง Derived flood frequency curve จากแบบจำลอง Non-linear rainfall-runoff model Sivapalan et al.(1990) แสดงให้เห็นว่าสำหรับลุ่มน้ำในอุดมคติ กระบวนการที่มีอิทธิพลในการเกิดน้ำท่าสามารถเปลี่ยนจาก Saturation excess overland flow เป็น Infiltration excess overland flow เมื่อรอบการเกิดซ้ำมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงการไหลในลำน้ำสามารถสังเกตได้ทั้งในสนามและในห้องทดลอง การไหลแบบสั้นตลิ่งจะมีอิทธิพลมากกว่าการไหลในลำน้ำ เมื่อปริมาณน้ำจากพื้นที่เหนือน้ำและลุ่มน้ำข้างเคียง ไหลมารวมกันจำนวนมากทำให้ปริมาณน้ำมากกว่าความจุของลำน้ำ การทดลองในห้องปฏิบัติการจำนวนหนึ่งได้ดำเนินการเพื่อศึกษาผลของ Compound channels รวมทั้งการส่งถ่ายเทมวลและโมเมนตัมระหว่างลำน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วมถึงริมลำน้ำ (Floodplain) Wormlcaton and Merrett (1990) ใช้รางทดลองมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ตรวจสอบผลของความแตกต่างของรูปร่างลำน้ำและความขรุขระ โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความกว้างของ ที่ราบน้ำท่วมถึงริมลำน้ำต่อความกว้างของลำน้ำหลัก และเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในลำน้ำ (Manning coefficient)

พบว่า Rating curve ของการไหลในลำน้ำและการไหลล้นลำน้ำมีความแตกต่างกัน ผลที่ได้นี้มีข้อสรุปที่คล้ายกับผลของการเกิดน้ำท่วมในที่ลุ่ม (Floodplain inundation) โดย Bates and Pilgrim (1983) และ Kölla (1987) ต่อมา Woltemade and Potter (1994) ได้ตรวจสอบการลดลงของขนาดน้ำท่าสูงสุดที่ลักษณะต่าง ๆ ของลำน้ำ โดยใช้แบบจำลอง MIKE11 และ Hydrodynamic Model แสดงให้เห็นว่ารูปร่างของลำน้ำ ความกว้าง ความลาดชันและความขรุขระ ล้วนมีอิทธิพลต่อค่าการไหลสูงสุด โดยเฉพาะสำหรับลำน้ำท่วมขนาดกลาง (5-50 ปี รอบการเกิดซ้ำ)

Jothityangkoon and Sivapalan (2003) ได้พัฒนาแบบจำลอง Distributed rainfall-runoff model สำหรับการทำนาย Extreme flood พบว่าเมื่อเกิดการเพิ่มขึ้นจากภาวะน้ำท่วมตามปกติไปสู่ภาวะน้ำท่วมสูงสุด PMF ผลจากแบบจำลองแสดงว่ากระบวนการเกิดน้ำท่าได้เปลี่ยนแปลงโดยมีการเพิ่มขึ้นของ Saturation excess overland flow จากพื้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำเพิ่มมากขึ้น กระบวนการไหลล้นฝั่งมีบทบาทมากกว่าการไหลในลำน้ำ ผลจากการเกิดน้ำท่วมในที่ลุ่มริมฝั่ง (Floodplain inundation) และมีพีชพรรณ ทำให้ขนาด PMF ที่คำนวณได้ลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

เนื่องจากได้ตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเขื่อนภูมิพลแล้ว ยังไม่มีผลการศึกษาเรื่อง PMF ของเขื่อนภูมิพล ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลและวิธีการประมาณค่า PMF จากการศึกษาเกี่ยวกับ PMF ของเขื่อนภูมิพล ในอดีตได้ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ศึกษา เปรียบเทียบวิธีการทำนายค่า PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ต่าง ๆ ในประเทศที่มีข้อมูลประกอบด้วย

2.3 การประมาณค่า PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทย

การศึกษานี้ได้สรุปการประมาณค่า PMP และ PMF จากรายงานผลการศึกษาทางอุทกวิทยาของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยจำนวน 8 แห่ง คือ

1. เขื่อนภูมิพล ลุ่มน้ำปิง
2. เขื่อนสิริกิติ์ ลุ่มน้ำน่าน
3. เขื่อนศรีนครินทร์ ลุ่มน้ำแควใหญ่
4. เขื่อนเขาแหลม ลุ่มน้ำแควน้อย
5. เขื่อนอุบลรัตน์ ลุ่มน้ำพอง
6. เขื่อนรัชชประภา ลุ่มน้ำคลองแสง
7. เขื่อนบางลาง ลุ่มน้ำปัตตานี
8. เขื่อนแก่งเสือเต้น ลุ่มน้ำยม

ทั้งนี้เฉพาะเขื่อนภูมิพลยังไม่ได้ใช้ค่า PMF แต่ใช้ Maximum design flood ที่ return period 1,000 ปี แทน และเขื่อนในลำดับ 1 – 7 มีการเปิดใช้งานแล้วยกเว้นเขื่อนแก่งเสือเต้นซึ่งยังไม่ได้ก่อสร้าง

การประมาณค่า PMP ส่วนใหญ่ใช้วิธีประมาณเฉพาะแต่ละลุ่มน้ำที่ศึกษา ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นการใช้ข้อมูลจากวิธี generalized หรือ regional estimates พัฒนามาเป็น PMP ณ ตำแหน่งลุ่มน้ำที่ต้องการ ขั้นตอนสำคัญมีดังนี้

- 1) Moisture maximization โดยใช้ข้อมูล maximum persisting 12-h, 1000-hPa dewpoints เป็นครรชนีค่าสูงสุดปริมาณไอน้ำในอากาศ
- 2) Storm transposition จากพื้นที่ที่เคยเกิดพายุฝนตกหนักมายังพื้นที่ศึกษา ซึ่งต้องคำนึงถึงลักษณะความแตกต่างทางภูมิประเทศ (geographic features) ของทั้ง 2 ตำแหน่ง

สรุปข้อมูลพื้นฐานของเขื่อนขนาดใหญ่ทั้ง 8 แห่ง และวิธีการประมาณค่า PMP และ PMF แสดงในตารางที่ 2.3-1 สรุปขั้นตอนการประมาณค่า PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ทั้ง 8 แห่ง แสดงในรูปที่ 2.3-1 ถึง 2.3-8 ส่วนรายละเอียดรายงานผลการศึกษาทางอุทกวิทยาที่เกี่ยวกับ PMP และ PMF ของเขื่อนเหล่านี้อยู่ในภาคผนวก ก

2.4 สภาพพื้นที่ศึกษา

กรมทรัพยากรน้ำได้แบ่งการบริหารจัดการลุ่มน้ำปิงเป็น ปิงตอนบน และปิงตอนล่าง ซึ่งลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล และเป็นพื้นที่ศึกษา อยู่ในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน การบริหารจัดการลุ่มน้ำปิงตอนบนแบ่งการบริหารจัดการออกเป็นลุ่มน้ำสาขาได้ 15 ลุ่มน้ำสาขา ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่รับน้ำฝน 26,386 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย 1.ปิงส่วนที่ 1 2.แม่แตง 3.แม่จัน 4.แม่ริม 5.ปิงส่วนที่ 2 6.แม่กวง 7.แม่แจ่ม 8.แม่ขาน 9.แม่กลาง 10.ปิงส่วนที่ 3 11.แม่หาด 12.แม่ลี 13.แม่อาว 14.แม่ทา และ 15.แม่ต๋น ขอบเขตลุ่มน้ำสาขาเหล่านี้แสดงในรูปที่ 2.4-1 รายละเอียดสภาพพื้นที่ศึกษาสรุปจากรายงานโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546) ได้ดังนี้

1) สภาพลุ่มน้ำ

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 26,000 ตารางกิโลเมตร มีต้นน้ำมาจากทิวเขาผีปันน้ำ ในเขตอำเภอเชียงดาว ไหลลงมาทางทิศใต้ผ่านหุบเขาเข้าเขตอำเภอแม่แตง มีน้ำแม่จัน ไหลมาบรรจบทางด้านทิศตะวันออก และน้ำแม่แตงและแม่ริม ไหลมาบรรจบทางด้านทิศตะวันตก ก่อนไหลเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่มในเขตจังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นมีน้ำแม่กวง ไหลมาบรรจบทางด้านทิศตะวันออก ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดลำพูน ต่อจากนั้นแม่น้ำปิงไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีน้ำแม่ลี ไหลขึ้นมาบรรจบกับแม่น้ำปิงทางทิศตะวันออกที่อำเภอจอมทอง ต่อมาแม่น้ำแม่แจ่ม ไหลมาบรรจบทางด้านทิศตะวันตกที่อำเภอฮอด และมีน้ำแม่ต๋น ไหลขึ้นมาบรรจบทางทิศตะวันตก ก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า

2) ด้านทรัพยากรน้ำ

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติเฉลี่ย 6,815.13 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ลุ่มน้ำสาขาที่มีสัดส่วนปริมาณน้ำท่าสูง ได้แก่ น้ำแม่แจ่ม น้ำแม่แตง น้ำแม่ต้น คิดเป็นร้อยละ 64.6 ของปริมาณน้ำท่าทั้งหมดของลุ่มน้ำปิง

3) ทรัพยากรดิน

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีขนาดประมาณ 14.61 ล้านไร่ เมื่อพิจารณาตามคุณสมบัติของ ความชื้นเหมาะสมของดินเพื่อการปลูกพืชแบ่งเป็น 4 ประเภท

พื้นที่เหมาะสมกับการปลูกข้าว	2,014,342 ไร่ (13.79%)
พื้นที่เหมาะสมกับการปลูกพืชไร่ ผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น	578,926 ไร่ (3.96%)
พื้นที่ต้องมีการปรับปรุงดินเพื่อการปลูกพืช	256,679 ไร่ (1.76%)
พื้นที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช	11,166,190 ไร่ (76.45%)
พื้นที่อื่น ๆ	590,113 ไร่ (4.04%)
รวม	14,606,250 ไร่ (100%)

4) การใช้ที่ดิน

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจำแนกประเภทการใช้ที่ดินออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

พื้นที่เกษตรกรรม	2,361,990 ไร่ (16.17%)
ป่าไม้	11,418,900 ไร่ (78.18%)
แหล่งน้ำ	105,118 ไร่ (0.72%)
ที่อยู่อาศัย	484,744 ไร่ (3.32%)
อื่น ๆ	235,498 ไร่ (1.61%)
รวม	14,606,250 ไร่ (100%)

สัดส่วนของประเภทการใช้ที่ดิน พบว่าพื้นที่ป่าไม้มีสัดส่วนมากที่สุด รองลงมาเป็น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อาศัย แหล่งน้ำ และอื่น ๆ ตามลำดับ

5) ประชากร

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีประชากรทั้งหมด 1,763,971 คน ความหนาแน่นประชากรประมาณ 75 คน ต่อตารางกิโลเมตร คราวเรือนทั้งหมด 577,130 คราวเรือน มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.06 คน ต่อครัวเรือน

6) พื้นที่ชลประทาน

พื้นที่ชลประทานหลวงร้อยละ 73.39 และพื้นที่ชลประทานราษฎร์ร้อยละ 26.60 ซึ่งเป็นการใช้ระบบเหมืองฝายโดยชาวบ้านและการสูบน้ำจากลำน้ำโดยตรง โดยมีพื้นที่ในการปลูกข้าวมากที่สุดถึงร้อยละ 44.23 ของพื้นที่ชลประทานทั้งหมด

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ชลประทานรวม 1,732,731 ไร่ แบ่งออกเป็น

พื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิด	พื้นที่ (ไร่)		รวม
	ชลประทานหลวง	ชลประทานราษฎร์	
ข้าว	627,429	139,021	766,450
พืชไร่	359,770	219,058	578,828
พืชผัก	18,951	4,676	23,627
ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	160,817	98,240	259,057
อื่น ๆ	186	0	186
รวมพื้นที่เพาะปลูก	1,167,153	460,995	1,628,148
รวมพื้นที่ชลประทาน	1,271,736	460,995	1,732,731

7) ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ

ความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันประมาณปีละ 3,146 ล้านลูกบาศก์เมตร อนาคต 20 ปีเพิ่มเป็น 3,397 ล้านลูกบาศก์เมตร แยกเป็นความต้องการใช้น้ำในภาคการเกษตรร้อยละ 76.14 และอื่น ๆ ดังนี้

ความต้องการใช้น้ำ (ล้าน ลบ.ม)	กรณีปัจจุบัน	กรณีอนาคต 20 ปี
ด้านการเกษตร	2,395.49 (76.14%)	2,605.94
อุปโภคบริโภค	92.06 (2.93%)	117.63
อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว	18.51 (0.59%)	33.20
รักษาสมดุลนิเวศน์ที่น้ำ	640.16 (20.35%)	640.16
รวม	3,146.22 (100%)	3,396.94

ตารางที่ 2.3-1 สรุปเปรียบเทียบวิธีการทำนาย PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทย 8 แห่ง

1. Bhumibol Dam	2. Sirikit Dam	3. Srinagarind Dam
D.A = 26,386 km ² เปิดใช้งาน พ.ศ.2507 Max. Design Flood 6,000 cms Return Period 1,000 ปี Flood Volume 7.670 MCM	D.A = 13,130 km ² เปิดใช้งาน พ.ศ. 2517 PMF 10,500 cms Flood Volume 4.640 MCM	D.A = 10,880 km ² เปิดใช้งาน พ.ศ. 2521 PMF 7,100 cms Flood Volume 3,867 MCM
(ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2502)	(ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2506)	(ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2515)
Recorded Max. Flood 4.500 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2516)	Recorded Max. Flood 5.260 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2523)	Recorded Max. Flood 2,350 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2531)
Recorded Max. Flood 3.033 cms	Recorded Max. Flood 2.258 cms	Recorded Max. Flood 2,867 cms
	วิธีการหา PMP storm maximization (Transporstion, Maximization and Envelopement)	วิธีการหา PMP วิธี Physical Method (Moisture Maximization)วิเคราะห์พายุฝนในอดีต 12 ลูก หา Moisture Inflow index ได้ PMP 880 mm
	วิธีการคำนวณ PMF วิธีเอกชลภาพสำหรับลุ่มน้ำย่อย บางส่วนสังเคราะห์ขึ้นมาและทำการหลาก ไปยังที่ตั้งเขื่อน	วิธีการคำนวณ PMF ใช้ความสัมพันธ์ $Q = 0.549R - 94.4$ เปลี่ยน Excess rainfall เป็น Flow
		จาก Feasibility Report Quae Yai No.1 (1968)
		จาก Supplementary Report for Quae Yai No.1 Report, Feb. 1973
		วิธีการหา PMP ใช้ Maximizing factor (MF) จาก Maximum moisture inflow และ Historical moisture inflow index
		วิธีการคำนวณ PMF ใช้เอกชลภาพเปลี่ยน PMF 350 mm (3 วัน) ได้น้ำท่าสูงสุด 6,800 cms + base flow 700 cms เป็น 7,500 cms

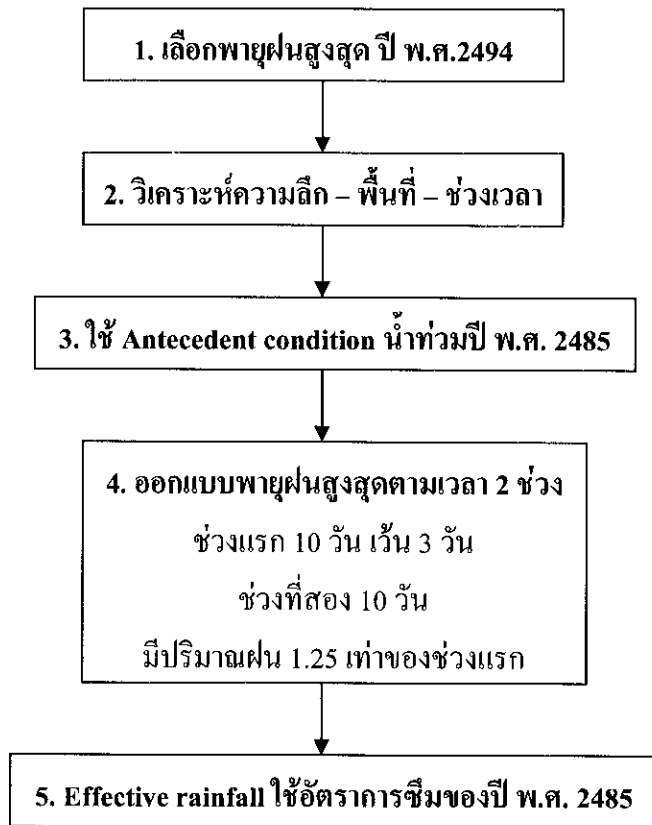
ตารางที่ 2.3-1 สรุปเปรียบเทียบวิธีการทำนาย PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทย 8 แห่ง (ต่อ)

4. Khao Laem Dam	5. Ubol Ratana Dam	6. Rajjaprabha Dam
D.A = 3,720 km ² เปิดใช้งาน พ.ศ. 2528 PMF 7,100 cms Flood Volume 3,500 MCM	D.A = 12,000 km ² เปิดใช้งาน พ.ศ. 2509 PMF 17,6310 cms Flood Volume 4,823 MCM revised ปี พ.ศ. 2540 PMF = 19,540 cms, FV = 4,362 MCM	D.A = 1,435 km ² เปิดใช้งาน พ.ศ. 2530 PMF 5,320 cms Flood Volume 1,514 MCM
PMP 587 mm Duration 10 วัน (ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2509)	PMP = 478.1 mm Duration 3 วัน (ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2507)	PMP 1,119 มม Duration 5 วัน (ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2508)
Recorded Max. Flood 3,146 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2528)	Recorded Max. Flood 1,223 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2521)	Recorded Max. Flood 1,516 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2530)
Recorded Max. Flood 2,606 cms	Recorded Max. Flood 6,334 cms	Recorded Max. Flood 693 cms
วิธีการหา PMP ทำโดย Australian Bureau of Meteorology -ใช้พายุฝนสูงสุดที่เกิดในลุ่มน้ำแควน้อย 18 - 17 กรกฎาคม 2515 (maximization factor = 1.54)	วิธีการหา PMP ผลการศึกษา PMP ลุ่มน้ำแม่โขง US study (1970)	วิธีการหา PMP storm maximization -จากพายุฝนสูงสุด 2 - 6 มกราคม 2510 ศูนย์กลางใกล้ Kota Bharu ย้ายมาที่ตั้งเขื่อน
วิธีการคำนวณ PMF ใช้แบบจำลอง Catchment Flood Routing Model (CFR model) Calibration กับชลภาพน้ำท่วม 5 ครั้ง ที่ทองผาภูมิ -Effective rainfall : initial loss 20 mm, loss rate = 1.0 mm/h -base flow 500 cms	วิธีการคำนวณ PMF -วิธีเอกชลภาพสร้างจากชลภาพปี 2521 -Effective rainfall Runoff coefficient = 0.779 revised ปี พ.ศ. 2540 Runoff coefficient = 0.700 base flow 400 cms	วิธีการคำนวณ PMF -วิธีเอกชลภาพ สร้างจากชลภาพน้ำท่าเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2512 และ 2519 -Effective rainfall : initial loss 5 mm/d runoff coefficient = 80% -base flow 300 cms

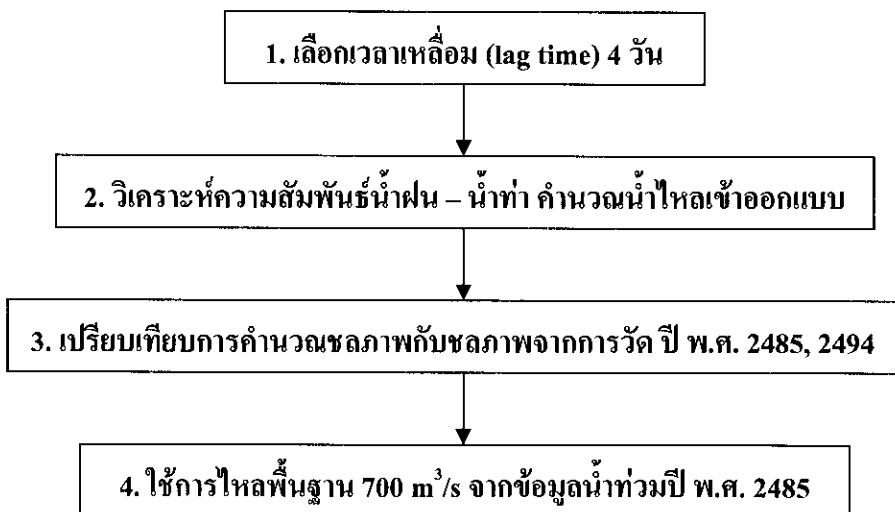
ตารางที่ 2.3-1 สรุปเปรียบเทียบวิธีการทำนาย PMP และ PMF ของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทย 8 แห่ง (ต่อ)

7. Bang Lang Dam	8. Kaeng Sua Ten Dam
D.A = 2.080 km ²	D.A = 3,850 km ²
เปิดใช้งาน พ.ศ. 2524	ยังไม่ได้ก่อสร้าง
PMF 6.134 cms	PMF 10.400 cms
Flood Volume 1,530 MCM	Flood Volume 21,000 MCM
PMP 1.056 mm	PMP (mm) 395 507 624
Duration 5 วัน (ก่อนสร้างเขื่อน พ.ศ. 2515)	Duration (วัน) 1 3 5
Recorded Max. Flood 1.850 cms (หลังจากสร้างเขื่อน พ.ศ. 2531)	
Recorded Max. Flood 1.752 cms	
จาก Hydrologic Studies on the Design Flood of Pattani Project, Report No.HD-005 (1973)	
วิธีการหา PMP	วิธีการหา PMP
storm maximization (Transporstion, Maximization)	-Statistical Approach (Hershfield Technique)
จากพายุฝนที่มีศูนย์กลางที่ Kota Bharu	ใช้ frequency factor = 13
วิธีการคำนวณ PMF	วิธีการคำนวณ PMF
-ใช้เอกชลภาพ	-วิธีเอกชลภาพของกรมชลประทาน
-Effective rainfall มี loss 5mm/d	-Effective rainfall
Runoff coefficient 70%	Loss ϕ index = 1 mm/hr
	base flow 100 cms
จาก Pattani River Project Feasibility Report (1969)	
วิธีการหา PMP	
ใช้พายุฝน return period 1000 ปี	
700 mm (2 days)	
Design extreme flood	
ใช้วิธีเอกชลภาพมีค่า = 5.344 cms	
Flood Volume = 1,240 MCM	
- Areal Reduction factor = 0.85	
- loss rate 40 mm/d	

พายุฝนออกแบบ

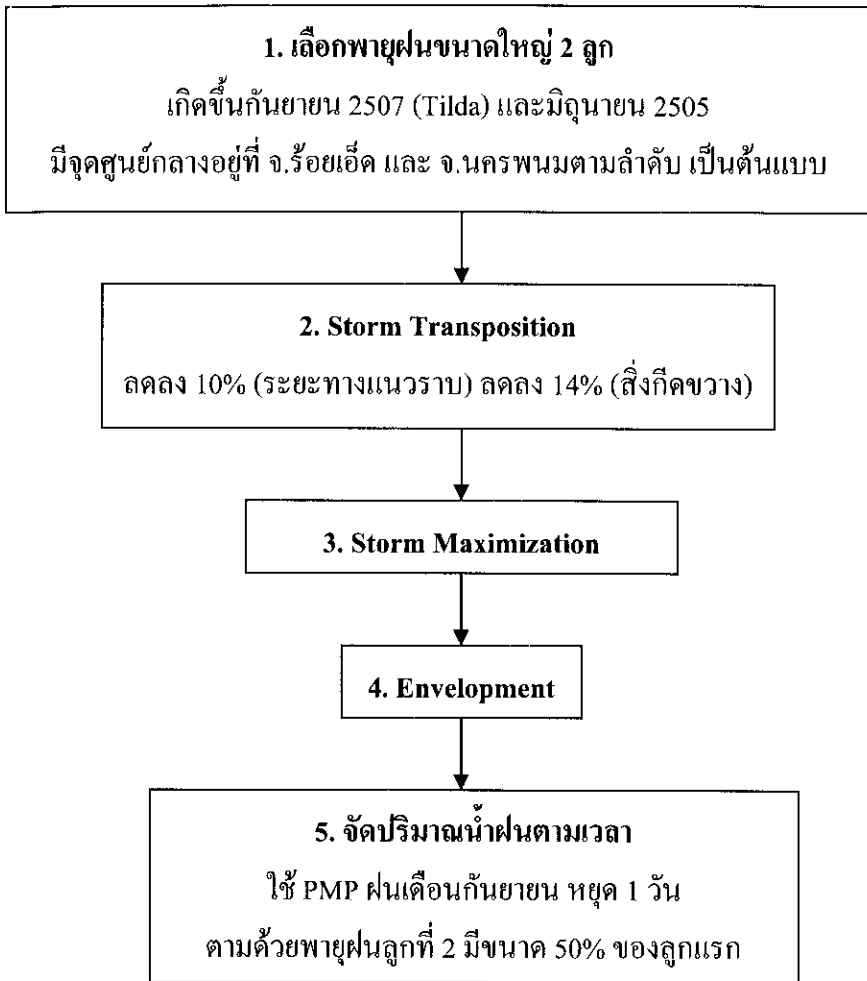


Inflow Design Flood

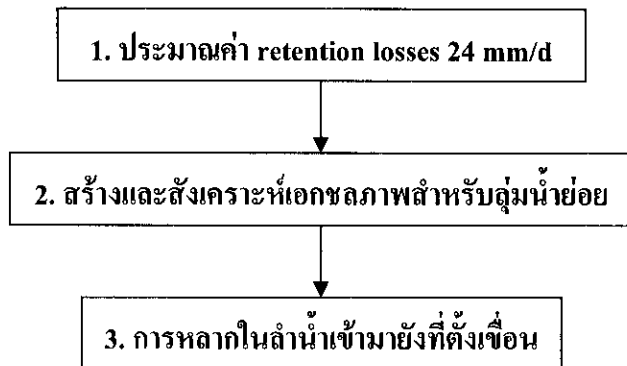


รูปที่ 2.3-1 ขั้นตอนการประมาณ Extreme Flood ของเขื่อนภูมิพล

การประมาณค่า PMP

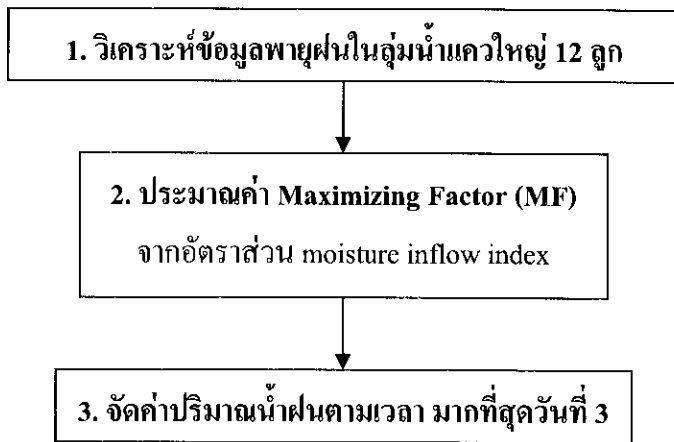


การประมาณค่า PMF

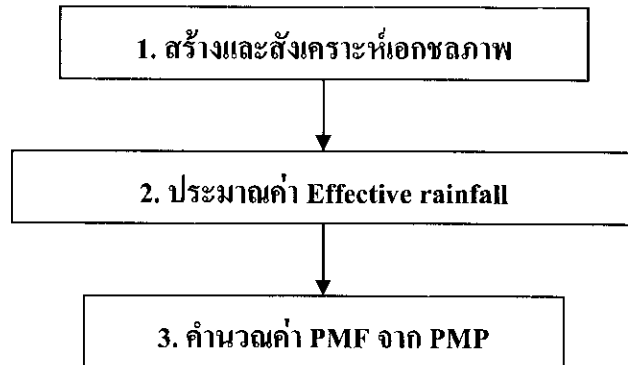


รูปที่ 2.3-2 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนสิริกิติ์

การประมาณค่า PMP

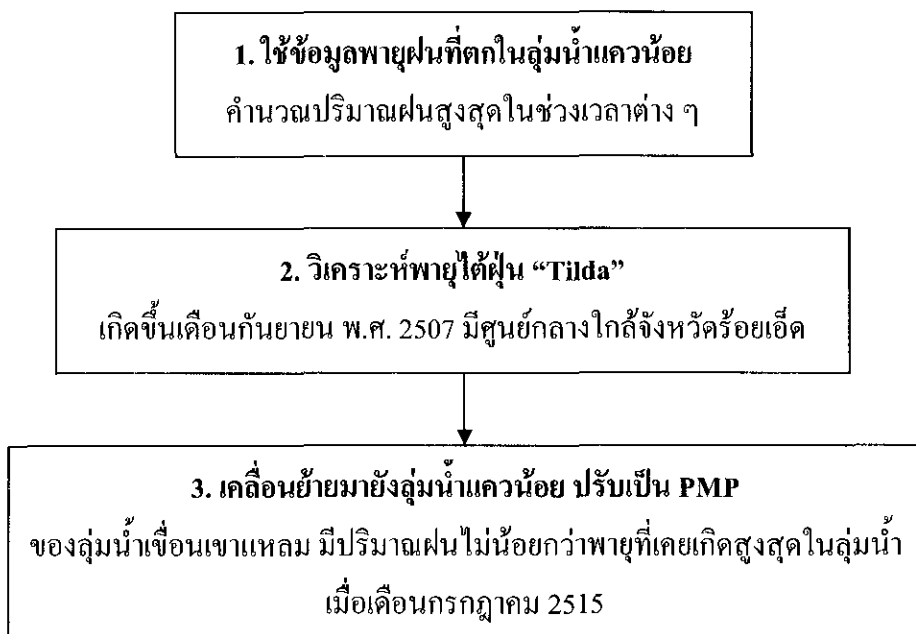


การประมาณค่า PMF

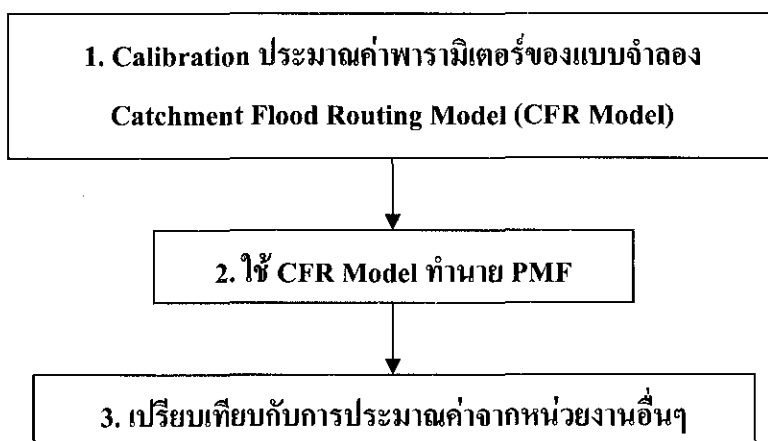


รูปที่ 2.3-3 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนศรีนครินทร์

การประมาณค่า PMP

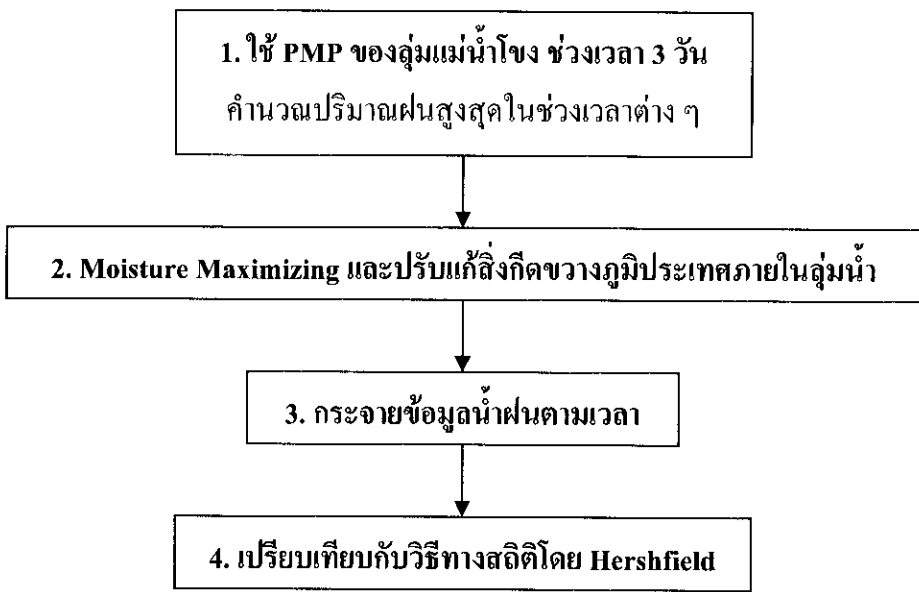


การประมาณค่า PMF

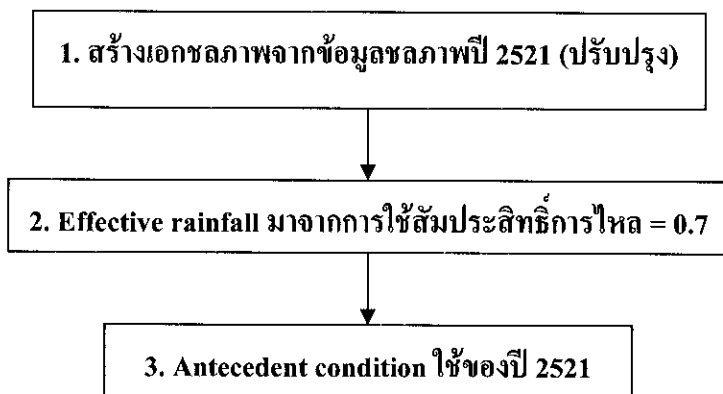


รูปที่ 2.3-4 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนเขาแหลม

การประมาณค่า PMP

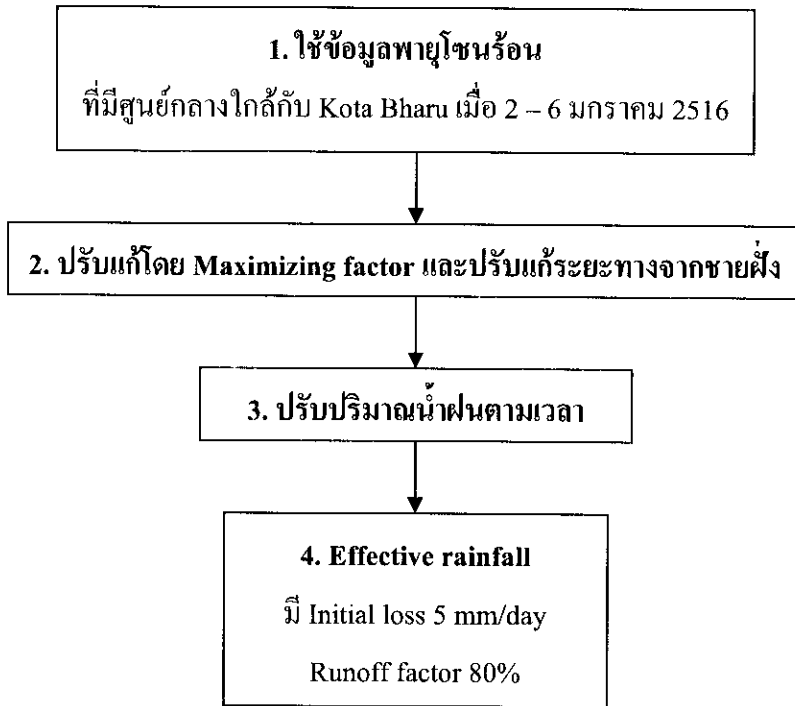


การประมาณค่า PMF

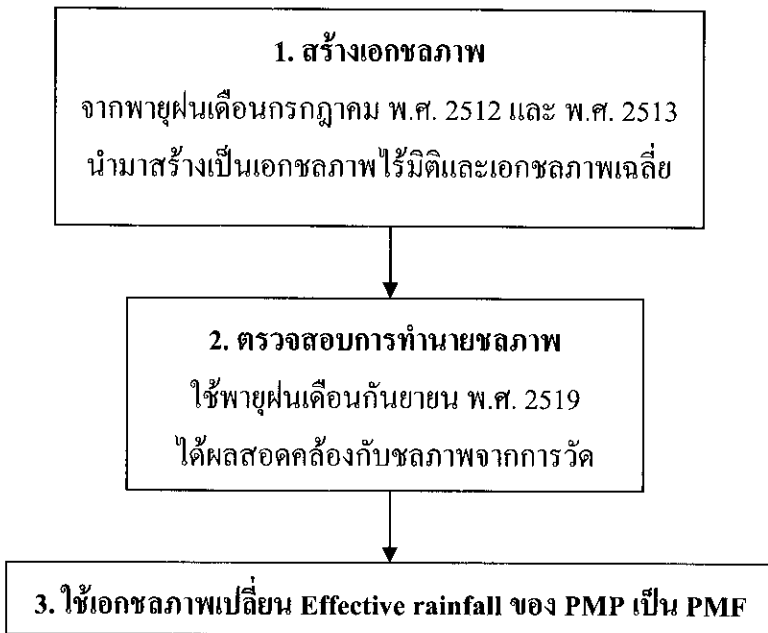


รูปที่ 2.3-5 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนอุบลรัตน์

การประมาณค่า PMP

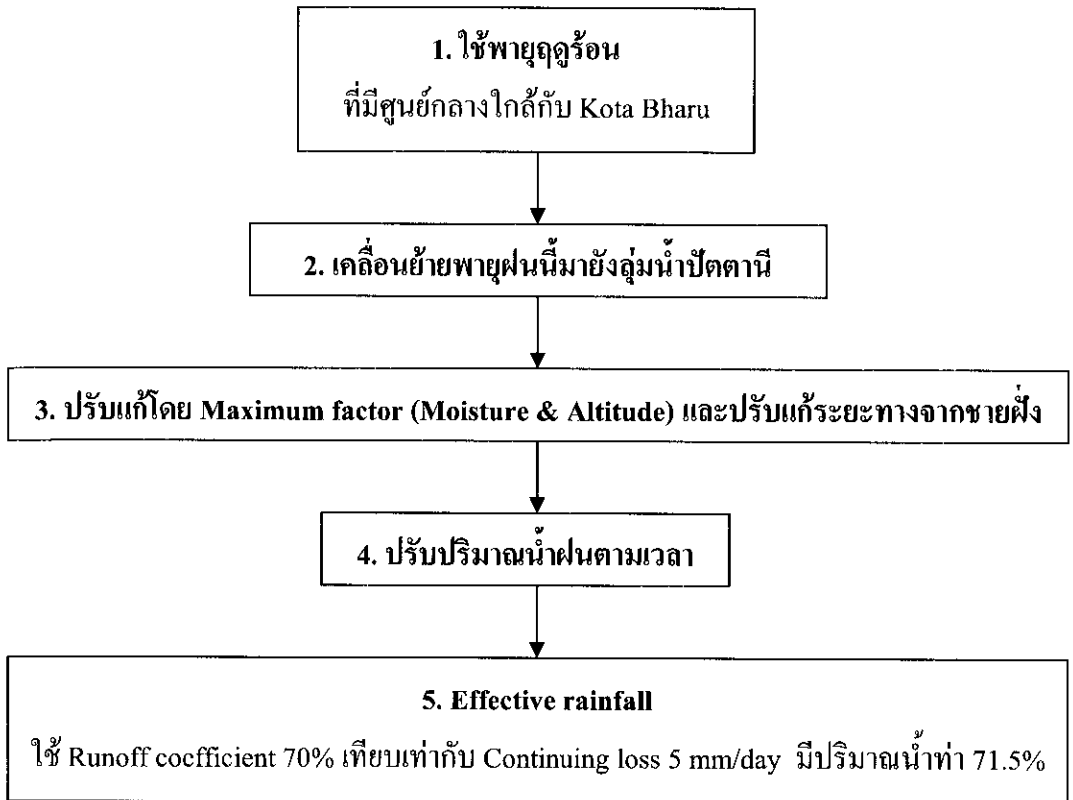


การประมาณค่า PMF

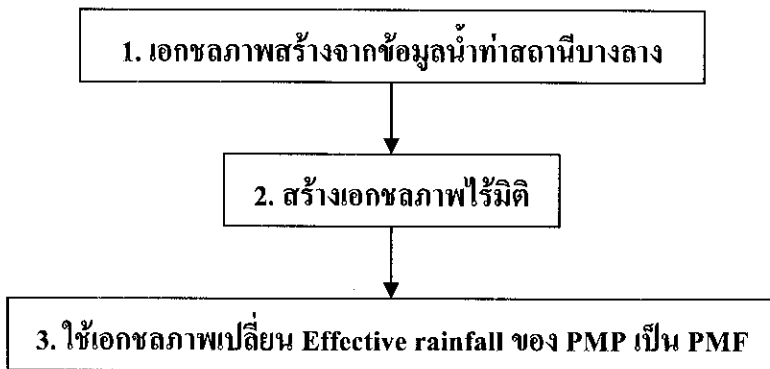


รูปที่ 2.3-6 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนรัชชประภา

การประมาณค่า PMP

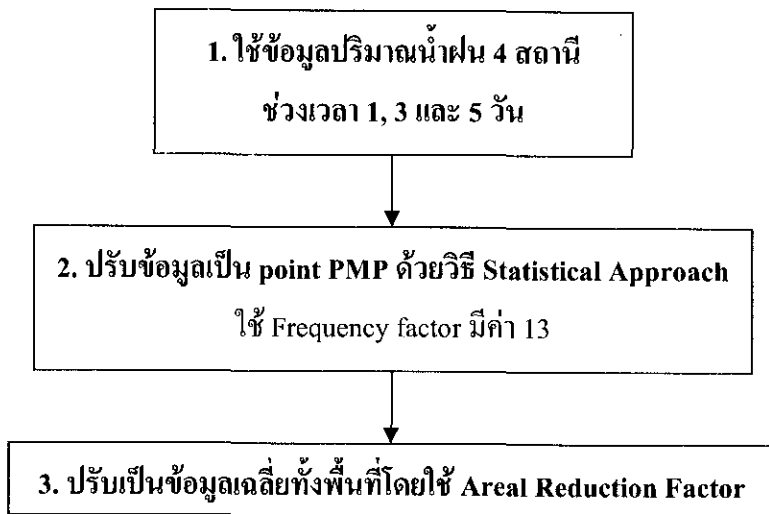


การประมาณค่า PMF

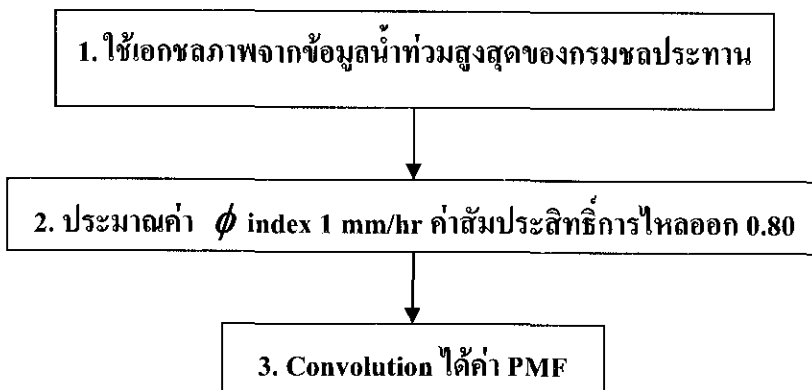


รูปที่ 2.3-7 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนบางยาง

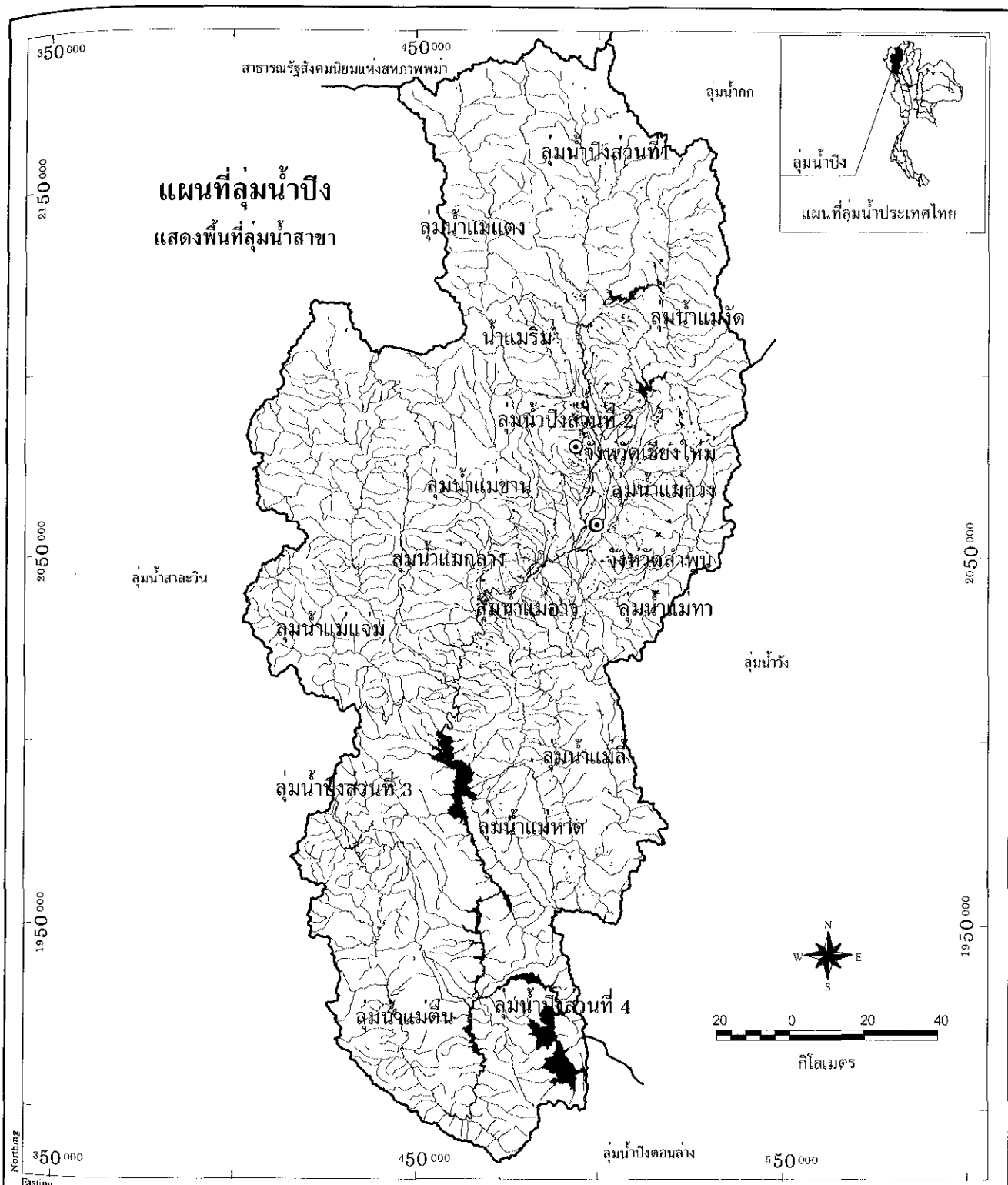
การประมาณค่า PMP



การประมาณค่า PMF



รูปที่ 2.3-8 ขั้นตอนการประมาณ PMP, PMF ของเขื่อนแก่งเสือเต้น



แผนที่ลุ่มน้ำปิง
แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำสาขา






มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มาตราส่วนแผนที่นำเข้า..... 1 : 50,000

พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47

แหล่งข้อมูล : แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ, กรมแผนที่ทหาร, 2540-2545

สัญลักษณ์

-  จังหวัด
-  เขตลุ่มน้ำ
-  พื้นที่ลุ่มน้ำสาขา

รูปที่ 2.4-1 ขอบเขตลุ่มน้ำสาขา 15 สาขาของลุ่มน้ำปิงตอนบน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แนวทางการศึกษา

3.1.1 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาเพื่อทำนาย PMF โดยใช้เงื่อนไขภูมิพลเป็นต้นแบบ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) ศึกษาการออกแบบเงื่อนไขภูมิพล

ศึกษาเกณฑ์การออกแบบทางอุทกวิทยาเดิมของเงื่อนไขภูมิพล และเงื่อนไขขนาดใหญ่ในประเทศอีก 7 แห่ง โดยศึกษาจากเอกสารรายการคำนวณและสอบถามจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

2) การรวบรวมข้อมูล

มีข้อมูลจำนวนมากจากการสำรวจและศึกษาของหน่วยงานภาครัฐและองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศ แต่ยังคงจัดกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ ด้วยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลในปัจจุบัน จะช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้ชัดเจนมากขึ้น รายการข้อมูลทุติยภูมิที่ต้องการเช่น สภาพทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ลำน้ำ การใช้ที่ดิน ข้อมูลทางอุทกนิยมนาวิทยาและอุทกวิทยา โครงการพัฒนาแหล่งน้ำและการใช้ประโยชน์น้ำท่า

3) การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล ระหว่าง น้ำฝน น้ำท่า ดิน พืชพรรณ และการใช้ที่ดิน และตรวจสอบสมดุลของน้ำในกลุ่มน้ำ การซ้อนทับพื้นที่ลุ่มน้ำกับแผนที่ดาวเทียมเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ขนาดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตรและชุมชน ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับการกำหนดค่า พารามิเตอร์ของแบบจำลองสมดุลของน้ำต่อไป

4) การประมาณค่า PMP

Probable Maximum Precipitation (PMP) สำหรับพื้นที่รับน้ำของเงื่อนไขภูมิพล จะประมาณค่าโดยใช้วิธี Statistical estimates และ Generalized estimate เปรียบเทียบกัน และ

ลักษณะของ PMP ที่ได้เป็นการกระจายทั้งตามเวลาและตามพื้นที่ (Temporal and Spatial distribution) มี 4 รูปแบบ อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.8

5) การพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำ

เริ่มจากแบบจำลองสมดุลของน้ำอย่างง่าย ค่อยพัฒนาอย่างเป็นระบบ เพิ่มกระบวนการต่าง ๆ เป็นขั้นตอน เพื่อแสดงลักษณะเฉพาะของความไม่แน่นอนของน้ำท่าที่มาตราส่วนของเวลาแบบรายปี รายเดือน และรายวัน กระบวนการและความซับซ้อนถูกเพิ่มเป็นลำดับแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวันซึ่งประกอบด้วย Catchment Water Balance model และ Channel Network Routing model จะถูกพัฒนาขึ้นและใช้ Daily model กำหนด Antecedent Condition สำหรับ Hourly model ที่จะใช้ประมาณ PMF ขั้นตอนการพัฒนา Catchment Water Balance model และ PMF model จะเป็นแนวทางเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำในรัฐออสเตรเลียตะวันตก ประเทศออสเตรเลีย ที่ประสบผลสำเร็จมาแล้ว [Jothityangkoon, et.al., 2001; Jothityangkoon, and Sivapalan, 2003]

6) การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

ข้อมูลทุติยภูมิ ที่ยังไม่ครบถ้วน จำเป็นต้องมีการสำรวจข้อมูลภาคสนาม เพื่อให้ได้ภาพข้อมูลที่สมบูรณ์ และตรงกับสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ ใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับการทำงานกับแบบจำลองต่อไป

ในขณะที่เกิดน้ำท่วมสูงสุด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ในจินตนาการที่อยู่เหนือประสบการณ์ในอดีตของมนุษย์ เมื่อเกิดน้ำท่วมสูงสุด การไหลแบบล้นตลิ่งจะมีอิทธิพลมากกว่าการไหลในลำน้ำ จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า Rating Curve ของการไหลในลำน้ำ และการไหลล้นลำน้ำมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีข้อมูลรูปตัดลำน้ำ สภาพลำน้ำ บริเวณสองฝั่งลำน้ำที่มากพอที่มีความเป็นไปได้ที่น้ำจะท่วมถึง ซึ่งหากไม่มีข้อมูลรูปตัด สภาพลำน้ำเช่นนี้ จำเป็นต้องทำการสำรวจภาคสนาม เพื่อนำมาคำนวณสร้าง Rating Curve ของการไหลล้นตลิ่ง สำหรับ Channel Network Routing Model แทนการต่อเส้นกราฟ Rating Curve ของการไหลในลำน้ำออกไป

7) การทดสอบแบบจำลองและการทำนายค่า PMF

ดำเนินการทดสอบแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าในภาวะปกติ หากได้ผลดีจึงนำมาใช้เป็นเครื่องมือการทดลองหา PMF และใช้ศึกษาสำหรับกรณีศึกษาต่างๆ เช่น ผลกระทบจากปรากฏการณ์ La Nina

3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของลักษณะลุ่มน้ำ

จากข้อมูลที่มีการบันทึกทั้งทางอุทกวิทยา และทางชลศาสตร์ของลุ่มน้ำปึงถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะลุ่มน้ำในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ก. กระบวนการเกิดน้ำท่า

กระบวนการเกิดน้ำท่า (Runoff Generation Processes) มีความเป็นไปได้หลายกระบวนการ เช่น Infiltration excess runoff, Saturation excess runoff, Sub-surface runoff และ Groundwater runoff เป็นต้น แต่ละกระบวนการมีปัจจัยควบคุมทางกายภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาสาเหตุที่มาของการเกิดน้ำท่าจากพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น ที่ลาดไหล่เขา (Hillslope) หรือจากลุ่มน้ำย่อยขนาดเล็ก ว่าเกิดจากกระบวนการใด

ข. ความสัมพันธ์การกักเก็บและการไหลออก (Storage-Discharge Relationship)

ความสัมพันธ์นี้มีความสำคัญสำหรับกระบวนการเกิดน้ำท่าแบบ Sub-surface runoff การกักเก็บและการไหลออกอาจสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (linear) หรือ ไม่ใช่เชิงเส้น (non-linear) การหาพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์นี้จะได้จากการทำ Recession Analysis ของชลภาพส่วนลด (Recession Curve)

ค. ความสัมพันธ์ความลึกของดินและชุดดิน (Soil depth distribution–Land form)

ความลึกของดินมีผลต่อความจุของน้ำในดิน (Soil-water storage) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับกระบวนการเกิดน้ำท่าแบบ Saturation excess runoff จึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายตัวของความลึกของดิน และความสัมพันธ์กับชุดดินในแผนที่ชุดดิน

ง. ความสัมพันธ์การใช้ที่ดินและขอบเขตลุ่มน้ำย่อย (Land use- Subcatchment)

ผลการวิเคราะห์และจำแนกการใช้ที่ดินของพื้นที่ภายในลุ่มน้ำ มีความสำคัญต่อสมมูลของน้ำของลุ่มน้ำย่อยมาก มีผลให้การคายระเหย การเกิดน้ำท่าและการไหลออกลงสู่ลำน้ำ มีความแตกต่างกัน

จ. ความสัมพันธ์ลักษณะทางน้ำและ Rating Curve

จากข้อมูลผลการสำรวจในอดีตที่นำมาสร้าง Rating Curve ของการไหลในลำน้ำ ประกอบกับข้อมูลทางกายภาพของสภาพตลิ่งสองฝั่งลำน้ำ เช่น ลักษณะรูปตัดขวางลำน้ำ ลักษณะพืชพรรณบนสองฝั่งลำน้ำ ถูกนำมาคำนวณทางชลศาสตร์และตั้งเคราะห์สร้าง Rating Curve สำหรับการไหลในลำน้ำเมื่อเกิดน้ำท่วมสูงสุด

3.2 การพัฒนาและทดสอบองค์ประกอบของแบบจำลอง Extreme Flood Model

ภาพรวมขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง Extreme Flood Model แสดงในรูปที่ 3.2-1 สามารถแบ่งอธิบายออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

