การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของสภาพน้ำหลากในลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยวิธี Copula

นายอภัยซูรย์ สุวรรณชูจิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ   ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

JOINT PROBABILITY DISTRIBUTION OF FLOODS IN THE UPPER PING RIVER BASIN BY COPULA METHOD

Mr.Apaithoon Suvunchoojit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Water Resources Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของสภาพน้ำหลากในลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยวิธี Copula
โดย	นายอภัยซูรย์ สุวรรณชูจิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ชัยยุทธ สุขศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชัยยุทธ สุขศรี)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.สุเทพ แตงทรัพย์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อภัยฑูรย์ สุวรรณชูจิต : การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของสภาพน้ำหลากในลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยวิธี Copula. (JOINT PROBABILITY DISTRIBUTION OF FLOODS IN THE UPPER PING RIVER BASIN BY COPULA METHOD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ชัยยุทธ สุขศรี, 169 หน้า.

คุณลักษณะที่สำคัญของเหตุการณ์น้ำหลากที่ก่อให้เกิดความเสียหายมี 3 องค์ประกอบ คือ ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลาก และ ช่วงเวลาน้ำหลาก การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากโดยส่วนใหญ่ จะให้ความสำคัญกับปริมาณน้ำหลากสูงสุด เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ แต่ในการประเมินความรุนแรงและความเสียจากน้ำท่วม หรือการวางแผนบรรเทาปัญหาน้ำท่วม จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาตรน้ำหลาก และช่วงเวลาน้ำหลาก ประกอบการวิเคราะห์ด้วย

การศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปร เพื่อศึกษาการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของสภาพน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมของฟังก์ชัน Copula 3 ชนิด คือ Gumbel-Hougaard Clayton และ Ali-Mikhail-Hag โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov และวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข และคาบการเกิดร่วมของเหตุการณ์น้ำหลาก โดยการจับคู่ตัวแปรและศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1) ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และ 2) ปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก พร้อมทั้งศึกษาความแตกต่างของคาบการเกิดจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร กับคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขจากการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปร

ผลการศึกษาพบว่า ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ในพื้นที่ศึกษาได้ ส่วนฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของพื้นที่ศึกษาได้ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ส่วนการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละคู่ ในรูปแบบของกราฟที่มีหลายเส้นตามค่าคาบการเกิด ทำให้มีทางเลือกในการออกแบบมากยิ่งขึ้น และสามารถจำแนกความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำหลากได้ดียิ่งขึ้น และพบว่าค่าคาบการเกิดร่วมในกรณี OR case และ AND case มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบคาบการเกิดจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร กับคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข พบว่าค่าคาบการเกิดแบบ 1 ตัวแปร มีค่ามากกว่าค่าคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่อนิสิต อภัยฑูรย์ สุวรรณชูจิต

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

4970678021 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: BI-VARIATE FLOOD FREQUENCY / COPULA / JOINT PROBABILITY / PING RIVER BASIN

APAITHOON SUVUNCHOOJIT : JOINT PROBABILITY DISTRIBUTION OF FLOODS IN THE UPPER PING RIVER BASIN BY COPULA METHOD. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIYUTH SUKHSRI, MS.CE., 169 pp.

Three most significant characteristics of flood event which cause damages are flood peak, flood volume and flood duration. Flood frequency analysis often focuses on flood peak because it is an important parameter for designing hydraulic structures such as spillway, levee and bridge. However for the assessment of flood severity and flood damages or for the planning of flood mitigation and management, flood volume and flood duration are also necessary information.

This research study used the bi-variate flood frequency analysis to analyze the joint probability of floods in the Upper Ping river basin. The objectives of the study were to analyze the suitability of three Copula functions, i.e. Gumbel-Hougaard, Clayton and Ali-Mikhail-Hag and tested the goodness of fit by the Kolmogorov-Smirnov method. The analyses of joint probability, joint probability with conditions and joint return period of floods were carried out by pairing the variables and in two cases: 1) between flood peak and flood volume, and 2) between flood volume and flood duration. The flood frequency analyses included the comparison of differences between return periods by the uni-variate method and conditional return periods by the bi-variate one.

The results indicated that the Gumbel-Hougaard and Clayton Copula functions were suitable for the joint probability distribution of flood peak and flood volume, and for flood volume and flood duration. But the Ali-Mikhail-Hag Copula function was not suitable at the 80 % confidence interval. The analyses of the joint return period showed relation between the pair of flood variables in graphical pattern with several lines following magnitude of return periods which could provide more options for designing and for classifying the severity of flood damages. The joint return periods that analyzed under the condition of "OR case" and "AND case" were found to be significantly differences. Furthermore, the magnitude of return periods that were analyzed by the uni-variate flood frequency analysis were larger than the ones from the conditional joint return periods.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Water Resources Engineering....Student's Signature ....

Field of Study...Water Resources Engineering...Advisor's Signature ....

Academic Year ....2008......................Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ คำปรึกษาแนะนำ และข้อมูลที่มีประโยชน์จากผู้มีพระคุณดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ชัยยุทธ สุขศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำอย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา ดร.สุเทพ แตงทรัพย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.วิรัช ฉัตรดรงค์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน เจ้าหน้าที่กองสำรวจที่ดินพลังน้ำ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำ ผู้อำนวยการสำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา และผู้อำนวยการส่วนวิจัยและพัฒนาทรัพยากรน้ำ ที่อนุญาตให้ข้าพเจ้าได้ลาศึกษาต่อ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณผู้ที่อยู่เบื้องหลังการจัดทำวิทยานิพนธ์ทุกๆ ท่าน

ท้ายสุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้โอกาสและสนับสนุนด้านการศึกษาของข้าพเจ้าตลอดมา รวมทั้งการอบรมเลี้ยงดู ด้วยความรักความอบอุ่น ให้กำลังใจและคำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เสมอมา

ประโยชน์และคุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ที่ให้คำปรึกษา ความอนุเคราะห์ และกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ.. ฉ

สารบัญ.. ช

สารบัญตาราง.. ญ

สารบัญภาพ.. ฐ

บทที่ 1 บทนำ.. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.. 5

1.3 ขอบเขตของการศึกษา.. 5

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.. 9

1.5 พื้นที่ศึกษา.. 11

บทที่ 2 การศึกษาที่ผ่านมา.. 17

2.1 การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 1 ตัวแปร (การศึกษาภายในประเทศ)........ 17

2.2 การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากและพายุฝนแบบ 2 ตัวแปร (การศึกษาในต่างประเทศ) 19

2.2.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula........................ 19

2.2.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธีอื่น ๆ........................ 22

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.. 25

3.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 1 ตัวแปร.. 25

3.1.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น.. 25

3.1.2 สมการความถี่โดยทั่วไป.. 26

3.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 2 ตัวแปร.. 27

3.3 วิธี Copula.. 30

3.3.1 นิยามและคุณสมบัติพื้นฐาน.. 31

3.3.2 ทฤษฎีของ Sklar.. 31

3.3.3 ฟังก์ชัน Copula ที่ใช้ในการศึกษา.. 33

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3.4 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov.. 35

บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการศึกษา.. 38
4.1 การวิเคราะห์ค่าตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก................................... 38
4.1.1 เกณฑ์การกำหนดค่าตัวแปรหลัก.. 38
4.1.2 ขั้นตอนการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก... 45
4.1.3 ผลการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก......... 47
4.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก..................................... 52
4.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก......... 52
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก................ 55
4.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula....................................... 69
4.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม................................. 69
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม....................................... 73
4.4 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข... 92
4.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข............. 92
4.4.2 ผลการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข........................ 93

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.. 100
5.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก..................... 100
5.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลากโดยวิธี Copula....... 100
5.3 คาบการเกิดร่วมของเหตุการณ์น้ำหลาก.. 103
5.4 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข.. 103
5.5 แนวทางการใช้ประโยชน์จากความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดร่วม.......... 104
5.6 ข้อเสนอแนะ.. 105

รายการอ้างอิง.. 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาคผนวก 111
ภาคผนวก ก. ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานีวัดปริมาณน้ำท่า............................... 112
ภาคผนวก ข. ความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก.................... 117
ภาคผนวก ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา MATLAB....................................... 136
ภาคผนวก ง. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ระหว่างการใช้ ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลจากการศึกษาของสุดารัตน์ คำปลิว.. 151
ภาคผนวก จ. ประวัติสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า... 156

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์... 169

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่นำมาใช้ในการศึกษา.. 6

ตารางที่ 1.2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน
แยกตามจังหวัดที่ตั้งสถานี.. 14

ตารางที่ 1.3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน.............................. 16

ตารางที่ 3.1 ค่าเกณฑ์การทดสอบด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov................................ 37

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก... 39

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรหลักของสถานี P20
ตามชนิดของเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก.................................... 51

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความเหมาะสม
ของฟังก์ชัน LP3 และ EVI... 56

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก
ที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P20 กรณีใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย
เป็น FTD.. 57

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก
ที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P1 กรณีใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย
เป็น FTD…... 61

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก
ที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี PE2 กรณีใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย
เป็น FTD….. 65

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม
โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ตามชนิดของ
เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก.. 75

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม
โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามชนิดของ
เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก.. 76

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก
พิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P20................ 90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก พิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P20............. 90

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก พิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P1................ 90

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก พิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P1................ 91

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก พิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี PE2.............. 91

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก พิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี PE2............. 91

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี P20 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก 113

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี P1 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก.. 114

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี PE2 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก 116

ตารางที่ ข-1 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P20...... 118

ตารางที่ ข-2 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P20................... 119

ตารางที่ ข-3 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P1........ 120

ตารางที่ ข-4 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P1..................... 122

ตารางที่ ข-5 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับฟังก์ชัน Copula ของสถานี PE2........ 124

ตารางที่ ข-6 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับฟังก์ชัน Copula ของสถานี PE2.................... 125

ตารางที่ ข-7 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของสถานี P20... 126

หน้า

ตารางที่ ข-8 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ของสถานี P20 127
ตารางที่ ข-9 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุด กับปริมาตรน้ำหลากของสถานี P1 128
ตารางที่ ข-10 ตัวอย่างคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของสถานี P1 กรณีให้ค่าในปี พ.ศ.2548 เป็น outlier....... 131
ตารางที่ ข-11 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของสถานี P1 กรณีใช้และไม่ใช้ค่าในปี พ.ศ.2548 ในการคำนวณคาบการเกิด....... 131
ตารางที่ ข-12 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลา น้ำหลาก ของสถานี P1....... 132
ตารางที่ ข-13 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุด กับปริมาตรน้ำหลากของสถานี PE2....... 134
ตารางที่ ข-14 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลา น้ำหลาก ของสถานี PE2....... 135
ตารางที่ ง-1 เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P20 จากการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลปีพ.ศ.2522-2539....... 152
ตารางที่ ง-2 เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P1 จากการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลปีพ.ศ.2464-2539....... 153
ตารางที่ ง-3 เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี PE2 จากการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลปีพ.ศ.2514-2537....... 153

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของ แม่น้ำโขง บริเวณ อ.เชียงแสน ประเทศไทย และกรุงเวียงจันทน์ สปป.ลาว....... 3
รูปที่ 1.2 คาบการเกิดของเหตุการณ์น้ำหลาก........ 3
รูปที่ 1.3 ตำแหน่งที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน........ 7
รูปที่ 1.4 คุณลักษณะของเหตุการณ์น้ำหลาก........ 8
รูปที่ 1.5 เกณฑ์การเลือกปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก........ 8
รูปที่ 1.6 ขั้นตอนการศึกษา........ 10
รูปที่ 1.7 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนบริเวณจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน........ 14
รูปที่ 1.8 เส้นชั้นปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง........ 15
รูปที่ 3.1 การแบ่งสัดส่วนของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 2 ตัวแปร........ 28
รูปที่ 3.2 ขอบเขตความน่าจะเป็นของเหตุการณ์........ 29
รูปที่ 3.3 ลักษณะของฟังก์ชัน Copula........ 32
รูปที่ 3.4 กราฟแสดง nondecreasing ฟังก์ชัน........ 32
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวและความน่าจะเป็นร่วม. 32
รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นสะสมระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะ เป็นกับวิธี plotting position........ 37
รูปที่ 4.1 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 1........ 40
รูปที่ 4.2 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 1........ 40
รูปที่ 4.3 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 2........ 41
รูปที่ 4.4 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 2........ 41
รูปที่ 4.5 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.1........ 42
รูปที่ 4.6 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 3.1........ 42
รูปที่ 4.7 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.2........ 43
รูปที่ 4.8 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 3.2........ 43
รูปที่ 4.9 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.3........ 44
รูปที่ 4.10 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 3.3........ 44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.11 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.4.......... 45

รูปที่ 4.12 ผังแสดงการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก...................... 46

รูปที่ 4.13 การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี P20.... 48

รูปที่ 4.14 การกระจายของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P20.......... 48

รูปที่ 4.15 การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี P1...... 49

รูปที่ 4.16 การกระจายของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P1............ 49

รูปที่ 4.17 การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี PE2.... 50

รูปที่ 4.18 การกระจายของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี PE2.......... 50

รูปที่ 4.19 ผังแสดงการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก........................ 53

รูปที่ 4.20 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ณ สถานี P20....... 58

รูปที่ 4.21 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20.............. 59

รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20............. 60

รูปที่ 4.23 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ณ สถานี P1........ 62

รูปที่ 4.24 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1................ 63

รูปที่ 4.25 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1............... 64

รูปที่ 4.26 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ณ สถานี PE2....... 66

รูปที่ 4.27 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2............. 67

รูปที่ 4.28 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2............. 68

รูปที่ 4.29 ผังแสดงการคำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุด และปริมาตรน้ำหลาก.. 70

รูปที่ 4.30 ผังแสดงการคำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุด และปริมาตรน้ำหลากโดยสมการ Weibull….. 72

รูปที่ 4.31 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Clayton…...................... 77

รูปที่ 4.32 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Clayton.. 77

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.33 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Clayton (OR case)........ 78
รูปที่ 4.34 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Clayton (AND case)........ 78
รูปที่ 4.35 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 79
รูปที่ 4.36 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 79
รูปที่ 4.37 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)........ 80
รูปที่ 4.38 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)........ 80
รูปที่ 4.39 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 81
รูปที่ 4.40 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 81
รูปที่ 4.41 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)........ 82
รูปที่ 4.42 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)........ 82
รูปที่ 4.43 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Clayton........ 83
รูปที่ 4.44 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton........ 83
รูปที่ 4.45 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton (OR case)........ 84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.46ก คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton (AND case)........ 84
รูปที่ 4.46ข คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton (AND case)........ 85
รูปที่ 4.47 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 86
รูปที่ 4.48 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 86
รูปที่ 4.49 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)........ 87
รูปที่ 4.50 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)........ 87
รูปที่ 4.51 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 88
รูปที่ 4.52 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard........ 88
รูปที่ 4.53 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)........ 89
รูปที่ 4.54 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)........ 89
รูปที่ 4.55 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20........ 94
รูปที่ 4.56 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20........ 94
รูปที่ 4.57 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20........ 95
รูปที่ 4.58 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20........ 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.59 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนด
ค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1.................................... 96
รูปที่ 4.60 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนด
ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1............................ 96
รูปที่ 4.61 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนด
ค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1.................................. 97
รูปที่ 4.62 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนด
ค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1.................................. 97
รูปที่ 4.63 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนด
ค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2................................. 98
รูปที่ 4.64 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนด
ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2.......................... 98
รูปที่ 4.65 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนด
ค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2................................ 99
รูปที่ 4.66 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนด
ค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2................................ 99
รูปที่ ข-1 ความน่าจะเป็นสะสมและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของสถานี P1
กรณีให้ค่าในปี พ.ศ.2548 เป็น outlier……………………………………….. 130
รูปที่ ค-1 ผังแสดงความเชื่อมโยงของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา MATLAB……………. 137
รูปที่ ง-1 คาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานี P20
จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล 2 ชุด.. 147
รูปที่ ง-2 คาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานี P1
จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล 2 ชุด.. 147
รูปที่ ง-3 คาบการเกิดปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานี PE2
จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล 2 ชุด.. 148
รูปที่ จ-1 ที่ตั้งสถานี P20 จากแผนที่ 1:50,000... 158
รูปที่ จ-2 แผนผังลุ่มน้ำปิงตอนบน.. 159
รูปที่ จ-3 แผนที่สังเขปการเดินทางไปสถานี P20... 159

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ จ-4 รูปตัดขวางแม่น้ำปิง สถานี P20 อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่................................ 160
รูปที่ จ-5 เสาระดับ... 161
รูปที่ จ-6 สถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ.. 161
รูปที่ จ-7 ที่ตั้งสถานี P1 จากแผนที่ 1:50,000.. 163
รูปที่ จ-8 แผนผังแสดงลำน้ำปิงของสถานี P1.. 164
รูปที่ จ-9 แผนผังการเดินทางจากสำนักงานชลประทานที่ 1 ไปยังสถานี P1.................... 164
รูปที่ จ-10 รูปตัดขวางแม่น้ำปิง สถานี P1 อ.เมือง จ.เชียงใหม่...................................... 165
รูปที่ จ-11 รูปบริเวณสถานี P1 และเครื่องมือตรวจวัด... 166

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขนาดและความถี่น้ำหลากเป็นข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับงานศึกษา วางแผน และออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่างๆ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ อาคารระบายน้ำ สะพาน และการบรรเทาน้ำท่วม เป็นต้น การประเมินขนาดและความถี่ของน้ำหลากในประเทศไทย นิยมใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่มีการจดบันทึกไว้ โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ความถี่เฉพาะสถานี (point frequency analysis) และการวิเคราะห์ความถี่ในลักษณะภูมิภาค (regional frequency analysis)

จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมา ในกรณีของการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากเฉพาะสถานี พบว่าส่วนใหญ่จะวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 1 ตัวแปร (univariate flood frequency analysis) และให้ความสนใจไปที่ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (flood peak) เป็นหลัก เช่น Sabur (1982) ศึกษาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของขนาดและความถี่น้ำหลากในประเทศไทย พบว่า การแจกแจงแบบ Gumbel (EVI) ปรับเข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุด สุดารัตน์ คำปลิว (2542) และโสธรัตน์ อินสว่าง (2544) ศึกษาขนาดและความถี่ของน้ำหลากโดยการเปรียบเทียบฟังก์ชันชนิดต่างๆ พบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือของประเทศไทย การแจกแจงแบบ log Pearson Type III (LP3) ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด และได้มีการศึกษาการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลากของประเทศไทยโดย Garoon Larpvisutisaroj (1982) พบว่าการแจกแจงแบบ log Pearson Type III ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาชลภาพน้ำหลากพบว่า เหตุการณ์น้ำหลากที่จะก่อให้เกิดความเสียหายนั้นประกอบด้วยตัวแปรหลัก (flood variables) 3 ตัว คือ ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (flood peak, P) ปริมาตรน้ำหลาก (flood volume, V) และช่วงเวลาน้ำหลาก (flood duration, D) ดังนั้นการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 1 ตัวแปร จะสามารถอธิบายเหตุการณ์น้ำหลากได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น และเพื่อที่จะอธิบายเหตุการณ์น้ำหลากให้ครอบคลุมหรือชัดเจนเพื่อที่จะสามารถกำหนดวิธีการบรรเทาปัญหาที่เกี่ยวข้องได้ดีมากยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ตัวแปรหลักพร้อมกันด้วยกระบวนการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบหลายตัวแปร (multivariate flood frequency analysis) ซึ่งวิธีนี้จะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรหลัก โดยการวิเคราะห์อาจพิจารณาเป็น

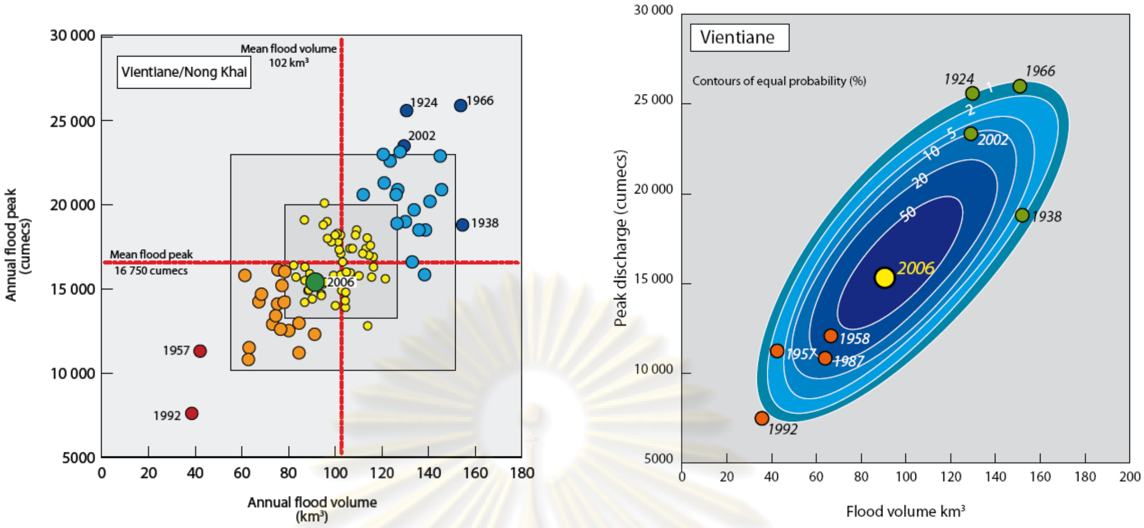
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คู่ เช่น ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก หรือปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก หรือปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับช่วงเวลาน้ำหลาก ซึ่งในกรณีนี้เรียกว่า การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปร (bivariate flood frequency analysis) หรืออีกวิธีอาจพิจารณาตัวแปรหลักทั้ง 3 พร้อมกัน ซึ่งเรียกว่า การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 3 ตัวแปร (trivariate flood frequency analysis)

การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปร ของประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านซึ่งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่โขงปรากฏอยู่ใน Annual Mekong Flood Report 2006 (Mekong River Commission, 2007) ซึ่งได้วิเคราะห์ความถี่ของเหตุการณ์น้ำหลาก โดยการหาความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ดังรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปรจะให้เส้นชั้นความน่าจะเป็นเท่า โดยที่ความน่าจะเป็นหนึ่งๆ ประกอบด้วยค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก หลายๆ คู่ และเมื่อพิจารณาร่วมกับรูปทางซ้ายมือในกรณีของกรุงเวียงจันทน์เมื่อเปรียบเทียบเหตุการณ์ในปี ค.ศ.1938 และ 2002 แม้ว่าปี ค.ศ.2002 จะมีปริมาณน้ำหลากสูงสุดมากกว่าแต่ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ของปี ค.ศ.2002 กลับมากกว่าปี ค.ศ.1938 และเมื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำหลากก็จะพบว่าเมื่อมีปริมาณน้ำหลากสูงสุดเท่ากันเหตุการณ์จะรุนแรงกว่าเมื่อมีปริมาตรน้ำหลากมาก ส่งผลให้อาจต้องใช้มาตรการที่แตกต่างกันในการจัดการเพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วม ซึ่งลักษณะข้อมูลแบบนี้การวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปรไม่สามารถทำได้

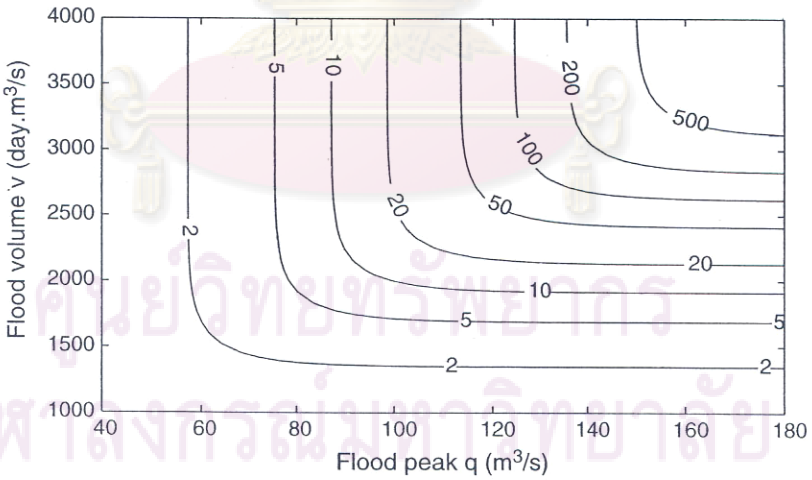
ในการออกแบบทางด้านอุทกวิทยา การจัดการที่ราบน้ำท่วมถึง การประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม การวางแผนการระบายน้ำในเขตเมือง จำเป็นต้องใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม (joint probability distribution) ในการวิเคราะห์ เช่น การออกแบบทางระบายน้ำในเขตเมืองต้องใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุด (peak runoff) กับปริมาตรน้ำไหลบ่า (volume) การประเมินความเสียหายจากน้ำท่วมจะให้ความสำคัญกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก สำหรับการออกแบบทางอุทกวิทยาและการจัดการที่ราบน้ำท่วมถึงจะพิจารณาการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก (Zhang และ Singh, 2007b) โดยทั่วไปเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบจะกำหนดด้วยค่าคาบการเกิดของเหตุการณ์ และเมื่อใช้การวิเคราะห์ความถี่แบบ 2 ตัวแปร จะทำให้ได้ค่าคาบการเกิดเป็นเส้นคาบการเกิดเท่าดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งทำให้สร้างทางเลือกได้หลายรูปแบบในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการออกแบบทางด้านอุทกวิทยา (Yue และคณะ, 1999)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของแม่น้ำโขง บริเวณ อ.เชียงแสน ประเทศไทย และ กรุงเวียงจันทน์ สปป.ลาว

ที่มา : Mekong River Commission (2007)



รูปที่ 1.2 คาบการเกิดของเหตุการณ์น้ำหลาก (Yue และ Rasmussen, 2002)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ผ่านมาได้มีผู้ศึกษาเหตุการณ์น้ำหลากโดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมชนิดต่างๆ เช่น Sackl และ Bergmann (1987) ใช้ bivariate normal distribution วิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก Yue และคณะ (1999) ใช้ Gumbel mixed distribution ในการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากและปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก Yue (2000b) ใช้ bivariate lognormal distribution ในการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากและปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก เป็นต้น

การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบหลายตัวแปร ด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นนั้น จะตั้งอยู่บนสมมติฐานอย่างใดอย่างหนึ่งใน 3 ข้อ ต่อไปนี้ คือ 1) ตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก มีความเป็นอิสระต่อกัน (independent) 2) ตัวแปรหลักมีการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวชนิดเดียวกัน และ 3) ตัวแปรหลักมีการแจกแจงความถี่แบบ normal distribution หรือสามารถแปลงให้เป็น normal distribution ได้ โดยความเป็นจริงแล้วตัวแปรหลัก แต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์ต่อกัน และโดยปกติจะไม่ได้มีการแจกแจงความถี่แบบ normal distribution และอาจไม่ได้มีการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวชนิดเดียวกัน (Zhang และ Singh, 2007b) เช่นเมื่อต้องการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่โดยใช้ฟังก์ชันแบบ bivariate normal distribution แต่การแจกแจงความถี่แบบ normal distribution ไม่สามารถเป็นตัวแทนของตัวแปรหลักได้ ก็ไม่สามารถใช้ bivariate normal distribution ได้ หรือแม้ว่า normal distribution จะเป็นตัวแทนของตัวแปรหลักได้ก็ตาม แต่อันที่จริงแล้วการแจกแจงแบบ Gumbel เข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุด การวิเคราะห์ด้วย bivariate normal distribution ก็อาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนไปได้

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่จะอธิบายเหตุการณ์น้ำหลากให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยนำการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่แบบ 2 ตัวแปร มาอธิบายเหตุการณ์น้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งเป็นพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลขึ้นไป เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีการควบคุมการไหลในแม่น้ำปิง มีเพียงเขื่อนแม่งัดและแม่กวง ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขา และเป็นพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมบ่อยครั้งโดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ ดังเช่นที่เคยเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2536 2537 2547 และ 2548 เป็นต้น และวิธีการหลักที่ใช้สำหรับการศึกษานี้ คือ Copula method ซึ่งวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับสมมติฐานต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจาก Copula เป็นฟังก์ชันที่ใช้เชื่อมหรือรวมการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลักเข้าด้วยกัน ซึ่งการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลักนั้นจะเป็นฟังก์ชันชนิดใดก็ได้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถเลือกใช้ฟังก์ชันที่เหมาะสมกับข้อมูล

มากที่สุดได้ อีกทั้งยังไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร เนื่องจากมี Copula หลายฟังก์ชันให้เลือกใช้ซึ่งครอบคลุมค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรในช่วง [-1,1] และ Copula ฟังก์ชันที่มีผู้นำมาศึกษาในเชิงอุทกวิทยานั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น Gumbel-Hougaard Ali-Mikhail-Hag Clayton Frank และ Galambos เป็นต้น จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมา ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard ได้ถูกนำมาใช้โดย Michele และคณะ (2005) Zhang และ Singh (2006, 2007a และ 2007b) Shiau (2003) อ้างถึงใน Salvadori และ Michele (2004) ฟังก์ชัน Clayton เป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมตามการศึกษาของ Shiau, Wang และ Tsai (2006) Favre และคณะ (2004) Zhang และ Singh (2007a) ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag เป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมตามการศึกษาของ Zhang และ Singh (2007a)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อเปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula ที่ใช้ในการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม และนำฟังก์ชันที่เหมาะสมมาใช้ในพื้นที่ศึกษา

2. เพื่อศึกษาความน่าจะเป็นร่วม ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข และคาบการเกิดร่วมของเหตุการณ์น้ำหลาก โดยพิจารณาตัวแปรหลัก 2 คู่ คือ 1) ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และ 2) ปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก

3. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร กับคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดปริมาตรน้ำหลากจากการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ดำเนินการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน (รูปที่ 1.3) โดยศึกษาเฉพาะลำน้ำปิงสายหลัก และใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่ารายวันจำนวน 3 สถานี คือ P1 P20 และ PE2 ซึ่งมีรายละเอียดของสถานีดัง ตารางที่ 1.1

2. ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันเป็นข้อมูลหลักในการศึกษา โดยค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดจะใช้ค่า maximum momentary peak discharge ของปีนั้นๆ ส่วนค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากจะคำนวณจากกราฟน้ำท่า ที่สร้างขึ้นจากค่าอัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน โดยจะกำหนดค่าอัตราการไหลค่าหนึ่งขึ้นมาเพื่อเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก (flood threshold discharge) เช่น ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย หรือค่าปริมาณน้ำหลากที่มีค่าน้อยที่สุดที่มีการจดบันทึก เป็นต้น และคำนวณปริมาตรน้ำหลากได้จากพื้นที่ใต้กราฟภายในช่วงเวลาน้ำหลาก ส่วนช่วงเวลาน้ำหลากคือช่วงเวลาที่กราฟน้ำท่าตัดกับเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก ดัง

แสดงในรูปที่ 1.4 เนื่องจากในช่วงปีหนึ่งๆนั้น อาจจะมียอดของกราฟน้ำท่าที่สูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากมากกว่า 1 ยอด ในกรณีนี้จะคิดปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก ที่อยู่ในช่วงเดียวกับปริมาณน้ำหลากสูงสุดเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1.5

3. การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก จากผลการศึกษาของ Garoon (1982) สุดารัตน์ (2542) และ โสธรัตน์ (2544) พบว่าฟังก์ชันการแจกแจงแบบ log Pearson Type III เป็นฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมในพื้นที่ศึกษา แต่เนื่องจากการแจกแจงแบบ Gumbel เป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้ในประเทศไทย จึงได้นำฟังก์ชันทั้ง 2 ชนิดมาทดสอบหาความเหมาะสมเพื่อนำไปวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของตัวแปรหลักทั้ง 3

4. การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปร เลือกใช้ฟังก์ชัน Copula เพื่อวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม 3 ชนิด คือ

1) Gumbel-Hougaard

2) Clayton

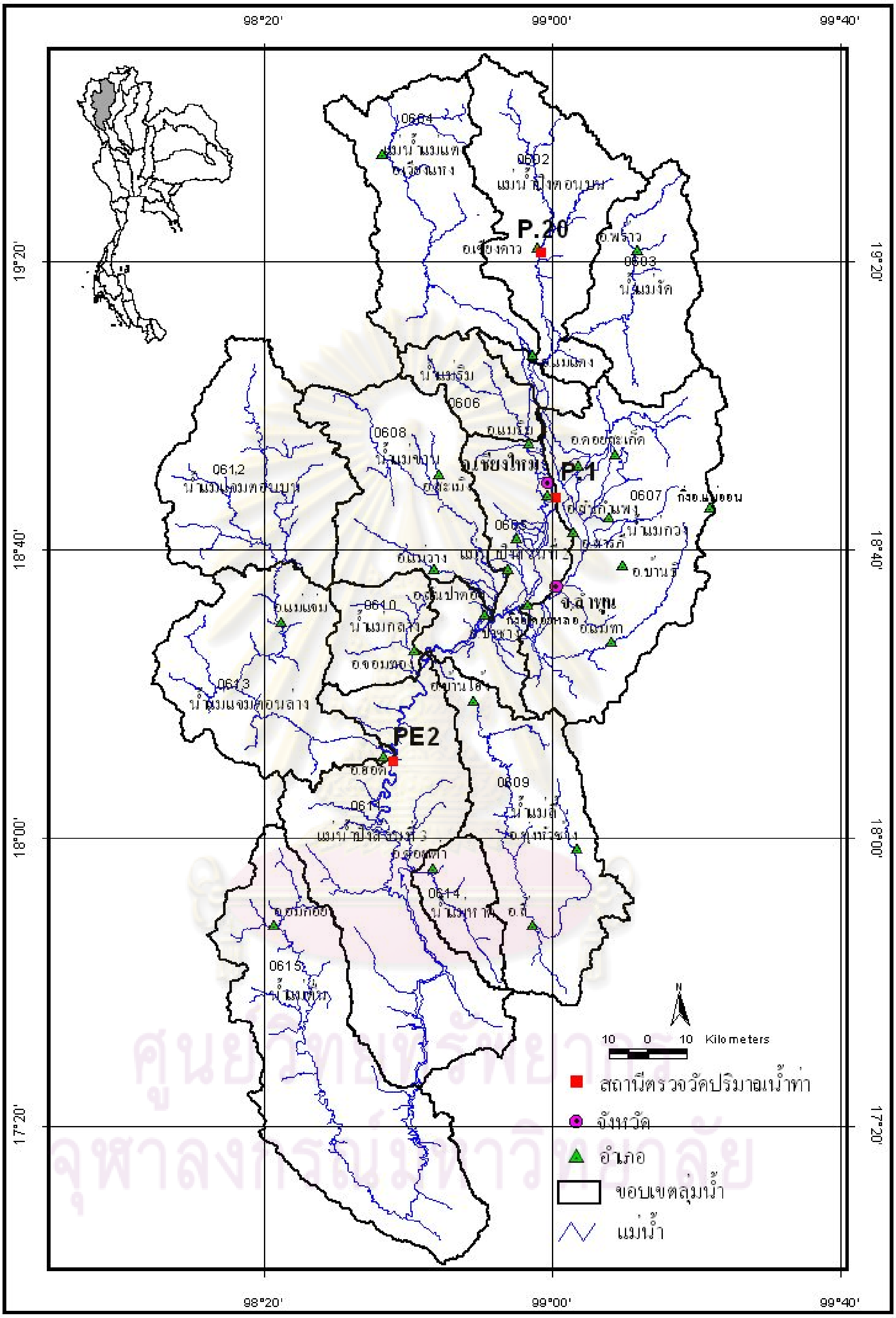
3) Ali-Mikhail-Hag

5. ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov

ตารางที่ 1.1 สถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่นำมาใช้ในการศึกษา

สถานี	P20	P1	PE2
หน่วยงาน	กรมชลประทาน	กรมชลประทาน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ที่ตั้ง	บ้านเชียงดาว ต.เชียงดาว อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	สะพานนวรัฐ ต.วัดเกตุ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	บ้านกองหิน อ.ฮอด จ.เชียงใหม่
พื้นที่รับน้ำ	1,355 ตร.กม.	6,355 ตร.กม.	18,932 ตร.กม.
ปีที่ตรวจวัด (พ.ศ.)	2522-2549	2464-2549	2513-2517 และ 2522-2549

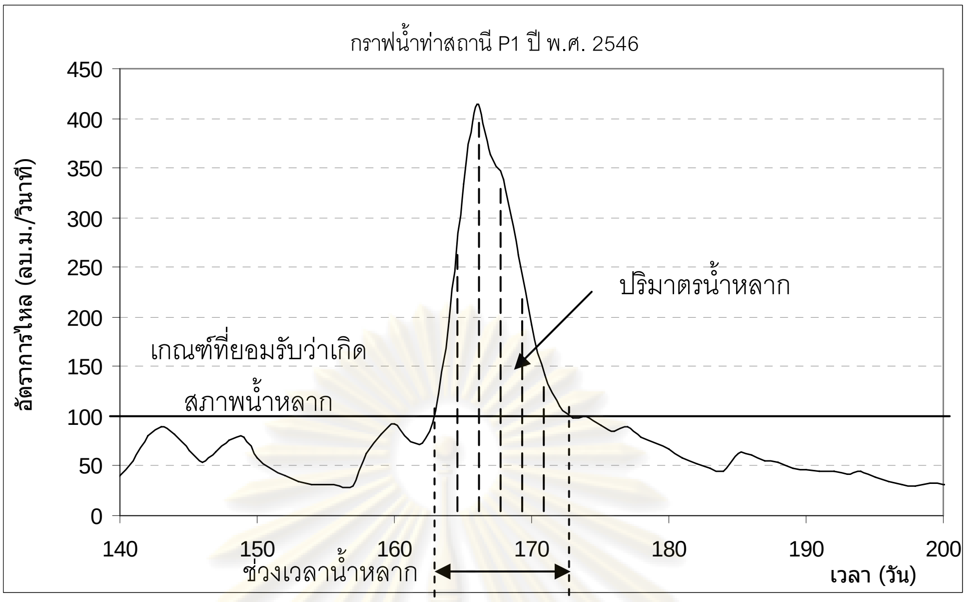
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



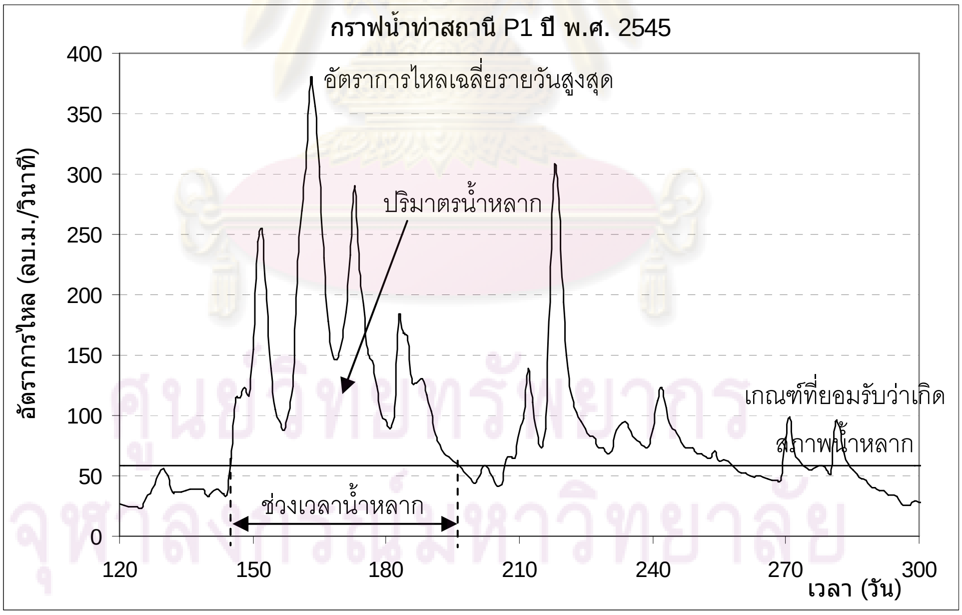
รูปที่ 1.3 ตำแหน่งที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.4 คุณลักษณะของเหตุการณ์น้ำหลาก



รูปที่ 1.5 เกณฑ์การเลือกปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎี หลักการและสมมติฐานต่างๆ เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลาก เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัย

2. รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีที่ใช้ในการศึกษา

3. ตรวจสอบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด คำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก จากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่รวบรวมได้

4. วิเคราะห์ความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงแบบ log Pearson Type III และ Gumbel ด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov จากนั้นใช้ฟังก์ชันที่เหมาะสมคำนวณความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัว

5. นำความน่าจะเป็นที่ได้จากข้อ 4. มาเป็นข้อมูลนำเข้า (input data) ให้แก่ฟังก์ชัน Copula ทั้ง 3 ชนิด และวิเคราะห์หาฟังก์ชันที่เหมาะสมด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov

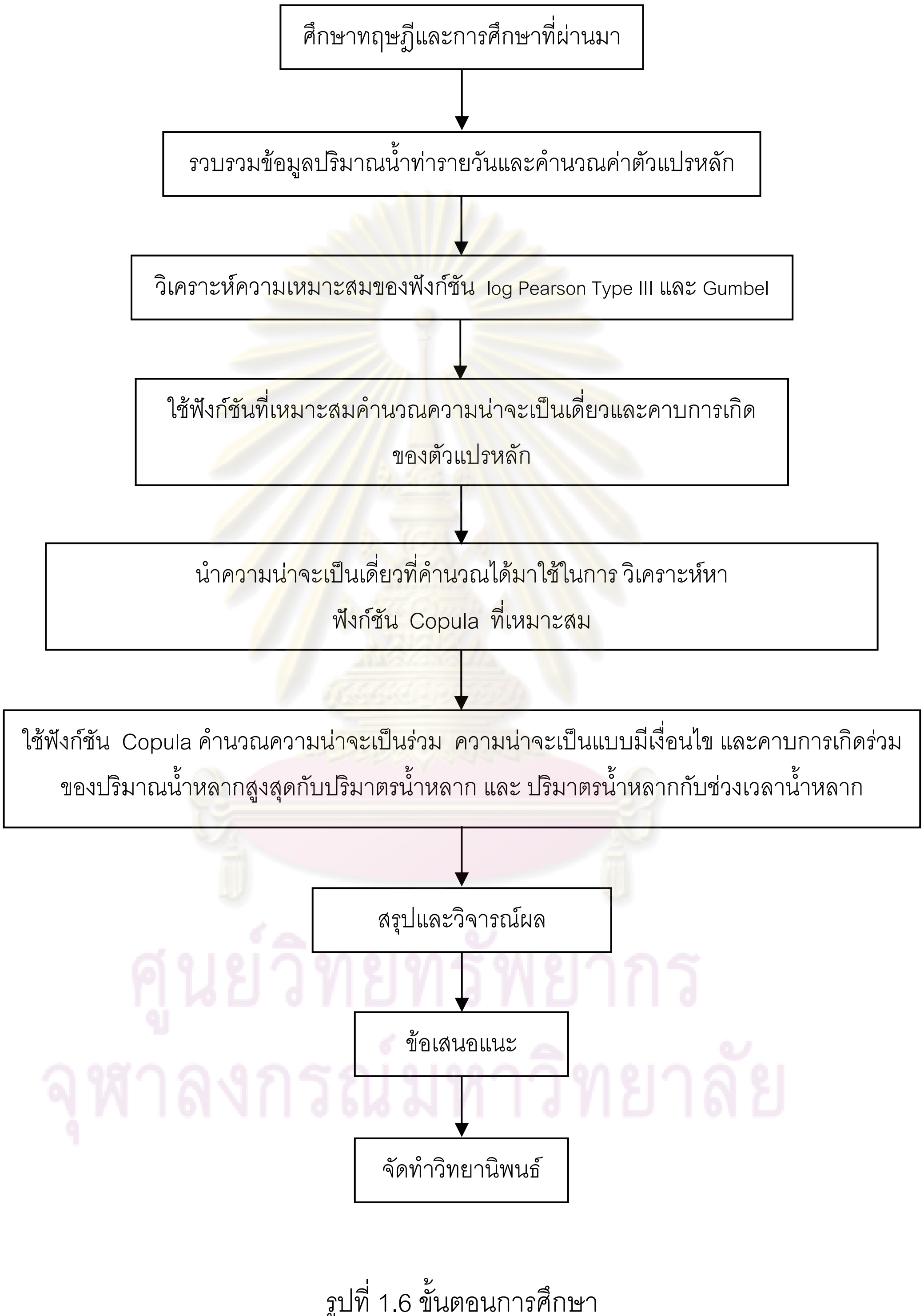
6. นำฟังก์ชันที่ได้จากข้อ 5. มาวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขและคาบการเกิดร่วม

7. วิจารณ์และสรุปผลการวิเคราะห์

8. ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาในลำดับต่อไป

9. รวบรวมและจัดทำวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 พื้นที่ศึกษา

1.5.1 อาณาเขต ที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศ

อาณาเขตและที่ตั้ง

ลุ่มน้ำปิงรหัสลุ่มน้ำหมายเลข 06 ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่รับน้ำ 34,856 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากมีเขื่อนภูมิพลสร้างปิดกั้นลำน้ำปิงบริเวณอำเภอสามเงา จังหวัดตาก ซึ่งอยู่ใกล้กับตอนกลางของลุ่มน้ำ สำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทช.) จึงได้แบ่งการบริหารจัดการลุ่มน้ำปิงแบ่งเป็นลุ่มน้ำปิงตอนบนและตอนล่าง โดยลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลครอบคลุมพื้นที่รับน้ำประมาณ 25,000 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ลุ่มน้ำปิง อยู่ระหว่างละติจูด 15 24 00 ถึง 19 49 00 เหนือ และเส้นลองจิจูด 98 05 30 ถึง 100 09 12 ตะวันออก ความยาวลำน้ำประมาณ 740 กิโลเมตร ทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวินและลุ่มน้ำแม่กก ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำสะแกกรังและลุ่มน้ำแม่กลอง ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำวัง

สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศตอนบนลุ่มน้ำปิงเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้ แม่น้ำปิงมีต้นกำเนิดในทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว มีระดับความสูงอยู่ที่ 500 – 1,300 เมตร รทก. มีความลาดชันประมาณ 1:40 จากนั้นไหลลงมาทางทิศใต้ผ่านหุบเขาเมื่อเข้าเขตอำเภอแม่แตงมีน้ำแม่งัดไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายและน้ำแม่แตงไหลมาบรรจบทางฝั่งขวา บริเวณนี้มีระดับความสูงระหว่าง 320-500 เมตร รทก. มีความลาดชันประมาณ 1:50 จากนั้นไหลผ่านอำเภอแม่ริมและเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่มในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ พื้นที่บริเวณนี้มีระดับความสูงระหว่าง 260-300 เมตร รทก. มีความลาดชันประมาณ 1:1,800 จากนั้นมีน้ำแม่กวงไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายบริเวณพื้นที่ของจังหวัดลำพูน จากนั้นแม่น้ำปิงไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีน้ำแม่ลี้ซึ่งไหลจากอำเภอลี้ขึ้นมาทางเหนือมาบรรจบกับแม่น้ำปิง ที่อำเภอจอมทองทางด้านฝั่งซ้าย จากอำเภอจอมทองแม่น้ำปิงไหลลงใต้ มีน้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอด ก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า โดยมีความลาดชันในบริเวณนี้ประมาณ 1:1,590 และมีระดับความสูงระหว่าง 140-260 เมตร รทก.

