การปรับปรุงเกณฑ์การวิเคราะห์ฝนออกแบบสำหรับกรุงเทพมหานคร

นางสาว อุบลวรรณ เจนพานิชทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-796-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19632978

IMPROVEMENT OF DESIGN RAINFALL CRITERIA FOR BANGKOK METROPOLIS

Miss Ubolwan Jenphanitsub

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-796-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงเกณฑ์การวิเคราะห์ฝนออกแบบสำหรับกรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาวอุบลวรรณ เจนพานิชทรัพย์
ภาควิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ จักรี จัตุฑะศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุบลวรรณ เจนพานิชทรัพย์ : การปรับปรุงเกณฑ์การวิเคราะห์ฝนออกแบบสำหรับกรุงเทพมหานคร
(IMPROVEMENT OF DESIGN RAINFALL CRITERIA FOR BANGKOK METROPOLIS)
อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี , 184 หน้า. ISBN 974-332-796-7

การวิเคราะห์ฝนออกแบบสำหรับใช้ออกแบบระบบระบายน้ำในเมือง โดยเลือกใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี รายนาทีและรายชั่วโมงของสถานีตัวแทนในพื้นที่ 4 สถานี วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่ วิธี Composite Hyetograph วิธี Yen และ Chow วิธี Pilgrim และ Cordery วิธี Huff และ วิธี Kiefer และ Chu โดยใช้ช่วงเวลาฝนตก 30- 60- 120- 180- และ 240 นาที ที่คาบการเกิด 2 ปีและ 5 ปี โดยได้ศึกษารูปแบบและข้อสมมติฐานและข้อจำกัด พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อแตกต่างและความเหมาะสมในแต่ละวิธี

ข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่า รูปแบบของฝนออกแบบในแต่ละวิธีย่อมแตกต่างกันเนื่องจากใช้หลักการและข้อสมมติฐานแตกต่างกัน โดยพื้นฐานการวิเคราะห์ในแต่ละวิธีต้องใช้ความสัมพันธ์ของความลึกฝน ความเข้มฝนในช่วงเวลาและคาบการเกิด จากการวิจัยพบว่า กราฟ IDF ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากกราฟที่ใช้อ้างอิงกันอยู่แต่เดิมในบางช่วงเวลาคือมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา 6-24 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อมของเมืองใหญ่ที่มีผลต่อลักษณะการตกของฝน ดังนั้นจึงควรปรับปรุงกราฟ IDF ที่ใช้กันอยู่โดยใช้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน ฝนออกแบบที่ได้จากวิธีต่าง ๆ มีลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละวิธี ดังนี้ (ก) วิธี Composite Hyetograph รูปแบบความเข้มฝนเกิดขึ้นในช่วงแรกและลดลงตามลำดับความเข้มฝนสูงสุดมีค่าเท่ากันในทุกช่วงเวลา โดยที่คาบการเกิด 5 ปี มีค่า 170 มม./ชม. (ข) วิธี Yen และ Chow รูปแบบเป็นรูปสามเหลี่ยม ค่าความเข้มฝนแปรผันผกผันตามช่วงเวลาฝนตก โดยที่คาบการเกิด 5 ปี สำหรับช่วงเวลา 30 นาทีมีค่าความเข้มฝนสูงสุด 220 มม./ชม. (ค) วิธี Pilgrim และ Cordery ซึ่งเลียนแบบข้อมูลฝนตกจริงในพื้นที่จึงให้ค่าใกล้เคียงกับฝนตกจริง ที่คาบการเกิด 5 ปีสำหรับช่วงเวลา 30 นาที มีค่าความเข้มฝนสูงสุด 150 มม./ชม. โดยมีความแตกต่างกับฝนตกจริงในช่วงร้อยละ 0-30 (ง) วิธี Huff กำหนดรูปแบบโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นที่ร้อยละ 50 และแบ่งช่วงเวลาการเกิดค่าสูงสุดเป็น 2 ช่วงคือ 1/4 และ 2/4 ของเวลาทั้งหมด โดยมีค่าแตกต่างกับฝนตกจริงในช่วงร้อยละ 0-30 และ (จ) วิธี Kiefer และ Chu สังเคราะห์สมการจากกราฟ IDF ผลที่ได้พบว่าค่าอัตราส่วนของเวลาก่อนเกิดค่าสูงสุดต่อเวลาทั้งหมด (r) อยู่ในช่วง 0.1-0.4 และที่คาบการเกิด 5 ปี มีค่าความเข้มฝนสูงสุด 210 มม./ชม.เท่ากันในทุกช่วงเวลา

