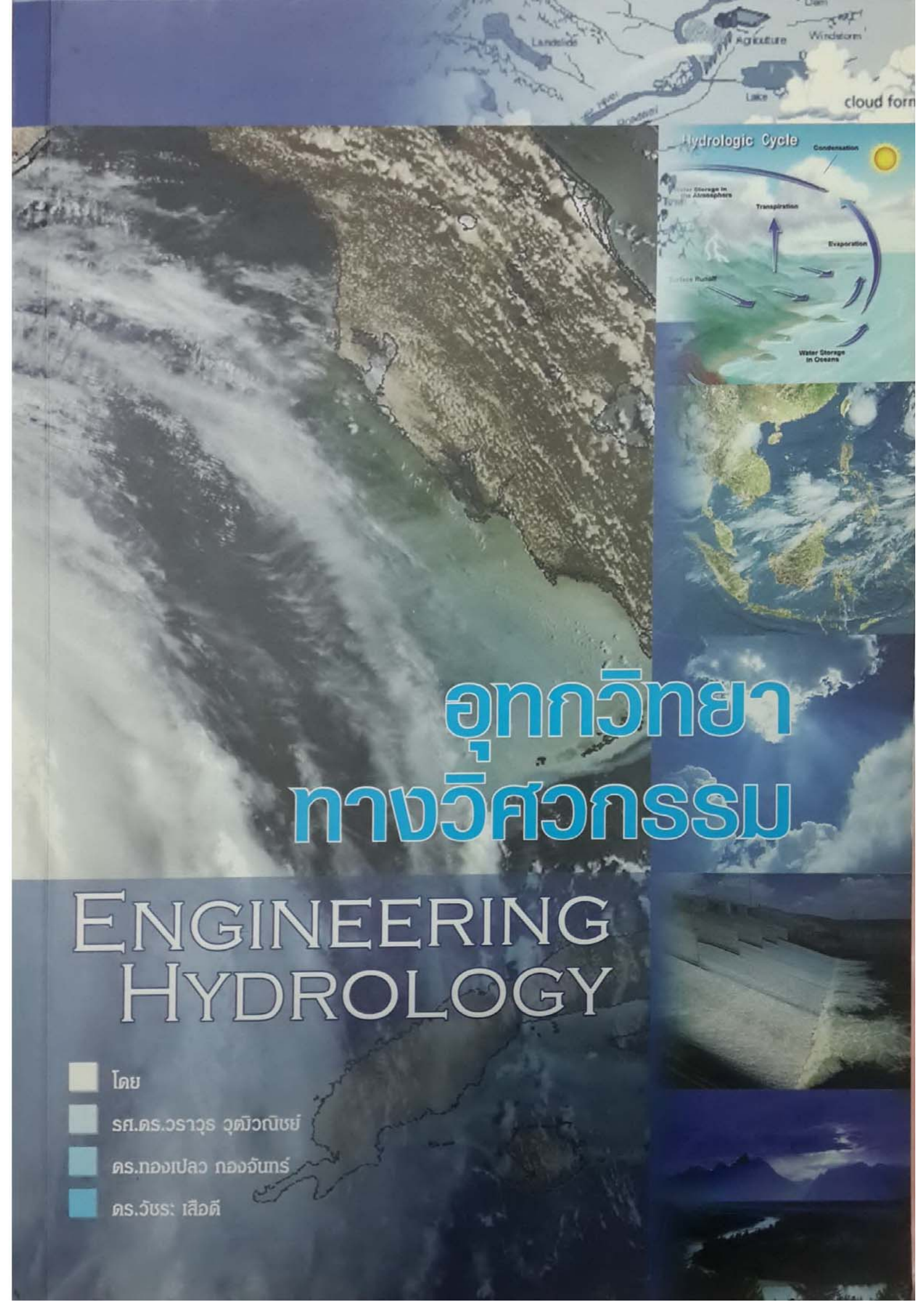

อุทกวิทยาทางวิศวกรรม

ENGINEERING HYDROLOGY

โดย
รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์
ดร.ทองเปลว กองจันทร์
ดร.วัชระ เสือดี

คำนำ

ตำรา “อุทกวิทยาทางวิศวกรรม” เล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชาอุทกวิทยาทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นวิชาเฉพะบังคับตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมชลประทาน

เนื้อหาในตำราเล่มนี้ เกี่ยวกับการประยุกต์ความรู้ทางอุทกวิทยาสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม ตำราเล่มนี้มี 9 บท ประกอบด้วย บทนำเกี่ยวกับลุ่มน้ำและอิทธิพลของลุ่มน้ำที่มีต่อไฮโดรกราฟ สถิติสำหรับอุทกวิทยา วิธีการวิเคราะห์ฝนที่เกิดจากพายุ การวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วม การออกแบบพายุ การออกแบบปริมาณการไหลน้ำท่วมสูงสุด การออกแบบกราฟน้ำท่วม การเคลื่อนตัวของน้ำท่วม และการออกแบบอ่างเก็บน้ำ

ผู้เขียนได้เรียบเรียงตำราเล่มนี้ขึ้นจากประสบการณ์ในการสอนวิชานี้เป็นเวลานานว่า 10 ปี ติดต่อกัน และได้พยายามพัฒนาเนื้อหาให้ทันสมัยอยู่เสมอ จึงมั่นใจว่าตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิตนักศึกษาที่เรียนวิชาอุทกวิทยาทางวิศวกรรมในระดับปริญญาตรี และระดับบัณฑิตศึกษา และคาดว่าตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่วิศวกรที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์และออกแบบทางอุทกวิทยา

รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ วุฒิวณิชย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ทองเปลว กองจันทร์
สถาบันพัฒนาการชลประทาน กรมชลประทาน
ดร.วัชระ เสือดี
สถาบันพัฒนาการชลประทาน กรมชลประทาน
กันยายน 2550

สารบาญ

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	คำนำ	(i)
	สารบาญ	(ii)
1	ลุ่มน้ำและอิทธิพลของลุ่มน้ำต่อไฮโดรกราฟ	1
	1.1 ขบวนการเกิดน้ำท่า	1
	1.2 นิยามของลุ่มน้ำ	1
	1.3 โครงข่ายของลำน้ำ	3
	1.3.1 กฎจำนวนลำน้ำของ Horton	5
	1.3.2 กฎความยาวลำน้ำของ Horton	5
	1.3.3 กฎพื้นที่ลำน้ำ	7
	1.4 อิทธิพลของรูปร่างลุ่มน้ำต่อปริมาณน้ำท่า	8
	1.5 องค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า	17
	1.6 ขนาดสัมพัทธ์ของลุ่มน้ำ	18
	1.7 โค้งที่แสดงลักษณะของลุ่มน้ำ	19
	1.7.1 Hypsometric Curve	19
	1.7.2 รูปตัดตามยาวและความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำหลัก	20
	1.7.3 โค้งช่วงเวลาสะสม	22
	1.8 การหาอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี เส้นไอโซโครน (Isochronal Lines)	24
	1.9 เอกสารอ้างอิง	27
	1.10 แบบฝึกหัด	28
2	สถิติสำหรับอุทกวิทยา	31
	2.1 ทฤษฎีความน่าจะเป็น	31
	2.2 กฎเกี่ยวกับความน่าจะเป็นของเหตุการณ์	33
	2.3 ฟังค์ชั่นความถี่และฟังค์ชั่นความน่าจะเป็น	37
	2.4 พารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็น	45
	2.5 การฟิตฟังค์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็น	50
	2.5.1 การหาพารามิเตอร์ของฟังค์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็น	50
	2.5.3 การทดสอบความเหมาะสม (Goodness of Fit)	55

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	2.6 ฟังค์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็นสำหรับตัวแปรทางอุทกวิทยา	62
	2.6.1 การแจกแจงปกติ	62
	2.6.2 การแจกแจงแบบ Lognormal	62
	2.6.3 การแจกแจงแบบเอ๊กโพเนนเชี่ยล	64
	2.6.4 การแจกแจงแบบแกมม่า	64
	2.6.5 การแจกแจงแบบเพียรสันแบบที่ 3	65
	2.6.6 การแจกแจงแบบล๊อกเพียรสันแบบที่ 3	65
	2.6.7 การแจกแจงแบบ Extreme Value	63
	2.7 เอกสารอ้างอิง	67
	2.8 แบบฝึกหัด	69
3	การวิเคราะห์ฝนที่เกิดจากพายุ	69
	3.1 คำนำ	69
	3.2 การวิเคราะห์ฝนแบบความลึก-พื้นที่-ช่วงเวลา	69
	3.2.1 ข้อมูลที่ต้องการ	69
	3.2.2 วิธีการวิเคราะห์	70
	3.2.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ฝนแบบความลึก-พื้นที่-ช่วงเวลา	71
	3.2.4 การเลือกพายุฝนสำหรับการวิเคราะห์ความลึก-พื้นที่-ช่วงเวลา	76
	3.2.5 ข้อเสียบางประการของวิธีวิเคราะห์ฝนแบบความลึก-พื้นที่-ช่วงเวลา	76
	3.3 การวิเคราะห์ฝนแบบความลึก-ช่วงเวลา-ความถี่	78
	3.3.1 ความถี่และรอบปีการเกิดซ้ำ	78
	3.3.2 ประโยชน์ของการวิเคราะห์ฝนแบบความลึก-ช่วงเวลา-ความถี่	81
	3.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	81
	3.3.4 วิธีการวิเคราะห์ความลึก-ช่วงเวลา-ความถี่ โดยวิธีกราฟ	81
	3.3.5 การวิเคราะห์ความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ โดยวิธีกราฟ	83
	3.3.6 การหาสมการความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ	83
	3.3.7 ตัวอย่างการหาสมการความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ	84
	3.3.8 การศึกษาและพัฒนากราฟความลึก (ความเข้ม) - ช่วงเวลา-	