1.5.2 สภาพภูมิอากาศ

จากลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำปิงตอนบน ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงซึ่งเป็นลักษณะของต้นน้ำลำธารทั่ว ๆ ไป สภาพภูมิอากาศจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อุณหภูมิของอากาศรายเดือนเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 20.9 - 31.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนมกราคม อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 26.7 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉลี่ยที่ค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 51.0 - 84.0 เดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุดคือเดือนกันยายนและมีนาคมตามลำดับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 71.0

ปริมาณการระเหยจากถาดรายเดือนเฉลี่ย ในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนมีปริมาณค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ระหว่าง 94.4 - 216.8 มิลลิเมตร สูงสุดในเดือนเมษายนและต่ำสุดในเดือนธันวาคม สถานีจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนบนสุดของลุ่มน้ำมีค่าปริมาณการระเหยรวมทั้งปีประมาณ 1,639.0 มิลลิเมตร

1.5.3 ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า

พื้นที่ลุ่มน้ำปิง ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง สภาพภูมิอากาศทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นแล้วในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่น ซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำปิงมีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยเดือนกันยายนมีปริมาณฝนมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 226.4 มิลลิเมตร เดือนมกราคมมีปริมาณฝนน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.8 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณฝนรวมเฉลี่ยของลุ่มน้ำปิงมีค่าประมาณ 1,097.6 มิลลิเมตร โดยแยกเป็นฝนที่ตกในช่วงฤดูฝน (พ.ค.- ต.ค.) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 969.2 มิลลิเมตร ขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 128.4 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 88 และ 12 ของปริมาณฝนรวมตามลำดับ และได้แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ดังตารางที่ 1.2 และรูปที่ 1.7 และแสดงเส้นชั้นปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ดังรูปที่ 1.8

ลุ่มน้ำปิงมีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติทั้งปีเฉลี่ย 9,043.7 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน 8.23 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร และได้แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ดังตารางที่ 1.3

1.5.4 ปัญหาน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีปัญหาการเกิดน้ำท่วม สรุปได้ดังนี้

1. ปัญหาการเกิดน้ำท่วมในลำน้ำปิงสายหลัก เกิดจากน้ำในแม่น้ำปิงไหลล้นตลิ่ง เนื่องจากฝนตกหนักในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน เมื่อน้ำในแม่น้ำปิงไหลล้นตลิ่งจากบริเวณเหนือตัวเมืองเชียงใหม่จะไหลเข้าท่วมพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ อำเภอหางดง อำเภอสันป่าตอง และอำเภอจอมทอง ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของตัวจังหวัด ตลอดจนอำเภอป่าซาง และอำเภอเมืองจังหวัดลำพูน ทำให้ราษฎรได้รับความเดือดร้อนโดยเฉพาะบ้านเรือนและที่ดินทำกินของราษฎร ที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำปิงจะได้รับความเสียหายอย่างมาก น้ำในแม่น้ำปิงช่วงที่ไหลผ่านเมืองเชียงใหม่จะเริ่มล้นตลิ่งเมื่อปริมาณน้ำในลำน้ำที่ไหลผ่านมีมากกว่า 350 ลบ.ม./วินาที หรือที่ระดับประมาณ 3.40 ม. ที่สะพานนวรัฐซึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำทางตอนบนในลุ่มน้ำสาขาปิงส่วนที่ 1 ลุ่มน้ำแม่แตง ลุ่มน้ำแม่งัด และลุ่มน้ำแม่ริม มีเพียงลำน้ำแม่งัดเท่านั้นที่มีเขื่อนเก็บกักน้ำบนลำน้ำจะเห็นว่าสภาวะน้ำท่วมในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ และน้ำเอ่อล้นตลิ่งสองฝั่งแม่น้ำปิงในเขตอำเภอหางดง สันป่าตอง จอมทองและป่าซาง จะเกิดจากปริมาณน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและน้ำแม่แตงเป็นส่วนใหญ่ โดยมีน้ำจากน้ำแม่ริมมาช่วยเสริมทำให้ระดับน้ำท่วมเพิ่มสูงขึ้นสภาวะของอุทกภัยมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นเนื่องจากปัจจัยด้านอื่นนอกเหนือจากการเกิดสภาวะฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้แก่การตัดไม้ทำลายป่า การสร้างฝายหรืออาคารทดน้ำเพื่อการเกษตร การขยายตัวของตัวเมืองอย่างไร้ทิศทางตลอดจนการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนกีดขวางรุกเส้นทางการไหลของน้ำ และการตื้นเขินของแม่น้ำปิงเนื่องจากการตกตะกอนในแม่น้ำ

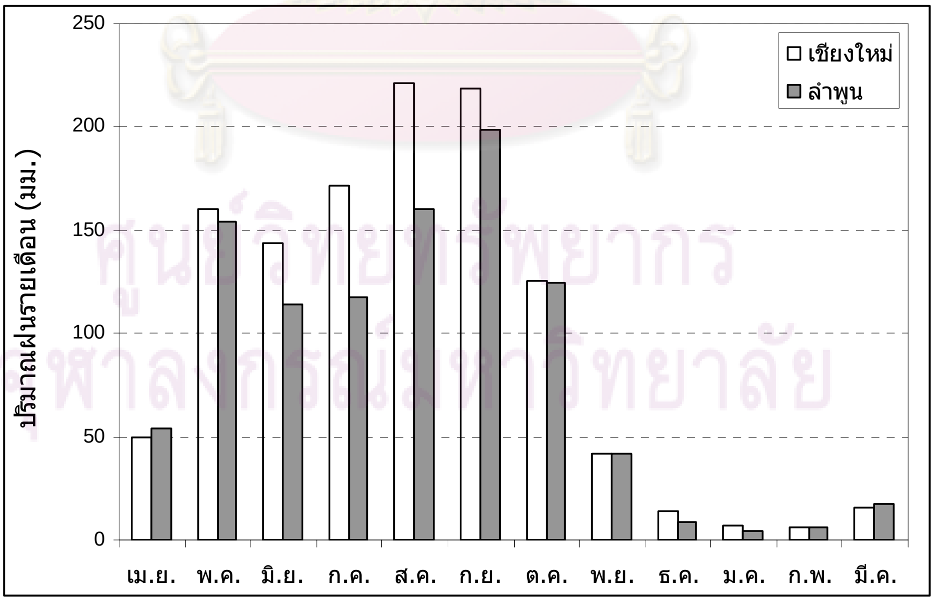
2. ปัญหาน้ำท่วมตามลำน้ำสาขาหรือลุ่มน้ำสาขา เกิดจากสภาพภูมิประเทศและความลาดชันของพื้นที่และลำน้ำสาขา เมื่อฝนตกหนักในช่วงเดือนกรกฎาคม–เดือนกันยายน ปริมาณน้ำหลากจึงไหลลงสู่ลำน้ำธรรมชาติอย่างรวดเร็วประกอบกับสภาพลำน้ำซึ่งบางแห่งและบางช่วงมีสภาพตื้นเขิน หรือมีสิ่งก่อสร้างกีดขวางการไหลของน้ำพื้นที่บางแห่งจึงประสบปัญหาน้ำท่วมในบริเวณที่ราบติดเชิงเขา ที่ลุ่มริมลำน้ำและที่ราบลุ่มต่ำซึ่งลักษณะของน้ำท่วมจะมีทั้งแบบน้ำท่วมขัง น้ำเอ่อล้นตลิ่ง และน้ำป่าไหลหลาก และจากการที่ไม่มีแหล่งเก็บกักน้ำอย่างเพียงพอในการเก็บกักและชะลอปริมาณน้ำหลาก จึงไม่สามารถจัดการเก็บปริมาณน้ำหลากจำนวนมากได้ พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำปิงตอนบน จำนวน 15 ลุ่มน้ำสาขาที่เกิดปัญหาน้ำท่วม ประกอบด้วย ลุ่มน้ำแม่น้ำปิงส่วนที่ 1 ลุ่มน้ำแม่แตง ลุ่มน้ำแม่งัด ลุ่มน้ำแม่ริม ลุ่มน้ำแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 ลุ่มน้ำแม่กวง ลุ่มน้ำแม่แจ่ม ลุ่มน้ำแม่ขาน ลุ่มน้ำแม่กลาง ลุ่มน้ำแม่น้ำปิงส่วนที่ 3 (จ.เชียงใหม่) ลุ่มน้ำแม่หาด ลุ่มน้ำแม่ลี้ ลุ่มน้ำแม่อ่าว ลุ่มน้ำแม่ทา และลุ่มน้ำแม่ตื่น (จ.เชียงใหม่) พื้นที่ลุ่มน้ำ

ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ต้นน้ำลำธาร ปัญหาน้ำท่วมในลุ่มน้ำต่าง ๆ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับไม่รุนแรงซึ่งปัญหาน้ำท่วมเกิดจากปริมาณน้ำหลากที่ไหลลงสู่ลำน้ำธรรมชาติอย่างรวดเร็วเกินกำลังความจุของลำน้ำที่จะรับได้ ทำให้น้ำเอ่อล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มริมลำน้ำ ดังนั้นในลุ่มน้ำที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำจะประสบปัญหาน้ำท่วมน้อย เช่น ลุ่มน้ำแม่งัด เนื่องจากอ่างเก็บน้ำสามารถเก็บกักและจัดการกับปริมาณน้ำหลากได้บางส่วน จะมีปัญหาบ้างเฉพาะในบริเวณพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำเท่านั้น ส่วนลุ่มน้ำที่ประสบปัญหาน้ำท่วมรุนแรงหรือมีความเสียหายมากกว่าลุ่มน้ำอื่น ๆ คือ ลุ่มน้ำแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 เนื่องจากอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มมีชุมชนเมืองอาศัยอยู่หนาแน่นทั้งเชียงใหม่และลำพูน มีพื้นที่ป่าไม้น้อยมีพื้นที่เกษตรกรรมมาก และรองรับปริมาณน้ำหลากจากลุ่มน้ำอื่นมารวมกันทั้งลุ่มน้ำปิงส่วนที่ 1 แม่แตง แม่งัด และแม่ริม

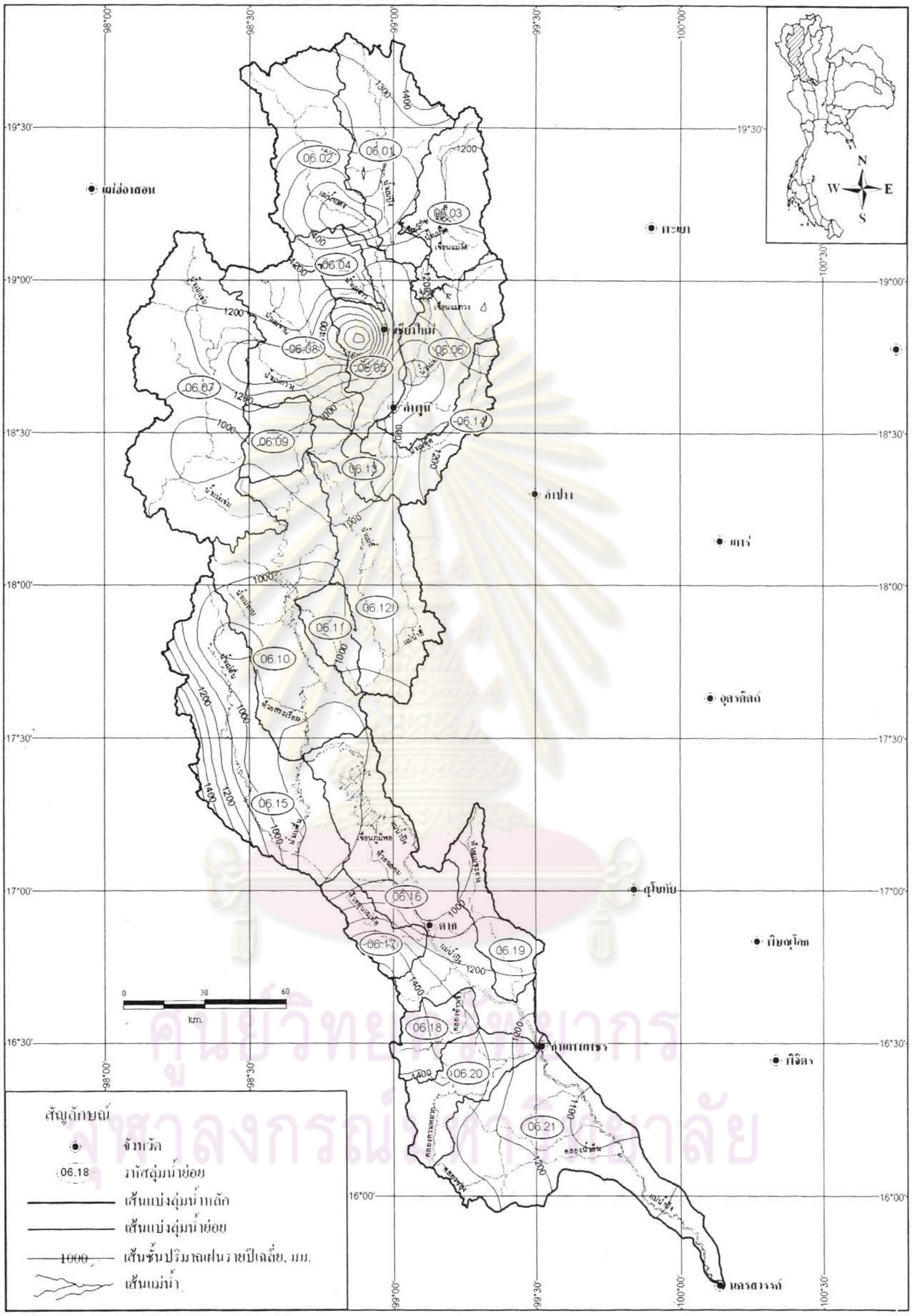
ตารางที่ 1.2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน แยกตามจังหวัดที่ตั้งสถานี

จังหวัด	จำนวนสถานี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
เชียงใหม่	79	49.3	160.2	143.3	171.6	221.3	218.6	125.7	42.2	14.1	7.4	5.9	15.4
ลำพูน	12	53.6	153.8	113.8	117.7	160.6	198.5	124.8	41.9	8.3	4.4	5.9	17.5

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



รูปที่ 1.7 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนบริเวณจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.8 เส้นชั้นปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางที่ 1.3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ชื่อลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												ทั้งปี (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ ลิตร/วินาที/ตร.กม.
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.		
แม่ปิงส่วนที่ 1	1,979	10.01	16.06	31.30	41.53	93.34	133.25	84.29	49.96	31.75	22.00	15.29	10.77	539.55	8.65
แม่แตง	1,931	14.70	29.12	39.98	47.13	101.37	121.18	94.17	65.65	42.06	25.63	15.18	14.66	610.80	10.03
แม่งัด	1,287	3.77	12.16	17.92	27.30	78.15	75.55	47.37	29.32	15.52	11.58	5.30	4.61	328.56	8.10
แม่ริม	525	3.72	9.36	15.24	17.53	28.17	35.63	28.02	20.09	13.17	8.85	5.69	3.54	189.02	11.42
แม่ปิงส่วนที่ 2	1,480	6.70	18.16	27.03	33.37	76.56	98.10	66.56	43.29	28.36	13.58	6.77	5.32	423.82	9.08
แม่กวง	1,694	4.72	16.56	22.14	41.77	129.17	163.17	96.05	54.27	18.57	8.61	5.09	4.08	564.18	10.56
แม่แจ่ม	3,896	23.77	42.95	61.80	91.59	199.58	236.24	185.22	112.30	72.22	54.50	35.61	29.23	1,145.02	9.32
แม่ขาน	1,804	7.07	17.56	25.18	26.83	55.32	85.33	78.95	48.38	30.25	18.48	11.28	6.90	411.53	7.23
แม่กลาง	629	4.00	12.59	13.71	13.06	28.27	52.30	50.90	29.79	16.41	8.91	3.84	3.33	237.10	11.95
แม่ปิงส่วนที่ 3	3,171	13.19	29.78	41.26	68.20	121.70	145.59	113.62	67.41	44.38	24.65	15.63	14.00	699.39	6.99
แม่หาด	533	3.02	5.55	5.87	8.69	14.89	19.22	12.80	11.93	7.99	4.50	3.19	3.12	100.77	6.00
แม่ลี้	2,080	2.93	10.02	13.43	7.87	14.47	62.89	60.59	27.22	6.80	2.23	0.67	0.82	209.92	3.20
แม่ตื่น	3,168	10.86	33.79	61.77	108.87	193.83	235.80	199.63	82.81	51.28	31.17	15.95	11.71	1,037.47	10.38

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16

บทที่ 2

การศึกษาที่ผ่านมา

2.1 การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 1 ตัวแปร (การศึกษาภายในประเทศ)

Sabur (1982) ศึกษาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ขนาดและความถี่น้ำหลากในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจำนวน 82 สถานี และได้เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 4 ชนิด คือ lognormal 2 parameter Pearson Type III log Pearson Type III และ Gumbel พบว่า เมื่อใช้การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov การแจกแจงแบบ Gumbel และ lognormal 2 parameter ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ที่สุด แต่เมื่อใช้การทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี chi-square พบว่าการแจกแจงแบบ Gumbel ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด ดังนั้นผู้ศึกษาจึงแนะนำให้ใช้การแจกแจงแบบ Gumbel ในการวิเคราะห์ขนาดและความถี่น้ำหลากของแม่น้ำในประเทศไทย

Garoon Larpvisutisaroj (1982) ศึกษาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลาก โดยเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 6 ชนิด คือ exponential gamma lognormal Gumbel Pearson Type III และ log Pearson Type III ใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี maximum likelihood ยกเว้นการแจกแจงแบบ Pearson Type III และ log Pearson Type III ใช้วิธี moment และทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov และ chi-square วิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีวัดปริมาณน้ำท่าของประเทศไทยจำนวน 7 สถานี (อยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน 3 สถานี) โดยพิจารณา threshold discharge หลายๆค่า พบว่า เมื่อทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี chi-square การแจกแจงแบบ gamma ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด และเมื่อทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov การแจกแจงแบบ log Pearson Type III ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด

Argete (1983) ศึกษาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของขนาดน้ำหลากและน้ำแล้งบริเวณลุ่มน้ำแม่โขงตอนล่าง โดยเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 5 ชนิด คือ normal lognormal 3 parameter Gumbel Pearson Type III และ log Pearson Type III ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov วิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีวัดปริมาณน้ำท่า 5 สถานี พบว่าในกรณีน้ำแล้งฟังก์ชันการแจกแจงแบบ lognormal 3 parameter ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด และการแจกแจงแบบ Gumbel ปรับเข้ากับข้อมูลได้น้อยที่สุด กรณี

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของน้ำหลากนั้น ไม่สามารถระบุได้ว่าฟังก์ชันชนิดใดเหมาะสมที่สุดเพราะแต่ละสถานีที่วิเคราะห์มีปริมาณน้ำท่าต่างกันมากอีกทั้งมีลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางอุทกวิทยาที่แตกต่างกันด้วย

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ (2531) ศึกษาการแจกแจงความถี่ของปริมาตรน้ำท่วม โดยคำนวณหาปริมาตรน้ำท่วมสูงสุดรายปีสำหรับช่วงเวลาการไหลตั้งแต่ 1 – 30 วัน แล้ววิเคราะห์การแจกแจงความถี่ด้วยฟังก์ชัน Gumbel จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์โดยพิจารณาทั้งลุ่มน้ำรวม พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำท่วมสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ลุ่มน้ำ มีความสัมพันธ์กันอย่างดี โดยส่วนใหญ่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.90

วิชชุดา เลี่ยมสงวน (2540) วิเคราะห์ขนาดและความถี่น้ำท่วมของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยวิธีข้อมูลจากอนุกรมสูงสุดรายปี (ADS) และข้อมูลจากอนุกรมสูงสุดบางส่วน (PDS) เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Gumbel สำหรับข้อมูล ADS และเลือกฟังก์ชันแบบ exponential และ Poisson ในการอธิบายขนาดและความถี่สำหรับข้อมูล PDS พบว่าการใช้ค่าพารามิเตอร์จากวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (ML) และวิธีโมเมนต์ (MM) ให้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ข้อมูลทั้งสองวิธีคล้ายกัน แต่เนื่องจากค่าพารามิเตอร์จากวิธี ML ส่วนใหญ่ให้ค่าความแตกต่างสูงสุดระหว่างความถี่ข้อมูลน้ำท่วม ที่คำนวณจากวิธี plotting position และจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เลือกไว้ที่มีค่าต่ำกว่า จากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์จากวิธี ML เป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าวิธี MM และพบว่าที่คาบการเกิดซ้ำเดียวกัน ค่าปริมาณการไหลจากข้อมูล PDS มีค่าสูงกว่าจากข้อมูล ADS ซึ่งถ้านำไปใช้ในการออกแบบอาคารชลศาสตร์หรืองานบรรเทาอุทกภัย จะได้อาคารที่มีความปลอดภัยสูงกว่าหรือมีความเสี่ยงน้อยกว่า

สุดารัตน์ คำปลิว (2542) วิเคราะห์ขนาดและความถี่น้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ 4 ชนิด คือ lognormal 2 parameter Pearson Type III log Pearson Type III และ Gumbel ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี chi-square Kolmogorov-Smirnov และ least square ผลการศึกษาพบว่าสำหรับข้อมูลที่มีความยาวตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไปเมื่อใช้การทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov การแจกแจงแบบ log Pearson Type III เป็นฟังก์ชันที่ปรับเข้ากับข้อมูลน้ำหลากสูงสุดรายปีได้ดีที่สุด ขณะที่ความยาวข้อมูลสั้นประมาณ 10 ปี การแจกแจงแบบ lognormal 2 parameter ปรับเข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุด ส่วนการทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี chi-square ให้ผลการทดสอบไม่ชัดเจนนัก เมื่อความยาวข้อมูลต่ำกว่า 25 ปี แต่เมื่อข้อมูลยาวเกินกว่า 25 ปี ฟังก์ชันการแจกแจงแบบ lognormal 2 parameter สามารถปรับเข้ากับข้อมูลได้ดีกว่าวิธี Gumbel สำหรับวิธี least square ให้ผลที่สอดคล้องกันกับการทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov

โสธรัตน์ อินสว่าง (2544) ศึกษาการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากสูงสุดในประเทศไทย โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ 4 ชนิด คือ lognormal 2 parameter Pearson Type III log Pearson Type III และ Gumbel ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี moment และ maximum likelihood ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี chi-square และ Kolmogorov-Smirnov พบว่าในพื้นที่ภาคเหนือการแจกแจงแบบ log Pearson Type III โดยการทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด

2.2 การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากและพายุฝนแบบ 2 ตัวแปร (การศึกษาในต่างประเทศ)

2.2.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula

Favre และคณะ (2004) ศึกษาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปรด้วยวิธี Copula โดยได้ศึกษาปัญหาทางอุทกวิทยา 2 กรณีคือ

1) วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของแม่น้ำ Peribonka ประเทศแคนาดา โดยปริมาณน้ำหลากสูงสุดเกิดจากน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนผลิตกระแสไฟฟ้าและปริมาณน้ำหลากจากแม่น้ำ Serpent ที่อยู่ด้านท้ายเขื่อน ศึกษาโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำสูงสุดจากเขื่อนและจากแม่น้ำ Serpent เพื่อหาค่าปริมาณน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ จุดบรรจบของแม่น้ำ จากการเปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula 4 ชนิด คือ independent FGM Clayton และ Frank พบว่าให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกัน โดยปริมาณน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4 ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลจากทั้ง 2 สถานีมีความสัมพันธ์กันน้อย

2) วิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของแม่น้ำ Rimouski ประเทศแคนาดา โดยใช้การแจกแจงแบบ Gumbel วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากสูงสุด และใช้การแจกแจงแบบ gamma วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลาก และเปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula 3 ชนิด คือ independent Clayton และ Frank พบว่าฟังก์ชัน Frank และ Clayton ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีเท่าๆกัน

Michele และคณะ (2005) ศึกษาความเพียงพอของการออกแบบทางระบายน้ำล้นของเขื่อน Ceppo Morelli ประเทศอิตาลี โดยใช้ Gumbel-Hougaard Copula วิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก เมื่อเปรียบเทียบคาบการเกิดจากการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปร และ 1 ตัวแปร พบว่าคาบการเกิดมีความแตกต่างกัน ดังนี้

$T_{OR} < T < T_{AND}$ โดยที่ T เป็นคาบการเกิดที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร ส่วน T_{OR} และ T_{AND} เป็นคาบการเกิดที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปร T_{OR} หมายถึงคาบการเกิดที่ $P > p_T$ หรือ $V > v_T$ และ T_{AND} หมายถึงคาบการเกิดที่ $P > p_T$ และ $V > v_T$ จากนั้นนำความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ไปสังเคราะห์ชลภาพน้ำหลาก (flood hydrograph) และคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านทางระบายน้ำล้นเพื่อหาค่าระดับน้ำในเขื่อน พบว่าระดับน้ำในเขื่อนไม่เกินค่าระดับเก็บกักสูงสุด และได้แนะนำให้ใช้วิธีนี้ในการตรวจสอบความเพียงพอของทางระบายน้ำล้นของเขื่อนที่ก่อสร้างแล้วและใช้สำหรับออกแบบในโครงการที่ยังไม่ดำเนินการก่อสร้าง

Zhang และ Singh (2006) ศึกษาเหตุการณ์น้ำหลากของแม่น้ำ Amite ประเทศสหรัฐอเมริกา และแม่น้ำ Ashuapmushuan ประเทศแคนาดา โดยใช้การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลาก แบบ 2 ตัวแปร ศึกษาตัวแปรเหตุการณ์น้ำหลาก 2 คู่ คือ 1) ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และ 2) ปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก เปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula 4 ชนิด คือ Gumbel-Hougaard Ali-Mikhail-Hag Frank และ Cook-Johnson พบว่าฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Gumbel mixed model และ bivariate Box-Cox transformed normal distribution พบว่าฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ เมื่อวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก พบว่าเมื่อกำหนดค่าเงื่อนไขของตัวแปรที่แตกต่างกัน จะทำให้ค่าคาบการเกิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และโอกาสที่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดจะมีค่ามากเมื่อกำหนดให้ปริมาตรน้ำหลากมีค่าน้อย จะมีน้อยกว่าที่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดจะมีค่ามากเมื่อกำหนดให้ปริมาตรน้ำหลากมีค่ามาก

Shiau, Wang และ Tsai (2006) ศึกษาความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ของแม่น้ำ Jhuoshuai ประเทศไต้หวัน โดยเปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula 6 ชนิด คือ Ali-Mikhail-Hag Clayton Frank Galambos Gumbel-Hugaard และ Plackett พบว่า Clayton Copula เป็นฟังก์ชันที่ปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดีที่สุดเมื่อทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov จากการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ความเสี่ยงโดยใช้การวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร กับ 2 ตัวแปร จะให้ค่าความเสี่ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งบางกรณีการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปรอาจทำให้การแปลความหมายของความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำหลากผิดพลาดไปได้ ส่วนการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปรนั้น ที่ความเสี่ยงหรือคาบการเกิดใดๆ สามารถจับคู่ปริมาณน้ำหลากกับปริมาตรน้ำหลากได้หลายค่า ทำให้สามารถวิเคราะห์หาเหตุการณ์ที่มีความรุนแรงมากได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Salvadori และ Michele (2007) ปัจจุบันมีการใช้วิธี Copula ในการวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยาซึ่งประกอบด้วย 1) การคำนวณความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไขของตัวแปร 2 ตัว 2) การคำนวณ level curve ของความน่าจะเป็นร่วม 3) การคำนวณคาบการเกิดของเหตุการณ์ที่มี 2 ตัวแปร ทั้งแบบมีเงื่อนไขและไม่มีเงื่อนไข 4) แบบจำลอง 3 ตัวแปร เพื่อการวิเคราะห์ฝนตามช่วงเวลา ในทางปฏิบัติเหตุการณ์ที่จะทำให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร u หรือ v มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดหรือค่าวิกฤตค่าหนึ่ง (OR case) หรืออีกกรณี คือทั้งตัวแปร u และ v มีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนด (AND case) ดังนั้นจึงพิจารณาความน่าจะเป็นร่วมใน 2 กรณี คือ “OR case” และ “AND case” โดยใช้สัญลักษณ์ $P^{\vee}_{u,v}$ และ $P^{\wedge}_{u,v}$ ตามลำดับ ซึ่ง $P^{\vee}_{u,v}$ จะมากกว่า $P^{\wedge}_{u,v}$ การเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ความถี่แบบ 1 ตัวแปร และหลายตัวแปร ถ้าเหตุการณ์ทางอุทกวิทยามีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายตัว เช่น พายุฝน น้ำท่วม ความแห้งแล้ง การวิเคราะห์ความถี่แบบตัวแปรเดียวจะไม่สามารถประเมินความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการประเมินค่าความเสี่ยงที่มากหรือน้อยเกินไปจึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ความถี่แบบหลายตัวแปร และเมื่อนำคาบการเกิดมาเปรียบเทียบกันพบว่า $T_{OR} < T < T_{AND}$ โดย T_{OR} จะน้อยกว่า T ประมาณร้อยละ 20 และ T_{AND} จะมากกว่า T ประมาณร้อยละ 30

Zhang และ Singh (2007a) ศึกษาความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์ฝน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ Amite ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันจากสถานี Liberty Clinton และ Denham springs ใช้ฟังก์ชัน Copula 4 ชนิด คือ Gumbel-Hougaard Cook-Johnson Ali-Mikhail-Hag และ Frank วิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรฝนเป็นคู่ จำนวน 3 คู่ คือ 1) ความเข้มฝนกับความลึกฝน 2) ความเข้มฝนกับช่วงเวลาฝน 3)ความลึกฝนกับช่วงเวลาฝน พบว่าที่สถานี Liberty ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard ปรับเข้ากับข้อมูลความลึกฝนกับช่วงเวลาฝนได้ดีที่สุด ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ปรับเข้ากับข้อมูลความเข้มฝนกับความลึกฝนได้ดีที่สุดทั้ง 3 สถานี ฟังก์ชัน Frank ปรับเข้ากับข้อมูลความเข้มฝนกับช่วงเวลาฝนได้ดีที่สุดทั้ง 3 สถานี และปรับเข้ากับข้อมูลความลึกฝนกับช่วงเวลาฝนได้ดีที่สถานี Clinton และ Denham springs และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชัน Copula กับ bivariate normal probability distribution พบว่าฟังก์ชัน Copula ปรับเข้ากับข้อมูลได้ดีกว่า

2.2.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธีอื่น ๆ

Sackl และ Bergmann (1987) ศึกษาความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก โดยใช้การแจกแจงแบบ bivariate normal distribution และเมื่อนำผลการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปร มาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร พบว่าการวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปรมีความเหมาะสมต่อคุณลักษณะของเหตุการณ์น้ำหลากมากกว่า เนื่องจากสามารถวิเคราะห์หาเส้นความน่าจะเป็นและคาบการเกิดร่วม และความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเหตุการณ์น้ำหลากได้ อีกทั้งยังช่วยให้เกิดความหลากหลายในการออกแบบเหตุการณ์น้ำหลาก ทำให้เลือกเหตุการณ์น้ำหลากที่มีความรุนแรงสูง เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนบริหารจัดการน้ำตามสภาพปัญหาต่างๆ ได้

Goel, Seth และ Satish Chandra (1998) ใช้การแจกแจงแบบ bivariate normal distribution ศึกษาเหตุการณ์น้ำหลากบริเวณแม่น้ำ Narmada ประเทศอินเดีย โดยศึกษาการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของคาบการเกิดที่สัมพันธ์กับเงื่อนไขของเหตุการณ์น้ำหลากแบบต่างๆ เช่น คาบการเกิดของเหตุการณ์ที่มีปริมาณน้ำหลากสูงสุดมากกว่า 90,000 m^3/s หรือมีปริมาตรน้ำหลากมากกว่า 300,000 $m^3/s.d$ เท่ากับ 580 ปี แต่คาบการเกิดของเหตุการณ์ที่มีปริมาณน้ำหลากสูงสุดมากกว่า 90,000 m^3/s และมีปริมาตรน้ำหลากมากกว่า 300,000 $m^3/s.d$ เท่ากับ 1700 ปี เป็นต้น

Yue และคณะ (1999) วิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปร ของแม่น้ำ Ashuapmushuan ประเทศแคนาดา โดยใช้ Gumbel mixed model ซึ่งประยุกต์มาจากการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวแบบ Gumbel โดยได้ศึกษาการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของ 1) ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และ 2) ปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก พบว่า Gumbel mixed model สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรทั้ง 2 คู่ ได้เป็นอย่างดี และการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปร สามารถใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาทางด้านการออกแบบทางอุทกวิทยาและการจัดการ ซึ่งการวิเคราะห์เฉพาะปริมาณน้ำหลากสูงสุดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถตอบคำถามได้เช่น เมื่อกำหนดคาบการเกิดมาให้ค่าหนึ่ง เป็นไปได้ที่จะมีเหตุการณ์ของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก ในหลายๆ รูปแบบ สามารถสร้างทางเลือกได้หลายรูปแบบในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของงานทางด้านอุทกวิทยา เช่น การออกแบบทางระบายน้ำล้น และการบรรเทาน้ำท่วม

Yue (2000a) ศึกษาความเข้มและปริมาณของพายุฝน ณ สถานี Niigata ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ Gumbel-mixed model โดยศึกษาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์พายุฝนในรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยว การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมและการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ทั้งนี้เพราะความรุนแรงของพายุฝนจะขึ้นอยู่กับความเข้มฝนและปริมาณฝนทั้งหมด จากการศึกษาพบว่า Gumbel-mixed model สามารถปรับเข้ากับชุดข้อมูลได้ดี และสามารถให้รายละเอียดซึ่งการวิเคราะห์แบบตัวแปรเดียวไม่สามารถให้ได้คือ โอกาสการเกิดในรูปแบบที่หลากหลายของความเข้มและปริมาณฝน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินค่าความเสี่ยงในกรณีต่างๆได้ แต่ Gumbel-mixed model มีข้อจำกัดตรงที่ใช้ได้อย่างเหมาะสมเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 2/3 เท่านั้น

Yue (2000b) ศึกษาความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากและ ปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก บริเวณลุ่มน้ำ Nord ประเทศแคนาดา โดยใช้การวิเคราะห์แบบ bivariate lognormal distribution ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลากที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลักเป็นแบบ lognormal จากการศึกษาพบว่าการแจกแจงแบบ bivariate lognormal distribution ปรับเข้ากับข้อมูลได้เป็นอย่างดี และเมื่อวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขพบว่า เมื่อกำหนดเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากที่แตกต่างกันจะทำให้คาบการเกิดที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเนื่องจากที่คาบการเกิดหนึ่งๆ สามารถเลือกจับคู่ตัวแปรได้หลากหลายค่า

Yue (2001) ใช้ Gumbel logistic model ศึกษาความน่าจะเป็นร่วมของความเข้มฝนสูงสุดกับปริมาณฝนทั้งหมด โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันจากสถานีอุตุนิยมวิทยา Tokushima ประเทศญี่ปุ่น ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีโมเมนต์ และทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี chi-square จากการศึกษาพบว่า Gumbel logistic model ปรับเข้ากับข้อมูลได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบคาบการเกิดจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร กับคาบการเกิดแบบมีเงื่อนไข พบว่า ณ คาบการเกิดเดียวกันการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร จะให้ค่าความเข้มฝนและปริมาณฝนที่สูงกว่า

Yue และ Rasmussen (2002) ใช้ Gumbel logistic model เพื่อศึกษาหลักการในการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์ทางอุทกวิทยาแบบ 2 ตัวแปร โดยได้ศึกษาความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ในพื้นที่ลุ่มน้ำ Skootamatta ประเทศแคนาดา พบว่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมแบบ Gumbel logistic สามารถปรับเข้ากับข้อมูลได้ดี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการ

ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov จากการศึกษาความน่าจะเป็นร่วมแบบ 2 ตัวแปร จะได้เส้นคาบการเกิดร่วมในลักษณะของเส้นชั้นคาบการเกิดที่มีค่าเท่ากัน ทำให้การออกแบบทางอุทกวิทยาที่ต้องใช้การออกแบบชลภาพน้ำหลาก เช่น ทางระบายน้ำล้น และ flood control reservoir มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากที่คาบการเกิดใดๆ สามารถจับคู่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากได้หลายค่า ทำให้เลือกเหตุการณ์ที่มีความรุนแรงมากได้ และจากการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร กับ 2 ตัวแปร พบว่าที่คาบการเกิดเดียวกันการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปรจะให้ค่าปริมาณน้ำหลากหรือปริมาตรน้ำหลากที่สูงกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 1 ตัวแปร (univariate probability distribution function)

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution function) เป็นฟังก์ชันทางสถิติที่แสดงถึงความน่าจะเป็นของการเกิดค่าของตัวแปรสุ่ม (random variable) ซึ่งในการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากนั้น ฟังก์ชันการแจกแจงจะถูกสมมติขึ้น และค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงที่สมมติ จะประเมินจากกลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่มีการจดบันทึกไว้ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ log Pearson Type III (LP3) และ Gumbel

3.1.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

3.1.1.1 ฟังก์ชัน log Pearson Type III

การแจกแจงนี้ U.S. Federal Water Resources Council ได้นำเสนอในปี ค.ศ. 1967 ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลาก โดยมีรูปแบบสมการเช่นเดียวกับการแจกแจงแบบ Pearson Type III เพียงแต่ใช้ค่า ln x แทนที่ในสมการ โดยกำหนดให้ y = ln x และในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (coefficient of skewness, Cs) ของอนุกรม ln x เท่ากับศูนย์ การแจกแจงแบบ LP3 จะลดรูปกลายเป็นการแจกแจงแบบ lognormal 2 parameter (Haan, 1977) การแจกแจงแบบ LP3 มีรูปสมการดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right\}^{\beta - 1} \exp\left[-\left(\frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right) \right] \tag{3.1}$$

โดยที่ α β และ γ คือ scale shape และ location parameter ตามลำดับ และ $\Gamma(\beta)$ คือ Gamma function ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชัน มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ สามารถประมาณค่าโดยวิธีโมเมนต์ได้ดังสมการ

$$\mu_y = \gamma + \alpha\beta \tag{3.2}$$

$$\sigma_y = \alpha\sqrt{\beta} \tag{3.3}$$

$$\beta = \left(\frac{2}{Cs} \right)^2 \tag{3.4}$$

3.1.1.2 ฟังก์ชัน Gumbel (Extreme Value Type I, EVI)

การแจกแจงนี้นำเสนอโดย Gumbel และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากในประเทศไทย (Sabur,1982) มีรูปสมการดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{\alpha}\exp\left\{-\frac{x-\mu}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right\} \quad (3.5)$$

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right\} \quad (3.6)$$

โดย α และ μ คือ ค่าพารามิเตอร์ และสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีโมเมนต์ได้จากสมการที่ 3.7 และ 3.8

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s_x}{\pi} \quad (3.7)$$

$$\mu = \bar{x} - 0.5772\alpha \quad (3.8)$$

3.1.2 สมการความถี่โดยทั่วไป

Chow (1964) ได้เสนอสมการทั่วไปที่ใช้คำนวณหาค่าของเหตุการณ์ X ที่สนใจในการวิเคราะห์ความถี่การเกิด โดยกำหนดว่าค่าของเหตุการณ์ X ที่สนใจสามารถหาได้จากผลบวกของค่าเฉลี่ยของชุดเหตุการณ์ที่สนใจกับส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ดังสมการ

$$x = \bar{x} + \Delta x \quad (3.9)$$

ส่วนเบี่ยงเบน Δx ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของชุดเหตุการณ์ X คาบการเกิด T ที่สนใจและพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบนดังกล่าวจึงอาจเขียนให้อยู่ในรูปของผลคูณระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) กับค่าปัจจัยความถี่ (K) โดยที่ค่าปัจจัยความถี่เป็นฟังก์ชันของคาบการเกิด และชนิดของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น สมการที่ (3.9) จึงเขียนได้ใหม่เป็น

$$x_T = \bar{x} + K_T s \quad (3.10)$$

โดยที่ x_T คือ ค่าของเหตุการณ์ X ที่คาบการเกิด T ปี

s คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดเหตุการณ์ X

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดเหตุการณ์ X

K_T คือ ค่าปัจจัยความถี่ (frequency factor)

สมการความถี่โดยทั่วไป สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ LP3 สามารถประเมินได้จากสมการดังนี้ (Chow,1988)

สมการความถี่ทั่วไปในรูปล็อกการิทึมของเหตุการณ์ x_T ที่สนใจ คือ

$$y_T = \ln x_T = \bar{y} + K_T s_y \tag{3.11}$$

โดย K_T คือ ค่าปัจจัยความถี่ คำนวณได้จาก

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \tag{3.12}$$

เมื่อ C_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (skewness) ของชุดเหตุการณ์ X

z คือ ค่าการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Deviate)

$k = C_S/6$

สมการความถี่โดยทั่วไป สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Gumbel สามารถประเมินได้จากสมการดังนี้ (Chow, 1988)

$$x_T = \bar{x} + K_T s \quad \text{โดยที่} \quad K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left\{0.5772 + \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]\right\} \tag{3.13}$$

3.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 2 ตัวแปร (bivariate probability distribution function)

เมื่อพิจารณาตัวแปรสุ่ม X, Y ซึ่งตัวแปรทั้ง 2 อาจเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ก็ได้ และเมื่อกำหนดค่า (x,y) ขึ้นมาคู่หนึ่งจะสามารถแบ่งพื้นที่บนระนาบ (x,y) ได้เป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3.1 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ (x,y) จำแนกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้

1. Quadrant I

$$F_I(x,y) = P(X > x, Y > y) = F'(x,y) = \int_x^{+\infty}\int_y^{+\infty} f(x,y)\,dy\,dx \tag{3.14}$$

2. Quadrant II

$$F_{II}(x,y) = P(X \le x, Y > y) = \int_{-\infty}^{x}\int_{y}^{+\infty} f(x,y)\,dy\,dx$$

$$= \int_{-\infty}^{x}\left[\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)\,dy - \int_{-\infty}^{y} f(x,y)\,dy\right]dx = F_X(x) - \int_{-\infty}^{x}\int_{-\infty}^{y} f(x,y)\,dy\,dx \tag{3.15}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. Quadrant III

$$F_{III}(x,y) = P(X \le x, Y \le y) = F(x,y) = \int_{-\infty}^{x}\int_{-\infty}^{y} f(x,y)dydx \quad (3.16)$$

4. Quadrant IV

$$F_{IV}(x,y) = P(X > x, Y \le y) = \int_{x}^{+\infty}\int_{-\infty}^{y} f(x,y)dydx$$

$$= \int_{-\infty}^{y}\left[\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)dx - \int_{-\infty}^{x} f(x,y)dx\right]dy = F_Y(y) - F(x,y) \quad (3.17)$$

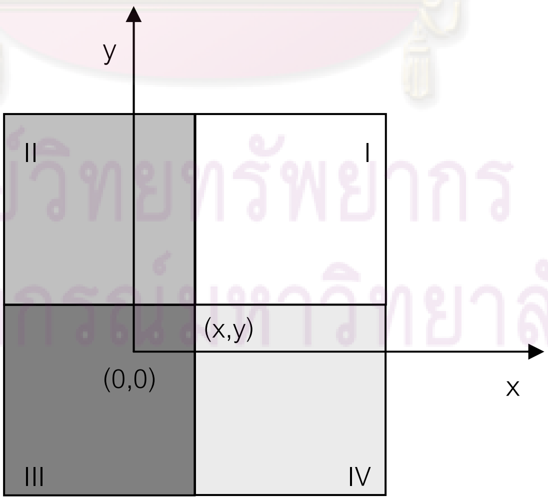
เนื่องจากความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ทั้งหมดเท่ากับ 1 ดังนั้นเมื่อรวมความน่าจะเป็นของทั้ง 4 ส่วน จะต้องเท่ากับ 1 แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P(-\infty < x < +\infty, -\infty < y < +\infty) = F_I(x,y) + F_{II}(x,y) + F_{III}(x,y) + F_{IV}(x,y) = 1$$

$$F'(x,y) = 1 + F(x,y) - F_X(x) - F_Y(y) \quad (3.18)$$

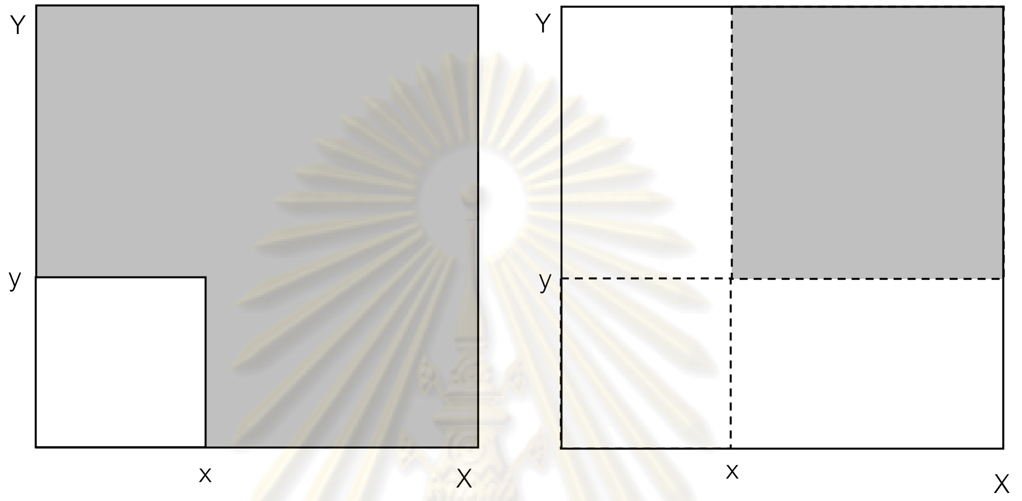
ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม (F(x,y)) ของตัวแปร X และ Y สามารถคำนวณได้จากสมการ $F(x,y) = P(X \le x, Y \le y) = \int_{-\infty}^{x}\int_{-\infty}^{y} f(x,y)dydx$

ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ตัวแปร X มีค่า $\le x$ และตัวแปร Y มีค่า $\le y$ เกิดขึ้นพร้อมกัน โดยที่ f(x,y) = joint probability density function



รูปที่ 3.1 การแบ่งสัดส่วนของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 2 ตัวแปร (Yue และ Rasmussen, 2002)

แต่สำหรับการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลากหรือการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ วิศวกรมักจะสนใจเหตุการณ์ที่มีความรุนแรงซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ 1) เหตุการณ์ที่ตัวแปร X>x หรือตัวแปร Y>y (OR case) 2) เหตุการณ์ที่ตัวแปร X>x และตัวแปร Y>y (AND case)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 ขอบเขตความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ (ก) $P(X > x \vee Y > y)$ และ (ข) $P(X > x \wedge Y > y)$ (Salvadori และ Michele, 2004)

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 สามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นของทั้ง 2 กรณีได้โดยสมการต่อไปนี้

1. ความน่าจะเป็นที่ $X > x$ หรือ $Y > y$ (OR case)

   $P_{x,y}^{\vee} = P(X > x \vee Y > y)) = 1 - F(x, y)$

   และคำนวณคาบการเกิดได้จาก $T(x, y) = \dfrac{1}{1 - F(x, y)}$ (3.19)

2. ความน่าจะเป็นที่ $X > x$ และ $Y > y$ (AND case)

   $P_{x,y}^{\wedge} = P(X > x \wedge Y > y)) = 1 - F(x) - F(y) + F(x, y)$

   และคำนวณคาบการเกิดได้จาก $T'(x, y) = \dfrac{1}{1 - F(x) - F(y) + F(x, y)}$ (3.20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability)</u>

ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $(F(x|y))$ หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ x เมื่อกำหนดให้เหตุการณ์ y เกิดขึ้น ซึ่งความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเหตุการณ์น้ำหลากจากการศึกษาที่ผ่านมามีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของ X เมื่อกำหนด Y= y คำนวณได้ตามสมการ

$$F_{x|Y=y} = F(X \le x | Y = y) = \lim_{\Delta y \to 0} \frac{F(x, y + \Delta y) - F(x, y)}{\Delta y}$$

$$F_{x|Y=y} = \frac{\partial F(x, y)}{\partial y} \tag{3.21}$$

2. ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของ X เมื่อกำหนด $Y \le y$ คำนวณได้ตามสมการ

$$F_{x|Y\le y} = F(X \le x | Y \le y) = \frac{F(x, y)}{F(y)} \tag{3.22}$$

3.3 วิธี Copula

Copula เป็นภาษาลาติน หมายถึง การเชื่อม ยึดโยง หรือสัมพันธ์กัน ฟังก์ชัน Copula ถูกนำมาใช้ในทางสถิติครั้งแรกในปี 1959 โดย Abe Sklar (Nelsen, 1999) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่อธิบายฟังก์ชันที่ใช้รวมฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยว (one-dimensional distribution function) ให้กลายเป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบหลายตัวแปร (multivariate distribution function)

ดังนั้น Copula จึงหมายถึงฟังก์ชันที่ใช้รวมหรือเชื่อมโยงการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวให้กลายเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมแบบหลายตัวแปร หรือเป็นฟังก์ชันของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมแบบหลายตัวแปรที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวอยู่ในช่วง (0,1)

วิธี Copula ได้รับความสนใจในหมู่ผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับสถิติและความน่าจะเป็นด้วยเหตุผล 2 ประการคือ 1) เป็นแนวทางในการศึกษาความน่าจะเป็นร่วมโดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการวัดความสัมพันธ์กันของตัวแปรต่างๆ (scale-free measure of dependent) 2) เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการสร้างแบบจำลอง ของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมแบบ 2 ตัวแปร (Nelsen, 1999)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1 นิยามและคุณสมบัติพื้นฐาน

Copula เป็นฟังก์ชันที่ใช้รวมหรือเชื่อมโยงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวให้กลายเป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบหลายตัวแปร ดังรูปที่ 3.3 เมื่อพิจารณาคู่ของตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยว $F(x) = P(X \le x)$ และ $F(y) = P(Y \le y)$ และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $H(x, y) = P(X \le x, Y \le y) = F(x, y)$ ทุกคู่ของตัวแปร X และ Y สามารถหาค่า F(x),F(y) และ H(x, y) ซึ่งตัวเลขทั้ง 3 นี้ จะอยู่ในช่วง (0,1)

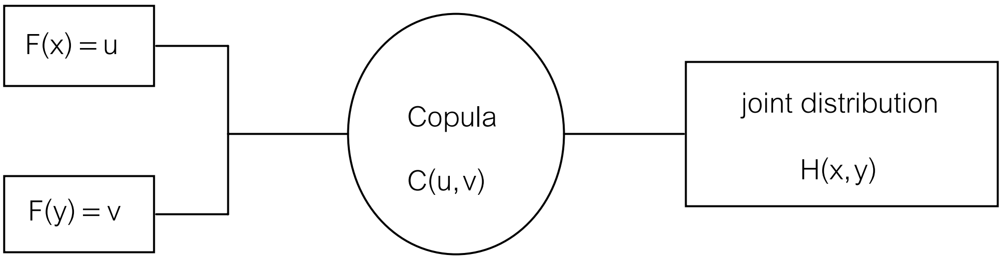
3.3.2 ทฤษฎีของ Sklar

1. เมื่อ H เป็นฟังก์ชันของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมแล้ว

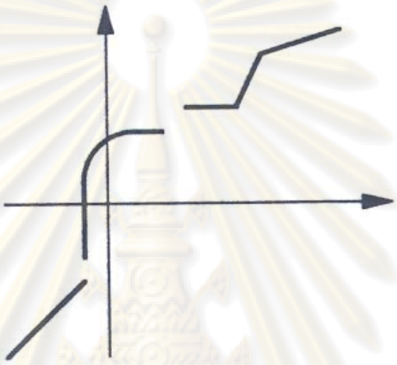
- H เป็นฟังก์ชันที่ค่าของความน่าจะเป็นจะไม่มีการลดลง โดยที่ค่าของความน่าจะเป็นอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นก็ได้ $(u_1 \le u_2, v_1 \le v_2)$ ดังรูปที่ 3.4
- $H(x,-\infty) = H(-\infty, y) = 0$ และ $H(+\infty,+\infty) = 1$
- $H(x,\infty) = F(x)$ และ $H(\infty, y) = F(y)$ จากรูปที่ 3.5 เมื่อพิจารณาค่า $F(x, y) = p$ จะพบว่าเส้นความน่าจะเป็นมีขอบเขตอยู่ที่ (1,p) และ (p,1) แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาที่ค่าของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเข้าใกล้ค่าอนันต์แล้ว ค่าความน่าจะเป็นร่วมจะเท่ากับความน่าจะเป็นเดี่ยวของอีกตัวแปรหนึ่ง

2. ถ้า H เป็นฟังก์ชันของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมซึ่งมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยว คือ F(x) และ F(y) แล้ว จะมี Copula “C” สำหรับ x,y ทุกค่า ที่ทำให้ $H(x, y) = C(F(x),F(y))$ และในกรณีที่ตัวแปร X และ Y เป็นอิสระต่อกัน $H(x, y) = F(x)F(y)$

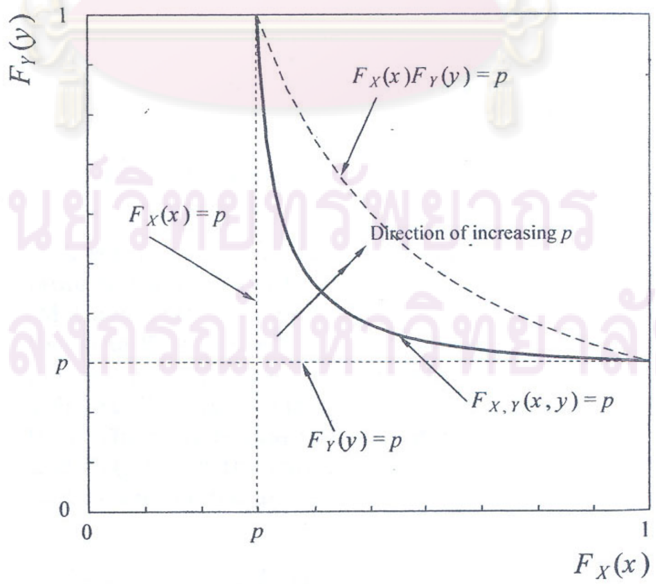
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ลักษณะของฟังก์ชัน Copula



รูปที่ 3.4 กราฟแสดง nondecreasing ฟังก์ชัน (Nelsen ,1999)



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวและความน่าจะเป็นร่วม

(Shiau, Wang และ Tsai, 2006)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 ฟังก์ชัน Copula ที่ใช้ในการศึกษา

3.3.3.1 Gumbel-Hougaard

Gumbel ได้คิดค้น Copula รูปแบบนี้ขึ้นในปี 1960 และต่อมาได้ถูกปรับปรุงและนำไปใช้โดย Hougaard Hutchinson และ Lai และได้เรียกชื่อว่า Gumbel-Hougaard family (Nelsen, 1999) ซึ่งมีลักษณะของฟังก์ชัน ดังสมการต่อไปนี้

$$C(u,v) = C[F(x),F(y)] = H(x,y)$$

$$C(u,v) = \exp\{-[(-\ln u)^{\theta} + (-\ln v)^{\theta}]^{1/\theta}\} \quad ,\theta \geq 1 \qquad (3.23)$$

$$c(u,v) = C(u,v)\frac{[(-\ln u)(-\ln v)]^{\theta-1}}{uv}[(-\ln u)^{\theta} + (-\ln v)^{\theta}]^{\frac{2}{\theta}-2} *$$

$$\{(\theta-1)[(-\ln u)^{\theta} + (-\ln v)^{\theta}]^{-\frac{1}{\theta}} + 1\}$$

โดยที่ $u = F(x) = P(X \leq x)$

$$v = F(y) = P(Y \leq y)$$

$$C(u,v) = H(x,y) = P(X \leq x, Y \leq y)$$

θ เป็นพารามิเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Kendall's coefficient of correlation (τ) ระหว่างตัวแปร X และ Y โดยที่ $\tau = 1 - \frac{1}{\theta}$

3.3.3.2 Ali-Mikhail-Hag

$$C(u,v) = \frac{uv}{1-\theta(1-u)(1-v)} \quad ,-1 \leq \theta \leq 1 \qquad (3.24)$$

$$c(u,v) = \frac{[1-\theta(1-u)(1-v)](1-\theta) + 2\theta uv}{[1-\theta(1-u)(1-v)]^{3}}$$

โดยที่ $\tau = \left(\frac{3\theta-2}{\theta}\right) - \frac{2}{3}\left(1-\frac{1}{\theta}\right)^{2}\ln(1-\theta)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3.3 Clayton

$$C(u,v) = (u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}}, \theta \geq 0 \quad (3.25)$$

$$c(u,v) = (\theta + 1)(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}-2}(uv)^{-\theta-1}$$

โดยที่ $\tau = \dfrac{\theta}{\theta + 2}$

Kendall's correlation coefficient (τ)

τ เป็นสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นของตัวแปรสุ่ม 2 ตัวแปร มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรง (concordant) ค่า τ จะมีค่าเป็นบวก และ τ จะมีค่าเป็นลบเมื่อตัวแปรมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผัน (discordant) และ τ จะมีค่าเป็น 0 เมื่อตัวแปรเป็นอิสระต่อกัน

เมื่อกำหนดตัวแปรสุ่ม (x_i, y_i) และ (x_j, y_j) ตัวแปรทั้งคู่จะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง เมื่อ $x_i < x_j$ และ $y_i < y_j$ หรือ $x_i > x_j$ และ $y_i > y_j$ และในทางตรงกันข้ามตัวแปรจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน เมื่อ $x_i < x_j$ และ $y_i > y_j$ หรือ $x_i > x_j$ และ $y_i < y_j$ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ (x_i, y_i) และ (x_j, y_j) จะแปรผันตรงเมื่อ $(x_i - x_j)(y_i - y_j) > 0$ และจะแปรผกผัน เมื่อ $(x_i - x_j)(y_i - y_j) < 0$

การคำนวณค่า τ ของกลุ่มตัวอย่างจะคำนวณตามลักษณะการแปรผันของตัวแปร กำหนดให้ $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), ..., (x_n, y_n)\}$ เป็นกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลจำนวน n ตัวอย่าง เมื่อจับคู่ตัวแปร (x_i, x_j) และ (y_i, y_j) จะได้จำนวนทั้งหมด $\binom{n}{2}$ คู่ ตัวอย่างเช่น $\{(x_1, x_2), (x_1, x_3), (x_1, x_4), ..., (x_{n-1}, x_n)\}$ และ $\{(y_1, y_2), (y_1, y_3), (y_1, y_4), ..., (y_{n-1}, y_n)\}$ และเมื่อตรวจสอบลักษณะการแปรผันของคู่ตัวแปรทั้งหมด สามารถคำนวณค่า τ ของกลุ่มตัวอย่างได้ดังสมการ

$$\tau = \frac{c - d}{\binom{n}{2}} \quad (3.26ก)$$

โดยที่ c = จำนวนคู่ตัวแปรที่แปรผันตรง

d = จำนวนคู่ตัวแปรที่แปรผกผัน

n = จำนวนข้อมูล

ในกรณีที่ $x_i - x_j = 0$ หรือ $y_i - y_j = 0$ จะต้องปรับแก้สมการที่ 3.26ก ดังนี้

$$\tau = \frac{c-d}{\sqrt{\left[\binom{n}{2} - n_x\right] * \left[\binom{n}{2} - n_y\right]}} \qquad (3.26ข)$$

โดยที่ n_x = จำนวนคู่ตัวแปรที่ $x_i - x_j = 0$

n_y = จำนวนคู่ตัวแปรที่ $y_i - y_j = 0$

3.4 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov

การทดสอบความเหมาะสม (goodness of fit test) ของการแจกแจงความน่าจะเป็นต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาฟังก์ชันการแจกแจงที่สามารถปรับเข้ากับกลุ่มตัวอย่างข้อมูลทางอุทกวิทยาได้ดีที่สุด ซึ่ง Kite (1977) กล่าวถึงผลการวิจัยเกี่ยวกับการเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นว่า ไม่มีฟังก์ชันแบบใดแบบหนึ่งที่จะมีความเหมาะสมกับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยาได้ทั้งหมด ในทุกพื้นที่และทุกชุดข้อมูล ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นก่อนเลือกใช้ในการวิเคราะห์

การทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov เป็นการทดสอบที่ใช้เกณฑ์ผลต่างสูงสุดของความน่าจะเป็นสะสมของค่าที่ได้จากวิธี plotting position กับค่าที่ประเมินได้จากฟังก์ชันการแจกแจง ซึ่งมีขนาดของข้อมูลเท่ากัน ผลต่างสูงสุดของค่าดังกล่าว ประเมินจากสมการดังต่อไปนี้

$$D_n = \max\left|F(x) - S_n(x)\right| \qquad (3.27)$$

โดยที่ D_n = ค่าทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov

F(x) = ความน่าจะเป็นสะสมของ x ตามลักษณะของฟังก์ชันการแจกแจงที่ทดสอบ

$S_n(x)$ = ความน่าจะเป็นสะสมของ x ที่ประมาณจากข้อมูล โดย $S_n(x)$ ได้จากวิธี plotting position ด้วยสมการ Weibull คือ $\frac{m}{n+1}$ โดยที่ m คือลำดับที่ได้จากการจัดเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก และ n คือจำนวนข้อมูล

ค่า D_n โดยทั่วไปสามารถหาได้ง่ายและสะดวก โดยการพิจารณาค่าผลต่างสูงสุดสัมบูรณ์ ของความน่าจะเป็นสะสมระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เลือกใช้กับความน่าจะเป็นสะสมโดยวิธี plotting position ดังสมการที่ 3.27 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์การทดสอบ (D_C) เพื่อประเมินความเหมาะสมของฟังก์ชัน

เกณฑ์การทดสอบ พิจารณาจากการนำค่า D_n ที่ประเมินได้ เปรียบเทียบกับค่า D_C ที่เป็นค่าวิกฤตของ Kolmogorov-Smirnov โดยค่า D_C กำหนดจากความสัมพันธ์ของขนาดกลุ่มตัวอย่างข้อมูล (n) และระดับนัยสำคัญ (α) หรือช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 100-α

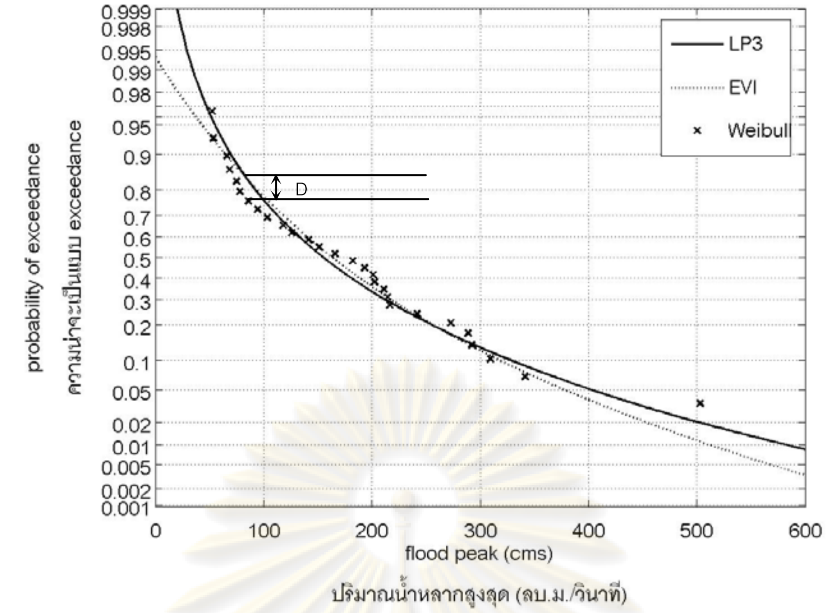
หลักการพิจารณาคือ

1. ถ้า $D_n < D_C$ หมายถึงการยอมรับสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่างมาจากประชากรที่มีลักษณะตามการแจกแจงที่ทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ α

2. ถ้า $D_n > D_C$ หมายถึงการไม่ยอมรับสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่างมาจากประชากรที่มีลักษณะตามการแจกแจงที่ทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ α

3. ในการเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงที่สามารถปรับเข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุดจะมีค่าสถิติ D_n น้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นสะสมระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นกับวิธี plotting position

ตารางที่ 3.1 ค่าเกณฑ์การทดสอบด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov

n	α			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n>50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

ที่มา : Yevjevich (1978)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์ค่าตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก

4.1.1 เกณฑ์การกำหนดค่าตัวแปรหลัก

การศึกษานี้ได้พิจารณาตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก 3 ตัว คือ ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลาก และช่วงเวลาน้ำหลาก ตัวแปรทั้ง 3 นี้คำนวณได้จากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้สำรวจไว้ ณ สถานีวัดปริมาณน้ำท่า ตามที่ได้กล่าวไว้ในขอบเขตของการศึกษาจะใช้ค่า maximum momentary peak discharge ในแต่ละปีเป็นตัวแทนของค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด และจะคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก จากกราฟน้ำท่าที่สร้างขึ้นจากค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน โดยกำหนดอัตราการไหลค่าหนึ่งขึ้นเพื่อเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก (flood threshold discharge, FTD)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการคำนวณค่าตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากจะพิจารณาจากกราฟน้ำท่าในแต่ละปี โดยมีรูปแบบที่ใช้ในการคำนวณ 3 รูปแบบ คือ

1. พิจารณากราฟน้ำท่าของแต่ละปี จากนั้นกำหนดวันเริ่มต้นและสิ้นสุดของเหตุการณ์น้ำหลาก โดยกำหนดให้วันเริ่มต้นของเหตุการณ์น้ำหลากคือวันที่ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด และกำหนดให้วันสิ้นสุดของเหตุการณ์น้ำหลากคือวันที่โค้งการลดลงของกราฟน้ำท่ามีลักษณะแบนราบ (รูปที่ 4.1 และ 4.2) รูปแบบนี้ส่วนใหญ่จะอ้างอิงมาจาก Yue และคณะ (1999) และมีผู้ใช้รูปแบบนี้ในการประเมินค่าตัวแปรดังนี้ Yue (1999, 2000 และ 2001) Zhang และ Singh (2006 และ 2007) Shiau, Wang และ Tsai (2006)

2. พิจารณาเหตุการณ์น้ำหลากโดยการแยกกราฟน้ำท่าเป็น direct runoff และ base flow และประเมินค่าตัวแปรหลักเฉพาะส่วนที่เป็น direct runoff เท่านั้น (รูปที่ 4.3 และ 4.4) ผู้ที่ใช้รูปแบบนี้เช่น Sackl และ Bergmann (1987)

3. พิจารณาเหตุการณ์น้ำหลากโดยการกำหนดค่า FTD ขึ้นมาค่าหนึ่ง เหตุการณ์น้ำหลากคือเหตุการณ์ในช่วงเวลาที่กราฟน้ำท่าตัดกับค่า FTD จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีการเลือกใช้ค่า FTD 4 รูปแบบ คือ

3.1 ใช้ค่าที่ต่ำกว่าค่าปริมาณน้ำหลากที่น้อยที่สุด (minimum flood) ของข้อมูลที่มีการสำรวจเป็น FTD โดยพิจารณาค่าตัวแปรหลักเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือเส้น FTD เท่านั้น (รูปที่ 4.5 และ 4.6) ผู้ที่ใช้รูปแบบนี้เช่น Goel, Seth และ Satish Chandra (1998)

3.2 ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งหมดที่มีการสำรวจเป็น FTD (รูปที่ 4.7 และ 4.8) ผู้ที่ใช้รูปแบบนี้เช่น Adamson, Metcalfe และ Parmentier (1999) Mekong River Commission (2007)

3.3 ใช้ค่าเฉลี่ยรวมกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งหมดที่มีการสำรวจเป็น FTD (รูปที่ 4.9 และ 4.10) ผู้ที่ใช้รูปแบบนี้เช่น Chang (1987)

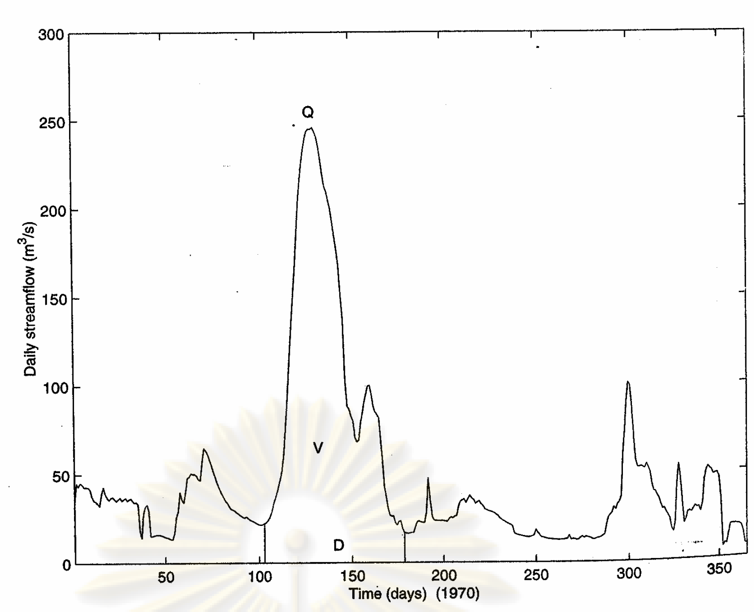
3.4 กำหนดค่าอัตราการไหลค่าหนึ่งขึ้นเป็น FTD รูปแบบนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับ 3 รูปแบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพียงแต่ไม่ได้ระบุเกณฑ์ที่ใช้กำหนดค่า FTD (รูปที่ 4.11) ผู้ที่ใช้รูปแบบนี้เช่น Ashkar และ Rousselle (1982) Serinaldi และ Grimaldi (2007)

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาค่าเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากไว้ 3 กรณี (ตารางที่ 4.1) คือ

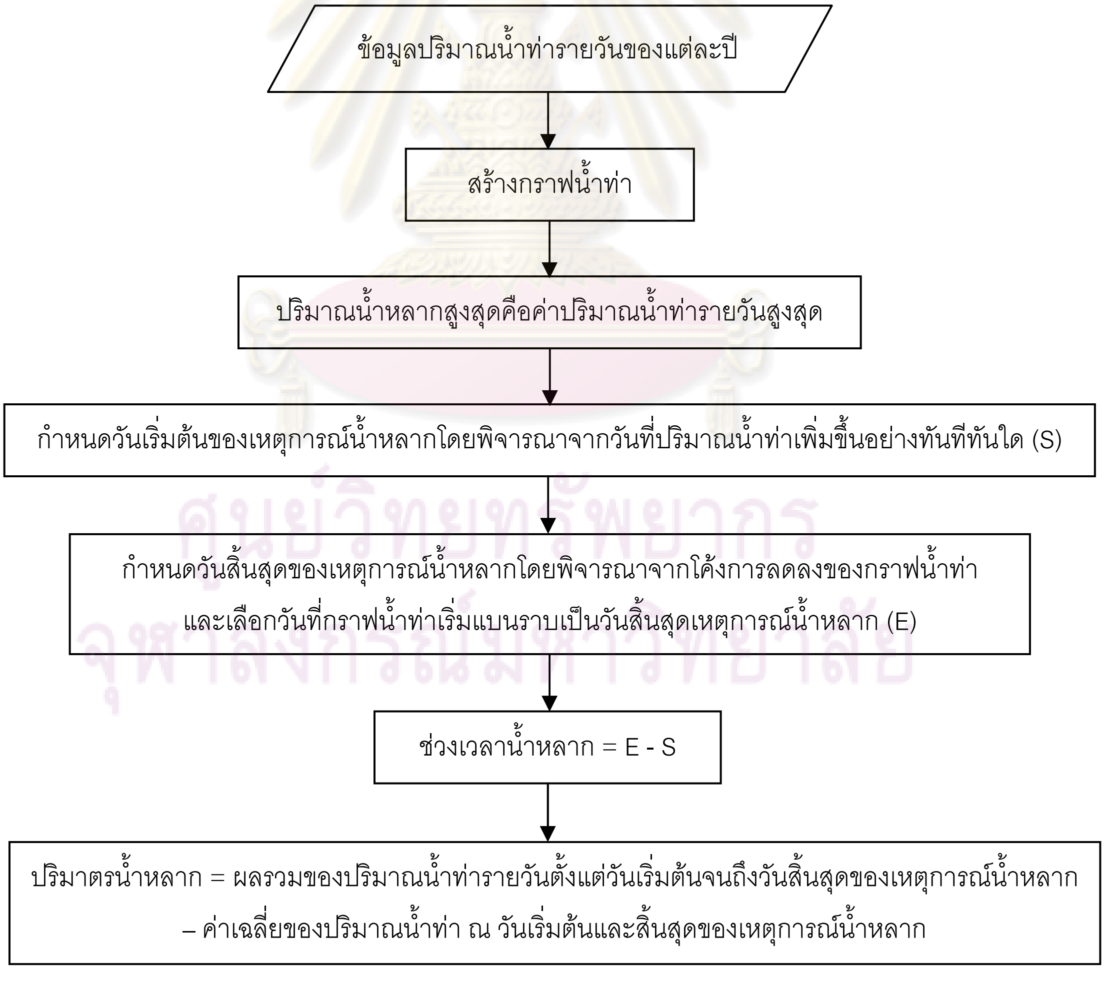
1. ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย
2. ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวัน
3. ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่มีค่าน้อยที่สุดในชุดข้อมูล

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

สถานี	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก		
	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวัน (ลบ.ม./วินาที)	ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลาก (ลบ.ม./วินาที)
P20	13	33	35
P1	58	128	130
PE2	128	311	390

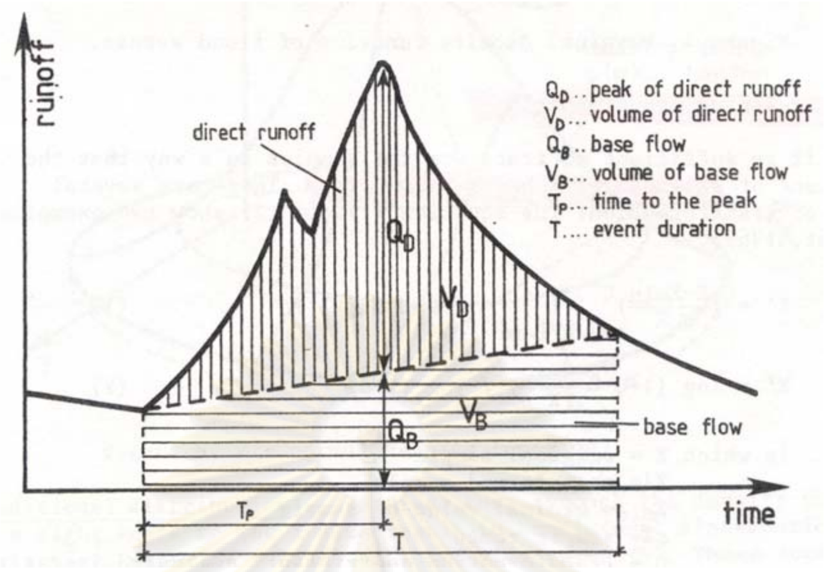


รูปที่ 4.1 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 1 (Yue, 2001)



รูปที่ 4.2 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 1

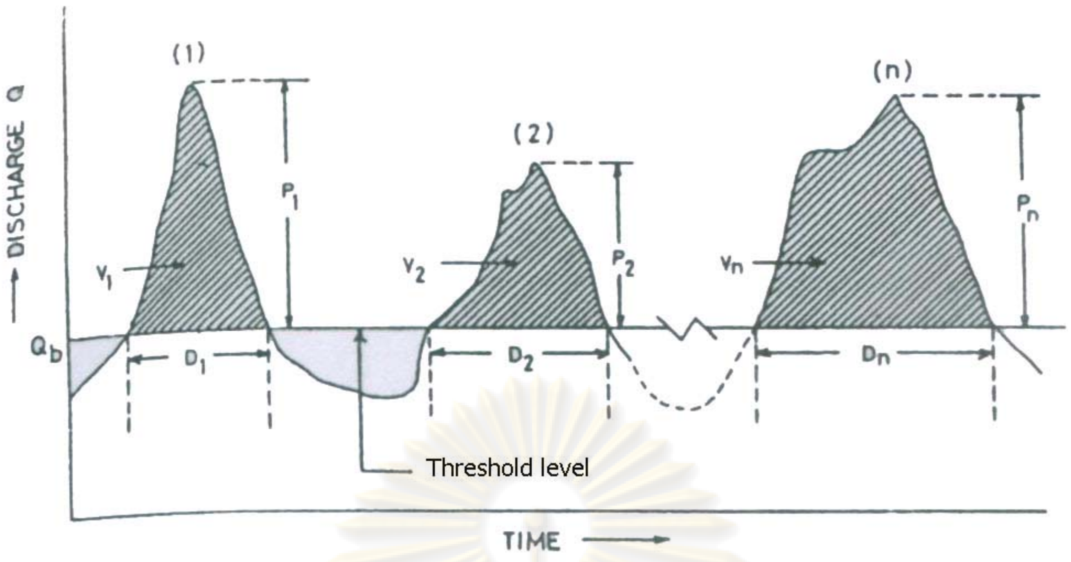
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 2
(Sackl และ Bergmann,1987)

รูปที่ 4.4 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 2

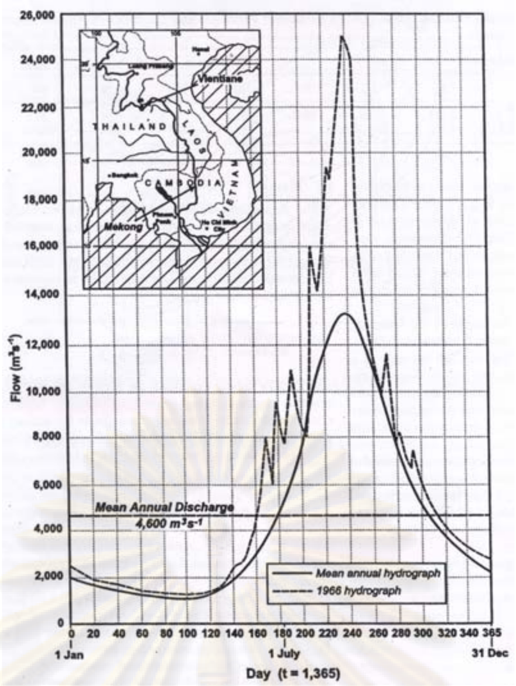
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.1 (Goel, Seth และ Satish Chandra, 1998)

รูปที่ 4.6 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.2
(Adamson, Metcalfe และ Parmentier, 1999)

ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของทุกปีที่มีการสำรวจ

↓

คำนวณค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมดที่มีการสำรวจ

↓

ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของแต่ละปี

↓

สร้างกราฟน้ำท่า

↓

ลากเส้นปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยตัดกับกราฟน้ำท่า

↓

ช่วงเวลาน้ำหลากคือช่วงเวลาที่กราฟน้ำท่าตัดกับเส้นปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย

↓

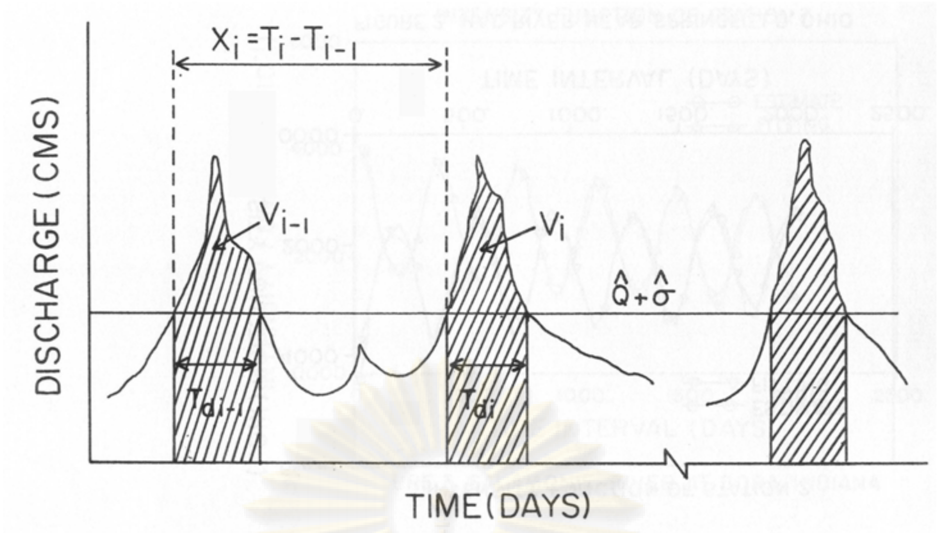
ปริมาตรน้ำหลากคือผลรวมของปริมาณน้ำท่ารายวันตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันสิ้นสุดช่วงเวลาน้ำหลาก

↓

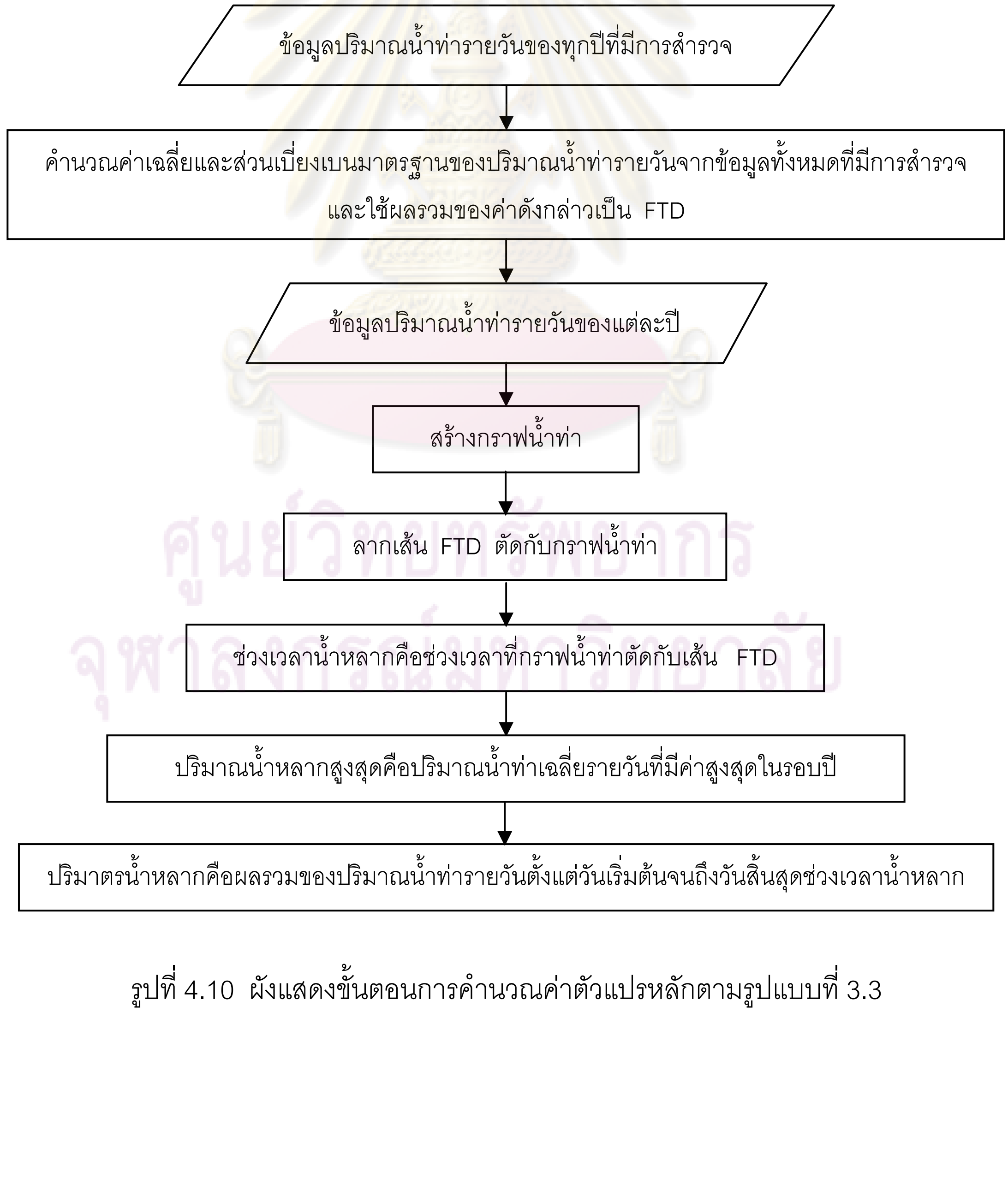
ปริมาณน้ำหลากสูงสุดคือปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่มีค่าสูงสุดในรอบปี

รูปที่ 4.8 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

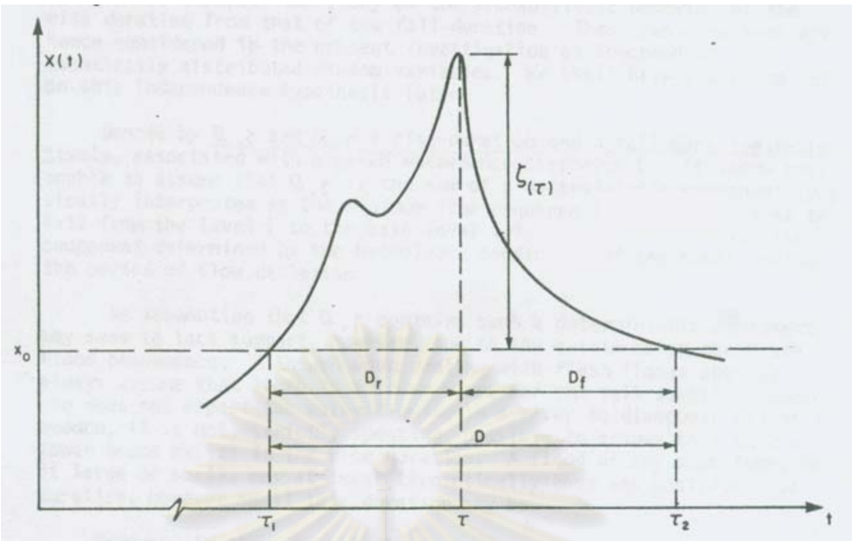


รูปที่ 4.9 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.3 (Chang, 1987)



รูปที่ 4.10 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรหลักตามรูปแบบที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 เกณฑ์การจำแนกตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลากตามรูปแบบที่ 3.4 (Ashkar และ Rousselle, 1982)

4.1.2 ขั้นตอนการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก

ขั้นตอนการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากมีดังนี้ (รูปที่ 4.12)

1. จัดการฐานข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันทั้งหมดที่ได้จากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า

2. คำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่ารายวันและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวัน จะได้เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากกรณีที่ 1 และ 2

3. พิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปี และเลือกค่าที่น้อยกว่าค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเล็กน้อย เป็นเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากกรณีที่ 3

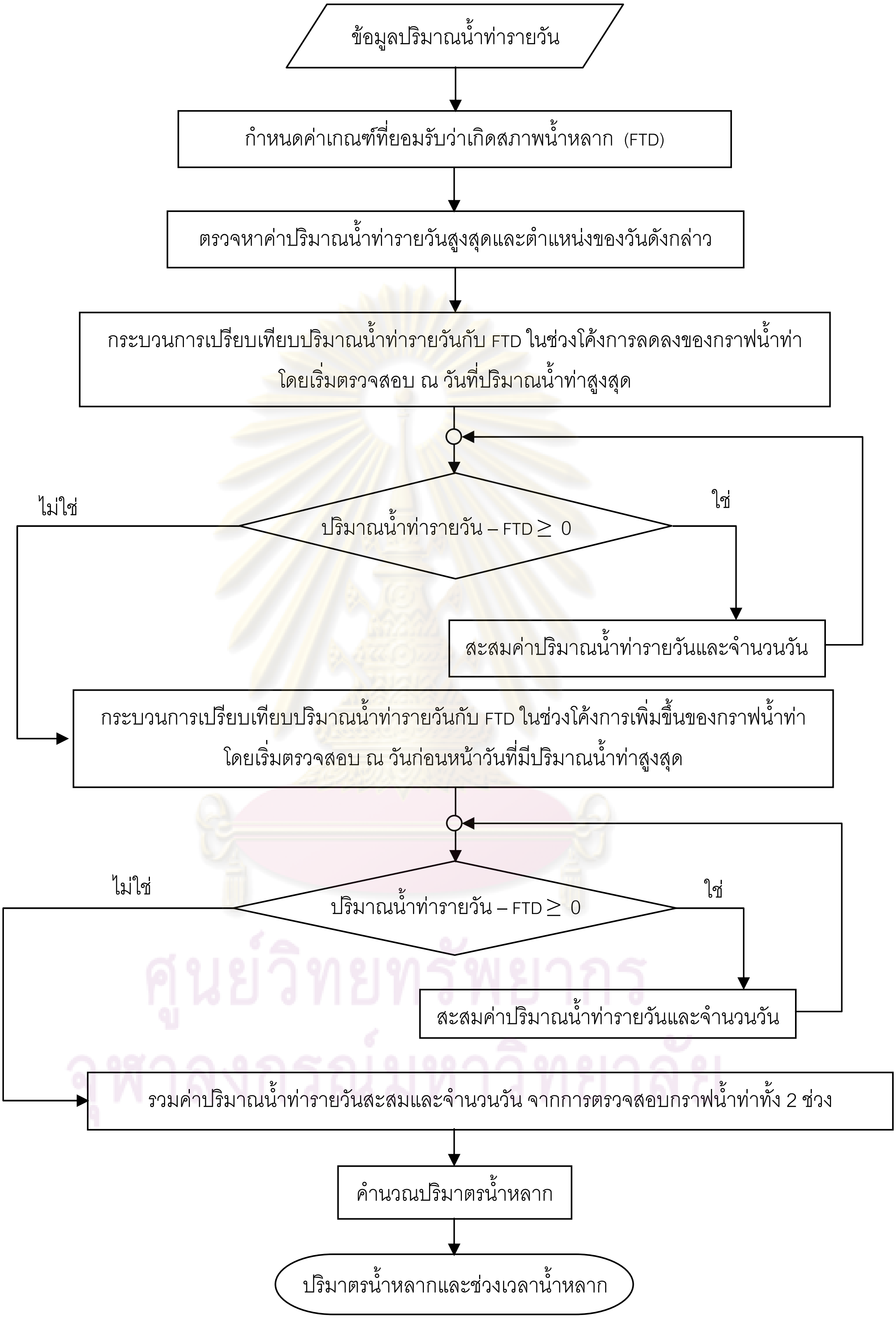
4. สร้างกราฟน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของแต่ละปี และลากเส้น FTD ตัดกราฟน้ำท่า ซึ่งเป็นการแบ่งกราฟน้ำท่าออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนยอดของกราฟน้ำท่าที่อยู่เหนือเส้น FTD ซึ่งในแต่ละปีมักจะมีอยู่หลายยอด และส่วนฐานของกราฟน้ำท่าที่อยู่ใต้เส้น FTD

5. เลือกส่วนยอดและฐานของกราฟน้ำท่าในช่วงที่เกิดค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปี มาใช้เพื่อคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก

6. ช่วงเวลาน้ำหลาก คือช่วงเวลาที่เส้น FTD ตัดกับกราฟน้ำท่า หรือช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดของยอดกราฟน้ำท่า

7. ปริมาตรน้ำหลาก คือผลรวมของปริมาณน้ำท่ารายวันภายในช่วงเวลาน้ำหลาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ผังแสดงการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

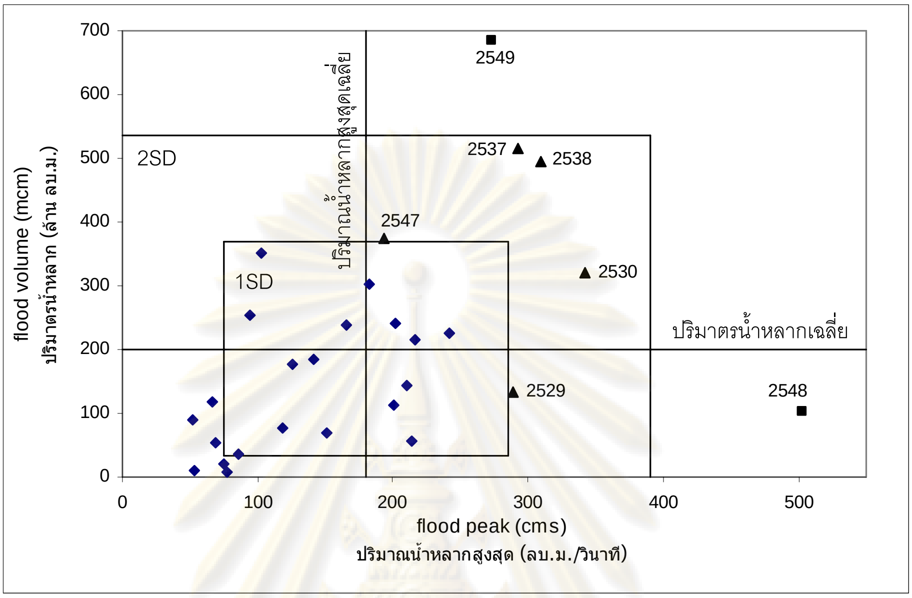
4.1.3 ผลการคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก

จากการเลือกใช้เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากทั้ง 3 กรณี สามารถคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากได้ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก และในส่วนนี้ได้แสดงตัวอย่างผลการคำนวณปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P20 โดยใช้ค่า FTD ต่างๆ ไว้ในตารางที่ 4.2 และแสดงกราฟการกระจายตัวของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากและปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P20 P1 และ PE2 ในกรณีที่ใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD ไว้ดังรูปที่ 4.13 – 4.18 โดยแต่ละรูปแสดงเส้นค่าเฉลี่ยของตัวแปรหลักและขอบเขตในช่วง ±1SD และ ±2SD เหตุการณ์ที่ตัวแปรหลักมีค่าสูงมักจะเป็นเหตุการณ์ที่มีความรุนแรงและก่อให้เกิดความเสียหายมาก เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.13 – 4.18 เหตุการณ์ที่อยู่นอกขอบเขต ±2SD น่าจะมีความรุนแรงของน้ำหลากมากกว่าปีอื่นๆ

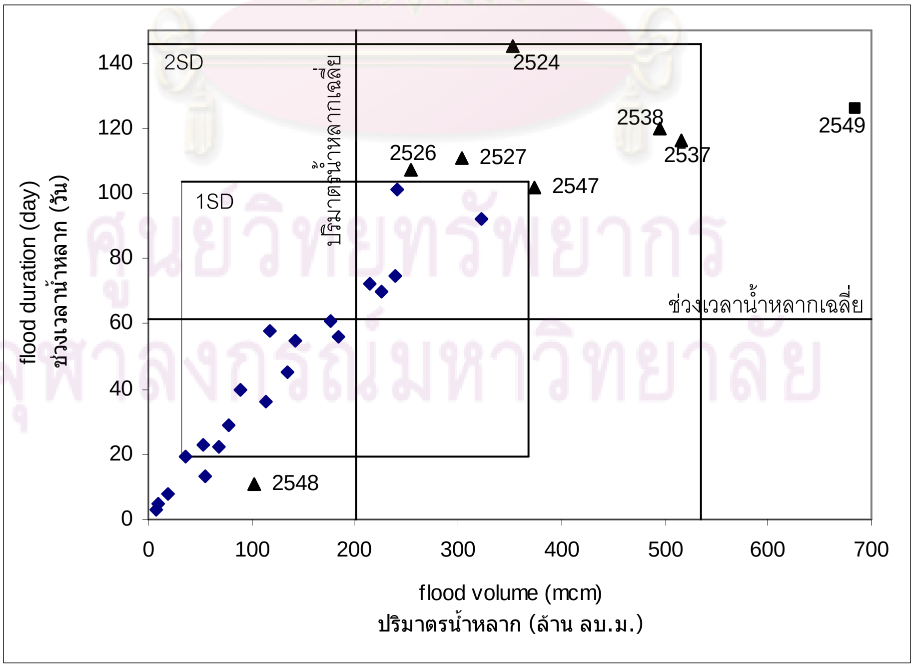
การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของสถานี P20 ดังรูปที่ 4.13 พบว่า เหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ. 2548 และ 2549 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่าปีอื่นๆ และเมื่อพิจารณาเหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2529 2537 2538 และ 2549 พบว่าทั้งหมดมีค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดใกล้เคียงกัน แต่มีค่าปริมาตรน้ำหลากแตกต่างกัน ดังนั้นปีที่มีปริมาตรน้ำหลากสูงกว่าน่าจะเป็นปีที่มีความรุนแรงมากกว่า เช่น เหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2549 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่าปี พ.ศ.2537 และ 2529 ตามลำดับ และเมื่อพิจาณาการกระจายของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P20 ดังรูปที่ 4.14 พบว่าเหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2549 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่าปีอื่นๆ

การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของสถานี P1 ดังรูปที่ 4.15 พบว่าเหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2513 2514 2516 2518 และ 2548 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่าปีอื่นๆ เนื่องจากจุดข้อมูลอยู่นอกขอบเขต ±2SD และเมื่อพิจารณาปีที่มีปริมาณน้ำหลากสูงสุดใกล้เคียงกัน เช่น ปี พ.ศ.2488 2514 และ 2521 พบว่าเหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2514 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่า ปี พ.ศ. 2521 และ 2488 ตามค่าปริมาตรน้ำหลากที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการกระจายของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P1 ดังรูปที่ 4.16 พบว่าเหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2486 2492 2513 2514 2516 และ 2518 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่าปีอื่นๆ

การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และการกระจายของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ของสถานี PE2 ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าเหตุการณ์น้ำหลากในปี พ.ศ.2516 2545 และ 2549 น่าจะมีความรุนแรงมากกว่าปีอื่นๆ

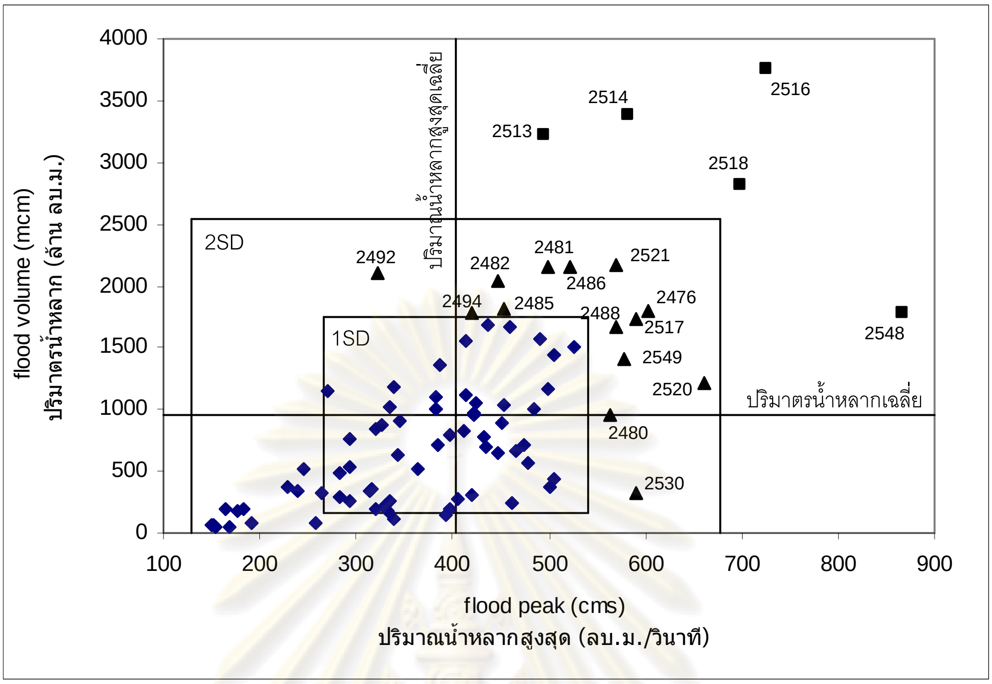


รูปที่ 4.13 การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี P20

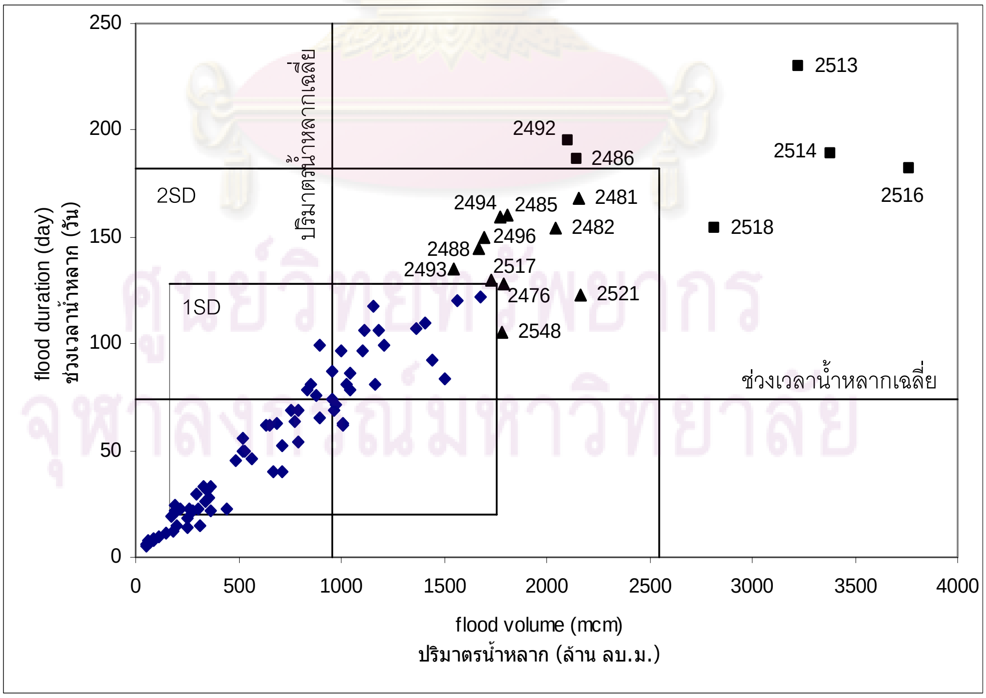


รูปที่ 4.14 การกระจายของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P20

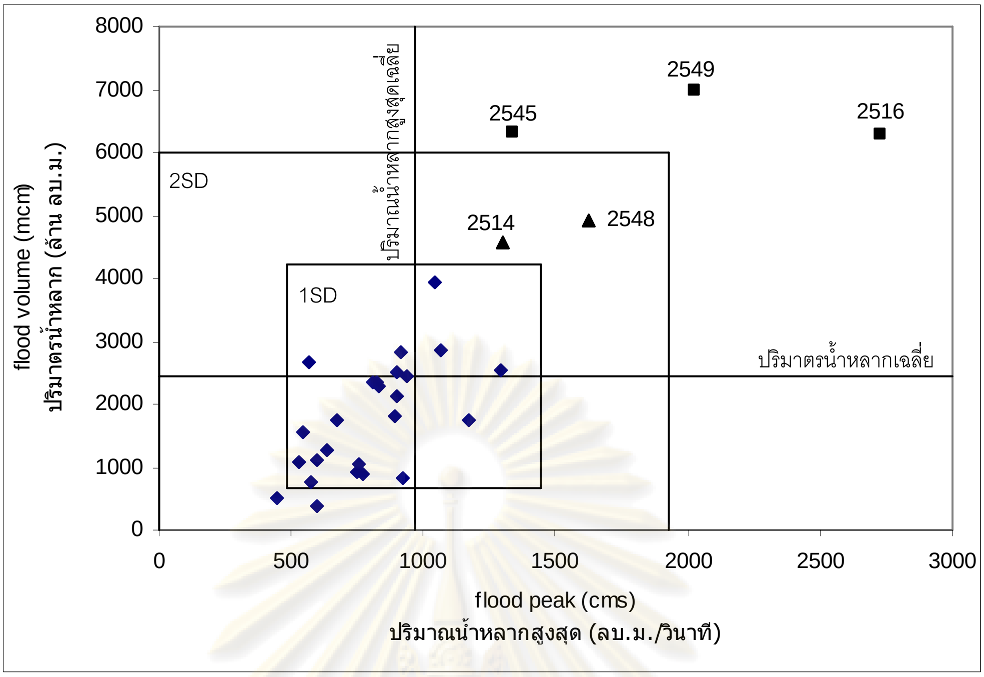
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



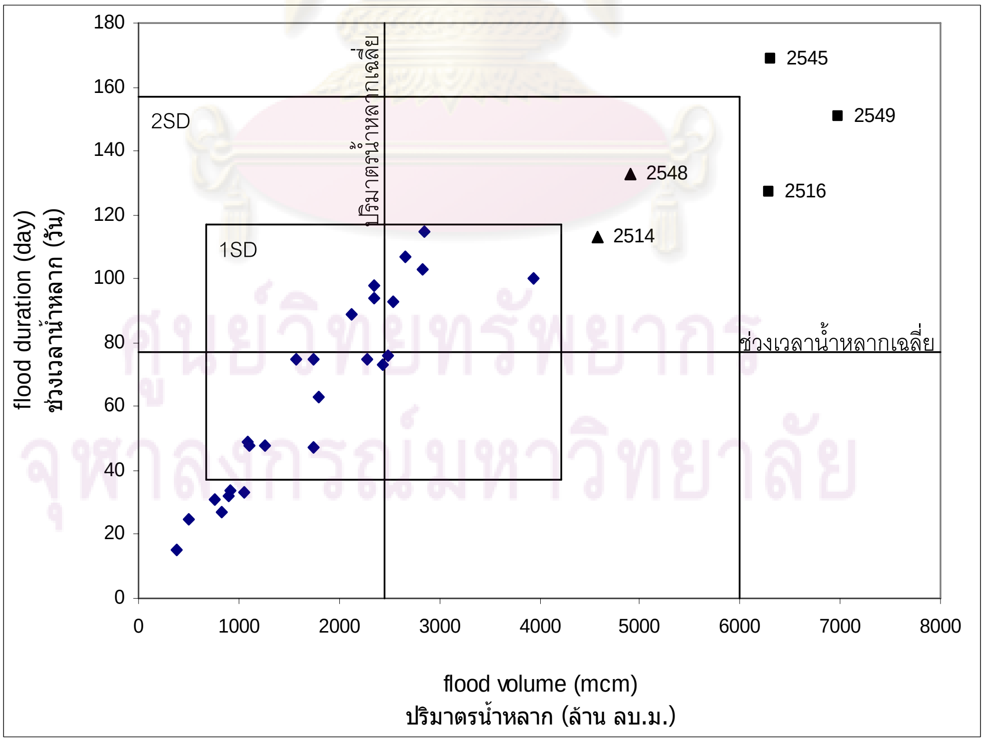
รูปที่ 4.15 การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี P1



รูปที่ 4.16 การกระจายของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี P1



รูปที่ 4.17 การกระจายของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี PE2



รูปที่ 4.18 การกระจายของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากของสถานี PE2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรหลักของสถานี P20 ตามชนิดของเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

ปีพ.ศ.	ปริมาณน้ำหลาก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก					
		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวัน		ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลาก	
		ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)
2522	117.9	76.91	29	29.88	6	29.88	6
2523	126.0	176.83	61	101.50	19	95.56	17
2524	103.2	352.24	145	65.24	15	65.24	15
2525	66.1	117.60	58	30.34	9	24.49	7
2526	94.4	254.88	107	29.07	6	29.07	6
2527	182.3	302.98	111	81.66	12	78.65	11
2528	210.9	142.64	55	58.21	8	58.21	8
2529	288.8	133.85	45	72.81	10	69.81	9
2530	341.6	321.71	92	130.77	13	130.77	13
2531	214.3	55.27	13	42.48	6	42.48	6
2532	202.3	240.28	101	31.81	5	31.81	5
2533	86.0	36.62	19	13.26	3	10.24	2
2534	151.1	68.03	22	37.76	8	34.75	7
2535	68.6	54.03	23	10.29	3	7.40	2
2536	53.4	10.35	5	3.54	1	3.54	1
2537	292.4	516.56	116	227.00	25	227.00	25
2538	309.4	495.65	120	325.98	53	294.93	45
2539	166.0	238.42	75	115.09	19	115.09	19
2540	201.2	113.89	36	39.68	6	39.68	6
2541	74.9	19.78	8	7.07	2	7.07	2
2542	52.4	88.90	40	24.66	7	8.12	2
2543	78.0	8.22	3	3.97	1	3.97	1
2544	241.6	225.70	70	42.05	6	42.05	6
2545	141.5	184.05	56	89.47	17	86.60	16
2546	216.6	214.19	72	106.95	15	104.09	14
2547	193.2	374.57	102	138.72	23	135.82	22
2548	503.0	103.24	11	96.02	7	96.02	7
2549	273.0	684.17	126	644.48	99	641.52	98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก

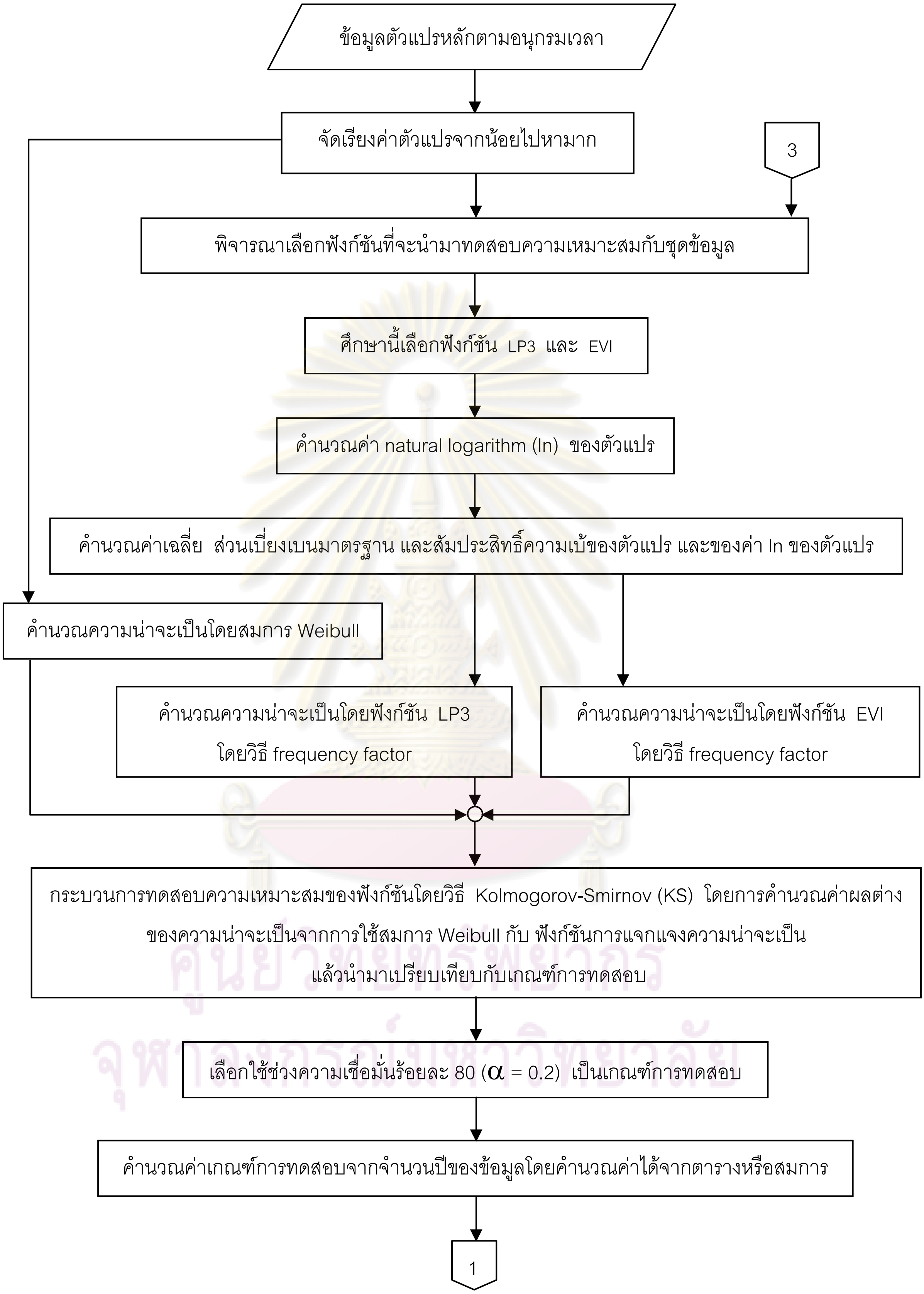
การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก ได้เลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 2 ชนิด คือฟังก์ชันการแจกแจงแบบ LP3 เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมในพื้นที่ศึกษา (Garoon, 1982 สุดารัตน์, 2542 และโสธรัตน์, 2544) และฟังก์ชันการแจกแจงแบบ EVI เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้กันแพร่หลายในประเทศไทย และเป็นฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดตามการศึกษาของ Sabur (1982) โดยได้ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 และนำฟังก์ชันที่เหมาะสมไปวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลักต่อไป