3.2.1 การพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำ

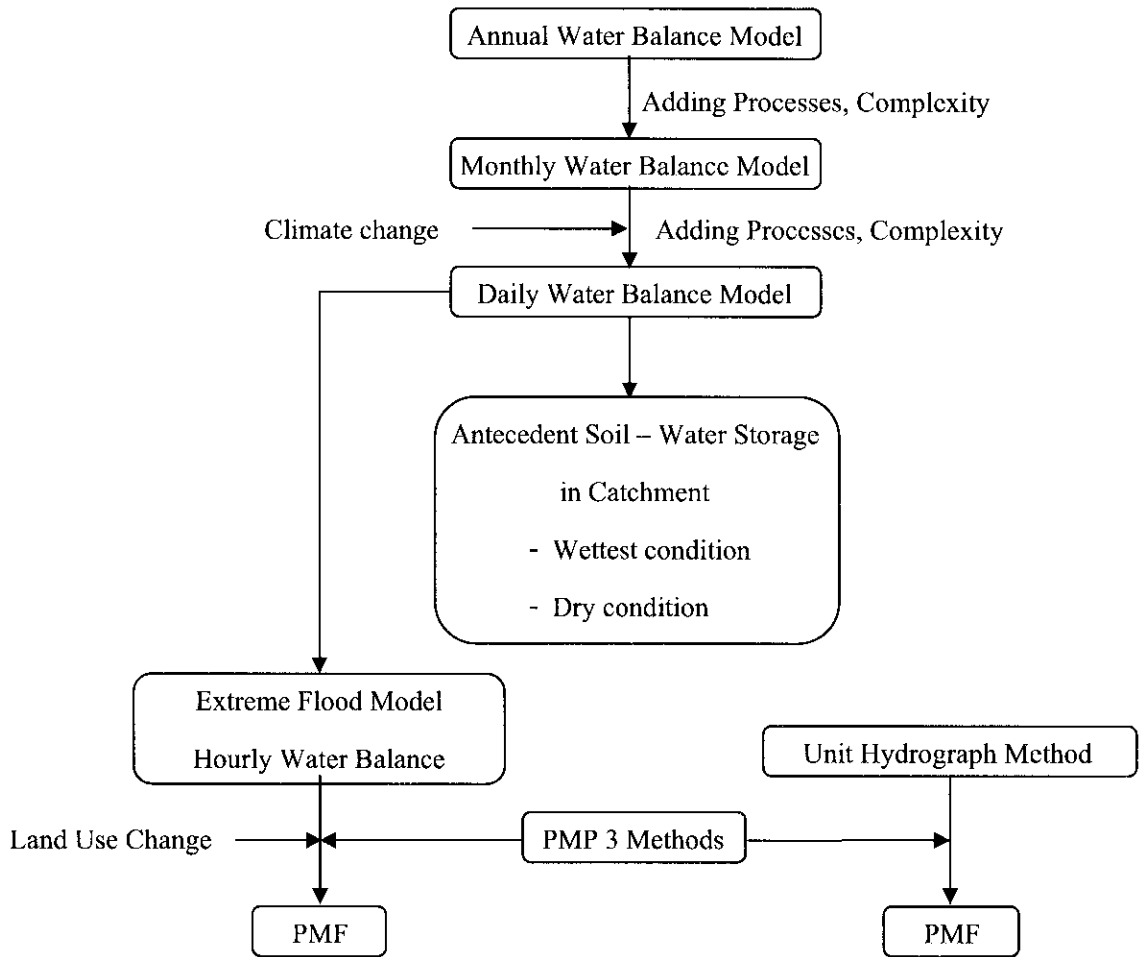
การพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำ (Hillslope Water balance model) ใช้ขั้นตอนตามวิธีบนลงล่าง (Downward approach) เริ่มจากแบบจำลองอย่างง่ายมีความซับซ้อนน้อย (ซึ่งหมายถึงมีกระบวนการเกิดน้ำท่ากระบวนการเดียว ต้องการพารามิเตอร์เพียง 1 หรือ 2 ตัว) ใช้กับการทำนายรายปีและนำผลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่ารายปีระยะยาว (Inter-annual water yields) แล้วจึงขยายผลมาทำนายน้ำท่ารายเดือน (Intra-annual water yields) หากผลการเปรียบเทียบไม่ดี จึงค่อยเพิ่มจำนวนกระบวนการสมดุลของน้ำ หรือเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ตามความจำเป็น และอาจต้องปรับโครงสร้างของแบบจำลองให้สามารถรวมความแตกต่างทางพื้นที่ด้านต่างๆของกลุ่มน้ำ (Spatial Variability) เข้าไปคำนวณในแบบจำลองด้วย พัฒนาจนเป็นแบบจำลองรายวันโดยเปรียบเทียบผลจาก Flow Duration Curve

ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำรายปี รายเดือน และรายวัน แสดงในหัวข้อ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งแสดงรายละเอียดของหลักการสมดุลของน้ำ กระบวนการสมดุลของน้ำ จำนวนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์เหล่านี้

3.2.2 การพัฒนาแบบจำลอง Extreme Flood Model

การศึกษานี้นำเสนอการทำนาย PMF โดยใช้แบบจำลองที่มีพื้นฐานจากหลักการสมดุลของน้ำ การหลากในโครงข่ายลำน้ำ โดยใช้แบบจำลองสมดุลของน้ำท่ารายวันกำหนดความชื้นเริ่มต้น (antecedent condition) ที่ภาวะลุ่มน้ำอุ้มน้ำไว้มากที่สุด ส่งต่อข้อมูลเริ่มต้นให้แบบจำลองสมดุลของน้ำรายชั่วโมง ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน เพื่อรับปริมาณฝน PMP ที่เป็นข้อมูลน้ำเข้ารายชั่วโมงเปลี่ยนเป็นการทำนาย PMF รายชั่วโมง ลักษณะสำคัญของแบบจำลองที่นำมาพิจารณาในการพัฒนามีดังนี้

1. กลไกการหน่วงเวลาการไหลในโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Zone) ก่อนน้ำฝนจะซึมลึกถึงโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ
2. ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บในลำน้ำกับการไหลออก ซึ่งคำนวณมาจาก rating curve เป็นหลักการสำหรับการหลากในโครงข่ายลำน้ำ
3. Rating curve ของการไหลล้นตลิ่งเมื่อเกิดน้ำท่วมบน Floodplain มีความหมายแตกต่างจาก rating curve ของการไหลในลำน้ำหลัก การสร้าง rating curve ของการไหลล้นตลิ่งหรือสำหรับ compound channel ใช้ข้อมูลลักษณะของพืชพรรณ สิ่งกีดขวางทางน้ำ นำมาคำนวณความต้านทานการไหลและอัตราการไหลรวมที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.2-1 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง Extreme Flood

3.2.3 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

เพื่อนำเสนอความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการทำนายโดยแบบจำลองและข้อมูลจากการวัดหรือการสังเกต ได้ใช้เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ 2 เกณฑ์ดังนี้ (Kruse et al, 2005)

1) Coefficient of determination (r^2)

ค่าสัมประสิทธิ์นี้คำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) ยกกำลังสองตามวิธีของ Bravais-Pearson การคำนวณทำได้ดังนี้

$$r^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \quad (3-1)$$

ซึ่ง O คือค่าจากการวัด และ P คือค่าจากการทำนาย

ค่า r^2 อาจหาได้จากค่าอัตราส่วนยกกำลังสองระหว่าง covariance และ multiplied standard deviation ของค่าจากการวัดและจากการทำนาย ซึ่งเป็นการประมาณการกระจาย (dispersion) ของชุดข้อมูลในภาพรวมเทียบกับข้อมูลแต่ละค่าของข้อมูลจากการทำนายและการวัด ช่วงของ r^2 อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากได้ค่าเป็นศูนย์ หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์กันเลย หากค่าเป็น 1 หมายถึง ผลการทำนายมีการกระจายสอดคล้องกับผลจากการวัดอย่างสมบูรณ์ การวัดการกระจายอย่างเดียวกันทำให้วิธีนี้มีข้อด้อย หากนำมาพิจารณาเพียงอย่างเดียว แบบจำลองให้ค่าสูงหรือต่ำอย่างเป็นระบบตลอดเวลา ยังให้ผล r^2 ที่ใกล้เคียง 1 ถึงแม้การทำนายอาจไม่ถูกต้อง

2) Nash-Sutcliffe efficiency (E)

ค่าสัมประสิทธิ์ E หาได้จากหนึ่งลบด้วยผลรวมของยกกำลังสองค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างค่าจากการทำนายและการวัดหารด้วยค่า variance ของค่าจากการวัดในช่วงเวลาที่มีการวัด คำนวณได้จาก

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3-2)$$

การปรับด้วยตัวหารนี้มีผลให้ค่า E มีค่าสูงสำหรับลุ่มน้ำที่มีพลวัตมาก และให้ค่า E น้อยสำหรับลุ่มน้ำที่มีพลวัตน้อย เหมาะสมที่จะใช้กับลุ่มน้ำที่มีพลวัตน้อย ค่า E อยู่ในช่วงระหว่าง 1 (สมบูรณ์) ถึง $-\infty$ ค่า E ที่ต่ำกว่าศูนย์บ่งบอกว่าค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลจากการวัดดีกว่าการใช้แบบจำลอง

ข้อด้อยของวิธี Nash Sutcliffe efficiency คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจากการวัดและการทำนายถูกคำนวณเป็นค่ายกกำลังสอง ทำให้ค่าสูงที่แตกต่างกันมีการประมาณที่สูงเกิน ขณะที่ค่าต่ำถูกละเลย ดังนั้นการนำไปใช้กับการทำนายอัตราไหล นำไปสู่การได้ค่าที่สูงเกินไปสำหรับความสามารถของแบบจำลองในช่วงการไหลสูงสุดและได้ค่าน้อยเกินไปสำหรับช่วงการไหลอัตราน้อย ๆ

3.3 การเปรียบเทียบกับวิธีเอกชลภาพ (Unit Hydrograph)

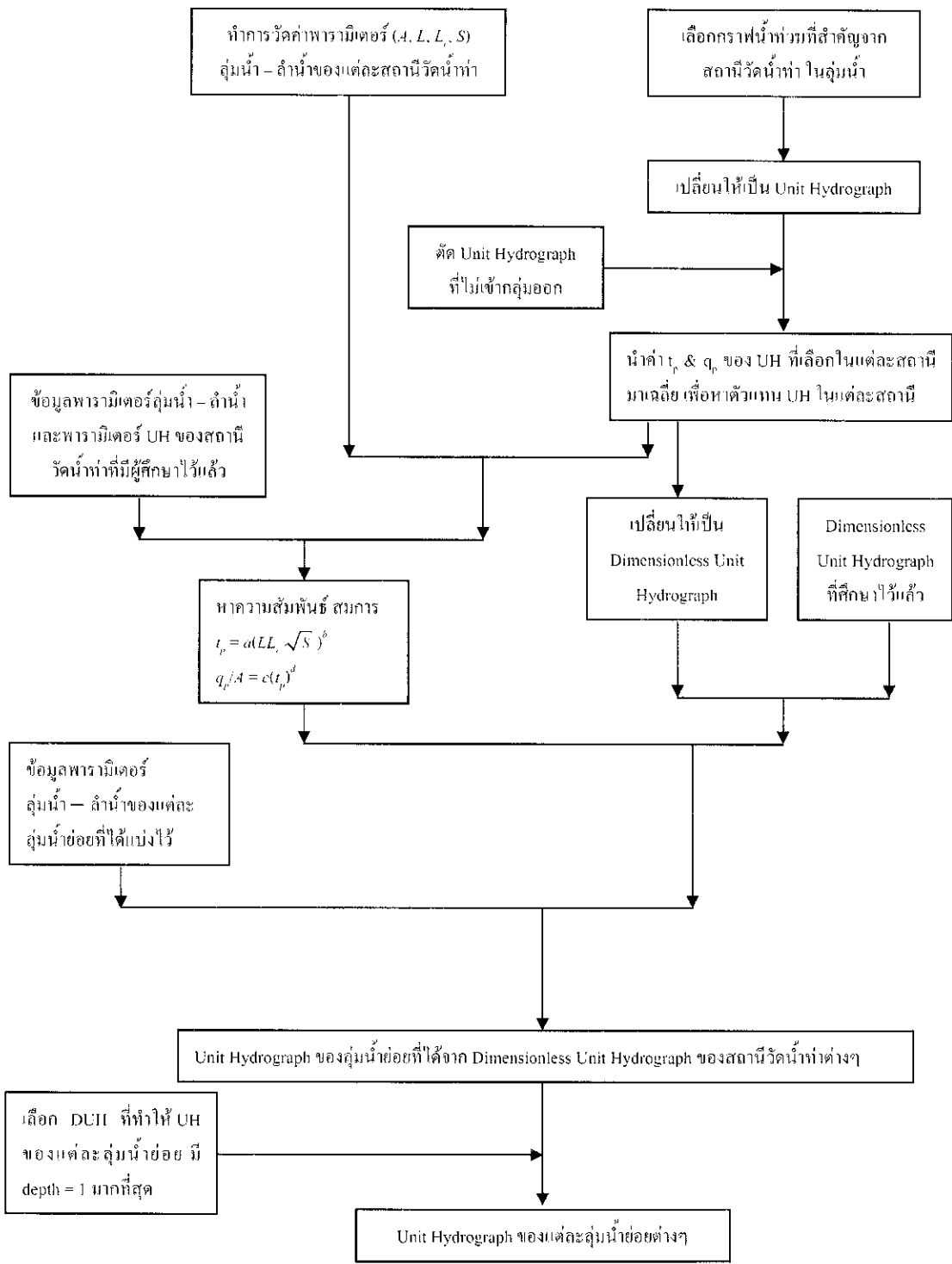
วิธีการหาค่า PMF สำหรับเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้หลักการของเอกชลภาพ อธิบายในหัวข้อ 2.3 แล้วนั้น โดยการเปลี่ยนปริมาณฝนส่วนเกินของ PMP ให้เป็นน้ำท่า PMF

และหากมีการแบ่งลุ่มน้ำทั้งหมดเป็นลุ่มน้ำย่อย จะมีขั้นตอนการหลากในโครงข่ายลำน้ำ เพื่อทำนายค่า PMF ที่เป็นผลจากการหลากในลำน้ำจนมาถึงที่ตั้งตัวเขื่อน ท้ายน้ำ

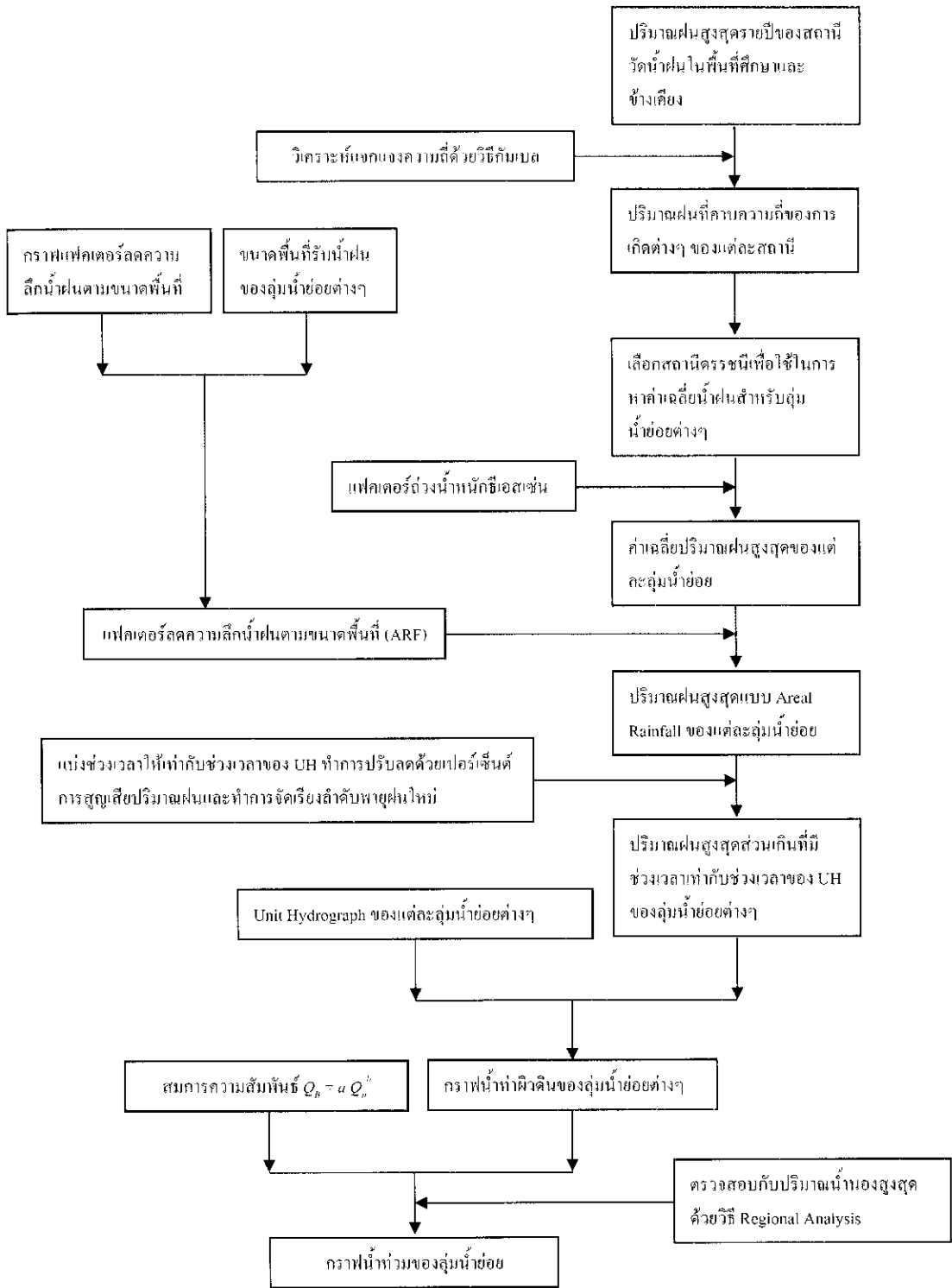
จากผลการศึกษาของ วีรพล แต่สมบัติ (2544) เรื่องศักยภาพการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนด้วยอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลาง ซึ่งลุ่มน้ำปึงตอนบนเหนือเขื่อนภูมิพล เป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดของการศึกษาครั้งนั้น ทำให้สามารถนำข้อมูลและผลการศึกษาที่มีอยู่แล้ว นำมาปรับใช้กับการทำนาย PMF สำหรับการศึกษานี้

วีรพล แต่สมบัติ (2544) ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน และชลภาพน้ำท่าจากการบันทึก ณ.สถานีต่างๆ ในลุ่มน้ำปึงตอนบน นำมาสู่การสังเคราะห์เอกชลภาพ หรือกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำหรับลุ่มน้ำย่อย 22 ลุ่มน้ำย่อย ขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 3.3-1 การสร้างชลภาพหรือกราฟน้ำท่าวมที่ออกจากลุ่มน้ำย่อยต่างๆ การศึกษาของ วีรพล แต่สมบัติ (2544) ใช้ข้อมูลการวิเคราะห์ความถี่การเกิดฝนที่รอบการเกิดซ้ำต่างๆ และเปลี่ยนปริมาณน้ำฝนเหล่านี้ให้เป็นน้ำชลภาพที่ออกจากแต่ละลุ่มน้ำย่อย ขั้นตอนการคำนวณแสดงในรูปที่ 3.3-2

การศึกษานี้ใช้ประมาณค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุด โดยวิธี PMP แทนการใช้ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบการเกิดซ้ำต่าง ๆ



รูปที่ 3.3-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์กราฟน้ำหนึ่งหน่วยน้ำท่า



รูปที่ 3.3-2 ขั้นตอนการสร้างชลภาพน้ำท่าวมจากข้อมูลน้ำฝนของกลุ่มน้ำย่อย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและผลการพัฒนาแบบจำลอง

4.1 ข้อมูลอุทุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำ

4.1.1 ลักษณะของข้อมูล

การกระจายของสถานีวัดน้ำฝนภายในพื้นที่ศึกษาและโดยรอบใกล้เคียงแสดงในรูปที่ 4.1-1 มีจำนวนทั้งหมด 90 สถานี เป็นของกรมชลประทาน 25 สถานี กรมอุทุนิยมวิทยา 55 สถานี กรมทรัพยากรน้ำ 8 สถานี และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) 2 สถานี มีการบันทึกข้อมูลนานที่สุด 57 ปี (1951-2007) เช่นที่สถานีเชียงใหม่ ลำปาง เชียงราย รายละเอียดของแต่ละสถานีแสดงในภาคผนวก ข

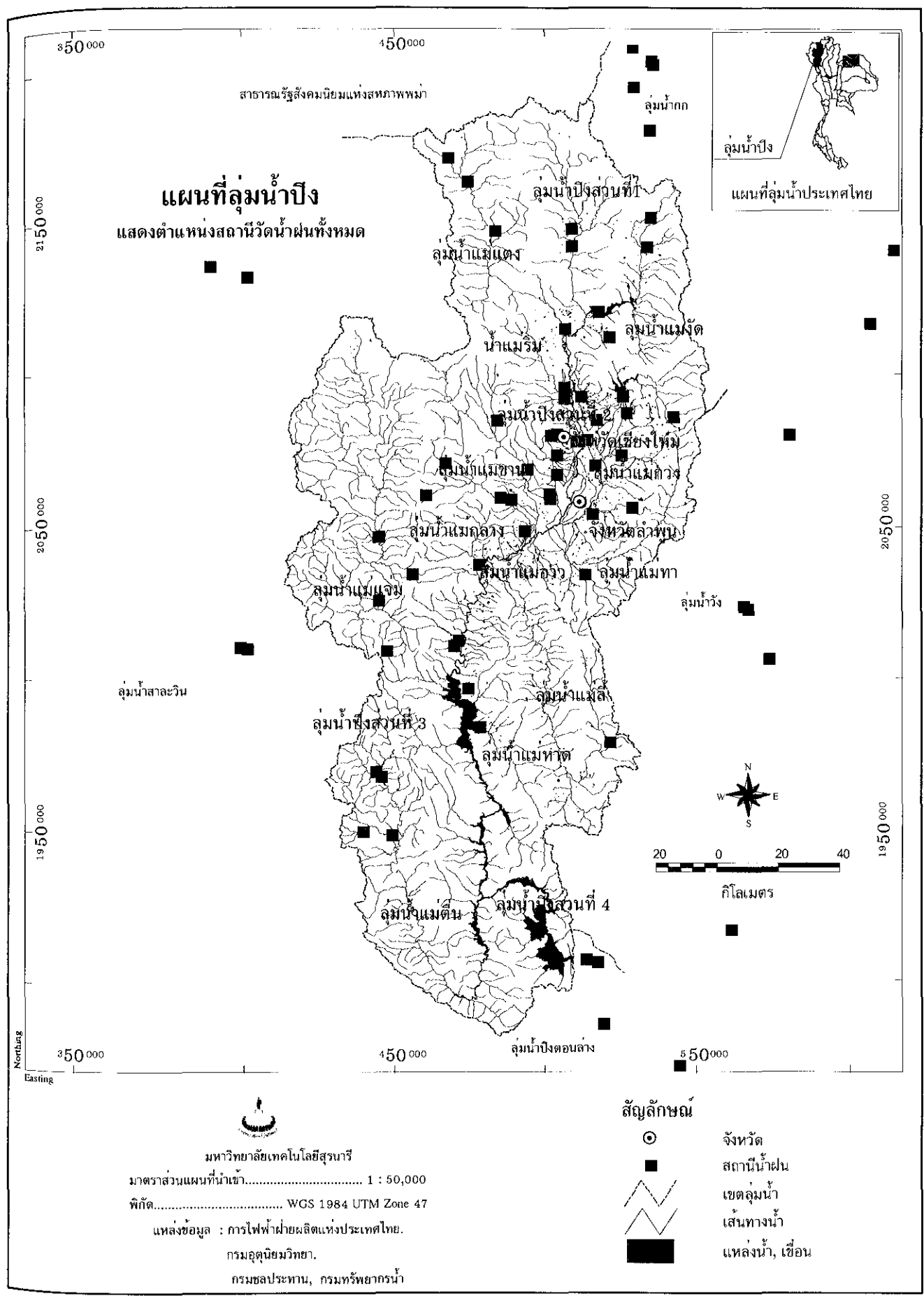
สถานีวัดน้ำฝนที่มีการตรวจวัดการระเหย แสดงในรูปที่ 4.1-2 มีจำนวน 36 สถานี เป็นของกรมชลประทาน 16 สถานี กรมอุทุนิยมวิทยา 14 สถานี กรมทรัพยากรน้ำ 6 สถานี มีการบันทึกข้อมูลนานที่สุด 46 ปี (1962-2007) เช่นที่สถานีเชียงราย

สถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบนมีทั้งหมด 92 สถานี ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.1-3 เป็นของกรมชลประทาน 62 สถานี กรมทรัพยากรน้ำ 29 สถานี และกฟผ. 1 สถานี มีการบันทึกข้อมูลนานที่สุด 54 ปี (1952-2005) เช่นที่สถานีสะพานนารัฐ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ รายละเอียดของแต่ละสถานีดูที่ภาคผนวก ข

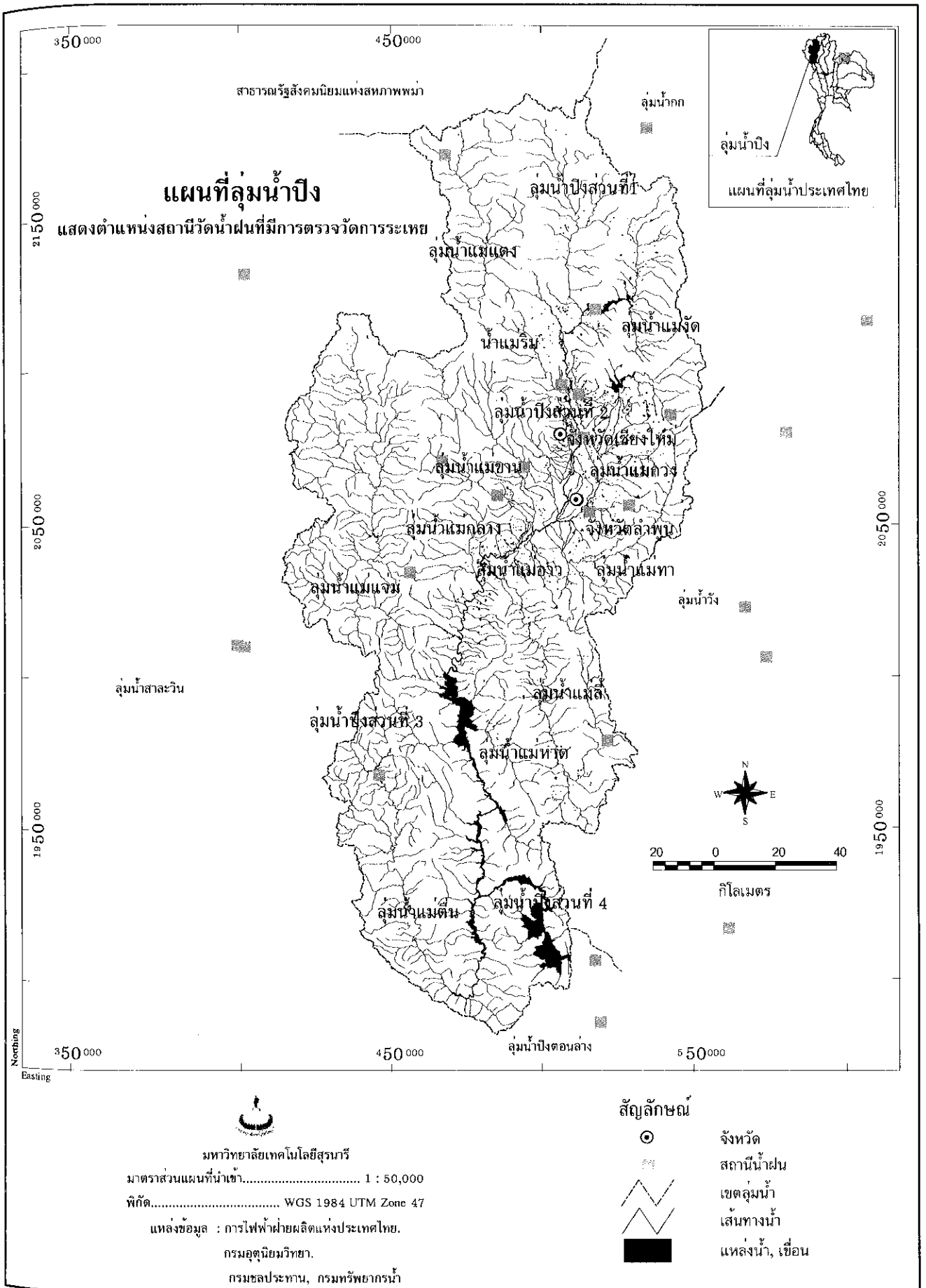
สถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่มีรูปตัดขวางลำน้ำมีทั้งหมด 47 สถานี รวมกับข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของ กฟผ. อีก 39 จุด ตามลำน้ำปิง ตำแหน่งของรูปตัดขวางทั้งหมดแสดงในรูปที่ 4.1-4

สถานีวัดน้ำท่าที่มีการสำรวจข้อมูลระดับน้ำ-อัตราการไหล (rating curve) มีทั้งหมด 92 สถานี เท่ากับจำนวนสถานีวัดน้ำท่า แต่ช่วงเวลาที่มิข้อมูล rating curve ส่วนใหญ่จะเริ่มมีตั้งแต่ปี 1980 เป็นต้นมา รายละเอียดของแต่ละสถานีดูที่ภาคผนวก ข

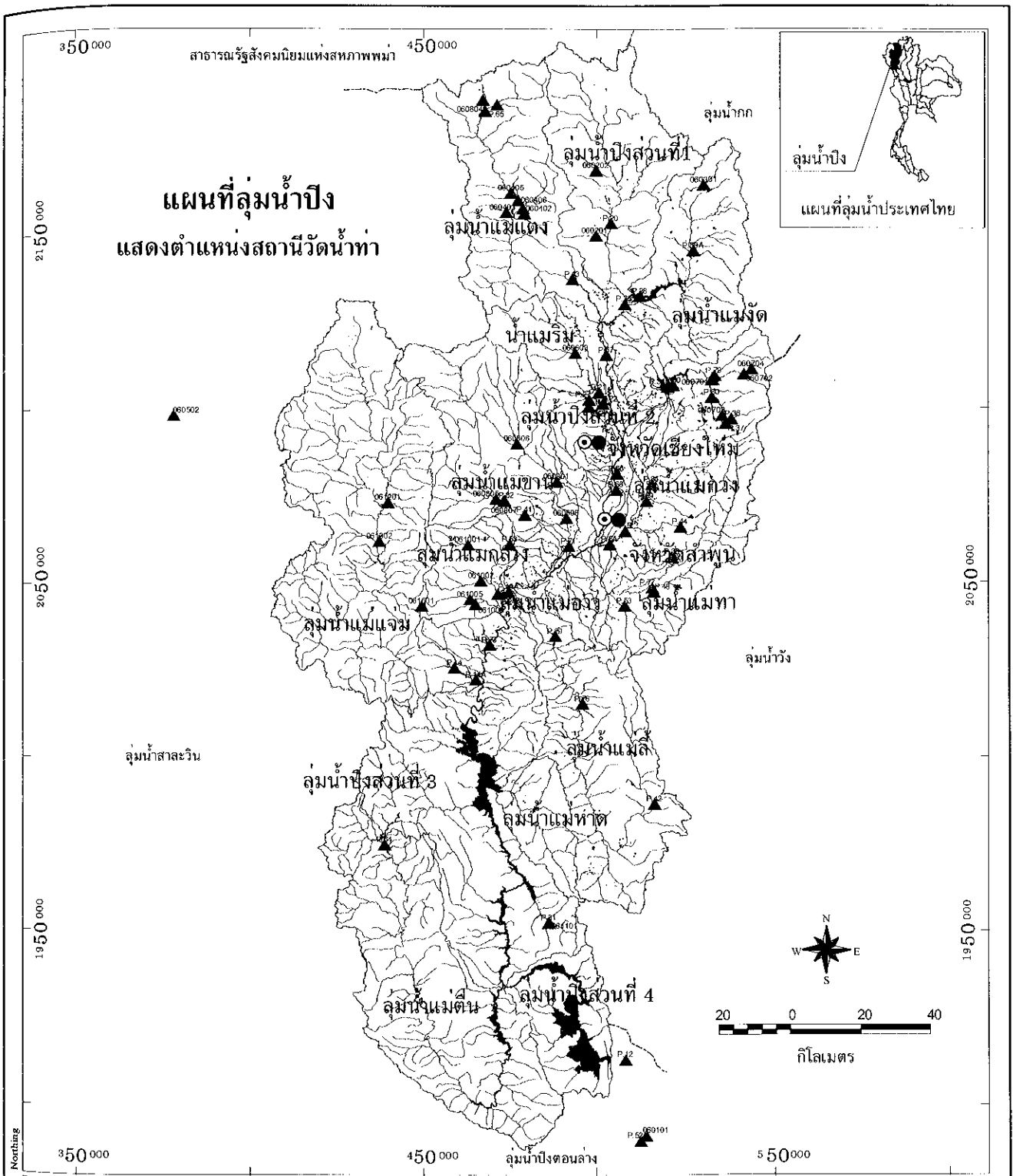
สถานีตรวจอากาศที่มีการวัดอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างมีทั้งหมด 14 สถานี ทั้งหมดมีการวัดเพียง 2 ปี (2006-2007)



รูปที่ 4.1-1 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนภายในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่โดยรอบ




รูปที่ 4.1-2 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่มีการตรวจวัดการระเหย



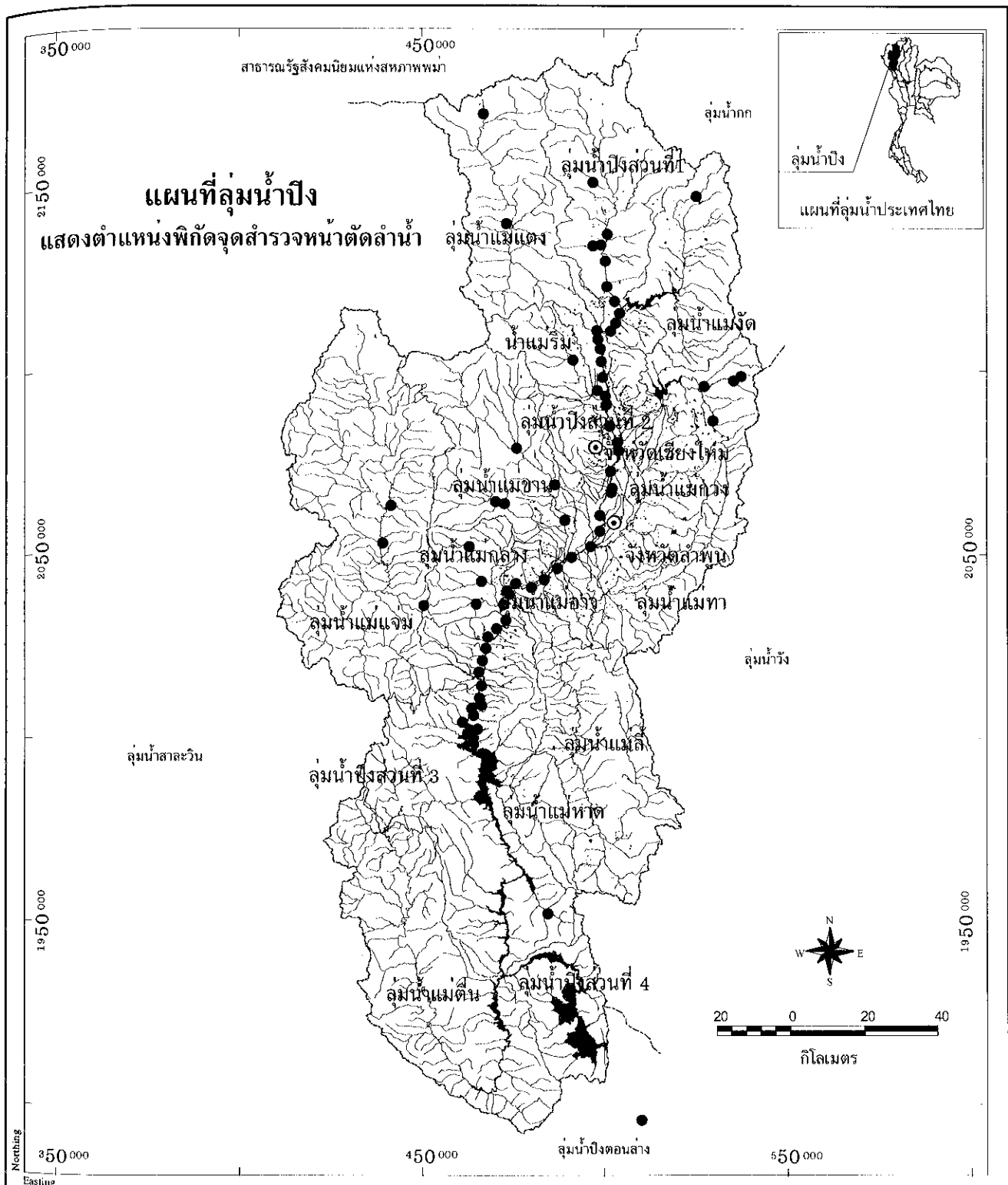
แผนที่ลุ่มน้ำปิง
แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า



- สัญลักษณ์**
- จังหวัด
 - สถานีน้ำท่า
 - เขตลุ่มน้ำ
 - เส้นทางน้ำ
 - แหล่งน้ำ, เขื่อน
 - เขตลุ่มน้ำสาขา


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มาตราส่วนแผนที่น้ำท่า..... 1 : 50,000
พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47
แหล่งข้อมูล : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
กรมชลประทาน.
กรมทรัพยากรน้ำ

รูปที่ 4.1-3 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน



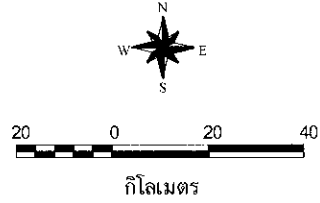
แผนที่ลุ่มน้ำปิง

แสดงตำแหน่งพิกัดจุดสำรวจหน้าตัดลำน้ำ

สาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งประเทศไทย

Northings
350 000
2150 000
2050 000
1950 000
350 000

Eastings
450 000
550 000
450 000
550 000



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มาตรฐานแผนที่น้ำเข้า..... 1 : 50,000
 พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47

แหล่งข้อมูล : ข้อมูลสำรวจภาคสนาม. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
 ข้อมูลสำรวจภาคสนาม .กรมทรัพยากรธรณี.

สัญลักษณ์

- จังหวัด
- จุดสำรวจหน้าตัดลำน้ำ
- เขตลุ่มน้ำ
- เส้นทางน้ำ, แม่น้ำ
- แหล่งน้ำ, เขื่อน, อ่างเก็บน้ำ
- พื้นที่ลุ่มน้ำสาขา

รูปที่ 4.1-4 ตำแหน่งจุดที่มีรูปตัดขวางลำน้ำ

ตารางที่ 4.1-1 สถานีวัดน้ำฝนที่เลือกใช้ในแบบจำลอง

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง						ช่วงปีสถิติข้อมูล			แหล่งข้อมูล
				ละติจูด			ลองจิจูด			ช่วงปี	จำนวนปี	หมายเหตุ	
1	ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่ 1	07391	เชียงใหม่	18	47	21	99	1	1	1971 - 2006	36		กรมชลฯ
2	แม่ฮ่อง (W.15) อ.แม่ทา	16151	ลำปาง	18	8	9	99	34	53	1971 - 2006	36		กรมชลฯ
3	บ้านแม่ปู้ (V.26) อ.เจ็ด	16220	ลำปาง	17	19	45	99	27	42	1979 - 2006	28		กรมชลฯ
4	แม่ฮ่องสอน	300201	แม่ฮ่องสอน	19	18		97	50		1951 - 2007	57		กรมอุตุฯ
5	แม่สะเรียง	300202	แม่ฮ่องสอน	18	10		97	56		1951 - 2007	57		กรมอุตุฯ
6	เชียงใหม่	303201	เชียงใหม่	19	55		99	50		1951 - 2007	57		กรมอุตุฯ
7	ศูนย์อุตุฯ เชียงราย	303301	เชียงใหม่	19	58		99	53		1979 - 2007	29		กรมอุตุฯ
8	ลำพูน	329201	ลำพูน	18	34		99	2		1981 - 2007	27		กรมอุตุฯ
9	แม่ใจ	327301	เชียงใหม่	18	55	0	99	0	0	1969 - 2007	39		กรมอุตุฯ
10	เชียงใหม่	327501	เชียงใหม่	18	47		98	59		1951 - 2007	57		กรมอุตุฯ
11	ลำปาง	328201	ลำปาง	18	17		99	31		1951 - 2007	57	ขาด 1953	กรมอุตุฯ
12	ศูนย์อุตุฯ ลำปาง	328301	ลำปาง	18	17		99	31		1982 - 2007	26		กรมอุตุฯ
13	บ้านกองหิน อ.สอด	0769	เชียงใหม่	18	10	30	98	36	0	1985 - 2006	22		กฟผ.
14	ที่ว่าการอำเภอฝาง (สทอ.ชั้น 3)	327001	เชียงใหม่	19	55	3	99	13	4	1976-1978,1982-2007	29		กรมอุตุฯ
15	ที่ว่าการอำเภอมะนัง	327002	เชียงใหม่	18	54	45	98	56	48	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
16	ที่ว่าการอำเภอจอมทอง	327003	เชียงใหม่	18	24	58	98	40	48	1976-2006	31		กรมอุตุฯ
17	ที่ว่าการอำเภอคอกยสะหืด	327004	เชียงใหม่	18	52	9	99	8	26	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
18	ที่ว่าการอำเภอบ้านฝาง	327005	เชียงใหม่	19	7	10	98	56	52	1976-2006	31		กรมอุตุฯ
19	ที่ว่าการอำเภอพร้าว	327006	เชียงใหม่	19	21	47	99	12	18	1977-2007	31		กรมอุตุฯ
20	ที่ว่าการอำเภอแม่จัม	327007	เชียงใหม่	18	29	53	98	21	54	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
21	ที่ว่าการอำเภอแม่ก้อย	327008	เชียงใหม่	17	48	2	98	21	30	1977-2007	31		กรมอุตุฯ
22	ที่ว่าการอำเภอสะเมิง	327009	เชียงใหม่	18	50	45	98	44	6	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
23	ที่ว่าการอำเภอฮอด	327010	เชียงใหม่	18	11	26	98	36	49	1976-2007	31	ขาด 2004	กรมอุตุฯ
24	ที่ว่าการอำเภอสารภี	327011	เชียงใหม่	18	42	47	99	2	28	1978-82, 1985-2007	28		กรมอุตุฯ
25	ที่ว่าการอำเภอสันทราย	327012	เชียงใหม่	18	50	51	99	2	43	1976-2007	28	ขาด 1978,80,81,83	กรมอุตุฯ
26	ที่ว่าการอำเภอหางดง	327013	เชียงใหม่	18	41	10	98	55	20	1976-2006	31		กรมอุตุฯ
27	ที่ว่าการอำเภอสันป่าตอง	327014	เชียงใหม่	18	37	39	98	53	56	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
28	ที่ว่าการอำเภอสันกำแพง	327015	เชียงใหม่	18	44	37	99	7	23	1977-2006	29	ขาด 1996	กรมอุตุฯ
29	ที่ว่าการอำเภอเชียงดาว	327016	เชียงใหม่	19	21	53	98	58	3	79-80,1982-83,1986-2007	26		กรมอุตุฯ
30	ที่ว่าการอำเภอแม่เฒ่า 202 ม.4 ต.แม่เฒ่า	327017	เชียงใหม่	20	1	56	99	17	27	1976-2007	32		กรมอุตุฯ

ตารางที่ 4.1-1 สถานีวัดน้ำฝนที่เลือกใช้ในแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง						ช่วงปีสถิติข้อมูล			แหล่งข้อมูล
				ละติจูด			ลองจิจูด			ช่วงปี	จำนวนปี	หมายเหตุ	
31	รว.บ้านบ่ออันจิตสรร อ.คชยเต่า (เปิด ม.ค.48)	327018	เชียงใหม่	18	2	52	98	38	43	1976-2004	29		กรมอุตุฯ
32	สถานีทดลองพืชสวนฝาง	327019	เชียงใหม่	19	57	31	99	9	38	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
33	อุทยานแห่งชาติคอกยสุเทพ-ปุย อ.เมือง	327020	เชียงใหม่	18	48	21	98	55	21	1977-2007	31		กรมอุตุฯ
34	พระตำหนักภูพิงศ์ราชนิเวศน์ อ.เมือง	327021	เชียงใหม่	18	48	5	98	54	12	1977-2007	29	ขาด 1989	กรมอุตุฯ
35	นิคมสร้างตนเองเขื่อนภูมิพล ต.ท่าเตี้อ อ.คชยเต่า	327022	เชียงใหม่	17	56	0	98	41	0	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
36	ศูนย์พัฒนาปิโตรเคมีภาคเหนือ อ.ฝาง	327023	เชียงใหม่	19	50	25	99	9	45	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
37	สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง	327024	เชียงใหม่	18	36	51	98	54	7	1976-2007	32		กรมอุตุฯ
38	สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	327025	เชียงใหม่	19	5	41	99	5	13	1977-2007	31		กรมอุตุฯ
39	สถานีวิจัยต้นน้ำคอกยเชียงดาว อ.แม่แตง	327026	เชียงใหม่	19	21	7	99	58	25	1977-2007	31		กรมอุตุฯ
40	ศูนย์ทดลองปลูกพันธุ์ไม้บ่อหลวง-บ่อแก้ว อ.ฮอด	327027	เชียงใหม่	18	9	27	98	23	20	1976-2007	31	ขาด 1981	กรมอุตุฯ
41	โครงการเกษตรกรรมของ อ.คชยเต่า (เปิด ม.ค.)	327028	เชียงใหม่	18	31	0	98	49	21	1983-2003	21		กรมอุตุฯ
42	น้ำแม่ปิงที่บ้านลาด	060101	เชียงใหม่	17	3	0	99	4	0	1971-2004	34		กรมทรัพยากรฯ
43	น้ำแม่จืดที่บ้านต้นราก	060301	เชียงใหม่	19	27	2	99	13	4	1979-2004	25	ขาด 1985	กรมทรัพยากรฯ
44	ห้วยแม่หาดที่บ้านนาบน	060401	เชียงใหม่	19	37	38	98	34	46	1980-2004	25		กรมทรัพยากรฯ
45	น้ำแม่แดงที่เหนือบ้านสันป่าซึก	060406	เชียงใหม่	19	24	36	98	43	36	1987-2004	18		กรมทรัพยากรฯ
46	ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาเชียงใหม่	060601	เชียงใหม่	18	56	42	98	56	48	1977-2004	28	1977 มีแค่ 0.	กรมทรัพยากรฯ
47	น้ำแม่ฆานที่บ้านสันป่าตอง (บ้านห้วยไทรง)	060801	เชียงใหม่	18	42	0	98	49	48	1962-2004	43		กรมทรัพยากรฯ
48	น้ำแม่ดียวที่บ้านทุ่งหลวง	060803	เชียงใหม่	18	43	7	98	34	22	1974-2004	31		กรมทรัพยากรฯ
49	น้ำแม่ต้นที่บ้านป่าคา	061501	เชียงใหม่	18	23	12	98	28	18	1978-2004	23	1978 มีข้อมูล 1 ปี	กรมทรัพยากรฯ

ตารางที่ 4.1-2 สถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้ในรูปแบบจำลอง

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง						พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล			แหล่งข้อมูล
				ละติจูด			ลองจิจูด				ช่วงปี	จำนวนปี	หมายเหตุ	
1	สะพานนารัฐ อ.เมือง	P.1	เชียงใหม่	18	47	9	99	0	29	6,350	1952 - 2005	54	2004 มี rating curve 2 อัน	กรมชลฯ
2	แก่งออบหลวง อ.ฮอด	P.14	เชียงใหม่	18	13	49	98	33	35	3,836	1954 - 2005	52	1964, 1989-94, 1996 - 2002	กรมชลฯ
3	บ้านท่าศาลา อ.จอมทอง	P.19A	เชียงใหม่	18	25	19	98	42	11	14,023	1958 - 1992	35	1978, 1983, 1987	กรมชลฯ
4	บ้านเชียงดาว อ.เชียงดาว	P.20	เชียงใหม่	19	21	9	98	58	25	1,345	1979 - 2005	27	1994-96, 1998 - 2000	กรมชลฯ
5	บ้านแม่มิได้ อ.แม่อิง	P.21	เชียงใหม่	18	55	29	98	56	34	452	1954 - 2005	52	1988, 1990-91, 1999	กรมชลฯ
6	สะพานประชาอุทิศ อ.จอมทอง	P.24A	เชียงใหม่	18	25	1	98	40	29	452	1973 - 2005	33	1995, 1997, 1999, 2001-04	กรมชลฯ
7	บ้านแม่บอนใหม่	P.42	ลำพูน	17	53	16	99	5	20	318	1978 - 2001	23	1987, 95, 97-2001	กรมชลฯ
													มี rating curve 2 อัน ขาดปี 1996	
8	บ้านกองหิน อ.ฮอด	PE.2	เชียงใหม่	18	10	30	98	36	0	18,932	1970 - 2005	32	ขาด 1975 - 1978	กฟผ.
9	น้ำแม่ปิงที่บ้านดาก	060101	เชียงใหม่	17	3	0	99	4	0	37,500	1972 - 2004	32	1979 no data	กรมทรัพยากรฯ
10	น้ำแม่เมะที่บ้านแม่เมะ	060201	เชียงใหม่	19	19	16	98	56	4	47	1986 - 2004	19		กรมทรัพยากรฯ
11	น้ำแม่ป๋ามที่ได้สบห้วยแม่มาศ	060202	เชียงใหม่	19	29	10	98	56	4	203	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
12	น้ำแม่จืดที่บ้านดินธาตุ	060301	เชียงใหม่	19	27	2	99	13	4	81	1977 - 2004	28		กรมทรัพยากรฯ
13	ห้วยบ้านที่บ้านยางห้วยบ้าน	060402	เชียงใหม่	19	22	36	98	44	36	12	1985 - 2003	19		กรมทรัพยากรฯ
14	ห้วยแม่แพลมที่ได้บ้านแม่แพลม	060403	เชียงใหม่	19	22	45	98	41	44	20	1985 - 2004	20		กรมทรัพยากรฯ
15	น้ำแม่คองที่เหนือสบห้วยบ้าน	060404	เชียงใหม่	19	23	21	98	44	23	194	1985 - 2004	20		กรมทรัพยากรฯ
16	ห้วยท่าเออะที่เหนือสบห้วยท่า	060405	เชียงใหม่	19	25	42	98	42	28	34	1985 - 2004	20		กรมทรัพยากรฯ
17	น้ำแม่แดงที่เหนือบ้านสันป่าสัก	060406	เชียงใหม่	19	24	36	98	43	36	835	1985 - 2004	20		กรมทรัพยากรฯ

ตารางที่ 4.1-2 สถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้ในรูปแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง						พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล			แหล่งข้อมูล
				ละติจูด			ลองจิจูด				ช่วงปี	จำนวนปี	หมายเหตุ	
18	น้ำแม่ริมที่บ้านกาดฮาว	060603	เชียงใหม่	19	1	28	98	52	48	169	1985 - 2004	20		กรมทรัพยากรฯ
19	น้ำแม่หวานที่บ้านแม่หวาน	060701	เชียงใหม่	18	57	24	99	14	19	53	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
20	ห้วยแม่ตอนที่บ้านป่าเมี่ยงแม่หวานปางกลาง	060702	เชียงใหม่	18	58	12	99	19	12	38	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
21	น้ำแม่ลายที่บ้านป่าเมี่ยงปางแก	060703	เชียงใหม่	18	51	59	99	15	48	24	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
22	ห้วยมะเกลือที่บ้านป่าเมี่ยงปางปง	060704	เชียงใหม่	18	58	57	99	20	22	5	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
23	น้ำแม่สะปือกที่บ้านแม่สะปือกเหนือ	060804	เชียงใหม่	18	39	54	98	37	54	35	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
24	น้ำแม่ป้วยที่เหนือบ้านห้วยโปง	060805	เชียงใหม่	18	39	23	98	40	6	41	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
25	น้ำแม่จางที่เหนือสบแม่เสมิง	060806	เชียงใหม่	18	47	42	98	43	29	548	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
26	น้ำแม่วางที่บ้านสบวิน	060807	เชียงใหม่	18	39	6	98	41	30	343	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
27	น้ำแม่จางที่บ้านเปียง	060808	เชียงใหม่	18	36	30	98	51	24	1,170	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
28	น้ำแม่กลางที่บ้านสบหาด	061001	เชียงใหม่	18	32	24	98	35	42	92	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
29	น้ำแม่ชะที่บ้านหัวเสือ	061002	เชียงใหม่	18	26	58	98	37	45	90	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
30	ห้วยแม่เตี้ยที่บ้านยางแม่เตี้ย	061003	เชียงใหม่	18	23	24	98	36	55	65	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
31	ห้วยแม่เตี้ยที่เหนือสบแม่เตี้ย	061005	เชียงใหม่	18	24	8	98	36	0	33	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
32	น้ำแม่ก้อที่บ้านก้อทุ่ง	061101	เชียงใหม่	17	35	12	98	48	42	84	1984 - 2004	21		กรมทรัพยากรฯ
33	น้ำแม่แจ่มที่บ้านห้วยผึ้ง	061201	เชียงใหม่	18	38	47	98	22	51	1,270	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
34	น้ำแม่แจ่มที่บ้านกองกาน	061302	เชียงใหม่	18	32	54	98	21	30	1,950	1983 - 2004	22		กรมทรัพยากรฯ
35	น้ำแม่ตันที่บ้านป่าคา	061501	เชียงใหม่	17	23	12	98	28	18	1,470	1977 - 2004	28		กรมทรัพยากรฯ