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	รอบปีการเกิดซ้ำในประเทศไทย	90
	3.3.9 แฟ็คเตอร์ลดความลึกฝนตามขนาดพื้นที่	94
	3.4 เอกสารอ้างอิง	100
	3.5 แบบฝึกหัด	100
4	การวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วม	103
	4.1 จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วม	103
	4.2 ความถี่และการแจกแจงความถี่	103
	4.2.1 วิธีการแสดงการแจกแจงความถี่	104
	4.2.2 การแจกแจงความถี่ของข้อมูลทางอุทกวิทยา	104
	4.2.3 โมเมนต์ของการแจกแจงความถี่	104
	4.2.4 คุณสมบัติของการแจกแจงความถี่	107
	4.3 ฟังค์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็นของน้ำท่วม	109
	4.3.1 ฟังค์ชั่นการแจกแจงแบบกัมเบล	110
	4.3.2 ฟังค์ชั่นการแจกแจงแบบ Lognormal 2 พารามิเตอร์	113
	4.3.3 ฟังค์ชั่นการแจกแจงแบบ Log Pearson Type III	114
	4.4 การเลือกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วม	117
	4.5 การแจกแจงความถี่น้ำท่วมโดยวิธีกราฟ	117
	4.6 การหาฟังค์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมกับ ความถี่น้ำท่วมของข้อมูล	120
	4.6.1 การเลือกฟังค์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็น	120
	4.6.2 การประเมินหาค่าพารามิเตอร์ของฟังค์ชั่น	126
	4.6.3 การทดสอบความเหมาะสมของฟังค์ชั่นการแจกแจง ความน่าจะเป็น	126
	4.7 การคำนวณหาปริมาณน้ำท่วมที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ต้องการ	132
	4.8 การหาขอบเขตความเชื่อมั่นของปริมาณน้ำท่วมที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ต้องการ	133
	4.8.1 ขอบเขตความเชื่อมั่นของ X_{tr} ที่คำนวณจากการ แจกแจงแบบกัมเบล	136

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	4.8.2 ขอบเขตความเชื่อมั่นของ X_{tr} ที่คำนวณจากการแจกแจงแบบ Log normal 2 พารามิเตอร์	137
	4.8.3 ขอบเขตความเชื่อมั่นของ X_{tr} ที่คำนวณจากการแจกแจงแบบ Log Pearson Type III	139
	4.9 การวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วมทั้งลุ่มน้ำ	144
	4.10 เกณฑ์การออกแบบน้ำท่วม	148
	4.11 การคำนวณความเสี่ยงของน้ำท่วม	149
	4.12 เอกสารอ้างอิง	150
	4.13 แบบฝึกหัด	151
5	การออกแบบพายุ	154
	5.1 ความลึกฝนออกแบบ	154
	5.1.1 ฝนเฉพาะจุด	154
	5.1.2 ความลึกฝนเฉพาะพื้นที่	159
	5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่	160
	5.2.1 การหาโค้ง IDF โดยวิธีการวิเคราะห์ความถี่	162
	5.2.2 สมการความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ	166
	5.3 การออกแบบไฮเอทโตกราฟจากการวิเคราะห์พายุฝน	167
	5.4 การออกแบบไฮเอทโตกราฟจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ	174
	5.4.1 วิธีสลับบล๊อค	174
	5.4.2 วิธี Instantaneous Intensity	174
	5.5 ขีดจำกัดบนประเมินของพายุ	181
	5.5.1 ฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	181
	5.5.2 พายุฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	183
	5.5.3 น้ำท่วมสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	184
	5.5.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับหา PMS และ PMF	185
	5.6 การคำนวณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	185
	5.6.1 โค้งความลึก-พื้นที่-ช่วงเวลา	186