4.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก

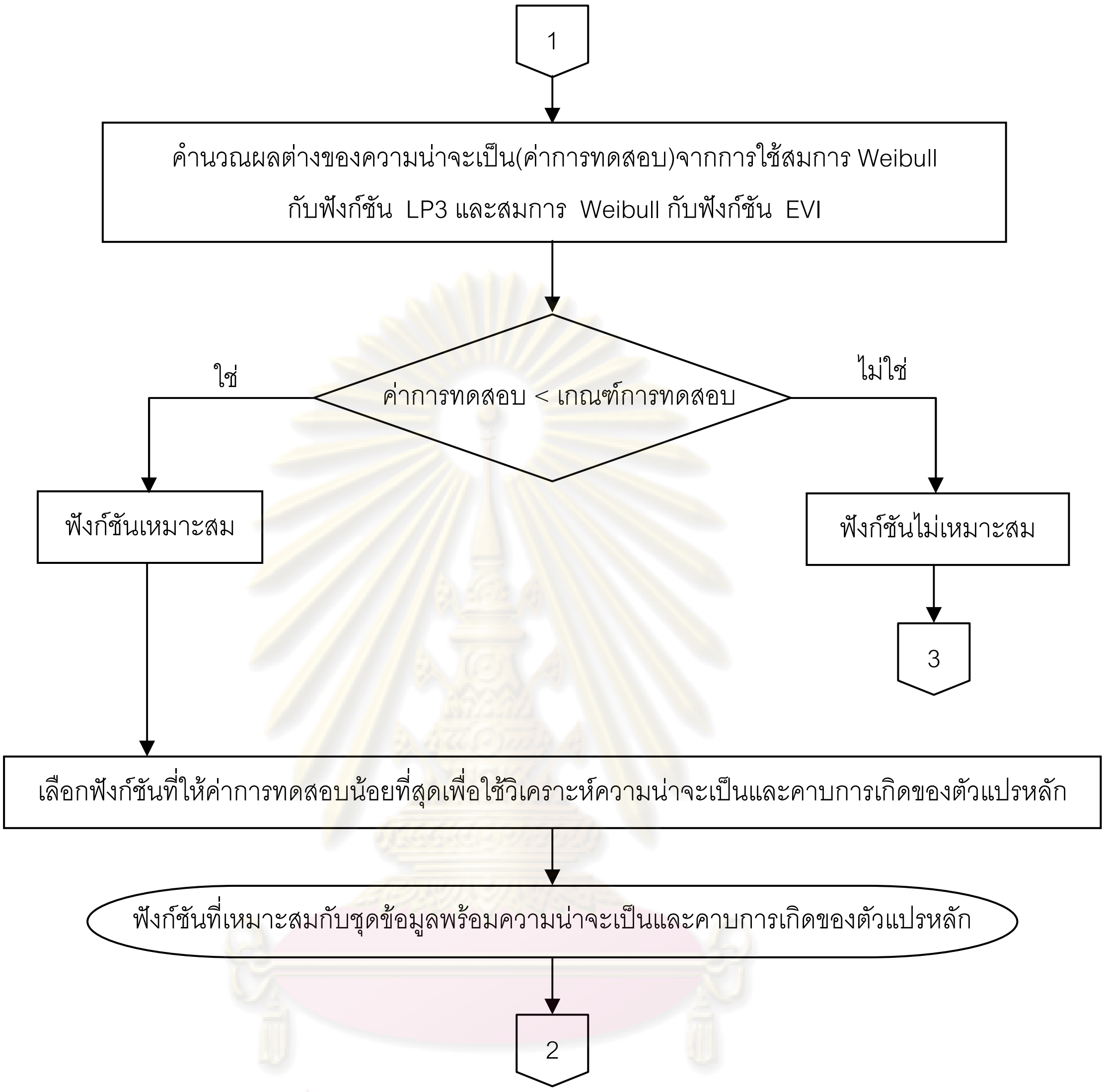
ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก และการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันมีดังนี้ (รูปที่ 4.19)

1. นำข้อมูลอนุกรมสูงสุดรายปีของตัวแปรหลัก มาจัดเรียงจากน้อยไปหามาก
2. คำนวณค่า natural logarithm ของตัวแปรหลัก เพื่อใช้สำหรับการคำนวณฟังก์ชันการแจกแจงแบบ LP3
3. คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความเบ้
4. คำนวณค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลตรวจวัด ด้วยวิธี plotting position โดยใช้สมการ Weibull และคำนวณค่าความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงแบบ LP3 และ EVI ด้วยวิธี frequency factor
5. ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov
6. เลือกฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมมากกว่าเป็นตัวแทนของชุดข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในส่วนของการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 ผังแสดงการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก



รูปที่ 4.19 ผังแสดงการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรหลัก

ในขั้นตอนนี้ได้ใช้ชุดข้อมูล 3 ชุด ตามค่า FTD เพื่อทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรหลัก ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 พบว่าฟังก์ชัน LP3 และ EVI สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นของชุดข้อมูลตัวแปรหลักได้ ทั้ง 3 สถานี เนื่องจากให้ค่าผลการทดสอบยอมรับในทุกกรณี และเมื่อพิจารณาค่าการทดสอบ พบว่าฟังก์ชันการแจกแจงแบบ LP3 เหมาะสมกับชุดข้อมูลทั้งหมดมากกว่าฟังก์ชันการแจกแจงแบบ EVI เนื่องจากให้ค่าการทดสอบน้อยกว่า ยกเว้นค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่สถานี P20 เท่านั้น ที่ฟังก์ชันการแจกแจงแบบ EVI มีความเหมาะสมมากกว่า จากผลการทดสอบทำให้มั่นใจได้ว่าฟังก์ชันการแจกแจงแบบ LP3 เป็นฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของฟังก์ชันตามชนิดของ FTD พบว่ายังไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนว่า FTD ชนิดใด จะทำให้ฟังก์ชันมีความเหมาะสมมากที่สุด แต่มีข้อสังเกตว่าผลการทดสอบความเหมาะสมที่ดีที่สุด จะไม่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลากเป็น FTD ทั้ง 3 สถานี

จากการใช้ฟังก์ชัน LP3 วิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรหลักทั้ง 3 สถานี ได้คำนวณคาบการเกิดของตัวแปรหลัก ดังแสดงในตารางที่ 4.4 – 4.6 จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตพบว่า ณ สถานี P20 ปริมาณน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2548 มีค่า 503.0 ลบ.ม./วินาที เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 50 ปี ปริมาตรน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2549 มีค่า 684.17 ล้าน ลบ.ม. เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 35 ปี ช่วงเวลาน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2524 มีค่า 145 วัน เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 12 ปี

ณ สถานี P1 ปริมาณน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2548 มีค่า 867.2 ลบ.ม./วินาที เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 1400 ปี ปริมาตรน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2516 มีค่า 3763.33 ล้าน ลบ.ม. เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 58 ปี ช่วงเวลาน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2513 มีค่า 230 วัน เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 30 ปี

ณ สถานี PE2 ปริมาณน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2516 มีค่า 2730.0 ลบ.ม./วินาที เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 80 ปี ปริมาตรน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2549 มีค่า 6975.30 ล้าน ลบ.ม. เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 29 ปี ช่วงเวลาน้ำหลากสูงสุดเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2545 มีค่า 169 วัน เท่ากับคาบการเกิดประมาณ 26 ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชัน LP3 และ EVI

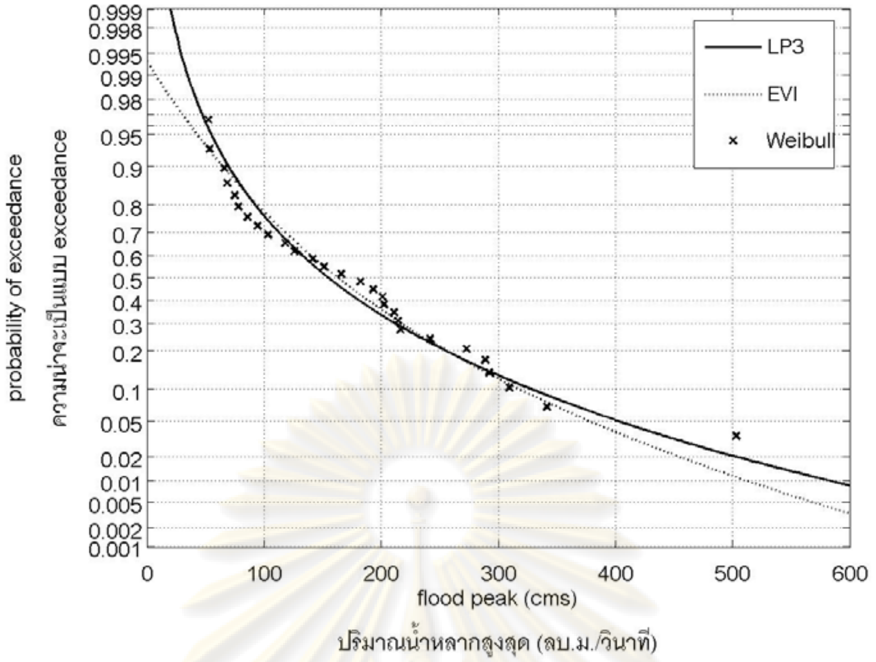
สถานี	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก	ตัวแปร	เกณฑ์การทดสอบ	LP3		EVI	
				ค่าการทดสอบ	ผลการทดสอบ	ค่าการทดสอบ	ผลการทดสอบ
P20	-	P	0.198	0.0919	ยอมรับ	0.0741	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	V		0.0484	ยอมรับ	0.0666	ยอมรับ
		D		0.0916	ยอมรับ	0.1201	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	V		0.0813	ยอมรับ	0.2217	ยอมรับ
		D		0.1222	ยอมรับ	0.2239	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	V		0.0780	ยอมรับ	0.2281	ยอมรับ
		D		0.1355	ยอมรับ	0.2369	ยอมรับ
P1	-	P	0.1154	0.0632	ยอมรับ	0.1029	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	V		0.0601	ยอมรับ	0.0910	ยอมรับ
		D		0.0998	ยอมรับ	0.1046	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	V		0.0531	ยอมรับ	0.2059	ยอมรับ
		D		0.0736	ยอมรับ	0.1831	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	V		0.0542	ยอมรับ	0.2060	ยอมรับ
		D		0.0802	ยอมรับ	0.1812	ยอมรับ
PE2	-	P	0.190	0.0700	ยอมรับ	0.1337	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	V		0.0755	ยอมรับ	0.1172	ยอมรับ
		D		0.1074	ยอมรับ	0.1212	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	V		0.0721	ยอมรับ	0.1860	ยอมรับ
		D		0.0707	ยอมรับ	0.1548	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	V		0.0773	ยอมรับ	0.1725	ยอมรับ
		D		0.0738	ยอมรับ	0.1399	ยอมรับ

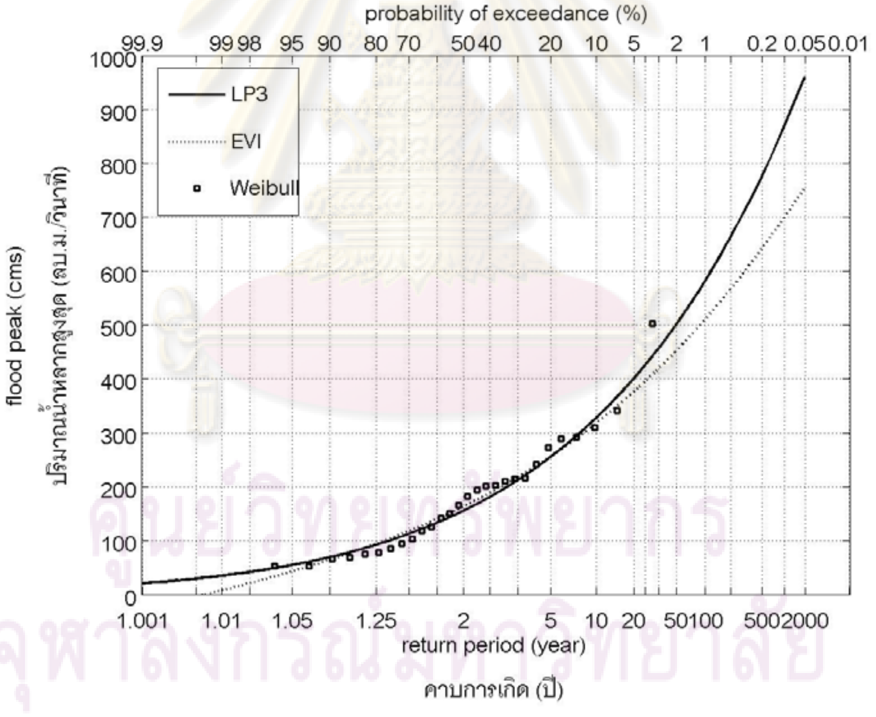
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก ที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P20 กรณีใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD

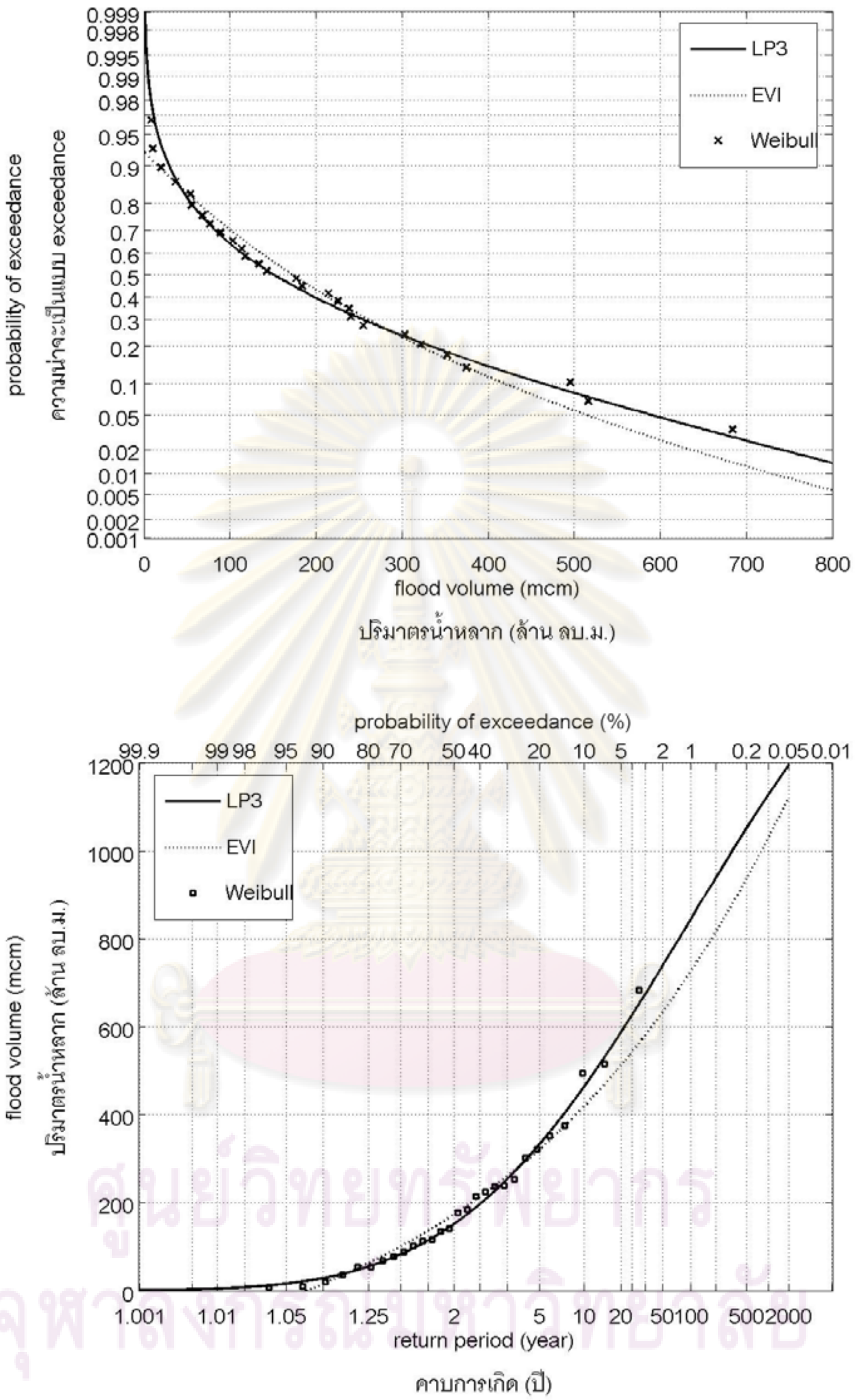
คาบการเกิด (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2	155.0	151.05	50
5	255.0	333.26	102
10	327.9	464.89	138
20	401.8	589.20	169
25	425.9	627.47	178
50	502.6	740.60	205
100	581.9	844.82	229
200	664.1	940.11	249
500	777.5	1,052.80	273
1000	867.1	1,128.40	288

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



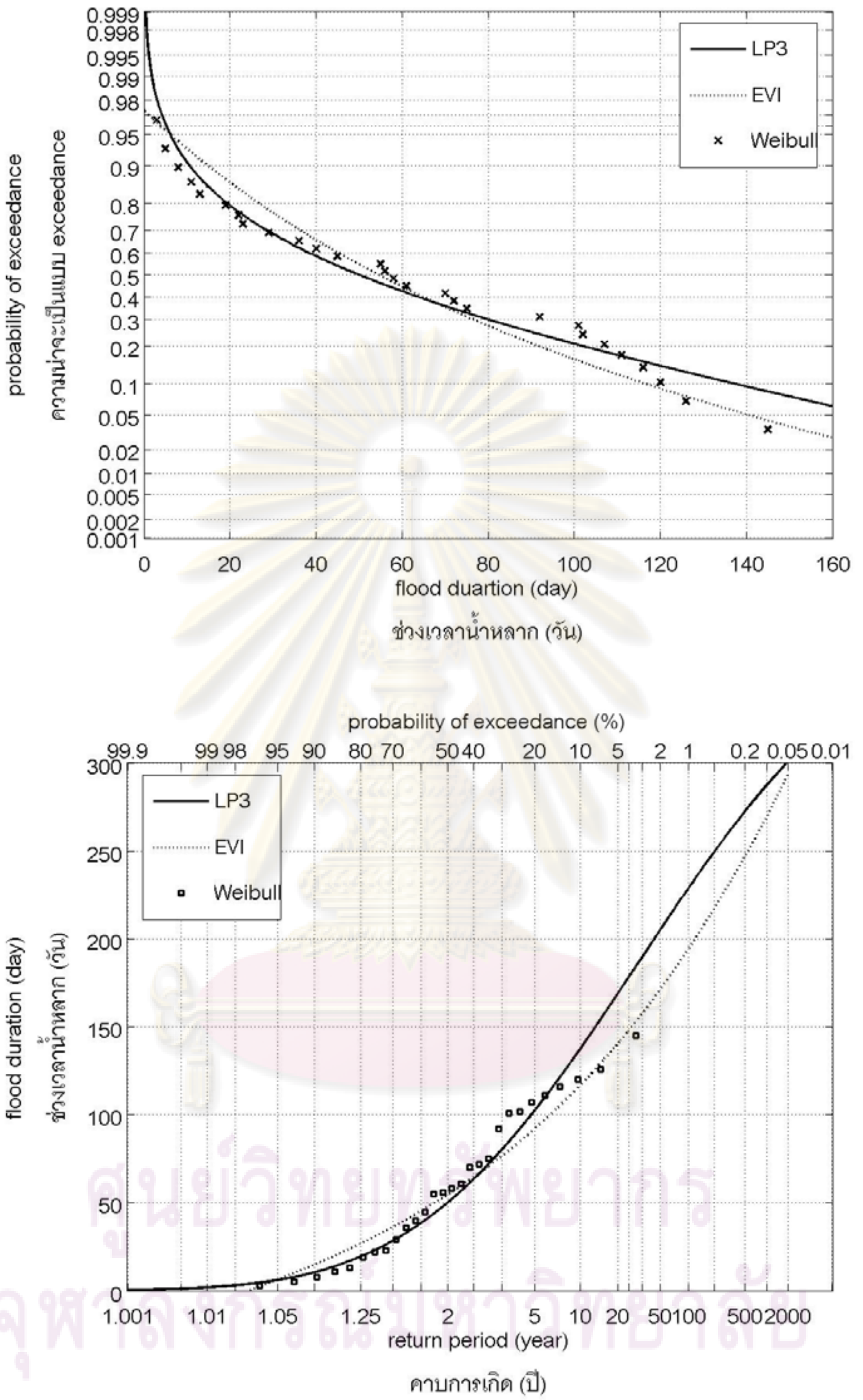


รูปที่ 4.20 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ณ สถานี P20



รูปที่ 4.21 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



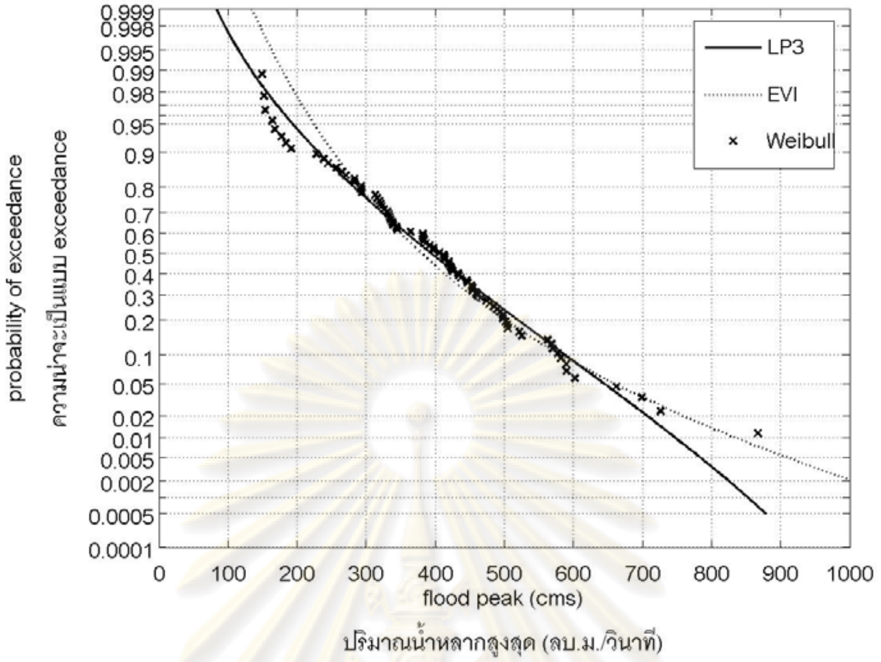
รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20

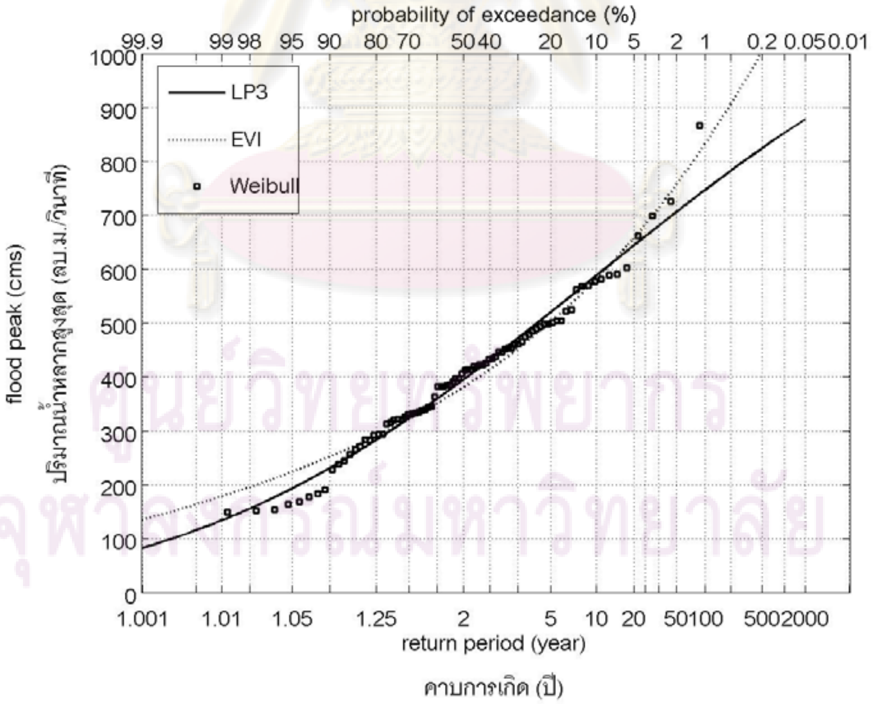
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก ที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P1 กรณีใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD

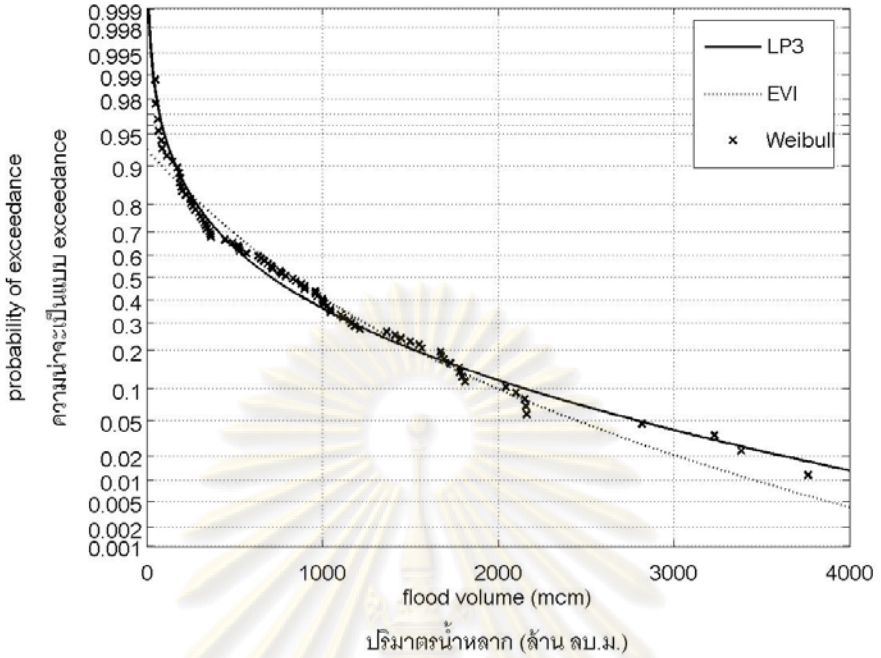
คาบการเกิด (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2	394.3	708.76	57
5	519.8	1,525.50	116
10	587.9	2,153.70	161
20	644.2	2,786.90	205
25	660.4	2,991.00	219
50	706.5	3,622.70	262
100	746.9	4,248.10	305
200	782.8	4,863.40	346
500	824.6	5,656.30	-
1000	852.7	6,237.50	-

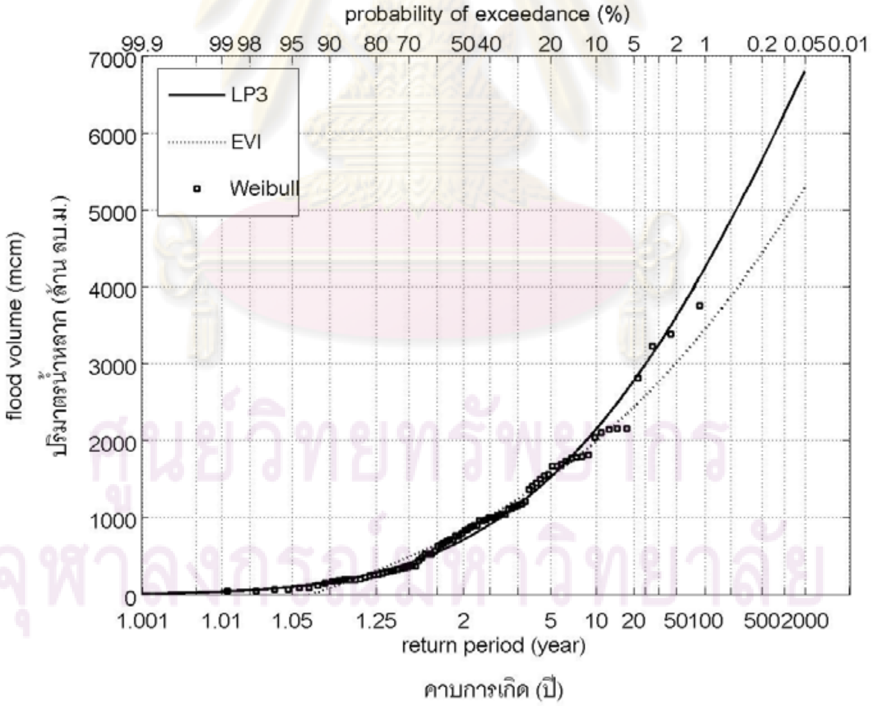
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





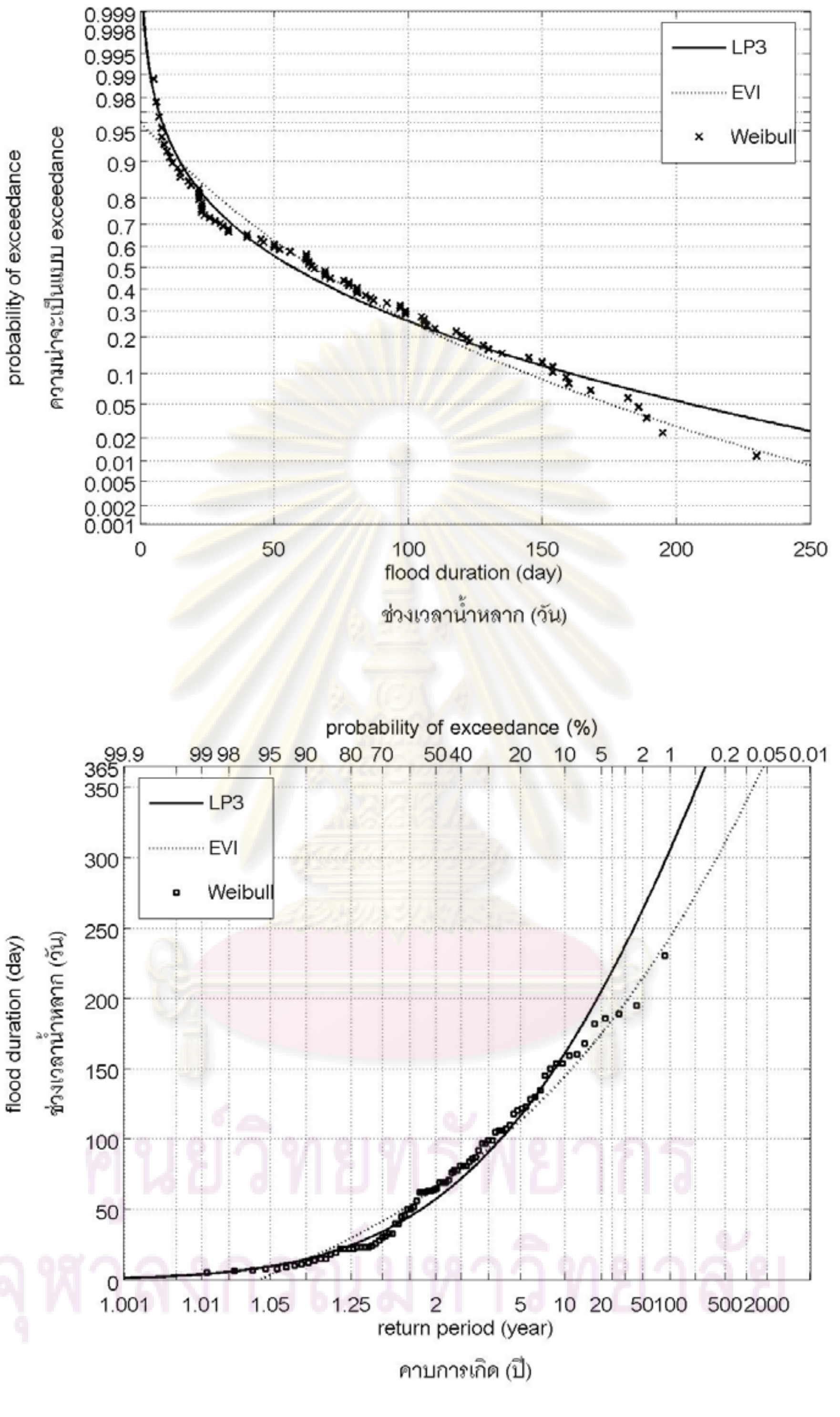
รูปที่ 4.23 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ณ สถานี P1





รูปที่ 4.24 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



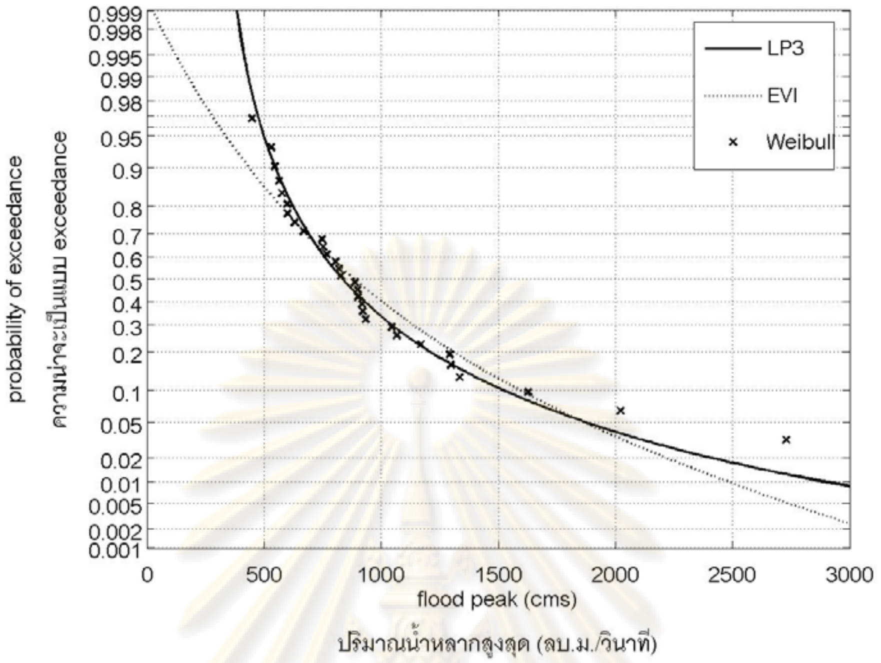
รูปที่ 4.25 ความน่าจะเป็นสะสมและคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1

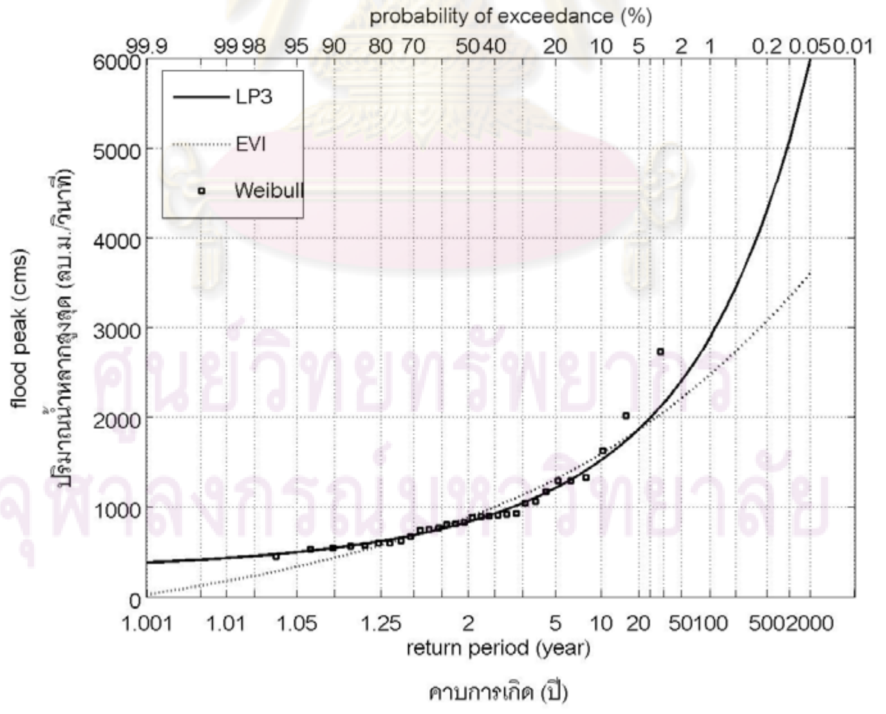
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี PE2 กรณีใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD

คาบการเกิด (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2	835.4	1,955.70	70
5	1,211.6	3,581.20	111
10	1,521.2	4,856.50	137
20	1,869.8	6,208.70	160
25	1,992.0	6,662.70	167
50	2,408.1	8,134.40	188
100	2,887.1	9,703.80	208
200	3,440.1	11,375.00	226
500	4,306.0	13,746.00	249
1000	5,081.6	15,665.00	265

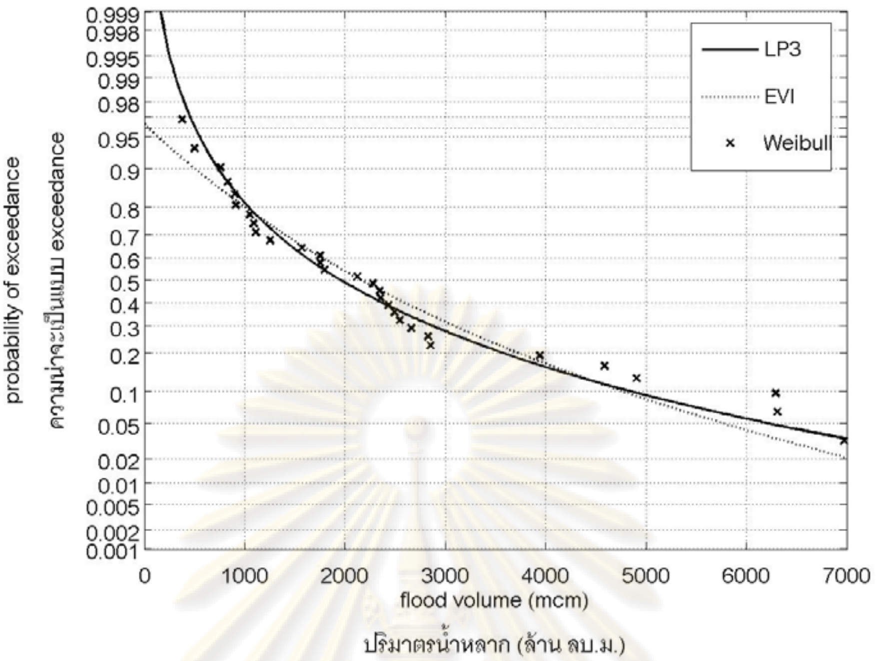
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

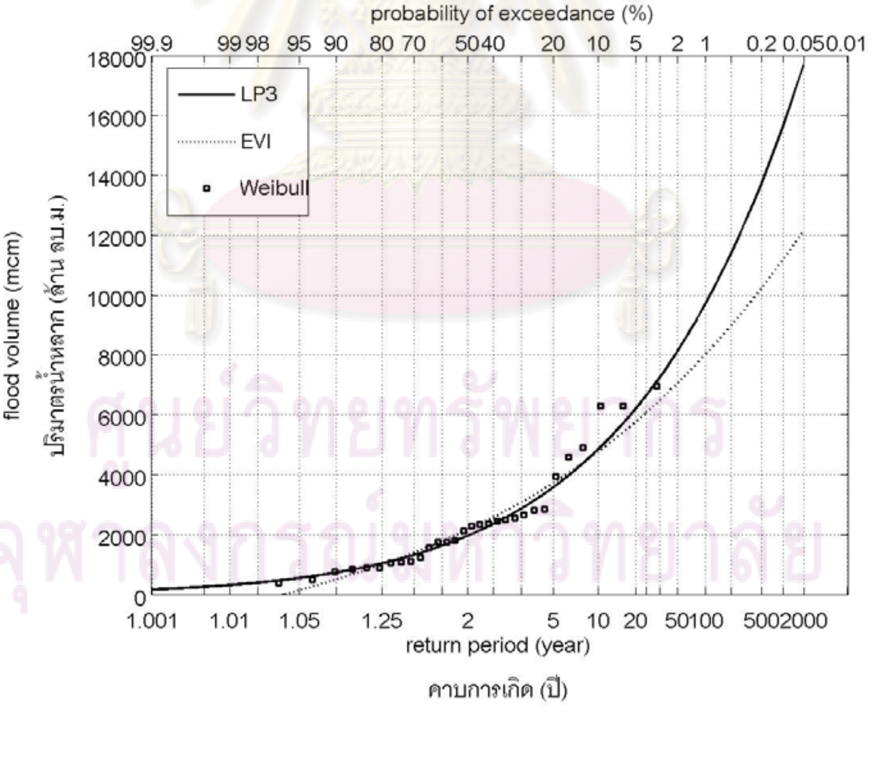




รูปที่ 4.26 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ณ สถานี PE2

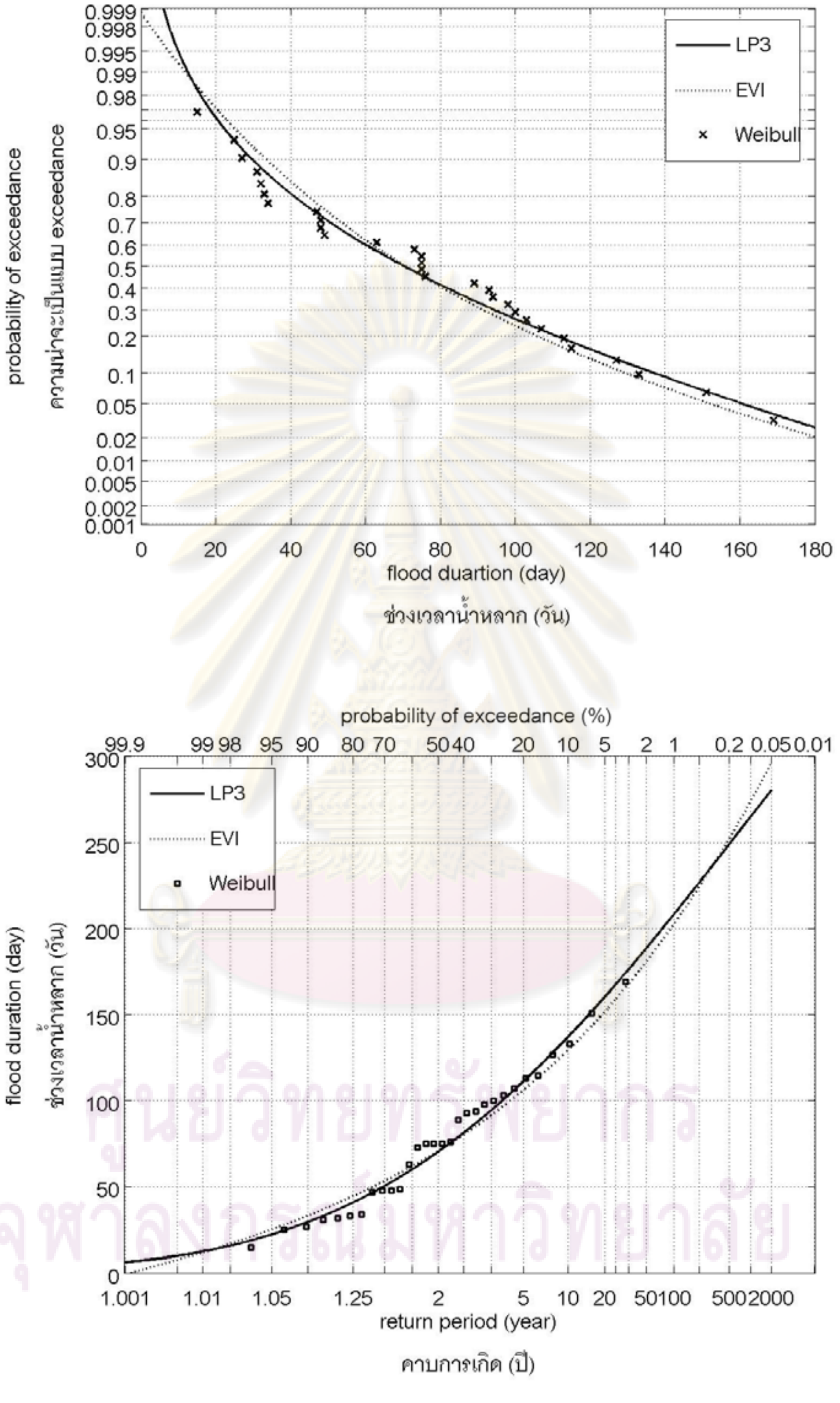
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.27 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula

4.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลากในการศึกษานี้แบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก
2. ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก

รายละเอียดของขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula มีดังนี้ (รูปที่ 4.29) โดยจะแสดงเฉพาะกรณีความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากเท่านั้น เพราะการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากสามารถทำได้ตามวิธีการเดียวกัน

1. วิเคราะห์ค่า Kendall correlation coefficient (τ) จากข้อมูลปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากตามอนุกรมเวลา โดยการวิเคราะห์จำนวนคู่ตัวแปรที่แปรผันตรงและแปรผกผันกัน

2. นำค่า τ ที่คำนวณได้ไปใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชัน Copula ที่เลือกนำมาศึกษา

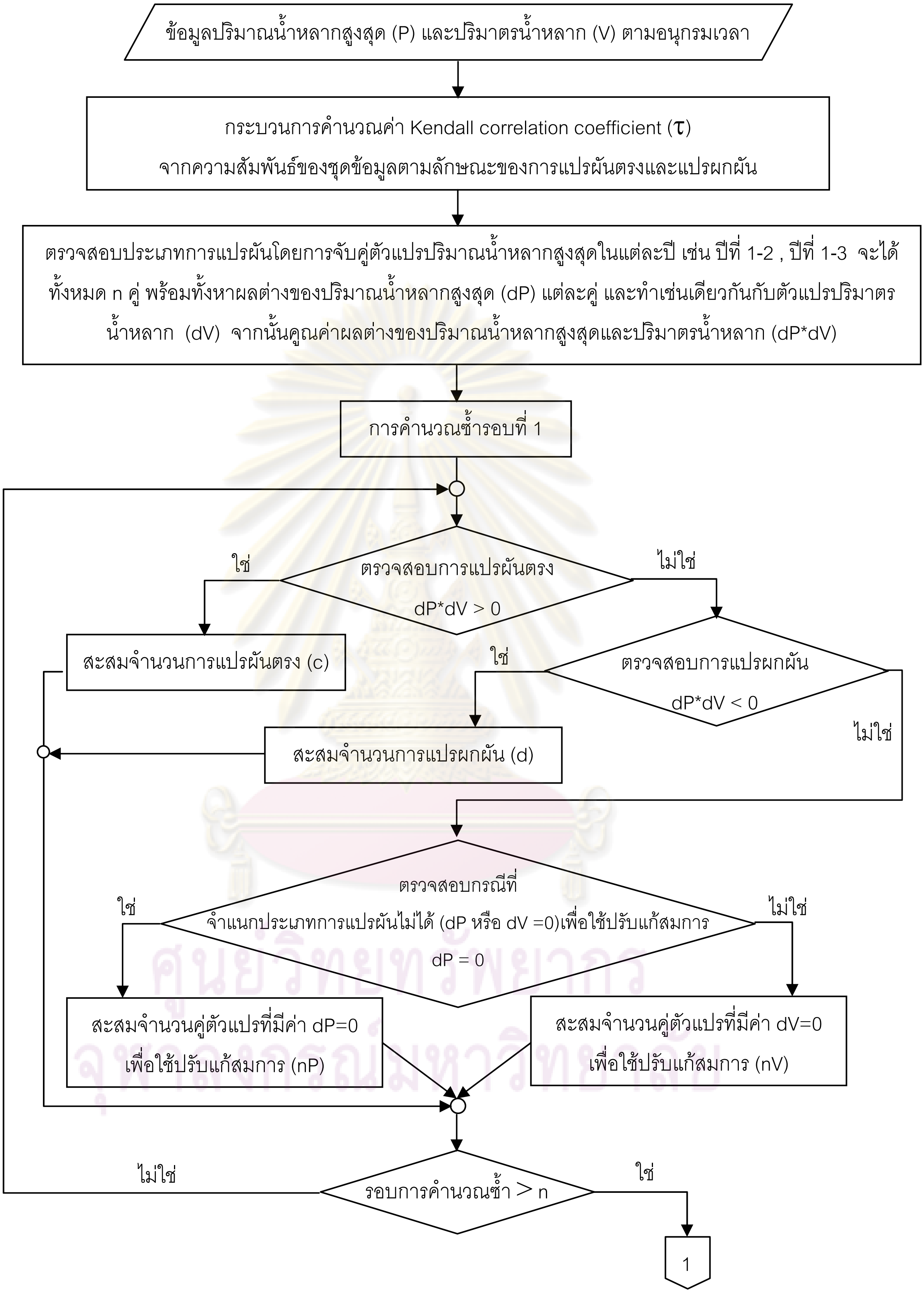
3. พิจารณาค่าความน่าจะเป็นเดี่ยวของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากที่คำนวณได้จากฟังก์ชันการแจกแจงแบบ LP3 โดยจัดเรียงค่าความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากสูงสุดจากน้อยไปหามาก และจัดเรียงค่าความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลากตามคู่ปีเดียวกันของการเกิดปริมาณน้ำหลากสูงสุด

4. คำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก ด้วยวิธี plotting position โดยใช้สมการ Weibull (รูปที่4.30)

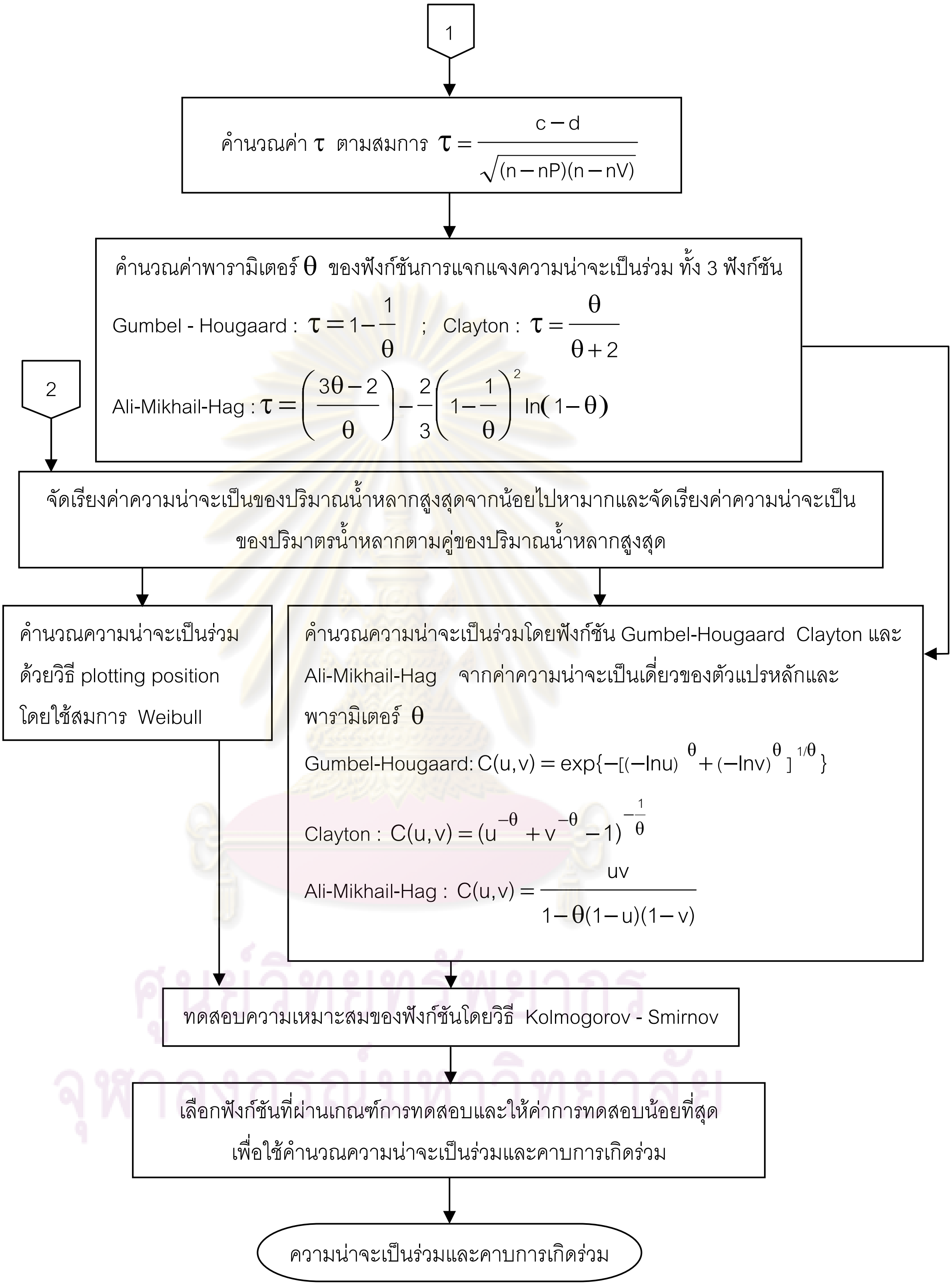
5. คำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก โดยฟังก์ชัน Copula 3 ชนิด คือ Gumbel-Hougaard, Clayton และ Ali-Mikhail-Hag

6. ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันโดยวิธี Kolmogorov-Smirnov และเลือกฟังก์ชันที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบและให้ค่าผลการทดสอบน้อยที่สุด เพื่อใช้คำนวณความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

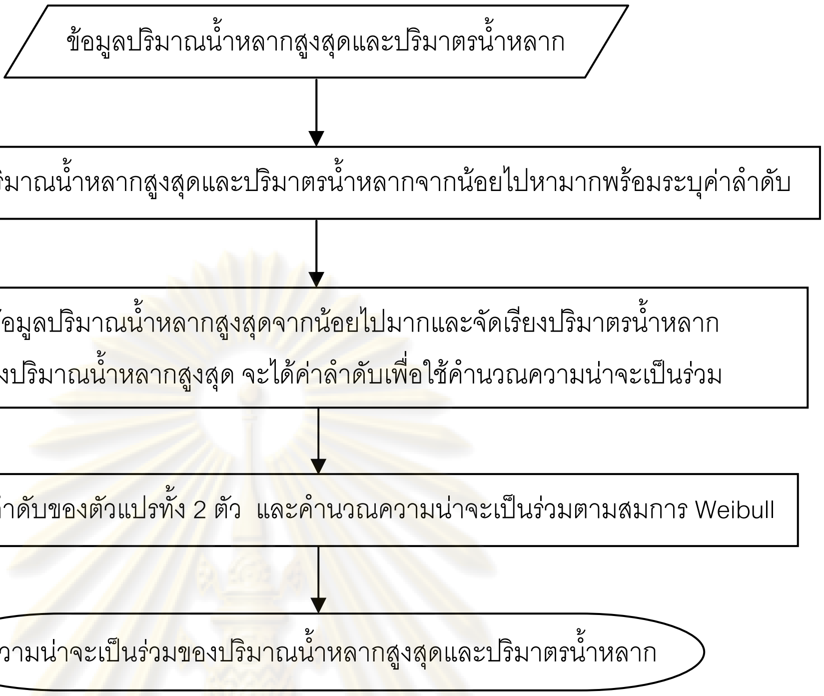


รูปที่ 4.29 ผังแสดงการคำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก



รูปที่ 4.29 ผังแสดงการคำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุด
และปริมาตรน้ำหลาก (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 ผังแสดงการคำนวณความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุด
และปริมาตรน้ำหลากโดยสมการ Weibull