ตารางที่ 4.1-3 การแบ่งพื้นที่รับน้ำฝน

ลำดับที่	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)			พื้นที่เฉลี่ย (ตร.กม)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	น้ำมิ่งปิงที่บ้านตาก	060101	1816.250	1816.250	1816.250	1816.250
2	บ้านแม่ปู้ (Y.26) อ.มดดิน	16220	X	X	X	X
3	ที่ว่าการอำเภอจอมทอง	327008	2558.750	2558.125	2558.750	2558.542
4	นิคมสร้างตนเองเขื่อนภูมิพล ต.ท่าเตี๋ย อ.คอกยี่เต่า	327022	3020.625	3020.000	3020.625	3020.417
5	ร.บ้านเขื่อนจัดสรร อ.คอกยี่เต่า (ปีค.บ.ค.48)	327018	747.500	746.250	746.250	746.667
6	แม่จาง (W.15) อ.แม่ทา	16151	X	X	X	X
7	ศูนย์ทดลองปลูกพันธุ์ไม้บ่อหลวง-บ่อแก้ว อ.ฮอด	327027	696.250	696.250	696.875	696.458
8	แม่สะเรียง	300202	53.125	53.125	53.125	53.125
9	บ้านกองหิน อ.ฮอด	0769	2010.000	2010.000	2010.000	2010.000
10	ที่ว่าการอำเภอฮอด	327010	533.750	533.750	533.750	533.750
11	ลำปาง	328201	X	X	X	X
12	ศูนย์อุตุฯ ลำปาง	328301	X	X	X	X
13	น้ำแม่ตื่นที่บ้านป่าคา	061501	528.125	528.125	528.125	528.125
14	ที่ว่าการอำเภอจอมทอง	327003	698.750	698.750	698.750	698.750
15	ที่ว่าการอำเภอแม่แจ่ม	327007	1554.375	1554.375	1554.375	1554.375
16	โครงการเกษตรกรรมจอมทอง อ.คอกยี่เต่า (ปีค.บ.ค.48)	327028	745.625	745.625	745.625	745.625
17	ลำพูน	329201	1108.125	1108.125	1109.375	1108.542
18	สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง	327024	126.250	126.250	126.250	126.250
19	ที่ว่าการอำเภอสันป่าตอง	327014	77.500	77.500	77.500	77.500
20	ที่ว่าการอำเภอหางดง	327013	113.750	113.750	113.750	113.750
21	น้ำแม่ขานที่บ้านสันป่าตอง (บ้านหัวขี้ผึ้ง)	060801	278.750	278.125	278.750	278.542
22	ที่ว่าการอำเภอสารภี	327011	130.625	130.625	130.625	130.625
23	น้ำแม่เตียนที่บ้านทุ่งหลวง	060803	1763.125	1763.750	1763.250	1763.375
24	ที่ว่าการอำเภอสันกำแพง	327015	571.875	571.250	571.250	571.458
25	เชียงใหม่	327501	63.750	63.750	63.500	63.667
26	ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่ 1	07391	51.250	51.250	51.250	51.250
27	พระตำหนักภูพิงศ์ราชนิเวศน์ อ.เมือง	327021	126.875	126.875	126.250	126.667
28	อุทยานแห่งชาติคอกยี่เต่า-ปุย อ.เมือง	327020	51.250	51.250	51.875	51.458
29	ที่ว่าการอำเภอสะเมิง	327009	853.750	853.750	854.375	853.958
30	ที่ว่าการอำเภอสันทราย	327012	84.375	83.125	83.125	83.542

ตารางที่ 4.1-3 การแบ่งพื้นที่รับน้ำฝน (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)			พื้นที่เฉลี่ย (ตร.กม)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
31	ที่ว่าการอำเภอดอยสะเก็ด	327004	766.250	765.000	766.250	765.833
32	ที่ว่าการอำเภอแม่ริม	327002	70.000	70.000	70.000	70.000
33	แม่ใจ	327301	166.250	166.250	166.875	166.458
34	ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาเชียงใหม่	060601	245.000	245.000	245.625	245.208
35	สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	327025	790.000	790.625	790.000	790.208
36	ที่ว่าการอำเภอแม่แตง	327005	756.875	755.625	756.250	756.250
37	แม่ฮ่องสอน	300201	255.625	255.625	256.250	255.833
38	สถานีวิจัยคั้นน้ำคอยเชียงดาว อ.แม่แตง	327026	X	X	X	X
39	ที่ว่าการอำเภอพร้าว	327006	598.750	598.750	598.250	598.583
40	ที่ว่าการอำเภอเชียงดาว	327016	878.125	878.750	878.125	878.333
41	น้ำแม่แตงที่เหมืองบ้านสันป่าสัก	060406	1098.250	1098.125	1097.875	1098.083
42	น้ำแม่จืดที่บ้านดินธาตุ	060301	568.750	567.500	567.500	567.917
43	ห้วยแม่หาดที่บ้านนามน	060401	741.750	741.250	741.250	741.417
44	ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ อ.ฝาง	327023	342.500	342.500	341.250	342.083
45	เชียงราย	303201	X	X	X	X
46	ที่ว่าการอำเภอฝาง (สหอ.ชั้น 3)	327001	X	X	X	X
47	สถานีทดลองพืชสวนฝาง	327019	X	X	X	X
48	ศูนย์อุตุฯ เชียงราย	303301	X	X	X	X
49	ที่ว่าการอำเภอแม่อาว 202 ม.4 ค.แม่อาว	327017	X	X	X	X

4.1.2 การเลือกใช้ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลทางอุตุนิมวิทยาและอุทกวิทยามีความยาวของข้อมูลการบันทึกที่ไม่เท่ากันแต่ละสถานี การพิจารณาเลือกช่วงเวลาที่มิสถานีวัดเหล่านี้ทำงานอยู่มากที่สุด จึงเป็นช่วงเวลา 24 ปี (1982-2005) สำหรับนำมาใช้ในการศึกษาสมดุลของน้ำในกลุ่มน้ำระยะยาว

ตารางที่ 4.1-1 แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝนที่เลือก และตารางที่ 4.1-2 แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าที่เลือก

1) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ (Areal Rainfall)

จากจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่เลือก นำมาระบุตำแหน่งในแผนที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน แบ่งพื้นที่ตามวิธี Thiessen Polygon ได้ Weighting factor ในตารางที่ 4.1-3 และรูปร่าง polygon ในรูปที่ 4.1-5

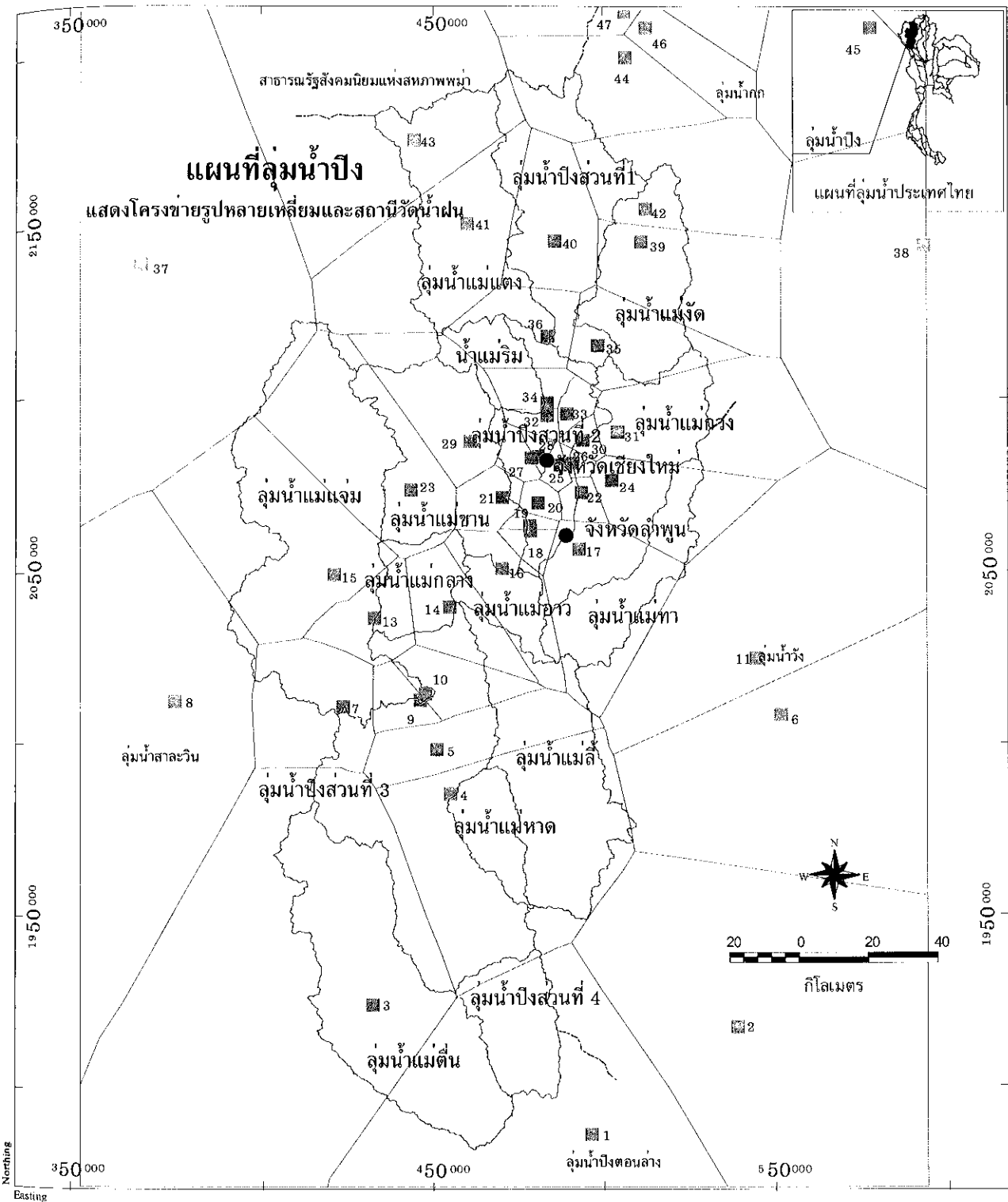
4.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา


4.2.1 การใช้ที่ดิน

การแปลความหมายการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท (Image Land Sat Satellite) ถ่าย ณ วันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ร่วมกับการสำรวจภาคสนามโดยอาศัยเครื่องกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นที่โลกด้านดาวเทียม (GPS) ผลการแปลภาพได้ข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดิน 7 รูปแบบ ในเชิงพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.2-1 และมีสัดส่วนขนาดพื้นที่ดังนี้

ประเภทการใช้ที่ดิน	ขนาดพื้นที่ (km ²)	สัดส่วน (%)
1. พื้นที่ป่าไม้	20,239.58	77.16
2. พื้นที่เกษตร ไม้ยืนต้น	1,455.82	5.55
3. พื้นที่เกษตรพืชไร่	312.56	1.19
4. พื้นที่เกษตรนาข้าว	862.17	3.29
5. พื้นที่ชุมชน/เมือง	3,105.59	11.84
6. พื้นที่แหล่งน้ำ	253.06	0.96
7. พื้นที่อื่น ๆ	0.34	0.00
รวม	26,229.12	100

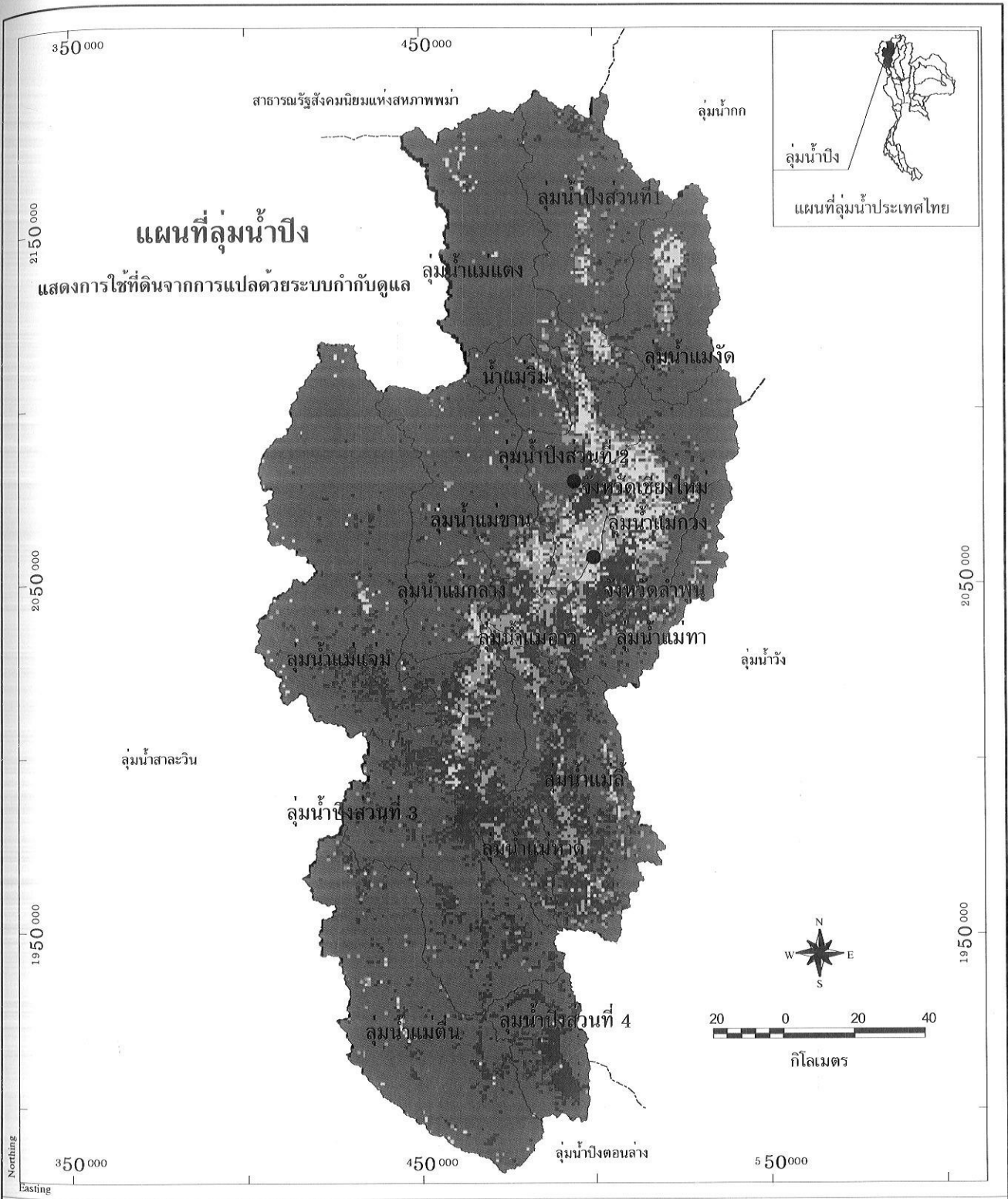
สัดส่วนการใช้ที่ดินข้างต้น ได้กระจายลงไปในระดับลุ่มน้ำย่อย 220 ลุ่มน้ำย่อย เพื่อใช้สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำต่อไป รายละเอียดการวิเคราะห์แปลความหมายการใช้ที่ดินและการใช้ที่ดินแบบแยกตามลุ่มน้ำย่อย แสดงในภาคผนวก ฉ














 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มาตรฐานแผนที่นำเข้า..... 1 : 50,000
 พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47
 แหล่งข้อมูล : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
 กรมอุตุนิยมวิทยา.
 กรมชลประทาน, กรมทรัพยากรน้ำ

- สัญลักษณ์**
- จังหวัด
 - สถานีน้ำฝน
 - ~ โคร่งข่ายรูปหลายเหลี่ยมด้านไม่เท่า
 - เขตลุ่มน้ำสาขา

รูปที่ 4.1-5 แสดงการแบ่ง Thiessen Polygon (หมายเลข 1-49 คือสถานีในตารางที่ 4.1-3)




มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มาตรฐานแผนที่นำเข้..... 1 : 50,000
 พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47
 แหล่งข้อมูล : ข้อมูลสำรวจภาคสนาม, กรมพัฒนาที่ดิน.

- สัญลักษณ์**
-  เขตลุ่มน้ำ
 -  เขตลุ่มน้ำสาขา
 -  ป่าไม้
 -  เกษตรไม่ขึ้นต้น
 -  เกษตรพืชไร่
 -  เกษตรตามชาว
 -  ที่ดินเปล่า
 -  แหล่งน้ำ
 -  อื่น ๆ

รูปที่ 4.2-1 ประเภทการใช้ที่ดิน

4.3 ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำรายปี

โดยใช้ข้อมูลน้ำฝนรายปี (P) ในแต่ละปีสมมุติว่ามีช่วงเวลาฝนตกช่วงเดียวคือ t_r เวลาที่เหลือเป็นช่วงไม่มีฝน ความเข้มฝน p สมมุติให้คงที่ คำนวณจาก P หารด้วย t_r อัตราศักยภาพการระเหย c_p คงที่ตลอดปี คำนวณจากศักยภาพการระเหยรายปี (E_p) หารด้วย 365 วัน โดยกำหนดให้ t_r คงที่ แต่ P และ E_p มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละปี

จากแนวคิดเดียวกับ Manabe (1969) และ Milly (1994) การสร้างแบบจำลองเริ่มต้นโดยจำลองลุ่มน้ำให้เหมือนกับถังเก็บน้ำใบเดียวมีความจุที่จำกัด ขนาดความจุประมาณจากความลึกเฉลี่ยของดิน และความพรุนของดิน มีการดักกอนน้ำฝนตกลงถึงพื้นดิน การคายระเหยจากน้ำในถังใบนี้ และการเกิดน้ำผิวดินเมื่อปริมาณน้ำในถังมากกว่าความจุถึง

4.3.1 สมการสมดุลของน้ำ

ปริมาตรของน้ำในถังต่อหน่วยพื้นที่ผิวในช่วงเวลาหนึ่งสำหรับแบบจำลองถังเก็บน้ำเดียวกำหนดโดยสมการ

$$\frac{ds(t)}{dt} = p(t) - q_{se}(t) - e(t) \quad (4-1)$$

โดยให้ $p(t)$ คือความเข้มฝน $q_{se}(t)$ คือน้ำผิวดินเกิดจากส่วนเกินการอิ่มตัวด้วยน้ำในดิน (Saturation excess runoff) $e(t)$ คืออัตราการระเหย และ $s(t)$ คือ ปริมาตรของน้ำในดินหรือในถัง ทั้ง $q_{se}(t)$ และ $e(t)$ กำหนดให้เป็นฟังก์ชันของ $s(t)$ ดังนี้

$$q_{se} = (s - S_b) / \Delta t \quad \text{if} \quad s > S_b \quad (4-2a)$$

$$q_{se} = 0 \quad \text{if} \quad s \leq S_b \quad (4-2b)$$

$$e = \frac{s}{S_b} e_p \quad (4-3)$$

โดยให้ $S_b = D\phi$ เป็นความจุของการกักเก็บน้ำในถัง D คือความลึกเฉลี่ยของดิน ϕ คือความพรุนเฉลี่ยของดิน และ Δt คือระยะเวลาการคำนวณ ในกรณีนี้กำหนดเป็น 1 วัน

เพื่อหลีกเลี่ยงการไม่ทราบเงื่อนไขเริ่มต้นการคำนวณจึงสมมุติให้ปริมาณน้ำในดินที่เวลาสิ้นสุดการคำนวณของแบบจำลองเท่ากับปริมาณน้ำในดินที่เวลาเริ่มต้นและค่าปริมาณน้ำนี้หาโดยวิธีลองผิดลองถูก

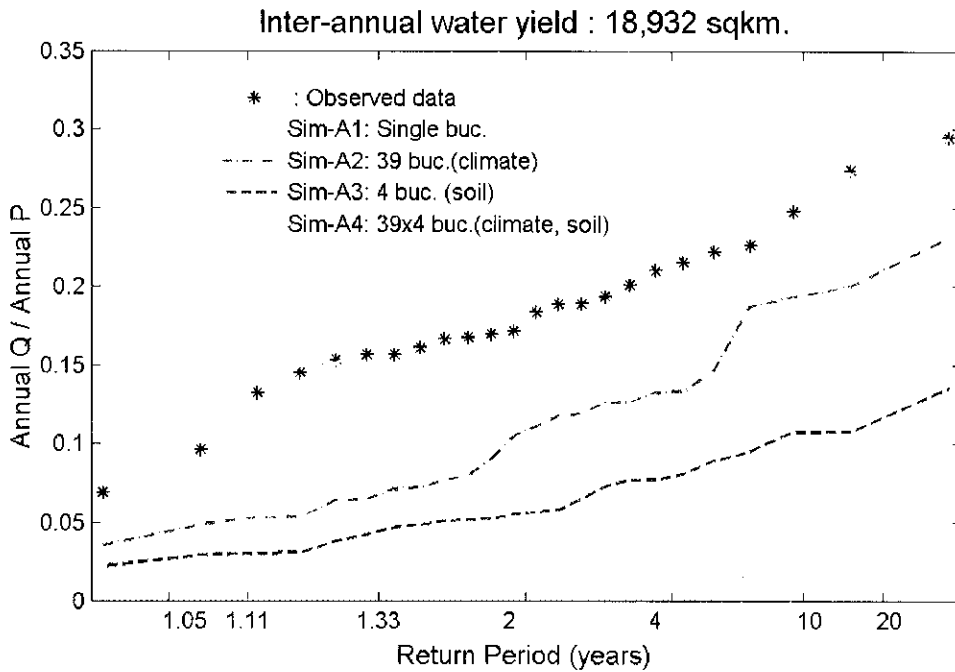
4.3.2 การประมาณพารามิเตอร์

สรุปจำนวนพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมดุลงน้ำรายปีคือ P, t_r, E_p, i, D, ϕ แบบจำลองต้องการชุดข้อมูลใส่เข้า 2 ชุดคือ $p(t)$ และ $e(t)$ วิธีการสร้างจากข้อมูลการบันทึกรายปีได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.3.1 ส่วนค่าการคัก (i) กำหนดให้เป็นสัดส่วนกับปริมาณฝน มีค่าเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฝน ความจุของการเก็บน้ำสำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบนประมาณได้ 1,200 มิลลิเมตร คำนวณจากดินชั้นบนที่ส่วนใหญ่เป็นดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) หนาเฉลี่ย 3 เมตร และความพรุนมีค่าประมาณ 0.4

4.3.3 ความซับซ้อนที่ต้องการเพิ่มขึ้น

การพัฒนาแบบจำลองตามวิธีบนลงล่างเริ่มจากใช้โครงสร้างแบบจำลองอย่างง่ายพิจารณาลุ่มน้ำทั้งหมดมีลักษณะภูมิอากาศและดินสม่ำเสมอ จึงใช้ถังเก็บเพียงใบเดียวแทนลักษณะลุ่มน้ำได้ (Sim-A1) ขั้นตอนต่อไปของการเพิ่มความซับซ้อนคือการใช้ถังเก็บน้ำ 39 ใบต่อขนานกันเพื่อรับปริมาณฝนที่ต่างกันตามจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่แต่ละโซน แต่กำหนดให้มีความจุเท่ากันเนื่องจากมีคุณลักษณะของดินเท่ากัน (Sim-A2) ขั้นตอนต่อไปแบบจำลองถึงหลายใบถูกใช้เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ที่มีดินคุณลักษณะต่างกัน เลือกใช้ถัง 4 ขนาด $S_b = 200, 900, 1200, 2500$ มิลลิเมตร โดยไม่นำความแตกต่างตามพื้นที่ของฝนมารวม (Sim-A3) ขั้นตอนสุดท้ายเป็นแบบจำลองถึงหลายใบที่รวมความแตกต่างและความไม่แน่นอนตามพื้นที่ของฝนและคุณลักษณะของดินเข้าด้วยกัน มีจำนวนถึง $39 \times 4 = 156$ ใบ (Sim-A4)

ผลการทดสอบแบบจำลองรายปีทั้ง 4 ขั้น นำเสนอผลโดยใช้กราฟวิเคราะห์ความถี่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้น้ำผิวดินของลุ่มน้ำจากการวัดและจากแบบจำลองเทียบกับความน่าจะเป็นที่จะให้น้ำผิวดินรายปีได้มากกว่า (Annual exceedence probability) กราฟที่ได้จะเรียกว่ากราฟความแปรได้ของการให้น้ำผิวดินระหว่างปี (Inter-annual variability of water yield) รูปที่ 4.3-1 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างผลจากแบบจำลองทั้ง 4 ขั้นกับค่าจากการวัด ผลจาก Sim-A2 มีความใกล้เคียงกับค่าการทำรายปีจากการสำรวจมากกว่าผลจาก Sim-A3 แสดงว่าความแตกต่างตามพื้นที่ของปริมาณฝนมีความสำคัญมากกว่าความแตกต่างตามพื้นที่ของคุณลักษณะของดินสำหรับสมดุลงน้ำ ส่วนผลจาก Sim-A4 ที่รวมความแตกต่างตามพื้นที่ของทั้งคุณลักษณะของดินและปริมาณฝนได้ผลใกล้เคียงแต่มากกว่าค่าจากการวัด ซึ่งอาจเป็นผลจากการนำน้ำผิวดินไปใช้ประโยชน์ภายในลุ่มน้ำแต่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาในแบบจำลอง ดังนั้นการใช้แบบจำลองรวมเป็นถึงใบเดียวจึงไม่เพียงพอที่จะอธิบายสมดุลงน้ำรายปี

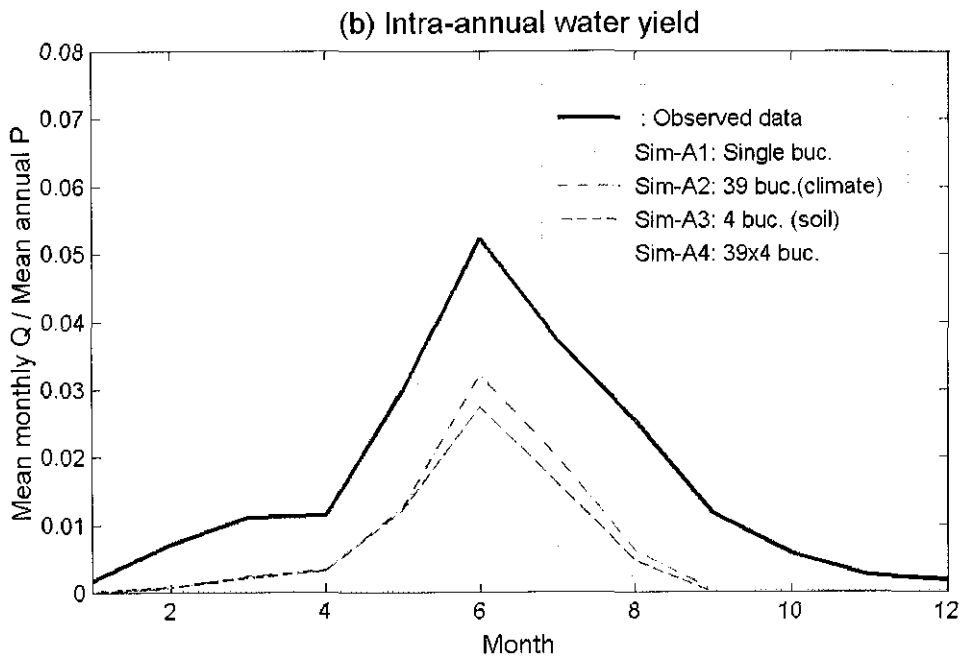
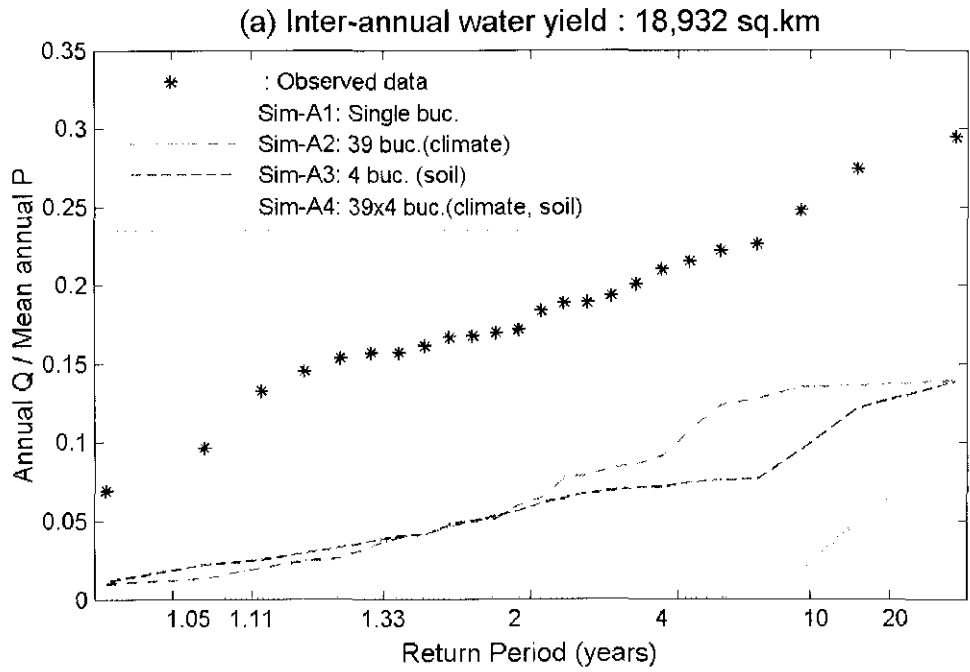


รูปที่ 4.3-1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดของแบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายปี

4.4 ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำรายเดือน

จากแบบจำลองเดิมในหัวข้อ 4.3 ปรับให้รับข้อมูลใส่เข้ารายเดือน โดยไม่เปลี่ยนแปลงจำนวนพารามิเตอร์และความซับซ้อน เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลภายในปี ทำได้โดยแต่ละเดือนแบ่งเป็นช่วงฝนตกและฝนไม่ตก ความเข้มฝนในช่วงฝนตกและอัตราการคายการระเหยสมมุติให้คงที่ในแต่ละเดือน อนุกรมเวลาของความเข้มฝนและอัตราการคายการระเหยติดต่อกันหลายปีสร้างจากข้อมูลการวัดน้ำฝนรายเดือนหารด้วยจำนวนวันที่ฝนตกต่อเดือน และข้อมูลการวัดอัตราการคายการระเหยรายเดือนหารด้วยจำนวนวันในแต่ละเดือน การใช้แบบจำลองรายเดือนทำให้สามารถแสดงผลการแปรได้ภายในปีของการให้น้ำผิวดินได้ (Intra-annual variability of water yield) เพิ่มจากกราฟการแปรได้ระหว่างปีของการให้น้ำของกลุ่มน้ำที่แสดงไว้เดิม

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองเดิมกับข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนแสดงในรูปที่ 4.4-1 การแปรได้ระหว่างปีมีลักษณะคล้ายคลึงกับในรูปที่ 4.3-1 แต่ค่าที่ทำนายต่ำกว่าค่าจากการวัดทั้งหมดทุกปี Sim-M3 แสดงผลของความลึกของดินที่แตกต่างกันตามพื้นที่ที่มีความสำคัญมากขึ้นเพราะให้ผลใกล้เคียงกับ Sim-M4



รูปที่ 4.4-1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและการวัดของแบบจำลอง
 ประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน

การแปรได้ภายในปีไม่สามารถทำนายได้ดี ถึงแม้จะใช้โครงสร้างแบบจำลองเป็นถึง 156 ไบชนานกัน คิดรวมอิทธิพลของความแตกต่างตามพื้นที่ของทั้งฝนและความลึกของดินแล้วก็ตาม การเปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดการให้น้ำรายเดือนชี้แนะว่า การทำนายที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม (เดือนที่ 7 ถึง 10) ควรมีกลไกที่ชะลอการให้น้ำของกลุ่มน้ำ จากเหตุผล

นี้โครงสร้างแบบจำลองของแต่ละถัง ต้องปรับให้มีกลไกการเกิดน้ำท่ามากขึ้น แยกเป็น 2 องค์ประกอบ คือ (1) น้ำไหลออกจากใต้ผิวดิน (Subsurface runoff, q_{ss}) เกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในดินมากกว่าความชื้นชลประทาน (Field capacity) (2) กลไกเดิมคือน้ำไหลจากส่วนเกินการอิ่มตัว q_{se} เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำมากกว่าความจุของถัง และเพื่อให้คิดรวมผลความแตกต่างระหว่างพื้นที่ที่มีป่าไม้พืชพรรณปกคลุมและพื้นที่เกษตรกรรม การระเหยรวมจึงแบ่งเป็นการระเหยจากผิวดินเปล่า e_b และการคายน้ำของพืช e_v

4.4.1 สมการสมดุลของน้ำ

ปรับแบบจำลองดังเดี๋ยวจึงใช้กับสมการสมดุลของน้ำใหม่ดังนี้

$$\frac{ds(t)}{dt} = p(t) - q_{ss}(t) - q_{se}(t) - e_b(t) - e_v(t) \quad (4-4)$$

น้ำไหลออกจากใต้ผิวดิน

$$q_{ss} = \frac{s - s_f}{t_c} \quad \text{if} \quad s > s_f \quad (4-5a)$$

$$q_{ss} = 0 \quad \text{if} \quad s < s_f \quad (4-5b)$$

โดยให้ s_f คือการกักเก็บน้ำในดินที่ความชื้นชลประทาน t_c คือเวลาตอบสนองของกลุ่มน้ำที่เกิดน้ำไหลออกจากใต้ผิวดิน $s_f = f_c D$ ซึ่ง f_c คือความชื้นชลประทานของดิน และ D คือความลึกเฉลี่ยของดิน t_c ประมาณจากการใช้กฎของดาร์ซีกับการไหลออกของน้ำใต้ดินจากพื้นที่ลาดเอียง

$$t_c = \frac{L\phi}{2K_s \tan \beta} \quad (4-6)$$

โดยให้ ϕ คือความพรุนเฉลี่ยของดิน L คือความยาวเฉลี่ย ของพื้นที่ลาดเนิน (hillslope) ของกลุ่มน้ำ $\tan \beta$ คือความลาดชันเฉลี่ยของผิวดิน และ K_s คือค่าเฉลี่ยการนำทางชลศาสตร์อิ่มตัว (Saturated hydraulic conductivity)

การไหลออกจากส่วนเกินการอิ่มตัว (Saturation excess runoff rate)

$$q_{se} = (s - S_b) / \Delta t \quad \text{if} \quad s > S_b \quad (4-7a)$$

$$q_{se} = 0 \quad \text{if} \quad s \leq S_b \quad (4-7b)$$

การระเหยจากดินไม่มีป่าไม้ปกคลุม

$$e_b = \frac{s}{t_e} \quad (4-8)$$

$$t_c = \frac{S_b}{(1-M)e_p} \quad (4-9)$$

โดย t_e เป็นมาตราส่วนค่าคงที่ของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการระเหย e_p คืออัตราศักยภาพการระเหย และ M คือสัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยป่าไม้ ($0 < M < 1$)

อัตราการคายน้ำของพืช

$$e_v = Mk_v e_p \quad \text{if} \quad s > s_f \quad (4-10a)$$

$$e_v = \frac{s}{t_g} \quad \text{if} \quad s < s_f \quad (4-10b)$$

$$t_g = \frac{s_f}{Mk_v e_p} \quad (4-11)$$

โดย t_g คือมาตราส่วนค่าคงที่ของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำ k_v คือประสิทธิภาพการคายน้ำของพืช ตาม (Wittenburg, 1994) ค่า M ใช้แบ่งการระเหยทั้งหมดเป็นการระเหยจากดินที่ไม่มีป่าไม้ปกคลุม และการคายน้ำของต้นไม้

4.4.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำที่ปรับปรุงใหม่จัดกลุ่มได้ดังนี้

พารามิเตอร์รายเดือนของภูมิอากาศ: $P_m, t_m, E_{pm}, i_m; \forall m = 1, \dots, 12$

พารามิเตอร์ทางภูมิประเทศและดิน: $D, \phi, f_c, L, \tan \beta, K_s$

พารามิเตอร์ของพืชพรรณ: M, k_v

ตารางที่ 4.4-2 สรุปจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองสำหรับทั้งลุ่มน้ำ ค่าต่างๆในตารางที่ 4.4-1 เป็นค่าประมาณ โดยเฉลี่ยจากค่าจริงซึ่งจะแตกต่างกันมากตามพื้นที่แบบจำลองนี้ไม่ได้้นำการไหล (runoff routing) มาพิจารณาเพราะเวลาในการเดินทางของน้ำในลุ่มน้ำใช้เวลาเพียงไม่กี่วันซึ่งสั้นกว่ามาตราส่วนเวลารายเดือนและรายปีของแบบจำลองนี้

ตารางที่ 4.4-1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเฉลี่ยตามพื้นที่

ชื่อพารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
L	1,000	เมตร
$\tan \beta$	0.02	-
ϕ	0.4	-
K_s	4	เมตรต่อวัน
D	3.0	เมตร

ตารางที่ 4.4-2 พารามิเตอร์เฉลี่ยตามพื้นที่สำหรับแบบจำลองชุดที่ 2 รายเดือน

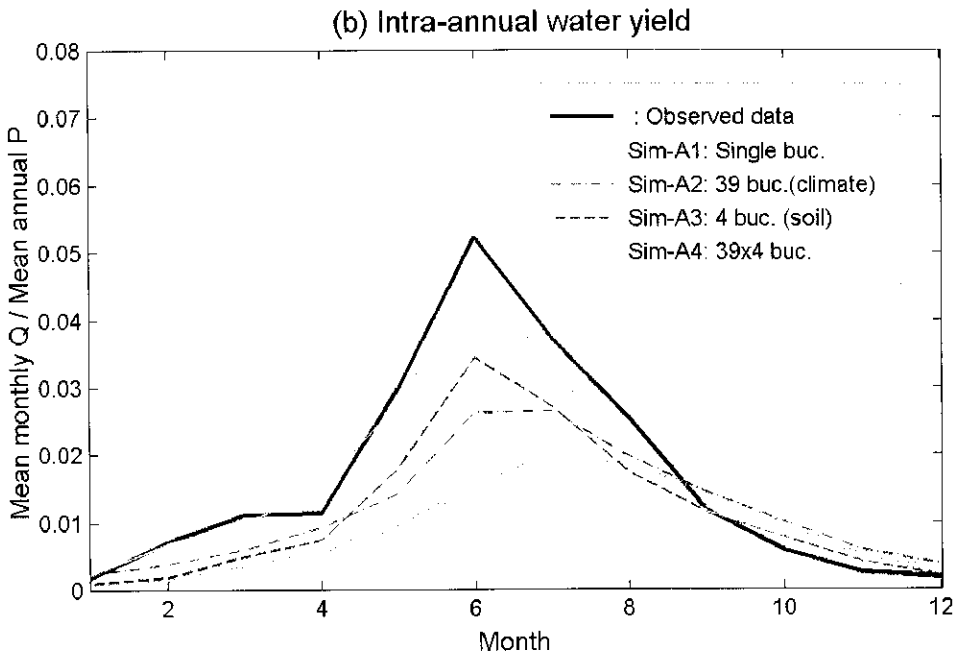
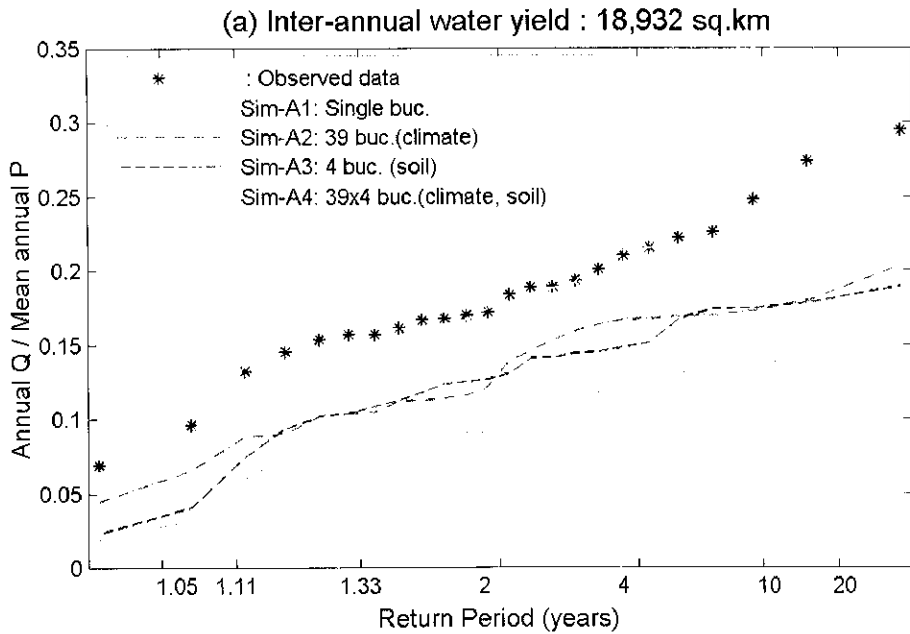
ชื่อพารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
S_b	1,200	มิลลิเมตร
f_c	40	เปอร์เซ็นต์
t_c	500	วัน
M	0.3	-
k_v	1.0	-
i	5	เปอร์เซ็นต์

4.4.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของแบบจำลอง

คล้ายคลึงกับวิธีการในหัวข้อ 4.3.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนดำเนินการใน 4 ชั้น (Sim-M1 ถึง Sim-M4) เพื่อดูผลของความแตกต่างตามพื้นที่ของภูมิอากาศ และดินต่อการแปรได้ของน้ำท่า รูปที่ 4.4-2 แสดงการแปรได้ของการให้น้ำจากกลุ่มน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างปีและภายในปี เป็นผลจากแบบจำลองทั้ง 4 ชั้นเปรียบเทียบกับค่าจากการวัด แบบจำลองจากชั้นตอนที่ 4 (Sim-M4, 156 ถึง) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองใหม่ที่ใช้ถึงหลายใบต่อแบบขนานสามารถจำลองการแปรได้ระหว่างปีและภายในปีได้ดีกว่า Sim-A4 ในรูปที่ 4.4-1

4.5 ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน

การทดสอบในขั้นต่อไปได้นำแบบจำลองสมดุลน้ำรายเดือนมาใช้ทำนายสมดุลของน้ำรายวัน หากผลการทำนายไม่ดีอันเนื่องมาจากกระบวนการที่ควบคุมการสมดุลน้ำยังมีความซับซ้อนไม่เพียงพอ จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนกระบวนการและตัวแปร ที่มีผลต่อสมดุลของน้ำให้มากขึ้น จะได้ดำเนินการต่อไปให้สามารถจำลองสถานการณ์ได้ใกล้เคียงกับผลจากการวัดปริมาณน้ำท่ารายวันให้มากที่สุด



รูปที่ 4.4-2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดของแบบจำลอง
 ประเภทที่สองที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน

การประเมินความแปรได้ของการทำนายการเกิดน้ำท่ารายวัน สามารถทำได้โดยใช้กราฟ
 โค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) เป็นกราฟชุดที่ 3 เพิ่มจากเดิมคือ กราฟการ
 แปรได้ของการเกิดน้ำผิวดินระหว่างปีและ กราฟการแปรได้ภายในปีของการเกิดน้ำผิวดิน รูปที่
 4.5-1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองสมมูลน้ำรายเดือนที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายวัน
 และมีระดับความซับซ้อนต่างกัน 4 ระดับ เริ่มจากพิจารณาลุ่มน้ำทั้งหมดมีลักษณะภูมิอากาศและดิน

สม่ำเสมอกัน จึงใช้ถังเก็บเพียงใบเดียวแทนลักษณะลุ่มน้ำได้ (Sim-M1) ขั้นตอนต่อไปของการเพิ่มความซับซ้อนคือการใช้ถังเก็บน้ำ 39 ใบต่อขนานกันเพื่อรับปริมาณฝนที่ต่างกันตามจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่แต่ละ โซน แต่กำหนดให้มีความจุเท่ากันเนื่องจากมีความลึกของดินเท่ากัน (Sim-M2) ขั้นตอนต่อไปแบบจำลองถังหลายใบถูกใช้เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ที่มีดินความลึกต่างกัน เลือกใช้ถัง 4 ขนาด $S_b = 200, 900, 1200, 2500$ มิลลิเมตร โดยไม่นำความแตกต่างตามพื้นที่ของฝนมารวม (Sim-M3) ขั้นตอนสุดท้ายเป็นแบบจำลองถังหลายใบที่รวมความแตกต่างและความไม่แน่นอนตามพื้นที่ของฝนและความลึกของดินเข้าด้วยกัน มีจำนวนถัง $39 \times 4 = 156$ ใบ (Sim-M4)

แบบจำลองที่ใช้ถังหลายใบ ที่รวมความแตกต่างตามพื้นที่ของภูมิอากาศ ดินและพืชพรรณได้ สามารถจำลองการเกิดน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากที่สุด ทั้งระหว่างปีและภายในปีได้ดีกว่าการใช้ถังน้อยใบ ผลจากกราฟโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ให้ผลทำนองเดียวกัน แต่ยังได้ผลไม่ดีนักพิจารณาจากการเกิดน้ำท่าจริงในลุ่มน้ำปึงตอนบน พบว่า ผลจากแบบจำลองนี้ให้ค่าอัตราการไหลกลุ่มที่มีค่ามาก และกลุ่มที่มีค่าน้อย มีค่ามากกว่า ค่าจากการวัด ซึ่งเป็นไปได้ว่ากระบวนการเกิดน้ำท่าของแบบจำลอง ยังขาดการหลากในโครงข่ายลำน้ำและ มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ระหว่างเส้นทางกรไหล

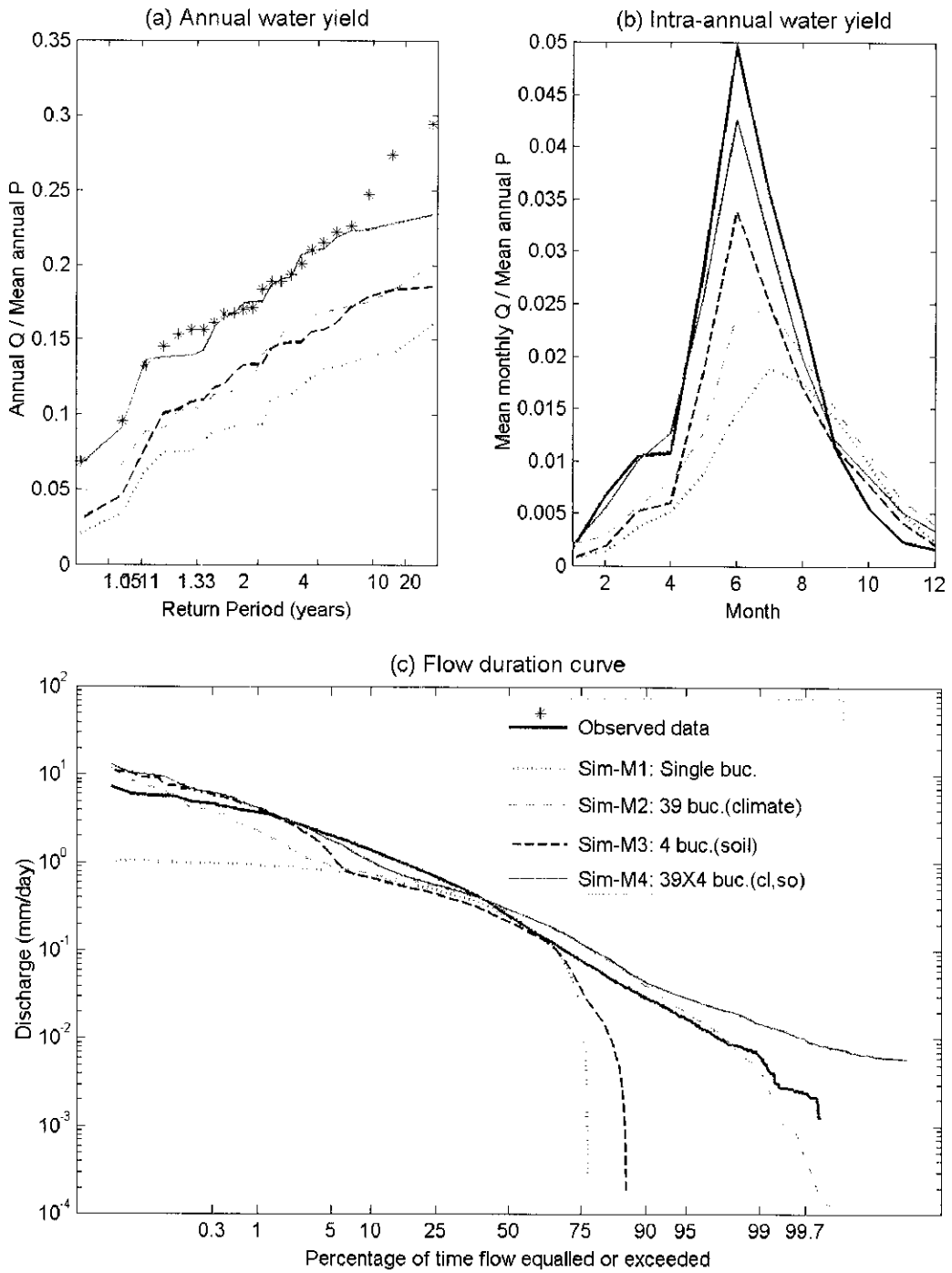
4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บ-อัตราการไหลออก

จากความไม่เพียงพอของกระบวนการทำงานของแบบจำลองสมดุลของน้ำรายเดือนที่ปรับมาใช้ข้อมูลน้ำเข้ารายวันเพื่อนำมาใช้กับการจำลองสถานการณ์การเกิดน้ำท่ารายวัน จึงได้ปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บน้ำในดินกับอัตราการไหลออกของการไหลได้ผิวดิน ($q_{ss}(t)$) เปลี่ยนจากแบบเชิงเส้น (linear) เป็นแบบไม่เชิงเส้นตรง(nonlinear) โดยแทนที่ Catchment response time (t_c) ด้วย พารามิเตอร์ a และ b

$$q_{ss} = \left[\frac{s - s_f}{a} \right]^b \quad \text{ถ้า} \quad s > s_f \quad (4-12a)$$

$$q_{ss} = 0 \quad \text{ถ้า} \quad s < s_f \quad (4-12b)$$

โดยที่ s_f คือปริมาณน้ำในดินที่ความชื้นชลประทาน (Field capacity) การประมาณค่า a และ b ทำได้จากการวิเคราะห์กราฟชลภาพส่วนลด (Recession analysis) สมมุติว่าไม่มีน้ำผิวดินและการระเหยในช่วงทันทีที่ฝนหยุดตก สมการที่ (4-12) ถูกลดรูปเหลือเพียง $ds/dt = -q_{ss}$ สมมุติ น้ำท่าที่ไหลลงลำน้ำ $Q = q_{ss}$ เมื่อรวมกับสมการที่ (4-12) ได้ (Wittenburg, 1999)



รูปที่ 4.5-1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดของแบบจำลองรายเดือนที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายวัน (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่าระหว่างปี, (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี, (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q^{2-b}}{ab} \quad (4-13)$$

$$Q_t = Q_0 \left[1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab} t \right]^{\frac{1}{b-1}} \quad (4-14)$$

โดยที่ Q_0 คืออัตราการไหลจากการวัดเป็นจุดเริ่มต้นการวิเคราะห์กราฟสภาพส่วนลด Q_t คือ อัตราการไหลที่เวลา t ใช้สมการที่ (4-14) ค่า a และ b สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธี Iterative least squares fitting (Wittenburg, 1994) รูปที่ 4.5-2 เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์เพื่อหาค่า a และ b จากข้อมูลน้ำท่าของสถานีแมงค้ที่บ้านดินธาตุ

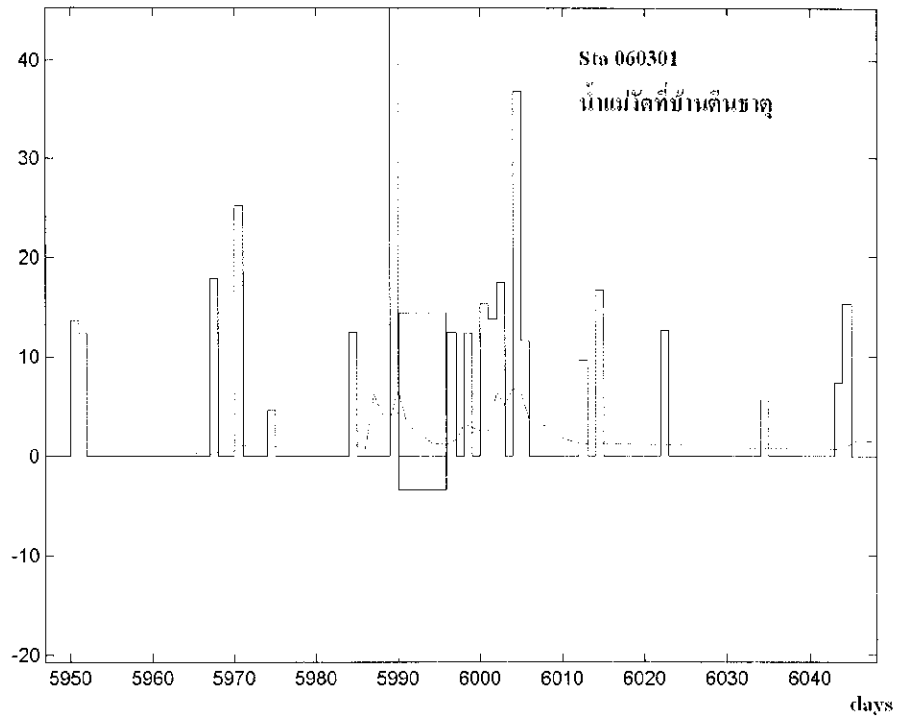
4.5.2 การกระจายตัวของความลึกของดิน

การใช้ความลึกของดินในแบบจำลองที่ผ่านมาเป็นการประมาณเบื้องต้น เนื่องจากข้อมูลการกระจายตัวของความลึกของดินสามารถเปลี่ยนเป็นการกระจายของความจุของน้ำในดินสำหรับแบบจำลองได้ และเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อสมดุลของน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ละเอียดจากแผนที่ชุดดินและข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน ข้อมูลความลึกของดินได้มาจากข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาล ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลซึ่งมีจำนวนหลุมเจาะทั้งหมด 1,166 หลุม แต่มีข้อจำกัดของข้อมูลที่บางหลุมเจาะมีข้อมูลที่ไม่มีรายละเอียดในช่วง 1-10 เมตร จากผิวดิน (ข้อมูลสรุปความลึกของดินชั้นที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.5-1 และรูปที่ 4.5-3) จากข้อมูลชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจดินที่มีตำแหน่งสัมพันธ์กับชุดดินทำให้สามารถประมาณการกระจายตัวของความลึกดินของแต่ละชุดดินได้ การกระจายความลึกของดินของแต่ละลุ่มน้ำย่อยประมาณได้จากอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างชุดดินชุดต่างๆที่พบในลุ่มน้ำย่อยนั้น

การประมาณการกระจายของความลึกของดินของแต่ละชุดดินสามารถหาได้จากการนำข้อมูลตำแหน่งหลุมเจาะและชั้นดินจากหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลในรูปแบบที่นำมาซ้อนทับกับแผนที่ชุดดิน จัดกลุ่มหลุมเจาะตามแต่ละชุดดิน ซึ่งมีความลึกแตกต่างกัน นำข้อมูลความลึกของดินในชุดดินเดียวกันมาวิเคราะห์ความถี่ต่อไป ต่อจากนั้นนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมกับความลึกของดินแต่ละชุดดิน รูปที่ 4.5-4 แสดงการกระจายตัวของความลึกของดินของชุดดินตัวอย่าง 8 ชุดดิน และรูปที่ 4.5-5 แสดงประเภทของชุดดินในเขตลุ่มน้ำปึงตอนบน