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	5.6.2 Standard Isohyetal Pattern	191
	5.6.3 แฟ็คเตอร์ปรับทิศทาง	192
	5.6.4 พื้นที่อายุวิกฤต	192
	5.6.5 แฟ็คเตอร์พื้นที่ไอโซไฮท์	199
	5.7 เอกสารอ้างอิง	200
	5.8 แบบฝึกหัด	
6	การออกแบบปริมาณน้ำท่วมสูงสุด	204
	6.1 คำนำ	204
	6.2 วิธีการหาปริมาณน้ำท่วมสูงสุด	204
	6.3 วิธี Method	205
	6.3.1 สมการ Rational	205
	6.3.2 สมมติฐานของสมการ Rational	205
	6.3.3 ข้อจำกัดของ Rational Method	205
	6.3.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C	206
	6.3.5 การหา Time of Concentration (t_c)	212
	6.3.6 การเลือกความเข้มข้นของฝน I สำหรับสมการ Rational	215
	6.4 การออกแบบท่อระบายน้ำฝนโดยวิธี Rational	220
	6.4.1 แนวทางและสมมติฐานในการออกแบบ	221
	6.4.2 การหาขนาดท่อ	223
	6.4.3 ตัวอย่างการออกแบบ	224
	6.5 วิธีกราฟของ SCS-TR55	230
	6.5.1 ข้อมูลที่ต้องการในการคำนวณปริมาณน้ำท่วมสูงสุด	232
	6.5.2 วิธีการหาปริมาณน้ำท่วมสูงสุด	232
	6.5.3 การหาปริมาณน้ำท่า Q ตามวิธีของ SCS	232
	6.5.4 ข้อจำกัดของวิธีกราฟของ SCS-TR55	240
	6.6 วิธีเอ็มไพริกัล	241
	6.6.1 สูตรของ Davis (1975)	242

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	6.6.2 สูตรของ Lowham (1976)	243
	6.6.3 สูตรของ McCain และ Jarrett (1976)	246
	6.6.4 วิธีการของ Santa Clara Valley District (1969)	250
	6.7 วิธีวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วม	252
	6.8 เอกสารอ้างอิง	252
	6.9 แบบฝึกหัด	255
7	การออกแบบกราฟน้ำท่วม	261
	7.1 คำนำ	261
	7.2 การออกแบบพายุฝน	261
	7.2.1 การออกแบบไฮเอทโตกราฟน้ำฝน	262
	7.2.2 การหาไฮเอทโตกราฟของฝนส่วนเกิน	263
	7.3 การสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า	277
	7.3.1 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติของ SCS	278
	7.3.2 กราฟหนึ่งหน่ายน้ำท่าของ Snyders	281
	7.4 การสร้างกราฟน้ำท่าผิวดิน	289
	7.5 การสร้างกราฟน้ำท่วม	292
	7.6 เอกสารอ้างอิง	294
	7.7 แบบฝึกหัด	295
8	การเคลื่อนตัวของน้ำท่วม	297
	8.1 คำนำ	297
	8.2 สมการพื้นฐานในการคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม	297
	8.3 การเคลื่อนตัวของน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำ	300
	8.3.1 วิธีการสร้างกราฟฟังค์ชั่น Storage-Outflow	301
	8.3.2 วิธี Iterative Trapezoidal Integration	308
	8.3.3 วิธี Runge-Kutta	310
	8.4 การเคลื่อนตัวของน้ำท่วมผ่านทางน้ำ	316
	8.5 เอกสารอ้างอิง	321

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	เนื้อเรื่อง	หน้า
	8.6 แบบฝึกหัด	321
9	การออกแบบอ่างเก็บน้ำ	329
	9.1 คำนำ	329
	9.2 หน้าที่ของอ่างเก็บน้ำ	329
	9.3 ส่วนประกอบของอ่างเก็บน้ำ	330
	9.4 ข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบอ่างเก็บน้ำ	334
	9.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและผลผลิต	337
	9.6 การหาความจุใช้การของอ่างเก็บน้ำ	338
	9.6.1 การวิเคราะห์ด้วยโค้งสะสมของริบเปิ้ล	339
	9.6.2 การวิเคราะห์ด้วยโค้งสะสมในปัจจุบัน	341
	9.6.3 วิธีจำลองการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ	344
	9.6.4 วิธีอื่น ๆ	347
	9.7 การหาปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม	347
	9.8 การออกแบบทางระบายน้ำล้น	348
	9.9 กฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	349
	9.10 เอกสารอ้างอิง	354
	9.11 แบบฝึกหัด	355