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม

จากการเปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula 3 ชนิด คือ Gumbel-Hougaard Clayton และ Ali-Mikhail-Hag ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ได้สรุปผลการวิเคราะห์หาฟังก์ชัน Copula ที่มีความเหมาะสม ต่อการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ไว้ในตารางที่ 4.7 และแสดงผลการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมระหว่างสมการ Weibull กับฟังก์ชัน Copula ที่เหมาะสม เส้นชั้นความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดร่วมไว้ในรูปที่ 4.31 ถึง 4.54

จากผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของฟังก์ชันพบว่า ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ของทั้ง 3 สถานี ได้ ยกเว้นสถานี P1 ที่ทั้ง 3 ฟังก์ชันไม่สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ในกรณีที่ใช้ค่าปริมาณน้ำหลากต่ำสุดเป็น FTD เมื่อพิจารณาฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag พบว่าสามารถเป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ของสถานี P20 ได้ แต่ในสถานี P1 และ PE2 ส่วนใหญ่พบว่าฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้

รูปที่ 4.31 4.35 4.39 4.43 4.47 และ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมระหว่างการวิเคราะห์ด้วยสมการ Weibull กับฟังก์ชัน Copula ที่เหมาะสม พบว่าฟังก์ชัน Copula สามารถเป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของชุดข้อมูลได้

เมื่อพิจารณารูปแสดงเส้นชั้นความน่าจะเป็นร่วมและรูปแสดงเส้นชั้นคาบการเกิดร่วมกรณี OR case พบว่าเส้นกราฟมีรูปแบบเหมือนกันเป็นเส้นโค้งหงาย เส้นกราฟไม่ตัดแกนในแนวตั้งและแนวนอน ตัวแปรหลักที่มีค่าคาบการเกิดต่ำจะมีอิทธิพลต่อคาบการเกิดร่วมมากกว่าตัวแปรหลักที่มีค่าคาบการเกิดสูง เช่น กรณีคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากของสถานี P20 ที่เส้นคาบการเกิด 5 ปี ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดจะเพิ่มขึ้นจาก 700 เป็น 900 ลบ.ม./วินาที ก็ไม่ส่งผลให้ค่าคาบการเกิดร่วมเปลี่ยนแปลง เนื่องจาก

เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิด 5 ปี ค่า 700 ถึง 900 ลบ.ม./วินาที เป็นค่าที่สูงมากอยู่ในช่วงคาบการเกิดประมาณ 300 – 1,000 ปี

เมื่อพิจารณารูปแสดงเส้นชั้นคาบการเกิดร่วมกรณี AND case พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะโค้งคว่ำ เส้นชั้นคาบการเกิดจะตัดแกนตั้งและแกนนอน และตัดแกนที่ค่าคาบการเกิดใกล้เคียงกับค่าคาบการเกิดในกรณีที่วิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร โดยตัวแปรหลักที่มีค่าคาบการเกิดสูงจะมีอิทธิพลต่อคาบการเกิดร่วมมากกว่าตัวแปรหลักที่มีค่าคาบการเกิดต่ำ

ตารางที่ 4.9 ถึง 4.14 แสดงคาบการเกิดของตัวแปรหลักจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร (T) และคาบการเกิดร่วมกรณี OR case (T_{OR}) และ AND case (T_{AND}) โดยยกตัวอย่างเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD พบว่า T_{OR} และ T_{AND} มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง T T_{OR} และ T_{AND} พบว่า $T_{OR} \leq T \leq T_{AND}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ตามชนิดของเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

สถานี	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก	ตัวแปร	Gumbel-Hougaard		Clayton		Ali-Mikhail-Hag	
			ค่าทดสอบ	ผลทดสอบ	ค่าทดสอบ	ผลทดสอบ	ค่าทดสอบ	ผลทดสอบ
P20	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย	P & V	0.0837	ยอมรับ	0.0772	ยอมรับ	0.0969	ยอมรับ
		V & D	0.0601	ยอมรับ	0.0627	ยอมรับ	0.1507	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P & V	0.1192	ยอมรับ	0.0984	ยอมรับ	0.1222	ยอมรับ
		V & D	0.0830	ยอมรับ	0.1048	ยอมรับ	0.1760	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	P & V	0.1284	ยอมรับ	0.1069	ยอมรับ	0.1540	ยอมรับ
		V & D	0.1193	ยอมรับ	0.1047	ยอมรับ	0.1693	ยอมรับ
P1	ปริมาณน้ำท่ารายวัยเฉลี่ย	P & V	0.0692	ยอมรับ	0.0695	ยอมรับ	0.0925	ยอมรับ
		V & D	0.0740	ยอมรับ	0.0736	ยอมรับ	0.1599	ปฏิเสธ
	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P & V	0.0530	ยอมรับ	0.0683	ยอมรับ	0.1140	ยอมรับ
		V & D	0.0706	ยอมรับ	0.0731	ยอมรับ	0.2006	ปฏิเสธ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	P & V	0.1701	ปฏิเสธ	0.1534	ปฏิเสธ	0.1852	ปฏิเสธ
		V & D	0.0809	ยอมรับ	0.0860	ยอมรับ	0.1951	ปฏิเสธ
PE2	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย	P & V	0.0741	ยอมรับ	0.1080	ยอมรับ	0.1709	ยอมรับ
		V & D	0.1007	ยอมรับ	0.1007	ยอมรับ	0.1714	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P & V	0.0913	ยอมรับ	0.1063	ยอมรับ	0.2050	ปฏิเสธ
		V & D	0.0685	ยอมรับ	0.0695	ยอมรับ	0.2046	ปฏิเสธ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	P & V	0.1127	ยอมรับ	0.1218	ยอมรับ	0.2346	ปฏิเสธ
		V & D	0.0774	ยอมรับ	0.0774	ยอมรับ	0.2152	ปฏิเสธ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

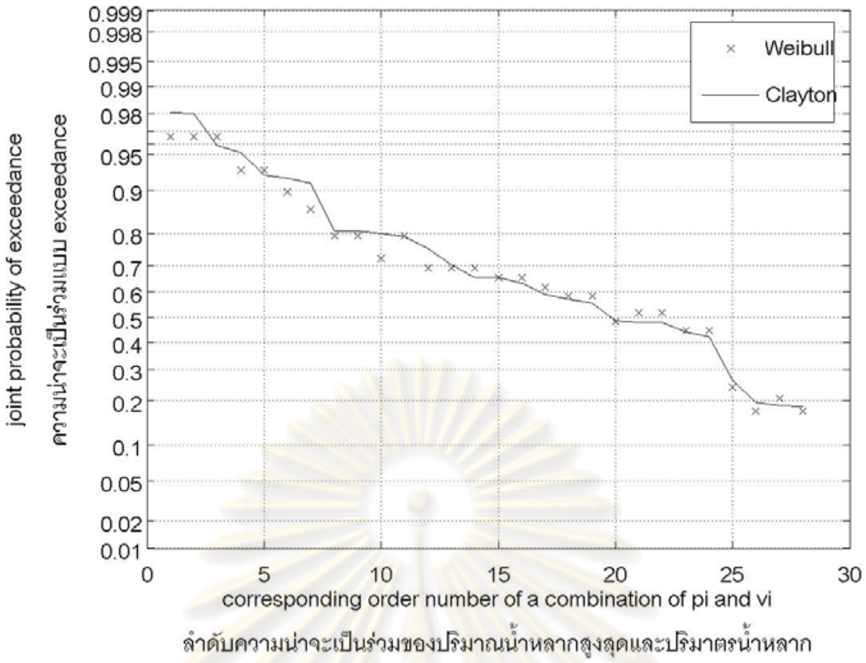
โดยแต่ละสถานีมีค่าเกณฑ์การทดสอบ (D_C) แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ดังนี้

- P20 มีค่า D_C เท่ากับ 0.198
- P1 มีค่า D_C เท่ากับ 0.1154
- PE2 มีค่า D_C เท่ากับ 0.190

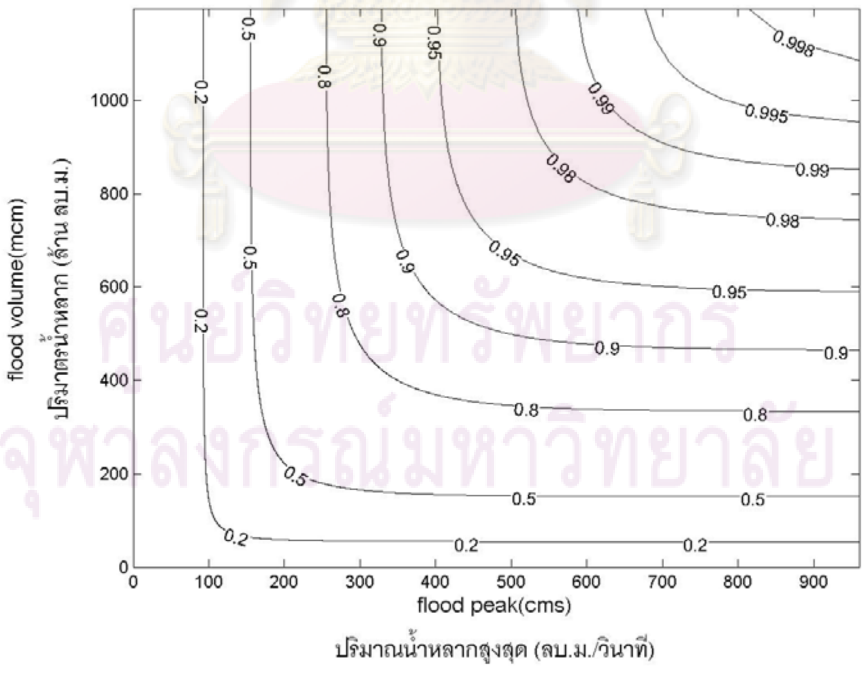
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามชนิดของเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

สถานี	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก	ตัวแปร	Gumbel-Hougaard		Clayton		Ali-Mikhail-Hag	
			ค่าทดสอบ	ผลทดสอบ	ค่าทดสอบ	ผลทดสอบ	ค่าทดสอบ	ผลทดสอบ
P20	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	P & V	0.0837	ยอมรับ	0.0772	ยอมรับ	0.0969	ยอมรับ
		V & D	0.0601	ยอมรับ	0.0627	ยอมรับ	0.1507	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P & V	0.1192	ยอมรับ	0.0984	ยอมรับ	0.1222	ยอมรับ
		V & D	0.0830	ยอมรับ	0.1048	ยอมรับ	0.1760	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	P & V	0.1284	ยอมรับ	0.1069	ยอมรับ	0.1540	ยอมรับ
		V & D	0.1193	ยอมรับ	0.1047	ยอมรับ	0.1693	ยอมรับ
P1	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	P & V	0.0692	ยอมรับ	0.0695	ยอมรับ	0.0925	ยอมรับ
		V & D	0.0740	ยอมรับ	0.0736	ยอมรับ	0.1599	ปฏิเสธ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P & V	0.0530	ยอมรับ	0.0683	ยอมรับ	0.1140	ยอมรับ
		V & D	0.0706	ยอมรับ	0.0731	ยอมรับ	0.2006	ปฏิเสธ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	P & V	0.1701	ปฏิเสธ	0.1534	ปฏิเสธ	0.1852	ปฏิเสธ
		V & D	0.0809	ยอมรับ	0.0860	ยอมรับ	0.1951	ปฏิเสธ
PE2	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	P & V	0.0741	ยอมรับ	0.1080	ยอมรับ	0.1709	ยอมรับ
		V & D	0.1007	ยอมรับ	0.1007	ยอมรับ	0.1714	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P & V	0.0913	ยอมรับ	0.1063	ยอมรับ	0.2050	ยอมรับ
		V & D	0.0685	ยอมรับ	0.0695	ยอมรับ	0.2046	ยอมรับ
	ปริมาณน้ำหลากต่ำสุด	P & V	0.1127	ยอมรับ	0.1218	ยอมรับ	0.2346	ยอมรับ
		V & D	0.0774	ยอมรับ	0.0774	ยอมรับ	0.2152	ยอมรับ

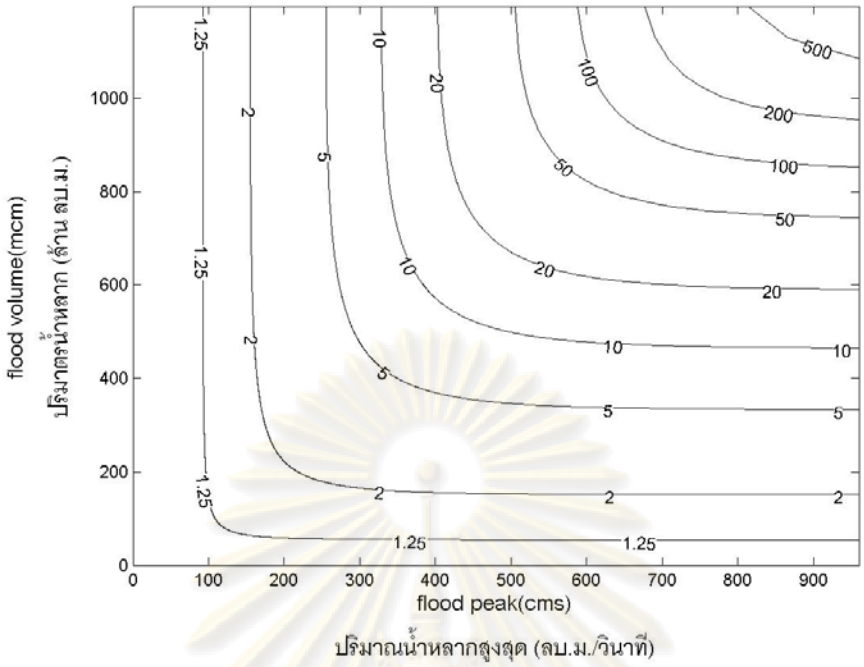
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



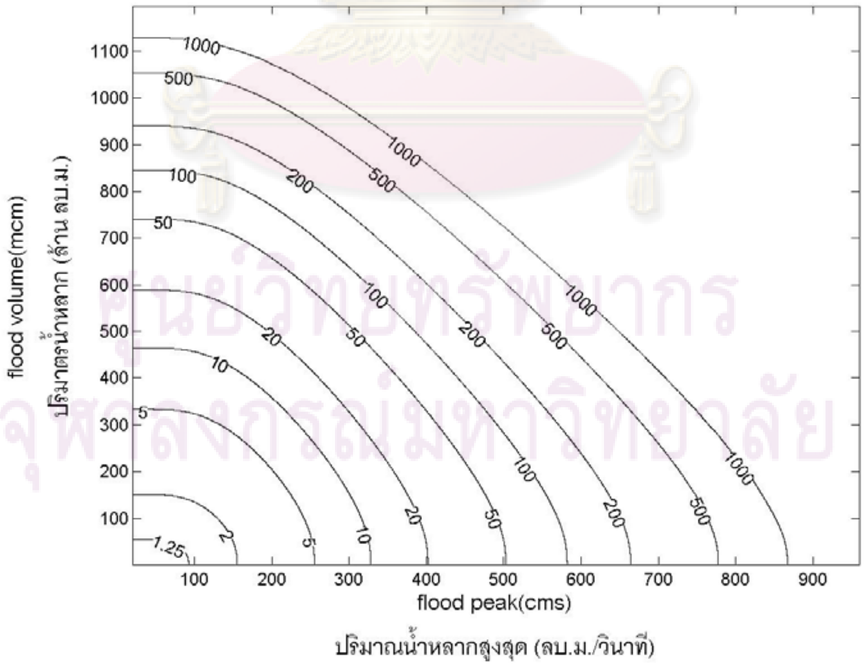
รูปที่ 4.31 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Clayton



รูปที่ 4.32 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Clayton

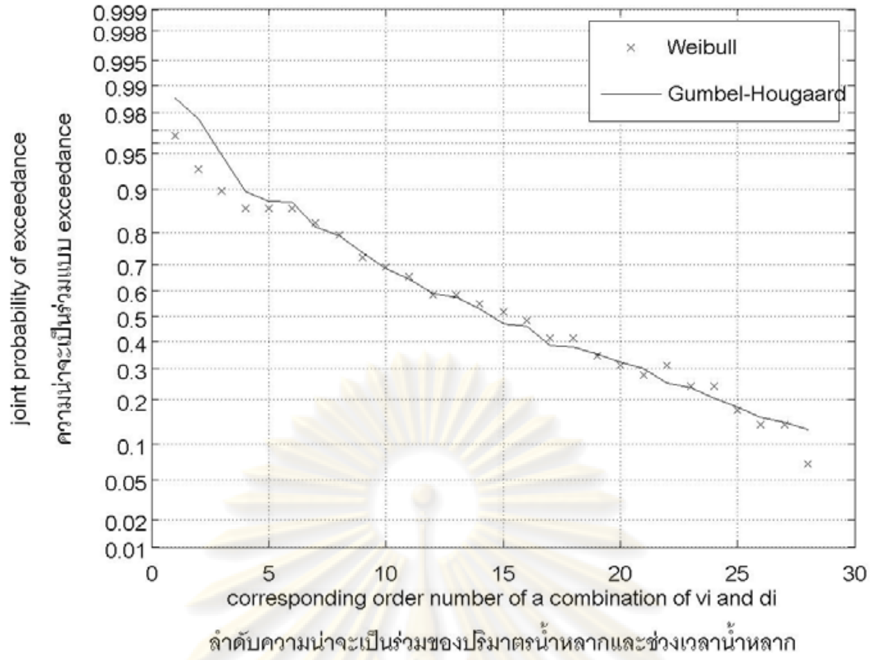


รูปที่ 4.33 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Clayton (OR case)



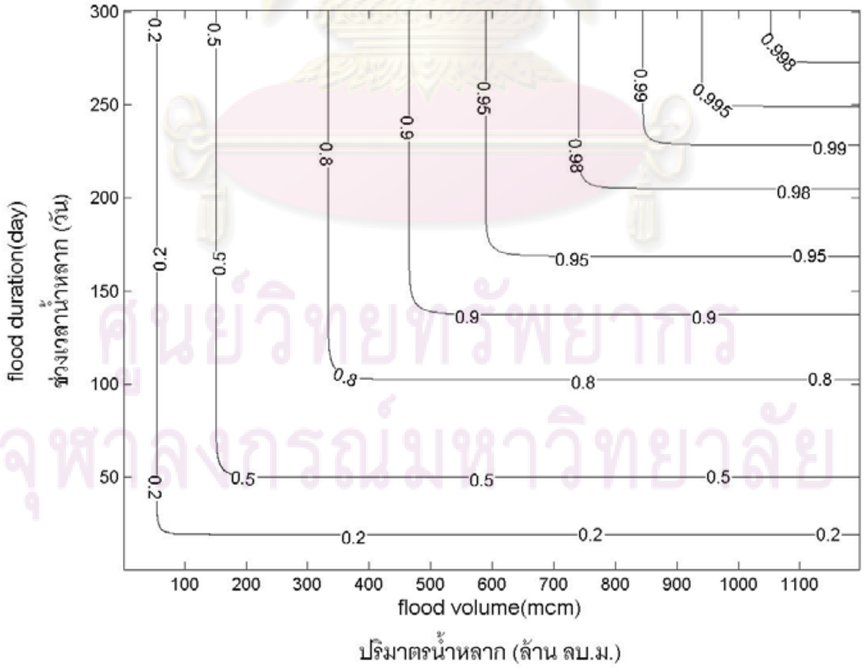
รูปที่ 4.34 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Clayton (AND case)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

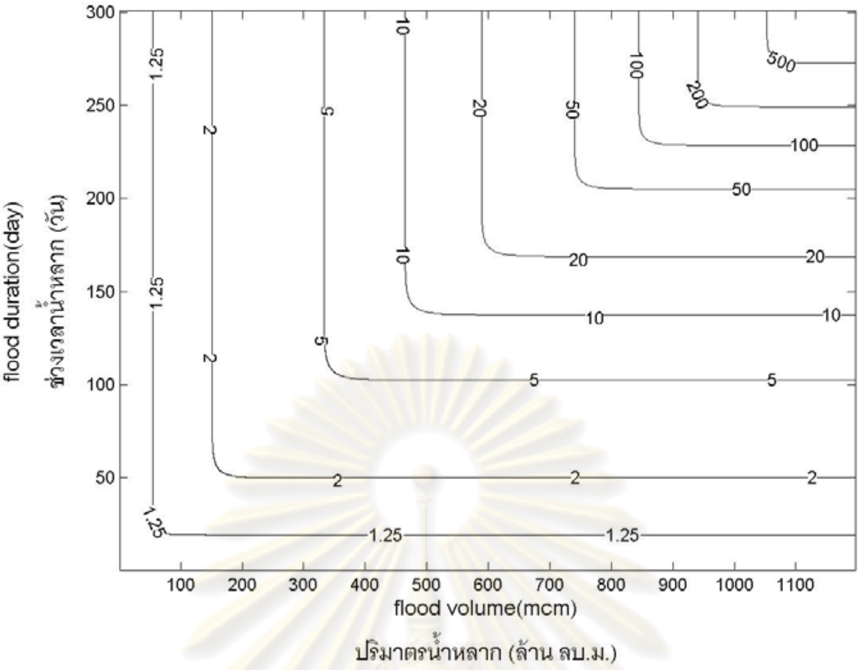


รูปที่ 4.35 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard

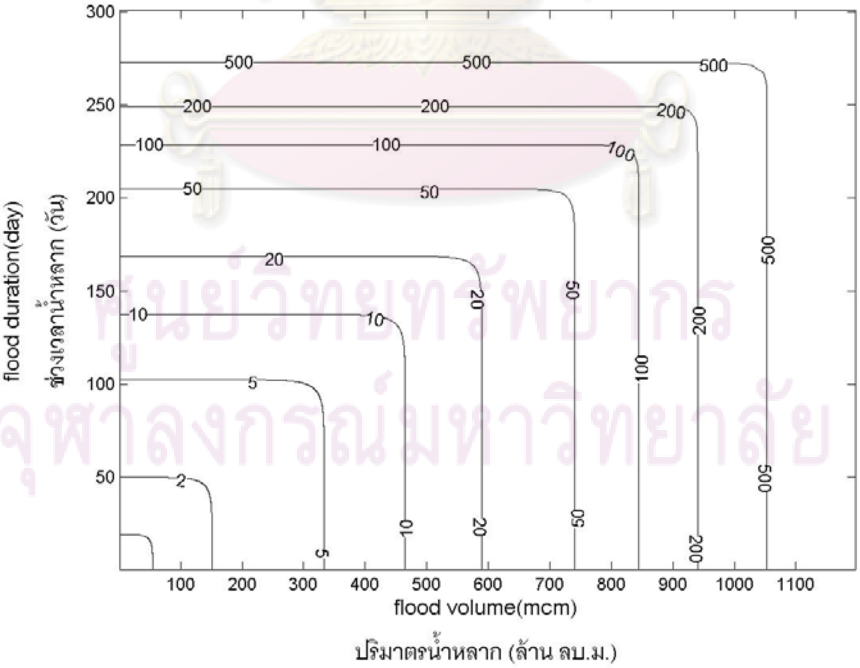
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.36 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard

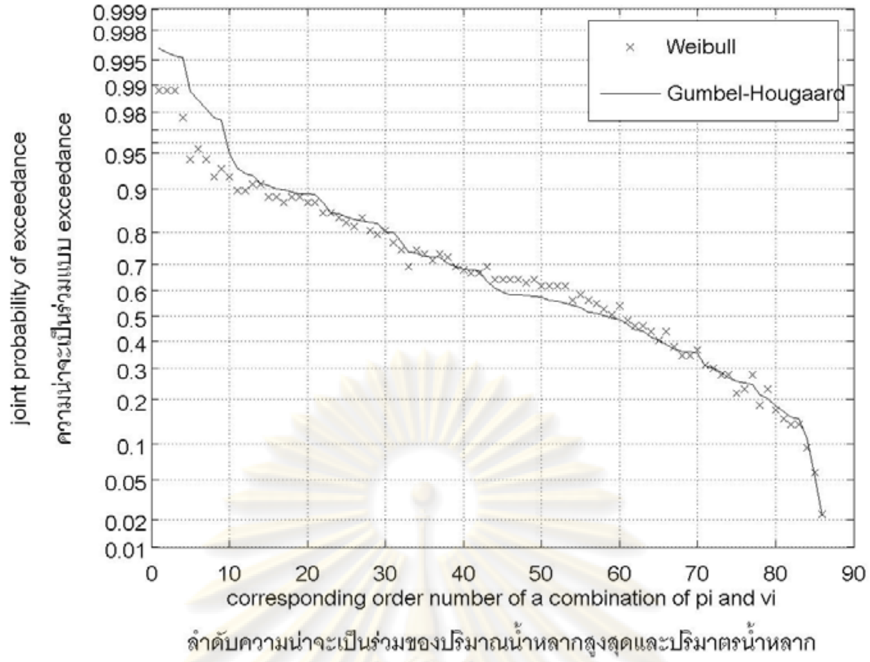


รูปที่ 4.37 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)

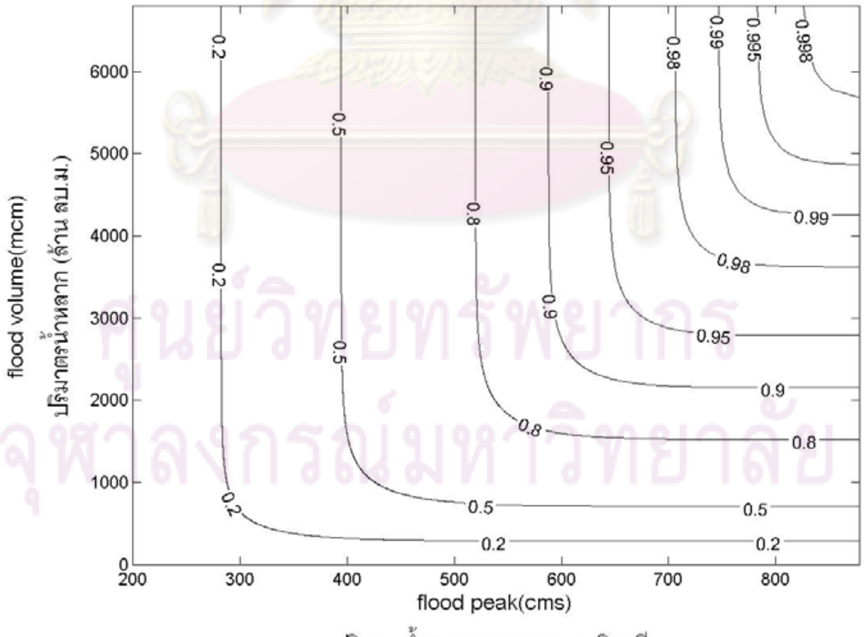


รูปที่ 4.38 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P20 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

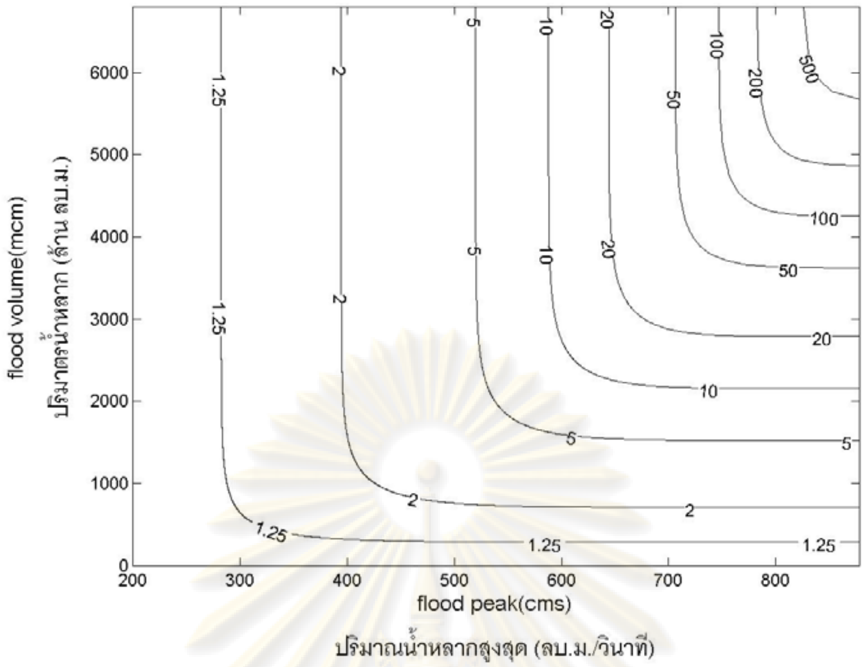


รูปที่ 4.39 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard

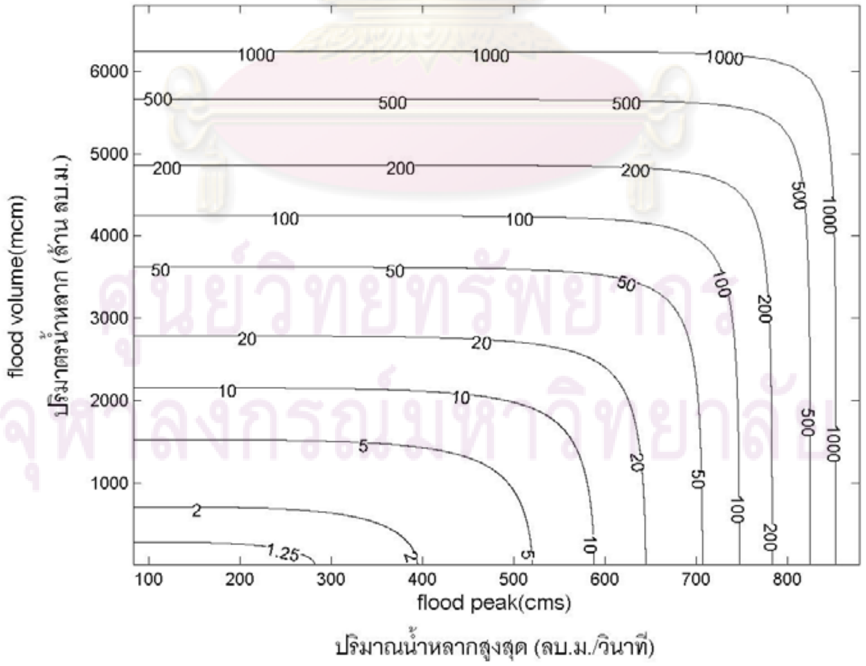


รูปที่ 4.40 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard

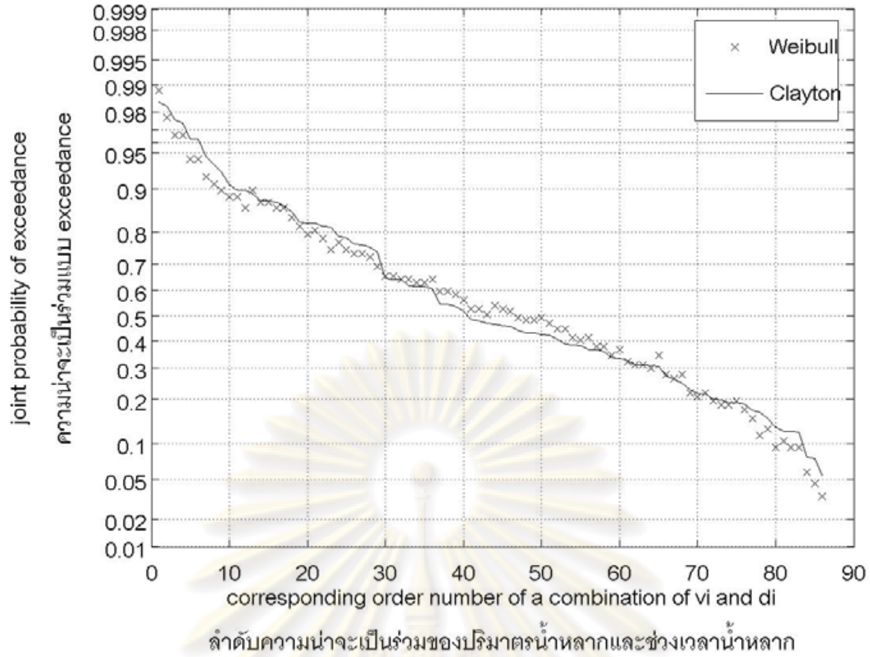
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



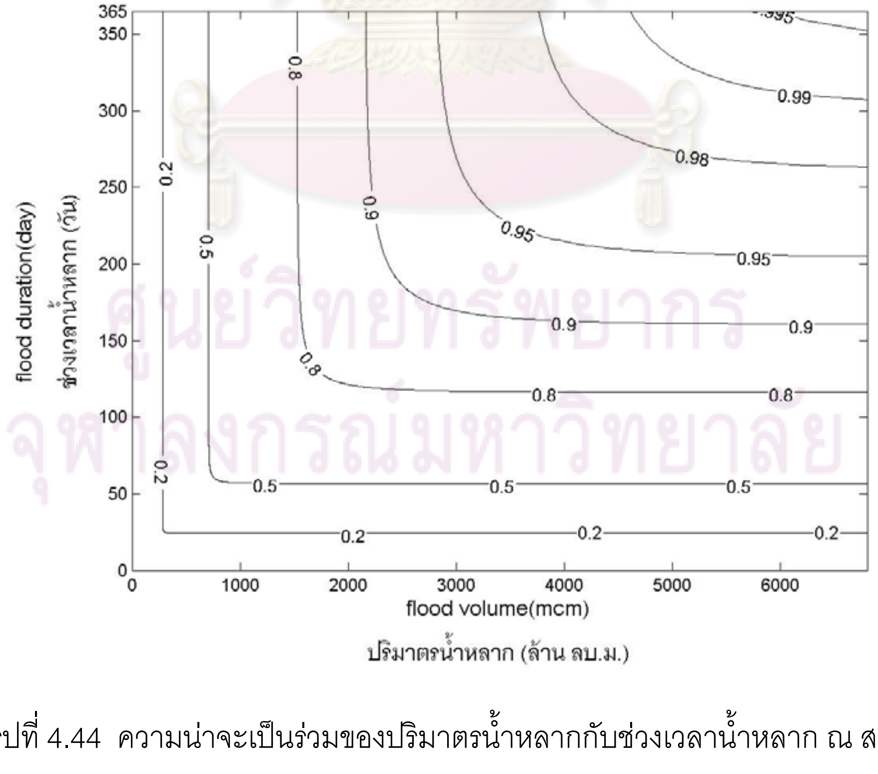
รูปที่ 4.41 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)



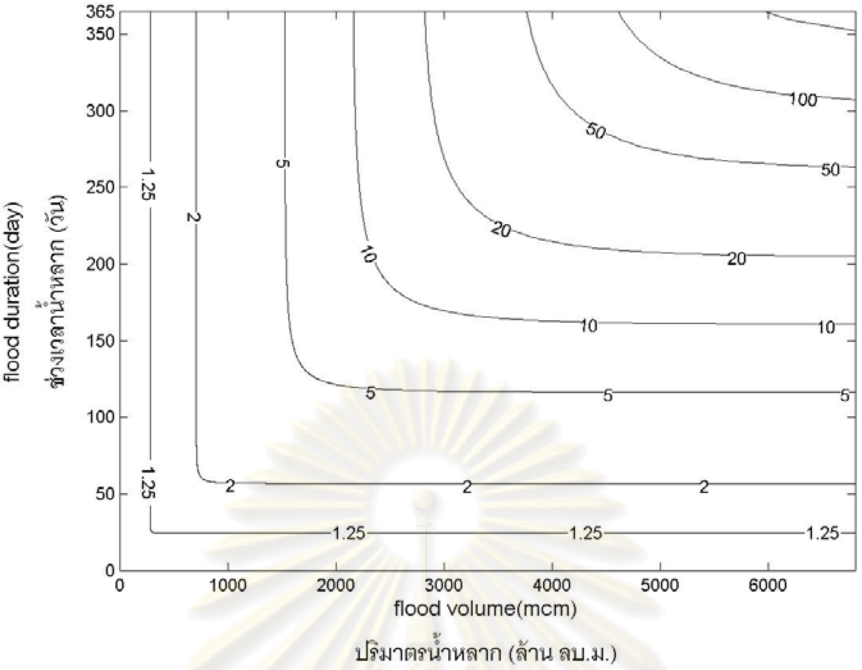
รูปที่ 4.42 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)



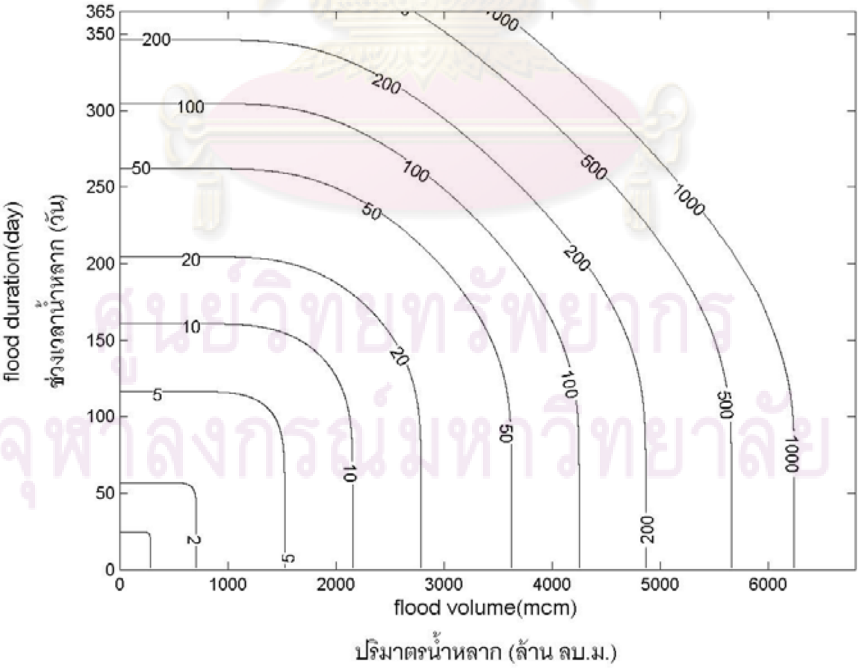
รูปที่ 4.43 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Clayton



รูปที่ 4.44 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton



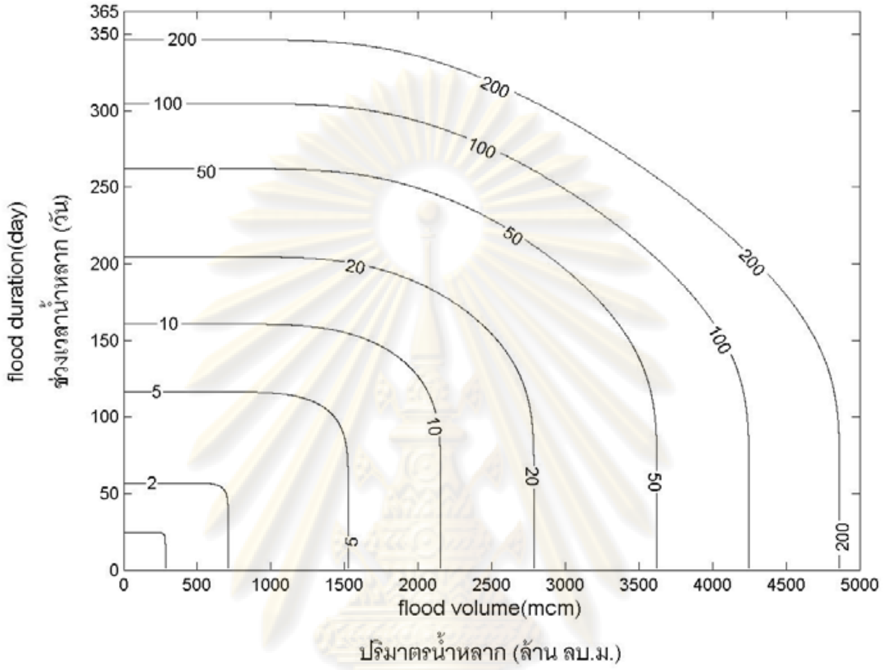
รูปที่ 4.45 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton (OR case)



รูปที่ 4.46ก คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton (AND case)

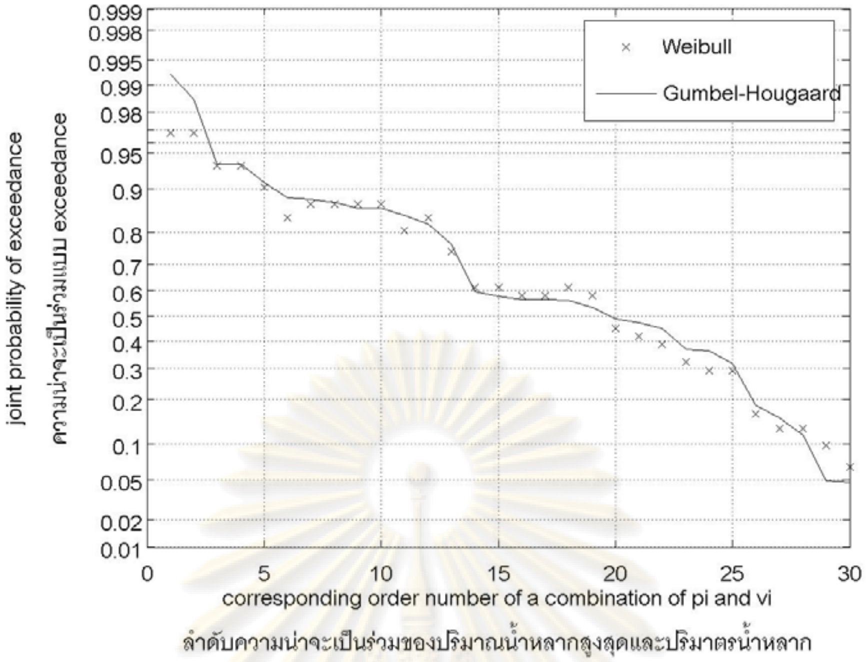
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.46ก มีข้อสังเกตว่าที่คาบการเกิด 500 และ 1000 ปี จะมีปัญหาในส่วนของค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่ปรากฏค่าที่ไม่เป็นจริงในทางกายภาพหรือเกิน 365 วัน ดังนั้นจึงได้แสดงกราฟคาบการเกิดร่วมเฉพาะค่าคาบการเกิดร่วมที่มีความเป็นไปได้ในทางกายภาพ ดังรูปที่ 4.46ข

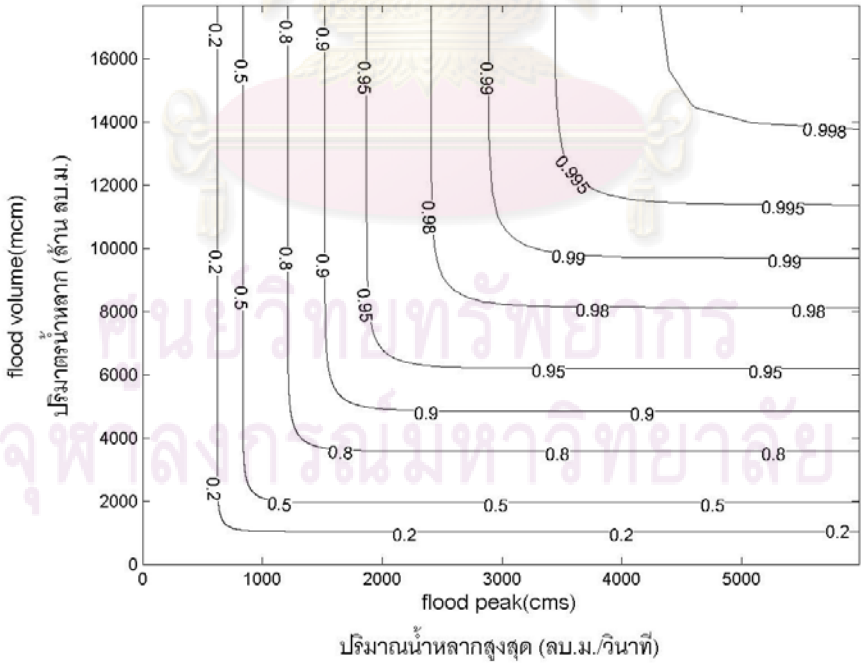


รูปที่ 4.46 ข คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี P1 โดยฟังก์ชัน Clayton (AND case)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

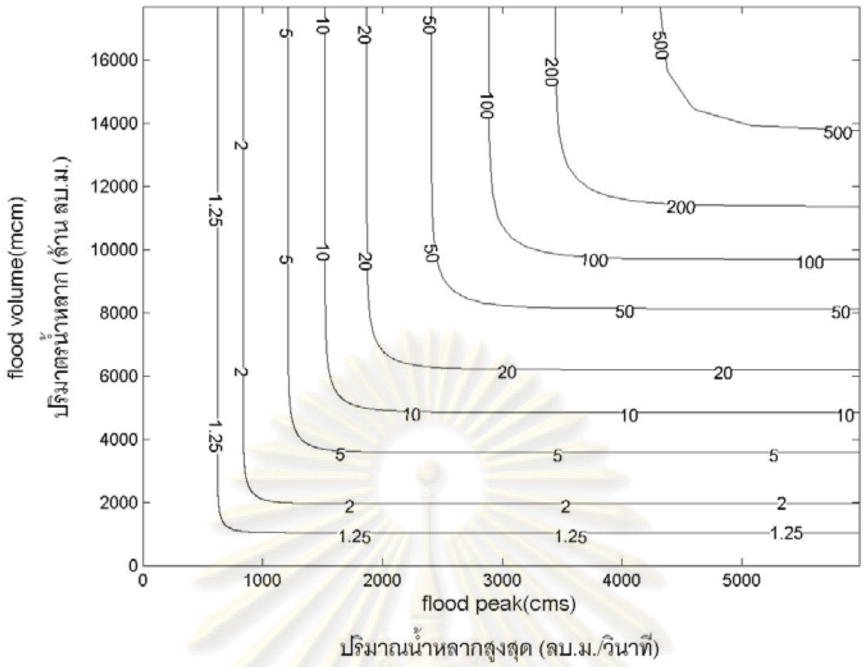


รูปที่ 4.47 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard

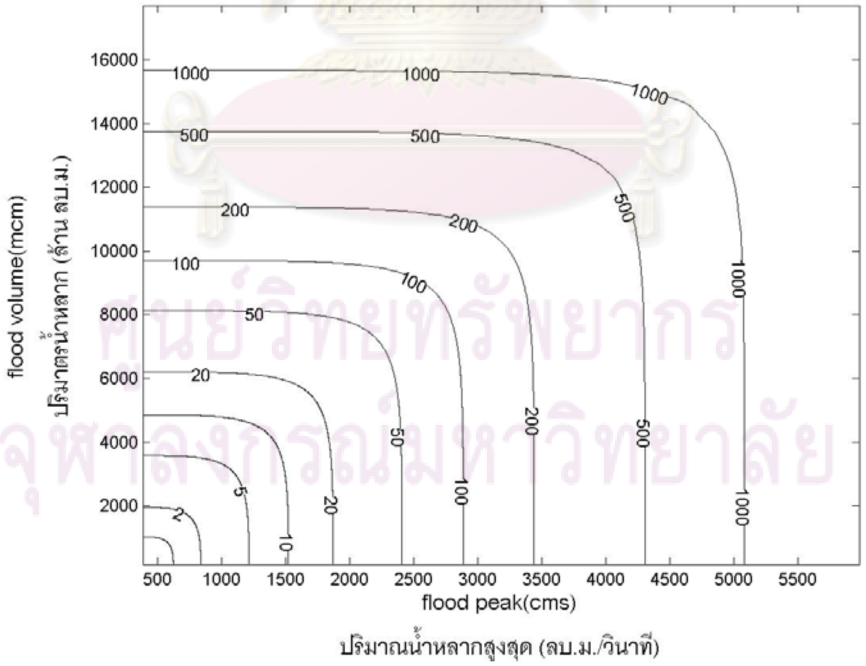


รูปที่ 4.48 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

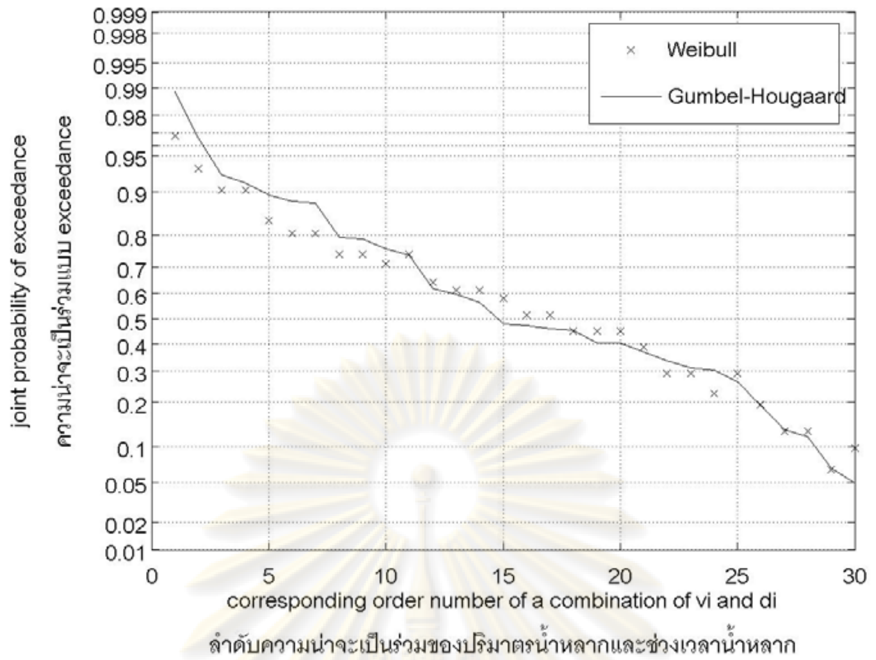


รูปที่ 4.49 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)

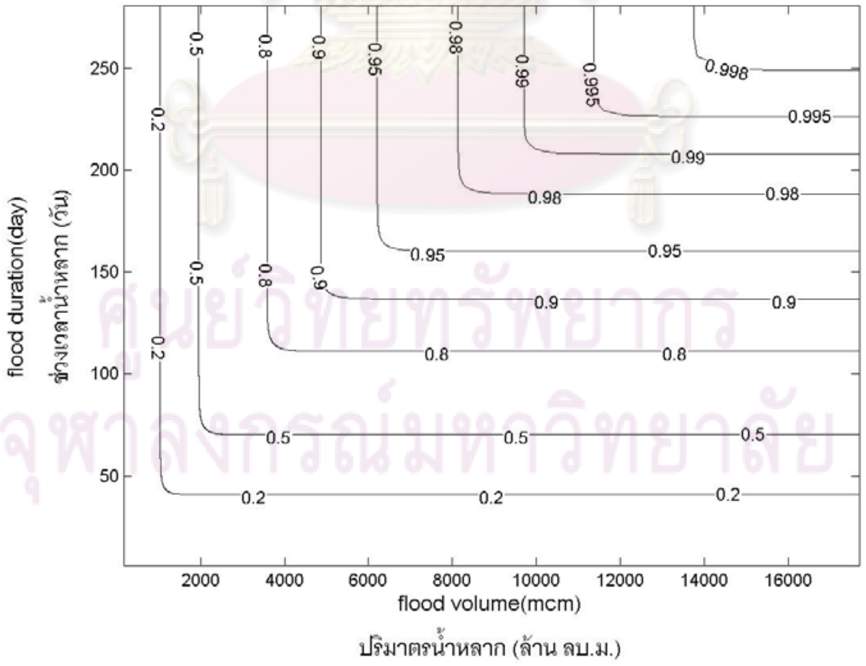


รูปที่ 4.50 คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)

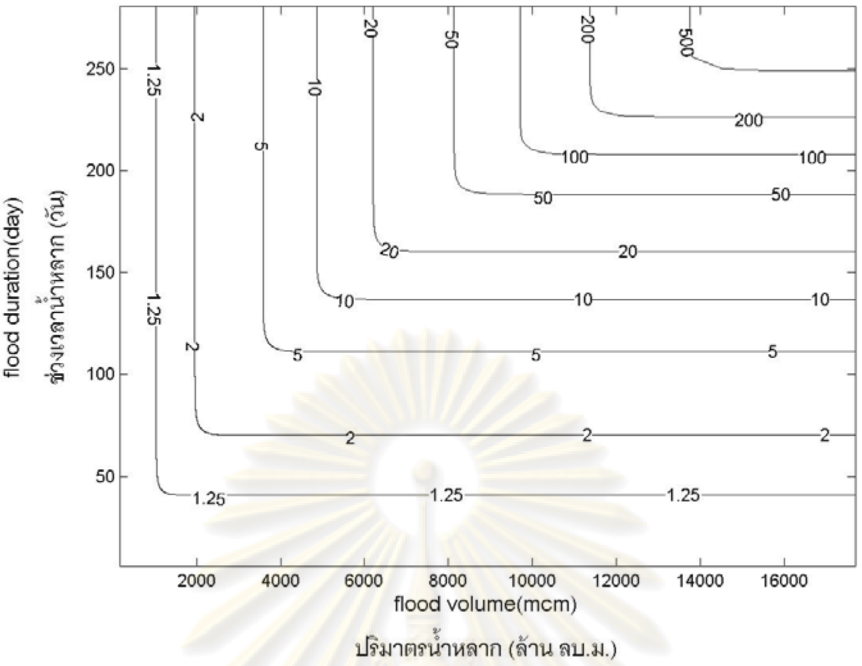
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