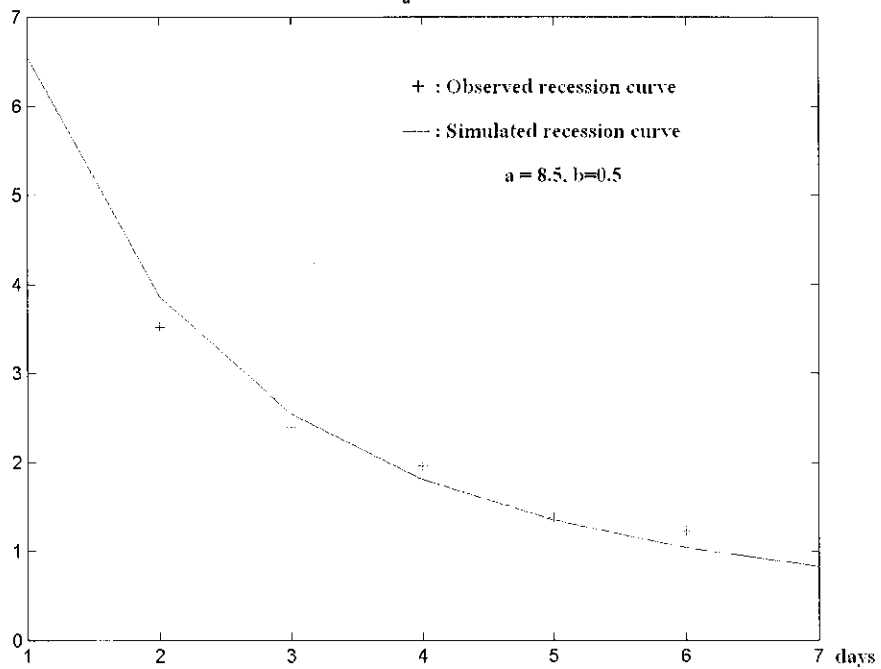
Rainfall, Runoff (mm/day)

solve_a b = 0.5



mm/days

solve_a b = 0.5

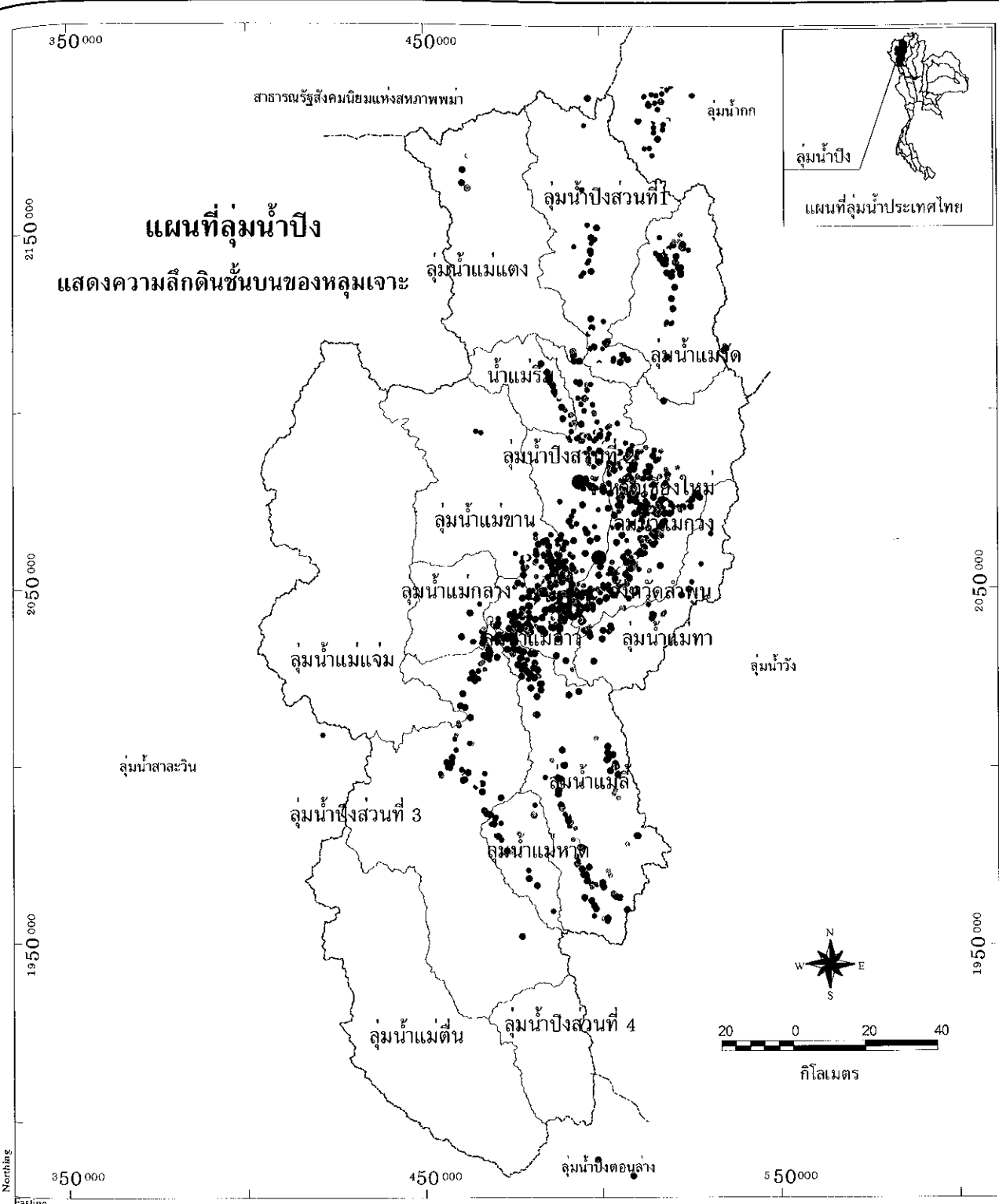



รูปที่ 4.5-2 การวิเคราะห์ชลภาพส่วนลด เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ a และ b จากข้อมูลน้ำท่า
สถานีแม่งัดที่บ้านดินธาตุ



ตารางที่ 4.5-1 สรุปข้อมูลชนิด ความลึก ปริมาณหลุมเจาะของดินชั้นบนจากข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

type	no. of bore	average depth (m)	
b	2	2.25	2.5
c	851	13.44	13.5
c/g	39	48.86	49.0
c/l	40	13.38	13.5
c/q	2	6.10	6.0
c/r	1	27.00	27.0
c/s	71	16.18	16.0
c/silt	5	8.19	8.0
c + sand	5	28.35	28.5
filled deposit	5	13.11	13.0
g	53	8.50	8.5
g/c	4	5.31	5.5
g/s	3	8.64	8.5
gniess	1	54.88	55.0
granite	1	15.24	15.0
l	75	4.20	4.0
l/b	1	1.52	2.5
l/c	9	4.31	4.5
l/g	1	7.50	7.5
l/r	1	4.00	4.0
l/s	1	3.05	3.0
limestone	1	4.57	4.5
marl	1	35.06	35.0
q	11	18.57	18.5
q/g	1	2.00	2.0
q/silt	1	80.79	81.0
r	7	19.03	19.0
s	176	8.11	8.0
s/b	1	12.20	12.0
s/c	27	9.96	10.0
s/g	11	7.26	7.5
s/l	1	6.00	6.0
sandstone	2	19.06	19.0
shale	4	11.41	11.5
silt	21	3.52	3.5
silt/c/s/q	1	16.77	17.0
silt/q	3	42.26	42.5
silt/s	4	10.03	10.0
silt/sandstone	1	6.10	6.1
siltstone	1	4.57	4.5
top soil	98	1.38	1.5

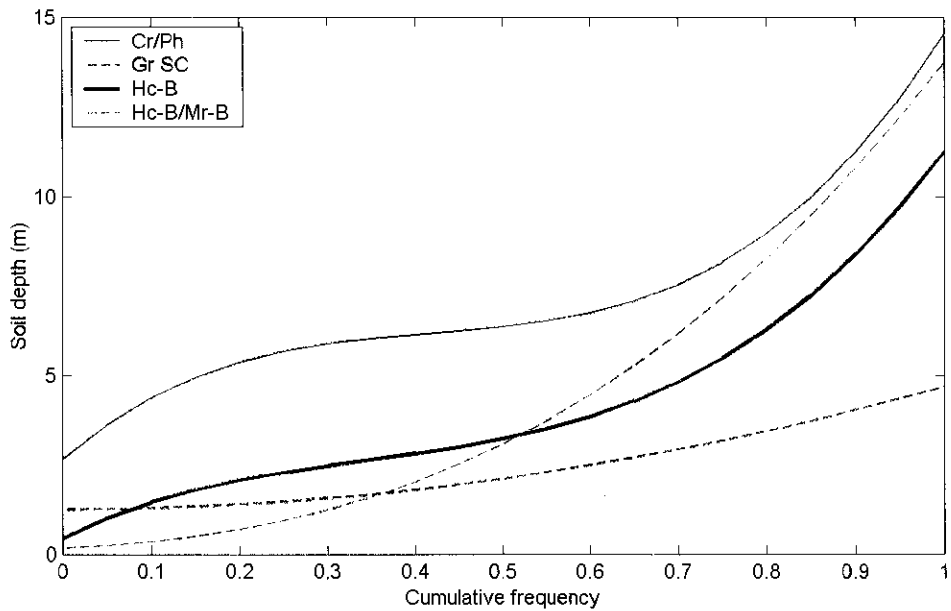
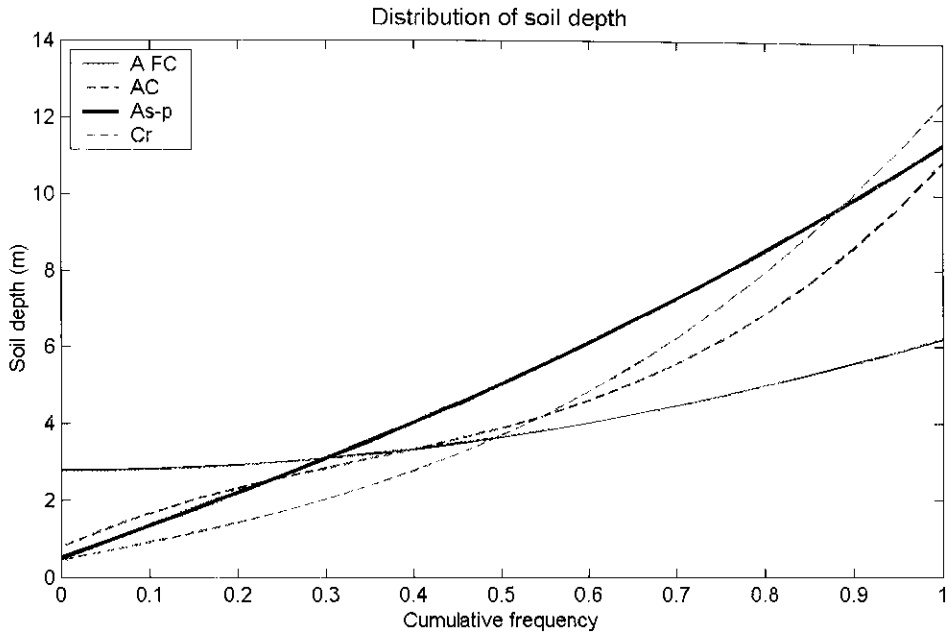
b = boulder
c = clay
g = gravel
l = laterite
r = rock
s = sand
q = quartz




มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มาตรฐานแผนที่นำเข้า..... 1 : 50,000
 พิกัด..... WGS 1984 UTM Zone 47
 แหล่งข้อมูล : ข้อมูลสำรวจภาคสนาม, กรมพัฒนาที่ดิน.

สัญลักษณ์
 เขตลุ่มน้ำ
 เขตลุ่มน้ำสาขา
ความลึกของดินชั้นบน
 • 0 - 5 เมตร
 • 5.01 - 10 เมตร
 • 10.01 - 15 เมตร
 • 15.01 - 20 เมตร
 • 20.01 - 246 เมตร

รูปที่ 4.5-3 ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน ที่ความลึกต่าง ๆ ข้อมูลจากหลุมเจอน้ำบาดาล



รูปที่ 4.5-4 การกระจายของความลึกของดินของชุดดินตัวอย่าง 8 ชุดดิน (สัญลักษณ์คำย่อชื่อชุดดินแสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ-1)

4.5.3 การเชื่อมต่อถึงหลายใบแบบอนุกรม

การศึกษาของ Manabe (1969) ได้มีการเปรียบเทียบการใช้ถึงหลายใบที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน เพื่อจำลองการไหลของน้ำจากไหล่เขา (Hillslope) หรือในลุ่มน้ำขนาดเล็ก พบว่าการต่อแบบอนุกรมให้ผลดีกว่าการต่อแบบขนาน ซึ่งได้ใช้ใน แบบจำลองสมดุลของน้ำ รายปี และรายเดือน จึงได้นำรูปแบบการต่อแบบอนุกรมมาใช้สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน ด้วยเหตุผลนี้

4.5.4 การกักเก็บของน้ำใต้ดิน (Deep groundwater storage)

ความสามารถทำนายอัตราการไหลน้อย ๆ มีความสำคัญกับแบบจำลองสมดุลของน้ำระยะยาว เห็นผลได้ชัดเจนจากหางของกราฟ flow duration ที่ยังไม่สามารถทำนายได้ดี จากข้อมูลลักษณะของดิน ลักษณะชลภาพ และปริมาณน้ำบาดาล ซึ่งให้เห็นว่าควรมีแหล่งเก็บน้ำใต้ดินระดับลึก ที่จะช่วยทำนายอัตราการไหลน้อย ๆ ได้

โครงสร้างแบบจำลองได้ถูกปรับให้มีการกักเก็บของน้ำใต้ดิน สมการสมดุลของน้ำสำหรับแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดินแสดงได้ดังนี้

$$\frac{dS_g(t)}{dt} = \lambda q_{ss}(t) - q_{sg}(t)$$
$$q_{sg}(t) = \left[\frac{S_g}{a} \right]^b$$
$$q_{total} = (1 - \lambda)q_{ss} + q_{sg} + q_{se}$$

ซึ่ง $S_g(t)$ คือ ปริมาตรของการกักเก็บน้ำใต้ดินระดับลึก q_{ss} คือ อัตราการไหล subsurface runoff, λ คือ อัตราส่วนของ subsurface runoff ที่ซึมลงไปยังการกักเก็บน้ำใต้ดิน q_{sg} คือ groundwater runoff และ q_{total} คือ การไหลออกทั้งหมดจากลุ่มน้ำ

เนื่องจากไม่มีข้อมูลในลุ่มน้ำปีงตอนบนเรื่องอัตราส่วนของ subsurface runoff ที่ซึมลงเป็น groundwater runoff จึงสมมติให้อัตราส่วน 20% ($\lambda = 0.2$) และคงที่ตลอดทั้งลุ่มน้ำ

4.5.5 อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บและอัตราการไหลออกแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

การใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บ (S) และอัตราการไหลออก (Q) แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) รายละเอียดตามหัวข้อ 4.5.1 เมื่อนำมาทดลองใช้กับลุ่มน้ำย่อยขนาดเล็กได้ผลดีในกลุ่มอัตราการไหลออกที่มีค่าสูง แต่ให้ผลไม่ดีนักที่อัตราการไหลออกมีค่าน้อย เมื่อสังเกตดู

ลักษณะของชลภาพพบว่า นอกจากมีอัตราการไหลสูงเป็นช่วง ๆ ตามปริมาณฝนที่เกิดขึ้น การไหลในลักษณะการไหลพื้นฐานมีอยู่อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บและอัตราการไหลออก ทั้งแบบเชิงเส้นซึ่งให้ผลเป็นการไหลพื้นฐาน ผสมกับแบบไม่ใช้เชิงเส้นซึ่งให้ผลเป็นการไหลในอัตราพุ่งสูงเป็นช่วง ๆ เมื่อฝนหยุดชลภาพมีรูปร่างชลภาพส่วนลด (recession curve) รูปโค้ง การผสมในสัดส่วนที่เหมาะสมให้ผลจากแบบจำลองได้ใกล้เคียงกับผลจากการวัดมากขึ้น รูปที่ 4.5-6 แสดงผลการใช้แบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ $S - Q$ แบบไม่ใช้เชิงเส้น รูปที่ 4.5-7 แสดงผลการใช้แบบจำลองที่ความสัมพันธ์ $S - Q$ เป็นแบบเชิงเส้น รูปที่ 4.5-8 แสดงผลการใช้แบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ $S - Q$ แบบไม่ใช้เชิงเส้น 50% ผสมกับใช้ความสัมพันธ์ $S - Q$ แบบเชิงเส้น 50% สำหรับลุ่มน้ำย่อยหมายเลข 130 สถานีวัดน้ำท่า 060807 ซึ่งแบบผสมให้ผลดีกว่าอย่างชัดเจน

4.5.6 Distributed Model สำหรับสมดุลของน้ำทั้งลุ่มน้ำ

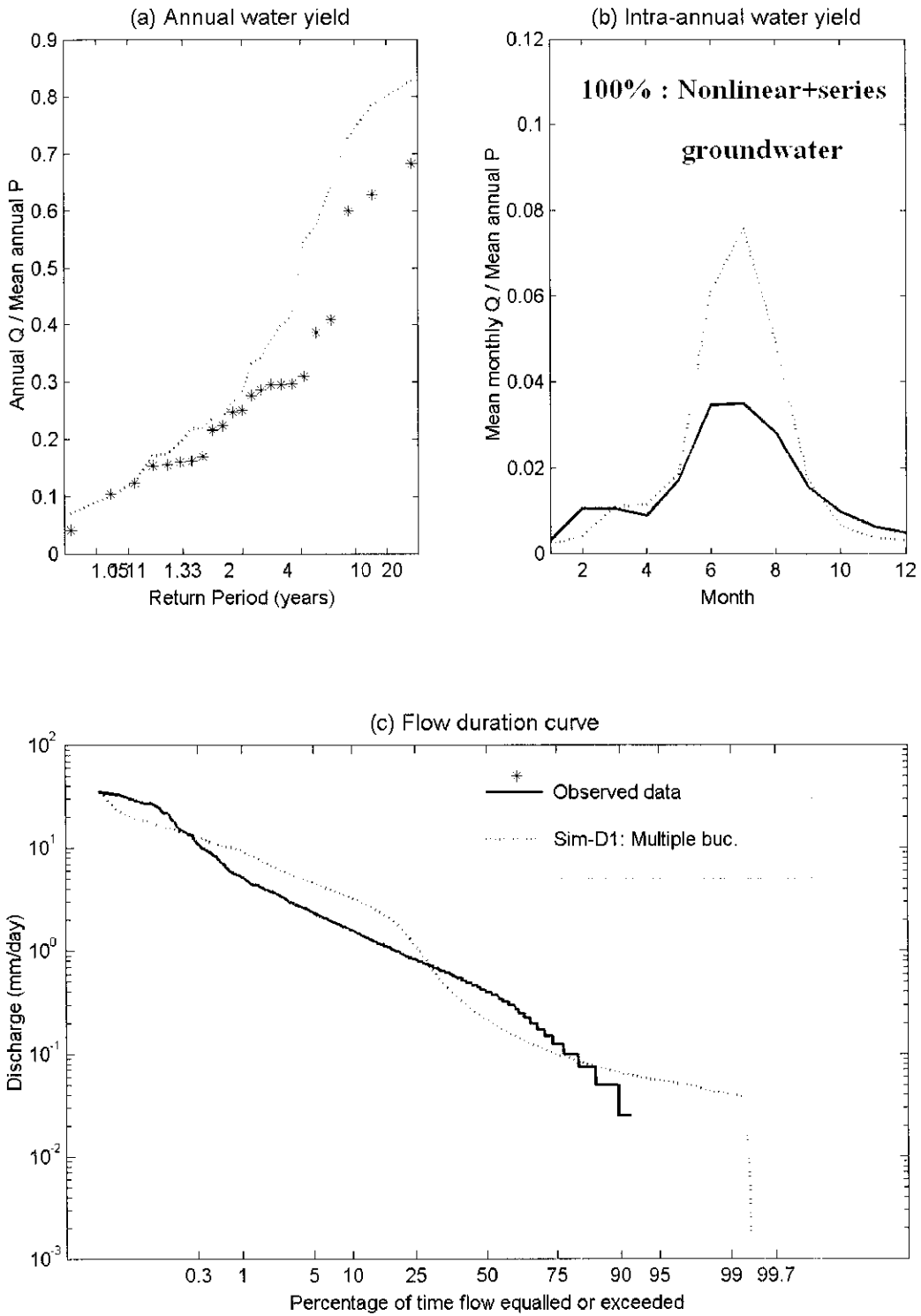
เริ่มต้นจากแบบจำลองอย่างง่าย ได้เพิ่มกระบวนการอย่างมีระบบเป็นขั้นตอน เพื่อให้ได้ความแปรผันของการไหลออกที่ถูกต้องทั้งรายปี รายเดือน และรายวัน กระบวนการและความซับซ้อนที่ถูกนำมาเพิ่มเริ่มจาก multiple buckets ขึ้นกับผลสำรวจกระจายความลึกของดิน การไหล subsurface flow, ความสัมพันธ์ระหว่าง storage-discharge ที่ไม่เป็นเชิงเส้น และการกักเก็บน้ำใต้ดินระดับลึก ซึ่งได้มีการทดสอบการเพิ่มกระบวนการเหล่านี้ในลุ่มน้ำย่อยขนาดเล็ก

ในขั้นตอนต่อไป ได้นำโครงสร้างแบบจำลองล่าสุดใช้เป็นกรอบพื้นฐานสำหรับ distributed model ของทั้งลุ่มน้ำปึงตอนบน ลุ่มน้ำทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 220 ลุ่มน้ำย่อย ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศโครงข่ายลำน้ำ ลุ่มน้ำย่อยแต่ละแห่ง มีข้อมูลนำเข้าของตนเองขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ดิน และพืชพรรณ ผลที่ได้จากแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีความเป็นอิสระต่อกัน (แบบขนาน) ในการให้การไหลออกซึ่งมีการหลากลงมาตามโครงข่ายลำน้ำต่อไป

4.5.7 การหลากในโครงข่ายลำน้ำ

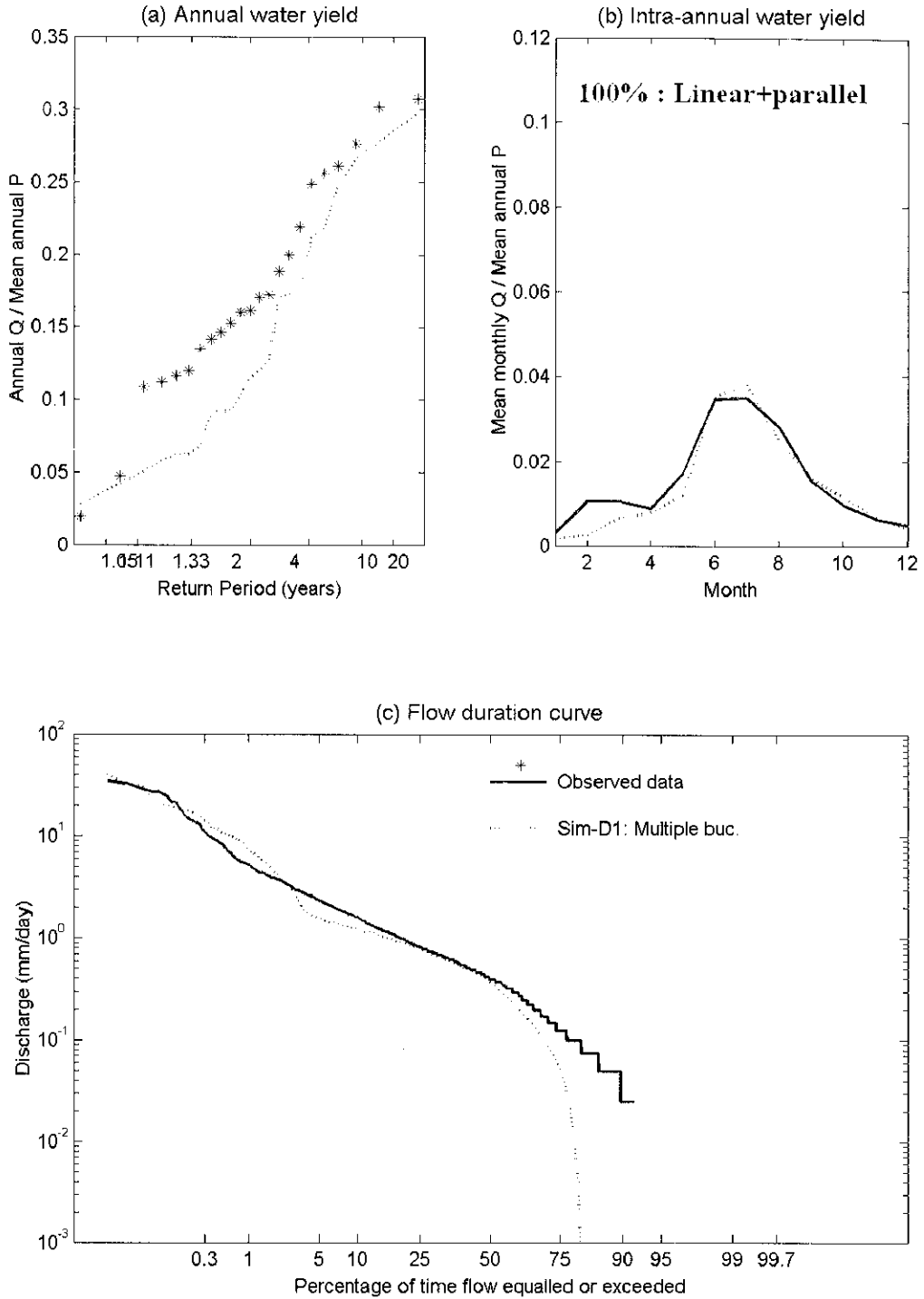
แบบจำลองการหลากในลำน้ำ (Stream network routing) ออกแบบให้ใช้ข้อมูลเพียงความเร็วการไหลของน้ำในลำน้ำที่คงที่และความยาวลำน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อย พัฒนาโดย Vincy and Sivapalan (1995) สมมุติว่าปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยเหนือน้ำไหลเข้าลำน้ำสม่ำเสมอทั้งวัน และน้ำไหลออกจากไหลเข้าข้างเคียง ไหลลงลำน้ำอย่างสม่ำเสมอตามเวลาและตามพื้นที่ตลอดความยาวลำน้ำ แบบจำลองคำนวณหาปริมาณของน้ำท่าที่ไหลผ่านออกจากลุ่มน้ำย่อยในแต่ละวัน และปริมาณของน้ำที่ค้างอยู่ในลำน้ำที่ยังไหลไปไม่ถึงทางออกของลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ แบบจำลองอย่างง่ายนี้แตกต่างจากแบบจำลอง Muskingum-Cunge ที่ไม่ต้องการข้อมูลรูปตัดลำน้ำและพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าอื่นๆ

สถานีวัดน้ำท่า Sta. 060804, A=39.7km² & Subcatchment No.130



รูปที่ 4.5-6 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน
 กรณีความสัมพันธ์ S-Q เป็นแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) กลุ่มน้ำย่อยที่ 130
 สถานีวัดน้ำท่า 060804 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี
 (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลาและอัตราการไหล

สถานีวัดน้ำท่า Sta. 060804, $A=39.7 \text{ km}^2$ & Subcatchment No.130

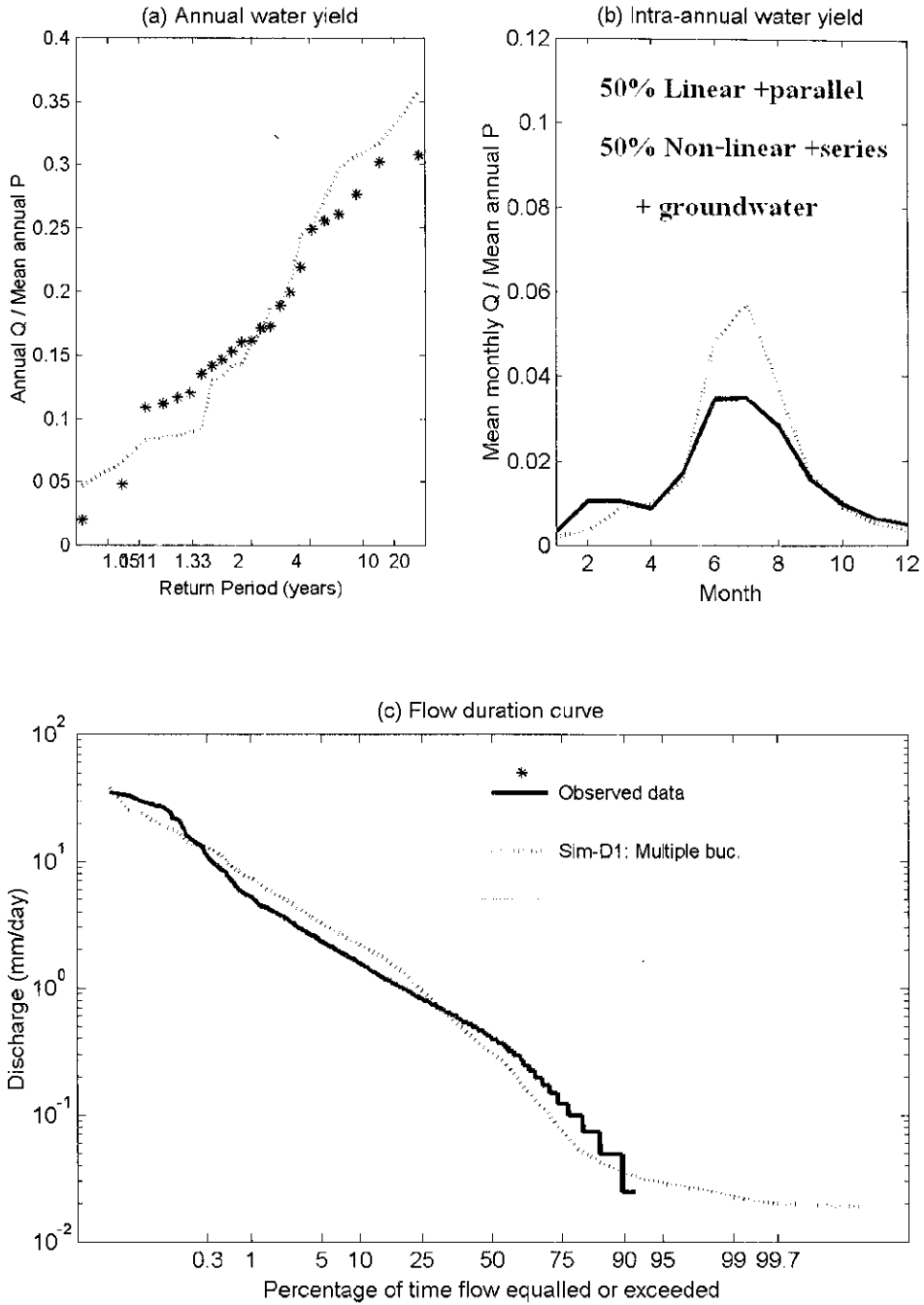


รูปที่ 4.5-7 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน กรณีความสัมพันธ์ S – Q เป็นแบบเชิงเส้น (linear) ลุ่มน้ำย่อยที่ 130 สถานีวัดน้ำท่า 060804

(a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี

(c) กราฟช่วงเวลาและอัตราการไหล

สถานีวัดน้ำท่า Sta. 060804, A=39.7 km² & Subcatchment No.130



รูปที่ 4.5-8 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมดุขของน้ำรายวัน กรณีความสัมพันธ์ S – Q แบบไม่เชิงเส้น 50% ผสมกับแบบเชิงเส้น 50% ลุ่มน้ำย่อยที่ 130 สถานีวัดน้ำท่า 060804 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลาและอัตราการไหล

4.5.8 ผลการ Simulation จากลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ

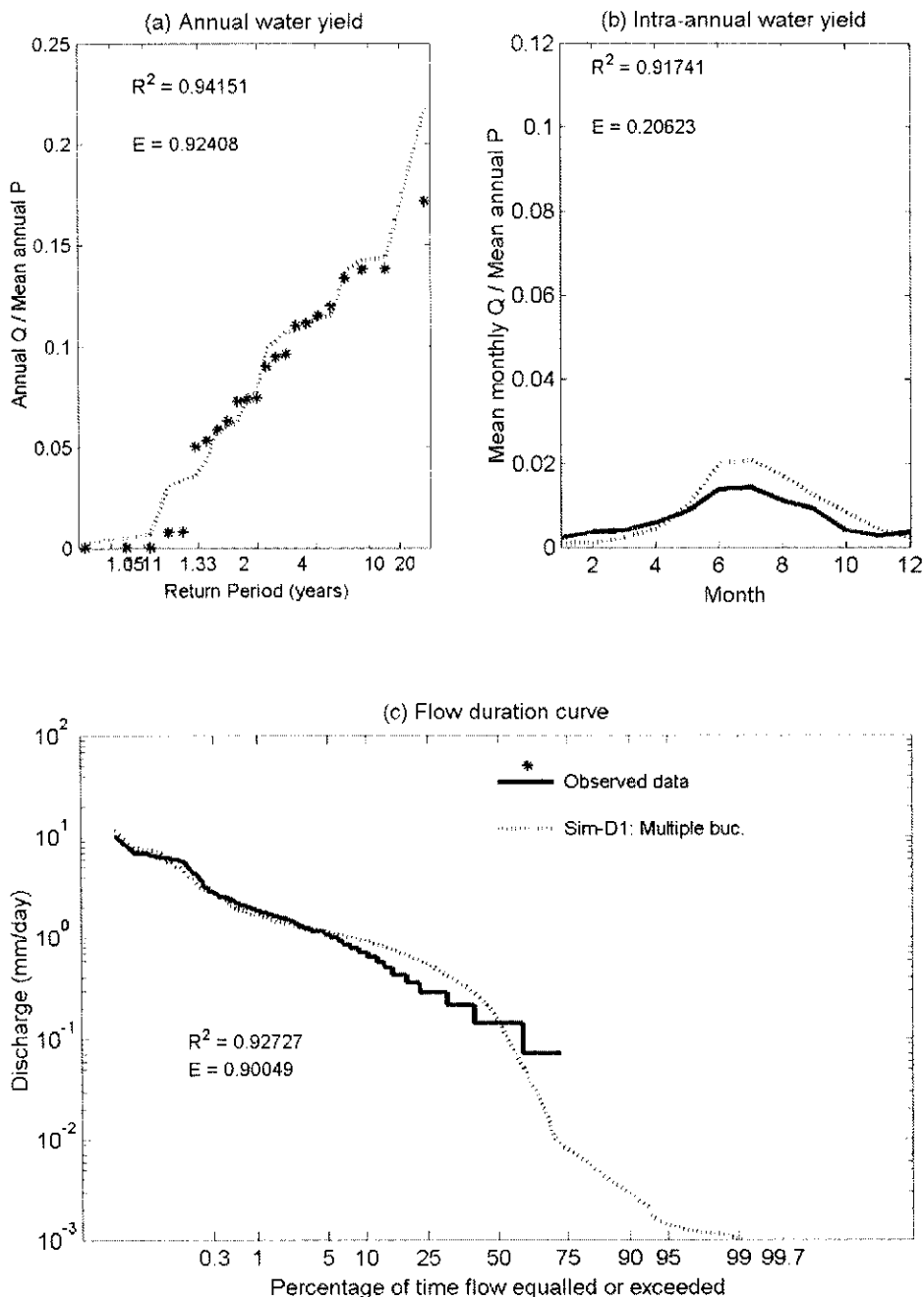
ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับทั้งลุ่มน้ำบึงตอนบนแสดงในรูปที่ 4.5-9 ถึง 4.5-13 ซึ่งเปรียบเทียบความแปรได้ของการให้น้ำท่าระหว่างปี ภายในปี และ flow duration curve ระหว่างผลจากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัด ได้เลือกลุ่มน้ำย่อย 4 ลุ่มน้ำ สำหรับการนำเสนอ ผลคือลุ่มน้ำย่อย 182, 203, 95, 38 และ 12 ตารางที่ 4.5-2 นำเสนอค่าตัวแปรสำหรับลุ่มน้ำย่อยเหล่านี้

ตารางที่ 4.5-2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวันสำหรับ ลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ 5 แห่ง

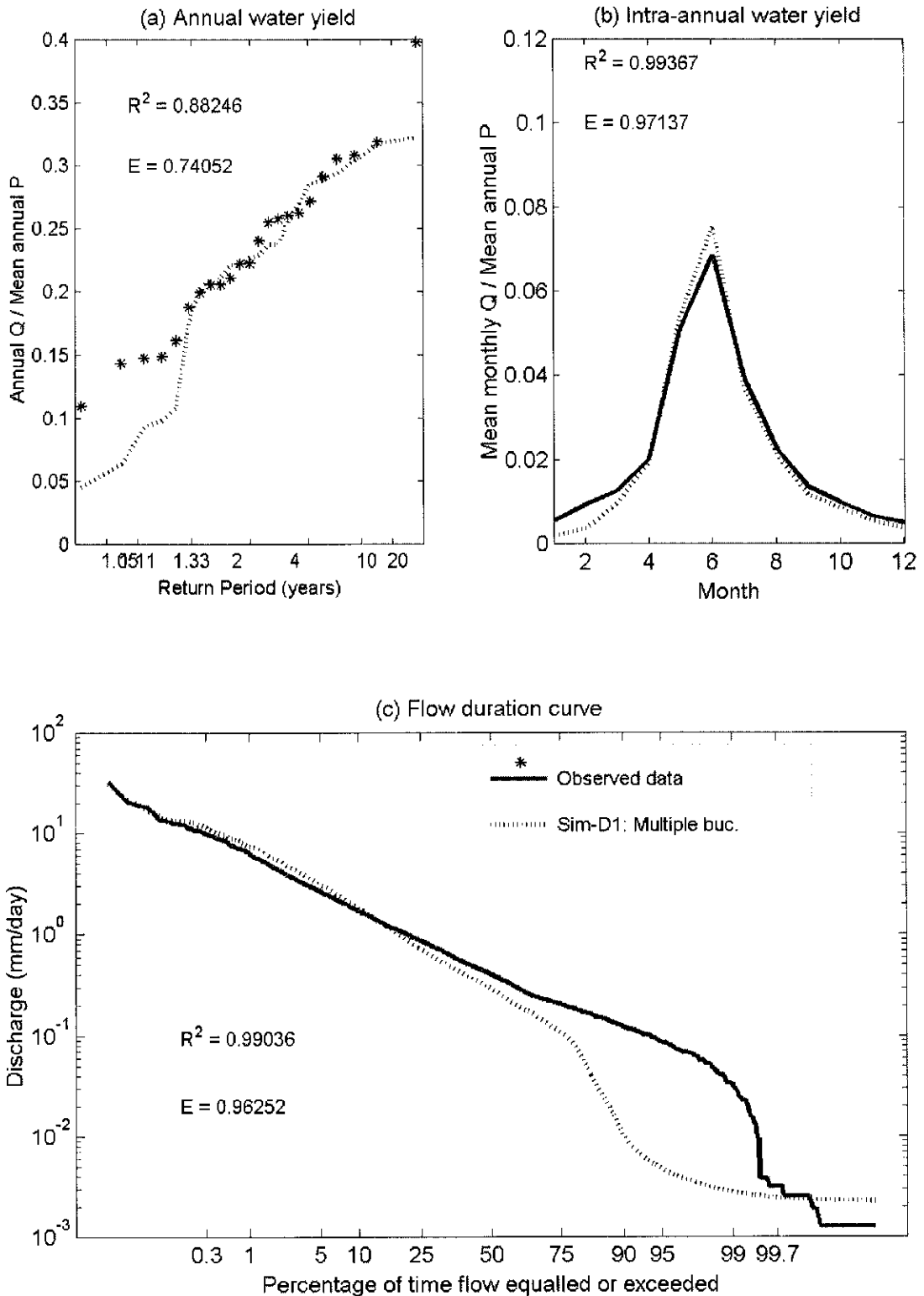
รายการพารามิเตอร์	Sub. Cat. 182 11 km ²	Sub. Cat. 203 1,346 km ²	Sub. Cat. 95 6359 km ²	Sub. Cat. 38 19,044 km ²	Sub. Cat. 12 1,599 km ²
1. โครงสร้างแบบจำลอง					
จำนวนลุ่มน้ำย่อย	1	6	162	179	11
จำนวนถังแบบอนุกรมในแต่ละลุ่มน้ำย่อย	20	20	20	20	20
2. ความสัมพันธ์การกักเก็บ-การไหลออก					
tc (day)	500	500	500	500	500
a (mm ^{0.5} day ^{0.5})	100	20	20	20	20
b	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ratio of Nonlinearity	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5
3. คุณสมบัติของดิน					
D การวัด (m)	7.8	5.1	5.2	5.2	5.4
D ปรับแก้ (m)	11.7	5.1	5.2	5.2	2.7
ϕ	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
fc	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
4. พืชพรรณ					
M	1.00	0.82-0.99	0.31-1.00	0.30-1.00	0.90-0.98
k _s	0.88	0.68	0.55	0.70	.40
i (%)	10	10	10	10	10
5. น้ำใต้ดิน					
λ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
6. การไหลในลำน้ำ					
ความเร็วน้ำ (km/day)	50	50	50	50	50

รูปที่ 4.5-14 แสดงการเปรียบเทียบชุดข้อมูลตามเวลาของข้อมูลจากการวัดและจากการคำนวณจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อย 38 สถานี สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ในภาพรวมผลจากแบบจำลองสอดคล้องกับผลจากการวัดแต่แบบจำลองจะให้ค่าอัตราการไหลสูง สูงกว่าค่าจากการวัดบางครั้ง ซึ่งอาจเกิดจากพฤติกรรมการใช้น้ำในลุ่มน้ำที่ยังไม่ได้นำมาใส่ในแบบจำลอง

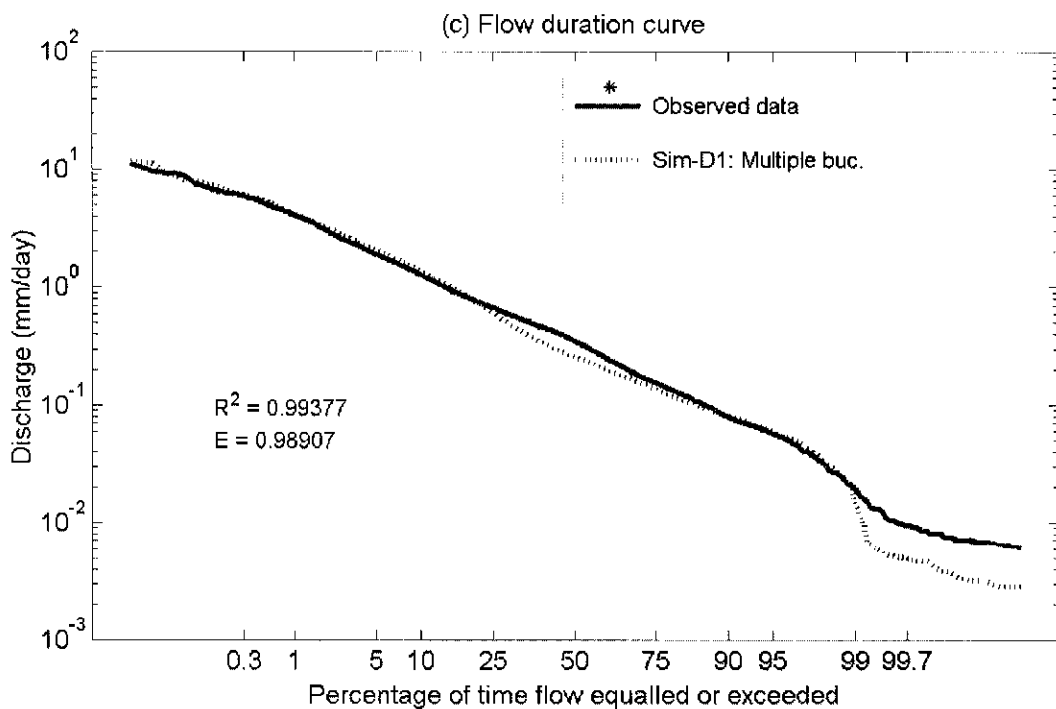
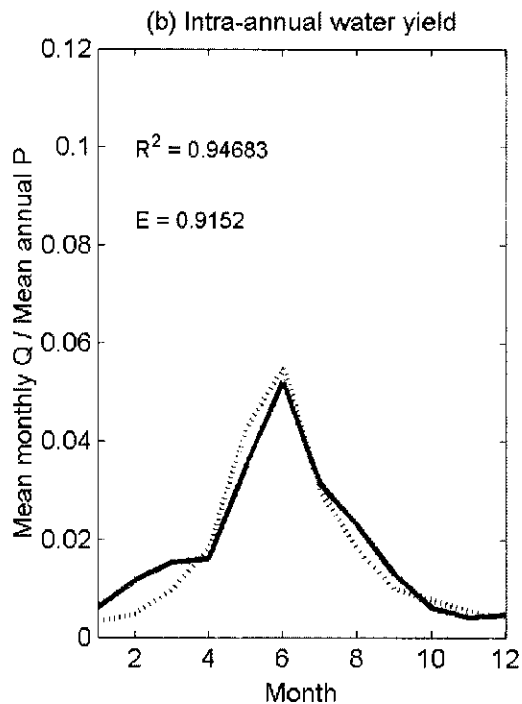
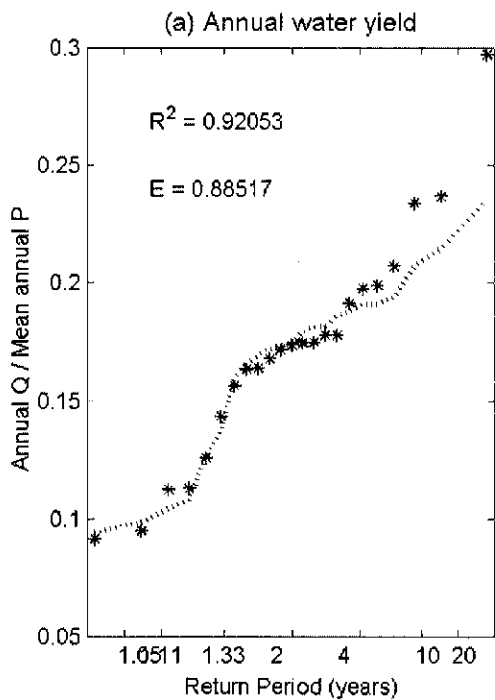
ตารางที่ 4.5-3 แสดงสรุปค่าพารามิเตอร์สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่าและตัวเลขเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยวิธี Coefficient of determination (r^2) และ Nash-Sutcliffe efficient (E) ตัวเลข r^2 และ E สำหรับข้อมูลที่มีจัดอันดับในแบบรายปี รายเดือน รายวัน ได้ค่าที่สูงในทุกลุ่มน้ำย่อย แต่ให้ค่าต่ำลงเมื่อใช้ข้อมูลจากชลภาพ



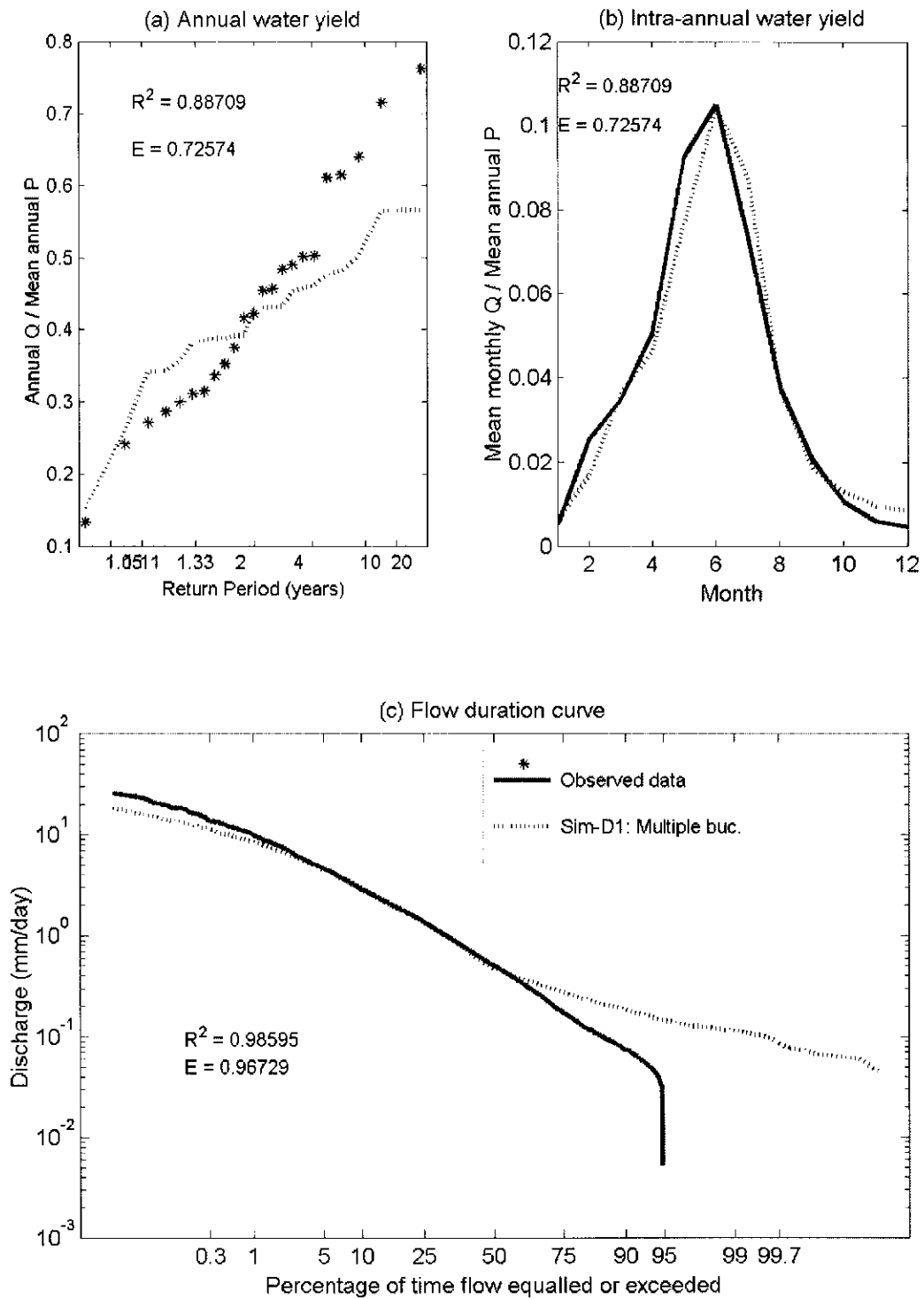
รูปที่ 4.5-9 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 182 สถานีวัดน้ำท่า 060402 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล



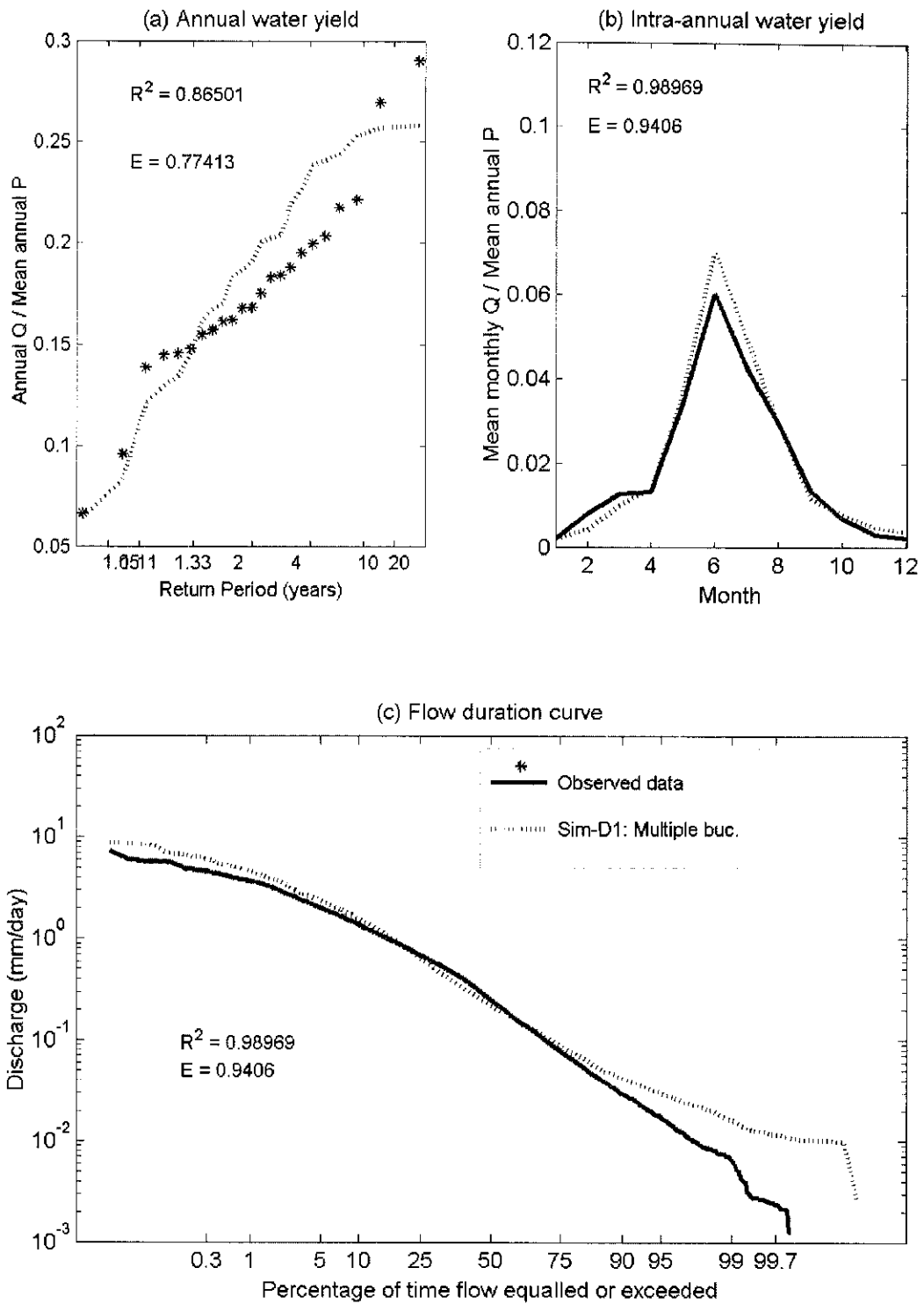
รูปที่ 4.5-10 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมดุลงของน้ำรายวัน
 ลุ่มน้ำย่อยที่ 203 สถานีวัดน้ำท่า P.20 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี
 (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล



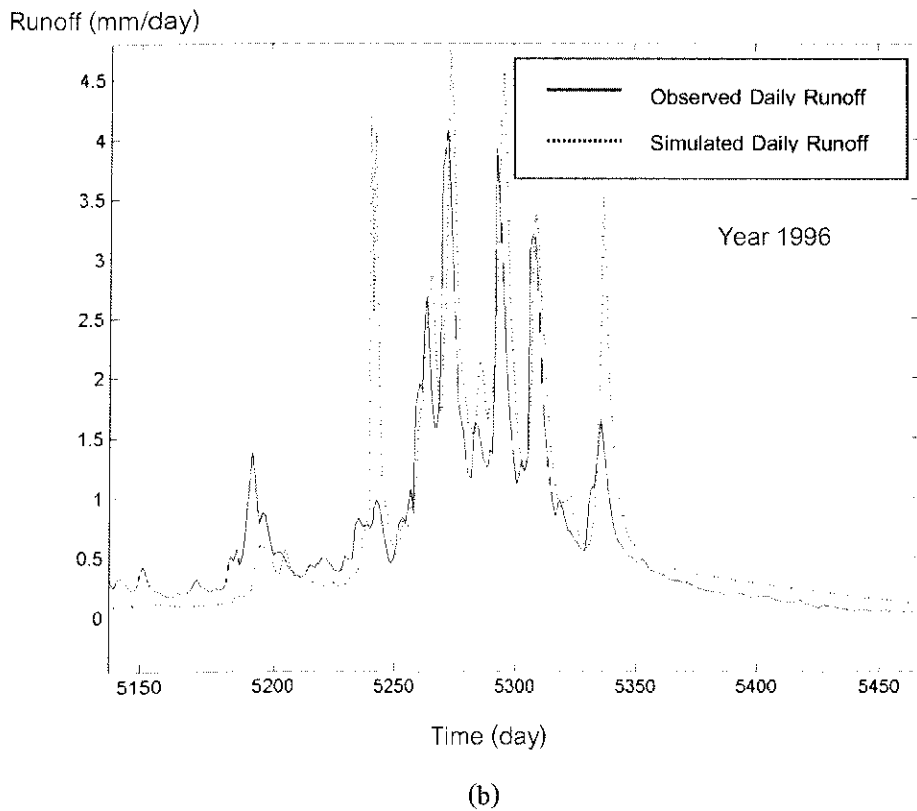
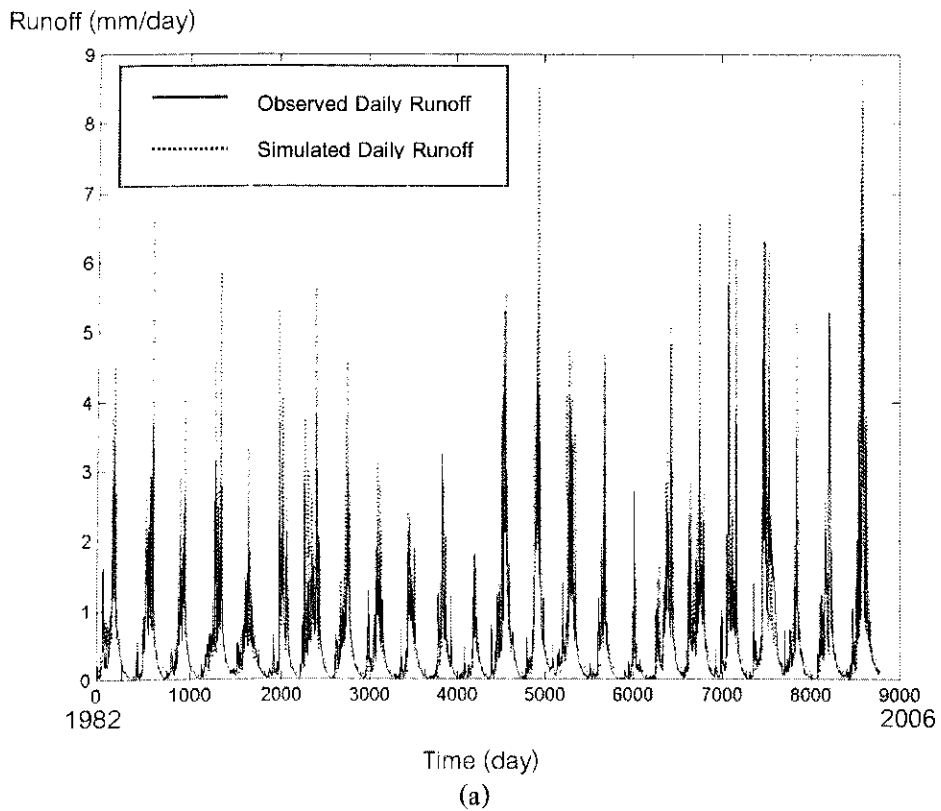
รูปที่ 4.5-11 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมดุขของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 95 สถานีวัดน้ำท่า P.1 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล



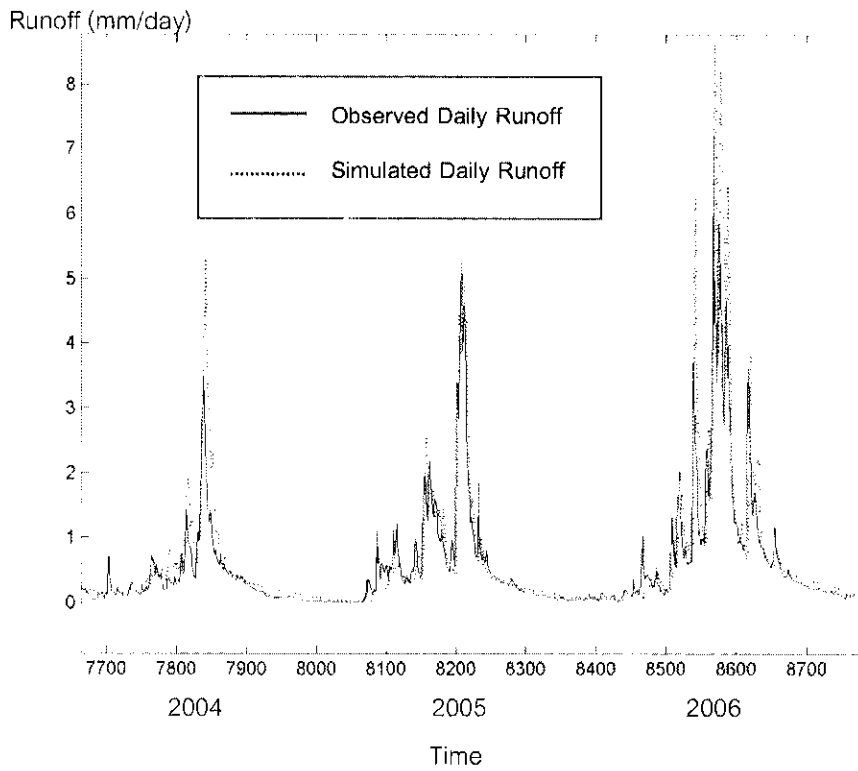
รูปที่ 4.5-12 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน
 ลุ่มน้ำย่อยที่ 12 สถานีวัดน้ำท่า 061501 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของ
 การให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล



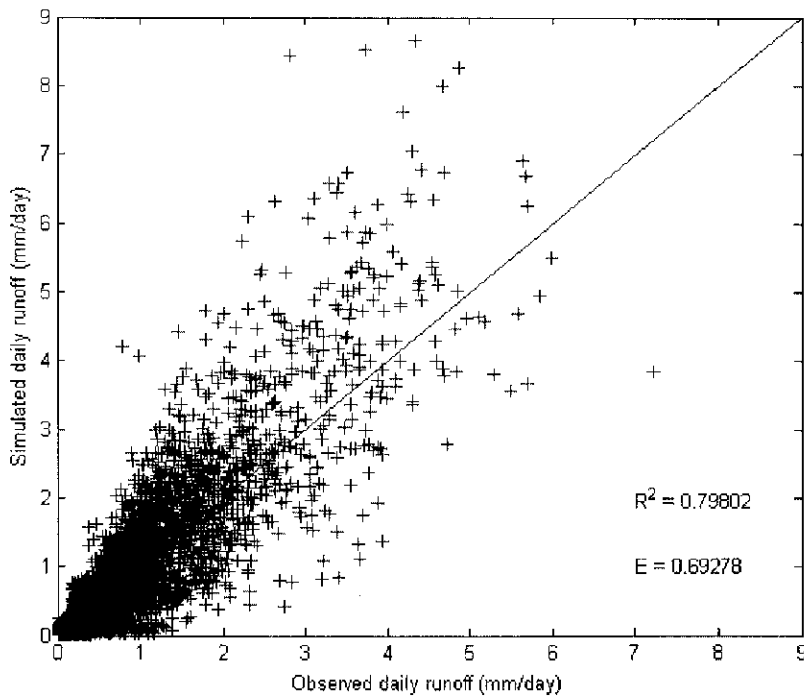
รูปที่ 4.5-13 การเปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน
 ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่ารายปี (b) การแปรได้ของการ
 ให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟช่วงเวลา-อัตราการไหล



รูปที่ 4.5-14 เปรียบเทียบข้อมูลตามเวลาจากการวัดและการคำนวณจากแบบจำลองสมดุ
 ของน้ำรายวัน ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) ช่วงเวลา 24 ปี (b) ช่วงเวลาปี ค.ศ.1996
 (c) ช่วงเวลาปี ค.ศ.2003-2005 (d) ข้อมูลน้ำท่ารายวัน 24 ปี



(c)



(d)

รูปที่ 4.5-14 (ต่อ) เปรียบเทียบข้อมูลตามเวลาจากการวัดและการคำนวณจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน กลุ่มน้ำย่อยที่ 38 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) ช่วงเวลา 24 ปี (b) ช่วงเวลาปี ค.ศ.1996 (c) ช่วงเวลาปี ค.ศ.2003-2005 (d) ข้อมูลน้ำท่ารายวัน 24 ปี

ตารางที่ 4.5-3 สรุป การประมาณค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่า และผลตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

Item	Site number	Site name	Subcatchment number	พารามิเตอร์					รายปี		รายเดือน		รายวัน		ชลภาพ	
				kv	a	tc	Sb	ratio Nonlinear	R ²	E	R ²	E	R ²	E	R ²	E
1	P.1	สะพานนาอี อ.เมือง	95	0.55	20	500	1.0	0.5	0.92	0.88	0.95	0.92	0.99	0.99	0.72	0.65
2	P.14	บึงออบหลวง อ.สออด	46	0.7	100	500	1.0	0.5	0.80	0.66	0.81	0.89	0.99	0.99	0.42	0.24
3	P.19A	บ้านท่าศาลา อ.จอมทอง	89	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
4	P.20	บ้านเชียงลาว อ.เชียงดาว	203	0.68	20	500	1.0	0.5	0.88	0.74	0.99	0.97	0.99	0.96	0.53	0.32
5	P.21	บ้านเมธิมใต้ อ.เมธิม	166	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
6	P.24A	สะพานประชาอุทิศ อ.จอมทอง	82	0.3	100	500	0.5	0.5	0.95	0.84	0.97	0.95	0.99	0.97	0.55	0.53
7	P.42	บ้านแม่บ้านใหม่	113	0.75	20	500	0.5	0.5	0.92	0.92	0.91	0.75	0.98	0.98	0.19	0.06
8	PE.2	บ้านกองหิน อ.สออด	38	0.7	20	500	1.0	0.5	0.86	0.77	0.99	0.94	0.99	0.94	0.80	0.69
9	060201	น้ำแม่เมะที่บ้านแม่เมะ	201	0.45	20	500	0.8	0.2	0.97	0.66	0.92	0.64	0.95	0.86	0.2	-0.13
10	060202	น้ำแม่ป๋ามที่ได้สบห้วยแม่มาศ	204	0.7	20	500	1.0	0.5	0.92	0.89	0.99	0.90	0.95	0.94	0.34	0.21
11	060301	น้ำแม่จืดที่บ้านดินธาตุ	220	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
12	060402	ห้วยบ้านที่บ้านยางห้วยบ้าน	182	0.88	100	500	1.5	0.1	0.94	0.92	0.92	0.21	0.93	0.90	0.25	0.15
13	060403	ห้วยแม่พยอมที่ได้บ้านแม่พยอม	179	0.6	100	1000	2.0	0.5	0.94	0.78	0.95	-0.34	0.92	0.80	0.3	-0.16
14	060404	น้ำแม่ลองที่เหนือสาบห้วยไถ่น	183	0.65	20	500	1.0	0.1	0.97	0.93	0.91	0.83	0.96	0.95	0.31	0.25
15	060405	ห้วยท่าเออะที่เหนือสบห้วยท่า	185	0.6	300	2000	2.0	0.9	0.94	0.91	0.87	-1.46	0.92	0.82	0.18	-0.34
16	060406	น้ำแม่แดงที่เหนือบ้านสันป่าสัก	184	0.55	200	500	1.0	0.5	0.89	0.80	0.74	0.66	0.96	0.93	0.52	0.51
17	060603	น้ำเมธิมที่บ้านกาดสาว	171	0.5	200	1000	1.0	0.9	0.72	0.55	0.83	0.77	0.97	0.97	0.27	0.13

ตารางที่ 4.5-3 สรุป การประมาณค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่า และผลตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (ต่อ)

Item	Site number	Site name	Subcatchment number	พารามิเตอร์					รายปี		รายเดือน		รายวัน		ชดภาพ	
				kv	a	tc	Sb	ratio Nonlinear	R ²	E	R ²	E	R ²	E	R ²	E
18	060701	น้ำแม่หวานที่บ้านแม่หวาน	160	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
19	060702	ห้วยแม่ดอนที่ตำบลป่าเมี่ยงแม่หวานปางกลาง	161	0.18	20	500	1.0	0.5	0.93	0.34	0.93	0.34	0.96	0.95	0.38	0.21
20	060703	น้ำแม่ลายที่ตำบลป่าเมี่ยงปางนอก	157	0.2	200	1000	1.0	0.9	0.82	0.72	0.99	0.89	0.94	0.92	0.38	0.19
21	060704	ห้วยมะเกลือที่ตำบลป่าเมี่ยงปางปง	163	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
22	060804	น้ำแม่สะป๊อกที่บ้านแม่สะป๊อกเหนือ	130	1.0	100	500	1.0	0.5	0.95	0.89	0.96	0.41	0.92	0.89	0.3	0.1
23	060805	น้ำแม่ป่าอยู่ที่เหนือบ้านห้วยโปง	129	0.82	200	500	1.2	0.5	0.95	0.95	0.93	0.41	0.97	0.96	0.28	0.07
24	060806	น้ำแม่ขานที่เหนือสบแม่เสมิง	122	0.8	100	500	1.5	0.5	0.82	0.51	0.85	0.75	0.99	0.97	0.14	-0.34
25	060807	น้ำแม่วางที่บ้านสวนวิน	127	0.82	100	500	1.0	0.5	0.86	0.83	0.93	0.54	0.94	0.92	0.39	0.26
26	060808	น้ำแม่ขานที่บ้านเปียง	118	0.8	100	500	2.0	0.5	0.76	0.25	0.78	0.76	0.94	0.89	0.21	0.14
27	061001	น้ำแม่กลางที่บ้านสามหาด	86	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
28	061002	น้ำแม่ยะที่บ้านหัวเสือ	84	0.3	100	500	0.7	0.5	0.90	0.89	0.91	0.83	0.80	0.78	0.28	-0.01
29	061003	ห้วยแม่เตี้ยที่บ้านขางแม่เตี้ย	80	0.32	50	500	1.0	0.5	0.87	0.85	0.96	0.93	0.98	0.98	0.36	0.21
30	061005	ห้วยแม่เตี้ยที่เหนือสามแม่เตี้ย	81	0.25	20	500	0.8	0.5	0.91	0.60	0.94	0.91	0.99	0.99	0.16	-0.23
31	061101	น้ำแม่ก้อที่บ้านก้อทุ่ง	29	-	-	-	-	-	Error in observed runoff							
32	061201	น้ำแม่ก้อมที่บ้านหัวฝั่ง	68	1.0	200	500	2.0	0.5	0.63	-1.87	0.40	0.20	0.99	0.96	0.11	-0.5
33	061302	น้ำแม่แจ่มที่บ้านกองถ่าน	61	0.8	100	500	1.0	0.5	0.72	0.64	0.79	0.64	0.97	0.91	0.26	-0.11
34	061501	น้ำแม่ดินที่บ้านป่าลา	12	0.4	20	500	0.5	0.5	0.89	0.73	0.89	0.72	0.99	0.97	0.41	0.37

4.6 ผลการพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำรายชั่วโมง

การทำนายเหตุการณ์น้ำท่วมขั้นวิกฤต (extreme flood) แบบจำลองที่มีช่วงเวลาทำงานเป็นรายวันอาจจะไม่เพียงพอที่จะประมาณค่าอัตราการไหลสูงสุดได้อย่างแม่นยำตามความต้องการของการนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่อไป ด้วยเหตุผลนี้จึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแบบจำลองให้เป็นแบบจำลองรายชั่วโมง

แบบจำลองรายวันไม่ได้สนใจกระบวนการหน่วงเวลาในโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone) โดยสมมติว่าปริมาณน้ำฝนที่ซึมลึกลงมาถึงโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ (perched water table) โดยตรงภายในช่วงเวลาทำงานหนึ่งช่วงคือหนึ่งวัน สมมุติฐานนี้อาจเหมาะสมสำหรับแบบจำลองรายวัน แต่ไม่สมเหตุผลเมื่อนำมาใช้กับช่วงเวลาทำงานรายชั่วโมง ดังนั้นการปรับปรุงแบบจำลองโดยนำกลไกการหน่วงเวลา (delay mechanism) ในโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ สำหรับการทำนายรายชั่วโมงจึงมีความจำเป็น

กลไกการหน่วงเวลานี้ทำได้ง่ายโดย พิจารณาให้โซนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นโซนความจุความชื้นแยกออกต่างหาก โซนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำรับน้ำที่ซึมลงมาจากน้ำฝน และปล่อยน้ำจำนวนหนึ่งไปยังโซนอิ่มตัวด้วยน้ำข้างล่าง กระบวนการซึมนี้ (percolation) ถูกควบคุมโดยค่าการนำทางชลศาสตร์ที่ภาวะไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity, k_u) ของดิน ซึ่งจะขึ้นฟังก์ชันของปริมาณความชื้นในดิน พารามิเตอร์ของกระบวนการหน่วงเวลาคือ ค่าการนำทางชลศาสตร์อิ่มตัว ความลึกของดินและพารามิเตอร์อื่น ๆ ของดิน

จากสมการสมดุลของน้ำรายวันสำหรับถึงความจุเดี่ยว สมการ (4-4)

$$\frac{dS(t)}{dt} = i(t) - e_b(t) - e_v(t) - q_{ss}(t) - q_{se}(t) \quad (4-15)$$

ซึ่ง $S(t)$ คือ ปริมาตรของความจุของน้ำในดิน $i(t)$ คือความเข้มฝน $e_b(t)$ การระเหยจากดินที่ไม่มีอะไรปกคลุม $e_o(t)$ คือการคายระเหย $q_{se}(t)$ คืออัตราการไหลออกจากส่วนเกินการอิ่มตัว $q_{ss}(t)$ คือการไหลออกจากใต้ผิวดิน การนำการหน่วงการไหลในโซนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ S ถูกแยกเป็น 2 ความจุ คือ ความจุที่อิ่มตัวด้วยน้ำ S_u และความจุที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ S_v สมการสมดุลของน้ำสำหรับ S_u และ S_v มีดังนี้

$$\frac{dS_u(t)}{dt} = i(t) - e_b(t) - e_{v1}(t) - q_i(t) - q_{se}(t) \quad (4-16)$$

$$\frac{dS_v(t)}{dt} = q_i(t) - e_{v2}(t) - q_{ss}(t) \quad (4-17)$$

ซึ่ง $q_i(t)$ คือ การไหลออกจาก S_u และไหลเข้า S_s ในกรณีนี้แบบจำลองทำงานระหว่างหรือทันทีหลังจากเกิดพายุฝน ดังนั้น e_{v1} และ e_{v2} จึงถูกกำหนดให้มีค่ารวมกัน $e_{v1} + e_{v2}$ เท่ากับการคายระเหยตามศักยภาพ $k_s Me_p$

เมื่อโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำไม่สามารถเกิดการคายระเหยที่อัตราเต็มตามศักยภาพได้ น้ำจะถูกดึงเพื่อการระเหยจากความจุ่มตัวด้วยน้ำ ความจุของการกักเก็บที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ S_{ub} เป็นส่วนหนึ่งของความจุทั้งหมด S_b อธิบายได้ดังนี้

$$S_{ub} = S_b + S_s \quad (4-18)$$

การไหลภายใน q_i สามารถแสดงเป็นฟังก์ชันของค่าการนำทางชลศาสตร์ k_h และค่า hydraulic gradient และ k_h สามารถประมาณให้เป็นฟังก์ชันของค่าการนำทางชลศาสตร์ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ k_{hsat} และขนาดของการอิ่มตัว S , $S = S_u/S_{ub}$

$$q_i = k_h \left(1 + \frac{i\Delta t}{S_{ub}} \right) \quad (4-19)$$

$$k_h = k_{hsat} S^c \quad (4-20)$$

$$c = 2b + 3 \quad (4-21)$$

ซึ่ง Δt เป็นขั้นของเวลา = 0.5h คล้ายกับสมการ Green-Ampt เทอมทางขวาของสมการที่ (4-19) หมายถึงองค์ประกอบตามแรงโน้มถ่วงของโลก และเทอมที่สองหมายถึงองค์ประกอบ capillary กำหนดลักษณะดินในกลุ่มน้ำปึงตอนบนเป็น Sandy loam จึงใช้ค่า $b = 4.9$ (Clapp and Hornherger, 1978) และ $k_{hsat} = 3.47 \times 10^{-3}$ cm/s หรือ 125 mm/h

4.7 ผลการพัฒนาแบบจำลองการหลากในลำน้ำที่เป็น Compound Channel

4.7.1 แบบจำลองการหลากในลำน้ำ

การจำลองการหลากที่ใช้ในการศึกษานี้ไม่ได้ใช้วิธีการหรือสมการที่เคยใช้ทั่วไป เช่น St.Venant equation แต่ใช้หลักการที่แต่ละช่วงของลำน้ำในโครงข่ายลำน้ำมีลักษณะเป็น non-linear reservoir ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ RORB model (Laurenson 1988) การไหลของน้ำในแต่ละช่วงลำน้ำถูกจำลองโดยแก้สมการสมดุลของน้ำ $\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t)$ ร่วมกับ ความสัมพันธ์แบบ non-linear storage (S) เปลี่ยนเป็น discharge (Q) ซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชันยกกำลัง

$$S = kQ^m \quad (4-22)$$

ซึ่ง k, m เป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลอง $I(t)$ คือ ชลภาพที่ไหลเข้า ซึ่งมาจากผลรวมของการไหลเข้าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยข้างเคียง และจากด้านเหนือน้ำของช่วงลำน้ำนั้น k และ m ต้องประมาณจากแต่ละช่วงลำน้ำตลอดทั้งเครือข่ายลำน้ำ ทำให้รวมผลความแตกต่างของคุณลักษณะเครือข่ายลำน้ำด้านท้ายน้ำ เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำที่มากขึ้น ลำน้ำที่ลึกและกว้างขึ้น

เพื่อให้ความหมายทางกายภาพกับพารามิเตอร์ k และ m ความสัมพันธ์ระหว่าง storage และ discharge โดยมีค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในลำน้ำ ดังนี้ $Q = AV$ และ $S = AL$ ซึ่ง A คือ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ, L คือ ความยาวลำน้ำช่วงนั้น และ V คือ ความเร็วของน้ำ ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$S = LA = \frac{L}{V}Q \quad (4-23)$$

ถ้า V เป็นค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับ Q จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความจุ-การไหลเป็นแบบเชิงเส้นด้วย $k = \frac{L}{V}$ และ $m = 1$ อีกด้านหนึ่ง V เปลี่ยนตามอัตราการไหล ดังนั้นจึงเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้น k และ m ขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของ V เทียบกับ Q

ตัวอย่าง สมมุติใช้ Chezy equation ประมาณความเร็วการไหลในลำน้ำกว้าง w มีค่า Chezy Coefficient C , Manabde and Sivapalan (2001) แสดงว่า

$$k = C^{-3/5} S_0^{-1/5} w^{1/5} L \text{ และ } m = 2/3 \quad (4-24a)$$

ซึ่ง S_0 เป็นความลาดชันของลำน้ำ ในอีกด้านหนึ่งอยู่ในรูปของ Manning's coefficient แสดงได้ว่า

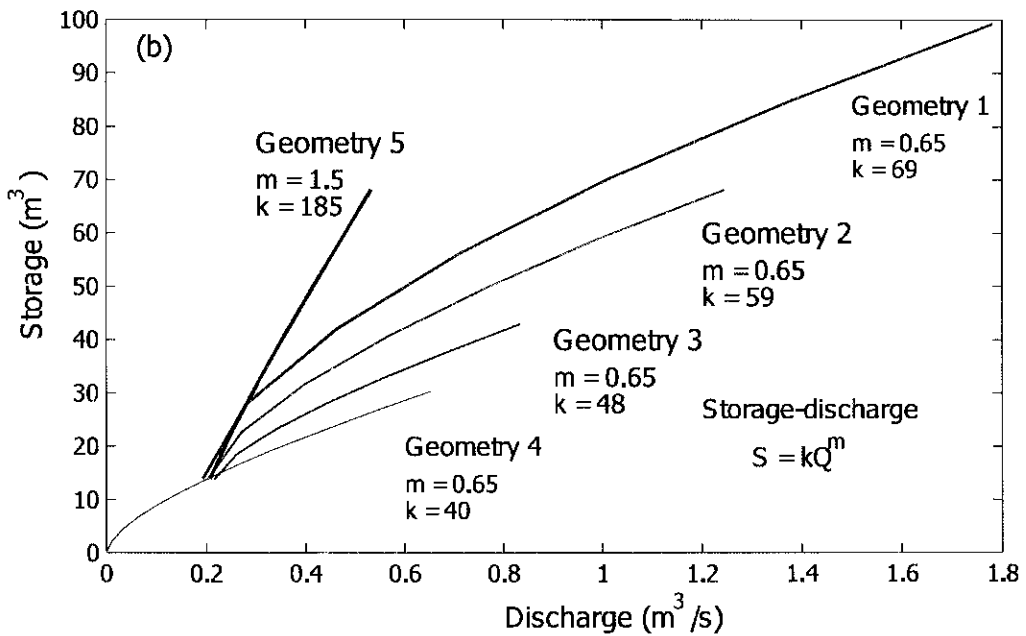
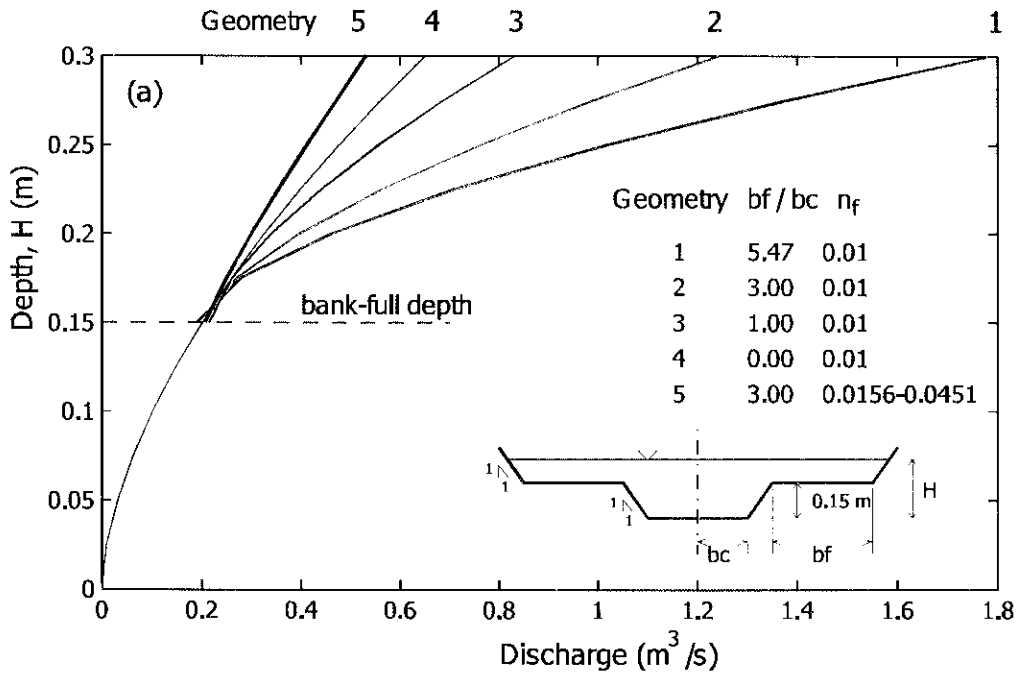
$$k = n^{3/5} S_0^{-3/10} w^{1/5} L \text{ และ } m = 3/5 \quad (4-24b)$$

เมื่อการไหลยังจำกัดอยู่ในทางน้ำหลัก (main channel) ของแม่น้ำ ค่าเลขยกกำลังต่างๆ มีค่าประมาณที่คงที่ ตามสมการข้างบน และความเร็วเพิ่มเมื่ออัตราการไหลเพิ่ม แต่เมื่อเกิดการไหลล้นตลิ่ง ทำให้เกิดการชะลอกการไหล ความเร็วมีแนวโน้มลดลง อาจคงที่ขณะที่มีอัตราการไหลมากขึ้นเลยระดับที่กำหนด (Bates and Pilgrim, 1983; Wong and Laurenson, 1983) ผลนี้ทำให้

ความสัมพันธ์ระหว่าง storage-discharge เป็นแบบเชิงเส้นตามสมการที่ (4-23) มีค่า $m = 1$ เมื่อเกิดการไหลสั้นตลิ่ง ค่า m มีค่าระหว่าง 0.6 - 1 ดังนั้นการเปลี่ยนจากสภาพน้ำท่วมปกติไปสู่ น้ำท่วมวิกฤต (extreme flood) มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหล และเปลี่ยนค่า k และ m

ตัวอย่างการประมาณค่า k และ m ในช่วงเปลี่ยนจากไหลในลำน้ำ (in-bank) เป็นไหลสั้นตลิ่ง (over-bank) จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดย Wormleaton and Merrett (1990) การจัดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7-1(a) การทดลองได้ใช้รูปร่าง รูปตัดลำน้ำที่เป็น compound channel หลายแบบ และมีความขรุขระของผิวที่ต่างกันทั้งในทางน้ำหลักและ flood plain รูปที่ 4.7-1(a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ (H) และอัตราการไหลจากการวัด (Q) การทดลองทั้งหมดใช้ค่า Manning coefficient สำหรับทางน้ำหลักคงที่ $n_m = 0.01$ สำหรับ flood plain ค่า n_f เปลี่ยนแปลงเริ่มต้นด้วย $n_f = n_m$ การเพิ่มขนาด flood plain ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น เมื่อ $n_f > n_m$ เป็นผลให้อัตราการไหลโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อ $n_f = n_m$ ที่น่าสนใจคือ มีค่าน้อยกว่ามีการไหลในทางน้ำหลักเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าผลจาก flood plain ทำให้เกิดการชะลออัตราการไหลรวม ดังนั้นการชะลอการไหลต้องนำมาพิจารณาในการประมาณค่า extreme flood ซึ่งพบว่า มีผลที่มียสำคัญ

รูปที่ 4.7-1(a) นำพื้นที่หน้าตัดการไหลที่สัมพันธ์กับความลึก สำหรับรูปร่างหน้าตัดต่างๆ สร้างกราฟความสัมพันธ์ storage-discharge แสดงในรูปที่ 4.7-1(b) ค่า k และ m ขึ้นกับรูปร่างของหน้าตัดลำน้ำ และความขรุขระของ flood plain เมื่อ $n_f = n_m$ ค่า m ของรูปร่าง 1 - 4 มีค่าเท่ากัน ค่า k เพิ่มขึ้นเมื่อ flood plain มีความกว้างมากขึ้น เมื่อ $n_f > n_m$ ทั้งค่า k และ m มีค่ามากขึ้นเมื่อเปลี่ยนจากการไหลในทางน้ำหลักเป็นการไหลใน flood plain เป็นส่วนใหญ่แทน



รูปที่ 4.7-1 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดย Wormleaton and Merrett (1990)

(a) กราฟระดับน้ำ-อัตราการไหลสำหรับรูปร่างหน้าตัด 5 แบบ (b) การประมาณกราฟความจุ-อัตราการไหลและค่า k และ m โดย n_m และ n_f คือค่าสัมประสิทธิ์ n สำหรับทางน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วม

4.7.2 การประมาณค่า k และ m สำหรับลุ่มน้ำที่ศึกษา

การใช้กราฟระดับน้ำ-อัตราการไหล (Rating Curves) ที่ได้จากการวัดในสนาม ร่วมกับข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดการไหลและความลึกของรูปตัดลำน้ำแบบต่างๆ และความยาวลำน้ำแต่ละช่วง

Rating Curves ส่วนใหญ่ไม่มีข้อมูลในช่วงการไหลสั้นตลิ่ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นทุก 2-3 ปี และไม่มีการบันทึกข้อมูล เหตุการณ์ extreme flood ซึ่งนอกจากโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมากแล้ว การวัดยังทำได้ยาก ดังนั้นการประมาณค่า rating curves เกินจากข้อมูลจากการวัดทำได้โดยต้องใช้ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข การศึกษานี้เราใช้วิธีอย่างง่าย โดยแบ่ง compound channel เป็น main channel และ flood plain อัตราการไหลทั้ง 2 ส่วน คำนวณแยกกัน กรณีการไหลในทางน้ำหลัก กราฟความจุ-อัตราการไหลจากข้อมูลการวัดนำมาใช้ได้โดยตรง กรณีของ flood plain ประมาณค่า Chezy coefficient โดยวิธีของ Tamai (1992a,b) ซึ่งได้นำผลของพืชพรรณและความขรุขระบน flood plain เข้าพิจารณาด้วย อัตราการไหลทั้ง 2 ส่วน นำมารวมกันเป็นอัตราการไหลรวม โดยคำนึงถึงผลการชะลอน้ำของอัตราการไหลจากการไหลบน flood plain ต่อการไหลในทางน้ำหลัก

1) ความต้านทานการไหลใน flood plain

เพื่อทำนายสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ห่างไกล ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของรัฐ Western Australia ประเทศ Australia Tamai (1992a,b) เสนอวิธีการวิเคราะห์เป็นการประมาณค่าความต้านทานการไหลเนื่องจากการไหลสั้นตลิ่งในสภาพปั่นป่วน (turbulent) ความต้านทานการไหลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ความต้านทานที่ผิว (แรงเสียดทาน) และ (2) form drag การมีพืชพรรณยืนต้นใน flood plain ทำให้เกิด form drag ใน 2 ลักษณะ (i) การไหลผ่านต้นไม้ที่จมน้ำ เช่น ตัวลำต้น (ii) drag จากการสลายพลังงานโดย coherent eddy patches เกิดรอบทรงพุ่มของต้นไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่ม มองจาก form drag ที่เพิ่มขึ้น ความต้านทานการไหลบน flood plain ที่เป็นพื้นที่ดินโล่ง หรือมีพืชพรรณพุ่มเตี้ย เช่น หญ้า สมมุติให้ความต้านทานการไหลเหมือนกับการไหลในทางน้ำหลัก สมการความต้านทานที่ใช้ทั่วไป เช่น Chezy หรือ Manning นำมาใช้ประมาณค่าความต้านทานเนื่องจาก surface drag เมื่อประมาณค่า C และ n เนื่องจาก surface drag ได้แล้ว ข้อมูลรูปร่างของไม้ยืนต้นและรูปร่างทรงพุ่มที่มีอยู่ใน flood plain นำมาประมาณ C ที่เทียบเท่ากัน สำหรับการไหลสั้นตลิ่ง รายละเอียดของการได้มาของสมการการประมาณค่า C แสดงในภาคผนวก B หัวข้อแรงต้านทานการไหลสำหรับการไหลสั้นตลิ่งมิติเดียวของ Jothityangkoon and Sivapalan (2003) มีสาระสำคัญดังนี้

ก) การคำนวณหา form drag ทางทฤษฎี

การประมาณค่า Chezy coefficient และหาความเร็วการไหลเฉลี่ยขณะเกิดการไหลสั้นตลิ่งในที่ราบน้ำท่วม (floodplain) โดยแบ่งที่ราบน้ำท่วมออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีต้นไม้ และส่วนที่ไม่มีต้นไม้ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลบริเวณที่มีต้นไม้ คือ U_{fo1} บริเวณที่ไม่มีต้นไม้คือ U_{fo2} ถูกประมาณแยกกันก่อนจะนำมารวมกันหาความเร็วเฉลี่ยทั้งพื้นที่ราบน้ำท่วม U_{fo} โดยใช้สัดส่วนของพื้นที่ต้นไม้ในพื้นที่ราบน้ำท่วม β_s เป็นพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ผิวดินสำหรับประมาณค่า U_{fo1} สมมุติให้มีค่าเท่ากับในลำน้ำหลัก (main channel)

การประมาณค่า U_{fo1} Tamai (1992a,b) สมมุติว่าการกระจายของต้นไม้ในที่ราบน้ำท่วมสามารถประมาณได้จากการจำลองกลุ่มของแท่งทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง d แรง form drag ที่เกิดจากแท่งทรงกระบอกเดี่ยว F_{D1} มีค่าดังนี้

$$F_{D1} = C_D D_f d \frac{\rho}{2} U_{fo1}^2 \quad (4-25)$$

โดยที่ C_D คือ drag coefficient, D_f คือ ความลึกของน้ำบนที่ราบน้ำท่วม, ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ และ U_{fo1} คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำบริเวณมีต้นไม้

การหาค่า form drag ที่เกิดจาก coherent eddy patches ความเร็วตามแนวยาวใน patches ที่เกิดขึ้นรอบต้นไม้จะสมมุติให้มีค่าเป็นศูนย์ สมมุติ steady state, จำนวนเฉลี่ยของ coherent eddy patches คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและอัตราการเกิดหรือสลายตัวของ patches มีค่าเท่ากับ form drag ที่เกิดจาก macro-scale turbulence (F_{D2}) อธิบายได้ดังนี้

$$F_{D2} = \rho \pi a^2 D_f \frac{U_{fo1}}{T} \quad (4-26)$$

โดย a คือ ตัวแทนรัศมีของ coherent eddy patch สมมุติให้มีค่าเท่ากับรัศมีทรงพุ่มของต้นไม้ และ T คือ ตัวแทนช่วงเวลาของการเกิด coherent eddy patches ซึ่งเรียกว่า macro-scale bursts และ boils ที่เกิดขึ้นที่ด้านหลังของทรงพุ่มของต้นไม้

โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง bed shear stress และ Chezy Formula ค่า surface drag ที่เกิดจาก surface roughness สามารถคำนวณได้จากองค์ประกอบตามแนวยาวของ bed shear stress (τ_{bx}) และ effective flow area

$$F_{SD} = \tau_{bx} A' LW \quad (4-27)$$

$$F_{SD} = A' LW \rho g U_{fo1}^2 / C_m^2 \quad (4-28)$$

เมื่อ A' คือ effective flow area, L คือ longitudinal interval ของต้นไม้, W คือ traverse interval ของต้นไม้, g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, C_m คือ common Chezy coefficient ของลำน้ำหลักและในที่ราบน้ำท่วมโดยมีค่าเชื่อมต่อกับค่า Manning coefficient (n_m)

สำหรับค่าแรงขับที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดจากมวลของน้ำ F_G สามารถหาได้จากสมการ (4-29) และ (4-30) ดังนี้

$$F_G = (\rho A' L W D_f) g S_0 \quad (4-29)$$

$$A' = 1 - 2al_b / W \quad (4-30)$$

เมื่อ S_0 เป็น longitudinal hydraulic gradient ของพื้นที่ราบน้ำท่วม และ l_b คือ อัตราส่วนของพุ่มไม้ที่ขวางทางน้ำ

โดยการใช้สมการ linear momentum ในทิศการไหล แรงโน้มถ่วงของโลกจากมวลของน้ำ (F_G) สมดุลกับแรงเสียดทานรวมจาก actual form drag ที่เกิดจากลำต้นของต้นไม้ (F_{D1}) และ form drag ที่เกิดจาก macro-scale turbulence (F_{D2}) และเกิดจาก surface roughness (F_{SD})

$$F_G - (F_{D1} + F_{D2} + F_{SD}) = 0 \quad (4-31)$$

แทนค่าสมการ (4-25), (4-26), (4-28), (4-29) ใน (4-31) และหารด้วย $\rho g A' L W$ ได้

$$D_f S_0 - \frac{C_D}{2g} \frac{D_f d}{A' L W} U_{foi}^2 - \frac{\pi a^2}{A' L W} \frac{D_f U_{foi}}{g T} - \frac{U_{foi}^2}{C_m} = 0 \quad (4-32)$$

เนื่องจากไม่มีความรู้คุณสมบัติของ macro-scale brusts ด้านหลังของต้นไม้ จากงานศึกษาของ Tamai ได้นำความรู้ที่มีอยู่เกี่ยวกับ micro-scale และ (intermediate) meso-scale brusts มาประมาณค่า T โดยกำหนดให้ T_B เป็นตัวแทนช่วงเวลาในการเกิด micro-scale brusts จากการทดลองในทางน้ำเปิดพบว่าอัตราส่วน $T_B U_{max} / D_f$ หรือ α_p มีค่าประมาณ 1.5-3 เมื่อให้ U_{max} คือ ค่าความเร็วสูงสุดที่ผิวน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่าง T และ T_B ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด Tamai ได้สมมุติว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองเป็นแบบเชิงเส้น $T = \alpha_B T_B$ จึงได้ผลว่า

$$T = \frac{\alpha_B \alpha_P D_f}{\alpha_S U_{foi}} \quad (4-33)$$

ซึ่ง

$$\alpha_S = U_{\max} / U_{foi} \quad (4-34)$$

และ

$$\alpha_B = T / T_B \quad (4-35)$$

เมื่อนำสมการ (4-33) แทนลงในสมการ (4-32) จะได้ว่า

$$D_f S_0 - \frac{U_{foi}^2}{C_m^2} \left[C_D \beta_t \frac{C_m^2}{2g} + \beta_b \frac{\alpha_S}{\alpha_P \alpha_B} \frac{C_m^2}{g} + 1 \right] = 0 \quad (4-36)$$

ซึ่ง

$$\beta_t = \frac{D_f d}{A' LW} \quad (4-37)$$

$$\beta_b = \frac{\pi \alpha^2}{A' LW} \quad (4-38)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการ (4-36) จะได้ความเร็วเฉลี่ยของ uniform flow ในบริเวณต้นไม้ของพื้นที่ราบน้ำท่วมดังนี้

$$U_{foi} = \frac{C_m \sqrt{D_f S_0}}{\sqrt{1 + K_1 + K_2}} = C_{ff} \sqrt{D_f S_0} \quad (4-39)$$

ซึ่ง

$$K_1 = (C_m^2 / 2g) C_D \beta_t \quad (4-40)$$

$$K_2 = (C_m^2 / g) (\beta_b \alpha_S / \alpha_P \alpha_B) \quad (4-41)$$

เมื่อ C_{ff} คือ equivalent Chezy coefficient สำหรับการไหลแบบสั้นตลิ่งในบริเวณต้นไม้, K_1 คือ อัตราส่วนของ form drag ที่เกิดจากลำต้นไม้กับ surface drag และ K_2 คือ อัตราส่วนของ form drag ที่เกิดจาก coherent eddy patches กับ surface drag

ความเร็วการไหลเฉลี่ยสำหรับการไหลสั้นตลิ่งทั้งหมด (U_{fo}) เกิดจากการรวมกันของความเร็วเฉลี่ยในพื้นที่ไม่มีต้นไม้อัน (U_{fof}) และความเร็วเฉลี่ยในพื้นที่มีต้นไม้อัน (U_{foi}) ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนของพื้นที่มีต้นไม้อันต่อพื้นที่ทั้งหมดที่ตั้งฉากกับการไหลสั้นตลิ่งในที่ราบน้ำท่วม (β_S)

$$U_{fo} = (1 - \beta_S)U_{fof} + \beta_S U_{foi} \quad (4-42)$$

แทนค่าความเร็วจาก Chezy Formula เดิม คือ $U_{fo} = C_f \sqrt{D_f S_0}$, $U_{fof} = C_m \sqrt{D_f S_0}$ และ U_{foi} ในสมการ (4-39) แทนในสมการ (4-42) โดยสมมติให้ได้ Chezy coefficient สำหรับทั้งหมดของการไหลสั้นตั้ง

$$C_f = C_m \left[(1 - \beta_S) + \frac{\beta_S}{\sqrt{1 + K_1 + K_2}} \right] \quad (4-43)$$

ข) การประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการไหลสั้นตั้ง

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ (4-40) และ (4-41) สำหรับใช้ในสมการ (4-43) ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาของการเกิด burst ของ macro-scale boil (T) อธิบายใน section 1 และ meso-scale bursts (T_M) ในด้านหลังของ ripples และ sand dunes มีความสำคัญหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ความรู้ในปัจจุบันเรื่อง meso-scale bursts แนะนำว่าช่วงเวลาเฉลี่ยจากการวัดของการเกิด burst (vortex) ด้านหลัง ripples (T_M) สามารถเขียนได้

$$T_M = 7.5 \frac{D_f}{U_{foi}} \quad (4-44)$$

อัตราส่วนของช่วงเวลาเฉลี่ยของการเกิดระหว่าง meso-scale และ macro-scale bursts เขียนได้ดังนี้

$$\frac{T_M}{T_B} = \frac{7.5 D_f / U_{foi}}{\alpha_p D_f U_{\max}} = \frac{7.5 \alpha_S}{\alpha_p} \quad (4-45)$$

โดยการใช้ logarithmic velocity profile สำหรับความเร็วการไหลในทางน้ำเปิดในสมการที่ (4-34) α_S สามารถประมาณมีค่า 1.2 ค่าโดยทั่วไปของ α_p คือ 2 (Nakagawa and Nezu, 1981) สมมุติอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลา macro-scale bursts (T) และ meso-scale bursts (T_M) มีค่าคงที่เหมือนกับในสมการ (4-45) ทำให้ได้ $\alpha_B = \left(\frac{7.5 \alpha_S}{\alpha_p} \right)^2$ ได้ผล

$$\frac{\alpha_S}{\alpha_B \alpha_p} = \frac{\alpha_S}{(7.5 \alpha_S / \alpha_p)^2 \alpha_p} = 3.0 \times 10^{-2} \quad (4-46)$$

ค่าทั่วไปของ drag coefficient (C_D) สำหรับบริเวณต้นไม้กำหนดไว้ที่ 1.5 ค่า C_D ที่ได้จากการวัดที่ครั้งหนึ่งของความกว้างของลำน้ำโดยมีการกระจายของแท่งทรงกระบอก ขวางการไหลของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 1-2 แทนค่า C_D และสมการ (4-46) ในสมการ (4-35) และ (4-36) ได้

$$K_1 = 0.75 \beta_f \left(\frac{C_m^2}{g} \right) \quad (4-47)$$

$$K_2 = 3.0 \times 10^{-2} \beta_b \left(\frac{C_m^2}{g} \right) \quad (4-48)$$

แทนค่ากลับในสมการ (4-35) สำหรับประมาณค่า effective Chezy coefficient สำหรับการไหลในที่ราบน้ำท่วม รายละเอียดที่มากกว่านี้สำหรับการประมาณการไหล ล้นตลิ่งสามารถดูได้จาก Tamai (1992a,b) และประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำ Serpentine ใน Deshon (1994)

2) การคำนวณอัตราการไหลรวม

หากสมมุติว่าทั้งการไหลในทางน้ำหลักและในที่ราบน้ำท่วม (flood plain) มีสภาพทางชลศาสตร์เหมือนกัน วิธีปฏิบัติทั่วไปในการคำนวณอัตราการไหลใช้สมการการไหล ในทางน้ำเปิด เช่น Chezy และ Manning รวมการไหลทั้ง 2 ส่วน เป็นอัตราการไหลรวม อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลในทางน้ำหลักและในที่ราบน้ำท่วมใน compound channel Sellin (1994) พบว่าความแตกต่างของความเร็วการไหลระหว่างทางน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วมทำให้เกิดผลของแรงเฉือนและ turbulent eddies พฤติกรรมนี้มีผลต่อทำให้เกิดการส่งผ่าน โมเมนตัมจากของไหลที่เคลื่อนที่ช้ากว่าในที่ราบน้ำท่วม Wormleaton และ Merrett (1990) แสดงให้เห็นว่าการไม่นำปฏิสัมพันธ์ระหว่างทางน้ำและที่ราบน้ำท่วมมาพิจารณา นำไปสู่ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าอัตราการไหลรวม

Radojnovic and Djordjevic (1985) เสนอให้ใช้ ϕ -index แสดงผลของการส่งถ่ายโมเมนตัมระหว่างทางน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วม กำหนดเป็นอัตราส่วนระหว่าง boundary shear force กับ gravitational force ทำให้เกิดการไหลในแต่ละส่วน อัตราส่วนแสดงโดย ϕ_m สำหรับทางน้ำหลักและ ϕ_f สำหรับที่ราบน้ำท่วม Wormleaton and Merrett (1990) ประมาณค่าจากการทดลอง ได้ค่า $\phi_m = 0.8$ และ $\phi_f = 1.3$ Ervine and Baird (1982) เสนอวิธีการรวมผลของการส่งถ่ายโมเมนตัมต่อการไหลรวม (Q) ดังนั้น

$$Q_i = Q_m \phi_m^{1/2} + Q_f \phi_f^{1/2} \quad (4-49)$$

ซึ่ง Q_m และ Q_f เป็นอัตราการไหลในทางน้ำหลักและในที่ราบน้ำท่วมอย่างเดียวกั้น ประมวลได้โดยใช้สมการแรงเสียดทานทั่วไป

4.7.3 การประยุกต์ใช้ Extreme flood model สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน

การปรับการรับข้อมูลจากรายวันเป็นรายชั่วโมง ข้อมูล e_p ไม่มีเป็นรายชั่วโมง ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลรายวันหารด้วย 24 ชั่วโมง เป็นค่า e_p คงที่รายชั่วโมง เหตุที่ไม่ใช้ข้อมูลความเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงที่แท้จริงเนื่องจากทำให้เกิดความซับซ้อนเกินความจำเป็นในขณะที่เกิดน้ำท่วมสูงสุด สำหรับพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่าง storage-discharge ของ subsurface runoff ใช้ค่าจากการวิเคราะห์ชลภาพส่วนลดยวัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลชลภาพรายชั่วโมง ผลการศึกษาของ Jothityangkoon and Sivapalan 2003 พบว่ามีค่าต่างกันเล็กน้อย จึงอนุโลมให้ใช้ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลรายวันสำหรับรายชั่วโมง การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า hydraulic conductivity แนวตั้ง และความชื้นในดินสำหรับการประมาณค่าการชะลอการไหลใน unsaturated zone ใช้สมการความสัมพันธ์จากการทดลองของ Clapp and Hornberger (1978) อธิบายไว้ในภาคผนวก A Jothityangkoon and Sivapalan (2003) และในหัวข้อ 4.6

4.7.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองการไหลในลำน้ำ

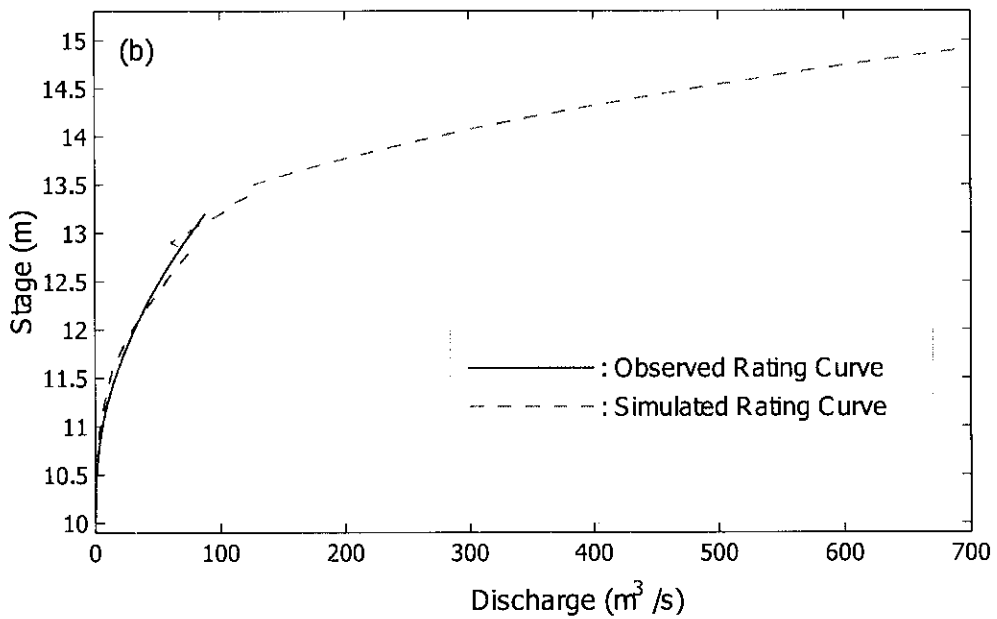
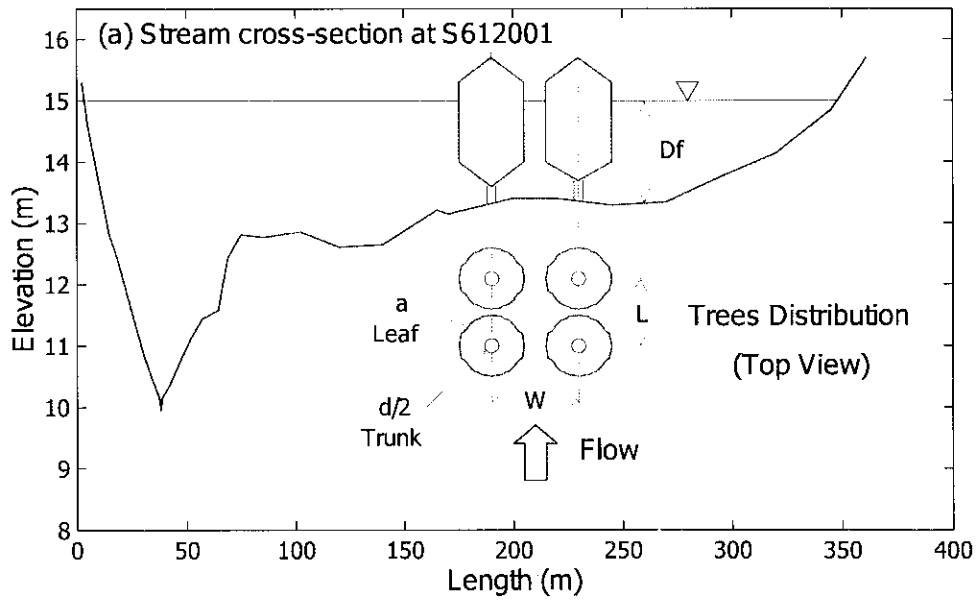
การประมาณขั้นแรก สมมุติ Chezy coefficient คำนวณจาก surface drag ในที่ราบน้ำท่วม (เนื่องจากผิวดินเปล่า, หญ้า, ไม้พุ่มขนาดเล็กในที่ราบน้ำท่วม) มีค่าเหมือนกับในทางน้ำหลัก C_m ในขั้นตอนที่สองสำหรับระดับน้ำค่าต่าง ๆ ใน compound channel ค่า Chezy coefficient สำหรับที่ราบน้ำท่วม C_f ความเร็วเฉลี่ยการไหลและอัตราการไหลถูกประมาณจากค่าที่สมมุติ C_m การกระจายของดินไม้ในที่ราบน้ำท่วมได้ข้อมูลจากการสำรวจ ค่าตัวเลขแสดงในตารางที่ 4.7-1 และรูปที่ 4.7-2

ที่ระดับน้ำแต่ละค่า อัตราการไหลทั้งในลำน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วมถูกคำนวณแยกกับ (i) Q_m สำหรับลำน้ำหลักใช้ข้อมูล rating curve จากการวัดโดยตรงหรือโดยอ้อมจากการใช้ C_m (ii) Q_f สำหรับที่ราบน้ำท่วมใช้ค่า Chezy coefficient C_f การรวมผลจาก 2 ส่วนเข้าด้วยกัน โดยใช้สมการที่ (4) การทดลองของ Wormleaton and Merrett (1990) แนะนำว่า ϕ -indices เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำและรูปร่างของ compound channel ขนาดของ ϕ_m มีค่าน้อยกว่า 1 มากขึ้นเมื่อพื้นที่ราบน้ำท่วมมีความกว้างมากขึ้น อย่างไรก็ตามไม่มีค่า ϕ -indices สำหรับแม่น้ำจริงในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นในขั้นต้นจึงใช้ค่าเฉลี่ย ϕ -indices จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของ Wormleaton and Merrett; $\phi_m = 0.8$ และ $\phi_f = 1.3$ และสมมุติให้มีค่าคงที่ตามความลึก