ภาพรวมรูปแบบของฝนออกแบบของพื้นที่กรุงเทพ ฯ กล่าวโดยสรุปในทุกวิธีมีฝนหนักในช่วงร้อยละ 20-50 ของเวลาฝนตกทั้งหมดและเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มฝนที่ได้กับรูปแบบฝนจริง ในแต่ละวิธีพบว่ามีทั้งค่าใกล้เคียงและค่าที่แตกต่างกับฝนตกจริงอย่างมากในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ฝนออกแบบจึงขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่ สภาพพื้นที่ ข้อกำหนดรูปแบบของฝน และอื่น ๆ ผลสรุปการศึกษาเสนอให้ปรับปรุงการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยใช้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากที่สุดเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือได้ รวมทั้งเสนอให้ประยุกต์นำเอาข้อดีของหลายวิธีมาใช้ประกอบกัน เช่น ใช้วิธี Composite Hyetograph ประกอบกับวิธี Kiefer และ Chu

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

3972530821 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING
KEY WORD: DESIGN RAINFALL / DESIGN STORM / URBAN HYDROLOGY / BANGKOK METROPOLIS

UBOLWAN JENPHANITSUB : IMPROVEMENT OF DESIGN RAINFALL CRITERIA FOR BANGKOK METROPOLIS. THESIS ADVISER : CHAIYUTH SUKHSRI, MS.CE. 184 pp. ISBN 974-332-796-7.

The design rainfall analysis was conducted for the design of the urban drainage system, using rainfall data with various intervals including annual and short-interval (minutes and hourly) data from 4 representative stations in Bangkok Metropolis. Five methods of analysis comprise: the Composite Hyetograph, the Yen and Chow, the Pilgrim and Cordery, the Huff, and the Kiefer and Chu. Rainstorms with 30-, 60-, 120-, 180- and 240-minutes duration at 2- and 5- years return period were studied. The structure, hypothesis and constaints of each method were analysed and compared in order to understand the differences, drawbacks and advantages of each particular method.

Conclusions drawn from the analysis were that the design rainfall produced by various methods differed according to different concepts and hypothesis of each method employed. Basically the analysis was carried out by using the relationship among rainfall depth, intensity, duration and frequency. One finding was that the IDF Curve had changed somewhat , from the one normally referred to in several reports/papers. For certain duration, the rainfall intensity for the 6- to 24-hours duration increased. These changes were associated and conformed with changes in the urban's environment which, in turn, effect rainfall's pattern as explained in several references. It was therefore suggested that the IDF Curve be updated and improved using the most current data. The design rainfall generated by each method has a specific character. For example, the Composite Hyetograph Method produced peak intensity at the initial interval and tapered off later on. These intensities were equal for all duration and at 5-year return period, the corresponding intensity was 170 mm/hr. The Yen and Chow gave a triangular shape pattern with the intensities vary inversely with the duration. At 5-year return period and 30 minutes duration, the intensity was 220 mm/hr. Since the Pilgrim and Cordery Method imitated the real situation, it gave the intensity similar to the actual rainfall. At 5-year return period and 30 minutes duration, the maximum intensity was 150 mm/hr and the differences from the actual rainfall were found to be between 0-30 %. For the Huff Method, the 50 % probability level and the duration of the maximum value of 1/4 and 2/4 of the total duration were selected for designing. The differences from the actual rainfall were between 0-30 %. The Kiefer and Chu method which needs the analysis of the IDF Curve produced the r-values (the ratio of the time before peak to the total rainfall duration) between 0.1 to 0.4. At 5-year return period the intensity was 210 mm/hr.

In conclusion the pattern of design storms for the Bangkok area were highest in between 20 to 50 % of the total storm duration. And when comparing the generated design value with the actual one, each method had both significant similarity and difference patterns for different duration. Thus, the selection of design storm analysis method was hinged upon many factors such as: the availability of data, the conditions of the watershed, the criteria for design storm and etc. To improve the reliability of the results, besides using the most up-to-date data, the combination of methods which take into account all the positive points of each one, such as the Composite Hyetograph and the Kiefer and Chu methods, should be employed.

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ขอสงวนลิขสิทธิ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อมูลที่มีประโยชน์ จากผู้มีพระคุณดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ จักรี จัตุทะศรี รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณชนกุล-วงศ์ และอาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาไรจน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ แนวคิด คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิทยาการต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานครและขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา เจ้าหน้าที่สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน และเจ้าหน้าที่สำนักการระบายน้ำ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำแนะนำต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณผู้อยู่เบื้องหลังการจัดทำวิทยานิพนธ์ทุก ๆ ท่าน

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน ที่ให้โอกาสและสนับสนุน การศึกษาของผู้วิจัยมาตลอด รวมทั้งความรัก ความอบอุ่น กำลังใจและคำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ เสมอมา

ประโยชน์ และความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี

อุบลวรรณ เจนพานิชทรัพย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 บทนำ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....3