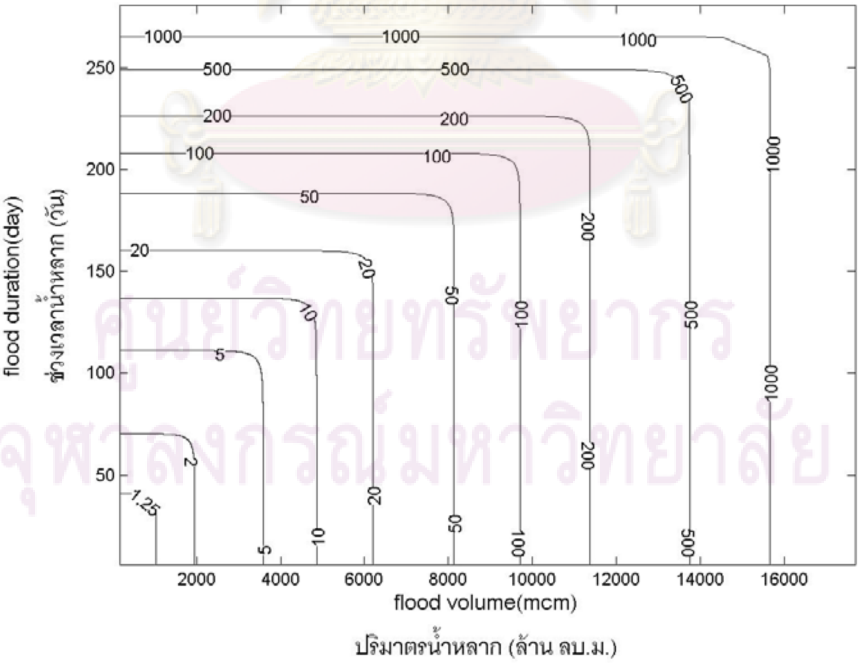
รูปที่ 4.51 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 ระหว่างสมการ Weibull และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard



รูปที่ 4.52 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard



รูปที่ 4.53 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (OR case)



รูปที่ 4.54 คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ณ สถานี PE2 โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard (AND case)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากพิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P20

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด T (ปี)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด T (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{OR} (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{AND} (ปี)
2548	503.0	50.2	103.24	1.6	1.6	56.1
2549	273.0	5.9	684.17	35.1	5.3	104.5

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากพิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P20

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด T (ปี)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด T (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{OR} (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{AND} (ปี)
2549	684.17	35.1	126	7.9	7.9	35.1

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากพิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P1

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด T (ปี)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด T (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{OR} (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{AND} (ปี)
2513	494.0	4.0	3230.2	32.5	4.0	33.8
2514	582.0	9.4	3383.9	38.5	9.1	42.7
2516	726.0	69.2	3763.3	58.4	44.9	107.2
2518	699.0	44.4	2818.6	20.7	18.9	55.8
2548	867.2	1399.1	1783.6	6.7	6.7	1400.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากพิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี P1

ปี พ.ศ.	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด T (ปี)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด T (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{OR} (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{AND} (ปี)
2486	2151.9	10.0	186	14.9	8.3	21.6
2492	2101.5	9.4	195	17.2	8.2	23.6
2513	3230.2	32.5	230	29.9	18.6	95.1
2514	3383.9	38.5	189	15.6	13.3	66.9
2516	3763.3	58.4	182	14.0	12.8	92.2
2518	2818.6	20.7	154	9.0	8.2	27.2

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากพิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี PE2

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำ หลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด T (ปี)	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด T (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{OR} (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{AND} (ปี)
2516	2730.0	80.5	6293.81	20.9	20.6	84.2
2545	1334.4	6.6	6306.58	21.0	6.5	22.1
2549	2022.7	26.4	6975.30	29.1	21.2	39.9

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลากพิจารณาเฉพาะปีที่มีข้อมูลอยู่ภายนอกกรอบ 2SD ณ สถานี PE2

ปี พ.ศ.	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด T (ปี)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด T (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{OR} (ปี)	คาบการเกิดร่วม T_{AND} (ปี)
2516	6293.81	20.9	127	7.6	7.6	20.9
2545	6306.58	21.0	169	26.3	20.4	27.3
2549	6975.30	29.1	151	15.1	15.1	29.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข

ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข ณ ที่นี้หมายถึง ความน่าจะเป็นของ X เมื่อกำหนดให้ $Y \leq y$ ดังสมการที่ 3.22 หรือแสดงในรูปแบบฟังก์ชัน Copula ได้ดังนี้

$$C_{U|V\leq v_0}(u) = P[U \leq u | V \leq v_0] = \frac{C(u, v_0)}{v_0} \tag{4.1}$$

เมื่อวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไขดังสมการที่ 4.1 แล้วเสร็จ จึงนำผลไปคำนวณคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขต่อไป ในการศึกษานี้ได้จำแนกเป็น 4 กรณี คือ

1. คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลาก
2. คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด
3. คาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาน้ำหลาก
4. คาบการเกิดร่วมของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลาก

การศึกษานี้กำหนดความน่าจะเป็นของตัวแปรที่ใช้เป็นเงื่อนไขที่ 0.9 0.95 0.98 0.99 0.995 0.998 และ 0.999 หรืออีกนัยหนึ่งคือกำหนดคาบการเกิดของตัวแปรที่เป็นเงื่อนไขที่ 10 20 50 100 200 500 และ 1,000 ปี

4.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข

1. เลือกฟังก์ชัน Copula ที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล ตามผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.3.2 เพื่อนำมาวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไข

2. ฟังก์ชัน Copula คำนวณความน่าจะเป็นร่วมจากความน่าจะเป็นเดี่ยวของทั้ง 2 ตัวแปร ดังนั้นจึงให้กำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวแปรที่เป็นเงื่อนให้เป็นค่าคงที่ เช่น ถ้าต้องการคำนวณความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดโดยกำหนดความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลากเท่ากับ 0.99 ให้กำหนดค่า V_0 เท่ากับ 0.99 ลงในสมการที่ 4.1

3. คำนวณค่าความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไขโดยเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากสูงสุด

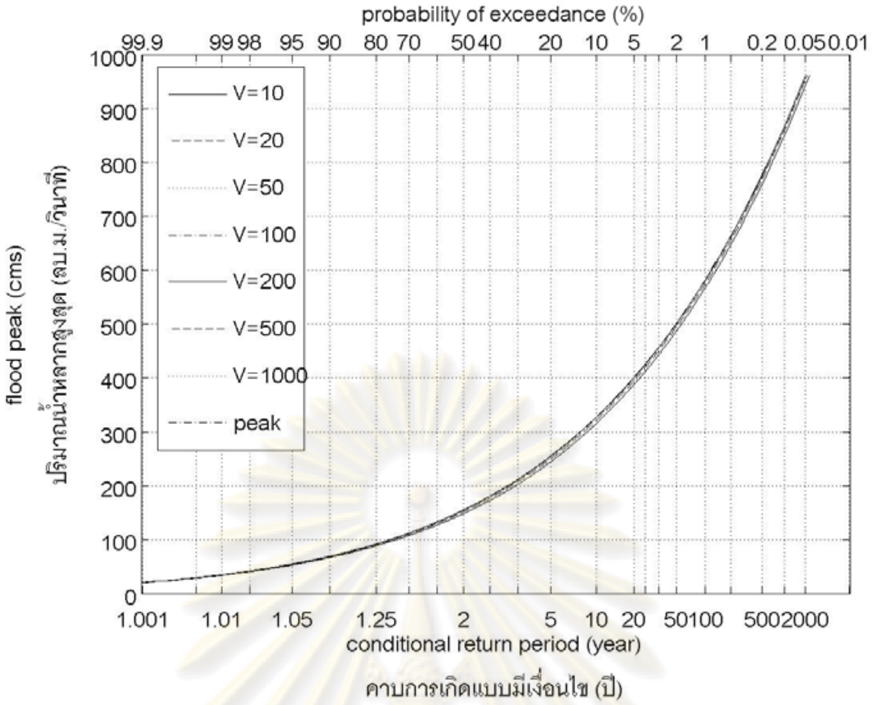
4. นำค่าความน่าจะเป็นร่วมแบบมีเงื่อนไขมาคำนวณคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขดังสมการที่ 4.2

$$T(u|v_0) = \frac{1}{1 - C_{U|V\leq v_0}(u)} \tag{4.2}$$

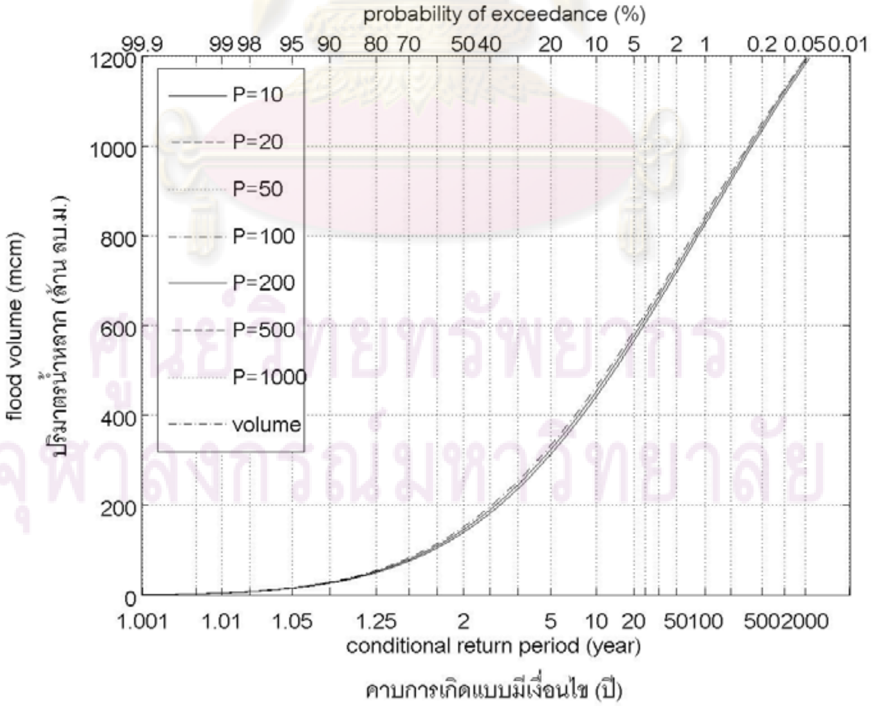
4.4.2 ผลการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข

การวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขจะได้เส้นกราฟคาบการเกิด 1 เส้น ลักษณะเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร ดังรูปที่ 4.55 ถึง 4.66 แสดงคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขโดยการกำหนดให้ตัวแปรหนึ่งมีค่าคาบการเกิด 10 20 50 100 200 500 และ 1,000 เปรียบเทียบกับคาบการเกิดแบบ 1 ตัวแปร จากรูปที่ 4.57 แสดงคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20 พบว่าเส้นกราฟคาบการเกิดเรียงลำดับกันเป็นชั้นๆ โดยเส้นล่างสุดเป็นคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิด 10 ปี และเส้นถัดไปเป็นคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิด 20 ปี และไล่เรียงขึ้นไปเป็น 50 100 200 500 และ 1,000 ปี ตามลำดับ และเส้นบนสุดเป็นคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิด 100 ปี พบว่า เมื่อกำหนดเงื่อนไขช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่ำ เช่น 10 ปี จะให้ค่าปริมาตรน้ำหลากน้อยตามไปด้วย (ประมาณ 460 ล้าน ลบ.ม.) และเมื่อกำหนดเงื่อนไขช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดสูงขึ้นเป็น 20 และ 50 ปี จะทำให้ค่าปริมาตรน้ำหลากเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 550 และ 690 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มเงื่อนไขคาบการเกิดของช่วงเวลาน้ำหลากให้สูงขึ้นจะทำให้คาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร พบว่าการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปรจะให้ค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ มากกว่าจากการวิเคราะห์คาบการเกิดแบบมีเงื่อนไข เมื่อพิจารณาคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขในกรณีอื่นๆ (รูปที่ 4.55 ถึง 4.66) พบว่ามีรูปแบบเช่นเดียวกับรูปที่ 4.57

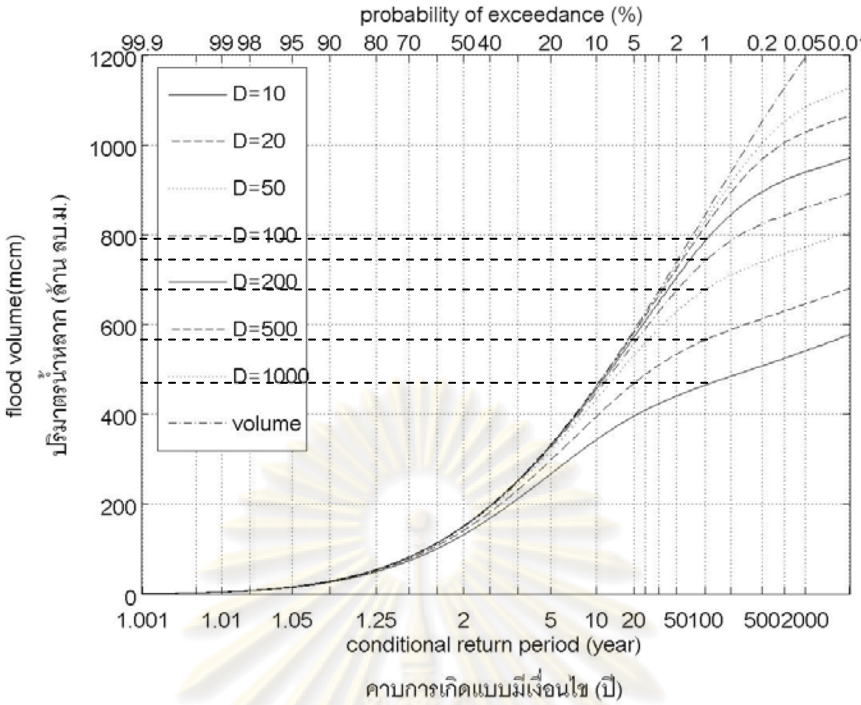
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



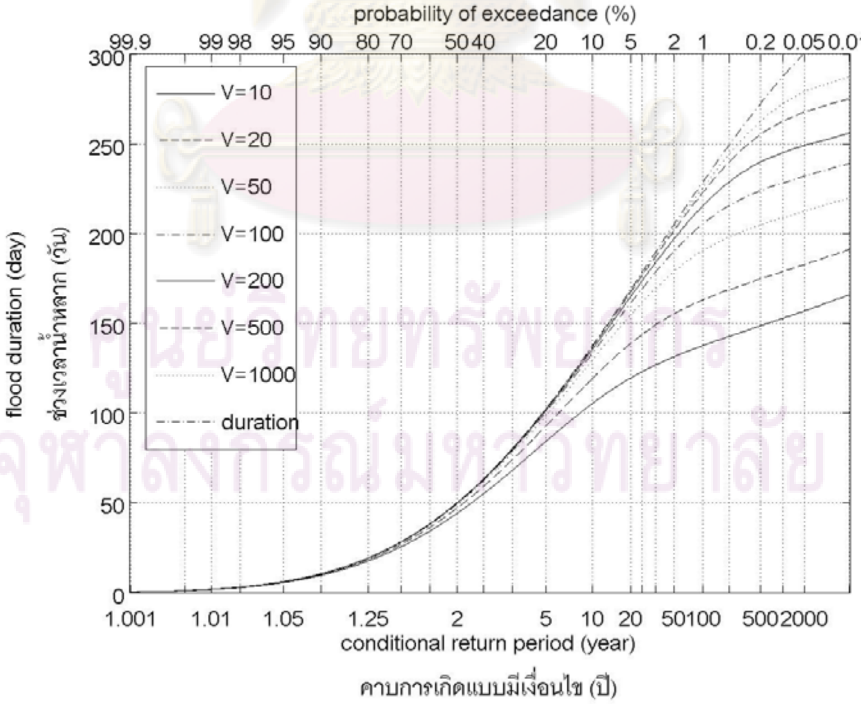
รูปที่ 4.55 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20



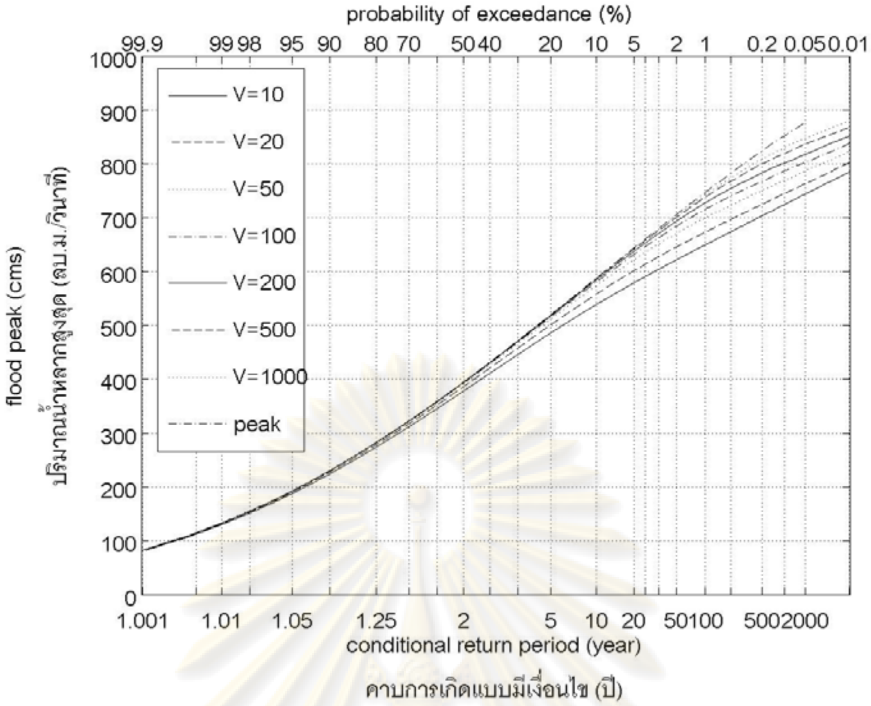
รูปที่ 4.56 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20



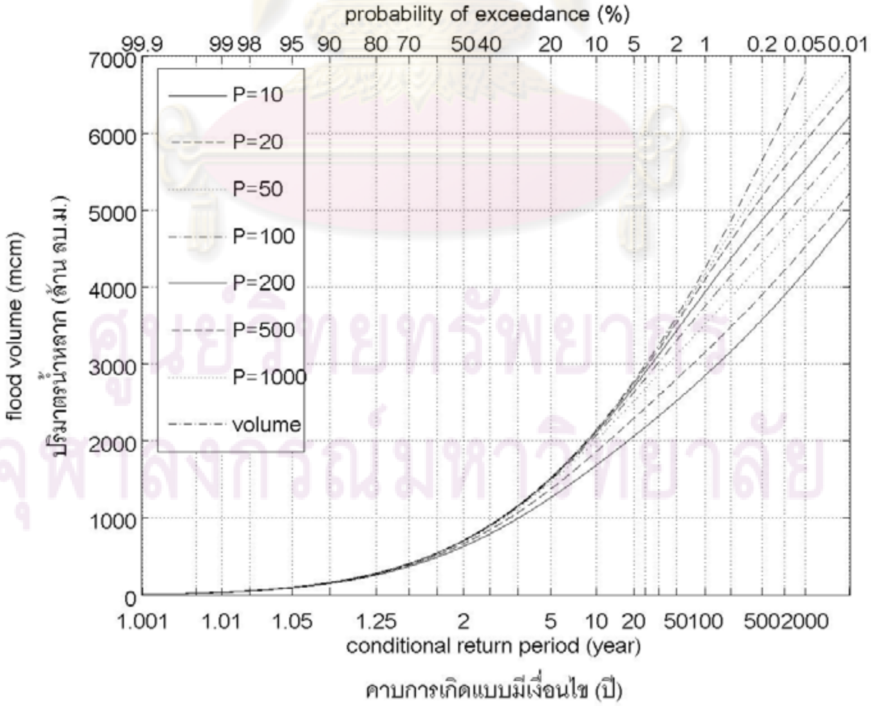
รูปที่ 4.57 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20



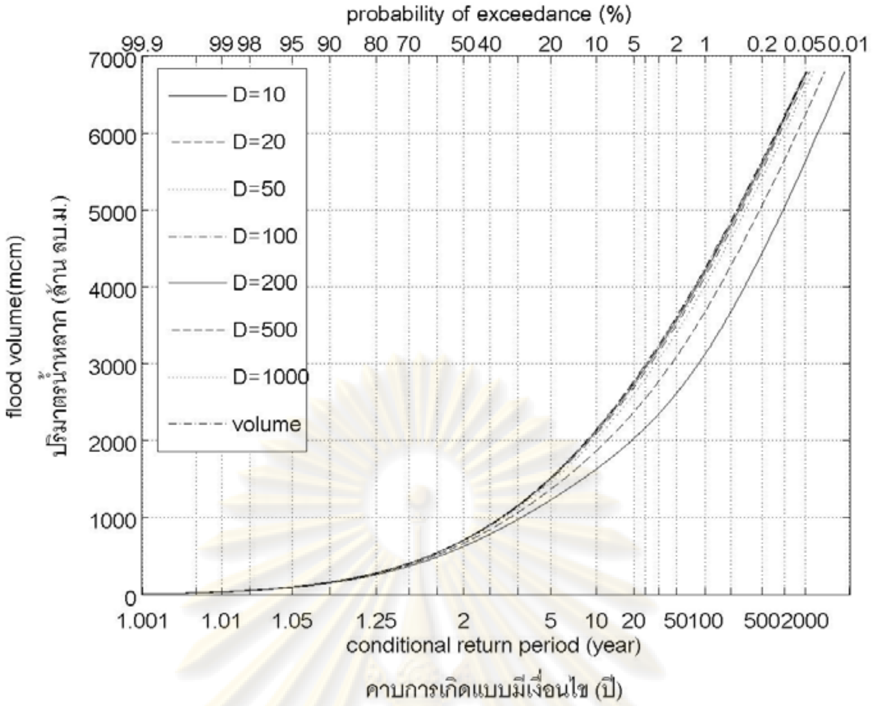
รูปที่ 4.58 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P20



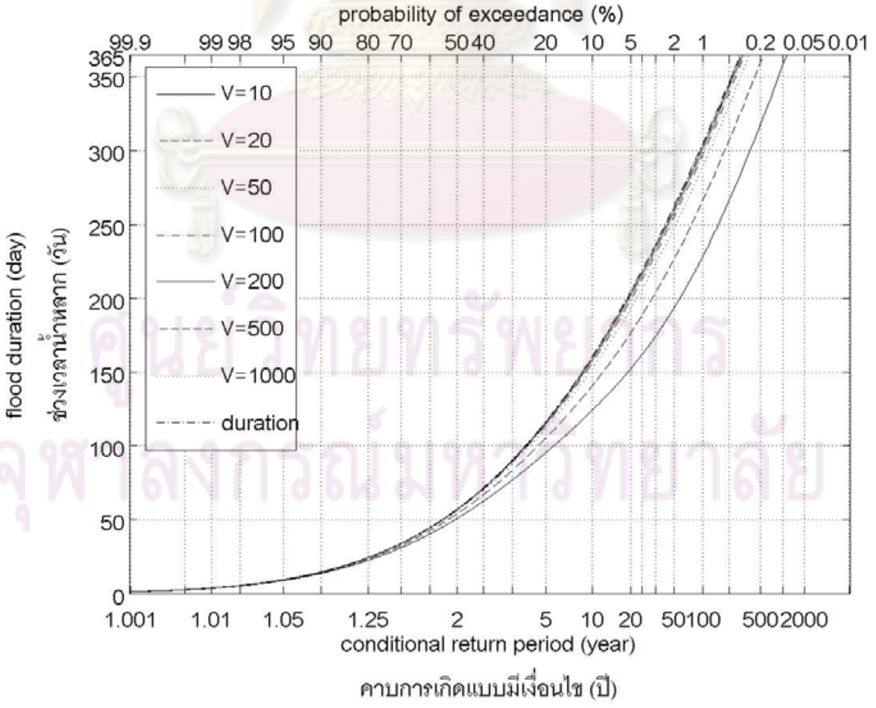
รูปที่ 4.59 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1



รูปที่ 4.60 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1

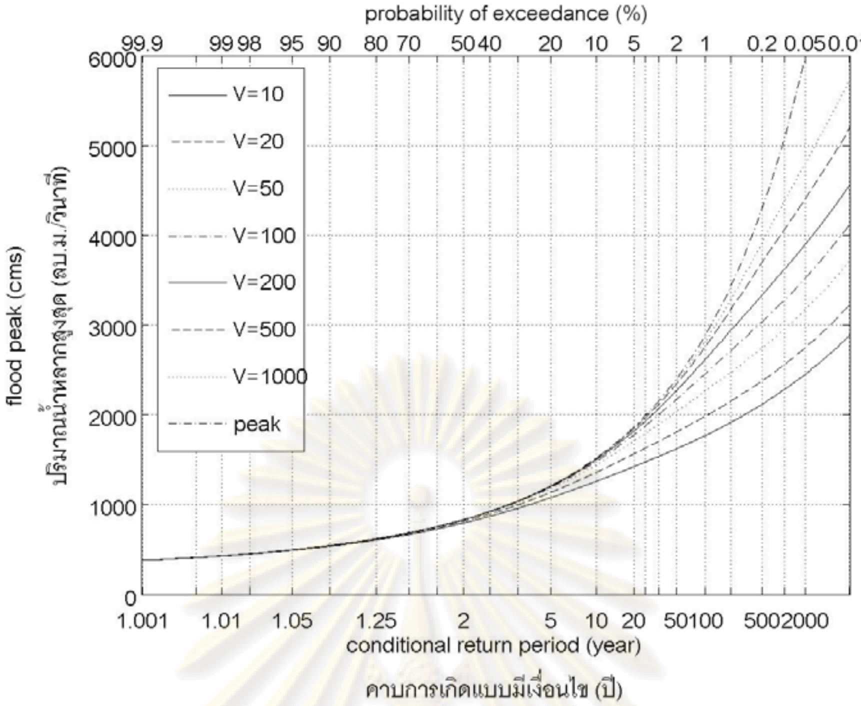


รูปที่ 4.61 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1

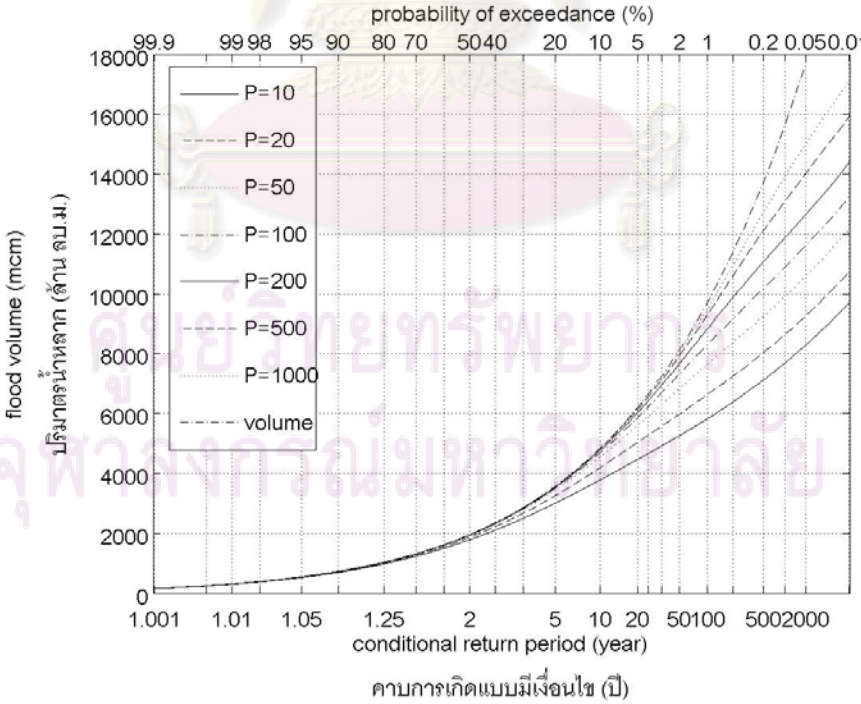


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.62 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี P1

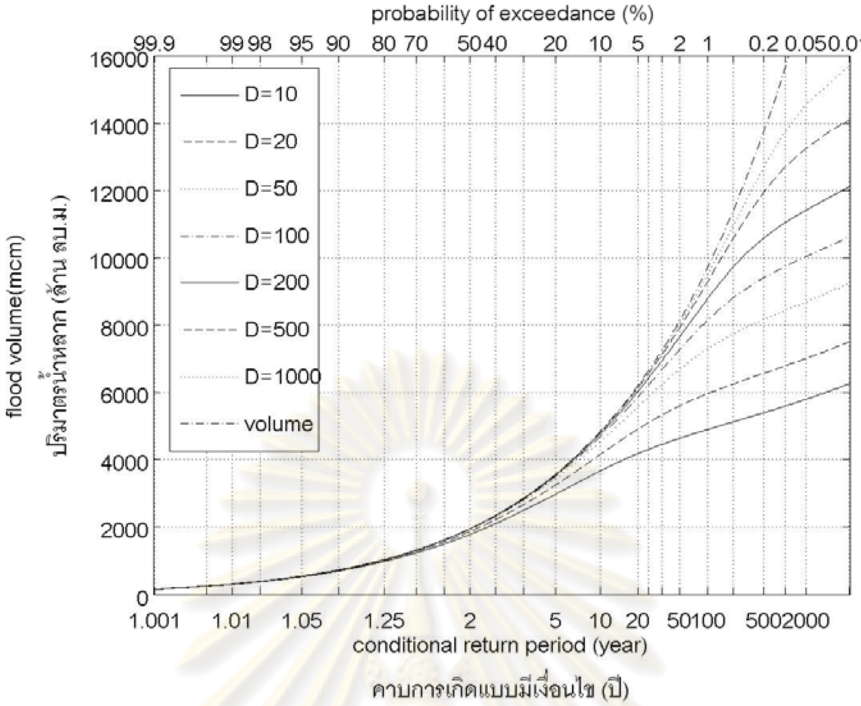


รูปที่ 4.63 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2

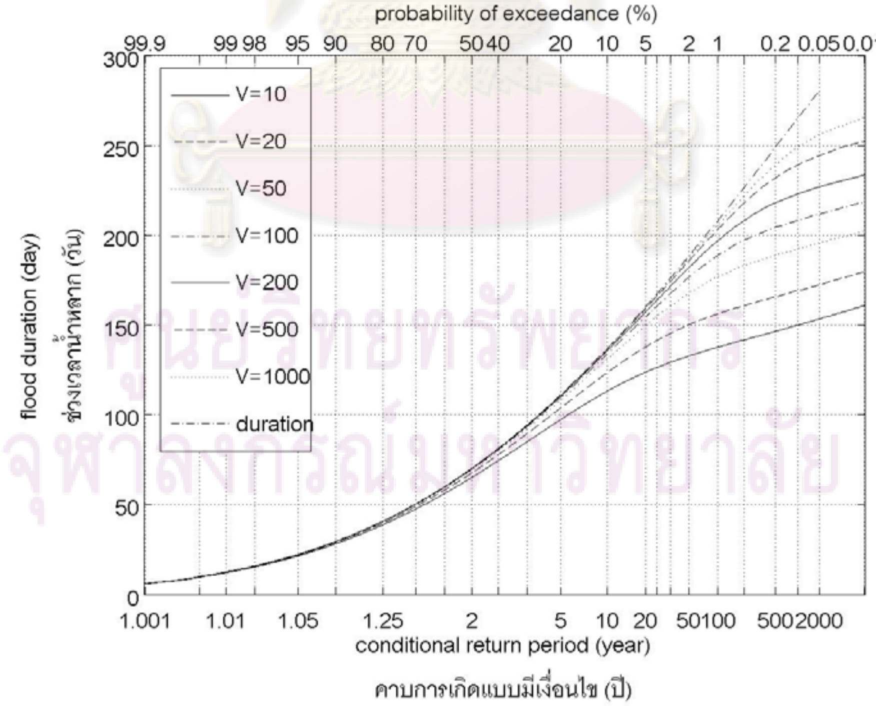


รูปที่ 4.64 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.65 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาตรน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2



รูปที่ 4.66 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของช่วงเวลาน้ำหลากเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ณ สถานี PE2

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก ศึกษาจากการเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 2 ชนิด คือ log Pearson Type III และ Gumbel ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov พบว่าฟังก์ชันทั้ง 2 ชนิด สามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลตัวแปรหลักได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรหลัก เป็นไปตามฟังก์ชัน log Pearson Type III และ Gumbel ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 แต่เมื่อพิจารณาค่าผลต่างสูงสุด (D_n) ของความน่าจะเป็นที่ได้จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นกับวิธี plotting position พบว่าฟังก์ชัน log Pearson Type III ให้ค่า D_n น้อยกว่า ดังนั้นจึงใช้ฟังก์ชัน log Pearson Type III เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลตัวแปรหลัก เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula

5.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลากโดยวิธี Copula

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ศึกษาจากการเปรียบเทียบฟังก์ชัน Copula 3 ชนิด คือ Gumbel-Hougaard Clayton และ Ali-Mikhail-Hag ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80

5.2.1 สถานี P20

จากผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชัน พบว่า จากการใช้เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากทั้ง 3 กรณี ฟังก์ชันทั้ง 3 ชนิด สามารถเป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ เนื่องจากให้ผลการทดสอบยอมรับทั้ง 3 ฟังก์ชัน ในทุกกรณี

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD พบว่าฟังก์ชัน Clayton เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากมากที่สุด และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวันเป็น FTD พบว่าฟังก์ชัน Clayton เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากมากที่สุด และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากมากที่สุด

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำหลากต่ำสุดเป็น FTD พบว่าฟังก์ชัน Clayton เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากมากที่สุด

5.2.2 สถานี P1

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD พบว่าฟังก์ชันทั้ง 3 ชนิด สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากได้ เนื่องจากให้ผลการทดสอบยอมรับทั้ง 3 ฟังก์ชัน โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard มีความเหมาะสมมากที่สุด ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ แต่ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ โดยฟังก์ชัน Clayton เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากมากที่สุด

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวันเป็น FTD พบว่าฟังก์ชันทั้ง 3 ชนิด สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากได้ เนื่องจากให้ผลการทดสอบยอมรับทั้ง 3 ฟังก์ชัน โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard มีความเหมาะสมมากที่สุด ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ แต่ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากมากที่สุด

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำหลากต่ำสุดเป็น FTD พบว่าในกรณีการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ฟังก์ชันทั้ง 3 ชนิด ไม่สามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลหรือการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของชุดข้อมูลไม่เป็นไปตามฟังก์ชัน ทั้ง 3 ชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 80 กรณีการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก พบว่าฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ แต่ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากมากที่สุด

5.2.3 สถานี PE2

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยเป็น FTD พบว่าฟังก์ชันทั้ง 3 ชนิด สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากและปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ เนื่องจากให้ผลการทดสอบยอมรับทั้ง 3 ฟังก์ชัน โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard มีความเหมาะสมกับตัวแปรทั้ง 2 คู่มากที่สุด

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณน้ำท่ารายวันเป็น FTD พบว่าฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ แต่ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนตัวแปรทั้ง 2 คู่ได้ โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard มีความเหมาะสมกับตัวแปรทั้ง 2 คู่มากที่สุด

เมื่อใช้ค่าปริมาณน้ำหลากต่ำสุดเป็น FTD พบว่าฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ แต่ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็นตัวแทนตัวแปรทั้ง 2 คู่ได้ โดยฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากมากที่สุด และฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton เหมาะสมกับการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากเท่าๆกัน

เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่า ณ สถานี P20 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณต้นน้ำ ฟังก์ชัน Copula ทั้ง 3 ชนิด สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ ณ สถานี P1 และ PE2 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณกลางน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ ฟังก์ชัน Gumbel-Hougaard และ Clayton สามารถเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้ แต่ฟังก์ชัน Ali-Mikhail-Hag ไม่สามารถเป็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลากได้

5.3 คาบการเกิดร่วมของเหตุการณ์น้ำหลาก

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์น้ำหลากแบบ 2 ตัวแปร จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก ทำให้วิศวกรพิจารณาความรุนแรงหรือความวิกฤติของเหตุการณ์น้ำหลากได้ในมิติที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น การวิเคราะห์แบบ 2 ตัวแปรจะให้ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เช่น ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก และคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลาก เป็นต้น

จากผลการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแบบ 2 ตัวแปร พบว่า เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ของคาบการเกิดร่วมในรูปแบบกราฟที่มีหลายเส้น ลักษณะคล้ายเส้นชั้นความสูง โดยมีเส้นคาบการเกิดต่างๆ เช่น 10 20 50 และ 100 ปี เป็นต้น เมื่อพิจารณาคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิด 100 ปี จะสามารถจับคู่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากได้หลากหลายคู่ แต่ถ้าวิเคราะห์คาบการเกิด (T) แบบ 1 ตัวแปร จะได้ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก ตัวแปรละ 1 ค่า เท่านั้น และจากการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมในกรณี T_{OR} และ T_{AND} พบว่าค่าคาบการเกิดร่วมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง T T_{OR} และ T_{AND} พบว่า $T_{OR} \leq T \leq T_{AND}$

5.4 คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข

จากผลการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข พบว่า เมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวแปรที่ใช้เป็นเงื่อนไขด้วยค่าที่ต่างกัน จะทำให้ค่าหรือขนาดของตัวแปรอีกตัว ที่คาบการเกิดใดๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขกับคาบการเกิดจากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร พบว่า ที่คาบการเกิดใดๆ ค่าของตัวแปรที่ได้จากคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข จะมีค่าน้อยกว่าค่าหรือขนาดที่ได้จากคาบการเกิดแบบ 1 ตัวแปร และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขโดยกำหนดให้ตัวแปรที่เป็นเงื่อนไขมีคาบการเกิดต่างกัน เช่น รูปที่ 4.63 พิจารณาที่คาบการเกิด 200 ปี

- ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิด 10 ปี มีค่าประมาณ 1,900 ลบ.ม./วินาที
- ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิด 20 ปี มีค่าประมาณ 2,200 ลบ.ม./วินาที
- ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดค่าปริมาตรน้ำหลากที่คาบการเกิด 100 ปี มีค่าประมาณ 2,700 ลบ.ม./วินาที

เห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิด 200 ปี มีค่ามากขึ้นตามเงื่อนไขคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเงื่อนไขคาบการเกิดของปริมาตรน้ำหลากเพิ่มมากขึ้นเป็น 1,000 ปี เส้นคาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำหลากสูงสุดเมื่อกำหนดปริมาตรน้ำหลาก จะเข้าใกล้เส้นคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่คาบการเกิดใดๆ ค่าหรือขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ 1 ตัวแปร จะมากกว่าค่าหรือขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์คาบการเกิดร่วมแบบมีเงื่อนไข

5.5 แนวทางการใช้ประโยชน์จากความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดร่วม

1. การออกแบบพื้นที่แก้มลิง (flood detention basin) จากกราฟคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากในกรณี AND case เช่น ถ้าต้องการออกแบบพื้นที่แก้มลิง ที่มีความสามารถในการรองรับน้ำที่คาบการเกิด 100 ปี อาจใช้ค่าปริมาตรน้ำหลากที่มีค่าสูงสุดของเส้นคาบการเกิด 100 ปี เป็นค่าในการออกแบบ หรืออีกกรณีอาจใช้ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเป็นเกณฑ์ เช่น อาจพิจารณาที่คาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด 50 ปี และตรวจสอบว่าที่คาบการเกิดร่วมต่างๆ เช่น 50 100 200 ปี มีค่าปริมาตรน้ำหลากเท่าไร และนำค่าเหล่านั้นมาใช้ในการออกแบบ

2. การประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม ความเสียหายจากน้ำท่วมที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนในระยะแรกนั้น ขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำท่วมและขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม แต่ความเสียหายและผลกระทบที่ตามมาในลำดับต่อไปจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของน้ำท่วม เช่น ถ้าน้ำท่วมเป็นเวลานานจะมีผลต่อกิจกรรมภาคเศรษฐกิจที่ต้องหยุดลงชั่วคราว ส่งผลกระทบต่อการขนส่งทางน้ำ ความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตร เช่น ถ้าน้ำท่วมนาข้าวเป็นเวลา 2-3 วัน ต้นข้าวอาจจะยังไม่เกิดการเน่าเสียหาย แต่ถ้าน้ำท่วมเป็นเวลา 7-10 วัน ก็อาจจะทำให้ต้นข้าวเสียหายได้ โครงสร้างคันกั้นน้ำหรือถนนอาจถูกทำลายจากการถูกน้ำท่วมเป็นระยะเวลานาน และในกรณีที่ลำน้ำสาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักเกิดน้ำท่วมหรือมีอัตราการไหลสูงเป็นเวลานาน จะส่งผลให้เกิด backwater effect ในลำน้ำสาขา ทำให้เกิดผลกระทบจากน้ำท่วมในลำน้ำสาขามากยิ่งขึ้น

3. การใช้คาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากกรณี AND case เพื่อการออกแบบ flood hydrograph เช่น เมื่อพิจารณาที่คาบการเกิด 100 ปี จะมีค่าของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากที่สัมพันธ์กันหลายค่า เมื่อนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบที่คาบการเกิด 100 ปี จะได้ flood hydrograph หลายๆ รูปแบบ

5.6 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทบทวนวรรณกรรม ตลอดช่วงเวลาของการทำงานวิจัยพบว่ายังไม่มีการใช้ฟังก์ชัน Copula ในการศึกษาความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นๆ ของประเทศไทย ดังนั้นในการศึกษาต่อไปอาจนำฟังก์ชัน Copula ทั้ง 3 ชนิด (Gumbel-Hougaard Clayton และ Ali-Mikhail-Hag) ที่ใช้ในการศึกษานี้ไปทดสอบความเหมาะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นๆ ว่าจะสามารถเป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์น้ำหลากได้หรือไม่ หรืออาจเลือกใช้ฟังก์ชัน Copula ชนิดอื่นเพิ่มเติมขึ้นจากการศึกษานี้

2. ฟังก์ชัน Copula ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ เป็นชนิด 1 พารามิเตอร์ โดยจะใช้ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรในการประมาณค่าพารามิเตอร์ และในการศึกษานี้เลือกใช้ค่า Kendall correlation coefficient (τ) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ การศึกษาต่อไปอาจพิจารณาใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการอื่น เช่น Spearman’s rho เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน

3. เกณฑ์การคำนวณค่าตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก โดยเฉพาะปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ แต่การศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้พิจารณาเรื่องนี้มากนัก เพราะต้องการทดสอบฟังก์ชันและวิธีการในการวิเคราะห์เป็นหลัก จึงใช้เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลากมาใช้ในการคำนวณ ในการศึกษาต่อไปอาจต้องพิจารณาเกณฑ์การคำนวณค่าตัวแปรหลักให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอาจพิจารณาตามแนวทางที่ได้ทบทวนวรรณกรรมไว้ตามหัวข้อ 4.1.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ฟังก์ชัน Copula เป็นฟังก์ชันที่เชื่อมโยงความน่าจะเป็นเดี่ยวของตัวแปรต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อนำมาวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วม โดยจำนวนตัวแปรอาจมีมากกว่า 2 ตัวแปรก็ได้ แต่ในขณะเดียวกันฟังก์ชันก็จะมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ซึ่งถ้าสามารถทำความเข้าใจได้ก็จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรหลักของเหตุการณ์น้ำหลาก (ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ปริมาตรน้ำหลาก และช่วงเวลาน้ำหลาก) พร้อมกันทั้ง 3 ตัว

5. ผลการคำนวณจากการศึกษานี้มีผลจากอ่างเก็บน้ำในลำน้ำสาขารวมอยู่ด้วย แต่ถ้าต้องการศึกษาในกรณีก่อนสร้างอ่างเก็บน้ำ และหลังสร้างอ่างเก็บน้ำ สามารถแบ่งข้อมูลเพื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ เช่น สถานี P1 ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2464-2527 วิเคราะห์กรณีก่อนสร้างเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และข้อมูลในปี พ.ศ. 2528-2549 วิเคราะห์กรณีหลังสร้างเขื่อนแม่งัดฯ และการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด รวมเป็น 3 กรณี แต่คงไม่สามารถนำผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 กรณี มาเปรียบเทียบกันโดยตรงถึงผลของการมีหรือไม่มีอ่างเก็บน้ำได้ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้เป็นชุดเหตุการณ์ที่แตกต่างกัน ความยาวของชุดข้อมูลก็แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความเชื่อมั่นของชุดข้อมูลนั้นๆ ด้วย อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวกับเหตุการณ์น้ำหลาก เช่น ปริมาณฝน การใช้ที่ดิน เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. (2531). การวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ปริมาตรน้ำท่วมโดยพิจารณาทั้งลุ่มน้ำรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. (2537). งานศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาลุ่มน้ำแม่น้ำปิง. รายงานฉบับสุดท้าย : รายงานหลัก.

วิชชุดา เลี่ยมสงวน. (2540). การใช้อนุกรมสูงสุดรายปีและอนุกรมสูงสุดบางส่วนในการวิเคราะห์ขนาดและความถี่น้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุดารัตน์ คำปลิว. (2542). ขนาดและความถี่ของน้ำหลากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โสธรัตน์ อินสว่าง. (2544). การประเมินการแจกแจงความถี่ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ขนาดของน้ำหลากสำหรับประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์. (2545). ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินต่อน้ำหลากในลุ่มน้ำเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนสิทธิ์ ธรรมศิริโรจน์. (2545). การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์คาบการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทรัพยากรน้ำ, กรม. (2546). โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง. รายงานฉบับสุดท้าย เล่มที่ 3 : รายงานหลัก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Adamson, P. T.; Metcalfe, A. V. and Parmentier, B. (1999). Bivariate extreme value distributions: An application of the Gibbs sampler to the analysis of floods. Water Resources Research. 35(9): 2825-2832.

Argete, A. C. (1983). Statistical analysis of flood and low flows of the Mekong river. Master's thesis, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology.

Ashkar, F. and Rousselle, J. (1982). A multivariate statistical analysis of flood magnitude, duration and volume. Statistical analysis of rainfall and runoff. Singh, V. P. Ed., Water resources publication, Fort Collins, Colo. :651-669.

Chang, T. J. (1987). Analysis and simulation of three-component floods in the Ohio river basin. Hydrologic frequency modeling. Singh, V.P. ed.,Reidel, Dordrecht, The Netherlands: 583 - 594.

Chow, V. T. (1964). Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill, Inc.

Chow, V. T.; Maidment, D. R. and Mays, L. W. (1988). APPLIED HYDROLOGY. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Favre, A. C. and others. (2004). Multivariate hydrological frequency analysis using copula. Water Resources Research. 40(W01101): 1-12.

Garoon Larpvisutisaroj. (1982). Distribution of flood volume. Master's thesis , School of Engineering and Technology. Asian Institute of Technology.

Goel, N. K.; Seth, S. M.; and Satish Chandra (1998). Multivariate modeling of flood flow. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 124(2): 146-155.

Haan, C. T. (1977) Statistical Methods in Hydrology. 1st ed. Iowa : Iowa State University Press.

Kite, G. W. (1977). Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado, U.S.A.

Michele, C. D. and others. (2005). Bivariate statistical approach to check adequacy of dam spillway. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE. 10(1): 50-57.

Mekong River Commission. (2007). Annual Mekong Flood Report 2006. Vientiane, Lao PDR.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Nelsen, R. B. (1999). An Introduction to Copulas. Lecture Notes in Statistics, Springer-Verlag, New York.

Sabur, M. A. (1982). Regional flood frequency analysis of Thailand. Master's thesis , School of Engineering and Technology. Asian Institute of Technology.

Sackl, B. and Bergmann, H. (1987). A bivariate flood model and it application. Hydrologic frequency modeling. Singh, V.P. ed.,Reidel, Dordrecht, The Netherlands: 571 - 582.

Salvadori, G. and Michele, C. D. (2004). Frequency analysis via copulas : Theoretical aspect and application to hydrological events. Water Resources Research. 40(W12511): 1-17.

Salvadori, G. and Michele, C. D. (2007). On the use of copulas in hydrology :Theory and practice. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE. 12(4): 369-380.

Serinaldi, F. and Grimaldi, S. (2007). Fully nested 3 copula: Procedure and application on hydrological data. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE. 12(4): 420-430.

Shiau, J. T.; Wang, H. Y.; and Tsai, C. T. (2006). Bivariate frequency analysis of flood using copulas. Journal of the American Water Resources Association. 42(6): 1549 -1564.

Yevjevich, V. (1978). Probability and Statistics in Hydrology. Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado, U.S.A.

Yue, S. and others. (1999). The Gumbel mixed model for flood frequency analysis. Journal of Hydrology. 226(1-2): 88 -100.

Yue, S. (2000a). The Gumbel mixed model applied to storm frequency analysis. Water Resources Management. 14: 377-389.

Yue, S. (2000b). The bivariate lognormal distribution to model a multivariate flood episode. Hydrological Processes. 14: 2575-2588.

Yue, S. (2001). The Gumbel logistic model for representing a multivariate storm event. Advances in Water Resources. 24: 179-185.

Yue, S. (2001b). A bivariate gamma distribution for use in multivariate flood frequency analysis. Hydrological Processes. 15: 1033-1045.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Yue, S. and Rasmussen, P. (2002). Bivariate frequency analysis : discussion of some useful concept in hydrological application. Hydrological Processes. 16: 2881-2898.

Zhang, L. and Singh, V. P. (2006). Bivariate flood frequency analysis using the copula method. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE. 11(2): 150-164.

Zhang, L. and Singh, V. P. (2007a). Bivariate rainfall frequency distribution using Archimedean copulas. Journal of Hydrology. 332(1-2): 93 -109.