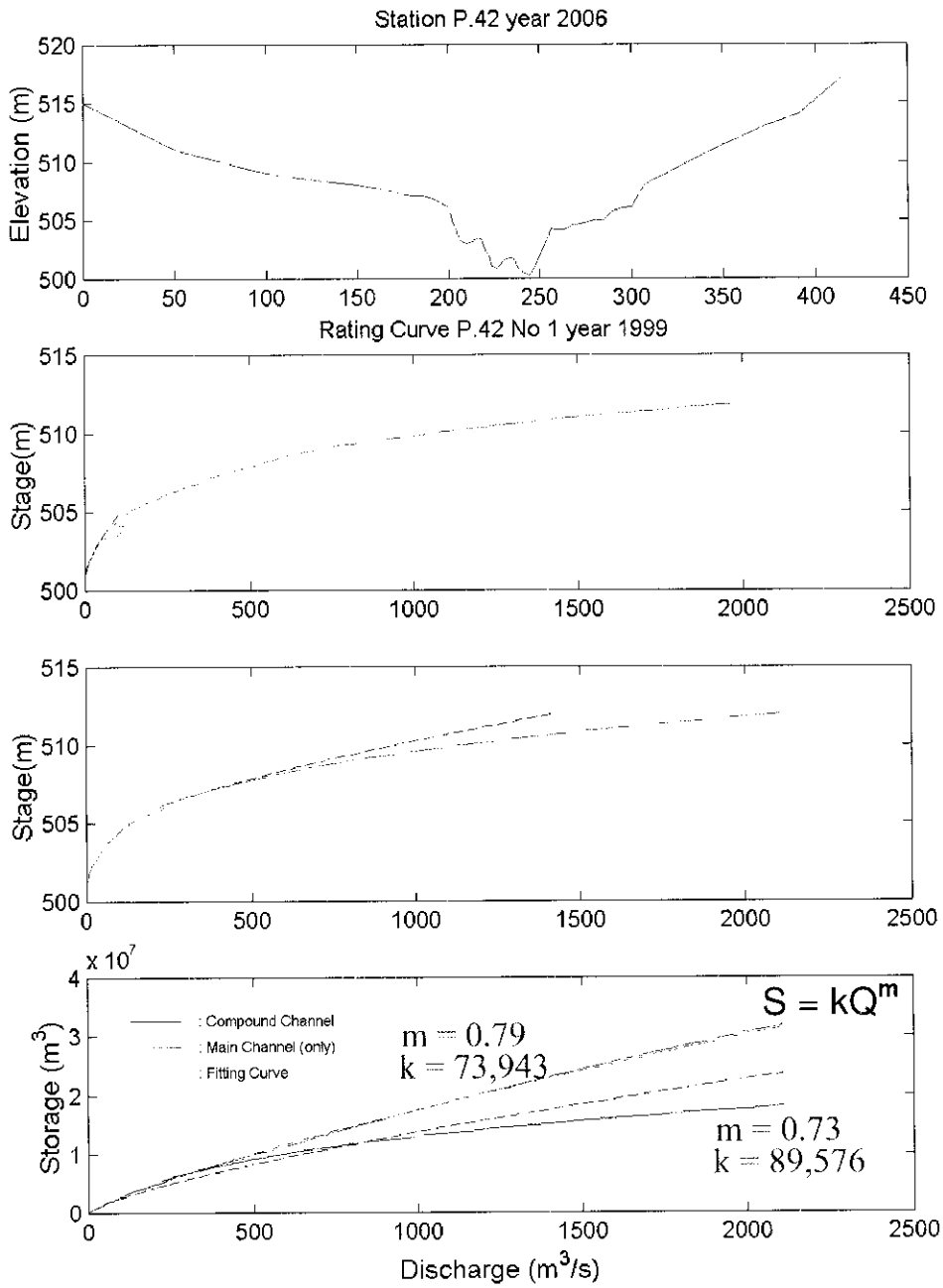
รูปที่ 4.7-3 ถึง 4.7-5 และตารางที่ 4.7-2 แสดงการคำนวณสร้าง Rating Curve บน Flood plain การเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกักเก็บน้ำในลำน้ำ และอัตราการไหลเพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ m และ k

ตารางที่ 4.7-1 ตัวอย่างพารามิเตอร์สำหรับการกระจายของต้นไม้บนที่ราบน้ำท่วมบริเวณสถานี PE.2 บ้านกองหิน

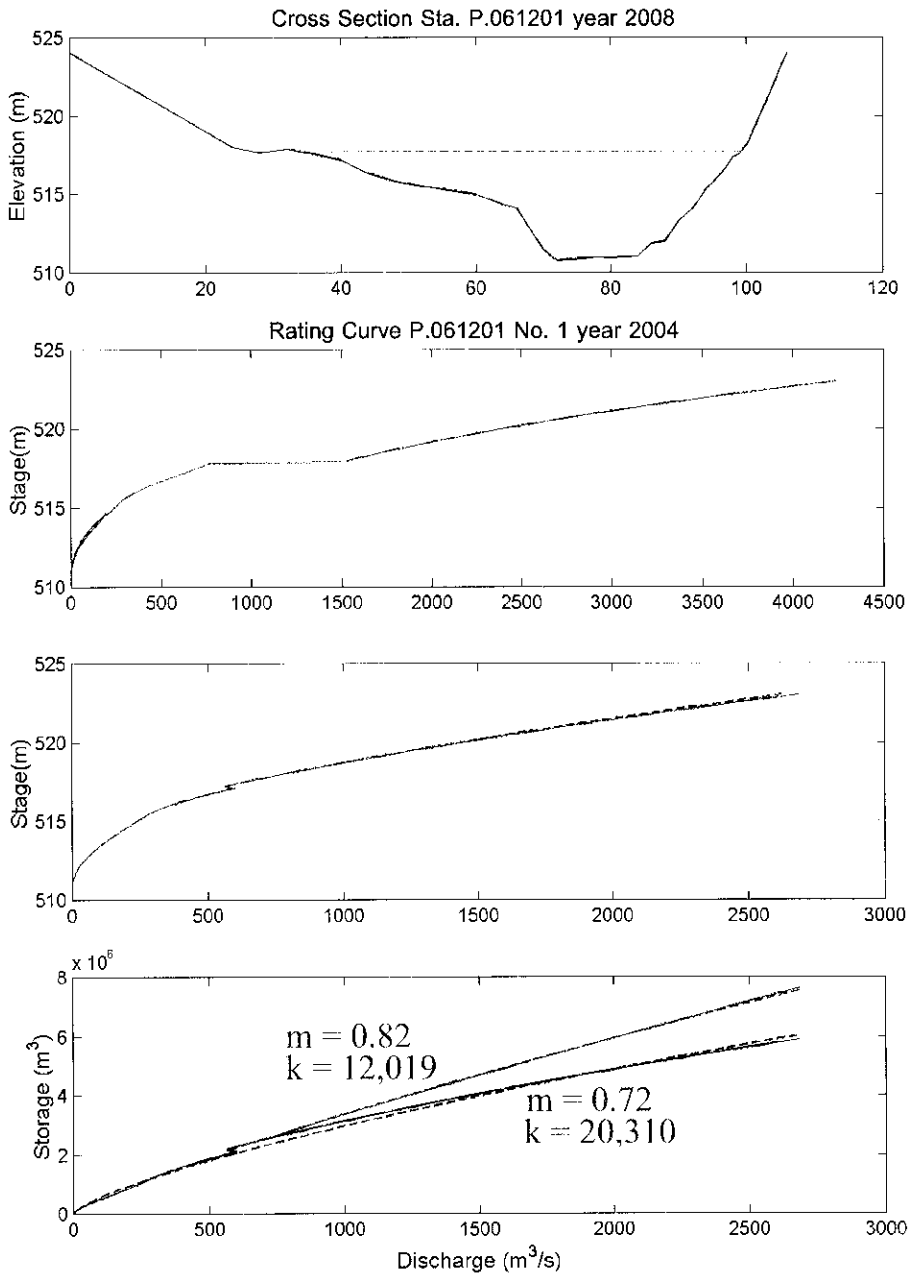
พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	หมายเหตุ
L	8.0	เมตร	ระยะห่างต้นไม้ตามยาวลำน้ำ
W	8.0	เมตร	ระยะห่างต้นไม้ตามขวางลำน้ำ
a	7.0	เมตร	เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มของต้นไม้
d	0.4	เมตร	เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นของต้นไม้
β	0.5	-	อัตราส่วนพื้นที่ที่มีต้นไม้ต่อพื้นที่การไหลทั้งหมด ตามแนวรูปตัดตามขวางของลำน้ำ



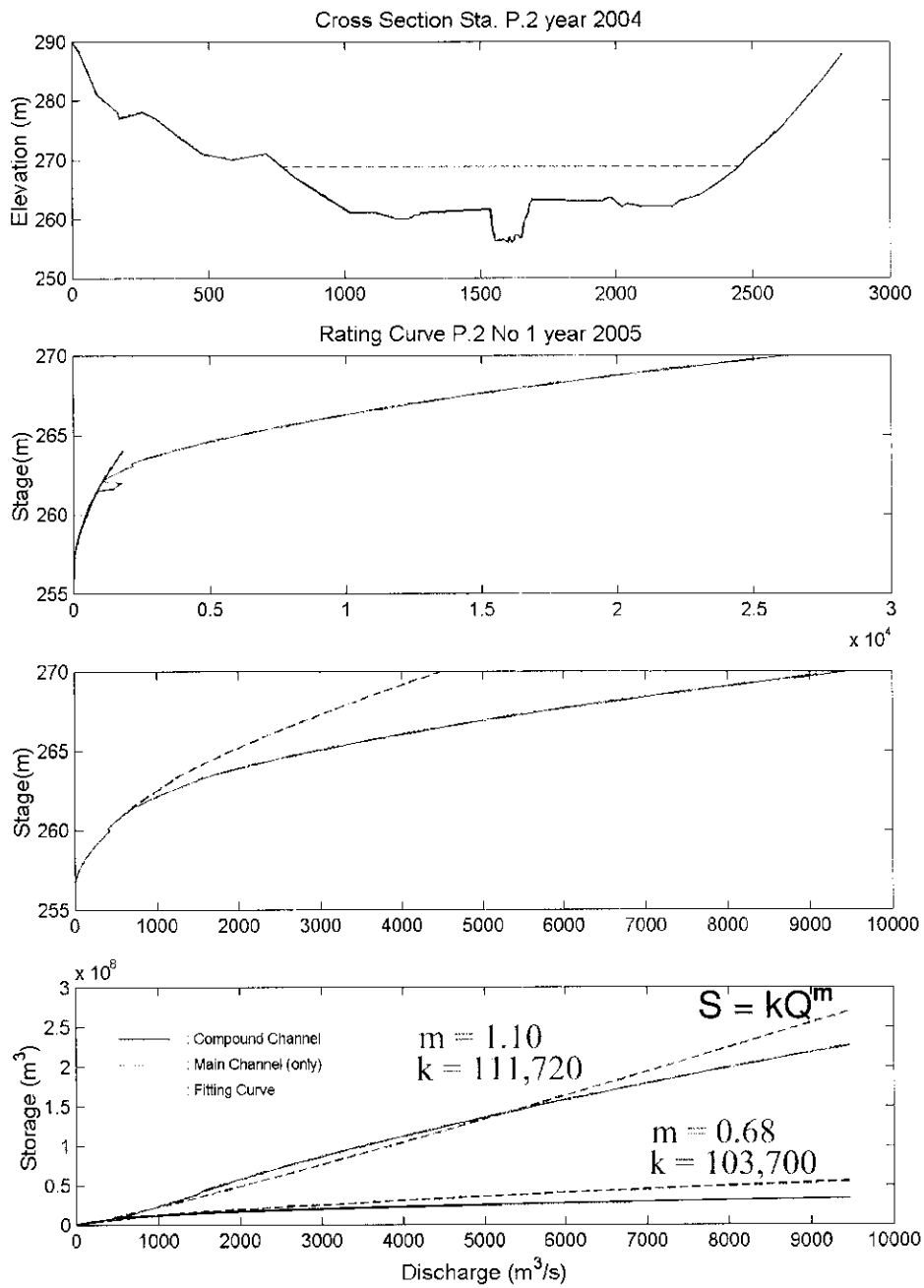
รูปที่ 4.7-2 แสดงการสาธิตการประมาณค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ และ Rating Curve



รูปที่ 4.7-3 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-อัตราการไหล-การกักเก็บน้ำในลำน้ำช่วงลุ่มน้ำย่อยที่ 113 และสถานีวัดน้ำท่า P.42 (a) รูปตัดขวางลำน้ำ (b) Rating Curve ใน Main channel และใน Flood plain (c) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกักเก็บ-อัตราการไหล



รูปที่ 4.7-4 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-อัตราการไหล-การกักเก็บน้ำในลำน้ำช่วงลุ่มน้ำย่อยที่ 68 และสถานีวัดน้ำท่า 061201 (a) รูปตัดขวางลำน้ำ (b) Rating Curve ใน Main channel และใน Flood plain (c) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกักเก็บ-อัตราการไหล



รูปที่ 4.7-5 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-อัตราการไหล-การกักเก็บน้ำในลำน้ำช่วงลุ่มน้ำย่อยที่ 38 และสถานีวัดน้ำท่า PE.2 (a) รูปตัดขวางลำน้ำ (b) Rating Curve ใน Main channel และใน Flood plain (c) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกักเก็บ-อัตราการไหล

ตารางที่ 4.7-2 พารามิเตอร์ที่ประมาณค่าจาก storage-discharge curves สำหรับ runoff routing model

Item	Site number	Site name	Subcatchment number	Catchment area (km ²)	Main channel		Compound channel	
					m	k	m	k
1	P.1	สะพานนารัฐ อ.เมือง	95	6,350	0.43	395,370	1.08	12,319
2	P.14	แก่งออบหลวง อ.สอด	46	3,836	0.68	36,997	0.72	28,567
3	P.19A	บ้านท่าศาลา อ.จอมทอง	89	14,023	0.59	59,166	0.94	7,699
4	P.20	บ้านเชียงดาว อ.เชียงดาว	203	1,345	0.64	108,400	0.85	36,666
5	P.21	บ้านแมริมใต้ อ.แมริม	166	452	0.69	34,076	0.92	14,898
6	P.24A	สะพานประชาอุทิศ อ.จอมทอง	82	452	0.35	87,178	0.90	20,232
7	P.42	บ้านแม่บงใหม่	113	318	0.73	89,576	0.79	73,943
8	PE.2	บ้านกองหิน อ.สอด	38	18,932	0.68	103,700	1.10	111,720
9	060201	น้ำแม่เมะที่บ้านแม่เมะ	201	47	0.74	8,521	0.67	15,053
10	060202	น้ำแม่ปามที่ได้สบห้วยแม่มาศ	204	203	0.74	14,718	0.67	26,000
11	060301	น้ำแม่จัดที่บ้านดินธาตุ	220	81	0.72	21,706	0.81	15,456
12	060402	ห้วยบ้านที่บ้านยางห้วยบ้าน	182	12	0.71	3,042	0.85	1,776
13	060403	ห้วยแม่แพลมที่ได้บ้านแม่แพลม	179	20	0.71	2,109	0.79	1,107
14	060404	น้ำแม่คองที่เหนือสบห้วยบ้าน	183	194	0.67	9,400	0.74	6,432
15	060405	ห้วยท่าอะที่เหนือสบห้วยท่า	185	34	0.70	9,827	0.86	5,768
16	060406	น้ำแม่แดงที่เหนือบ้านสันป่าสัก	184	835	0.70	16,960	0.86	9,709
17	060603	น้ำแมริมที่บ้านกาตสาว	171	169	0.70	43,648	1.07	31,674
18	060701	น้ำแม่หวานที่บ้านแม่หวาน	160	53	0.69	20,629	0.69	26,489
19	060702	ห้วยแม่ดอนที่บ้านป่าเมี่ยงแม่หวานปางกลาง	161	38	0.72	6,953	0.75	6,328
20	060703	น้ำแม่ลายที่บ้านป่าเมี่ยงปางแก	157	24	0.70	7,500	1.22	478
21	060704	ห้วยมะเกลือที่บ้านป่าเมี่ยงปางปง	163	5	0.70	398	0.90	112
22	060804	น้ำแม่สะปือกที่บ้านแม่สะปือกเหนือ	130	35	0.74	806	0.67	1,601
23	060805	น้ำแม่ป้วยที่เหนือบ้านห้วยโปง	129	41	0.76	1,174	0.67	3,431
24	060806	น้ำแม่จางที่เหนือสบแม่สมิง	122	548	0.71	20,139	0.77	13,837
25	060807	น้ำแม่วางที่บ้านสบวิน	127	343	0.73	5,779	0.68	9,106

ตารางที่ 4.7-2 พารามิเตอร์ที่ประมาณค่าจาก storage-discharge curves สำหรับ runoff routing model (ต่อ)

Item	Site number	Site name	Subcatchment number	Catchment area (km ²)	Main channel		Compound channel	
					m	k	m	k
26	060808	น้ำแม่ขานที่บ้านเปียง	118	1,170	0.43	72,508	0.98	7,966
27	061001	น้ำแม่กลางที่บ้านสบหาด	86	92	0.71	22,104	1.15	1,785
28	061002	น้ำแม่ยะที่บ้านหัวเสือ	84	90	0.70	26,653	0.71	25,888
29	061003	ห้วยแม่เตี้ยที่บ้านยางแม่เตี้ย	80	65	0.69	24,217	0.74	18,861
30	061005	ห้วยแม่แต๊ะที่เหนือสบแม่แต๊ะ	81	33	0.70	20,388	0.83	12,421
31	061101	น้ำแม่ก้อที่บ้านก้อทุ่ง	29	84	0.72	7,071	0.73	6,506
32	061201	น้ำแม่แจ่มที่บ้านห้วยผึ้ง	68	1,270	0.72	20,310	0.82	12,019
33	061302	น้ำแม่แจ่มที่บ้านกองกาน	61	1,950	0.65	21,371	0.80	7,701
34	061501	น้ำแม่ตันที่บ้านป่าคา	12	1,470	0.74	4,017	0.76	3,358

4.8 ผลการประมาณค่า PMP

การประมาณค่า PMP สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน พื้นที่ 26,386 ตารางกิโลเมตร เลือกใช้วิธีการประมาณค่า PMP 3 วิธี มีผลสรุปดังนี้

วิธีที่ 1 Statistical estimates ได้ PMP 24 ชั่วโมงมีค่า 382 มม. ขั้นตอนการประมาณแนะนำโดย WMO (1986)

วิธีที่ 2 Generalized PMP สำหรับลุ่มแม่น้ำโขง ขยายมายังลุ่มน้ำปึงตอนบน ได้ PMP 3 วัน มีค่า 348 มม.

วิธีที่ 3 Generalized estimates โดยใช้ข้อมูลพายุฝนในประเทศไทยย้ายไปยังลุ่มน้ำปึงตอนบนได้ PMP 3 วัน มีค่า 240 มม.

จากปริมาณน้ำฝน PMP และช่วงเวลาข้างต้น นำมาสร้างเป็นพายุฝนต่อเนื่องที่กระจายตามพื้นที่ทำได้โดย space-time PMP 4 รูปแบบ เพื่อนำไปใช้กับแบบจำลอง Extreme flood model ดังนี้

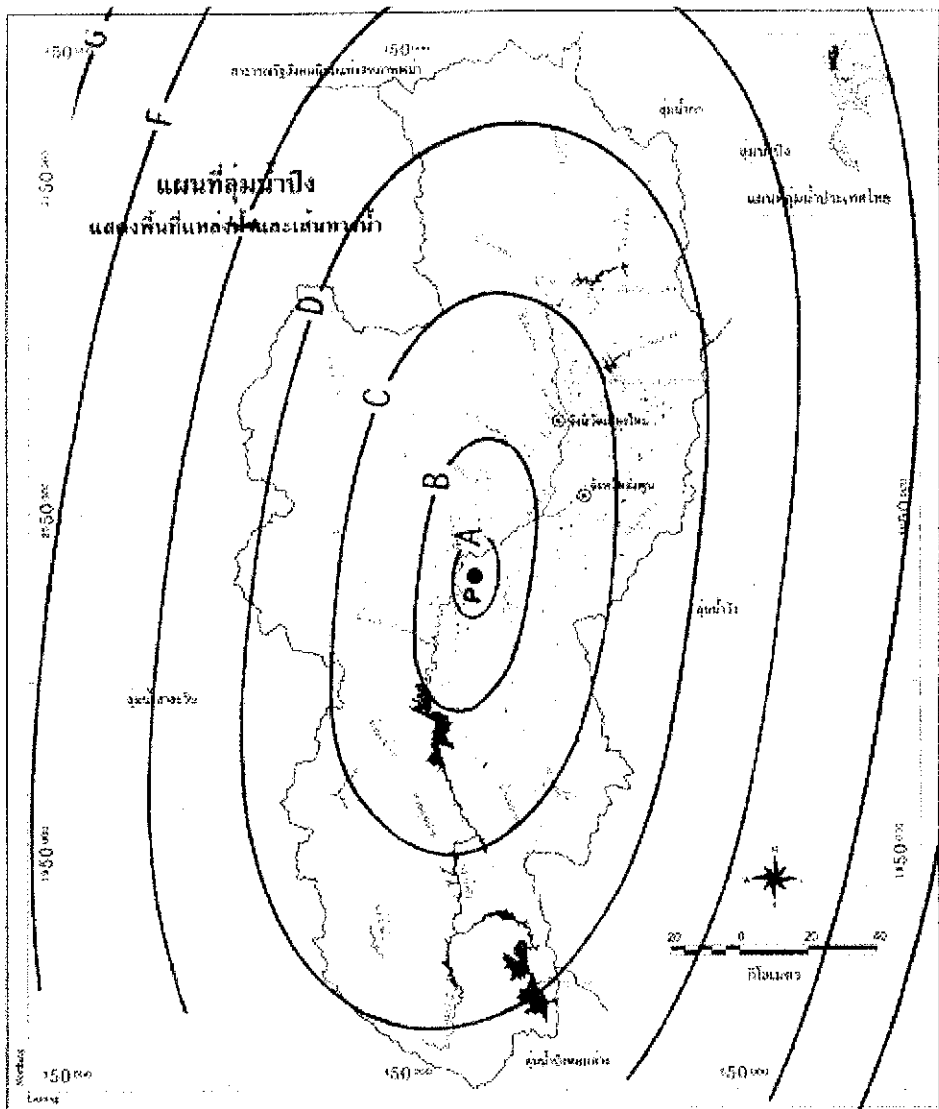
รูปแบบที่ 1 วิธี Generalized PMP จากลุ่มน้ำโขงเป็นพายุฝน 6 วัน ความลึกฝนรวม 522 มม. กระจายตามพื้นที่ ใช้รูปแบบ Isohyetal pattern ที่แนะนำโดย WMO แสดงในรูปที่ 4.8-1

รูปแบบที่ 2 วิธี Generalized estimates จากพายุฝนในประเทศไทย ชื่อ Tilda สร้างเป็นพายุฝน 6 วัน ความลึกน้ำฝนรวม 360 มม. กระจายตามพื้นที่ ใช้รูปแบบที่แนะนำโดย WMO

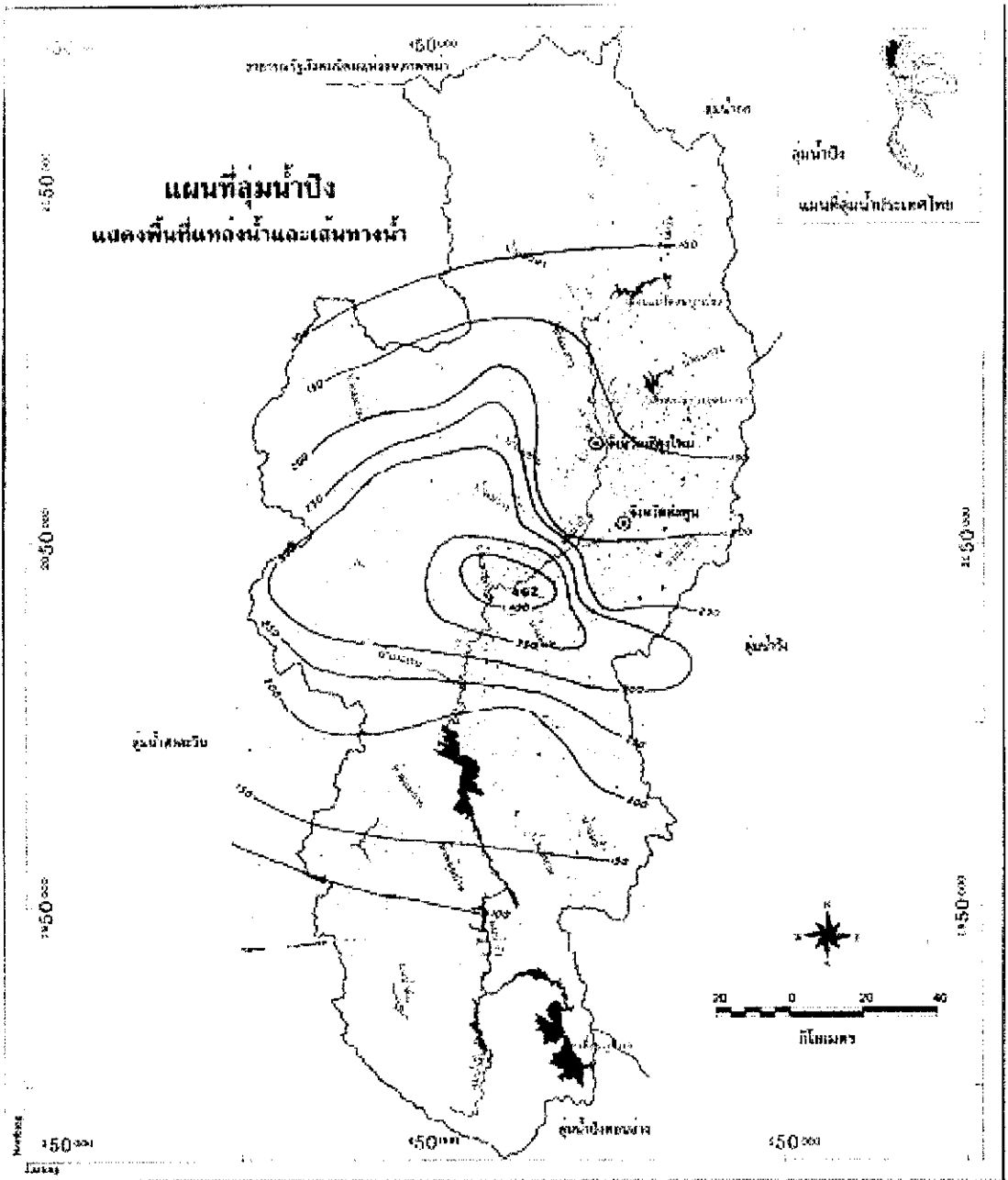
รูปแบบที่ 3 วิธี Generalized estimates จากพายุฝน Tilda สร้างเป็นพายุฝน 6 วัน ความลึกน้ำฝนรวม 360 มม. แต่กระจายตามพื้นที่ ใช้รูปแบบของพายุ Tilda (Transposed Isohyetal pattern) แสดงในรูปที่ 4.8-2

รูปแบบที่ 4 วิธี Statistical estimates เป็นพายุฝน 2 วัน ความลึกน้ำฝน 573 มม. กระจายตามพื้นที่ ใช้รูปแบบของ WMO

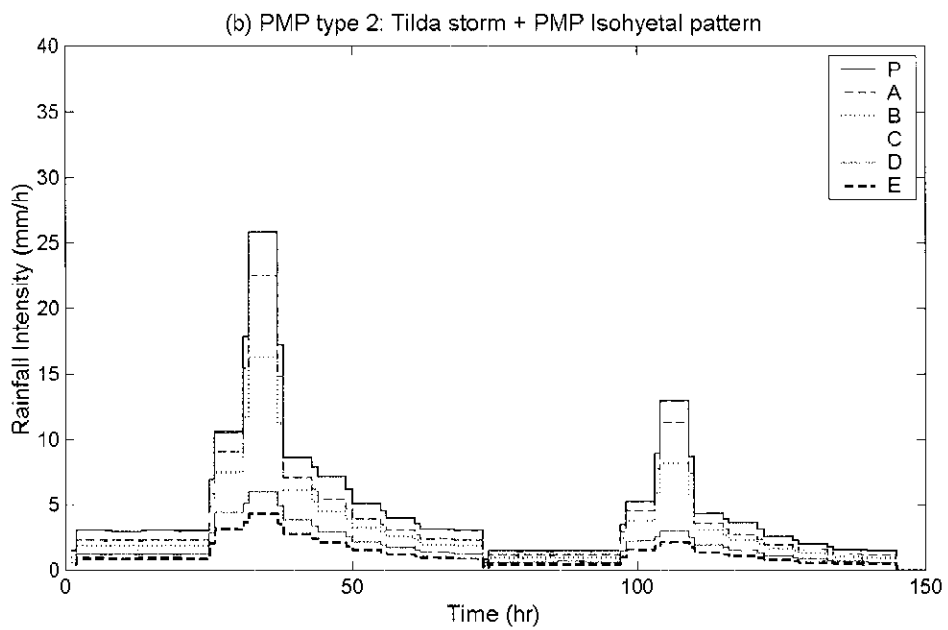
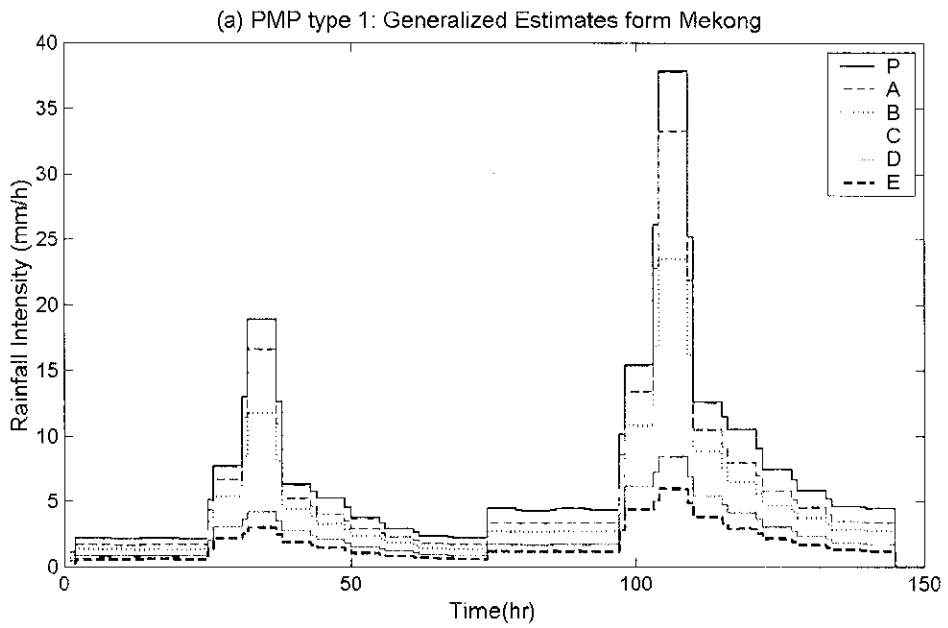
รูปที่ 4.8-3 แสดงการกระจายของ PMP ตามเวลา สำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ ทั้ง 4 รูปแบบ ตารางที่ 4.8-1 แสดงปริมาณ PMP รูปแบบที่ 1 รายชั่วโมง สำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ สอดคล้องกับรูปที่ 4.8-3(a)



รูปที่ 4.8-1 รูปแบบการกระจาย PMP ตามพื้นที่ (Isohyetal pattern) แนะนำโดย WMO

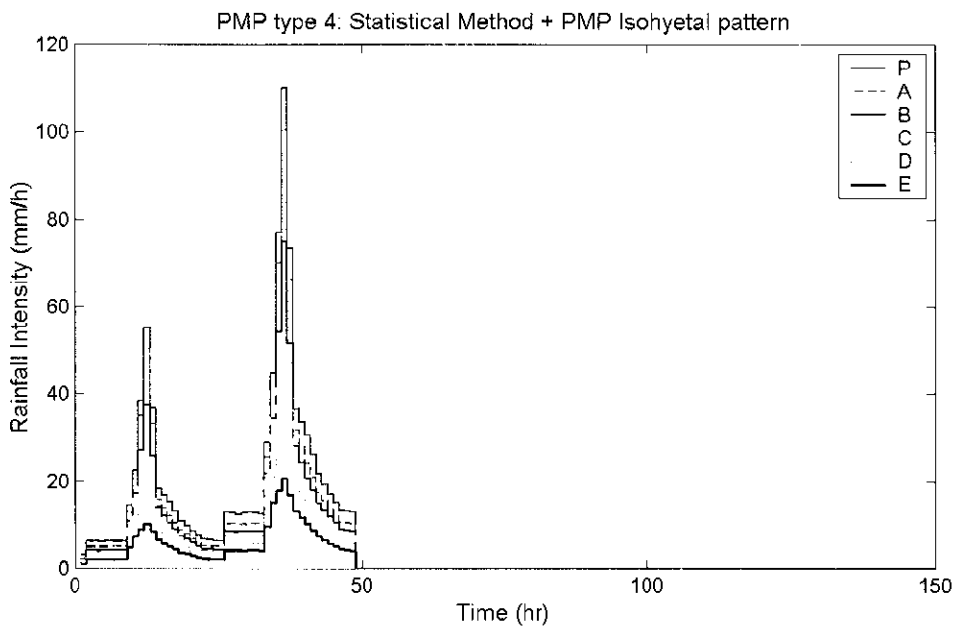
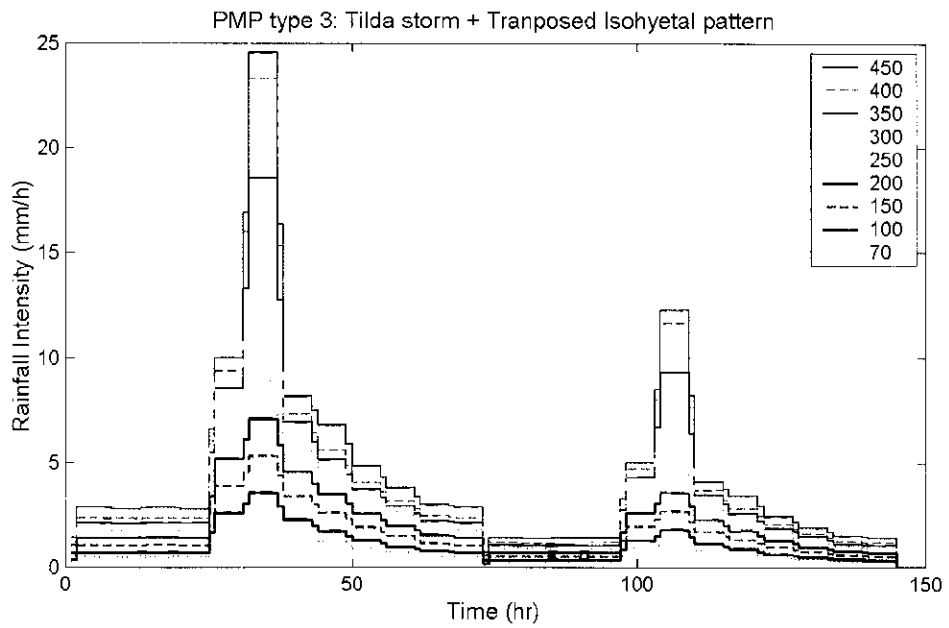


รูปที่ 4.8-2 รูปแบบการกระจาย PMP ตามพื้นที่ของพายุฝน Tilda ย้ายมายังลุ่มน้ำปึงตอนบน (Transposed Isohyetal pattern)



รูปที่ 4.8-3 การกระจายของ PMP ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ

(a) รูปแบบที่ 1 (b) รูปแบบที่ 2



รูปที่ 4.8-3 การกระจายของ PMP ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ
 (c) รูปแบบที่ 3 (d) รูปแบบที่ 4 (ต่อ)

ตารางที่ 4.8-1 การกระจายของ PMP type1 ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ

Time (hr)	P	A	B	C	D	E
1	1.11	0.84	0.67	0.55	0.42	0.3
2	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
3	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
4	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
5	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
6	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
7	2.17	1.66	1.33	1.08	0.83	0.59
8	2.13	1.65	1.32	1.08	0.83	0.59
9	2.13	1.65	1.32	1.08	0.83	0.59
10	2.13	1.65	1.32	1.08	0.83	0.59
11	2.13	1.65	1.32	1.08	0.83	0.59
12	2.13	1.65	1.32	1.08	0.83	0.59
13	2.17	1.66	1.33	1.08	0.84	0.6
14	2.21	1.67	1.34	1.09	0.86	0.61
15	2.21	1.67	1.34	1.09	0.86	0.61
16	2.21	1.67	1.34	1.09	0.86	0.61
17	2.21	1.67	1.34	1.09	0.86	0.61
18	2.21	1.67	1.34	1.09	0.86	0.61
19	2.18	1.67	1.34	1.09	0.85	0.6
20	2.15	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
21	2.15	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
22	2.15	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
23	2.15	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
24	2.15	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
25	5.06	4.29	3.47	3.25	2.01	1.42
26	7.7	6.66	5.4	5.22	3.07	2.17
27	7.7	6.66	5.4	5.22	3.07	2.17
28	7.7	6.66	5.4	5.22	3.07	2.17
29	7.7	6.66	5.4	5.22	3.07	2.17
30	7.7	6.66	5.4	5.22	3.07	2.17
31	13.03	11.39	8.42	6.18	3.61	2.56
32	18.9	16.6	11.75	7.23	4.2	2.98
33	18.9	16.6	11.75	7.23	4.2	2.98
34	18.9	16.6	11.75	7.23	4.2	2.98
35	18.9	16.6	11.75	7.23	4.2	2.98
36	18.9	16.6	11.75	7.23	4.2	2.98
37	12.59	10.91	8.07	5.34	3.44	2.44
38	6.28	5.21	4.39	3.44	2.69	1.9
39	6.28	5.21	4.39	3.44	2.69	1.9
40	6.28	5.21	4.39	3.44	2.69	1.9
41	6.28	5.21	4.39	3.44	2.69	1.9
42	6.28	5.21	4.39	3.44	2.69	1.9
43	5.73	4.56	3.78	3.02	2.36	1.67
44	5.23	3.97	3.23	2.64	2.06	1.46
45	5.23	3.97	3.23	2.64	2.06	1.46
46	5.23	3.97	3.23	2.64	2.06	1.46
47	5.23	3.97	3.23	2.64	2.06	1.46
48	5.23	3.97	3.23	2.64	2.06	1.46
49	4.51	3.45	2.81	2.3	1.8	1.28

ตารางที่ 4.8-1 การกระจายของ PMP type1 ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ (ต่อ)

Time (hr)	P	A	B	C	D	E
50	3.72	2.87	2.34	1.92	1.51	1.07
51	3.72	2.87	2.34	1.92	1.51	1.07
52	3.72	2.87	2.34	1.92	1.51	1.07
53	3.72	2.87	2.34	1.92	1.51	1.07
54	3.72	2.87	2.34	1.92	1.51	1.07
55	3.32	2.56	2.1	1.72	1.34	0.95
56	2.91	2.25	1.86	1.52	1.17	0.83
57	2.91	2.25	1.86	1.52	1.17	0.83
58	2.91	2.25	1.86	1.52	1.17	0.83
59	2.91	2.25	1.86	1.52	1.17	0.83
60	2.91	2.25	1.86	1.52	1.17	0.83
61	2.59	1.99	1.62	1.33	1.04	0.74
62	2.3	1.75	1.4	1.16	0.92	0.66
63	2.3	1.75	1.4	1.16	0.92	0.66
64	2.3	1.75	1.4	1.16	0.92	0.66
65	2.3	1.75	1.4	1.16	0.92	0.66
66	2.3	1.75	1.4	1.16	0.92	0.66
67	2.26	1.71	1.37	1.13	0.88	0.63
68	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
69	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
70	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
71	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
72	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
73	2.21	1.67	1.34	1.09	0.84	0.59
74	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
75	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
76	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
77	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
78	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
79	4.33	3.33	2.66	2.17	1.66	1.18
80	4.25	3.31	2.64	2.16	1.65	1.17
81	4.25	3.31	2.64	2.16	1.65	1.17
82	4.25	3.31	2.64	2.16	1.65	1.17
83	4.25	3.31	2.64	2.16	1.65	1.17
84	4.25	3.31	2.64	2.16	1.65	1.17
85	4.33	3.33	2.66	2.17	1.68	1.19
86	4.42	3.35	2.68	2.18	1.71	1.21
87	4.42	3.35	2.68	2.18	1.71	1.21
88	4.42	3.35	2.68	2.18	1.71	1.21
89	4.42	3.35	2.68	2.18	1.71	1.21
90	4.42	3.35	2.68	2.18	1.71	1.21
91	4.36	3.35	2.68	2.18	1.69	1.2
92	4.3	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
93	4.3	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
94	4.3	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
95	4.3	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
96	4.3	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
97	10.12	8.58	6.93	6.51	4.01	2.84
98	15.4	13.33	10.8	10.44	6.13	4.35

ตารางที่ 4.8-1 การกระจายของ PMP type1 ตามเวลาสำหรับเส้นชั้นน้ำฝนต่าง ๆ (ต่อ)

Time (hr)	P	A	B	C	D	E
99	15.4	13.33	10.8	10.44	6.13	4.35
100	15.4	13.33	10.8	10.44	6.13	4.35
101	15.4	13.33	10.8	10.44	6.13	4.35
102	15.4	13.33	10.8	10.44	6.13	4.35
103	26.07	22.78	16.84	12.36	7.21	5.11
104	37.81	33.19	23.5	14.47	8.4	5.95
105	37.81	33.19	23.5	14.47	8.4	5.95
106	37.81	33.19	23.5	14.47	8.4	5.95
107	37.81	33.19	23.5	14.47	8.4	5.95
108	37.81	33.19	23.5	14.47	8.4	5.95
109	25.19	21.81	16.13	10.68	6.89	4.88
110	12.56	10.43	8.77	6.89	5.37	3.81
111	12.56	10.43	8.77	6.89	5.37	3.81
112	12.56	10.43	8.77	6.89	5.37	3.81
113	12.56	10.43	8.77	6.89	5.37	3.81
114	12.56	10.43	8.77	6.89	5.37	3.81
115	11.46	9.12	7.56	6.04	4.72	3.35
116	10.46	7.94	6.47	5.28	4.13	2.93
117	10.46	7.94	6.47	5.28	4.13	2.93
118	10.46	7.94	6.47	5.28	4.13	2.93
119	10.46	7.94	6.47	5.28	4.13	2.93
120	10.46	7.94	6.47	5.28	4.13	2.93
121	9.03	6.89	5.62	4.6	3.6	2.55
122	7.45	5.74	4.68	3.85	3.02	2.14
123	7.45	5.74	4.68	3.85	3.02	2.14
124	7.45	5.74	4.68	3.85	3.02	2.14
125	7.45	5.74	4.68	3.85	3.02	2.14
126	7.45	5.74	4.68	3.85	3.02	2.14
127	6.63	5.12	4.2	3.44	2.69	1.9
128	5.82	4.5	3.72	3.04	2.35	1.66
129	5.82	4.5	3.72	3.04	2.35	1.66
130	5.82	4.5	3.72	3.04	2.35	1.66
131	5.82	4.5	3.72	3.04	2.35	1.66
132	5.82	4.5	3.72	3.04	2.35	1.66
133	5.18	3.97	3.23	2.67	2.09	1.48
134	4.6	3.5	2.79	2.33	1.85	1.31
135	4.6	3.5	2.79	2.33	1.85	1.31
136	4.6	3.5	2.79	2.33	1.85	1.31
137	4.6	3.5	2.79	2.33	1.85	1.31
138	4.6	3.5	2.79	2.33	1.85	1.31
139	4.51	3.43	2.74	2.26	1.76	1.25
140	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
141	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
142	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
143	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
144	4.42	3.35	2.68	2.18	1.67	1.18
145	0	0	0	0	0	0

4.9 ผลการประมาณค่า PMF

ผลของการเปลี่ยน PMP เป็น PMF โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาสำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน ที่ตั้งเขื่อนภูมิพลแสดงในตารางที่ 4.9-1 และตารางที่ 4.9-2 การประมาณค่า PMF ได้พิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1. ผลของ PMP 4 รูปแบบ
2. ผลของสภาพความเปียกของลุ่มน้ำ (antecedent catchment wetness) เช่นผลของการเกิด PMP ในฤดูฝนและฤดูแล้ง
3. การประมาณ PMF สำหรับตำแหน่งต่าง ๆ ในลุ่มน้ำและที่ขนาดลุ่มน้ำต่าง ๆ
4. ผลของการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเมื่อเกิดปรากฏการณ์ LaNina
5. ผลของการย้ายตำแหน่งศูนย์กลางพายุฝน PMP
6. ผลของการใช้ข้อมูลจาก Main channel ต่อกราฟมาใช้สำหรับ Compound channel
7. ผลจากการลดลงของพื้นที่ป่าไม้

การประมาณค่า PMF สำหรับลุ่มน้ำย่อยหมายเลข 38 จุดเดียวกับสถานีวัดน้ำท่า PE.2 (19,043 ตารางกิโลเมตร) ในตารางที่ 4.9-1 แสดงว่าสำหรับ PMP 1 เปลี่ยนเป็น PMF ในฤดูฝนมีค่า 7,553 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่า PMF นี้สามารถเปลี่ยนเป็นระดับน้ำในลำน้ำโดยใช้ rating curve แสดงในรูปที่ 4.7-5 แสดงให้เห็นว่า PMF มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการบันทึก rating curve ที่ผ่านมาซึ่งมีค่าสูงสุดเพียง 1,580 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4.9-1 ค่า PMF ที่ประมาณได้จาก PMP 4 แบบ สำหรับกรณีเกิด PMP ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ที่ 7 ตำแหน่งในลุ่มน้ำปึงตอนบน

PMP type	condition	PMF (m ³ /s) from different subcatchment						
		Subcatchment No.						
		1	38	89	95	203	204	182
		Area (km ²)						
		26,202	19,043	13,990	6,359	1,345	202	11
PMP1	wet	6,311	7,553	6,518	3,310	571	92	4.2
	dry	1,729	2,063	1,411	540	12	1.01	0.02
PMP2	wet	3,455	3,618	3,565	2,027	288	52	2.3
	dry	478	478	263	103	2.6	0.22	0.01
PMP3	wet	2,207	2,670	1,850	727	82	21	0.65
	dry	414	453	158	27	0.23	0.01	0.001
PMP4	wet	8,693	11,998	11,697	6,456	1,350	309	17.1
	dry	2,434	3,869	3,924	1,803	29	3.0	0.03

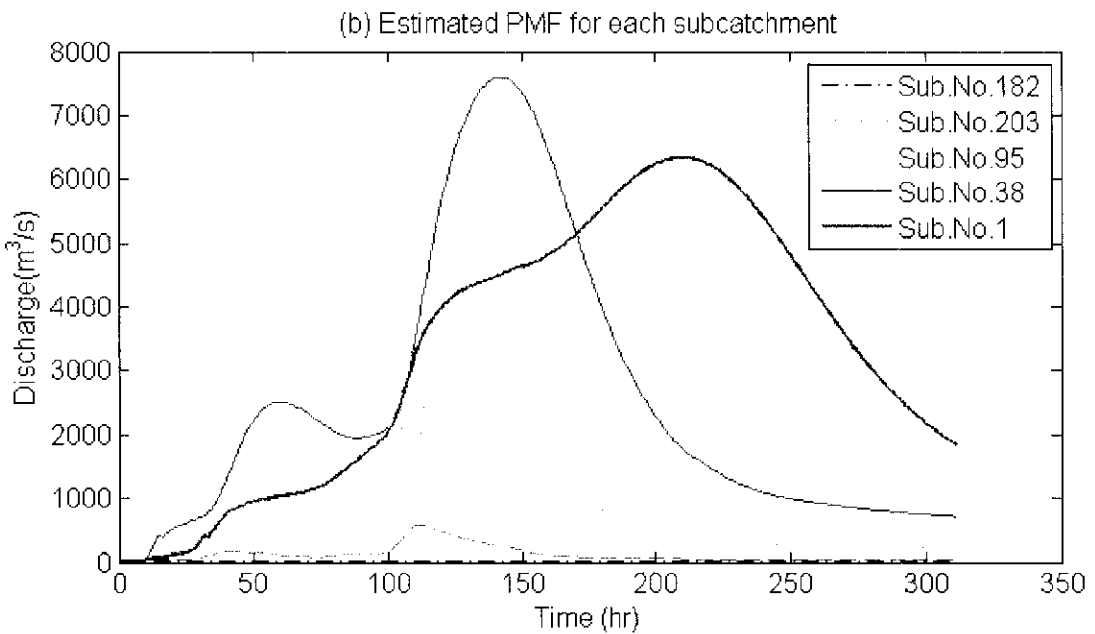
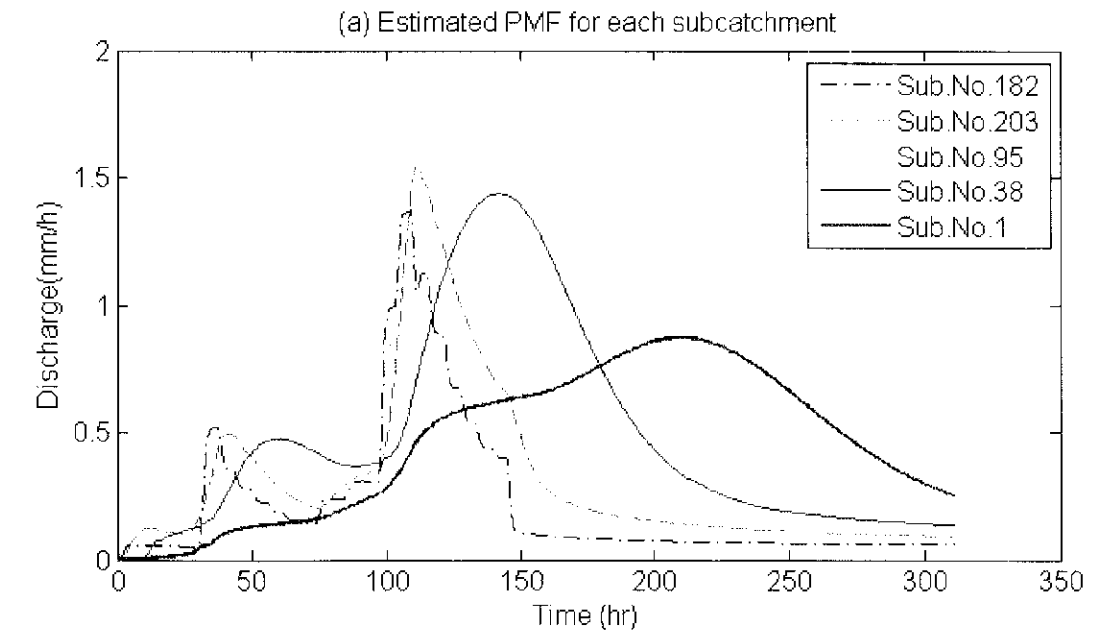
ค่าน้ำท่วมสูงสุดสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนที่เขื่อนภูมิพลได้มีการศึกษาโดย United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation ปี 1955 ในช่วงการศึกษาความเหมาะสมของการสร้างเขื่อนภูมิพล มีอัตราการไหลสูงสุด 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

4.9.1 เปรียบเทียบผลของ PMP 4 รูปแบบ

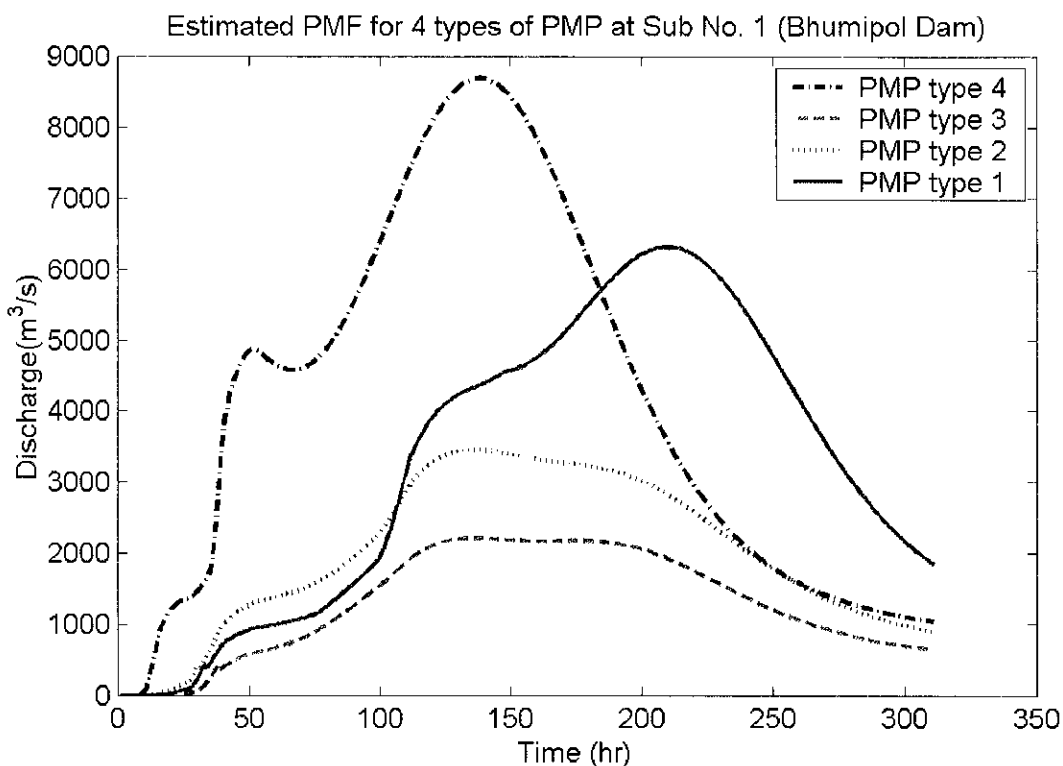
ตารางที่ 4.9-2 แสดงกรณี (ก) PMP มีศูนย์กลางอยู่ที่กลางลุ่มน้ำปิงตอนบน บริเวณลุ่มน้ำย่อยที่ 78 ค่า PMF ที่เกิดจาก PMP แบบที่ 4 (8,693 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ให้ค่าสูงกว่า PMP ทั้ง 3 แบบที่เหลือ สาเหตุมาจากการประมาณ PMP แบบที่ 4 ใช้วิธี Statistical estimates และใช้ค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์พายุฝนในสหรัฐอเมริกา ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต Mid-latitude ในสภาพปกติปริมาณความชื้นในอากาศน้อย เมื่อปรับให้เป็นความชื้นสูงสุดจึงต้องใช้ค่าพารามิเตอร์คือค่า Maximum common statistical variable (K_{max}) ที่มีค่าสูง แต่เมื่อนำมาใช้กับลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตร ในสภาพปกติปริมาณความชื้นในอากาศมีค่าสูง การปรับให้เป็นความชื้นสูงสุดโดยใช้พารามิเตอร์จากสหรัฐอเมริกาจึงได้ค่า PMP ที่สูงเกินไป และเกิดในช่วงเวลาสั้น ๆ ส่งผลให้ได้ค่า PMF ที่สูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นการใช้ค่า PMF ที่เกิดจาก PMP แบบที่ 1 มีความเหมาะสมน่าเชื่อถือกว่า PMP แบบที่ 4 รูปที่ 4.9-1 แสดงชลภาพของ PMF ที่เกิดจาก PMP แบบที่ 1 และตารางที่ 4.9-3 แสดงตัวเลขชลภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 และรูปที่ 4.9-2 แสดงชลภาพ PMF ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 เขื่อนภูมิพลเปรียบเทียบระหว่าง PMP 4 รูปแบบ

4.9.2 เปรียบเทียบผลของสภาพความเปียกของลุ่มน้ำ

ในสภาพลุ่มน้ำที่เปียก (ฤดูฝน) ใช้ปริมาณความชื้นในลุ่มน้ำของวันที่ 30 กันยายน 2538 ส่วนในสภาพลุ่มน้ำที่แห้งใช้ปริมาณความชื้นในลุ่มน้ำของวันที่ 3 พฤษภาคม 2538 เป็นการประมาณปริมาณความชื้นจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน จากจุดเริ่มต้นของความเปียกของลุ่มน้ำทั้ง 2 แบบ เมื่อใช้แบบจำลอง Extreme Flood Model เปลี่ยน PMP ทั้ง 4 แบบเป็น PMF ได้ค่า PMF กรณีสภาพลุ่มน้ำเปียกมีค่าสูงกว่ากรณีลุ่มน้ำแห้งเสมอ ตารางที่ 4.9-1 แสดงค่า PMF ที่ประมาณได้จาก PMP 4 แบบ สำหรับกรณีเกิด PMP ในฤดูฝนและในฤดูแล้ง



รูปที่ 4.9-1 แสดงผลภาพของ PMF ที่เกิดจาก PMP แบบที่ 1



รูปที่ 4.9-2 แสดงผลภาพของ PMF ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 เขื่อนภูมิพล
เปรียบเทียบระหว่าง PMP 4 รูปแบบ

4.9.3 เปรียบเทียบผลที่ลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ

เมื่อลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่า PMF จะมีค่าสูงขึ้น แต่พบว่า PMF ที่ประมาณได้ที่ลุ่มน้ำย่อยหมายเลข (Sub. No.) 38 และ 89 ได้ค่า PMF มากกว่าที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 คือที่เขื่อนภูมิพล ทั้งที่ขนาด ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 มีขนาดใหญ่ที่สุด ปรากฏการณ์เช่นนี้ สาเหตุเกิดจากลักษณะโครงข่ายของลุ่มน้ำปึงตอนบน ตำแหน่งของ ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 และ 89 อยู่กึ่งกลางของลุ่มน้ำปึงตอนบน นอกจากต้องรับปริมาณ PMP ที่มีค่าสูง เป็นจุดศูนย์กลางของพายุฝนแล้ว ยังเป็นจุดรวมของน้ำท่าจากพื้นที่ตอนบน (upstream) ไหลมาบรรจบกันจำนวนมาก ส่วนการไหลของน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยที่ 38 ไปถึงเขื่อนภูมิพลลุ่มน้ำย่อยที่ 1 เป็นการไหลในลำน้ำเป็นหลัก มีน้ำท่าไหลเข้ามาเสริมด้านข้าง (lateral flow) จำนวนน้อย จึงทำให้เป็นพฤติกรรมการเดินทางของคลื่นน้ำท่วม (flood wave) ในลำน้ำ เกิดการแพร่กระจายของคลื่นน้ำ (dispersion) ความยาวช่วงคลื่น (wave length) มีค่ามากขึ้นแต่ความสูงคลื่น (wave amplitude) มีค่าลดลง ขณะที่คลื่นน้ำท่วมเดินทางไปตามลำน้ำตามอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นจึงทำให้อัตราการไหลสูงสุดของ PMF ที่คำนวณได้ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 มีค่าน้อยกว่าที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 และ 89

ตารางที่ 4.9-2 ค่า PMF ที่ประมาณได้สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่ลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ 7 แห่ง
 กรณี (ก) PMP 4 รูปแบบ จุดศูนย์กลางของ PMP อยู่กึ่งกลางลุ่มน้ำประมาณตำแหน่ง
 ลุ่มน้ำย่อยหมายเลข 78 กรณี (ข) PMP มีขนาดเพิ่มขึ้นจากปรากฏการณ์ La Nina
 กรณี (ค) ย้ายตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ PMP กรณี (ง) การหลากใช้ค่าพารามิเตอร์
 จาก main channel เท่านั้น

กรณี	PMP type	PMF (m ³ /s) จากลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ						
		หมายเลขลุ่มน้ำย่อย และขนาดพื้นที่ (km ²)						
		1	38	89	95	203	204	182
		26,202	19,043	13,990	6,359	1,345	202	11
(ก) ปริมาณฝนปกติ ศูนย์กลางที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 78	PMP 1	6,311	7,553	6,518	3,310	571	92	4.2
	PMP 2	3,455	3,618	3,565	2,207	288	52	2.3
	PMP 3	2,207	2,607	1,850	727	82	21	0.7
	PMP 4	8,693	11,998	11,697	6,456	1,350	309	17.1
(ข) ปริมาณฝนเพิ่มขึ้น 5-15% จากปรากฏการณ์ La Nina	PMP 1 +5%	6,784	8,154	7,080	3,576	620	105	4.6
	PMP 1 +10%	7,262	8,778	7,610	3,812	669	114	5.7
	PMP 1 +15%	7,755	9,408	8,176	4,066	717	122	6.0
(ค) ย้ายตำแหน่งศูนย์กลาง พายุฝนลงปททางทิศใต้	PMP 1							
	Sub. 40	5,525	5,861	5,412	2,438	351	63	4.2
	Sub. 24	5,462	4,551	4,002	1,903	351	63	3
(ง) การหลากใช้ค่า m, k จาก main channel เท่านั้น	PMP 1	16,121	14,663	11,677	4,766	579	96	4.2
(จ) พื้นที่ป่าไม้ลดลง 10% พื้นที่ป่าไม้ลดลง 20% พื้นที่ป่าไม้ลดลง 30%	PMP 1	6,507	7,798	6,726	3,399	605	103	5.3
	PMP 1	6,703	8,042	6,954	3,497	632	105	5.4
	PMP 1	6,894	8,267	7,113	3,550	671	115	6.4

ตารางที่ 4.9-3 สภาพภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1

time(hr)	ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	ลุ่มน้ำย่อยที่ 38	ลุ่มน้ำย่อยที่ 95	ลุ่มน้ำย่อยที่ 203	ลุ่มน้ำย่อยที่ 182
1	0	0	0	0.02	0.02
2	0.02	0.01	0	0.09	0.09
3	0.06	0.03	0.01	0.22	0.15
4	0.17	0.08	0.08	0.42	0.18
5	0.35	0.37	0.65	0.67	0.19
6	0.64	1.66	2.51	0.97	0.19
7	1.06	5.56	6.24	1.33	0.19
8	1.62	14.12	12.45	1.74	0.18
9	2.30	29.67	23.09	2.20	0.18
10	3.09	57.67	43.79	2.71	0.18
11	3.97	109.42	82.77	3.27	0.18
12	4.96	191.02	142.18	3.88	0.18
13	6.12	289.92	211.30	4.53	0.17
14	7.63	384.03	273.60	5.23	0.17
15	9.73	434.32	318.52	5.97	0.17
16	12.61	379.11	344.70	6.73	0.17
17	16.40	414.36	355.84	7.50	0.17
18	21.12	444.14	356.56	8.29	0.17
19	26.72	471.31	350.79	9.07	0.17
20	33.09	497.68	341.43	9.83	0.17
21	40.13	523.92	330.47	10.58	0.17
22	47.82	549.90	319.66	11.30	0.17
23	56.12	564.78	309.94	11.99	0.16
24	64.91	572.13	301.57	12.63	0.16
25	74.08	580.39	294.70	13.24	0.16
26	84.12	589.20	296.66	13.80	0.16
27	98.28	598.63	316.69	14.95	0.16
28	123.92	609.57	354.51	18.14	0.16
29	168.77	623.67	413.90	24.18	0.17
30	231.09	640.94	488.90	32.45	0.17
31	303.71	660.62	565.64	42.13	0.42
32	382.70	684.90	643.17	53.68	0.91
33	413.68	716.37	730.34	68.30	1.37
34	398.96	756.77	825.54	85.72	1.56
35	457.35	808.25	924.33	104.6	1.59
36	517.48	874.05	1014.20	124.07	1.60
37	576.64	953.99	1114.01	143.16	1.61
38	634.17	1044.64	1217.50	159.45	1.46
39	687.20	1142.67	1282.41	169.96	1.22
40	730.55	1245.52	1317.20	175.38	1.10
41	760.38	1350.88	1334.95	177.93	1.08
42	784.09	1456.35	1335.25	178.42	1.08
43	805.91	1560.35	1325.06	177.52	1.08
44	827.10	1661.49	1307.32	175.12	1.02
45	847.31	1758.27	1282.29	170.81	0.93
46	865.51	1849.85	1256.98	165.45	0.88
47	881.47	1935.31	1233.49	160.12	0.87
48	895.94	2013.72	1206.60	155.44	0.86
49	909.69	2084.85	1179.50	151.38	0.86

ตารางที่ 4.9-3 ขนาดภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 (ต่อ)

time(hr)	ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	ลุ่มน้ำย่อยที่ 38	ลุ่มน้ำย่อยที่ 95	ลุ่มน้ำย่อยที่ 203	ลุ่มน้ำย่อยที่ 182
50	923	2148.56	1150.77	147.33	0.83
51	935.39	2204.71	1117.03	142.61	0.76
52	946.01	2253.49	1082.76	137.54	0.71
53	954.75	2295.18	1064.35	132.81	0.70
54	962.28	2330.06	1030.71	128.49	0.70
55	969.38	2358.57	995.56	124.61	0.70
56	976.45	2381.09	964.54	120.85	0.67
57	983.39	2397.86	934.36	116.79	0.61
58	989.84	2409.28	905.88	112.65	0.58
59	995.75	2415.77	880.09	108.83	0.58
60	1001.47	2417.70	856.11	105.35	0.57
61	1007.44	2415.45	833.56	102.24	0.57
62	1013.93	2409.35	811.07	99.24	0.55
63	1020.81	2399.67	787.53	96.07	0.51
64	1027.8	2386.77	764.56	92.90	0.49
65	1034.81	2370.97	743.33	90.00	0.48
66	1042.05	2352.52	723.43	87.38	0.48
67	1049.83	2331.70	704.75	85.05	0.48
68	1058.39	2308.77	687.14	82.91	0.47
69	1067.77	2284.02	670.44	80.88	0.46
70	1077.95	2257.71	655.01	78.98	0.45
71	1088.91	2230.10	641.00	77.28	0.45
72	1100.72	2201.43	628.25	75.78	0.44
73	1113.45	2171.94	616.62	74.47	0.44
74	1127.14	2141.85	605.83	73.33	0.44
75	1142.09	2112.03	603.33	73.73	0.58
76	1159.6	2083.04	609.83	76.10	0.71
77	1180.9	2055.02	617.89	79.06	0.74
78	1206	2028.55	628.36	82.43	0.74
79	1233.53	2004.06	641.98	86.09	0.74
80	1262.4	1981.88	658.34	89.95	0.74
81	1292.09	1962.46	676.40	93.92	0.74
82	1322.38	1945.82	695.20	97.80	0.74
83	1353.19	1931.78	714.03	101.46	0.74
84	1384.51	1920.46	732.36	104.81	0.74
85	1416.29	1911.92	749.85	107.79	0.79
86	1448.51	1906.15	766.44	110.46	0.88
87	1481.17	1903.10	782.17	112.91	0.93
88	1514.26	1902.64	796.96	115.15	0.95
89	1547.71	1904.58	810.80	117.14	0.95
90	1581.44	1908.73	823.81	118.89	0.95
91	1615.36	1914.89	835.87	120.43	0.95
92	1649.38	1922.85	846.87	121.75	0.95
93	1683.4	1932.46	856.87	122.81	0.94
94	1717.4	1943.53	866.02	123.66	0.94
95	1751.5	1955.92	874.45	124.37	0.94
96	1785.65	1969.48	882.14	124.99	0.94
97	1819.64	1984.02	889.05	125.52	0.94
98	1854.66	2002.14	933.40	130.77	1.52

ตารางที่ 4.9-3 ชลภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 (ต่อ)

time(hr)	ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	ลุ่มน้ำย่อยที่ 38	ลุ่มน้ำย่อยที่ 95	ลุ่มน้ำย่อยที่ 203	ลุ่มน้ำย่อยที่ 182
99	1897.39	2027.78	1059.86	147.68	2.55
100	1960.5	2062.35	1250.01	174.25	2.99
101	2047.35	2108.79	1470.32	205.13	3.05
102	2145.45	2169.92	1686.41	238.58	3.06
103	2246.48	2247.04	1922.16	272.81	3.07
104	2349.48	2347.95	2202.63	309.09	3.39
105	2459.12	2478.16	2545.28	351.76	3.94
106	2582.46	2633.74	1247.35	400.62	4.16
107	2718.45	2816.04	1041.91	449.00	4.20
108	2860.92	3027.95	1262.59	492.83	4.22
109	3005.51	3264.86	1399.48	531.79	4.23
110	3148.78	3504.51	1600.36	560.42	3.80
111	3280.47	3730.56	1822.3	570.42	3.24
112	3389.07	3951.54	2048.44	565.21	3.30
113	3476.59	4176.88	2269.58	554.24	3.44
114	3552.31	4407.82	2475.96	541.61	3.46
115	3622.23	4641.29	2661.73	530.00	3.47
116	3688.69	4870.82	2823.10	518.13	3.23
117	3750.66	5091.04	2958.11	502.96	2.89
118	3806.54	5299.71	3067.86	486.36	2.76
119	3857.23	5496.31	3154.46	471.30	2.74
120	3904.73	5681.06	3219.82	458.44	2.74
121	3950.50	5855.00	3266.32	448.04	2.74
122	3994.66	6018.81	3295.61	438.09	2.56
123	4035.37	6172.34	3308.58	425.57	2.24
124	4070.68	6316.03	3307.48	411.65	2.10
125	4101.24	6450.76	3294.78	398.8	2.08
126	4129.21	6577.25	3272.36	387.47	2.08
127	4156.05	6696.48	3242.42	377.87	2.07
128	4181.95	6807.59	3208.39	368.78	1.96
129	4206.07	6910.4	3168.89	358.38	1.77
130	4227.52	7005.44	3122.49	347.31	1.68
131	4246.74	7092.65	3070.22	336.97	1.66
132	4264.93	7173.48	3013.38	327.66	1.66
133	4283.05	7246.98	2953.36	319.86	1.65
134	4301.32	7313.92	2890.84	312.77	1.57
135	4319.04	7371.56	2826.06	304.69	1.43
136	4335.41	7419.24	2760.04	296.05	1.36
137	4350.63	7459.31	2693.70	287.89	1.35
138	4365.61	7492.09	2627.50	280.47	1.34
139	4381.17	7517.70	2561.91	273.89	1.34
140	4397.63	7536.18	2497.29	267.96	1.31
141	4414.90	7547.62	2433.91	262.25	1.26
142	4432.88	7552.23	2372.21	256.87	1.23
143	4451.72	7550.31	2312.57	252.10	1.22
144	4471.68	7542.15	2255.21	247.91	1.22
145	4492.99	7528.05	2200.28	244.28	1.22
146	4514.57	7505.06	2144.5	236.38	0.78
147	4533.08	7472.27	2086.28	222.61	0.45

ตารางที่ 4.9-3 ซลภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 (ต่อ)

time(hr)	ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	ลุ่มน้ำย่อยที่ 38	ลุ่มน้ำย่อยที่ 95	ลุ่มน้ำย่อยที่ 203	ลุ่มน้ำย่อยที่ 182
148	4547.28	7432.02	2027.40	208.15	0.37
149	4558.53	7384.22	1967.21	193.88	0.35
150	4569.04	7328.85	1905.50	180.33	0.34
151	4580.19	7265.97	1841.88	167.84	0.33
152	4592.61	7195.69	1776.43	156.57	0.32
153	4606.55	7118.21	1711.65	146.56	0.32
154	4622.13	7033.85	1646.79	137.74	0.32
155	4639.38	6943.07	1580.19	130.01	0.31
156	4658.31	6846.39	1515.24	123.27	0.31
157	4678.94	6744.40	1448.83	117.37	0.3
158	4701.24	6637.70	1382.52	112.22	0.30
159	4725.21	6526.90	1318.22	107.7	0.30
160	4750.80	6412.55	1256.49	103.72	0.29
161	4777.99	6295.15	1197.63	100.19	0.29
162	4806.72	6175.17	1141.82	97.06	0.29
163	4836.96	6053.03	1089.14	94.25	0.29
164	4868.63	5929.12	1039.63	91.73	0.28
165	4901.67	5803.83	1014.36	89.44	0.28
166	4936.02	5677.54	1027.91	87.36	0.28
167	4971.60	5550.55	981.17	85.46	0.28
168	5008.33	5423.14	930.24	83.71	0.27
169	5046.13	5295.58	883.18	82.09	0.27
170	5084.91	5168.16	840.62	80.58	0.27
171	5124.57	5041.18	802.25	79.18	0.27
172	5165.03	4914.91	767.65	77.86	0.27
173	5206.19	4789.60	736.42	76.62	0.27
174	5247.94	4665.49	708.19	75.46	0.26
175	5290.19	4542.78	682.65	74.35	0.26
176	5332.83	4421.66	659.48	73.31	0.26
177	5375.75	4302.46	638.43	72.31	0.26
178	5418.86	4190.59	619.27	71.36	0.26
179	5462.04	4083.91	601.78	70.46	0.26
180	5505.19	3977.64	585.79	69.59	0.25
181	5548.20	3871.65	1314.67	68.76	0.25
182	5590.97	3766.34	1061.27	67.97	0.25
183	5633.39	3662.20	685.62	67.20	0.25
184	5675.35	3559.89	561.20	66.47	0.25
185	5716.76	3460.05	507.68	65.76	0.25
186	5757.50	3363.15	480.89	65.07	0.25
187	5797.47	3269.33	465.62	64.41	0.25
188	5836.58	3178.57	455.67	63.77	0.24
189	5874.73	3090.94	448.32	63.16	0.24
190	5911.82	3006.44	442.31	62.56	0.24
191	5947.75	2924.93	437.02	61.98	0.24
192	5982.44	2846.05	432.15	61.42	0.24
193	6015.80	2769.47	427.57	60.87	0.24
194	6047.75	2694.96	423.19	60.34	0.24
195	6078.19	2622.40	418.97	59.83	0.24
196	6107.06	2551.71	414.89	59.32	0.24

ตารางที่ 4.9-3 ขดภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 (ต่อ)

time(hr)	ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	ลุ่มน้ำย่อยที่ 38	ลุ่มน้ำย่อยที่ 95	ลุ่มน้ำย่อยที่ 203	ลุ่มน้ำย่อยที่ 182
197	6134.28	2482.90	410.92	58.83	0.24
198	6159.77	2415.97	407.07	58.34	0.24
199	6183.47	2350.94	403.31	57.87	0.23
200	6205.32	2287.86	399.65	57.40	0.23
201	6225.27	2226.74	396.08	56.94	0.23
202	6243.24	2167.64	392.58	56.49	0.23
203	6259.21	2110.57	389.17	56.05	0.23
204	6273.11	2055.54	385.83	55.62	0.23
205	6284.91	2002.57	382.57	55.19	0.23
206	6294.58	1951.62	379.37	54.77	0.23
207	6302.08	1902.70	376.24	54.36	0.23
208	6307.39	1855.76	373.19	53.96	0.23
209	6310.48	1810.77	370.19	53.56	0.23
210	6311.33	1768.41	367.26	53.17	0.23
211	6309.94	1733.59	364.39	52.79	0.22
212	6306.30	1704.54	361.57	52.42	0.22
213	6300.40	1677.04	358.79	52.05	0.22
214	6292.23	1649.57	356.06	51.69	0.22
215	6281.82	1621.79	353.38	51.34	0.22
216	6269.16	1593.75	350.75	50.99	0.22
217	6254.26	1565.64	348.16	50.66	0.22
218	6237.16	1537.64	345.61	50.32	0.22
219	6217.86	1509.94	343.12	50.00	0.22
220	6196.39	1482.67	340.67	49.68	0.22
221	6172.79	1455.97	338.28	49.37	0.22
222	6147.09	1429.92	335.93	49.06	0.22
223	6119.32	1404.60	333.63	48.77	0.22
224	6089.51	1380.06	331.37	48.48	0.22
225	6057.73	1356.35	329.17	48.19	0.22
226	6024.00	1333.49	327.01	47.92	0.22
227	5988.38	1311.62	324.90	47.65	0.21
228	5950.93	1290.77	322.83	47.38	0.21
229	5911.68	1270.83	320.80	47.13	0.21
230	5870.71	1251.74	318.82	46.87	0.21
231	5828.06	1233.44	316.87	46.63	0.21
232	5783.80	1215.87	314.97	46.38	0.21
233	5737.99	1199.00	313.10	46.14	0.21
234	5690.70	1182.82	311.26	45.91	0.21
235	5641.99	1167.29	309.46	45.68	0.21
236	5591.93	1152.39	307.69	45.46	0.21
237	5540.58	1138.11	305.96	45.24	0.21
238	5488.01	1124.41	304.25	45.02	0.21
239	5434.3	1111.27	302.58	44.80	0.21
240	5379.51	1098.66	300.93	44.59	0.21
241	5323.72	1086.57	299.31	44.39	0.21
242	5266.99	1074.97	297.72	44.18	0.21
243	5209.39	1063.83	296.16	43.98	0.21
244	5151.00	1053.13	294.62	43.78	0.21
245	5091.89	1042.91	293.11	43.58	0.21

ตารางที่ 4.9-3 สภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 (ต่อ)

time(hr)	ถ่มน้ำย่อยที่ 1	ถ่มน้ำย่อยที่ 38	ถ่มน้ำย่อยที่ 95	ถ่มน้ำย่อยที่ 203	ถ่มน้ำย่อยที่ 182
246	5032.11	1033.20	291.62	43.39	0.21
247	4971.75	1023.99	290.15	43.20	0.21
248	4910.87	1015.20	288.71	43.00	0.21
249	4849.54	1006.75	287.29	42.81	0.21
250	4787.82	998.59	285.88	42.62	0.21
251	4725.78	990.68	284.50	42.43	0.20
252	4663.47	982.98	283.14	42.25	0.20
253	4600.97	975.56	281.80	42.06	0.20
254	4538.33	968.61	280.47	41.88	0.20
255	4475.61	962.07	279.15	41.70	0.20
256	4412.86	955.75	277.85	41.52	0.20
257	4350.15	949.52	276.56	41.34	0.20
258	4287.53	943.33	275.27	41.17	0.20
259	4225.04	937.16	274.00	40.99	0.20
260	4162.75	931.03	272.74	40.82	0.20
261	4100.69	924.97	271.49	40.65	0.20
262	4038.91	919.12	270.26	40.48	0.20
263	3977.45	913.38	269.04	40.31	0.20
264	3916.37	907.72	267.83	40.14	0.20
265	3855.69	902.41	266.64	39.98	0.20
266	3795.46	897.49	265.46	39.82	0.20
267	3735.72	892.70	264.29	39.66	0.20
268	3676.50	887.89	263.14	39.50	0.20
269	3617.83	883.01	262.01	39.34	0.20
270	3559.74	878.07	260.89	39.19	0.20
271	3502.26	873.10	259.79	39.04	0.20
272	3445.43	868.11	258.70	38.89	0.20
273	3389.25	863.13	257.62	38.74	0.20
274	3333.77	858.18	256.56	38.59	0.20
275	3278.99	853.27	255.50	38.45	0.20
276	3224.95	848.41	254.46	38.31	0.20
277	3171.65	843.61	253.42	38.17	0.20
278	3119.11	838.88	252.39	38.03	0.20
279	3067.36	834.23	251.38	37.89	0.20
280	3016.39	829.65	250.37	37.76	0.20
281	2966.23	825.16	249.38	37.63	0.20
282	2916.88	820.88	248.40	37.5	0.19
283	2868.35	816.97	247.43	37.37	0.19
284	2820.65	813.09	246.47	37.24	0.19
285	2773.78	809.20	245.52	37.11	0.19
286	2727.75	805.31	244.59	36.99	0.19
287	2682.57	801.43	243.66	36.86	0.19
288	2638.23	797.57	242.75	36.74	0.19
289	2594.73	793.74	241.85	36.62	0.19
290	2552.08	789.95	240.96	36.5	0.19
291	2510.27	786.19	240.07	36.38	0.19
292	2469.29	782.48	239.20	36.26	0.19
293	2429.16	778.82	238.34	36.14	0.19
294	2389.85	775.20	237.48	36.02	0.19

ตารางที่ 4.9-3 ชลภาพของ PMF ที่ประมาณจาก PMP แบบที่ 1 (ต่อ)

time(hr)	ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	ลุ่มน้ำย่อยที่ 38	ลุ่มน้ำย่อยที่ 95	ลุ่มน้ำย่อยที่ 203	ลุ่มน้ำย่อยที่ 182
295	2351.37	771.63	236.63	35.90	0.19
296	2313.70	768.11	235.79	35.78	0.19
297	2276.85	764.64	234.96	35.67	0.19
298	2240.80	761.21	234.13	35.55	0.19
299	2205.55	757.83	233.3	35.43	0.19
300	2171.08	754.49	232.49	35.31	0.19
301	2137.39	751.19	231.67	35.19	0.19
302	2104.47	747.94	230.87	35.08	0.19
303	2072.30	744.72	230.06	34.96	0.19
304	2040.89	741.54	229.27	34.84	0.19
305	2010.20	738.40	228.48	34.73	0.19
306	1980.24	735.30	227.71	34.61	0.19
307	1951.00	732.22	226.94	34.50	0.19
308	1922.45	729.18	226.17	34.38	0.19
309	1894.59	726.17	225.40	34.27	0.19
310	1867.40	723.20	224.64	34.15	0.19
311	1840.88	720.25	223.87	34.04	0.19

4.9.4 เปรียบเทียบผลจากปรากฏการณ์ La Nina

Kripalani nad Kulkarni (1997) พบว่าภูมิภาคใกล้เส้นศูนย์สูตร แนวโน้วของฝนรายปีตกหนักติดต่อกัน หรือฝนรายปีน้อยทำให้เกิดการแห้งแล้วติดต่อกันอยู่ในวงรอบประมาณ 10 ปี ส่วนภูมิภาคร้อนชื้นที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรวงรอบอยู่ประมาณ 30 ปี ปรากฏการณ์จาก La Nina มีผลต่อปริมาณน้ำฝนรายปีสำหรับรอบหลายปีที่มีฝนมาก สำหรับประเทศไทยพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยรายปี 5 เปอร์เซ็นต์ เหตุการณ์น้ำท่วมรุนแรงอาจเกิดขึ้นเมื่อวงรอบของหลายปีที่มีฝนมากติดต่อกันตรงกับวงรอบของการเกิดปรากฏการณ์ La Nina

ปรากฏการณ์ La Nina ซึ่งตรงข้ามกับปรากฏการณ์ El Nino ทำให้ปริมาณน้ำฝนมีค่าสูงขึ้น เมื่อปรับให้ค่า PMP มีปริมาณมากขึ้น 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปรากฏการณ์ La Nina พบว่าค่า PMF ที่ประมาณ ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำฝนมากขึ้น

ตารางที่ 4.9-2 กรณี (ข) แสดงค่า PMF ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฝน PMP มีค่าเพิ่มขึ้น 5-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่มีโอกาสที่ PMP แบบที่ 1 เกิดร่วมกับปรากฏการณ์ La Nina ทำให้ปริมาณฝนเพิ่มขึ้น 5% ประมาณ PMF ที่เขื่อนภูมิพลได้ 6,784 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

4.9.5 ผลการย้ายตำแหน่งศูนย์กลางพายุฝน PMP

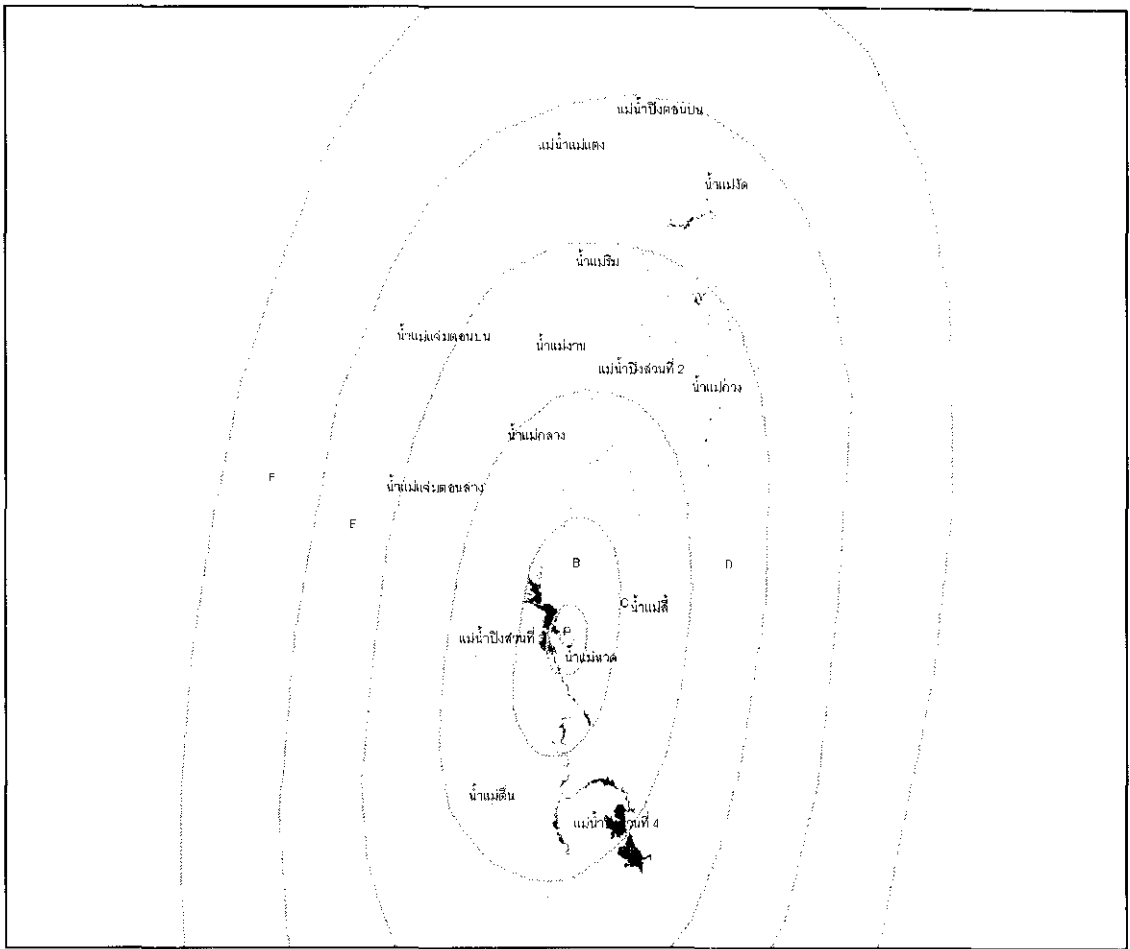
หากย้ายตำแหน่งศูนย์กลางพายุฝน PMP ลงไปทางทิศใต้ ทำให้ศูนย์กลางของ PMP อยู่ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 40 และ 24 รูปที่ 4.9-3 และ 4.9-4 และ รูปที่ 4.9-5 และ 4.9-6 แสดงชลภาพ

PMF ที่ประมาณได้ที่ลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ ตารางที่ 4.9-2 แสดงตัวเลขความแตกต่างของ PMF ระหว่างลุ่มน้ำย่อยที่ 1, 38 และ 89 มีค่าลดลง PMF ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 มีค่าสูงกว่าลุ่มน้ำย่อยที่ 38 และ 89 เมื่อศูนย์กลางของ PMP อยู่ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 24 แต่ค่า PMF ที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 ที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ PMP มีจุดศูนย์กลางที่กึ่งกลางลุ่มน้ำ หรือที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 78 การเลื่อนจุดศูนย์กลาง PMP ลงมาทางทิศใต้ ทำให้ปริมาณฝนทางตอนเหนือและฝนรวมทั้งพื้นที่ (areal rainfall) ลดลง น้ำท่าที่ไหลเข้าสู่ลุ่มน้ำย่อยที่ 38 และ 89 ลดลง ฝนตกหนักในลุ่มน้ำย่อยทางทิศใต้ของลุ่มน้ำปึงตอนบนมากขึ้น จึงทำให้ PMF ที่เกิดที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 มีค่าสูงสุด

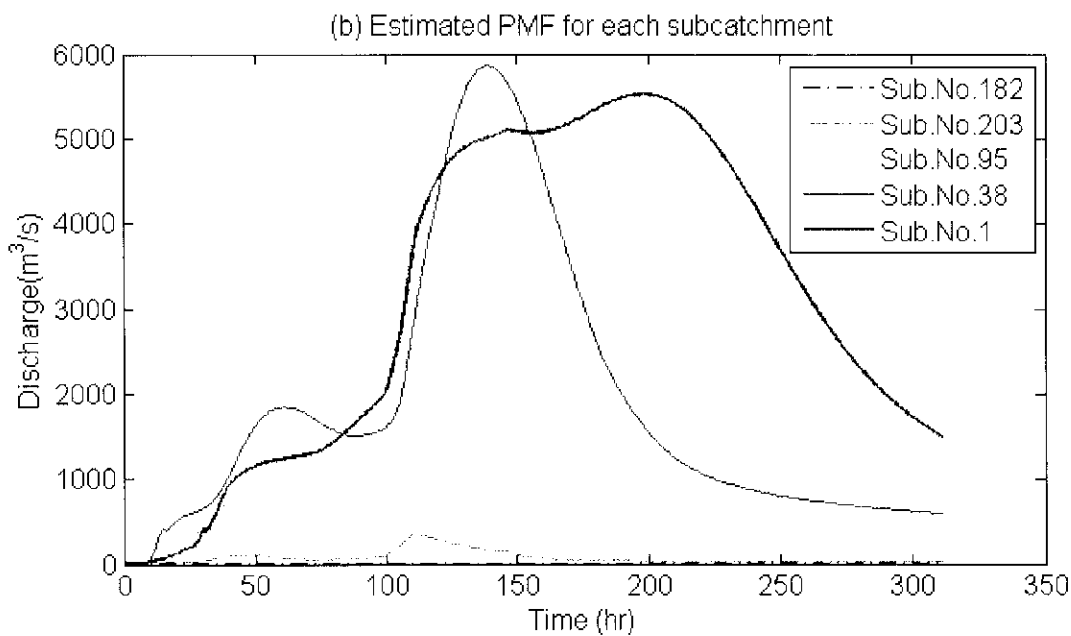
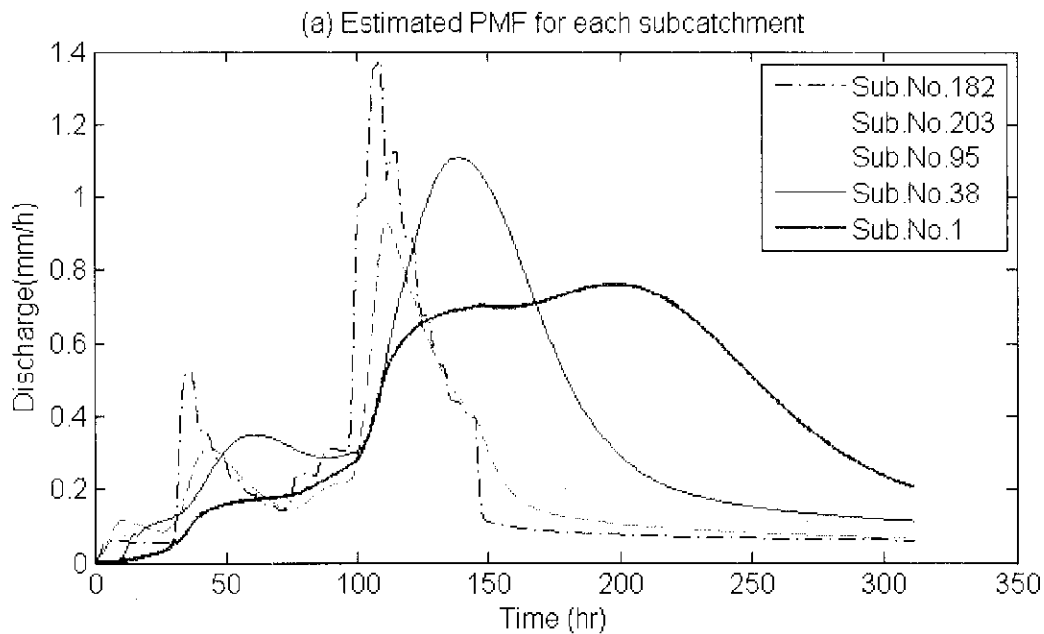
4.9.6 ผลการใช้พารามิเตอร์จาก Main channel เท่านั้น

หากใช้ rating curve จากกราฟวัดซึ่งเป็นการไหลในลำน้ำหลักนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ m, k เมื่อเปลี่ยน rating curve เป็นกราฟ $S - Q$ curve นำไปใช้สำหรับการคำนวณการไหลในกรณีการไหลสั้นตลิ่งด้วย โดยมีสมมุติฐานว่าลักษณะทางชลศาสตร์ ความต้านทานการไหลของการไหลสั้นตลิ่งหรือการไหลในที่ราบน้ำท่วม (floodplain) เหมือนกับการไหลในลำน้ำหลัก

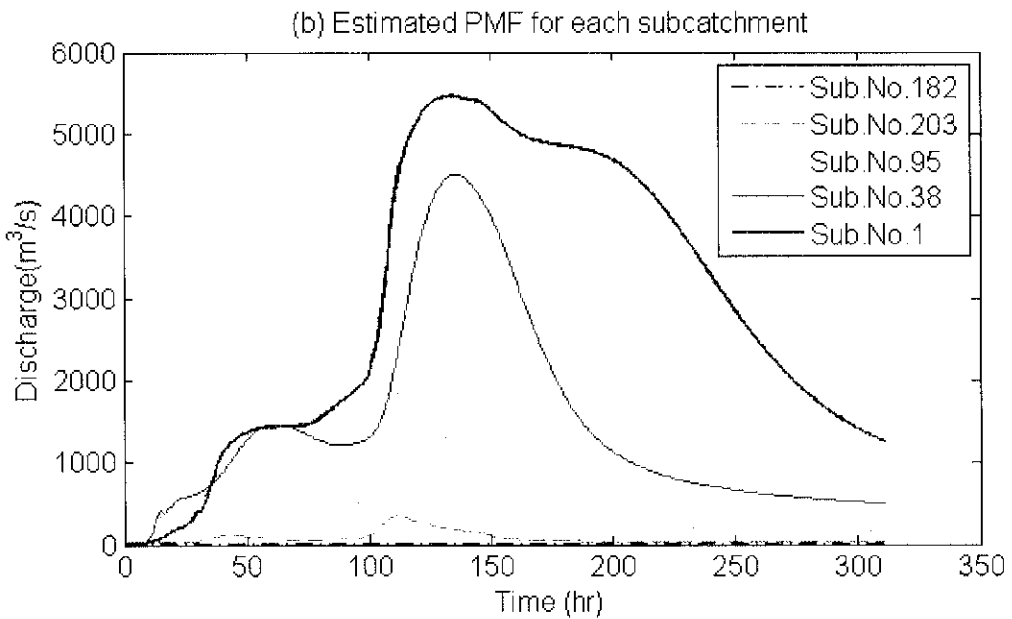
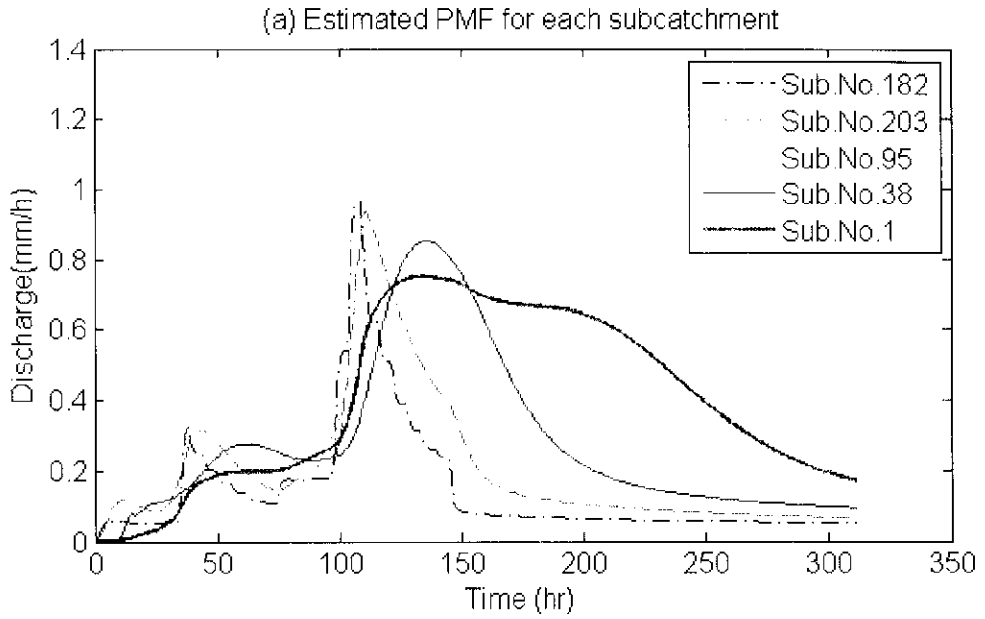
รูปที่ 4.9-7 แสดงรูปร่างของชลภาพ PMF ที่ใช้พารามิเตอร์สำหรับการไหลจาก main channel ตารางที่ 4.9-2 แสดงค่าการประมาณ PMF ที่เขื่อนภูมิพลมีค่าสูงถึง 16,121 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สูงกว่ากรณี (ก) หัวข้อ 4.9.1 มาก แสดงให้เห็นว่า หากใช้ข้อมูลของลำน้ำหลักต่อกราฟ (extrapolation) มาใช้สำหรับ compound channel ด้วย จะได้ค่า PMF ที่สูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น สภาพความต้านทานการไหลในที่ราบน้ำท่วม ที่เกิดจากพืชพรรณ สิ่งปลูกสร้างมีส่วนสำคัญให้ชะลออัตราการไหลสั้นตลิ่ง ทำให้ค่า PMF น้อยลง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า PMF จากลุ่มน้ำย่อยขนาดต่าง ๆ PMF ที่เขื่อนภูมิพลมีค่าสูงสุด



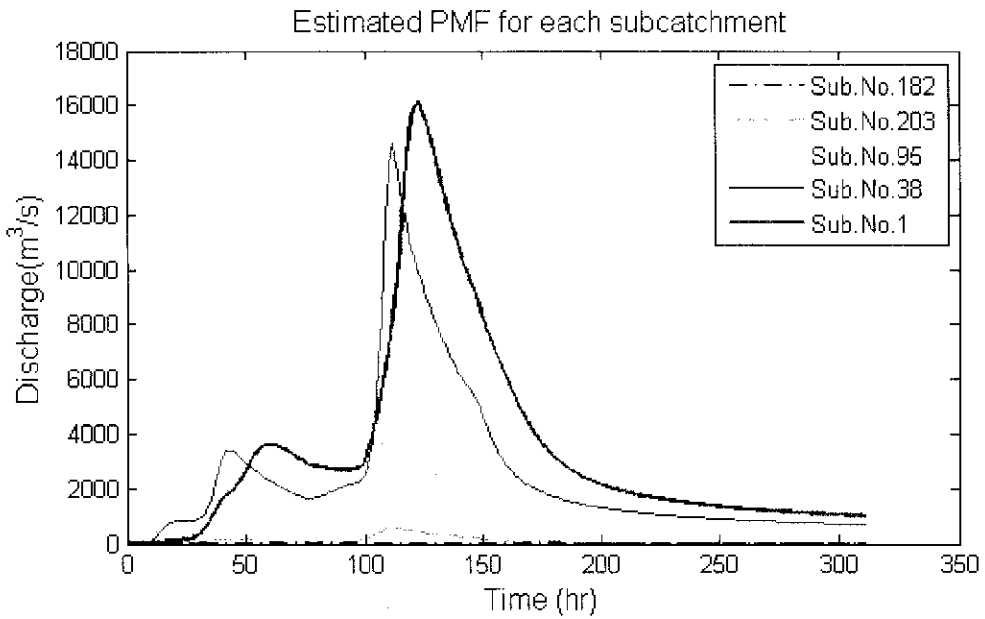
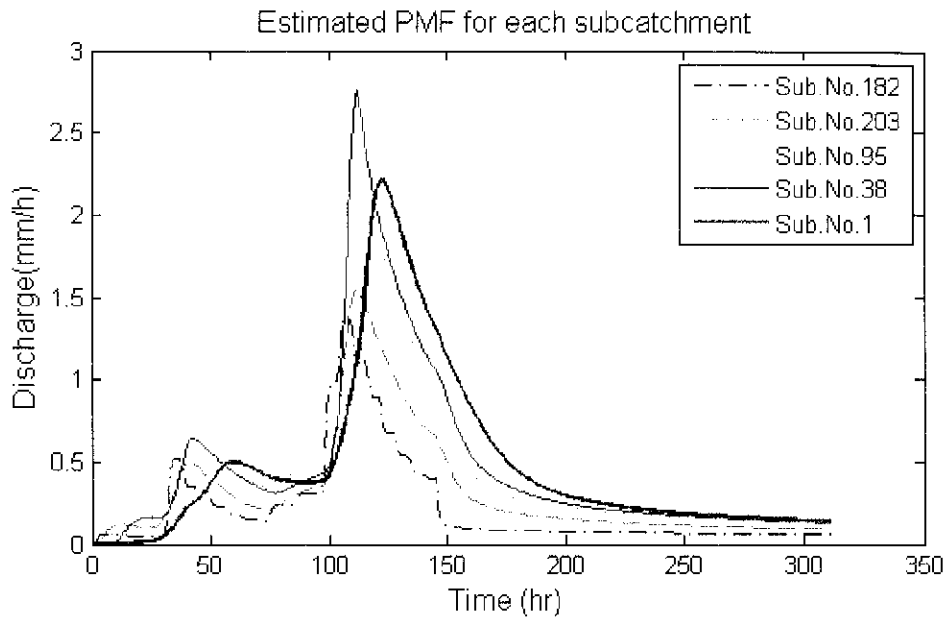
รูปที่ 4.9-3 การย้ายศูนย์กลาง PMP มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 40



รูปที่ 4.9-5 ผลภาพของ PMF ที่ประมาณได้จากการย้ายจุดศูนย์กลาง PMP แบบที่ 1 มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 40 เปรียบเทียบกับ 5 ลุ่มน้ำย่อย (a) อัตราการไหลเป็น mm/h (b) อัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.9-6 ผลภาพของ PMF ที่ประมาณได้จากการย้ายจุดศูนย์กลาง PMP แบบที่ 1 มาที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 24 เปรียบเทียบกับ 5 ลุ่มน้ำย่อย (a) อัตราการไหลเป็น mm/h (b) อัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.9-7 ผลภาพของ PMF เกิดจาก PMP แบบที่ 1 โดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์ของ main channel เท่านั้น เปรียบเทียบกับ 5 ลุ่มน้ำย่อย (a) อัตราการไหลเป็น mm/h (b) อัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

4.9.7 ผลการลดลงของพื้นที่ป่าไม้

การแปลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท ถ่ายเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 ทำให้จำแนกลักษณะการใช้ที่ดินได้เป็น 7 รูปแบบ รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.2.1 การใช้ที่ดินประเภทการใช้ที่ดินที่มีสัดส่วนมากที่สุดคือ พื้นที่ป่าไม้ มีอัตราส่วนมากถึงร้อยละ 77 หรือเป็นพื้นที่ 20,240 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากจำนวนประชากรในกลุ่มน้ำปิงตอนบนมีโอกาสเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีความต้องการพื้นที่ทำกินเพิ่มขึ้น พื้นที่ป่าไม้จึงมีโอกาสลดลง ถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อ ตรวจสอบผลกระทบการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ต่อสมดุลของน้ำในกลุ่มน้ำและค่า PMF จึงได้กำหนดเงื่อนไขว่าหากพื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 10 20 และ 30 จากปัจจุบันที่มีอยู่ จะมีผลต่อค่า PMF อย่างไร ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. กรณีพื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 10 ใช้ แฟกเตอร์ 0.9 คูณกับค่าสัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยป่าไม้ (M) ในสมการสมดุลของน้ำ (หัวข้อ 4.4.1) สำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อย ส่วนกรณีพื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 20 และ 30 ใช้ แฟกเตอร์ 0.8 และ 0.7 ตามลำดับ เมื่อป่าไม้ลดลงการตัด (interception) ลดลง กำหนดเป็นร้อยละ 9, 8 และ 7 เมื่อพื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ

2. ใช้แบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน หาค่าความชื้นในดินของกลุ่มน้ำย่อยใหม่ในภาวะที่ลุ่มน้ำเปียก (antecedent soil-moisture storage) เนื่องจากค่า M ที่เปลี่ยนแปลง ตามขั้นตอนในรูปที่ 3.2-1

3. นำความชื้นในดินของกลุ่มน้ำย่อยจากข้อ 2 เป็นความชื้นเริ่มต้น นำไปใช้กับแบบจำลองสมดุลของน้ำรายชั่วโมง ซึ่งใช้แฟกเตอร์ตามข้อ 1 สำหรับค่า M ในแบบจำลองด้วยเช่นกันและมีกระบวนการไหลในโครงข่ายลำน้ำ เพื่อเปลี่ยน PMP ให้เป็นการไหลออกและคำนวณหาค่า PMF หลังจากการไหลที่ลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ

ตารางที่ 4.9-2 กรณี (จ) แสดงให้เห็นว่า เมื่อพื้นที่ป่าไม้ลดลง จะทำให้ PMF มีค่าสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำฝนถูกเปลี่ยนเป็นการคายระเหยลดลงเมื่อพื้นที่ป่าไม้ลดลง แต่เปลี่ยนเป็นการไหลออกมากขึ้น โดยเฉพาะที่เขื่อนภูมิพล (ลุ่มน้ำย่อยที่ 1) หากพื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 10, 20 และ 30 มีผลทำให้ PMF มีค่าสูงขึ้นจากเดิม (6,311 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) เป็น 6507, 6703 และ 6894 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.1, 6.2 และ 9.2 ตามลำดับ

การลดลงของพื้นที่ป่าไม้มีผลทำให้ปริมาณฝนถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณน้ำท่ามากขึ้น แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ PMF ในสัดส่วนที่น้อยกว่า ทั้งนี้หากพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ หรือการใช้ที่ดินบริเวณที่ราบน้ำท่วม (floodplain) คาดว่าจะมีผลต่อ PMF มากกว่า เพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการชะลอการไหลล้นตลิ่ง

4.10 การประมาณค่า PMF โดยวิธีเอกชลภาพ

การคำนวณหาเอกชลภาพ (Unit Hydrograph, UH) ของลุ่มน้ำสาขาต่างๆ ในลุ่มน้ำปึงตอนบน ได้ใช้ผลการศึกษาของ วีระพล แต่สมบัติ (2544) มีวิธีการศึกษาสรุปได้ดังนี้

4.10.1 การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. เลือกกราฟน้ำท่าวมที่สำคัญจากสถานีวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำ
2. เปลี่ยนให้เป็นเอกชลภาพ และทำการตัดเอกชลภาพที่ไม่เข้ากลุ่มออก
3. นำค่าเวลาเกิดน้ำท่าสูงสุด (t_p) และปริมาณน้ำท่าสูงสุด (q_p) ของเอกชลภาพที่

เลือกในแต่ละสถานีมาเฉลี่ย เพื่อหาตัวแทนเอกชลภาพในแต่ละสถานี

4. เปลี่ยนให้เป็นเอกชลภาพไร้มิติ (Dimensionless Unit Hydrograph) หรือใช้ข้อมูลเอกชลภาพไร้มิติที่ศึกษาไว้แล้ว

5. ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ความสัมพันธ์ระหว่างลุ่มน้ำ-ลำน้ำ คือขนาดลุ่มน้ำ (A) ความยาวลำน้ำหลัก (L) ความยาวลำน้ำจากจุดศูนย์กลางลุ่มน้ำ (L_c) และความลาดชันของลำน้ำ (S) ของลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่าแต่ละสถานี แล้วใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ - ลำน้ำและพารามิเตอร์เอกชลภาพของสถานีวัดน้ำท่าที่มีผู้ศึกษาไว้แล้ว ทำการหาความสัมพันธ์ สมการ $t_p = a(LL_c\sqrt{S})^b$ และ $q_p/A = c(t_p)^d$ โดย a, b, c และ d เป็นค่าคงที่

6. จากนั้นใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ - ลำน้ำของแต่ละลุ่มน้ำย่อยที่ได้แบ่งไว้ คำนวณค่าเอกชลภาพของลุ่มน้ำย่อยที่ได้จากเอกชลภาพไร้มิติของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ

7. เลือกเอกชลภาพไร้มิติที่ทำให้เอกชลภาพของแต่ละลุ่มน้ำย่อย มี depth = 1 มากที่สุด

8. ได้เอกชลภาพของแต่ละลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ

รูปที่ 4.10-2 แสดงรูปร่างเอกชลภาพจากการสังเคราะห์สำหรับ 22 ลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำปึง

4.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดด้วยวิธี Regional Analysis

มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ใช้ข้อมูลปริมาณการไหลสูงสุดของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง
2. ทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล ในขณะที่เดียวกันทำการหาพื้นที่รับน้ำของแต่ละสถานี หากค่าปริมาณการไหลสูงสุดเฉลี่ยของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า และหาพื้นที่ลุ่มน้ำของแต่ละลุ่มน้ำย่อย แล้วสร้างสมการความสัมพันธ์ $Q_p = aA^b$ จะได้ปริมาณน้ำนองสูงสุด

เฉลี่ยของลุ่มน้ำย่อย

โดย Q_F = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของกลุ่มน้ำย่อย, m³/s
 A = พื้นที่กลุ่มน้ำย่อย, km²
 a = ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย = 0.35757
 b = ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย = 0.829710
 R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ = 0.925398

3. เมื่อทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล ได้ค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่าง ๆ
4. หาอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุดต่อปริมาณการไหลสูงสุดเฉลี่ยที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ Q_T ของแต่ละสถานี
5. ได้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุดต่อปริมาณการไหลสูงสุดเฉลี่ยที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ (Q_T/Q_F)
6. ได้ค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ของกลุ่มน้ำย่อย

4.10.3 การวิเคราะห์กราฟน้ำนองสูงสุดจากข้อมูลน้ำฝนของกลุ่มน้ำย่อย

มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

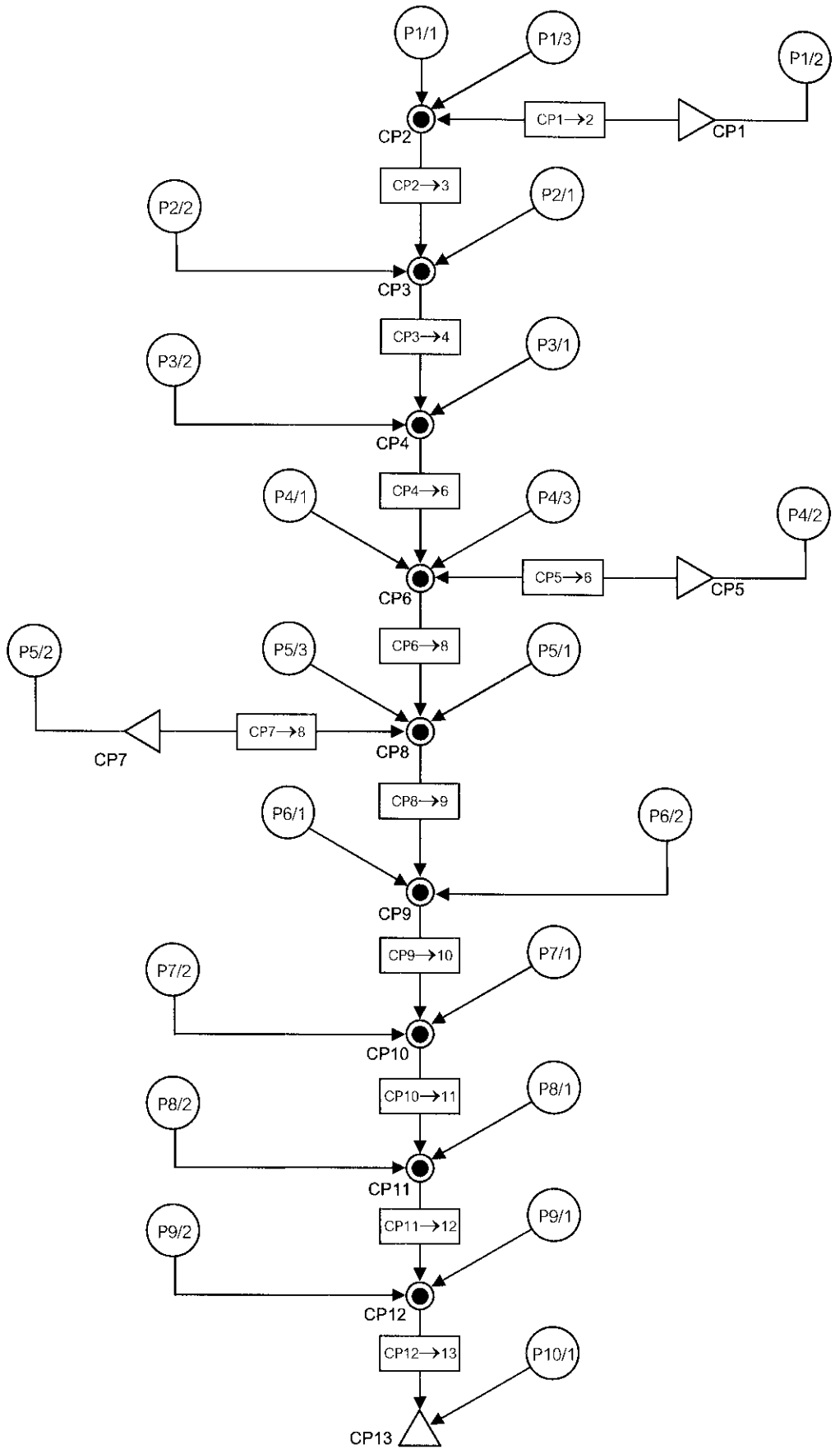
1. ใช้ข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายปีของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียงทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล ได้ปริมาณฝนที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ ของแต่ละสถานี
2. ได้ปริมาณฝนที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ ของแต่ละสถานี แล้วทำการเลือกสถานีตรรกะนี้เพื่อใช้ในการหาค่าเฉลี่ยน้ำฝนสำหรับกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ด้วยวิธีแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักอิสระ เช่น จะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสูงสุดของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย
3. จากนั้นใช้ข้อมูลกราฟแฟกเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ และขนาดพื้นที่รับน้ำฝนของกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ทำการหาค่าแฟกเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ (Areal reduction factor, ARF)
4. ได้ปริมาณฝนสูงสุดแบบ Areal Rainfall ของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย แล้วทำการแบ่งช่วงเวลาให้เท่ากับช่วงเวลาของ UH ทำการปรับลดด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณฝนและทำการจัดเรียงลำดับพายุฝนใหม่
5. ได้ปริมาณฝนสูงสุดส่วนเกินที่มีช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของเอกชลภาพของกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ โดยใช้ข้อมูลร่วมกับเอกชลภาพของแต่ละกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ทำการหาค่ากราฟน้ำท่าผิวดินของกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Q_B = a Q_p^b$ หาค่าการไหลพื้นฐาน โดยที่ $a = 0.060368$, $b = 0.964146$

6. ทำการตรวจสอบกับปริมาณน้ำนองสูงสุดด้วยวิธี Regional Analysis
7. ได้กราฟน้ำท่วมของกลุ่มน้ำย่อย
ลักษณะของเอกชลภาพที่ได้ แต่ละลุ่มน้ำสาขา แสดงในรูปที่ 4.10-2

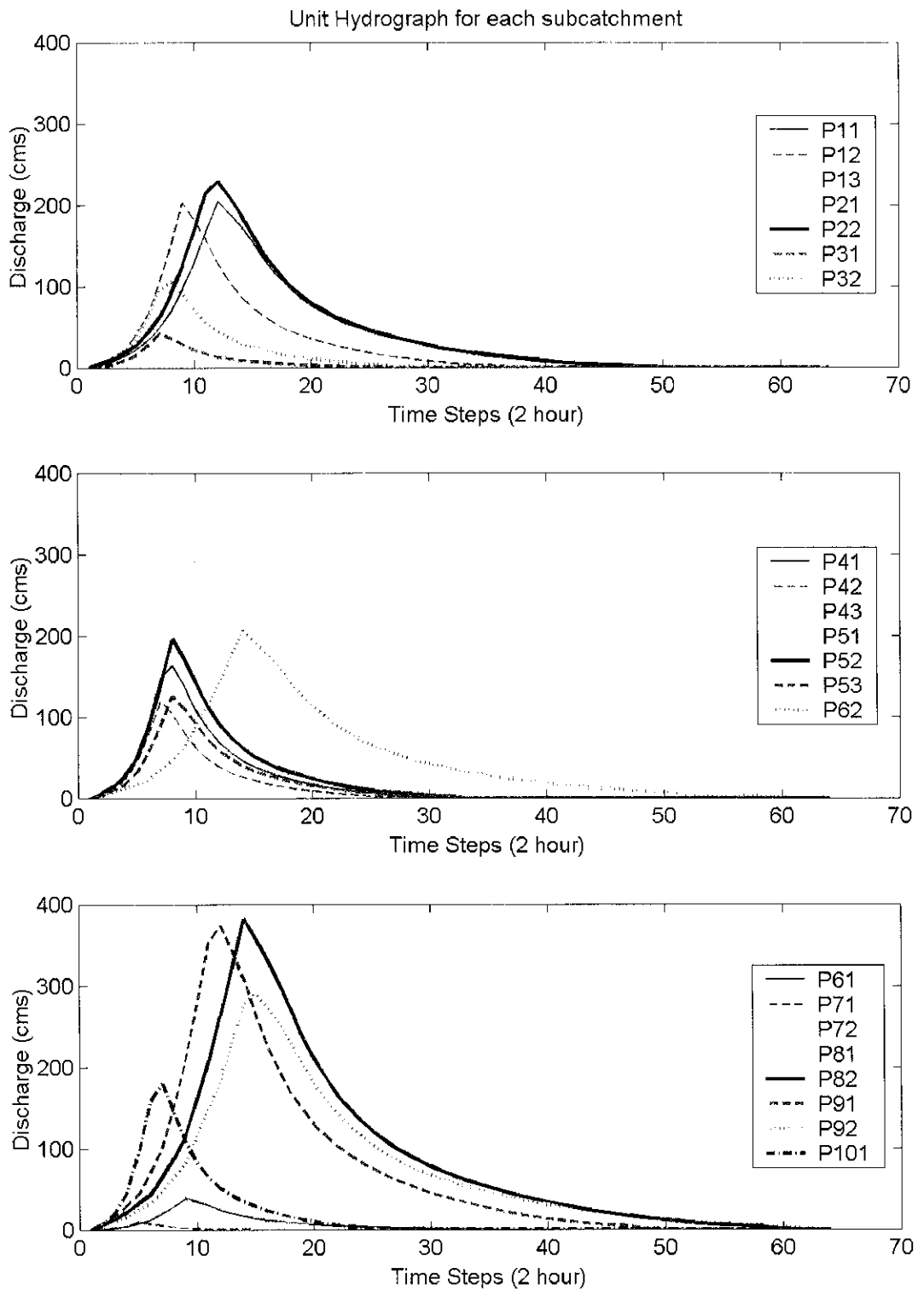
4.10.4 การประมาณค่า PMF

ใช้เอกชลภาพจาก รูปที่ 4.10-2 รับ PMP แบบที่ 1 เปลี่ยนเป็นฝนส่วนเกิน โดยคิดการตก 10 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าการสูญเสีย ϕ index ที่แตกต่างกันแต่ละลุ่มน้ำสาขา ตามตารางที่ 4.10-1 ใช้หลักการสมการ discrete convolution เปลี่ยนฝนส่วนเกินให้เป็น direct runoff ที่ออกมาจาก 22 ลุ่มน้ำสาขา ดังแสดงในรูปที่ 4.10-3 โดยอาศัยโครงข่ายลำน้ำตามรูปที่ 4.10-1 ใช้ทำการหลากในลำน้ำ วิธี Muskingum มีค่าพารามิเตอร์ $k=30$ ชั่วโมง $\Delta t=2$ ชั่วโมง และ $x=0.3$ ได้ผลการหลากแต่ละจุดควบคุมของโครงข่ายลำน้ำใน รูปที่ 4.10-4 ซึ่งได้ค่า PMF ที่เขื่อนภูมิพล (CP13) เกิดจาก PMP แบบที่ 1 มีค่า 8,749 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

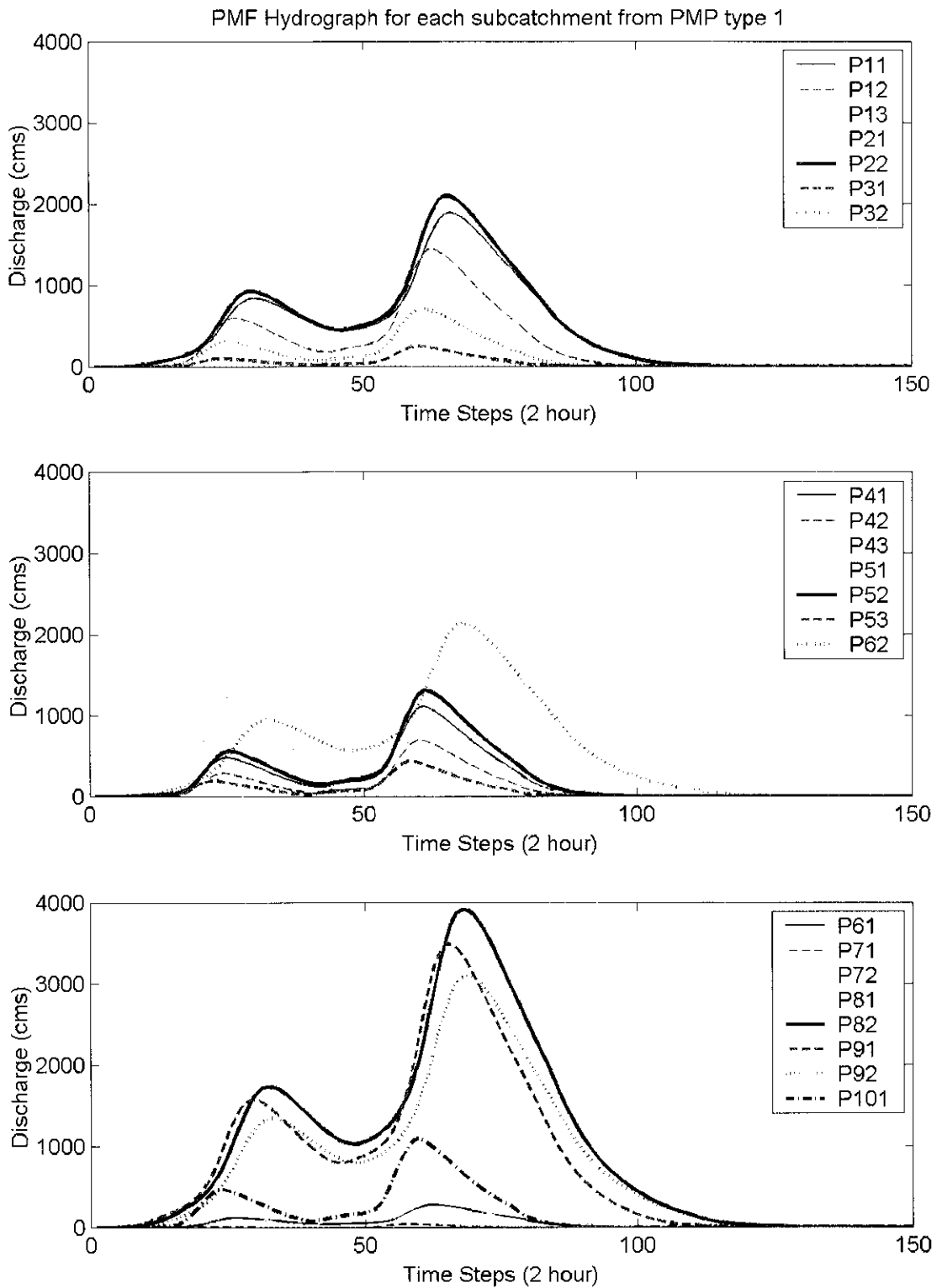
การเปรียบเทียบผลจากการใช้ PMP ทั้ง 4 แบบ ที่จุดควบคุมทั้ง 13 จุดให้ผล PMF ดังแสดงในตารางที่ 4.10-2 จุดที่ตั้งเขื่อนภูมิพล มีค่า PMF ที่เกิดจาก PMP 4 มีค่ามากที่สุด 13,670 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มากกว่า PMP 3 แบบที่เหลือ ซึ่งเป็นผลที่คล้ายกับการใช้ Extreme Flood Model



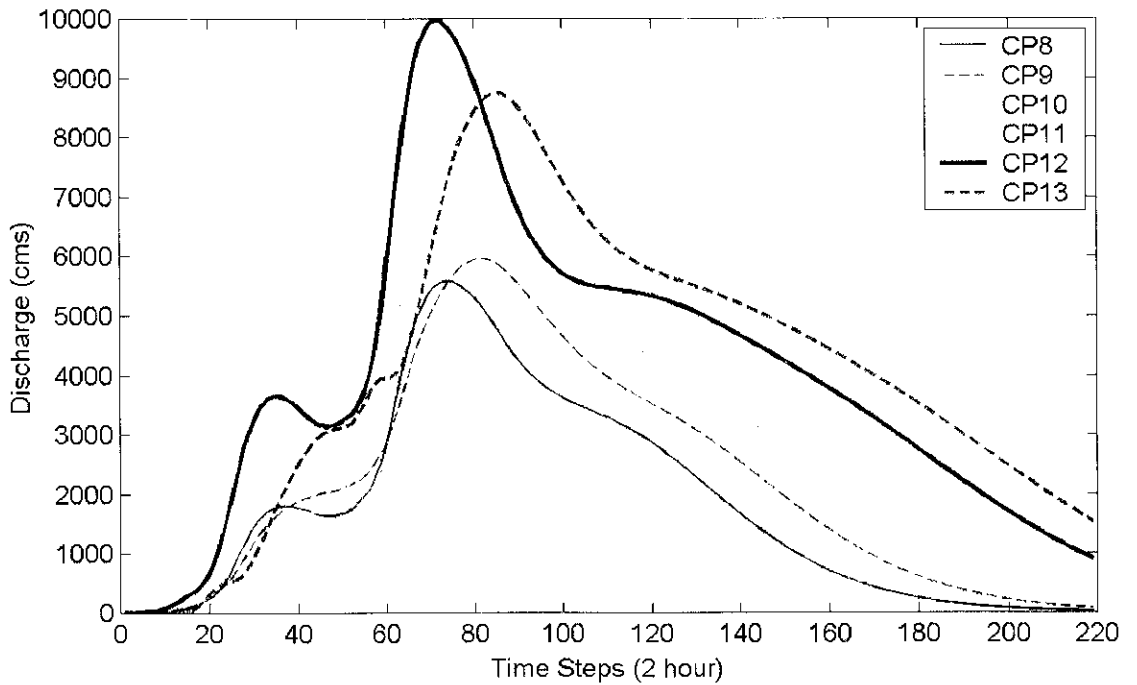
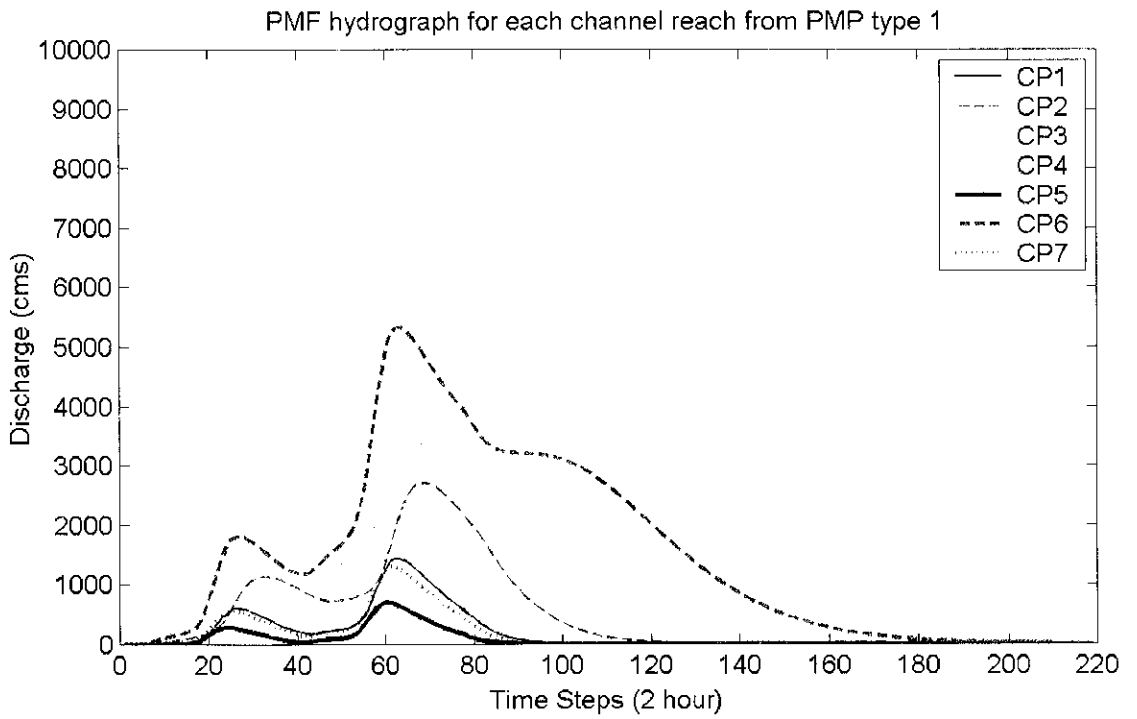
รูปที่ 4.10-1 แบบจำลองการไหลในโครงข่ายลำนำสู่เชื่อมภูมิพล ที่จุดควบคุมที่ 13 (CP13)



รูปที่ 4.10-2 เอกซลภาพของ 22 ลุ่มน้ำสาขา ในลุ่มน้ำปึงตอนบน



รูปที่ 4.10-3 ซลภาพ PMF จาก 22 สุ่มน้ำสาขา



รูปที่ 4.10-4 ซลภาพ PMF จาก 13 ช่วงของลำน้ำจุดควบคุมที่ 1 ถึง 13
 หลังจากการหลากในลำน้ำ

ตารางที่ 4.10-1 ข้อมูลทางกายภาพของ 22 กลุ่มน้ำสาขา

Old Code	Sub Num	Link Len (km)	Next	Link Area (km ²)	Total A (km ²)	Close Isohytal	Phi Index (cm/2hr)
1_1	22	122.31	19	1780.2	1780	5	0.077
1_3	21	3.44	19	3.9	4	5	0.321
1_2	20	97.27	19	1281.0	1281	5	0.135
2_1	19	35.36	17	213.2	3278	5	0.179
2_2	18	151.19	17	1970.8	1971	5	0.087
3_1	17	42.38	15	199.7	5449	4	0.153
3_2	16	58.78	15	578.3	578	4	0.128
4_3	15	76.04	12	2170.0	8197	4	0.092
4_1	14	75.77	12	891.2	891	4	0.117
4_2	13	53.83	12	569.0	569	5	0.160
5_1	12	38.27	9	306.2	9963	3	0.125
5_3	11	68.82	9	697.0	697	3	0.112
5_2	10	88.57	9	1085.0	1085	4	0.124
6_2	9	204.18	7	2115.0	13860	4	0.065
6_1	8	55.38	7	243.8	244	3	0.116
7_2	7	104.61	5	609.5	14714	3	0.114
7_1	6	9.97	5	30.2	30	1	0.218
8_1	5	37.6	3	479.6	15224	3	0.149
8_2	4	210.68	3	3914.8	3915	5	0.070
9_1	3	127.82	1	3217.9	22356	4	0.073
9_2	2	238.8	1	3189.6	3190	5	0.080
10_1	1	63.57	0	840.2	26386	5	0.134

ตารางที่ 4.10-2 ค่า PMF ที่ Control point ต่าง ๆ เมื่อใช้ PMP ทั้ง 4 แบบ

Control point	PMF (cms) ที่ PMP แบบต่าง ๆ			
	PMP1	PMP2	PMP3	PMP4
CP1	1,436	949	475	3,462
CP2	2,699	1,758	906	6,011
CP3	3,491	2,138	1,067	6,630
CP4	3,211	1,967	922	5,566
CP5	699	459	228	1,748
CP6	5,317	2,910	1,097	10,281
CP7	1,306	871	269	3,154
CP8	5,582	2,913	974	8,325
CP9	5,959	3,145	956	9,358
CP10	5,494	3,093	934	8,325
CP11	6,165	3,936	1,487	9,786
CP12	9,966	5,580	2,447	17,634
CP13	8,749	4,716	1,993	13,670

4.11 ผลการทบทวน Inflow design flood ในอดีต

การศึกษารายงานของ United State Department of the Interior (1955) .ในรายงานภาคผนวก I : Inflow design flood มีสาระสำคัญสรุปได้ดังนี้

1. ฝนสูงสุดออกแบบ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ปี ค.ศ. 1942 และ 1951 นำมาออกแบบเป็นพายุฝน 2 ลูกติดกัน โดยลูกที่ 2 มีปริมาณฝนมากกว่าลูกแรก 1.25 เท่า ทั้งนี้การออกแบบไม่ได้ระบุว่าเป็นฝนสูงสุดที่รอบการเกิดซ้ำ (return period) กี่ปี รูปที่ 4.11-1(a) แสดงฝนออกแบบรายวัน ช่วงเวลาทั้งหมด 23 วัน ความลึกปริมาณฝนสะสม 380 มิลลิเมตร

2. การหาค่าการสูญเสียของฝน (Loss) เพื่อเปลี่ยนฝนออกแบบให้เป็นฝนส่วนเกิน (Excess rainfall) ใช้อัตราที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าในอดีต ในปีค.ศ. 1942 นำมากำหนดให้มีอัตราการสูญเสีย 10 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วง 9 วันแรกหรือฝนลูกแรก และ มีอัตราการสูญเสีย 8 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วง 9 วันต่อมา

3. เอกชลภาพสร้างจากการวิเคราะห์ชลภาพที่สถานี วงกระเจ้า ซึ่งตั้งอยู่ใกล้เขื่อนภูมิพลมากที่สุด เลือกเอกชลภาพที่มี lag time 4 วัน รูปร่างของเอกชลภาพแสดงในรูปที่ 4.11-1(b)

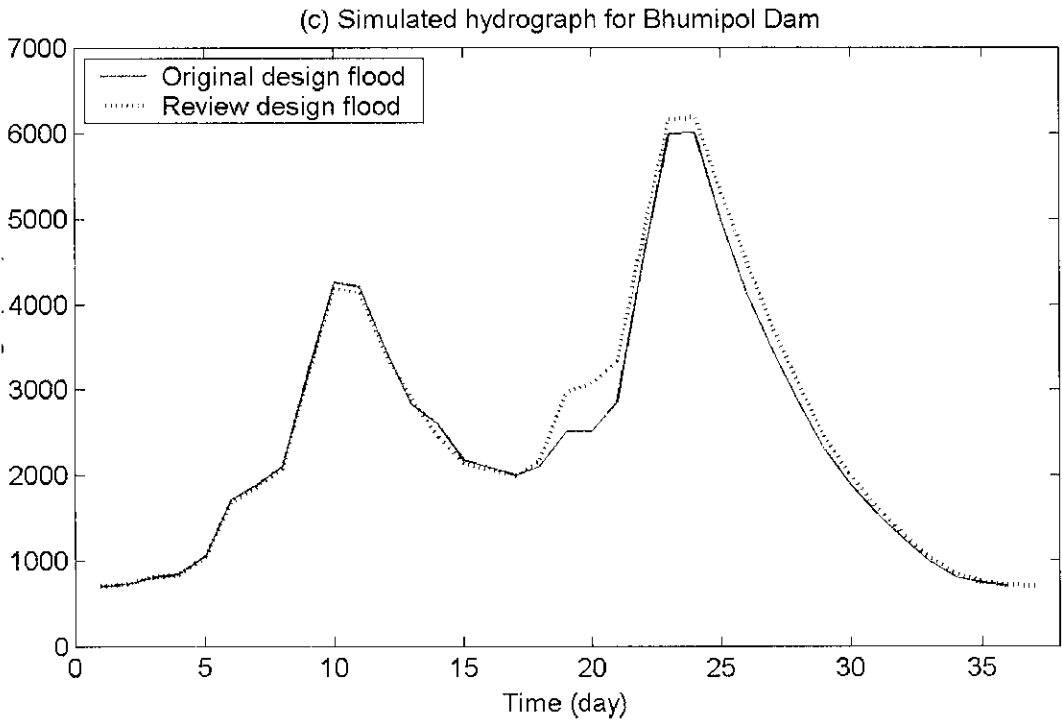
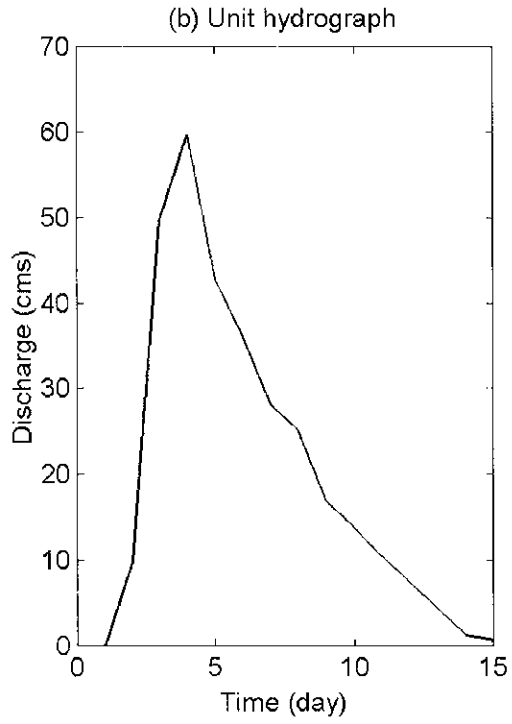
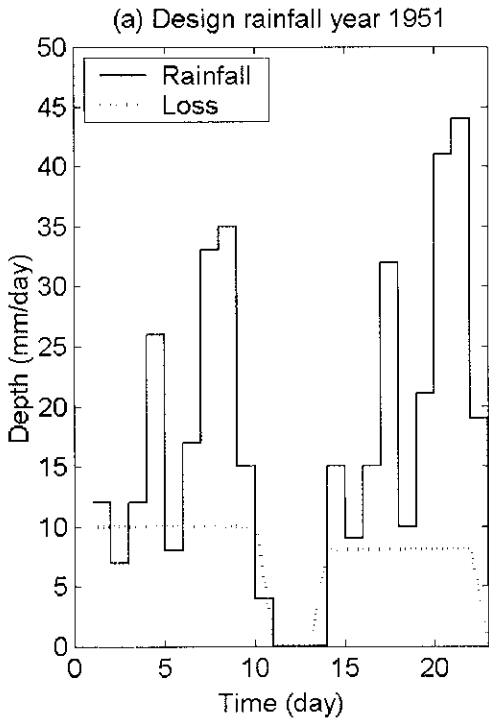
4. นำฝนส่วนเกินและเอกชลภาพมาคำนวณหาชลภาพ โดยใช้วิธี Convolution บวกกับการไหลพื้นฐาน (Base flow) 700 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ได้ ชลภาพ Inflow design flood สำหรับเขื่อนภูมิพล มีอัตราการไหลสูงสุด 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังแสดงใน รูปที่ 4.11-1(c)

ข้อสังเกตสำหรับการศึกษาในอดีตนี้คือ เนื่องจากการวิเคราะห์ชลภาพเป็นการทำจุดเดียวใช้ชลภาพจากสถานี วังกระเจ้า ไม่ได้แบ่งลุ่มน้ำปึงตอนบนเหนือที่ตั้งเขื่อนภูมิพลออกเป็นลุ่มน้ำย่อย จึงมีลักษณะเป็น Lumped unit hydrograph model ไม่ได้แยกกระบวนการไหลในโครงข่ายลำน้ำออกมา เพื่อทบทวน ตรวจสอบ การใช้ขั้นตอนข้างต้น การศึกษานี้จึงได้ทำการคำนวณซ้ำ และพบว่าชลภาพที่คำนวณใหม่ มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับชลภาพที่ออกแบบไว้เดิมในอดีต แต่ชลภาพที่คำนวณใหม่มีอัตราการไหลสูงสุด สูงกว่าเดิมเป็น 6,181 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการออกแบบในอดีตที่ได้ต่ำกว่าเล็กน้อยอาจเกิดจากการเขียน smooth curve ดังแสดงใน รูปที่ 4.11-1(c)

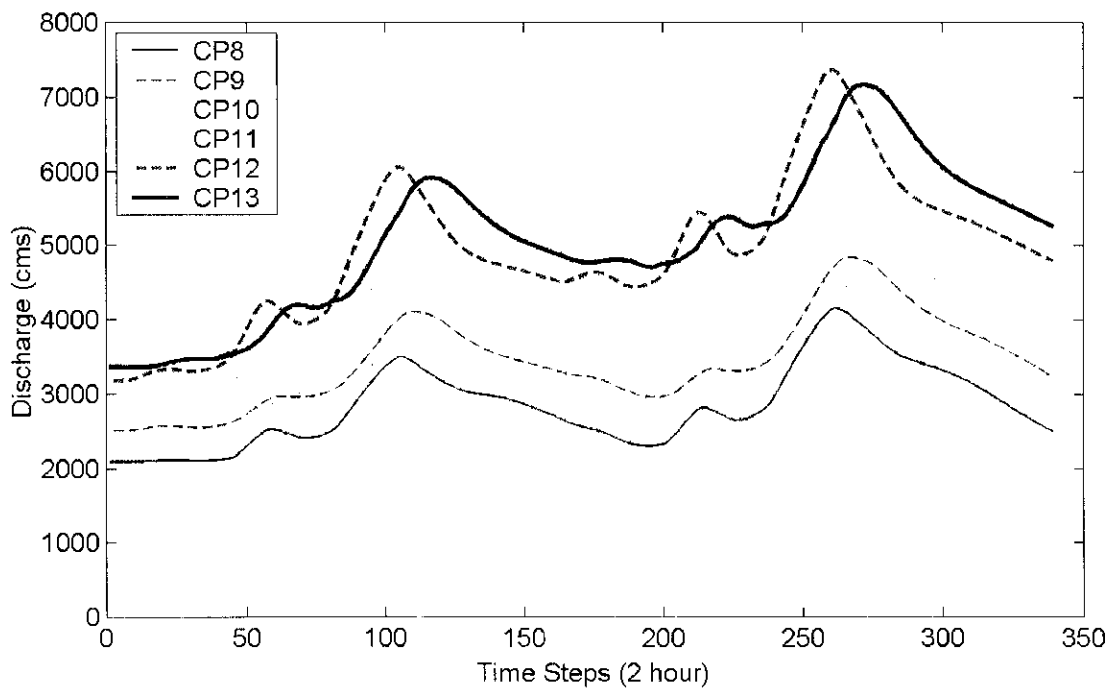
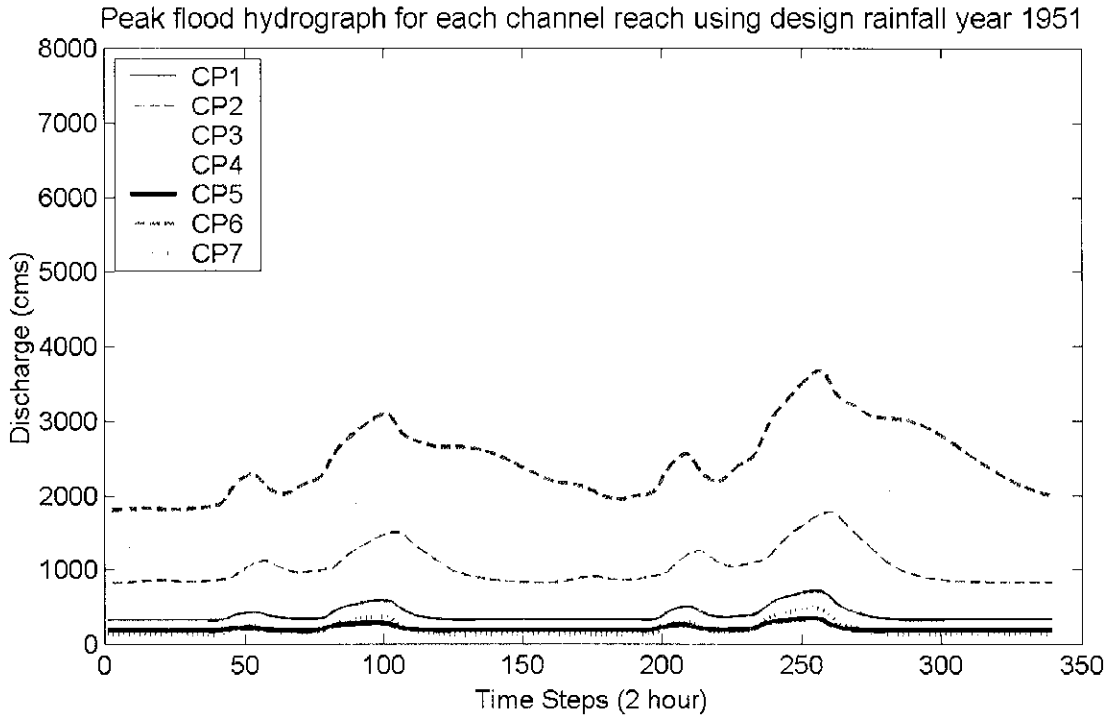
การทบทวนการออกแบบชลภาพเข้าสู่เขื่อนภูมิพล โดยวิธีเดิมข้างต้น เพื่อดูผลจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำปึงตอนบน มีต่อชลภาพที่เข้าสู่เขื่อนภูมิพลอย่างไร มีข้อจำกัดคือ ตามหลักการวิธีเอกชลภาพซึ่งเอกชลภาพที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time invariance) ดังนั้นหากสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลง เอกชลภาพเดิมจะใช้ไม่ได้ ต้องใช้ข้อมูลชลภาพในปัจจุบันนำมาวิเคราะห์ เพื่อคำนวณหาเอกชลภาพชุดใหม่ และใช้อัตราการสูญเสียใหม่ที่จุดหรือที่ตั้งสถานีเดิม แต่หลังจากสร้างเขื่อนสถานีวังกระเจ้า ยกเลิกไปแล้ว จึงไม่สามารถคำนวณหาเอกชลภาพชุดใหม่ ที่จุดเดิมได้

การศึกษาที่พอทำได้โดยใช้เอกชลภาพ จากผลการศึกษาของ วีระพล เต็มสมบัติ (2544) ซึ่งได้แบ่งลุ่มน้ำปึงตอนบนออกเป็น 22 ลุ่มน้ำย่อย วิเคราะห์ชลภาพที่จุดต่างๆภายในลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งใช้ข้อมูลชลภาพในปัจจุบัน และนำมาสังเคราะห์เป็นเอกชลภาพสำหรับ 22 ลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งนำมากำหนดอัตราการสูญเสีย อัตราการไหลพื้นฐานสำหรับ 22 ลุ่มน้ำย่อย รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.10 โดยใช้ข้อมูลผลการศึกษาของ วีระพล เต็มสมบัติ (2544) ทั้งหมด แต่ใช้ปริมาณฝนที่ออกแบบไว้เดิม ในหัวข้อ 1 ข้างบน พบว่าอัตราการไหลสูงสุดที่เขื่อนภูมิพล (CP13) มีค่า 7,168 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สูงกว่าที่เคยออกแบบไว้เดิมประมาณร้อยละ 19 ชลภาพที่ได้แสดงใน รูปที่ 4.11-2

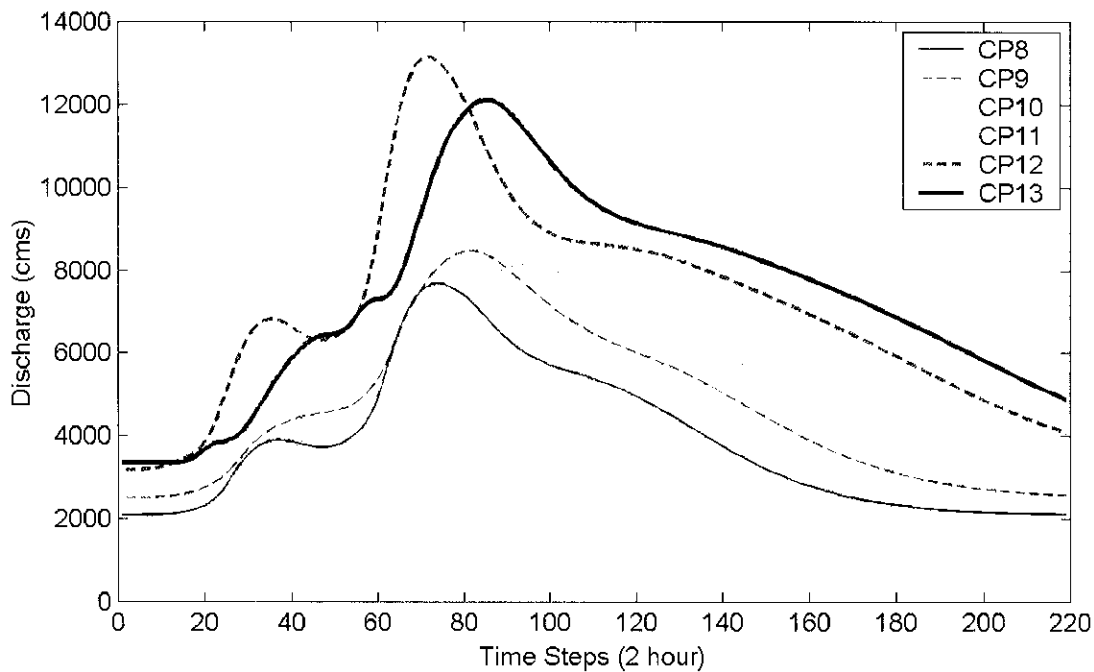
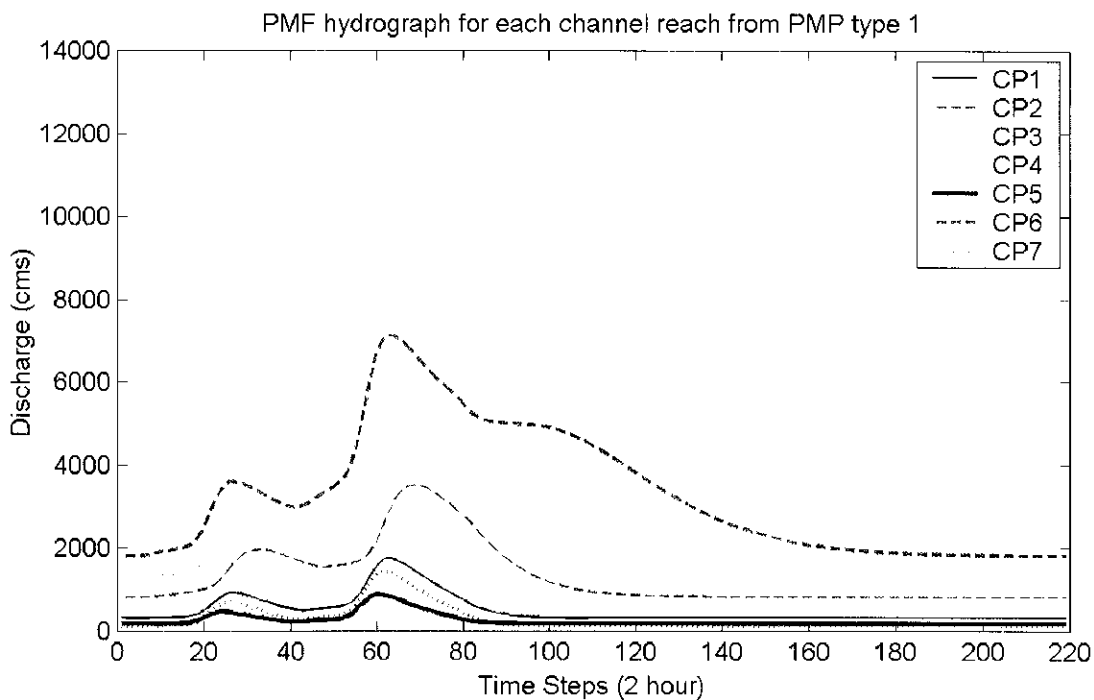
ทั้งนี้หากใช้ เอกชลภาพชุดนี้ ด้วยเงื่อนไขเดียวกันทั้งหมด แต่รับฝน PMP1 จะได้ อัตราการไหลสูงสุดที่เขื่อนภูมิพล (CP13) มีค่า 12,107 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (รูปที่ 4.11-3) ผลที่ต่างกันเกิดจากปริมาณฝนออกแบบใช้ต่างกันมาก ฝนออกแบบเดิม มีความลึกสะสม 380 มิลลิเมตร ในช่วงเวลา 23 วัน (เฉลี่ย 16.5 มิลลิเมตรต่อวัน) แต่ปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ของ PMP1 มีความลึกสะสม 522 มิลลิเมตร ในช่วงเวลาเพียง 6 วัน (เฉลี่ย 87.0 มิลลิเมตรต่อวัน) จึงทำให้อัตราการไหลสูงสุดที่เขื่อนภูมิพลที่คำนวณได้จากฝน 2 แบบต่างมาก



รูปที่ 4.11-1 (a) ฝนออกแบบและอัตราการสูญเสียจากการศึกษาในอดีต (b) เอกชลภาพที่มี lag time 4 วัน ที่สถานีวังกระเจ้า (c) เปรียบเทียบชลภาพที่เขื่อนภูมิพลระหว่างการออกแบบเดิม และการทบทวน



รูปที่ 4.11-2 ผลภาพจากการหลากผ่าน จุดควบคุม (Control point, CP) 13 จุด หลังจากโครงข่าย
 ลำนํ้ารับนํ้าท่าจาก 22 ลุ่มนํ้าย่อย โดยรับปริมาณฝนออกแบบเดิม 380 มม. ช่วง 23 วัน



รูปที่ 4.11-3 ซดภาพจากการหลากผ่าน จุดควบคุม (Control point, CP) 13 จุด หลังจกโครงจ่าย
 ถ่านำรับน้ำท่าจาก 22 ลุ่มน้ำย่อย โดยรับปริมาณฝนออกแบบ PMP 1 ความลึก 522 มม. ช่วง 6 วัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากความจำเป็นที่ต้องมีการทบทวนปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นกับเขื่อนภูมิพลแบบจำลองสมดุลของน้ำสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ถูกพิจารณาเพื่อวัตถุประสงค์นี้ แบบจำลองประกอบด้วย แบบจำลองสมดุลของน้ำของไหล่เขา (hillslope water balance model) ซึ่งใช้ในการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าและแบบจำลองการไหลในโครงข่ายลำน้ำ (distributed runoff routing model) ซึ่งสามารถจำลองกระบวนการไหลในลำน้ำที่มีการไหลล้นตลิ่งบนที่ราบลุ่มน้ำท่วมได้ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างการเก็บกักและการไหลออกแบบไม่เป็นเชิงเส้น แบบจำลองมีพารามิเตอร์ทางกายภาพจำนวนหนึ่งซึ่งทั้งหมดประมาณค่าก่อนและมีส่วนน้อยที่ต้องการสอบเทียบ (calibration)

ผลการพัฒนาแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่เหมาะสมกับลุ่มน้ำปึงตอนบนโดยใช้หลักการของสมดุลน้ำ ทำให้ได้แบบจำลองสมดุลน้ำรายปี รายเดือน และรายวัน ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเหล่านี้สามารถหาได้จากลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ คุณสมบัติของดิน ชูดิน พืชพรรณ รวมทั้งการใช้ที่ดิน ข้อได้เปรียบที่สำคัญของแบบจำลองที่ได้นำเสนอนี้คือความสามารถในการนำไปใช้เพื่อประเมินผลของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของลุ่มน้ำต่อ PMF ในอนาคตได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดของลำน้ำ พืชพรรณที่ปกคลุมบนพื้นที่ราบน้ำท่วม และผลกระทบจากการลดลงของป่าไม้จากการตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น

โดยการใช้แบบจำลองสมดุลน้ำแบบรายวัน กำหนดค่าความชื้นเริ่มต้นในลุ่มน้ำสำหรับ Extreme Flood Model ซึ่งเป็นการจำลองสมดุลน้ำรายชั่วโมง เปลี่ยนค่า PMP เป็น PMF ในหลายกรณี ดังนี้ (1) ใช้ PMP จาก 4 รูปแบบ (2) ความชื้นเริ่มต้นของลุ่มน้ำต่างกัน (3) ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจากปรากฏการณ์ La Nina (4) การย้ายตำแหน่งจุดศูนย์กลางของพายุฝน PMP (5) การใช้พารามิเตอร์จากลำน้ำหลักมาใช้ในการไหลล้นตลิ่ง ซึ่งให้ผล PMF ที่แตกต่างกัน (6) การลดลงของพื้นที่ป่าไม้

สรุปได้ว่าค่า PMP ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีช่วงเวลา 3 วัน มีค่าเท่ากับ 348 มม. ประมาณโดยวิธี Generalized Estimation จากลุ่มน้ำโขงนำมาสร้างเป็นพายุฝน PMP ช่วงเวลา 6 วัน ความลึก 522 มม. PMP มีการกระจายตามพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจำนวน 220 ลุ่มน้ำย่อย เมื่อใช้ Extreme Flood Model เปลี่ยน PMP เป็นการไหลออกสู่โครงข่ายลำน้ำ ทำการหลากจากลำน้ำมายังเขื่อนภูมิพลได้ PMF ที่เขื่อนภูมิพลเท่ากับ 6,311 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการศึกษา

ยืนยันว่าค่า PMF ที่ประมาณได้มีค่าน้อยลง ถ้านำปัจจัยทางกายภาพบนที่ราบลุ่มน้ำท่วม เช่น พืชพรรณที่ปกคลุมหรือสิ่งปลูกสร้างนำมารวมพิจารณาด้วย

เมื่อนำเอาวิธีเอกชลภาพจากการศึกษาของ วีรพล แต่สมบัติ (2544) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้โดยทั่วไปในการทำนายค่า PMF สำหรับเขื่อนต่างๆ และใช้ PMP ชุดเดียวกับ Extreme Flood Model มาใช้พบว่า PMF ที่เขื่อนภูมิพลจะมีขนาดเท่ากับ 8,749 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จากสภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง ภาวะโลกร้อนขึ้น อาจส่งผลให้วงจรการเกิดปรากฏการณ์ La Nina ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำฝนรายปีสูงกว่าค่าเฉลี่ย มีวงรอบในการเกิดสั้นลง (มีความถี่ในการเกิดมากขึ้น) ซึ่งจะส่งผลให้ค่า PMF ที่ประมาณได้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น หากค่า PMP มีค่าเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้ค่า PMF ที่เขื่อนภูมิพลมีค่าเพิ่มสูงจาก 6,311 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็น 6,784 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ เพิ่มขึ้นประมาณ 7.5 เปอร์เซ็นต์

หากพื้นที่ป่าไม้ลดลงเพราะถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ลดลงในสัดส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 มีผลทำให้ PMF มีค่าสูงขึ้นร้อยละ 3.1, 6.2 และ 9.2 ตามลำดับ

การทบทวน Inflow design flood ในอดีตได้ใช้ฝนนอกแบบในอดีต ร่วมกับเอกชลภาพในปัจจุบันของวีรพล แต่สมบัติ (2544) พบว่าการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำปึงตอนบนจากอดีตถึงปัจจุบันมีผลทำให้อัตราการไหลสูงสุดที่เขื่อนภูมิพลมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6,000 เป็น 7,168 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 19

5.2 ข้อเสนอแนะ

กระบวนการพัฒนาการจำลองทางอุทกวิทยาที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนจนได้เป็นแบบจำลองสมมูลน้ำรายวันและ Extreme Flood Model สามารถนำไปใช้กับการทำนายค่า PMF สำหรับเขื่อนขนาดใหญ่ในกลุ่มน้ำอื่นๆ ได้

ข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มน้ำมีผลต่อสมมูลน้ำและการทำนายค่า PMF โดยเฉพาะการกระจายความลึกของดินในชั้นดินที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้น คุณสมบัติทางศาสตร์ของดินประเภทต่างๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มักมีน้อย ไม่ละเอียดและไม่กระจายครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ การออกสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำในอนาคตจะสามารถช่วยให้ผลการทำนายน้ำท่า PMF มีค่าน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

สำหรับในการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการแปลข้อมูลการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Land SAT เมื่อปี พ.ศ. 2549 เพียงช่วงเวลาเดียว ขณะที่ทำการศึกษาสมมูลของน้ำได้ใช้ข้อมูล อุตุ-อุทกวิทยา 24 ปี (พ.ศ.2525-2548) ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลา

ย้อนหลังกลับไปเท่าที่มีข้อมูล เพื่อนำมากำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง อาจทำให้การทำนายสมมูลของน้ำมีความน่าเชื่อถือและใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดมากขึ้น

ด้วยหลักการทำให้เป็นแบบจำลองอย่างง่ายและสภาพพื้นที่ศึกษายังมีพื้นที่ที่พัฒนาเป็นชุมชนอยู่น้อยจึงยังไม่ได้นำกระบวนการเกิดน้ำท่าแบบส่วนเกินการซึม (infiltration excess overland flow) มาพิจารณารวมอยู่ในการศึกษา ซึ่งอาจจะมีผลมากขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลง ป่าไม้ลดลงนำไปสู่ดินที่ถูกอัดตัวมากขึ้นหรือการเปลี่ยนเป็นชุมชนเมืองมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้ระบบการไหลออกเปลี่ยนเป็นการไหลออกจากส่วนเกินการซึมมากขึ้น

การทำนายค่า PMF ของลุ่มน้ำปึงตอนบน ณ จุดที่ตั้งเขื่อนภูมิพล โดยสมมุติว่ายังไม่มีการเก็บน้ำเหนือเขื่อนภูมิพล ดังนั้นการหลากในโครงข่ายลำน้ำทั้งหมดจึงเป็นการหลากในลำน้ำ ยังไม่ได้คำนึงถึงการหลากในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนภูมิพล ซึ่งหากนำการหลากในอ่างเก็บน้ำเข้ามาพิจารณาด้วยในช่วงสุดท้าย คาดว่าจะทำให้ค่า PMF ที่ได้ลดลงกว่าที่ทำนาย ซึ่งหมายถึงเขื่อนมีความปลอดภัยมากขึ้น

การศึกษานี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงในลุ่มน้ำย่อยเป็นลักษณะ Lumped model สามารถทราบข้อมูลสมมูลของน้ำที่เข้า – ออกจากลุ่มน้ำย่อยแต่ไม่สามารถรู้ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในลุ่มน้ำย่อย เช่น ขอบเขต พื้นที่น้ำท่วม ความลึกของน้ำที่เกิดขึ้นในบริเวณต่าง ๆ ภายในลุ่มน้ำย่อย ดังนั้นหากมีการศึกษาต่อไปโดยนำผลการศึกษาไปใช้ร่วมกับแบบจำลองทางกายภาพ (Distributed Hydrological Model) เฉพาะของลุ่มน้ำย่อยที่สนใจ เช่น เทศบาลนครเชียงใหม่ จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาปัญหาน้ำท่วมได้ต่อไป

บรรณานุกรม

- Bates, B.C., Pilgrim, D.H., 1983. Investigation of storage-discharge relations for river reaches and runoff routing models. *Civ. Engng Trans., Inst. Engrs Aust.* CE25 (3), 153-161.
- Bates, B. C., and D. H. Pilgrim, 1986. Simple models for nonlinear runoff routing, *Civ. Eng. Trans., Inst. Engrs. Aust.*, CE28(4), 284-291.
- Boyd, M. J., D. H. Pilgrim, and I. Cordery, 1979. A storage routing model based on catchment geomorphology, *J. Hydrol.*, 42, 209-230.
- Clapp, R.B. Hornberger, G.M., 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.* 14, 601-604
- Ervine, D.A., Baird, J.I., 1982. Raing curves for rivers with overbank flow. *Proc. Inst. Civ. Engrs London* 73 (2), 465-472
- Hansen, E.M., Schreiner, L.C. and Miller, J.F., (1982). Application of probable maximum precipitation estimates-United States east of the 105th meridian. Hydrometeorological report No.52, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration US Department of Commerce, Washington, D.C., 168.
- Jothityangkoon, C., Sivapalan, M., Farmer, D.L., 2001. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: Downward approach to hydrological model development, *Journal of Hydrology*, 254: 174-198.
- Jothityangkoon, C., Sivapalan, M., 2003. Towards estimation of extreme floods: examination of the roles of runoff process changes and floodplain flows. *Journal of Hydrology*, 281: 206-229.
- Klemes, V., 1993. Probability of extreme hydrometeorological events - a different approach, in: *Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts*, Z. W. Kundzewicz, D. Rosbjerg, S. P. Simonovic and K. Takeuchi (Editors), IAHS Publ. No. 213, 167-176.
- Klemes, V., 1983. Conceptualisation and scale in hydrology, *Journal of Hydrology*, 65: 1-23.
- Kölla, E., Estimating flood peaks from small rural catchment in Switzerland, *J. Hydrol.*, 95, 203-225, 1987.

- Krause, P., Boyle, D.P., and Base, F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*. 5,89-97.
- Laurenson, E.m., Mein F.G., 1988. RORB---Version 4 Runoff Routing Program User Manual, Department of Civil Engineering , Monash University, p. 186.
- Menabde, M., Sivapalan, M., 2001. Linking space-time variability of river runoff and rainfall fields: a dynamical approach. *Adv. Water Resour.* 24, 1001-1014
- Pilgrim D. H., and I. A. Rowbottom, 1987. Estimation of large and extreme floods, Chapter 13 in: *Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation*, D. H. Pilgrim (Editor), Vol. 1, 3rd Edition, Inst. of Engrs. Aust., Canberra.
- Sivapalan, M., E. F. Wood, and K. J. Beven, 1990. On hydrologic similarity, 3. A dimensionless flood frequency model using a generalised geomorphic unit hydrograph and partial area runoff generation, *Water Resour. Res.*, 26(1), 43-58.
- Sellin, R.J.H., 1964. A laboratory investigation into the interaction between flow in the channel of a river and that of its floodplain. *La Houille Blanche* 7, 793-801.
- Tamai, N., 1992a. Discharge prediction for flow in a compound channel: a new approach to overbank flow. Part 1. Evaluation of floodplain resistance. *Civ. Engng Tran., Inst. Engrs Aust.* CE34 (4), 285-294.
- Tamai, N., 1992a. Discharge prediction for flow in a compound channel: a new approach to overbank flow. Part 2. Discharge prediction based on a depth-averaged flow equation. *Civ. Engng Tran., Inst. Engrs Aust.* CE34 (4), 295-302.
- Viney, N.R., Sivapalan, M. 1995. LASCAM: The large scale catchment model. User manual, Report number WP 1070 NV, Ctre. For Water Res., Univ. of West. Aust., 199pp.
- Wittenburg, H., 1994. Nonlinear analysis of flow recession curves. *IAHS Publ.* 221, 61-67.
- Wittenburg, H., 1999. Baseflow recession and recharge as a nonlinear storage processes, *Hydrol. Process.* 13, 715-726.
- Wong, T.H.F., Laurenson, E.M., 1983. Wave speed-discharge relations in natural channels. *Water Resour. Res.* 19, 701-706.
- Wormleaton, P.R. Merrett, D.J., 1990. An improved method of calculation for steady uniform flow in prismatic main channel/flood plain sections. *J. Hydraul. Res.* 28(2), 157-174.
- Woltemade, C.J., Potter, K.W., 1994. A watershed modeling analysis of fluvial geomorphologic influences on flood peak attenuation, *Water Resour. Res.*, 30, 1933-1942.

Wood, E. F., M. Sivapalan, and K. Beven, 1990. Similarity and scale in catchment storm response, *Rev. Geophys.*, 28, 1-18.

World Meteorological Organization (WMO)., 1986. Manual for estimation of probable maximum precipitation, WMO. No. 332, Second edition.

วีระพล แต่สมบัติ, (2544). รายงานการวิจัย : ศึกษาภาพการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนด้วยอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลาง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.