บทที่ 2 การศึกษาที่ผ่านมา.....5
2.1 การศึกษาความสัมพันธ์ของฝนในต่างประเทศ.....5
2.2 การศึกษารูปแบบและความสัมพันธ์ของฝนในประเทศไทย.....11
2.3 การศึกษาฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....13

บทที่ 3 พื้นที่ศึกษา.....21
3.1 สภาพภูมิประเทศ.....21
3.2 สภาพภูมิอากาศ.....24

บทที่ 4 ข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล.....28
4.1 ข้อมูลฝนที่ใช้ศึกษา.....28
4.2 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล.....31
4.3 จำนวนวันฝนตกหนักของสถานีในกรุงเทพมหานคร.....33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การเลือกคาบการเกิดและช่วงเวลาฝนตกของฝนออกแบบสำหรับ-
ระบบระบายน้ำ.....35

บทที่ 5 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้วิเคราะห์..... 37
5.1 ความสัมพันธ์ของความลึกฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....37
5.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....40
5.3 การวิเคราะห์ฝนออกแบบ.....41

บทที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....55
6.1 ความสัมพันธ์ของความลึกฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....55
6.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....55
6.3 วิธี Composite Hyetograph.....56
6.4 วิธี Yen และ Chow.....59
6.5 วิธี Pilgrim และ Cordery.....64
6.6 วิธี Huff.....71
6.7 วิธี Kiefer และ Chu.....79
6.8 รูปแบบการกระจายความเข้มฝนของฝนตกจริง.....85

บทที่ 7 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....95
7.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....95
7.2 ข้อเสนอแนะ.....109

รายการอ้างอิง.....111
ภาคผนวก.....114
ภาคผนวก ก.....115
ภาคผนวก ข. 127
ภาคผนวก ค.....144

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าความลึกฝน (มม.) ที่ช่วงเวลาและคาบการเกิดต่าง ๆ ของสถานีกรมอุตุนิยมวิทยา.....12
ตารางที่ 2.2 อัตราส่วน r ของวิธี Kiefer และ Chu ในกรุงเทพมหานคร.....20
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2509 - 2538.....26
ตารางที่ 4.1 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานครเพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูล.....29
ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดโดยวิธี Yen และ Chow.....59
ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดโดยวิธี Pilgrim และ Cordery.....64
ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดที่คาบการเกิด 5 ปีโดยวิธี Huff.....72
ตารางที่ 6.4 อัตราส่วน r ของสถานีตัวแทนในกรุงเทพมหานคร.....79
ตารางที่ 6.5 การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดของฝนตกจริง.....85
ตารางที่ 6.6 การกระจายความเข้มฝนของรูปแบบฝนตกจริง.....86
ตารางที่ 7.1 ข้อแตกต่างและข้อจำกัดในแต่ละวิธีในการวิเคราะห์ฝนออกแบบ.....99
ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดของฝนออกแบบในแต่ละวิธี ทั้ง 4 สถานี ในกรุงเทพมหานคร.....103
ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบฝนออกแบบโดยวิธีการต่าง ๆ กับฝนตกจริงโดยใช้ค่าความเข้มฝนสูงสุดของทั้ง 4 สถานี.....105
ตารางที่ ก-1 ปริมาณฝนรายปีของสถานีตรวจวัดน้ำฝนต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร.....116
ตารางที่ ก-2 จำนวนวันที่ฝนตกในแต่ละปีและปริมาณฝนรายปีของสถานีต่าง ๆ.....120
ตารางที่ ข-1 ความลึกฝนของช่วงเวลาฝนตกต่าง ๆ ในแต่ละสถานี.....128
ตารางที่ ข-2 พารามิเตอร์ของ Gumbel โดยวิธี Maximum Likelihood.....133
ตารางที่ ข-3 ค่า a- b- และ c- ของสมการความเข้มฝนที่คาบการเกิดต่าง ๆ.....142
ตารางที่ ค-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยวิธี Composite Hyetograph.....145
ตารางที่ ค-2 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยวิธี Yen และ Chow.....147
ตารางที่ ค-3 การวิเคราะห์ร้อยละของความลึกฝนในแต่ละช่วงเวลา.....149
ตารางที่ ค-4 การกระจายของฝนในรูปร้อยละของความลึกฝนในแต่ละช่วงเวลา.....154

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค-5 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยวิธี Pilgrim และ Cordery.....157
ตารางที่ ค-6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสะสมของความถี่กฝนและเวลา.....161
ตารางที่ ค-7 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยวิธี Huff.....169
ตารางที่ ค-8 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยวิธี Kiefer และ Chu.....171
ตารางที่ ค-9 การหาค่าอัตราส่วน r ของแต่ละช่วงเวลา.....174

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของความลึกฝนและช่วงเวลาสะสมในช่วง 1/4 ของเวลาทั้งหมด.....5
รูปที่ 2.2 การกระจายของฝนที่ความน่าจะเป็นต่างๆของช่วง 1/4 ของเวลาทั้งหมด.....5
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของความลึกฝนและช่วงเวลาสะสมในช่วง 2/4 ของเวลาทั้งหมด.....6
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของความลึกฝนและช่วงเวลาสะสมในช่วง 3/4 ของเวลาทั้งหมด.....6
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของความลึกฝนและช่วงเวลาสะสมในช่วง 4/4 ของเวลาทั้งหมด.....7
รูปที่ 2.6 ก. ฝนออกแบบช่วงเวลา 20 นาที.....8
ข. ฝนออกแบบช่วงเวลา 24 นาที.....8
รูปที่ 2.7 ฝนออกแบบโดยทั่วไป.....8
รูปที่ 2.8 ฝนออกแบบรูปสามเหลี่ยม.....8
รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบฝนออกแบบทั้ง 5 วิธี (ช่วงเวลาฝนตก 60 นาที ที่คาบการเกิด 10 ปี).....9
รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบฝนออกแบบวิธีต่าง ๆ ที่คาบการเกิด 2 ปี.....11
รูปที่ 2.11 รูปแบบฝนออกแบบช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมงที่คาบการเกิด 5 ปี.....14
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ความลึกฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....16
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ความเข้มฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....17
รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบฝนออกแบบช่วงเวลา 3 ชั่วโมงที่คาบการเกิด 5 ปี.....18
รูปที่ 2.15 รูปแบบฝนออกแบบช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมงที่คาบการเกิด 5 ปี.....19
รูปที่ 3.1 ที่ตั้งกรุงเทพมหานครในประเทศไทย.....22
รูปที่ 3.2 การแบ่งเขตกรุงเทพมหานครทั้งหมด 38 เขต.....23
รูปที่ 3.3 แสดงทิศทางลมมรสุมและทางเดินพายุที่พัดผ่านประเทศไทย.....25
รูปที่ 3.4 เส้นชั้นความลึกฝนเท่ากันของประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ. 2495-2537.....27
รูปที่ 4.1 ที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนต่างๆและสถานีที่ใช้ศึกษาในกรุงเทพมหานคร.....32
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยวิธีการต่างๆ.....42
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยวิธี Composite Hyetograph.....44
รูปที่ 5.3 ฝนออกแบบรูปสามเหลี่ยม.....45

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.4 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยวิธี Yen และ Chow.....46
รูปที่ 5.5 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยวิธี Pilgrim และ Cordery.....48
รูปที่ 5.6 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยวิธี Huff.....50
รูปที่ 5.7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ฝนออกแบบโดยวิธี Kiefer และ Chu.....52
รูปที่ 5.8 รูปแบบของฝนออกแบบโดยวิธี Kiefer และ Chu.....53
รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบฝนออกแบบโดยวิธี Composite Hyetograph ที่คาบการเกิด 2 ปี.....57
รูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบฝนออกแบบโดยวิธี Composite Hyetograph ที่คาบการเกิด 5 ปี.....58
รูปที่ 6.3 ฝนออกแบบโดยวิธี Yen และ Chow ที่คาบการเกิด 2 ปี.....60
รูปที่ 6.4 ฝนออกแบบโดยวิธี Yen และ Chow ที่คาบการเกิด 5 ปี.....62
รูปที่ 6.5 ฝนออกแบบโดยวิธี Pilgrim และ Cordery ที่คาบการเกิด 2 ปี.....65
รูปที่ 6.6 ฝนออกแบบโดยวิธี Pilgrim และ Cordery ที่คาบการเกิด 5 ปี.....68
รูปที่ 6.7 ฝนออกแบบโดยวิธี Huff ช่วงสูงสุด 1/4.....73
รูปที่ 6.8 ฝนออกแบบโดยวิธี Huff ช่วงสูงสุด 2/4.....76
รูปที่ 6.9 ฝนออกแบบโดยวิธี Kiefer และ Chu ที่คาบการเกิด 2 ปี.....81
รูปที่ 6.10 ฝนออกแบบโดยวิธี Kiefer และ Chu ที่คาบการเกิด 5 ปี.....83
รูปที่ 6.11 รูปแบบฝนตกจริงทั้ง 4 สถานี ที่ช่วงเวลาต่างๆ.....91
รูปที่ ก-1 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีของแต่ละสถานีที่ใช้ในการศึกษา.....124
รูปที่ ก-2 การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล.....125
รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ของความลึกฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....134
รูปที่ ข-2 ความสัมพันธ์ของความเข้มฝน ช่วงเวลาและคาบการเกิด.....138