Zhang, L. and Singh, V. P. (2007b). Trivariate flood frequency analysis using the Gumbel-Hougaard copula. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE. 12(4): 431-439.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานีวัดปริมาณน้ำท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี P20 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก					
		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลาก	
		ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2522	117.9	76.91	29	29.88	6	29.88	6
2523	126.0	176.83	61	101.50	19	95.56	17
2524	103.2	352.24	145	65.24	15	65.24	15
2525	66.1	117.6	58	30.34	9	24.49	7
2526	94.4	254.88	107	29.07	6	29.07	6
2527	182.3	302.98	111	81.66	12	78.65	11
2528	210.9	142.64	55	58.21	8	58.21	8
2529	288.8	133.85	45	72.81	10	69.81	9
2530	341.6	321.71	92	130.77	13	130.77	13
2531	214.3	55.27	13	42.48	6	42.48	6
2532	202.3	240.28	101	31.81	5	31.81	5
2533	86.0	36.62	19	13.26	3	10.24	2
2534	151.1	68.03	22	37.76	8	34.75	7
2535	68.6	54.03	23	10.29	3	7.40	2
2536	53.4	10.35	5	3.54	1	3.54	1
2537	292.4	516.56	116	227.00	25	227.00	25
2538	309.4	495.65	120	325.98	53	294.93	45
2539	166.0	238.42	75	115.09	19	115.09	19
2540	201.2	113.89	36	39.68	6	39.68	6
2541	74.9	19.78	8	7.07	2	7.07	2
2542	52.4	88.9	40	24.66	7	8.12	2
2543	78.0	8.22	3	3.97	1	3.97	1
2544	241.6	225.7	70	42.05	6	42.05	6
2545	141.5	184.05	56	89.47	17	86.60	16
2546	216.6	214.19	72	106.95	15	104.09	14
2547	193.2	374.57	102	138.72	23	135.82	22
2548	503.0	103.24	11	96.02	7	96.02	7
2549	273.0	684.17	126	644.48	99	641.52	98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี P1 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก					
		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลาก	
		ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2464	321.0	849.48	81	252.46	14	252.46	14
2465	245.0	524.53	56	60.22	4	60.22	4
2466	331.0	221.10	23	58.92	3	58.92	3
2467	382.0	998.96	97	240.62	14	240.62	14
2468	344.0	633.31	62	270.69	15	270.69	15
2469	271.0	1153.44	118	323.22	21	323.22	21
2470	412.0	832.72	78	412.13	18	401.07	17
2471	283.0	298.34	30	59.62	3	59.62	3
2472	498.0	1164.33	81	881.63	42	881.63	42
2473	283.0	488.16	45	170.64	11	170.64	11
2474	164.0	191.20	22	51.32	4	51.32	4
2475	398.0	791.08	69	89.42	4	89.42	4
2476	602.0	1795.31	128	411.78	16	411.78	16
2477	479.0	569.03	46	346.12	17	346.12	17
2478	382.0	1102.98	97	500.52	27	500.52	27
2479	265.0	328.49	33	132.97	9	132.97	9
2480	563.0	962.93	69	482.11	17	482.11	17
2481	498.0	2157.67	168	1024.36	52	1024.36	52
2482	446.0	2044.92	154	1182.21	54	1171.15	53
2483	326.0	881.19	76	193.71	12	193.71	12
2484	293.0	759.46	69	195.44	9	195.44	9
2485	454.0	1812.00	160	431.07	17	420.01	16
2486	522.0	2151.88	186	702.00	27	702.00	27
2487	398.0	190.77	24	67.65	3	67.65	3
2488	570.0	1673.83	145	171.24	6	171.24	6
2489	345.0	899.25	99	137.98	7	137.98	7
2490	423.0	972.43	71	334.28	19	334.28	19
2491	414.0	1116.37	106	392.52	16	392.52	16
2492	322.2	2101.51	195	1282.35	88	778.29	51
2493	414.0	1549.50	135	197.25	9	197.25	9
2494	420.0	1777.59	159	353.89	16	353.89	16
2495	490.0	1566.60	120	891.30	40	891.30	40
2496	437.0	1692.23	150	296.61	14	296.61	14
2497	447.0	649.47	62	146.28	6	146.28	6
2498	335.0	1023.24	81	246.41	13	246.41	13
2499	460.0	1674.43	122	261.53	13	261.53	13
2500	433.0	769.65	64	259.72	11	259.72	11
2501	392.0	146.36	11	105.24	5	105.24	5
2502	383.0	1008.03	62	660.27	34	660.27	34
2503	294.0	529.80	50	66.96	4	66.96	4
2504	386.0	1365.72	107	295.66	17	295.66	17
2505	257.0	87.44	8	51.06	3	51.06	3
2506	422.0	959.90	87	437.18	19	437.18	19
2507	338.0	1182.90	106	252.98	16	252.98	16

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี P1 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก (ต่อ)

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก					
		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลาก	
		ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2508	434.0	689.21	63	371.95	16	371.95	16
2509	339.0	115.78	10	77.85	4	66.79	3
2510	485.0	1006.77	63	739.19	31	739.19	31
2511	316.0	356.14	28	164.51	9	164.51	9
2512	452.0	898.13	65	480.99	19	480.99	19
2513	494.0	3230.24	230	1681.69	71	1681.69	71
2514	582.0	3383.94	189	2510.09	96	2510.09	96
2515	425.0	1046.30	86	127.61	6	127.61	6
2516	726.0	3763.33	182	2868.48	89	2857.42	88
2517	590.0	1730.94	130	231.64	11	231.64	11
2518	699.0	2818.56	154	1888.96	71	1888.96	71
2519	505.0	444.79	23	386.90	15	386.90	15
2520	662.0	1212.71	99	554.26	26	554.26	26
2521	568.7	2163.21	123	364.36	16	364.36	16
2522	461.1	249.07	14	222.94	10	211.83	9
2523	474.5	716.08	40	561.51	20	550.45	19
2524	453.8	1043.52	78	243.38	12	243.38	12
2525	238.4	343.66	31	195.63	13	195.63	13
2526	405.8	277.87	22	175.68	8	175.68	8
2527	313.4	336.59	26	219.39	11	219.39	11
2528	332.8	185.94	12	147.80	7	147.80	7
2529	334.1	251.04	18	161.53	8	161.53	8
2530	589.5	316.92	15	287.04	11	287.04	11
2531	319.8	201.35	15	143.80	8	143.80	8
2532	227.8	364.46	33	66.17	4	66.17	4
2533	149.0	63.40	8	23.81	2	23.81	2
2534	191.5	84.08	9	49.74	4	49.74	4
2535	177.8	175.13	19	25.16	2	25.16	2
2536	168.0	49.45	5	27.13	2	27.13	2
2537	525.4	1500.28	84	1256.43	53	1198.67	48
2538	504.6	1447.23	92	458.53	19	458.53	19
2539	364.0	521.38	50	151.85	8	151.85	8
2540	292.7	263.29	23	71.60	4	71.60	4
2541	152.2	66.57	7	36.09	3	36.09	3
2542	184.0	196.56	22	79.90	6	79.90	6
2543	154.0	51.60	6	12.84	1	12.84	1
2544	502.0	365.13	22	305.48	14	305.48	14
2545	384.1	709.50	52	356.37	18	356.37	18
2546	420.0	305.52	23	193.64	8	193.64	8
2547	466.0	668.67	40	537.25	22	537.25	22
2548	867.2	1783.56	105	900.65	31	900.65	31
2549	577.3	1412.84	110	157.16	6	157.16	6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลตัวแปรหลักของสถานี PE2 ตามเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เกณฑ์ที่ยอมรับว่าเกิดสภาพน้ำหลาก					
		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ย		ปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยบวกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำหลาก	
		ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)
2514	1297.1	4586.64	113	1807.31	27	1752.01	25
2515	632.0	1254.61	48	531.11	13	319.10	7
2516	2730.0	6293.81	127	5319.53	67	4366.02	46
2522	922.0	829.65	27	518.65	11	489.06	10
2523	934.0	2434.68	73	1192.47	24	1066.65	20
2524	565.0	2660.88	107	475.63	13	293.92	7
2525	820.0	2355.36	94	1018.37	23	900.24	19
2526	918.0	2826.84	103	647.00	13	527.55	9
2527	600.0	1111.93	48	365.22	9	305.35	7
2528	888.1	1796.53	63	781.11	14	721.27	12
2529	577.4	760.68	31	336.85	8	305.14	7
2530	830.0	2279.97	75	758.64	15	731.35	14
2531	899.0	2122.37	89	698.24	13	637.48	11
2532	669.0	1751.42	75	341.69	8	279.16	6
2533	531.0	1091.20	49	185.42	5	155.48	4
2534	546.0	1568.88	75	139.30	4	81.20	2
2535	753.0	1051.47	33	772.68	17	740.95	16
2536	447.9	499.11	25	64.70	2	33.82	1
2537	1044.0	3941.98	100	2748.54	51	2374.91	39
2539	901.7	2492.07	76	946.68	21	509.33	9
2540	747.8	909.21	34	284.66	6	255.27	5
2541	599.0	375.64	15	242.70	6	215.21	5
2542	1067.7	2853.23	115	742.61	13	714.14	12
2543	804.8	2346.85	98	427.41	8	398.33	7
2544	1293.0	2544.25	93	971.27	16	971.27	16
2545	1334.4	6306.58	169	2720.03	47	2241.04	36
2546	767.5	899.96	32	535.86	12	418.44	8
2547	1168.8	1752.45	47	1294.23	20	1263.40	19
2548	1627.8	4905.71	133	2661.80	41	2346.76	32
2549	2022.7	6975.30	151	5561.42	104	4444.48	84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ความน่าจะเป็นร่วมและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P20

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2542	52.4	88.90	0.0345	0.0413	-0.0069	-19.9
2536	53.4	10.35	0.0345	0.0201	0.0144	41.8
2525	66.1	117.60	0.1034	0.0809	0.0226	21.8
2535	68.6	54.03	0.0690	0.0759	-0.0069	-10.0
2541	74.9	19.78	0.0690	0.0484	0.0206	29.9
2543	78.0	8.22	0.0345	0.0195	0.0150	43.5
2533	86.0	36.62	0.1379	0.0883	0.0497	36.0
2526	94.4	254.88	0.2759	0.1987	0.0772	28.0
2524	103.2	352.24	0.3103	0.2446	0.0658	21.2
2522	117.9	76.91	0.2069	0.1914	0.0155	7.5
2523	126.0	176.83	0.3103	0.2973	0.0130	4.2
2545	141.5	184.05	0.3448	0.3454	-0.0006	-0.2
2534	151.1	68.03	0.2069	0.2077	-0.0008	-0.4
2539	166.0	238.42	0.4138	0.4437	-0.0299	-7.2
2527	182.3	302.98	0.4828	0.5206	-0.0378	-7.8
2547	193.2	374.57	0.5517	0.5790	-0.0273	-4.9
2540	201.2	113.89	0.3103	0.3440	-0.0336	-10.8
2532	202.3	240.28	0.4828	0.5203	-0.0376	-7.8
2528	210.9	142.64	0.3793	0.4069	-0.0276	-7.3
2531	214.3	55.27	0.2069	0.1916	0.0153	7.4
2546	216.6	214.19	0.5172	0.5152	0.0020	0.4
2544	241.6	225.70	0.5517	0.5576	-0.0059	-1.1
2549	273.0	684.17	0.7931	0.8126	-0.0195	-2.5
2529	288.8	133.85	0.4138	0.4284	-0.0146	-3.5
2537	292.4	516.56	0.8276	0.8055	0.0221	2.7
2538	309.4	495.65	0.8276	0.8164	0.0112	1.3
2530	341.6	321.71	0.7586	0.7352	0.0234	3.1
2548	503.0	103.24	0.3448	0.3654	-0.0206	-6.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-2 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P20

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2543	8.22	3	0.0345	0.0138	0.0207	59.9
2536	10.35	5	0.0690	0.0231	0.0458	66.4
2541	19.78	8	0.1034	0.0515	0.0519	50.2
2533	36.62	19	0.1379	0.1245	0.0134	9.7
2535	54.03	23	0.1724	0.1848	-0.0123	-7.2
2531	55.27	13	0.1379	0.1230	0.0149	10.8
2534	68.03	22	0.2069	0.2083	-0.0014	-0.7
2522	76.91	29	0.2759	0.2594	0.0165	6.0
2542	88.90	40	0.3103	0.3150	-0.0047	-1.5
2548	103.24	11	0.1379	0.1046	0.0333	24.1
2540	113.89	36	0.3448	0.3530	-0.0081	-2.4
2525	117.60	58	0.4138	0.4087	0.0051	1.2
2529	133.85	45	0.4138	0.4242	-0.0104	-2.5
2528	142.64	55	0.4483	0.4680	-0.0197	-4.4
2523	176.83	61	0.5172	0.5402	-0.0230	-4.4
2545	184.05	56	0.4828	0.5289	-0.0462	-9.6
2546	214.19	72	0.5862	0.6166	-0.0304	-5.2
2544	225.70	70	0.5862	0.6218	-0.0356	-6.1
2539	238.42	75	0.6552	0.6490	0.0061	0.9
2532	240.28	101	0.6897	0.6787	0.0110	1.6
2526	254.88	107	0.7241	0.7015	0.0226	3.1
2527	302.98	111	0.7586	0.7647	-0.0061	-0.8
2530	321.71	92	0.6897	0.7498	-0.0601	-8.7
2524	352.24	145	0.8276	0.8186	0.0090	1.1
2547	374.57	102	0.7586	0.7949	-0.0363	-4.8
2538	495.65	120	0.8621	0.8570	0.0050	0.6
2537	516.56	116	0.8621	0.8456	0.0165	1.9
2549	684.17	126	0.9310	0.8734	0.0577	6.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P1

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2533	149.0	63.40	0.0115	0.0040	0.0075	64.85
2541	152.2	66.57	0.0230	0.0046	0.0184	80.15
2543	154.0	51.60	0.0115	0.0036	0.0079	69.02
2474	164.0	191.20	0.0460	0.0147	0.0313	68.09
2536	168.0	49.45	0.0115	0.0044	0.0071	62.04
2535	177.8	175.13	0.0575	0.0185	0.0390	67.80
2542	184.0	196.56	0.0805	0.0226	0.0578	71.86
2534	191.5	84.08	0.0575	0.0118	0.0457	79.52
2532	227.8	364.46	0.1034	0.0678	0.0357	34.47
2525	238.4	343.66	0.1034	0.0757	0.0277	26.79
2465	245.0	524.53	0.1264	0.1012	0.0252	19.92
2505	257.0	87.44	0.0690	0.0240	0.0450	65.24
2479	265.0	328.49	0.1149	0.0995	0.0154	13.40
2469	271.0	1153.44	0.1609	0.1693	-0.0083	-5.18
2471	283.0	298.34	0.1149	0.1090	0.0060	5.19
2473	283.0	488.16	0.1609	0.1508	0.0101	6.30
2540	292.7	263.29	0.1149	0.1054	0.0095	8.29
2484	293.0	759.46	0.1954	0.1985	-0.0031	-1.61
2503	294.0	529.80	0.1954	0.1740	0.0215	10.98
2527	313.4	336.59	0.1494	0.1495	0.0000	-0.03
2511	316.0	356.14	0.1724	0.1590	0.0134	7.77
2531	319.8	201.35	0.1149	0.0940	0.0210	18.24
2464	321.0	849.48	0.2529	0.2635	-0.0106	-4.19
2492	322.2	2101.51	0.2759	0.2982	-0.0223	-8.09
2483	326.0	881.19	0.2644	0.2771	-0.0128	-4.82
2466	331.0	221.10	0.1264	0.1094	0.0170	13.46
2528	332.8	185.94	0.0920	0.0906	0.0013	1.46
2529	334.1	251.04	0.1494	0.1269	0.0226	15.10
2498	335.0	1023.24	0.3103	0.3085	0.0018	0.59
2507	338.0	1182.90	0.3333	0.3246	0.0087	2.61
2509	339.0	115.78	0.0805	0.0506	0.0298	37.06
2468	344.0	633.31	0.2874	0.2761	0.0112	3.91
2489	345.0	899.25	0.3333	0.3206	0.0128	3.83
2539	364.0	521.38	0.2644	0.2733	-0.0089	-3.36
2467	382.0	998.96	0.3563	0.4136	-0.0573	-16.08
2478	382.0	1102.98	0.3793	0.4256	-0.0462	-12.19
2502	383.0	1008.03	0.3678	0.4170	-0.0491	-13.36
2545	384.1	709.50	0.3103	0.3613	-0.0509	-16.41
2504	386.0	1365.72	0.4368	0.4548	-0.0180	-4.13
2501	392.0	146.36	0.0920	0.0777	0.0143	15.51
2475	398.0	791.08	0.1264	0.1106	0.0159	12.56
2487	398.0	190.77	0.3563	0.4053	-0.0489	-13.73
2526	405.8	277.87	0.2069	0.1747	0.0322	15.58
2470	412.0	832.72	0.3793	0.4385	-0.0592	-15.61

ตารางที่ ข-3 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2491	414.0	1116.37	0.4713	0.4971	-0.0258	-5.48
2493	414.0	1549.50	0.5172	0.5342	-0.0170	-3.28
2494	420.0	1777.59	0.2299	0.1986	0.0313	13.63
2546	420.0	305.52	0.5402	0.5579	-0.0177	-3.28
2506	422.0	959.90	0.4368	0.4850	-0.0483	-11.05
2490	423.0	972.43	0.4483	0.4894	-0.0411	-9.18
2515	425.0	1046.30	0.4943	0.5073	-0.0131	-2.65
2500	433.0	769.65	0.3793	0.4486	-0.0692	-18.25
2508	434.0	689.21	0.3563	0.4195	-0.0632	-17.73
2496	437.0	1692.23	0.5977	0.5963	0.0014	0.24
2482	446.0	2044.92	0.6207	0.6290	-0.0083	-1.34
2497	447.0	649.47	0.3563	0.4141	-0.0577	-16.20
2512	452.0	898.13	0.4598	0.5132	-0.0534	-11.62
2524	453.8	1043.52	0.5402	0.5541	-0.0138	-2.56
2485	454.0	1812.00	0.6552	0.6405	0.0147	2.25
2499	460.0	1674.43	0.6322	0.6465	-0.0143	-2.26
2522	461.1	249.07	0.1839	0.1647	0.0192	10.46
2547	466.0	668.67	0.3793	0.4371	-0.0578	-15.24
2523	474.5	716.08	0.4138	0.4651	-0.0513	-12.40
2477	479.0	569.03	0.3563	0.3912	-0.0349	-9.80
2510	485.0	1006.77	0.5632	0.5826	-0.0193	-3.43
2495	490.0	1566.60	0.6897	0.6937	-0.0041	-0.59
2513	494.0	3230.24	0.7701	0.7484	0.0218	2.82
2472	498.0	1164.33	0.6552	0.6381	0.0171	2.61
2481	498.0	2157.67	0.7816	0.7439	0.0377	4.82
2544	502.0	365.13	0.3103	0.2603	0.0501	16.13
2538	504.6	1447.23	0.7011	0.7001	0.0011	0.15
2519	505.0	444.79	0.3218	0.3189	0.0029	0.90
2486	522.0	2151.88	0.8161	0.7853	0.0308	3.78
2537	525.4	1500.28	0.7241	0.7328	-0.0086	-1.19
2480	563.0	962.93	0.5632	0.6124	-0.0492	-8.74
2521	568.7	2163.21	0.8621	0.8459	0.0162	1.88
2488	570.0	1673.83	0.7701	0.7977	-0.0276	-3.59
2549	577.3	1412.84	0.7241	0.7537	-0.0296	-4.09
2514	582.0	3383.94	0.9080	0.8906	0.0175	1.93
2530	589.5	316.92	0.2529	0.2273	0.0255	10.10
2517	590.0	1730.94	0.8276	0.8179	0.0097	1.17
2476	602.0	1795.31	0.8506	0.8328	0.0178	2.09
2520	662.0	1212.71	0.7241	0.7149	0.0092	1.28
2518	699.0	2818.56	0.9425	0.9471	-0.0046	-0.48
2516	726.0	3763.33	0.9770	0.9777	-0.0007	-0.07
2548	867.2	1783.56	0.8621	0.8497	0.0124	1.43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P1

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2536	49.45	5	0.0115	0.0157	-0.0042	-36.75
2543	51.60	6	0.0230	0.0174	0.0056	24.37
2533	63.40	8	0.0345	0.0243	0.0102	29.47
2541	66.57	7	0.0345	0.0261	0.0084	24.41
2534	84.08	9	0.0575	0.0377	0.0197	34.34
2505	87.44	8	0.0575	0.0372	0.0203	35.32
2509	115.78	10	0.0805	0.0543	0.0261	32.48
2501	146.36	11	0.0920	0.0641	0.0278	30.24
2535	175.13	19	0.1034	0.1090	-0.0056	-5.39
2528	185.94	12	0.1034	0.0736	0.0299	28.90
2487	190.77	24	0.1264	0.1223	0.0041	3.26
2474	191.20	22	0.1264	0.1226	0.0038	3.02
2542	196.56	22	0.1379	0.1271	0.0108	7.86
2531	201.35	15	0.1149	0.1026	0.0123	10.70
2466	221.10	23	0.1609	0.1475	0.0135	8.36
2522	249.07	14	0.1149	0.0929	0.0220	19.14
2529	251.04	18	0.1379	0.1333	0.0046	3.33
2540	263.29	23	0.1954	0.1755	0.0199	10.18
2526	277.87	22	0.1839	0.1729	0.0110	6.00
2471	298.34	30	0.2299	0.2117	0.0182	7.90
2546	305.52	23	0.2184	0.1846	0.0338	15.49
2530	316.92	15	0.1379	0.1029	0.0350	25.38
2479	328.49	33	0.2644	0.2364	0.0280	10.59
2527	336.59	26	0.2529	0.2144	0.0384	15.20
2525	343.66	31	0.2759	0.2441	0.0318	11.51
2511	356.14	28	0.2644	0.2335	0.0308	11.66
2532	364.46	33	0.3103	0.2609	0.0495	15.94
2544	365.13	22	0.2069	0.1755	0.0314	15.20
2519	444.79	23	0.2529	0.1860	0.0669	26.44
2473	488.16	45	0.3448	0.3544	-0.0095	-2.76
2539	521.38	50	0.3563	0.3794	-0.0231	-6.48
2465	524.53	56	0.3678	0.3840	-0.0162	-4.41
2503	529.80	50	0.3678	0.3844	-0.0166	-4.51
2477	569.03	46	0.3563	0.3922	-0.0359	-10.06
2468	633.31	62	0.4023	0.4522	-0.0499	-12.40
2497	649.47	62	0.4138	0.4608	-0.0470	-11.36
2547	668.67	40	0.3448	0.3562	-0.0113	-3.29
2508	689.21	63	0.4368	0.4812	-0.0445	-10.18
2545	709.50	52	0.4023	0.4515	-0.0492	-12.23
2523	716.08	40	0.3563	0.3564	-0.0001	-0.03
2484	759.46	69	0.4713	0.5190	-0.0477	-10.12
2500	769.65	64	0.4713	0.5139	-0.0426	-9.04
2475	791.08	69	0.4943	0.5313	-0.0370	-7.49
2470	832.72	78	0.5057	0.5578	-0.0521	-10.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับ ฟังก์ชัน Copula ของสถานี P1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2464	849.48	81	0.5172	0.5668	-0.0496	-9.59
2483	881.19	76	0.5057	0.5730	-0.0673	-13.30
2512	898.13	65	0.4828	0.5436	-0.0608	-12.60
2489	899.25	99	0.5517	0.5943	-0.0426	-7.72
2506	959.90	87	0.5517	0.6121	-0.0604	-10.94
2480	962.93	69	0.5172	0.5693	-0.0521	-10.07
2490	972.43	71	0.5287	0.5789	-0.0502	-9.49
2467	998.96	97	0.5862	0.6324	-0.0462	-7.88
2510	1006.77	63	0.4713	0.5397	-0.0684	-14.52
2502	1008.03	62	0.4598	0.5334	-0.0736	-16.00
2498	1023.24	81	0.5977	0.6190	-0.0213	-3.57
2524	1043.52	78	0.5862	0.6140	-0.0278	-4.74
2515	1046.30	86	0.6207	0.6344	-0.0138	-2.22
2478	1102.98	97	0.6552	0.6636	-0.0084	-1.29
2491	1116.37	106	0.6782	0.6744	0.0038	0.55
2469	1153.44	118	0.6897	0.6906	-0.0009	-0.13
2472	1164.33	81	0.6207	0.6381	-0.0174	-2.80
2507	1182.90	106	0.7011	0.6920	0.0092	1.31
2520	1212.71	99	0.6897	0.6902	-0.0005	-0.08
2504	1365.72	107	0.7241	0.7273	-0.0031	-0.43
2549	1412.84	110	0.7356	0.7383	-0.0027	-0.36
2538	1447.23	92	0.6552	0.6963	-0.0411	-6.27
2537	1500.28	84	0.6322	0.6649	-0.0328	-5.18
2493	1549.50	135	0.7816	0.7845	-0.0029	-0.37
2495	1566.60	120	0.7816	0.7712	0.0104	1.33
2488	1673.83	145	0.8046	0.8085	-0.0039	-0.49
2499	1674.43	122	0.7931	0.7843	0.0088	1.11
2496	1692.23	150	0.8276	0.8140	0.0136	1.64
2517	1730.94	130	0.8046	0.8005	0.0041	0.52
2494	1777.59	159	0.8506	0.8296	0.0210	2.47
2548	1783.56	105	0.7241	0.7511	-0.0269	-3.72
2476	1795.31	128	0.8161	0.8026	0.0135	1.65
2485	1812.00	160	0.8851	0.8341	0.0509	5.76
2482	2044.92	154	0.8736	0.8504	0.0231	2.65
2492	2101.51	195	0.9080	0.8782	0.0299	3.29
2486	2151.88	186	0.9080	0.8789	0.0291	3.21
2481	2157.67	168	0.9080	0.8692	0.0389	4.28
2521	2163.21	123	0.8161	0.8082	0.0079	0.97
2518	2818.56	154	0.8966	0.8774	0.0192	2.14
2513	3230.24	230	0.9655	0.9463	0.0193	1.99
2514	3383.94	189	0.9540	0.9248	0.0292	3.06
2516	3763.33	182	0.9425	0.9221	0.0204	2.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-5 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับฟังก์ชัน Copula ของสถานี PE2

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2536	447.9	499.11	0.0323	0.0075	0.0248	76.74
2533	531.0	1091.20	0.0645	0.0632	0.0013	1.97
2534	546.0	1568.88	0.0968	0.0898	0.0070	7.24
2524	565.0	2660.88	0.1290	0.1203	0.0087	6.73
2529	577.4	760.68	0.0645	0.0630	0.0016	2.41
2541	599.0	375.64	0.0323	0.0144	0.0178	55.30
2527	600.0	1111.93	0.1613	0.1162	0.0450	27.93
2515	632.0	1254.61	0.1935	0.1556	0.0380	19.61
2532	669.0	1751.42	0.2581	0.2344	0.0236	9.16
2540	747.8	909.21	0.1290	0.1377	-0.0087	-6.72
2535	753.0	1051.47	0.1613	0.1767	-0.0154	-9.54
2546	767.5	899.96	0.1290	0.1380	-0.0090	-6.97
2543	804.8	2346.85	0.3871	0.4194	-0.0323	-8.34
2525	820.0	2355.36	0.4194	0.4344	-0.0150	-3.58
2530	830.0	2279.97	0.3871	0.4369	-0.0498	-12.87
2528	888.1	1796.53	0.3871	0.4012	-0.0141	-3.65
2531	899.0	2122.37	0.4194	0.4649	-0.0455	-10.86
2539	901.7	2492.07	0.5484	0.5117	0.0367	6.69
2526	918.0	2826.84	0.6129	0.5500	0.0629	10.27
2522	922.0	829.65	0.1290	0.1267	0.0024	1.83
2523	934.0	2434.68	0.5806	0.5259	0.0547	9.42
2537	1044.0	3941.98	0.7097	0.6848	0.0248	3.50
2542	1067.7	2853.23	0.7097	0.6356	0.0741	10.44
2547	1168.8	1752.45	0.4194	0.4344	-0.0150	-3.58
2544	1293.0	2544.25	0.6774	0.6302	0.0472	6.97
2514	1297.1	4586.64	0.8387	0.8162	0.0225	2.68
2545	1334.4	6306.58	0.8710	0.8470	0.0240	2.75
2548	1627.8	4905.71	0.8710	0.8843	-0.0133	-1.53
2549	2022.7	6975.30	0.9355	0.9528	-0.0173	-1.85
2516	2730.0	6293.81	0.9032	0.9515	-0.0483	-5.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-6 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก โดยวิธี plotting position กับฟังก์ชัน Copula ของสถานี PE2

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	ความน่าจะเป็นร่วม		ความแตกต่าง	
			ข้อมูล	ทฤษฎี	ข้อมูล-ทฤษฎี	ร้อยละ
2541	375.64	15	0.0323	0.0111	0.0212	65.70
2536	499.11	25	0.0645	0.0342	0.0303	46.96
2529	760.68	31	0.0968	0.0861	0.0107	11.07
2522	829.65	27	0.0968	0.0738	0.0229	23.70
2546	899.96	32	0.1613	0.1061	0.0552	34.21
2540	909.21	34	0.1935	0.1176	0.0759	39.24
2535	1051.47	33	0.1935	0.1216	0.0720	37.19
2533	1091.20	49	0.2581	0.2070	0.0511	19.79
2527	1111.93	48	0.2581	0.2099	0.0481	18.66
2515	1254.61	48	0.2903	0.2392	0.0511	17.61
2534	1568.88	75	0.3548	0.3809	-0.0261	-7.35
2532	1751.42	75	0.3871	0.4341	-0.0470	-12.15
2547	1752.45	47	0.2581	0.2610	-0.0030	-1.15
2528	1796.53	63	0.3871	0.4030	-0.0159	-4.11
2531	2122.37	89	0.4839	0.5409	-0.0571	-11.79
2530	2279.97	75	0.4839	0.5267	-0.0429	-8.86
2543	2346.85	98	0.5484	0.5966	-0.0482	-8.79
2525	2355.36	94	0.5484	0.5963	-0.0479	-8.74
2523	2434.68	73	0.4194	0.5200	-0.1007	-24.00
2539	2492.07	76	0.5484	0.5458	0.0026	0.48
2544	2544.25	93	0.6129	0.6303	-0.0174	-2.83
2524	2660.88	107	0.7097	0.6625	0.0471	6.64
2526	2826.84	103	0.7097	0.6884	0.0213	3.00
2542	2853.23	115	0.7742	0.6980	0.0762	9.84
2537	3941.98	100	0.7097	0.7368	-0.0271	-3.82
2514	4586.64	113	0.8065	0.8091	-0.0026	-0.32
2548	4905.71	133	0.8710	0.8834	-0.0124	-1.43
2516	6293.81	127	0.8710	0.8685	0.0025	0.29
2545	6306.58	169	0.9032	0.9511	-0.0478	-5.29
2549	6975.30	151	0.9355	0.9337	0.0018	0.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-7 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ของสถานี P20

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด (ปี)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2542	52.4	1.05	88.90	1.47	1.04	1.48
2536	53.4	1.05	10.35	1.03	1.02	1.06
2525	66.1	1.10	117.60	1.70	1.09	1.71
2535	68.6	1.11	54.03	1.25	1.08	1.28
2541	74.9	1.14	19.78	1.07	1.05	1.16
2543	78.0	1.16	8.22	1.02	1.02	1.16
2533	86.0	1.21	36.62	1.15	1.10	1.27
2526	94.4	1.27	254.88	3.4	1.25	3.5
2524	103.2	1.34	352.24	5.5	1.32	5.8
2522	117.9	1.49	76.91	1.39	1.24	1.72
2523	126.0	1.58	176.83	2.3	1.42	2.7
2545	141.5	1.79	184.05	2.4	1.53	3.0
2534	151.1	1.94	68.03	1.33	1.26	2.1
2539	166.0	2.2	238.42	3.1	1.80	4.5
2527	182.3	2.5	302.98	4.3	2.1	6.8
2547	193.2	2.8	374.57	6.2	2.4	10.3
2540	201.2	3.0	113.89	1.67	1.52	3.6
2532	202.3	3.1	240.28	3.1	2.1	5.9
2528	210.9	3.3	142.64	1.92	1.69	4.3
2531	214.3	3.4	55.27	1.25	1.24	3.5
2546	216.6	3.5	214.19	2.7	2.1	6.0
2544	241.6	4.4	225.70	2.9	2.3	7.7
2549	273.0	5.9	684.17	35.1	5.3	104.5
2529	288.8	6.9	133.85	1.84	1.75	8.5
2537	292.4	7.1	516.56	13.3	5.1	47.7
2538	309.4	8.4	495.65	11.8	5.4	49.6
2530	341.6	11.4	321.71	4.7	3.8	28.4
2548	503.0	50.2	103.24	1.58	1.58	56.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-8 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก
ของสถานี P20

ปี พ.ศ.	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2543	8.22	1.02	3	1.02	1.01	1.03
2536	10.35	1.03	5	1.04	1.02	1.05
2541	19.78	1.07	8	1.08	1.05	1.09
2533	36.62	1.15	19	1.24	1.14	1.25
2535	54.03	1.25	23	1.32	1.23	1.34
2531	55.27	1.25	13	1.15	1.14	1.26
2534	68.03	1.33	22	1.30	1.26	1.37
2522	76.91	1.39	29	1.44	1.35	1.49
2542	88.90	1.47	40	1.71	1.46	1.73
2548	103.24	1.58	11	1.12	1.12	1.58
2540	113.89	1.67	36	1.60	1.55	1.73
2525	117.60	1.70	58	2.3	1.69	2.3
2529	133.85	1.84	45	1.85	1.74	2.0
2528	142.64	1.92	55	2.2	1.88	2.2
2523	176.83	2.3	61	2.4	2.2	2.5
2545	184.05	2.4	56	2.2	2.1	2.5
2546	214.19	2.7	72	2.9	2.6	3.1
2544	225.70	2.9	70	2.8	2.6	3.1
2539	238.42	3.1	75	3.0	2.8	3.3
2532	240.28	3.1	101	4.9	3.1	4.9
2526	254.88	3.4	107	5.4	3.4	5.5
2527	302.98	4.3	111	5.9	4.2	5.9
2530	321.71	4.7	92	4.1	4.0	4.9
2524	352.24	5.5	145	11.7	5.5	11.7
2547	374.57	6.2	102	5.0	4.9	6.3
2538	495.65	11.8	120	7.0	7.0	11.9
2537	516.56	13.3	116	6.5	6.5	13.3
2549	684.17	35.1	126	7.9	7.9	35.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากของสถานี P1

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด (ปี)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2533	149.0	1.02	63.40	1.02	1.004	1.04
2541	152.2	1.02	66.57	1.03	1.005	1.04
2543	154.0	1.02	51.60	1.02	1.004	1.03
2474	164.0	1.03	191.20	1.14	1.01	1.15
2536	168.0	1.03	49.45	1.02	1.004	1.04
2535	177.8	1.04	175.13	1.12	1.02	1.14
2542	184.0	1.04	196.56	1.15	1.02	1.17
2534	191.5	1.05	84.08	1.04	1.01	1.08
2532	227.8	1.11	364.46	1.36	1.07	1.42
2525	238.4	1.13	343.66	1.33	1.08	1.40
2465	245.0	1.14	524.53	1.63	1.11	1.69
2505	257.0	1.17	87.44	1.04	1.02	1.19
2479	265.0	1.19	328.49	1.31	1.11	1.43
2469	271.0	1.21	1153.44	3.3	1.20	3.4
2471	283.0	1.25	298.34	1.27	1.12	1.44
2473	283.0	1.25	488.16	1.56	1.18	1.70
2540	292.7	1.29	263.29	1.22	1.12	1.43
2484	293.0	1.29	759.46	2.1	1.25	2.2
2503	294.0	1.30	529.80	1.64	1.21	1.79
2527	313.4	1.38	336.59	1.32	1.18	1.59
2511	316.0	1.40	356.14	1.35	1.19	1.62
2531	319.8	1.41	201.35	1.15	1.10	1.49
2464	321.0	1.42	849.48	2.3	1.36	2.5
2492	322.2	1.43	2101.51	9.4	1.42	9.6
2483	326.0	1.45	881.19	2.4	1.38	2.6
2466	331.0	1.48	221.10	1.17	1.12	1.57
2528	332.8	1.49	185.94	1.13	1.10	1.55
2529	334.1	1.50	251.04	1.21	1.15	1.61
2498	335.0	1.50	1023.24	2.9	1.45	3.1
2507	338.0	1.52	1182.90	3.4	1.48	3.6
2509	339.0	1.53	115.78	1.07	1.05	1.55
2468	344.0	1.56	633.31	1.84	1.38	2.2
2489	345.0	1.57	899.25	2.5	1.47	2.8
2539	364.0	1.71	521.38	1.62	1.38	2.1
2467	382.0	1.87	998.96	2.8	1.71	3.2
2478	382.0	1.87	1102.98	3.1	1.74	3.6
2502	383.0	1.88	1008.03	2.8	1.72	3.3
2545	384.1	1.89	709.50	2.0	1.57	2.6
2504	386.0	1.91	1365.72	4.2	1.83	4.6
2501	392.0	1.97	146.36	1.09	1.08	2.0
2475	398.0	2.0	791.08	2.2	1.12	2.1
2487	398.0	2.0	190.77	1.14	1.68	2.9
2526	405.8	2.1	277.87	1.24	1.21	2.2

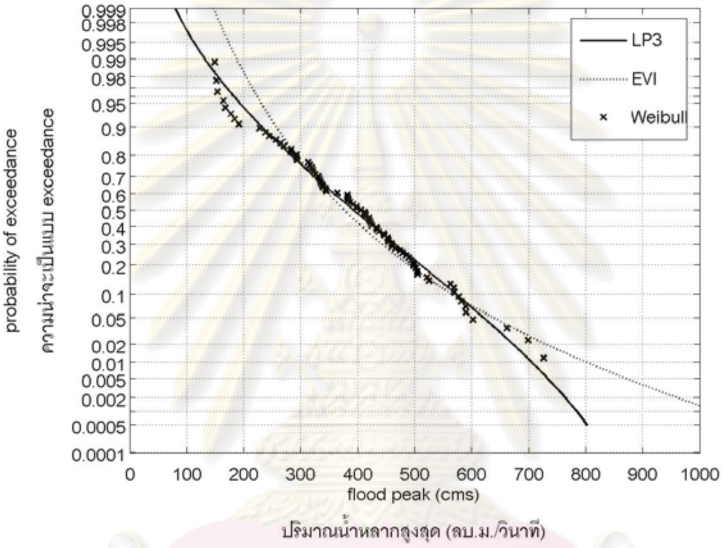
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

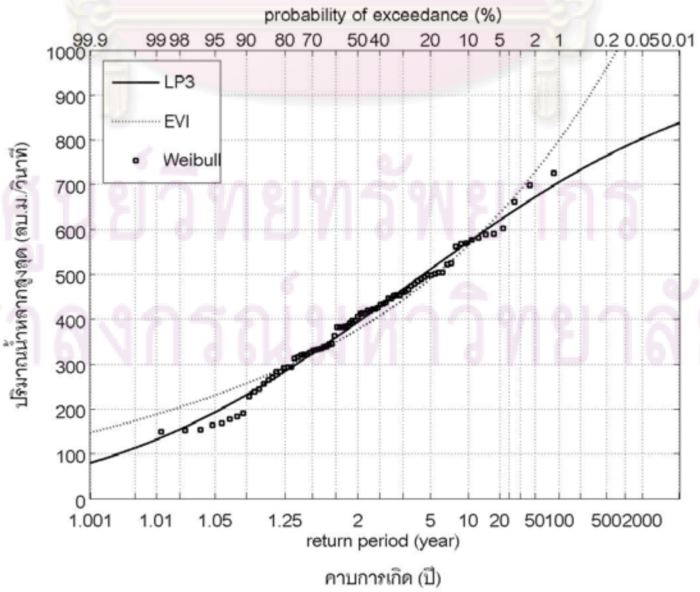
ตารางที่ ข-9 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ของสถานี P1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด (ปี)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2470	412.0	2.2	832.72	2.3	1.78	3.1
2491	414.0	2.2	1116.37	3.2	1.99	3.9
2493	414.0	2.2	1549.50	5.1	2.1	5.7
2494	420.0	2.3	1777.59	6.6	1.25	2.4
2546	420.0	2.3	305.52	1.28	2.3	7.2
2506	422.0	2.4	959.90	2.7	1.94	3.5
2490	423.0	2.4	972.43	2.7	1.96	3.5
2515	425.0	2.4	1046.30	2.9	2.0	3.8
2500	433.0	2.5	769.65	2.1	1.81	3.2
2508	434.0	2.5	689.21	2.0	1.72	3.1
2496	437.0	2.6	1692.23	6.0	2.5	6.8
2482	446.0	2.8	2044.92	8.9	2.7	9.7
2497	447.0	2.8	649.47	1.87	1.71	3.3
2512	452.0	2.9	898.13	2.5	2.1	3.8
2524	453.8	2.9	1043.52	2.9	2.2	4.2
2485	454.0	2.9	1812.00	6.9	2.8	7.8
2499	460.0	3.1	1674.43	5.9	2.8	7.0
2522	461.1	3.1	249.07	1.21	1.20	3.2
2547	466.0	3.2	668.67	1.91	1.78	3.7
2523	474.5	3.4	716.08	2.0	1.87	3.9
2477	479.0	3.5	569.03	1.71	1.64	3.9
2510	485.0	3.7	1006.77	2.8	2.4	4.8
2495	490.0	3.9	1566.60	5.2	3.3	7.0
2513	494.0	4.0	3230.24	32.5	4.0	33.8
2472	498.0	4.1	1164.33	3.3	2.8	5.6
2481	498.0	4.1	2157.67	10.0	3.9	11.7
2544	502.0	4.3	365.13	1.36	1.35	4.4
2538	504.6	4.4	1447.23	4.6	3.3	6.8
2519	505.0	4.4	444.79	1.49	1.47	4.6
2486	522.0	5.1	2151.88	10.0	4.7	12.3
2537	525.4	5.3	1500.28	4.9	3.7	7.8
2480	563.0	7.6	962.93	2.7	2.6	8.4
2521	568.7	8.1	2163.21	10.1	6.5	14.6
2488	570.0	8.2	1673.83	5.9	4.9	11.2
2549	577.3	8.9	1412.84	4.4	4.1	10.8
2514	582.0	9.4	3383.94	38.5	9.1	42.7
2530	589.5	10.2	316.92	1.30	1.29	10.3
2517	590.0	10.2	1730.94	6.3	5.5	13.4
2476	602.0	11.8	1795.31	6.7	6.0	15.1
2520	662.0	25.6	1212.71	3.5	3.5	26.6
2518	699.0	44.4	2818.56	20.7	18.9	55.8
2516	726.0	69.2	3763.33	58.4	44.9	107.2
2548	867.2	1399.1	1783.56	6.7	6.7	1400.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ ข-9 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำหลากสูงสุดในปี พ.ศ.2548 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดของชุดข้อมูล (867.2 ลบ.ม./วินาที) พบว่ามีคาบการเกิดประมาณ 1400 ปี ส่วนปริมาณน้ำหลากสูงสุดในปี พ.ศ.2516 เป็นค่ามากที่สุดในลำดับที่ 2 (726.0 ลบ.ม./วินาที) มีคาบการเกิดประมาณ 70 ปี จะเห็นว่าค่าคาบการเกิดมีความแตกต่างกันมาก (ประมาณ 1330 ปี) ในขณะที่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดแตกต่างกันประมาณ 140 ลบ.ม./วินาที จึงมีข้อสังเกตว่าค่าในปี พ.ศ. 2548 อาจเป็นค่าที่มีความรุนแรงมาก หรืออาจเป็น outlier ดังนั้นจึงได้คำนวณคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดโดยไม่ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ.2548 และได้แสดงผลดังรูปที่ ข-1 และตารางที่ ข-10 และ ข-11





รูปที่ ข-1 ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของสถานี P1
กรณีให้ค่าในปี พ.ศ.2548 เป็น Outlier

ตารางที่ ข-10 ตัวอย่างคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของสถานี P1 กรณีให้ค่าในปี พ.ศ.2548 เป็น Outlier

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด (ปี)
2544	502.0	4.6
2538	504.6	4.7
2519	505.0	4.7
2486	522.0	5.6
2537	525.4	5.8
2480	563.0	9.0
2521	568.7	9.7
2488	570.0	9.8
2549	577.3	10.8
2514	582.0	11.5
2530	589.5	12.7
2517	590.0	12.8
2476	602.0	15.2
2520	662.0	41.2
2518	699.0	88.1
2516	726.0	168.5
2548	867.2	~70000

ตารางที่ ข-11 เปรียบเทียบคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของสถานี P1 กรณีใช้และไม่ใช้ค่าในปี พ.ศ.2548 ในการคำนวณคาบการเกิด

คาบการเกิด (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	
	ใช้ค่าในปี 2548	ไม่ใช้ค่าในปี 2548
2	394.3	392.8
5	519.8	510.5
10	587.9	571.5
20	644.2	620.1
25	660.4	633.9
50	706.5	672.1
100	746.9	704.6
200	782.8	732.6
500	824.6	764.1
1000	852.7	784.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-12 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก
ของสถานี P1

ปี พ.ศ.	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	ช่วงเวลา น้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2536	49.45	1.02	5	1.02	1.02	1.02
2543	51.60	1.02	6	1.02	1.02	1.02
2533	63.40	1.02	8	1.04	1.02	1.04
2541	66.57	1.03	7	1.03	1.03	1.03
2534	84.08	1.04	9	1.05	1.04	1.05
2505	87.44	1.04	8	1.04	1.04	1.04
2509	115.78	1.07	10	1.06	1.06	1.07
2501	146.36	1.09	11	1.07	1.07	1.09
2535	175.13	1.12	19	1.17	1.12	1.17
2528	185.94	1.13	12	1.08	1.08	1.13
2487	190.77	1.14	24	1.24	1.14	1.24
2474	191.20	1.14	22	1.21	1.14	1.21
2542	196.56	1.15	22	1.21	1.15	1.21
2531	201.35	1.15	15	1.11	1.11	1.15
2466	221.10	1.17	23	1.23	1.17	1.23
2522	249.07	1.21	14	1.10	1.10	1.21
2529	251.04	1.21	18	1.15	1.15	1.21
2540	263.29	1.22	23	1.23	1.21	1.24
2526	277.87	1.24	22	1.21	1.21	1.25
2471	298.34	1.27	30	1.35	1.27	1.35
2546	305.52	1.28	23	1.23	1.23	1.28
2530	316.92	1.30	15	1.11	1.11	1.30
2479	328.49	1.31	33	1.41	1.31	1.41
2527	336.59	1.32	26	1.28	1.27	1.33
2525	343.66	1.33	31	1.37	1.32	1.38
2511	356.14	1.35	28	1.31	1.30	1.36
2532	364.46	1.36	33	1.41	1.35	1.42
2544	365.13	1.36	22	1.21	1.21	1.36
2519	444.79	1.49	23	1.23	1.23	1.49
2473	488.16	1.56	45	1.67	1.55	1.69
2539	521.38	1.62	50	1.80	1.61	1.81
2465	524.53	1.63	56	1.97	1.62	1.97
2503	529.80	1.64	50	1.80	1.62	1.81
2477	569.03	1.71	46	1.70	1.65	1.77
2468	633.31	1.84	62	2.2	1.83	2.2
2497	649.47	1.87	62	2.2	1.85	2.2
2547	668.67	1.91	40	1.55	1.55	1.91
2508	689.21	1.96	63	2.2	1.93	2.2
2545	709.50	2.0	52	1.86	1.82	2.0
2523	716.08	2.0	40	1.55	1.55	2.0
2484	759.46	2.1	69	2.4	2.1	2.5
2500	769.65	2.1	64	2.2	2.1	2.3
2475	791.08	2.2	69	2.4	2.1	2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-12 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ของสถานี P1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2470	832.72	2.3	78	2.8	2.3	2.8
2464	849.48	2.3	81	2.9	2.3	2.9
2483	881.19	2.4	76	2.7	2.3	2.8
2512	898.13	2.5	65	2.3	2.2	2.6
2489	899.25	2.5	99	3.8	2.5	3.9
2506	959.90	2.7	87	3.2	2.6	3.3
2480	962.93	2.7	69	2.4	2.3	2.8
2490	972.43	2.7	71	2.5	2.4	2.8
2467	998.96	2.8	97	3.7	2.7	3.8
2510	1006.77	2.8	63	2.2	2.2	2.8
2502	1008.03	2.8	62	2.2	2.1	2.8
2498	1023.24	2.9	81	2.9	2.6	3.2
2524	1043.52	2.9	78	2.8	2.6	3.1
2515	1046.30	2.9	86	3.1	2.7	3.4
2478	1102.98	3.1	97	3.7	3.0	3.9
2491	1116.37	3.2	106	4.3	3.1	4.4
2469	1153.44	3.3	118	5.1	3.2	5.3
2472	1164.33	3.3	81	2.9	2.8	3.5
2507	1182.90	3.4	106	4.3	3.2	4.5
2520	1212.71	3.5	99	3.8	3.2	4.2
2504	1365.72	4.2	107	4.3	3.7	5.1
2549	1412.84	4.4	110	4.5	3.8	5.4
2538	1447.23	4.6	92	3.4	3.3	4.8
2537	1500.28	4.9	84	3.0	3.0	5.0
2493	1549.50	5.1	135	6.7	4.6	7.8
2495	1566.60	5.2	120	5.3	4.4	6.6
2488	1673.83	5.9	145	7.8	5.2	9.4
2499	1674.43	5.9	122	5.5	4.6	7.3
2496	1692.23	6.0	150	8.5	5.4	10.1
2517	1730.94	6.3	130	6.2	5.0	8.2
2494	1777.59	6.6	159	9.7	5.9	12.0
2548	1783.56	6.7	105	4.2	4.0	7.1
2476	1795.31	6.7	128	6.0	5.1	8.5
2485	1812.00	6.9	160	9.9	6.0	12.4
2482	2044.92	8.9	154	9.0	6.7	13.5
2492	2101.51	9.4	195	17.2	8.2	23.6
2486	2151.88	10.0	186	14.9	8.3	21.6
2481	2157.67	10.0	168	11.2	7.6	17.3
2521	2163.21	10.1	123	5.5	5.2	11.4
2518	2818.56	20.7	154	9.0	8.2	27.2
2513	3230.24	32.5	230	29.9	18.6	95.1
2514	3383.94	38.5	189	15.6	13.3	66.9
2516	3763.33	58.4	182	14.0	12.8	92.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-13 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก ของสถานี PE2

ปี พ.ศ.	ปริมาณ น้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	คาบการเกิด (ปี)	ปริมาตร น้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2536	447.9	1.02	499.11	1.04	1.01	1.05
2533	531.0	1.09	1091.20	1.28	1.07	1.31
2534	546.0	1.11	1568.88	1.62	1.10	1.64
2524	565.0	1.14	2660.88	3.0	1.14	3.0
2529	577.4	1.16	760.68	1.12	1.07	1.22
2541	599.0	1.20	375.64	1.02	1.01	1.21
2527	600.0	1.20	1111.93	1.29	1.13	1.39
2515	632.0	1.27	1254.61	1.38	1.18	1.51
2532	669.0	1.37	1751.42	1.79	1.31	1.91
2540	747.8	1.63	909.21	1.19	1.16	1.68
2535	753.0	1.65	1051.47	1.26	1.21	1.73
2546	767.5	1.70	899.96	1.18	1.16	1.75
2543	804.8	1.86	2346.85	2.5	1.72	2.8
2525	820.0	1.93	2355.36	2.5	1.77	2.8
2530	830.0	1.97	2279.97	2.4	1.78	2.8
2528	888.1	2.3	1796.53	1.83	1.67	2.6
2531	899.0	2.3	2122.37	2.2	1.87	2.9
2539	901.7	2.4	2492.07	2.7	2.0	3.3
2526	918.0	2.4	2826.84	3.3	2.2	3.8
2522	922.0	2.5	829.65	1.15	1.15	2.5
2523	934.0	2.5	2434.68	2.6	2.1	3.3
2537	1044.0	3.3	3941.98	6.1	3.2	6.8
2542	1067.7	3.5	2853.23	3.3	2.7	4.6
2547	1168.8	4.5	1752.45	1.79	1.77	4.7
2544	1293.0	6.0	2544.25	2.8	2.7	6.5
2514	1297.1	6.1	4586.64	8.7	5.4	10.5
2545	1334.4	6.6	6306.58	21.0	6.5	22.1
2548	1627.8	12.5	4905.71	10.3	8.6	16.2
2549	2022.7	26.4	6975.30	29.1	21.2	39.9
2516	2730.0	80.5	6293.81	20.9	20.6	84.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-14 คาบการเกิดและคาบการเกิดร่วมของปริมาตรน้ำหลากกับช่วงเวลาน้ำหลาก ของสถานี PE2

ปี พ.ศ.	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)	คาบการเกิด (ปี)	ช่วงเวลาน้ำหลาก (วัน)	คาบการเกิด (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "OR") (ปี)	คาบการเกิดร่วม (T "AND") (ปี)
2541	375.64	1.02	15	1.02	1.01	1.02
2536	499.11	1.04	25	1.07	1.04	1.08
2529	760.68	1.12	31	1.12	1.09	1.15
2522	829.65	1.15	27	1.09	1.08	1.16
2546	899.96	1.18	32	1.14	1.12	1.20
2540	909.21	1.19	34	1.16	1.13	1.21
2535	1051.47	1.26	33	1.15	1.14	1.27
2533	1091.20	1.28	49	1.40	1.26	1.42
2527	1111.93	1.29	48	1.38	1.27	1.41
2515	1254.61	1.38	48	1.38	1.31	1.45
2534	1568.88	1.62	75	2.2	1.62	2.2
2532	1751.42	1.79	75	2.2	1.77	2.2
2547	1752.45	1.79	47	1.36	1.35	1.79
2528	1796.53	1.83	63	1.75	1.68	1.92
2531	2122.37	2.2	89	3.0	2.2	3.0
2530	2279.97	2.4	75	2.2	2.1	2.5
2543	2346.85	2.5	98	3.6	2.5	3.7
2525	2355.36	2.5	94	3.3	2.5	3.4
2523	2434.68	2.6	73	2.1	2.1	2.7
2539	2492.07	2.7	76	2.2	2.2	2.8
2544	2544.25	2.8	93	3.2	2.7	3.4
2524	2660.88	3.0	107	4.5	3.0	4.5
2526	2826.84	3.3	103	4.1	3.2	4.2
2542	2853.23	3.3	115	5.5	3.3	5.6
2537	3941.98	6.1	100	3.8	3.8	6.1
2514	4586.64	8.7	113	5.3	5.2	8.7
2548	4905.71	10.3	133	9.0	8.6	10.8
2516	6293.81	20.9	127	7.6	7.6	20.9
2545	6306.58	21.0	169	26.3	20.4	27.3
2549	6975.30	29.1	151	15.1	15.1	29.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา MATLAB

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษานี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา MATLAB ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นและคาบการเกิด ประกอบด้วย 4 โปรแกรมหลัก ดังนี้

1. โปรแกรมคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก
2. โปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก
3. โปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี plotting position
4. โปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula

โปรแกรมทั้ง 4 มีความเชื่อมโยงกัน ดังรูปที่ ค-1 โดยผลลัพธ์ของโปรแกรมหนึ่งอาจเป็นข้อมูลนำเข้าสู่อีกโปรแกรมหนึ่งโดยตรง หรืออาจต้องผ่านการจัดการข้อมูลก่อนนำเข้าสู่อีกโปรแกรมหนึ่ง

รูปที่ ค-1 ผังแสดงความเชื่อมโยงของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา MATLAB

1. โปรแกรมคำนวณค่าปริมาตรน้ำหลากและช่วงเวลาน้ำหลาก

```
%This code determine flood volume and flood duration from hydrograph
%Determine by given flood threshold discharge(FTD)
clear
%Load variable name "daily" which contain average daily flow
%-----------------------------------------------------------------------------------------
load VDP1.mat;
%th is long term average daily flow
th=58;
n=length(daily);
y=size(daily,2);
[mp,indx]=max(daily);
for nn=1:y
sr(1,nn)=0;
dur(1,nn)=0;
for jj=indx(1,nn):n
    if daily(jj,nn)-th>=0
        sr(1,nn)=sr(1,nn)+daily(jj,nn);
        dur(1,nn)=dur(1,nn)+1;
    else
        break
    end
end
sl(1,nn)=0;
dul(1,nn)=0;
for k=indx(1,nn)-1:-1:1
    if daily(k,nn)-th>=0
        sl(1,nn)=sl(1,nn)+daily(k,nn);
        dul(1,nn)=dul(1,nn)+1;
    else
        break
    end
end
sv(1,nn)=(sr(1,nn)+sl(1,nn))*864/10000;
du(1,nn)=dur(1,nn)+dul(1,nn);
end
A=[sv;du];
fid = fopen('d:\as\thesis\result\P1\volume_P1_mean.txt','wt');
fprintf(fid,'volume(mcm)   duration(day)\n');
fprintf(fid,'%10.2f         %5.0f\n',A);
fclose(fid);
%-----------------------------------------------------------------------------
save RVDP1_mean.mat;
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรม</u>

ข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันในหน่วย ลบ.ม./วินาที เป็นเมตริกที่มีขนาด 366 วัน * จำนวนปีที่มีข้อมูล จัดเรียงข้อมูลตามปีน้ำ (1 เม.ย.- 31 มี.ค.) โดยแถวสุดท้ายสำหรับปีที่มี 365 วัน ให้ใส่ตัวเลข 0 ดังนี้

1 เม.ย. ปีที่ 1	14	17	20	15	16	17	12	...	1 เม.ย. ปีที่ n
2 เม.ย. ปีที่ 1	14	17	20	15	16	17	12	...	2 เม.ย. ปีที่ n
13	13	16	20	15	16	17	12	...	13
13	13	16	20	15	16	17	12	...	13
13	13	16	20	15	15	17	18	...	13
13	13	15	20	15	15	17	17	...	13
12	13	15	19	15	15	17	17	...	13
.	.	.	.	.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	.	.	.	.	...	.
0	0	20	0	0	0	12	0	...	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. โปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก
(ตัวอย่างกรณีความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุด)

```
%Univariate flood frequency analysis
%This code is determine probability distribution by log Pearson type III
%and Gumbel
%Instantaneous peak of Ping river basin station P1
clear
%Load variable name "peak" which contain instantaneous peak of flow record
%------------------------------------------------------------------------
load PP1.mat;
%lpeak = ln(x)
%mep=mean ln(x)
%sdp=standard deviation of ln(x)
%skp=skewness of ln(x)
%Log Pearson type III----------------------------------------------------
N=length(peak);
lpeak=log(peak);
mep=mean(lpeak);
sdp=std(lpeak);
skp=skewness(lpeak);
%CPDF by plotting position(Weibull)
%------------------------------------------------------------------------
rank=(1:N)';
WB=rank./(N+1);
%Log Pearson type 3 by frequency factor (K)
%p=probability of nonexceedance and t=return period
%LP3=CPDF of Log Pearson type 3 distribution
p=[0.001:0.0005:0.9995]';
t=1./(1-p);
z=norminv(p,0,1);
zp=norminv(WB,0,1);
p1=(1-p);
p2=(1-WB);
p11=norminv(p1,0,1);
p12=norminv(p2,0,1);
k=skp/6;
kt=z+(z.^2-1).*k+(1/3).*(z.^3-6.*z).*k^2-(z.^2-1).*k^3+z.*k^4+k^5/3;
ytp=mep+kt*sdp;
xtp=exp(ytp);
fid = fopen('d:\as\thesis\result\P1\xp_peak_P1.xls','wt');
fprintf(fid,'peak(cms)\n');
fprintf(fid,'%7.2f\n',xtp');
fclose(fid);
LP3=interp1(xtp,p,peak);
TLP3=1./(1-LP3);
%Gumbel------------------------------------------------------------------
xbar=mean(peak);
sdx=std(peak);
skx=skewness(peak);
Gkt=-sqrt(6)./pi.*(0.5772+log(log(t./(t-1))));
Gxtp=xbar+Gkt.*sdx;
GB=interp1(Gxtp,p,peak);
%plot graph for compare LP3 EVI and WB
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
figure(1)
plot(xtp,p11,'k',Gxtp,p11,'k:',peak,p12,'kx','LineWidth',1.5)
axis([0 1000 -3.72 3.10])
pa=[0.0001;0.0005;0.001;0.002;0.005;0.01;0.02;0.05;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;...
   0.6;0.7;0.8;0.9;0.95;0.96;0.97;0.98;0.99;0.995;0.998;0.999];
z1=norminv(pa,0,1);
set(gca,'xtick',[0;100;200;300;400;500;600;700;800;900;1000])
set(gca,'xticklabel',[0;100;200;300;400;500;600;700;800;900;1000])
set(gca,'ytick',[z1])
set(gca,'yticklabel',{0.0001;0.0005;'';0.002;0.005;0.01;0.02;0.05;...
    0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8;0.9;0.95;'';'';0.98;0.99;0.995;...
    0.998;0.999;},'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
grid on
xlabel({'flood peak (cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
       'cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'probability of exceedance';'ความน่าจะเป็นแบบ exceedance'},...
       'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
legend('LP3','EVI','Weibull',1)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\P_P.jpg')
%Goodness of fit test by Kolmogorov-Smirnov between WB and LP3
%CKS=critical value of KS at 80% confident interval
%tr=test result
%-------------------------------------------------------------------------
CKS=1.07/sqrt(N);
diff=LP3-WB;
KSLP=max(abs(LP3-WB));
if KSLP>CKS
    tr='ปฏิเสธ';
else
    tr='ยอมรับ';
end
%Gumbel test
difGB=GB-WB;
KSGB=max(abs(GB-WB));
if KSGB>CKS
    trG='ปฏิเสธ';
else
    trG='ยอมรับ';
end
%Discharge at any return period
%XT=discharge at given return period
P=[0.001;0.005;0.01;0.02;0.05;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8;...
    0.9;0.95;0.96;0.97;0.98;0.99;0.995;0.998;0.999;0.9995;0.9999];
T=1./(1-P);
pt=1./T;
Z=norminv(P,0,1);
KT=Z+(Z.^2-1).*k+(1/3).*(Z.^3-6.*Z).*k^2-(Z.^2-1).*k^3+Z.*k^4+k^5/3;
YT=mep+KT*sdp;
XT=exp(YT);
TWB=1./(1-WB);
zz=norminv(WB,0,1);
figure(2)
plot(z,xtp,'k',z,Gxtp,'k:',zz,peak,'ks','markersize',3,'LineWidth',1.5)
axis([-3.1 3.72 0 1000])
set(gca,'ytick',[0;100;200;300;400;500;600;700;800;900;1000])
set(gca,'yticklabel',[0;100;200;300;400;500;600;700;800;900;1000])
```

```
set(gca,'XTick',[Z])
set(gca,'XTickLabel',{'1.001','','1.01','','1.05','','1.25','',...
    '','2','','','5','10','20','','','50','100','','500','','2000',''},...
    'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
ax1=gca;
grid on
xlabel({'return period (year)';'คาบการเกิด (ปี)'},'fontname','cordiaupc',...
       'fontsize',14)
ylabel({'flood peak (cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
       'cordiaupc','fontsize',14)
legend('LP3','EVI','Weibull',2)
ax2 = axes('Position',get(ax1,'Position'),...
           'XAxisLocation','top',...
           'YAxisLocation','right',...
           'Color','none',...
           'XColor','k','YColor','k');
axis([-3.1 3.72 0 1000])
set(gca,'XTick',[Z])
set(gca,'XTickLabel',{'99.9','','99','98','95','90','80','70','',...
    '50','40','','20','10','5','','','2','1','','0.2','','0.05','0.01'},...
    'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
set(gca,'YTickLabel',[])
xlabel({'probability of exceedance (%)'},'fontname','cordiaupc',...
      'fontsize',13)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\P_T_LP3_GB_WB.jpg')
A=[LP3';peak'];
fid = fopen('d:\as\thesis\result\P1\Prob_peak_P1.txt','wt');
fprintf(fid,'nonexceedance prob     peak(cms)\n');
fprintf(fid,'   %9.6f            %7.2f\n',A);
fclose(fid);
save RPP1.mat;
```

<u>ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรม</u>

ข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลอนุกรมปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปี โดยจัดเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก เป็นเมตริกขนาด n * 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. โปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี plotting position (สมการ Weibull)
(ตัวอย่างกรณีความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก)

```
% This code determine joint probability by plotting position
% Load variable 'rp & rv' from JPpv_P1mean.mat
clear
load JPpv_P1mean.mat;
n=length(rp);
for ii=1:n
    r(ii,1)=0;
    for jj=1:ii
        if rv(ii,1)-rv(jj,1)>=0
            r(ii,1)=r(ii,1)+1;
        else
        end
    end
        if r(ii,1)>rp(ii,1)
           r(ii,1)=rp(ii,1);
        else
        end
    jpob(ii,1)=r(ii,1)./(n+1);
end
fid = fopen('d:\as\thesis\result\P1\mean_jointprob_PV_OB.xls','wt');
fprintf(fid,'Cumulative joint probability(observe)\n');
fprintf(fid,'%12.6f\n',jpob);
fclose(fid);
save RJPpv_P1mean.mat;
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรม</u>

ข้อมูลนำเข้าเป็นลำดับที่จากการจัดเรียงค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลากจากน้อยไปหามาก ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 2 3 ... n จัดเป็นเมตริกขนาด n * 1 การจัดเรียงจะยึดค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเป็นหลัก โดยลำดับที่ของปริมาณน้ำหลากสูงสุด (rp) มีค่าตั้งแต่ 1 2 ... n และลำดับที่ของปริมาตรน้ำหลาก (rv) มีค่าตามคู่ของปริมาณน้ำหลากสูงสุดในลำดับนั้นๆ ดังตัวอย่าง

ลำดับที่ของ ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (rp)	ลำดับที่ของ ปริมาตรน้ำหลาก (rv)
1	3
2	4
3	2
4	12
5	1
6	9
7	13
8	5
9	27
10	25
11	32
12	6
.	.
.	.
.	.
n	.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. **โปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี** Copula

(ตัวอย่างกรณีความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก)

```
%This code is determine joint probability distribution by copula method
clear
%Load variable name 'op(peak)' and 'ov(volume)' from dataPV_P1mean.mat
%Load variable name 'jpob','peak','volume' from RJPpv_P1mean.mat
%Load variable name 'z','Z' from RPP1.mat
%-------------------------------------------------------------------------
load dataPV_P1mean.mat;
load ('RJPpv_P1mean.mat','jpob','peak','volume');
load ('RPP1.mat','z','Z');
%Determine Kendall's correlation coefficient(Tau)
n=length(op);
kk=0;
for ss=1:n-1
    for tt=ss+1:n
        kk=kk+1;
        cop(kk,1)=op(ss,1);
        cop(kk,2)=op(tt,1);
        cov(kk,1)=ov(ss,1);
        cov(kk,2)=ov(tt,1);
    end
end
difp=cop(:,1)-cop(:,2);
difv=cov(:,1)-cov(:,2);
m=length(difp);
cpv=0;
dpv=0;
np=0;
nv=0;
for ii=1:m
    if difp(ii,1).*difv(ii,1)>0
      cpv=cpv+1;
    elseif difp(ii,1)==0
      np=np+1;
    elseif difv(ii,1)==0
      nv=nv+1;
    else
      dpv=dpv+1;
    end
end
taupv=(cpv-dpv)./sqrt((m-np).*(m-nv));
TAU=corr(op,ov,'type','kendall');
%Determine parameter of copula function
zgb=fsolve(@(x)1-1./x-taupv,2);
zamh=fsolve(@(x)(3.*x-2)./x-(2/3).*(1-1./x).^2.*log(1-x)-taupv,0.7);
zct=fsolve(@(x)x/(x+2)-taupv,2);
p=[0.001:0.0005:0.9995]';
%Compute JCPDF by Gumbel-hougaard , Ali-Mikhail-Hag and Clayton copula
CpvGB=exp(-((-log(probp)).^zgb+(-log(probv)).^zgb).^(1./zgb));
CpvAMH=(probp.*probv)./(1-zamh.*(1-probp).*(1-probv));
CpvCT=(probp.^-zct+probv.^-zct-1).^-(1./zct);
%Goodness of fit test by Kolmogorov-Smirnov between Theory and observe
```

```
%CKS=critical value of KS at 20%
%tr=test result
%-----------------------------------------------------------------------
KSC=1.07/sqrt(n);
KSGB=max(abs(CpvGB-jpob));
if KSGB>KSC
   trGB='ปฏิเสธ';
else
   trGB='ยอมรับ';
end
KSAMH=max(abs(CpvAMH-jpob));
if KSAMH>KSC
   trAMH='ปฏิเสธ';
else
   trAHM='ยอมรับ';
end
KSCT=max(abs(CpvCT-jpob));
if KSCT>KSC
   trCT='ปฏิเสธ';
else
   trCT='ยอมรับ';
end
fid = fopen('d:\as\thesis\result\P1\CpvGB_mean_P1.xls','wt');
fprintf(fid,'JCPDF Gumbel-Hougaard\n');
fprintf(fid,'%10.6f\n',CpvGB');
fclose(fid);
JTor=1./(1-CpvGB);
JTand=1./(1-probp-probv+CpvGB);
figure(1)
plot3(peak,volume,jpob,'kx',peak,volume,CpvGB,'ks');
xlabel({'flood peak(cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood volume(mcm)';'ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
zlabel({'cumulative joint probability';'ความน่าจะเป็นร่วมสะสม'},...
      'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
set(gca,'zticklabel',[0;0.2;0.4;0.6;0.8;1])
legend('Weibull','Gumbel-Hougaard',1)
grid on
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\mean_OB_PV_GBH.jpg')
pvs=sort(probv);
[a,b]=meshgrid(probp,pvs);
vs=sort(volume);
[e,f]=meshgrid(peak,vs);
c=exp(-((-log(a)).^zgb+(-log(b)).^zgb).^(1./zgb));
figure(2)
mesh(e,f,c);
xlabel({'flood peak(cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood volume(mcm)';'ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
zlabel({'joint CDF';'ความน่าจะเป็นร่วมสะสม'},...
      'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
set(gca,'zticklabel',[0;0.2;0.4;0.6;0.8;1])
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\mean_JCDF_PV_GBH.jpg')
[g,k]=meshgrid(p,p);
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
d=exp(-((-log(g)).^zgb+(-log(k)).^zgb).^(1./zgb));
V=[0.2 0.5 0.8 0.9 0.95 0.98 0.99 0.995 0.998];
figure(3)
[C,h]=contour(xp,xv,d,V,'k');
clabel(C,h);
axis([200 max(xp) 0 max(xv)])
xlabel({'flood peak(cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood volume(mcm)';'ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\mean_Contour_PV_GBH.jpg')
tor=1./(1-d);
Tor=[1.25 2 5 10 20 50 100 200 500];
figure(4)
[C,h]=contour(xp,xv,tor,Tor,'k');
clabel(C,h);
axis([200 max(xp) 0 max(xv)])
xlabel({'flood peak(cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood volume(mcm)';'ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\mean_Tor_PV_GBH.jpg')
tand=1./(1-g-k+d);
Tand=[1.25 2 5 10 20 50 100 200 500 1000];
figure(5)
[C,h]=contour(xp,xv,tand,Tand,'k');
clabel(C,h);
xlabel({'flood peak(cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood volume(mcm)';'ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)'},'fontname',...
      'cordiaupc','fontsize',14)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\mean_Tand_PV_GBH.jpg')
jpGB=sort(CpvGB);
jpAMH=sort(CpvAMH);
jpCT=sort(CpvCT);
figure(6)
aa=(1-asjp);
ab=(1-jpGB);
z9=norminv(aa,0,1);
z10=norminv(ab,0,1);
plot(1:n,z9,'kx',1:n,z10,'k')
axis([0 90 -2.33 3.1])
pa=[0.01;0.02;0.05;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8;0.9;...
  0.95;0.96;0.97;0.98;0.99;0.995;0.998;0.999];
z11=norminv(pa,0,1);
set(gca,'ytick',[z11])
set(gca,'yticklabel',{0.01;0.02;0.05;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;...
   0.8;0.9;0.95;'';'';0.98;0.99;0.995;0.998;0.999;},...
   'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
grid on
xlabel({'corresponding order number of a combination of pi and vi';...
       'ลำดับความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดและปริมาตรน้ำหลาก'},...
       'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'joint probability of exceedance';'ความน่าจะเป็นร่วมแบบ exceedance'},...
       'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
legend('Weibull','Gumbel-Hougaard',1)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\test_CJPV.jpg')
%condition joint return period (peak given volume)
cv=0.9;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z1=norminv(CP,0,1);
cv=0.95;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z2=norminv(CP,0,1);
cv=0.98;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z3=norminv(CP,0,1);
cv=0.99;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z4=norminv(CP,0,1);
cv=0.995;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z5=norminv(CP,0,1);
cv=0.998;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z6=norminv(CP,0,1);
cv=0.999;
CP=exp(-((-log(p)).^zgb+(-log(cv)).^zgb).^(1./zgb))./cv;
z7=norminv(CP,0,1);
figure(7)
plot(z1,xp,'k',z2,xp,'k--',z3,xp,'k:',z4,xp,'k-.',z5,xp,'k',z6,xp,'k--',...
    z7,xp,'k:',z,xp,'k-.')
axis([-3.1 3.72 0 1000])
set(gca,'YTick',[0;100;200;300;400;500;600;700;800;900;1000])
set(gca,'YTicklabel',[0;100;200;300;400;500;600;700;800;900;1000])
set(gca,'XTick',[Z])
set(gca,'XTickLabel',{'1.001','','1.01','','1.05','','1.25','','','2',...
    '','','5','10','20','','','50','100','','500','','2000',''},...
    'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
ax1=gca;
grid on
xlabel({'conditional return period (year)';'คาบการเกิดแบบมีเงื่อนไข (ปี)'},...
        'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood peak (cms)';'ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)'},'fontname',...
        'cordiaupc','fontsize',14)
legend ('V=10','V=20','V=50','V=100','V=200','V=500','V=1000','peak',2)
ax2 = axes('Position',get(ax1,'Position'),...
           'XAxisLocation','top',...
           'YAxisLocation','right',...
           'Color','none',...
           'XColor','k','YColor','k');
axis([-3.1 3.72 0 1000])
set(gca,'XTick',[Z])
set(gca,'XTickLabel',{'99.9','','99','98','95','90','80','70','',...
    '50','40','','20','10','5','','','2','1','','0.2','','0.05','0.01'},...
    'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
set(gca,'YTicklabel',[])
xlabel({'probability of exceedance (%)'},'fontname','cordiaupc',...
      'fontsize',13)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\Con_JTPV_GBH.jpg')
%-----------------------------------------------------------------------
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
%condition joint return period (volume given peak)
cp=0.9;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z1=norminv(CV,0,1);
cp=0.95;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z2=norminv(CV,0,1);
cp=0.98;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z3=norminv(CV,0,1);
cp=0.99;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z4=norminv(CV,0,1);
cp=0.995;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z5=norminv(CV,0,1);
cp=0.998;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z6=norminv(CV,0,1);
cp=0.999;
CV=exp(-((-log(cp)).^zgb+(-log(p)).^zgb).^(1./zgb))./cp;
z7=norminv(CV,0,1);
figure(8)
plot(z1,xv,'k',z2,xv,'k--',z3,xv,'k:',z4,xv,'k-.',z5,xv,'k',z6,xv,'k--',...
    z7,xv,'k:',z,xv,'k-.')
axis([-3.1 3.72 0 7000])
set(gca,'YTick',[0;1000;2000;3000;4000;5000;6000;7000])
set(gca,'YTicklabel',[0;1000;2000;3000;4000;5000;6000;7000])
set(gca,'XTick',[Z])
set(gca,'XTickLabel',{'1.001','','1.01','','1.05','','1.25','','','2',...
    '','','5','10','20','','','50','100','','500','','2000',''},...
    'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
ax1=gca;
grid on
xlabel({'conditional return period (year)';'คาบการเกิดแบบมีเงื่อนไข (ปี)'},...
        'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
ylabel({'flood volume (mcm)';'ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม.)'},'fontname',...
        'cordiaupc','fontsize',14)
legend ('P=10','P=20','P=50','P=100','P=200','P=500','P=1000','volume',2)
ax2 = axes('Position',get(ax1,'Position'),...
           'XAxisLocation','top',...
           'YAxisLocation','right',...
           'Color','none',...
           'XColor','k','YColor','k');
axis([-3.1 3.72 0 7000])
set(gca,'XTick',[Z])
set(gca,'XTickLabel',{'99.9','','99','98','95','90','80','70','',...
    '50','40','','20','10','5','','','2','1','','0.2','','0.05','0.01'},...
    'fontname','cordiaupc','fontsize',14)
set(gca,'YTicklabel',[])
xlabel({'probability of exceedance (%)'},'fontname','cordiaupc',...
      'fontsize',13)
saveas (gcf,'d:\as\thesis\graph\P1\Con_JTVP_GBH.jpg')
save RTau_pv_P1mean.mat;
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรม</u>

ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรมวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี Copula มี 2 กรณี คือ 1. ข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่โปรแกรมโดยตรง 2.ข้อมูลที่เชื่อมโยงมาจากผลการคำนวณของโปรแกรมที่ 2 และ 3 (โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก และโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี plotting position)

1. ข้อมูลที่นำเข้าโปรแกรมโดยตรงประกอบด้วย ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (op) และปริมาตรน้ำหลาก (ov) จัดเรียงตามปีที่จดบันทึก เป็นเมตริกขนาด n*1 ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากสูงสุด(probp) เรียงจากน้อยไปมาก และความน่าจะเป็นของปริมาตรน้ำหลาก (probv) เรียงตามคู่ปีของปริมาณน้ำหลากสูงสุด เป็นเมตริกขนาด n*1 ความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลาก(asjp) เป็นเมตริกขนาด n*1 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด(xp) และปริมาตรน้ำหลาก(xv) ที่ความน่าจะเป็นต่างๆ เรียงจากน้อยไปมาก เป็นเมตริกขนาด m*1 ขึ้นกับความละเอียดที่ต้องการคำนวณ โดยมีตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลดังนี้

op	ov	probp	probv	asjp	xp	xv
321	849.48	0.016576	0.024326	0.011494	83.01	10.41
245	524.53	0.018217	0.026297	0.011494	89.94	12.9
331	221.1	0.019187	0.01741	0.011494	95.27	15.05
382	998.96	0.025245	0.12269	0.022989	99.67	16.99
344	633.31	0.027997	0.01623	0.057471	103.44	18.77
271	1153.4	0.035588	0.10921	0.045977	106.77	20.43
412	832.72	0.041038	0.12721	0.057471	109.75	22
283	298.34	0.048329	0.037899	0.08046	112.47	23.49
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
n	n	n	n	n	m	m

2. ข้อมูลนำเข้าที่เชื่อมโยงมาจากผลการคำนวณของโปรแกรมที่ 2 และ 3 (โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและคาบการเกิดของตัวแปรหลัก และโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมโดยวิธี plotting position) ประกอบด้วย ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุด(peak) เรียงจากน้อยไปมาก และปริมาตรน้ำหลาก(volume) จัดเรียงตามคู่ปีของปริมาณน้ำหลากสูงสุด เป็นเมตริกขนาด n*1 ค่าความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับปริมาตรน้ำหลากโดยวิธี plotting position (jpob) ค่า standard normal variable (z) เป็นเมตริกขนาด m*1 ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการคำนวณ

ภาคผนวก ง.

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ระหว่างการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลจากการศึกษาของสุดารัตน์ คำปลิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดารัตน์ คำปลิว (2542) ได้ศึกษาขนาดและความถี่น้ำหลากที่คาบการเกิดต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ ซึ่งครอบคลุมทั้ง 3 สถานีที่ได้ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แต่เนื่องจากปัจจุบันมีจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้นประมาณ 10 ปี ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป โดยสรุปได้ดังตารางที่ ง-1 ถึง ง-3

ตารางที่ ง-1 เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P20 จากการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลปีพ.ศ.2522-2539

คาบการเกิด (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	
	ข้อมูลปี พ.ศ.2522-2539	ข้อมูลปี พ.ศ.2522-2549
2	150.4	155.0
5	240.1	255.0
10	303.5	327.9
20	366.5	401.8
25	386.9	425.9
50	450.7	502.6
100	515.7	581.9
200	582.1	664.1
500	672.3	777.5
1000	742.4	867.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

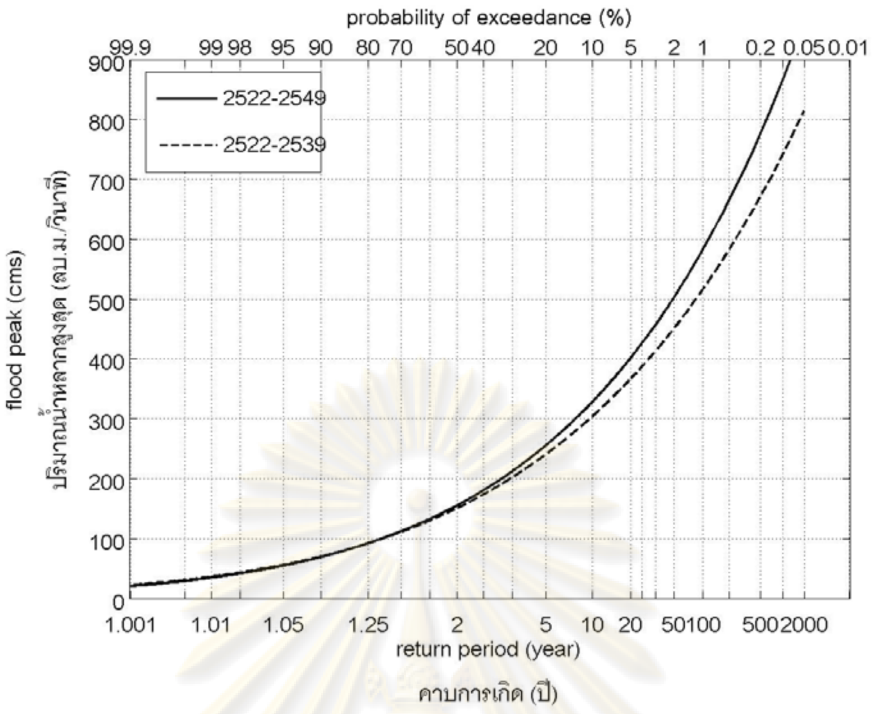
ตารางที่ ง-2 เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี P1 จากการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลปีพ.ศ.2464-2539

คาบการเกิด	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	
(ปี)	ข้อมูลปี พ.ศ.2464-2539	ข้อมูลปี พ.ศ.2464-2549
2	398.5	394.3
5	510.6	519.8
10	569.5	587.9
20	617.2	644.2
25	630.8	660.4
50	668.9	706.5
100	701.8	746.9
200	730.7	782.8
500	763.8	824.6
1000	785.6	852.7

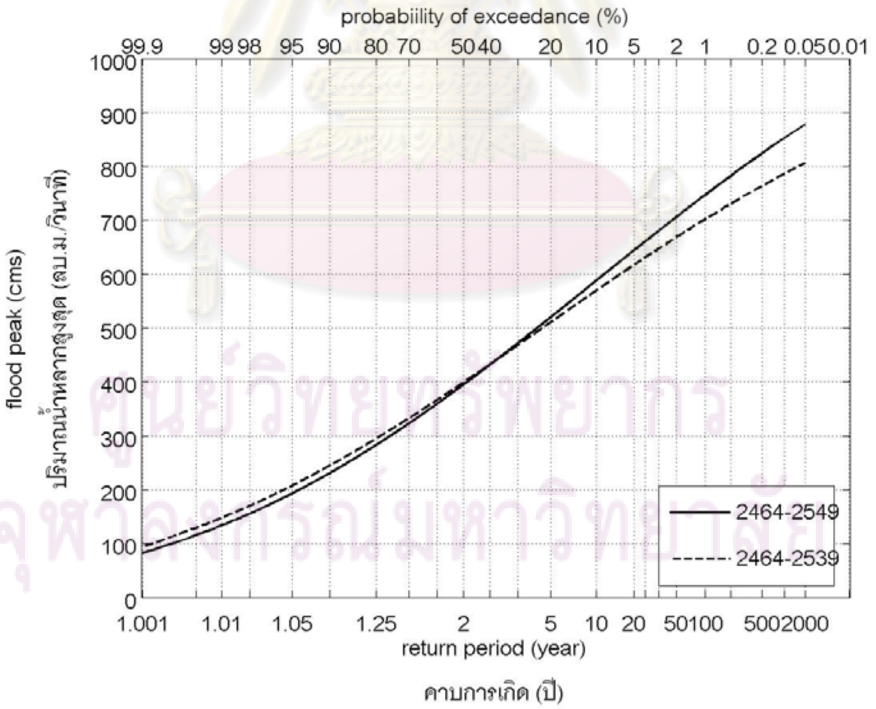
ตารางที่ ง-3 เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คาบการเกิดต่างๆ ของสถานี PE2 จากการใช้ชุดข้อมูลปัจจุบันกับชุดข้อมูลปีพ.ศ.2514-2537

คาบการเกิด	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	
(ปี)	ข้อมูลปี พ.ศ.2514-2537	ข้อมูลปี พ.ศ.2514-2549
2	728.1	835.4
5	1056.6	1211.6
10	1360.8	1521.2
20	1734.4	1869.8
25	1872.7	1992.0
50	2369.8	2408.1
100	2990.2	2887.1
200	3766.4	3440.1
500	5103.0	4306.0
1000	6418.4	5081.6

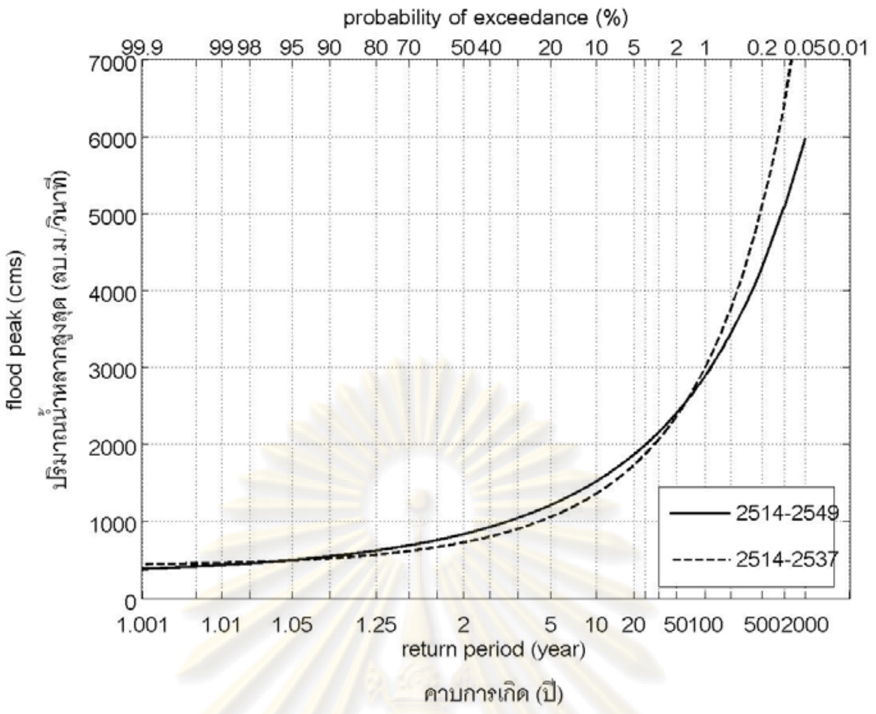
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-1 คาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานี P20 จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล 2 ชุด



รูปที่ ง-2 คาบการเกิดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานี P1 จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล 2 ชุด



รูปที่ ง-3 คาบการเกิดปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานี PE2 จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล 2 ชุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ประวัติสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติสถานีสำรวจอุทกวิทยาแม่น้ำปิง (P20)

บ้านเชียงดาว ต.เชียงดาว อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่

กรมชลประทาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติสถานี รหัส P20

1. ที่ตั้ง แม่น้ำปิง บ้านเชียงดาว ตำบลเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

พิกัด ละติจูด 19°22′04″ ลองติจูด 98°58′21″

แผนที่ระวาง 4747 I

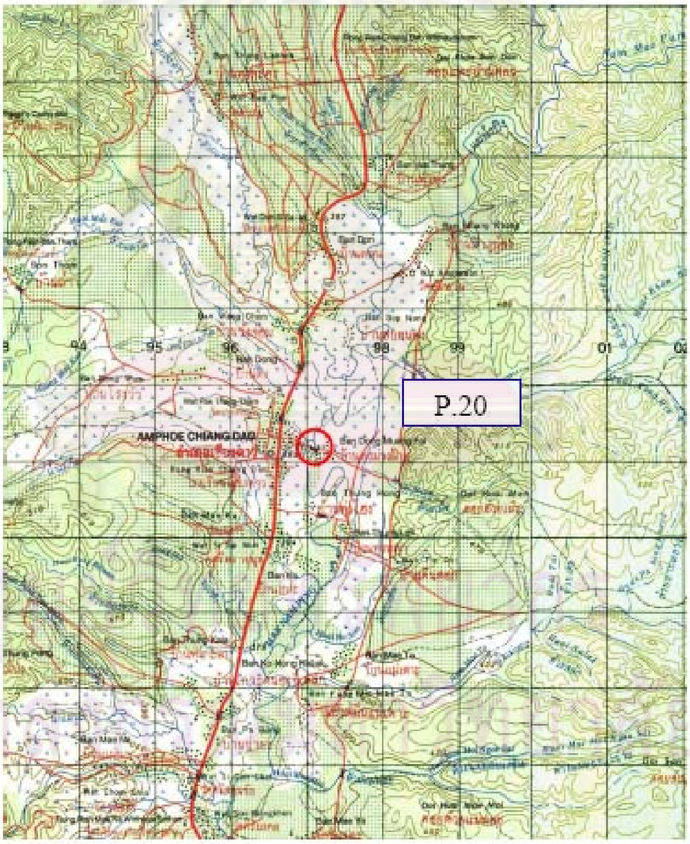
พื้นที่รับน้ำ 1,355 ตารางกิโลเมตร

ความยาวจากต้นน้ำถึงสถานีสำรวจ 87.4 กิโลเมตร

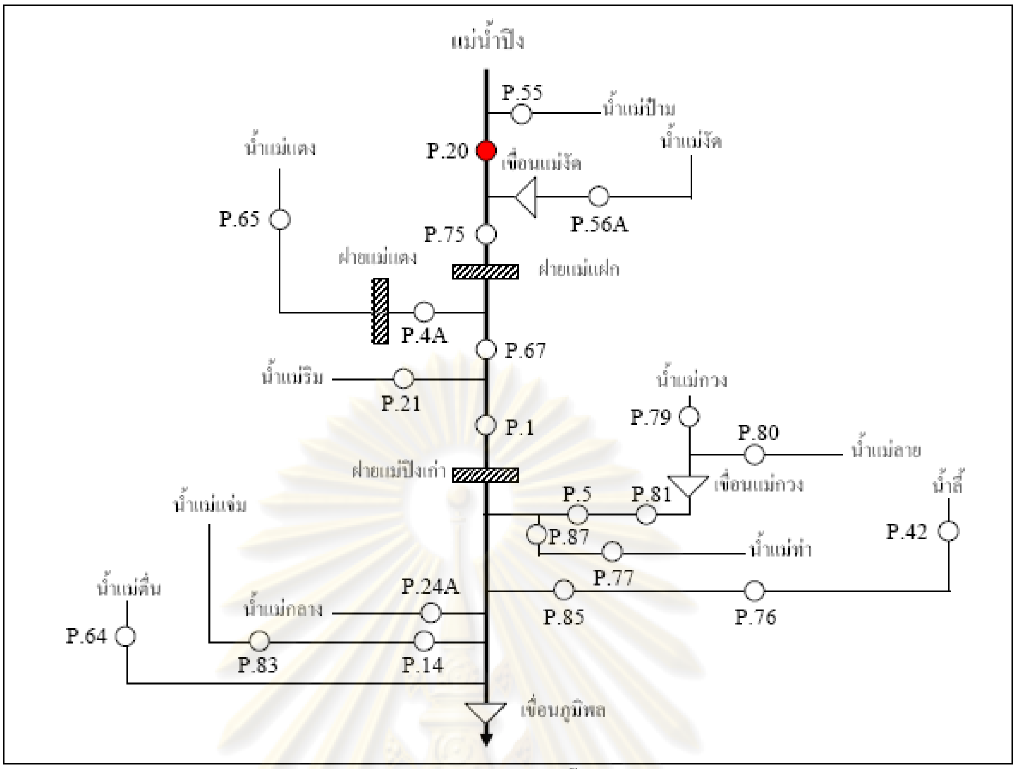
เปิดเพื่อวัตถุประสงค์ พัฒนาแหล่งน้ำ

กำหนดที่ตั้งหน่วยสำรวจโดย นายณรงค์ ปัญจะ ตำแหน่ง เจ้าพนักงานอุทกวิทยา 6

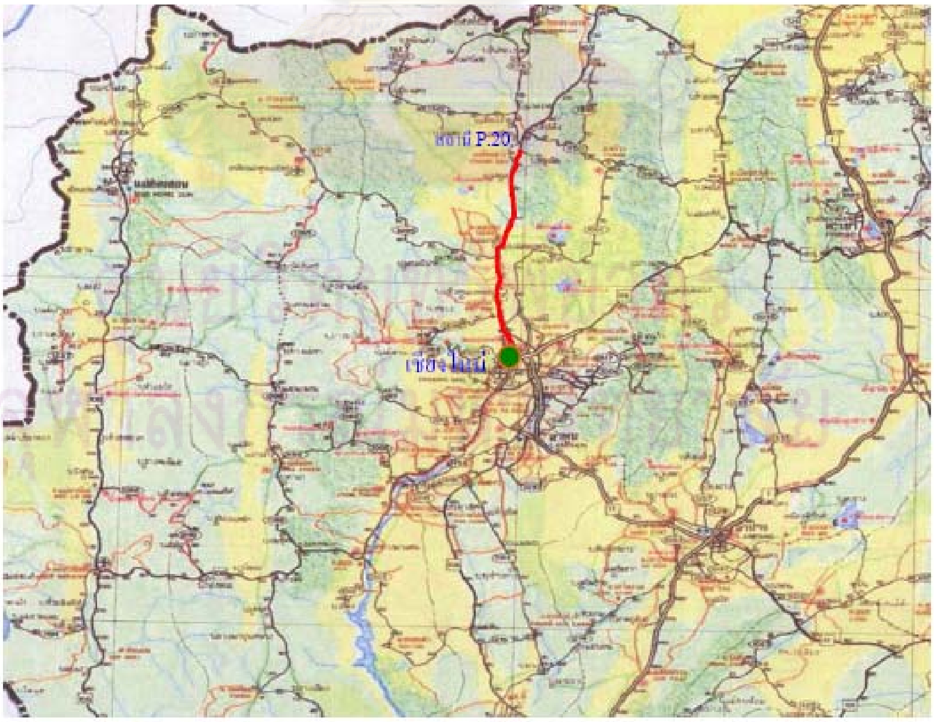
เมื่อ 1 เมษายน พ.ศ.2497



รูปที่ จ-1 ที่ตั้งสถานี P20 จากแผนที่ 1:50,000

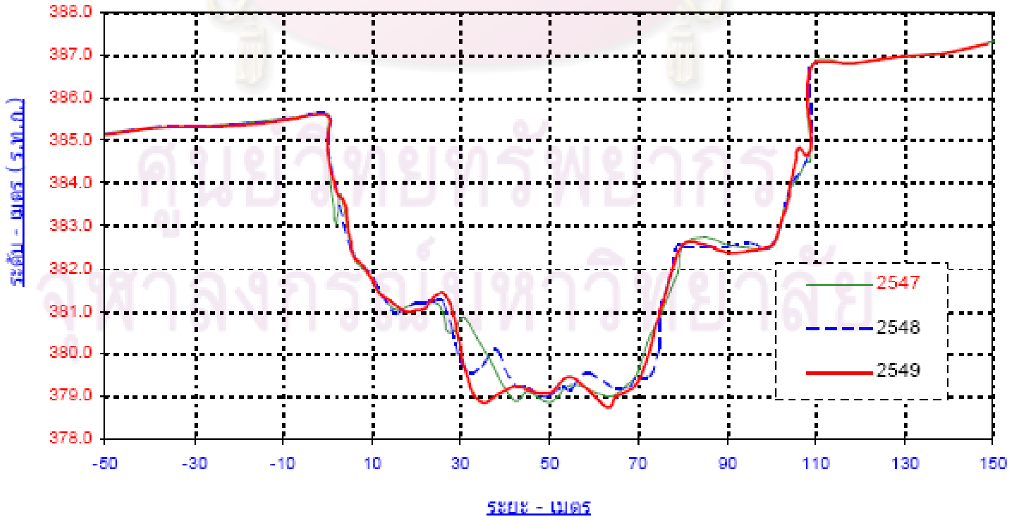


รูปที่ จ-2 แผนผังลุ่มน้ำปิงตอนบน



รูปที่ จ-3 แผนที่สังเขปการเดินทางไปสถานี P20

2. ลักษณะภูมิประเทศ ที่ราบเชิงเขา
3. ลักษณะลำน้ำ เหนือแนวสำรวจ ลำน้ำตรงประมาณ 60 เมตร
   ท้ายแนวสำรวจ ลำน้ำตรงประมาณ 80 เมตร
4. ลักษณะท้องน้ำ ทราย
5. รูปร่างลำน้ำเป็นรูป ตัว U กว้างประมาณ 109 เมตร
   ระดับตลิ่งฝั่งซ้าย 385.588 ม.รทก. มีลักษณะสูงชัน มีการปลูกผักสวนครัว
   ระดับตลิ่งฝั่งขวา 386.694 ม.รทก. มีลักษณะสูงชัน มีการปลูกผักสวนครัว
6. ความลาดชัน 1:325
7. สิ่งกีดขวาง ไม่มี
8. หมุดหลักฐาน ถาวร ชนิด มาตรฐานทองเหลือง ขนาด 30*30 ซม.



รูปที่ จ-4 รูปตัดขวางแม่น้ำปิง สถานี P20 อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. เสาระดับ จำนวน 3 ต้น รวม 5.00 เมตร

ต้นที่ 1 เป็น คสล. ติดแผ่น 0.00 เมตร ถึง 1.00 เมตร ทาสีขาว

ต้นที่ 2 เป็น คสล. ติดแผ่น 1.00 เมตร ถึง 3.00 เมตร ทาสีขาว

ต้นที่ 3 เป็น คสล. ติดแผ่น 3.00 เมตร ถึง 5.00 เมตร ทาสีขาว

10. ศูนย์เสาระดับ 379.900 ม.รทก.

11. เครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ ยี่ห้อ SEBA หมายเลข No. 302

รูปที่ จ-5 เสาระดับ

รูปที่ จ-6 สถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ

ที่มา : ฝ่ายวิเคราะห์และประมวลสถิติ

ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน กรมชลประทาน

ประวัติสถานีสำรวจอุทกวิทยาแม่น้ำปิง (P1)

ต.วัดเกตุ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

กรมชลประทาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติสถานีสะพานนวรัฐ รหัส P1

1. ที่ตั้ง แม่น้ำปิง ตำบลวัดเกตุ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

   พิกัด ละติจูด 18°47′09″ ลองติจูด 99°00′29″

   แผนที่ระวาง 4846 IV

   พื้นที่รับน้ำ 6,355 ตารางกิโลเมตร

   ความยาวจากต้นน้ำถึงสถานีสำรวจ 169 กิโลเมตร

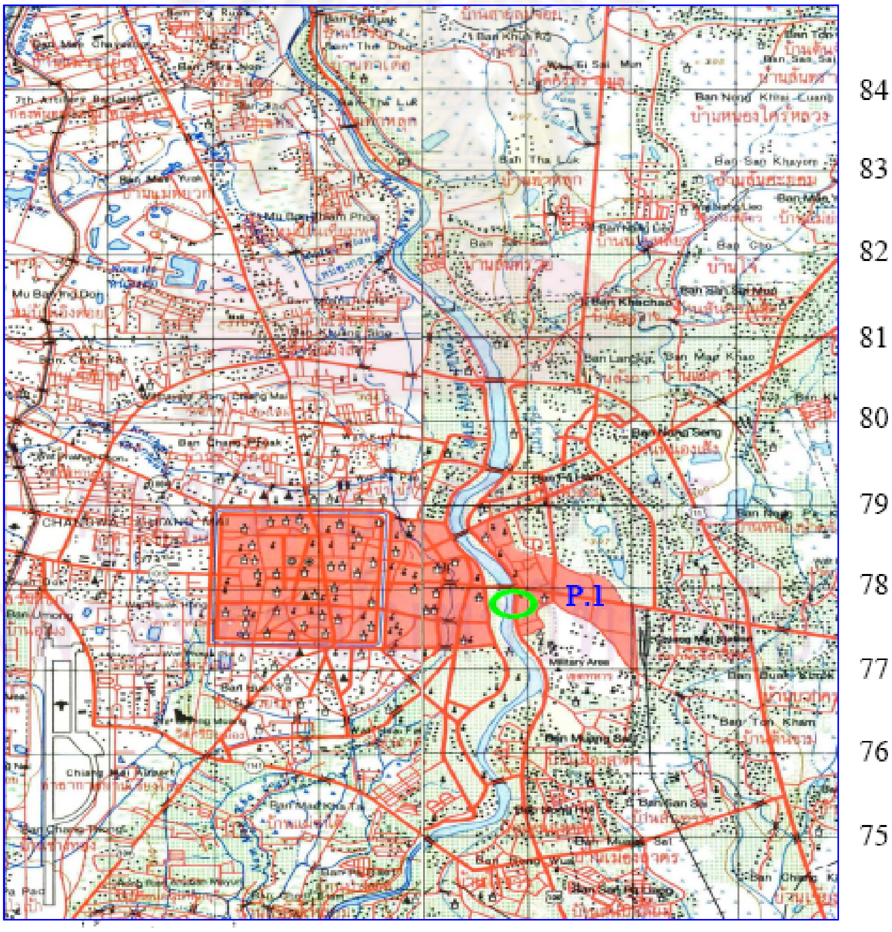
   เปิดเพื่อวัตถุประสงค์ พัฒนาแหล่งน้ำ

   กำหนดที่ตั้งหน่วยสำรวจ เมื่อ พ.ศ.2464

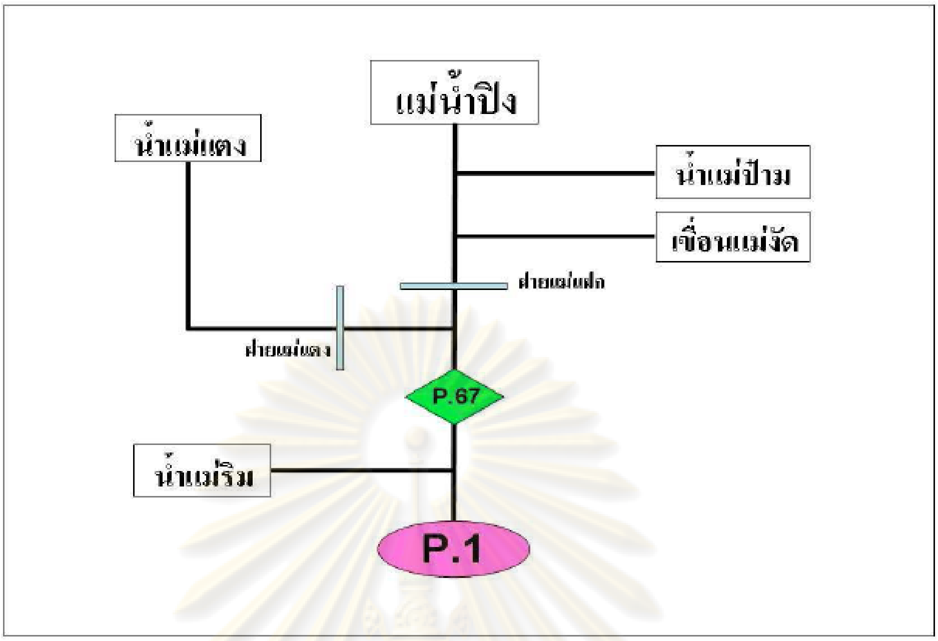
2. ลักษณะภูมิประเทศ ที่ราบลุ่ม

3. ลักษณะลำน้ำ เหนือแนวสำรวจ ลำน้ำตรงประมาณ 350 เมตร

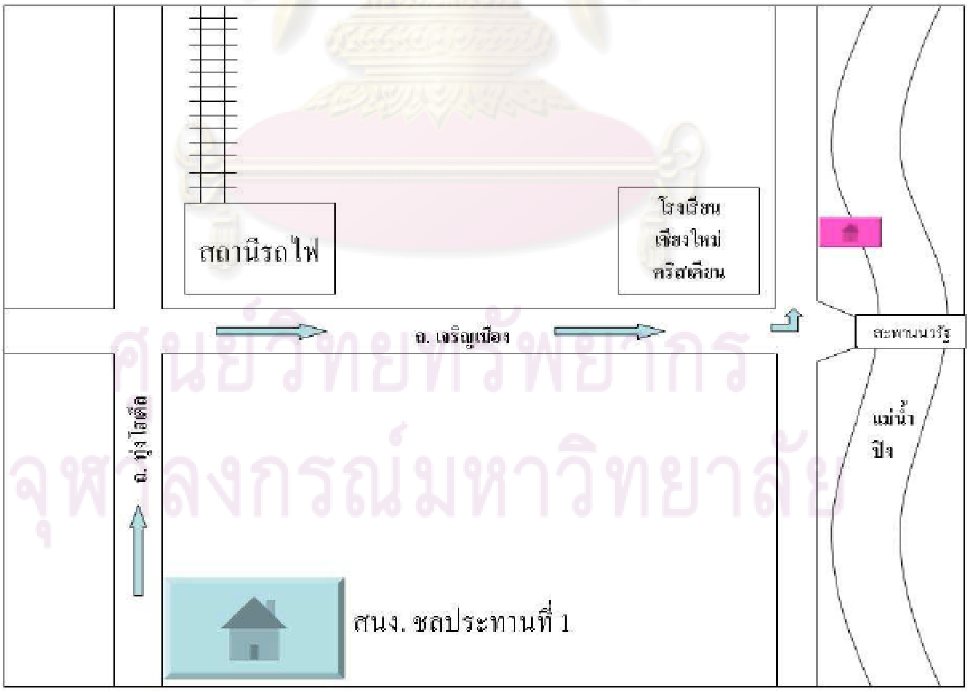
   ท้ายแนวสำรวจ ลำน้ำตรงประมาณ 200 เมตร



รูปที่ จ-7 ที่ตั้งสถานี P1 จากแผนที่ 1:50,000



รูปที่ จ-8 แผนผังแสดงลำน้ำปิงของสถานี P1



รูปที่ จ-9 แผนผังการเดินทางจากสำนักงานชลประทานที่ 1 ไปยังสถานี P1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ลักษณะท้องน้ำ ทราย

5. รูปร่างลำน้ำเป็นรูป ตัว U กว้างประมาณ 100 เมตร

ระดับตลิ่งฝั่งซ้าย 305.116 ม.รทก. มีวัชพืชปกคลุม

ระดับตลิ่งฝั่งขวา 302.430 ม.รทก. มีวัชพืชปกคลุม

6. ความลาดชัน 1:666

7. ความสูงท้องน้ำเทียบกับระดับน้ำทะเล 299.040 ม.รทก.

8. สิ่งกีดขวาง ฝายอยู่ท้ายแนวสำรวจ 700 เมตร

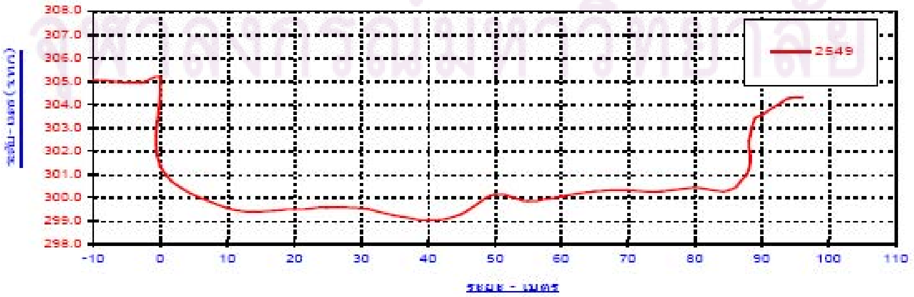
9. หมุดหลักฐาน ถาวร ชนิด มาตรฐานทองเหลือง ขนาด 30*30 ซม.
ตั้งอยู่ที่บาทวิถีหน้าป้อม ฝั่งซ้ายของลำน้ำ
ระดับ 305.31 ม.รทก. สถานที่ใกล้เคียง เชิงสะพานนวรัฐ

10. แผ่นระดับติดตอม่อสะพาน ตอม่อที่ 1 ติดแผ่น 1.00 เมตร ถึง 6.00 เมตร

11. ศูนย์เสาระดับ 300.500 ม.รทก.

12. เครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ ยี่ห้อ SEBA หมายเลข No. X1-307
ติดตั้งเมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ.2516

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ-10 รูปตัดขวางแม่น้ำปิง สถานี P1 อ.เมือง จ.เชียงใหม่

รูปที่ จ-11 รูปบริเวณสถานี P1 และเครื่องมือตรวจวัด

13. เริ่มสำรวจระดับน้ำเมื่อ พ.ศ.2464

14. เครื่องมือตรวจวัดทางโทรมาตร

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ยี่ห้อ	รุ่น	S/N
1	tipping bucket raingauge	1	เครื่อง	Hydro Service	TB3/10. mm	05-472
2	water level gauge float type	1	เครื่อง	Hydro Service	AD375A	05-38
3	remote terminal unit	1	ชุด	Motorola	F6900A	214SFA0251
	G18 modem GSM/GPRS	1	module	Motorola	FLN9949A	-
	16 DI module	1	module	Motorola	FRN1420A	-
	8 AI module	1	module	Motorola	FRN1421C	-
	220 V AC power supply	1	module	Motorola	FPN5223A	-
4	surge protection devices	1	ชุด	Surge tek	PLP-SD100K	5071003
5	UPS	1	ชุด	Syndome	SD-050	108050026
6	AC volt transducer for power fail detection relay	1	set	PARADIN	253TVLW	-
7	door switch	1	set	-		-

15. เริ่มสำรวจปริมาณน้ำเมื่อ พ.ศ.2464 – ปัจจุบัน แบบหน่วยเคลื่อนที่

16. เริ่มสำรวจอุตุเมื่อ เดือนธันวาคม พ.ศ.2517

17. ขนาดคอกอุตุ กว้าง 7.50 เมตร ยาว 10.00 เมตร

ประกอบด้วย หม้อวัดน้ำฝนธรรมดา จำนวน 1 ใบ

เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ยี่ห้อ OKS.(OTA.) หมายเลข 246645-244606

เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Henry J Green

เครื่องวัดการระเหย ถังแพน หมายเลข 2101

Hook gage หมายเลข 2111 Stalling well หมายเลข 2101

เครื่องวัดกระแสลม ยี่ห้อ NEGRETTI&ZAMBRA หมายเลข 2765

ที่มา : ฝ่ายวิเคราะห์และประมวลสถิติ

ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน กรมชลประทาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าแม่น้ำปิง (PE2) บ้านกองหิน อ.ฮอด จ.เชียงใหม่

รหัสสถานี	061101 หรือ PE2
หน่วยงาน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ตำแหน่งที่ตั้ง	ละติจูด 18° 10′ 30″ ลองติจูด 98° 36′ 00″ ห่างจาก อ.ฮอด ประมาณ 3 กม. ติดตั้งเสาวัดระดับน้ำบริเวณตลิ่งฝั่งขวา ใกล้สะพานข้ามแม่น้ำปิงบนทางหลวง ฮอด-ดอยเต่า
พื้นที่รับน้ำ	18,932 ตร.กม.
เครื่องมือวัดระดับน้ำ	เสาวัดระดับน้ำ (vertical staff gage)
ความถี่ในการอ่านค่า	เดือนเมษายน พฤษภาคม และ มกราคม ถึง มีนาคม อ่านค่าระดับน้ำ 5 ครั้ง/วัน ณ เวลา 6.00 9.00 12.00 15.00 และ 18.00 น. เดือนมิถุนายน ถึง ธันวาคม อ่านค่าระดับน้ำ 13 ครั้ง/วัน ชั่วโมงละครั้ง ณ เวลา 6.00 ถึง 18.00 น.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายอภัยซูรย์ สุวรรณชูจิต
เกิด	3 กรกฎาคม พ.ศ.2520 ที่จังหวัดสงขลา
การศึกษา	สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2541 เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549
ประวัติการณ์ทำงาน	พ.ศ.2542 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท พี.ไทย อาร์คิเต็ค แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด พ.ศ.2544 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท แลนดี้โฮม จำกัด พ.ศ.2545 เข้ารับราชการในตำแหน่งวิศวกรโยธา ระดับ 3 สังกัดกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ในปีเดียวกันได้โอนย้ายไปสังกัดกรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรโยธา ระดับปฏิบัติการ สังกัดส่วนวิจัยและพัฒนาทรัพยากรน้ำ สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย