

การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์สาเหตุการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

นาย ธนสิทธิ์ ธรรมศิริโรจน์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1460-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF ANALYSIS METHODS FOR DETERMINING RECURRENCE INTERVAL OF
DROUGHT EVENTS USING RIVER RUNOFF DATA



Mr. Thanasit Thamsiroj

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1460-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์คาบการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า
โดย	นายธนสิทธิ์ ธรรมศิริโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี จันทโรยธา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจิต คุณธนกุลวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

ธนสิทธิ์ ธรรมศิริโรจน์ : การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์คาบการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า, (COMPARISON OF ANALYSIS METHODS FOR DETERMINING RECURRENCE INTERVAL OF DROUGHT EVENTS USING RIVER RUNOFF DATA)

อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.ชัยยุทธ สุขศรี 288 หน้า ISBN 974-17-1460-2.

การศึกษานี้ มุ่งเปรียบเทียบวิธีทางอุทกวิทยา ที่ใช้วิเคราะห์หาคาบการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 3 วิธีการ คือ (1) วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด (2) วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา และ (3) วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.1 ลำน้ำปิง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบนิยามความแห้งแล้ง กระบวนการวิเคราะห์ และแนวความคิดการนำไปประยุกต์ใช้

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า (1) วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ใช้นิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา วิเคราะห์ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน มีพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดของจำนวนวันเฉลี่ยที่สนใจ ในกรณีที่ชุดข้อมูลมีปริมาณน้ำบางค่าเป็นศูนย์ พบว่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปไม่สามารถใช้ในการแจกแจงได้อย่างเหมาะสม การแบ่งช่วงปีน้ำมีผลต่อผลลัพธ์ในรูปคาบการเกิด (2) วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ใช้นิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา ในการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน โดยประยุกต์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเพื่อสร้างโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา และแสดงผลในรูปแบบของคาบการเกิด มีพารามิเตอร์ที่สนใจ คือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน และพบว่า การแบ่งช่วงปีน้ำไม่มีผลต่อคาบการเกิด (3) วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน ใช้นิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยาร่วมกับเชิงเศรษฐศาสตร์ และสังคม มีพารามิเตอร์ที่สนใจคือ ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ชนิดข้อมูลอาจเป็นรายวันหรือรายเดือนขึ้นกับลักษณะปัญหา การวิเคราะห์ใช้หลักการความน่าจะเป็นร่วมเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่สนใจทั้ง 2 ตัวดังกล่าวกับคาบการเกิด และพบว่าฟังก์ชันแกมมา มีความเหมาะสมสำหรับใช้แจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ขณะที่ลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องขึ้นอยู่กับรูปแบบของเส้นระดับการใช้น้ำ และไม่มีฟังก์ชันการแจกแจงใดที่ใช้ได้กับเส้นระดับการใช้น้ำทุกรูปแบบ

ในการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา การกำหนดค่าระดับการใช้น้ำต้องเป็นแบบคงที่ จึงจะสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับความต้องการใช้น้ำได้ ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน สามารถกำหนดระดับการใช้น้ำเป็นค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธีมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานแตกต่างกัน โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา เหมาะสำหรับการประเมินความสามารถในการส่งน้ำจากลำน้ำกรณีที่ไม่มีการเก็บน้ำ ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน เหมาะสำหรับการประเมินขนาดความจุ และการจัดการอ่างเก็บน้ำให้มีประสิทธิภาพ

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4270432221 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORD: DROUGHT/LOW FLOW/FREQUENCY ANALYSIS/FLOW DURATION/ THEORY OF RUN

THANASIT THAMSIRIROJ : COMPARISON OF ANALYSIS METHODS FOR DETERMINING
RECURRENCE INTERVAL OF DROUGHT EVENTS USING RIVER RUNOFF DATA.

THESIS ADVISOR : KANCHIT LIKITDECHAROTE, D.Eng., THESIS COADVISOR :
CHAIYUTH SUKHSRI, MS.CE., 288 pp. ISBN 974-17-1460-2.

This study is carried out to compare three hydrological methods for computing return period of drought events namely : (1) Frequency Analysis (FA), (2) Flow Duration Curve (FDC), and (3) Theory of Run (TR). Runoff data from Ping River at Station P.1 in Chiang Mai, Thailand, is used for which the definitions of drought, the analysis procedures and the application guidelines are compared.

Conclusions drawn from the study are : FA method follows the definition of hydrological drought. Daily flow data was used with the minimum average flow of any interval as the main parameter. In case that data series contain some zero flow values, it found that many widely used probability distribution functions cannot fit data properly. Difference periods of water year effected directly the results in term of the return periods. For FDC method, it is also based on the definition of hydrological drought and uses daily flow data in the analysis. FA is applied to identify the return period of flow duration curve. The interested parameter for this method is the average daily flow. Different periods of water year did not have significant effect on the results, i.e. the return periods. For TR, for which drought is defined jointly from hydrological and socioeconomic perspectives, the key parameters are drought severity and drought duration. Data types for the analysis can be daily, monthly or annual flows and these depend on specific problems. The analysis uses concept of joint probability to relate two key parameters (drought severity and drought duration) with return period. It found that Gamma distribution is appropriate for fitting the conditional probability of drought severity for specified durations while the probability of drought duration was dictated by the threshold and none of the distribution functions can be used to fit the distribution of drought duration in every cases of threshold.

For the application of FA and FDC, the flow threshold must be defined as a constant in order to analyze the relationship between the natural flows and the demands for water uses, while in the case of TR the threshold can be either fixed or varied with time. The return periods determined from these three methods are suitable for applying in different works. FA and FDC are appropriated for determining the capability of channel to divert flow in run-off-river typed project while TR, using monthly flow data, could be used to estimate the capacity of reservoir and reservoir operation.

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

Field of study Water Resources Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2002 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ คำปรึกษา แนะนำ และข้อมูลที่มีประโยชน์จากผู้มีพระคุณดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.เสวี จันทโรยธำ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจรีต คุณรัตนกุลวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ แนวความคิด คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้

ขอขอบพระคุณ คุณศรีสุพร ศรีสุภาพ และคุณนพคุณ โสมสิน ที่กรุณาให้คำแนะนำด้านแหล่งข้อมูล และคำปรึกษาต่าง ๆ ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ เจ้าหน้าที่ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณผู้อยู่เบื้องหลังการจัดทำวิทยานิพนธ์ทุก ๆ ท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ และญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน ที่ให้โอกาสและสนับสนุน การศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา รวมทั้งให้ความรัก ความอบอุ่น กำลังใจและคำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ เสมอมา

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์บุญชอบ กาญจนลักษณ์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และสร้างความรู้สึกรัก รักในงานอุทกวิทยาให้แก่ผู้วิจัย

ประโยชน์ และความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี

ธนสิทธิ์ ธรรมศิริโรจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.5 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและสถานภาพของข้อมูลในพื้นที่ศึกษา.....	5
บทที่ 2 การศึกษาที่ผ่านมา.....	12
2.1 การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้ในพื้นทีศึกษา.....	12
2.2 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	12
2.3 วิธีคำนวณการไหล - ช่วงเวลา.....	16
2.4 วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีจัน.....	18
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	25
3.1 คำจำกัดความของความแห้งแล้ง.....	25
3.2 ลำดับการเกิดผลกระทบจากความแห้งแล้ง.....	27
3.3 คำจำกัดความของความแห้งแล้งที่ใช้ในการศึกษา.....	28
3.4 ทฤษฎีที่ใช้ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	28
3.4.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น.....	29
3.4.2 สมการความถี่โดยทั่วไป.....	32
3.4.3 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงโดยวิธีไคสแควร์...34	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.4	วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเมื่อปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์.....	35
3.5	ทฤษฎีที่ใช้ในวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา.....	37
3.5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลากับการแจกแจงความถี่การเกิด.....	37
3.5.2	ชนิดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา.....	42
3.5.3	ช่วงความยาวข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา.....	42
3.5.4	คาบการเกิดของโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา.....	44
3.6	ทฤษฎีที่ใช้ในวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน.....	44
3.6.1	หลักการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ทฤษฎีรัน.....	45
3.6.2	การวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน.....	49
3.6.3	การวิเคราะห์คาบการเกิด.....	52
บทที่ 4	การวิเคราะห์และผลการศึกษา.....	57
4.1	การปรับแก้ข้อมูล.....	57
4.2	วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	57
4.2.1	การแบ่งช่วงปีน้ำ.....	57
4.2.2	การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นในกรณีที่มีปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์.....	58
4.2.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์.....	62
4.2.4	ผลการศึกษา.....	64
4.3	วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา.....	74
4.3.1	การแบ่งช่วงปีน้ำ.....	74
4.3.2	ขั้นตอนการวิเคราะห์.....	74
4.3.3	ผลการศึกษา.....	77
4.4	วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน.....	90
4.4.1	ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	90
4.4.2	การกำหนดระดับการใช้น้ำ.....	90
4.4.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์.....	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.4 ผลการศึกษา.....	98
4.5 การศึกษาความเหมาะสมในการเลือกประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์.....	132
4.5.1 การกำหนดระดับการใช้น้ำ.....	132
4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับการใช้น้ำ.....	132
4.5.3 ผลการศึกษา.....	135
บทที่ 5 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์.....	149
5.1 นิยามความแห้งแล้ง.....	149
5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	149
5.2.1 ชนิดของข้อมูล.....	149
5.2.2 ความยาวของข้อมูล.....	150
5.3 กระบวนการวิเคราะห์.....	150
5.3.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	151
5.3.2 รูปแบบการวิเคราะห์.....	151
5.3.3 ชนิดของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสม.....	151
5.3.4 รูปแบบของความน่าจะเป็นที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดพล็อต.....	152
5.3.5 การแบ่งช่วงปีน้ำ.....	152
5.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นกับคาบการเกิด.....	153
5.3.7 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง ความน่าจะเป็น.....	153
5.3.8 หน่วยของคาบการเกิด.....	154
5.3.9 ขอบเขตของคาบการเกิดที่เข้ากันได้กับข้อมูลจุดพล็อต.....	154
5.3.10 พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมในการประยุกต์ใช้.....	154
5.4 ผลการวิเคราะห์.....	155
5.4.1 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	155
5.4.2 วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา.....	155
5.4.3 วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน.....	156
5.5 การประยุกต์ใช้.....	156

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.6 ข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้.....	156
5.7 แนวทางการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์.....	157
5.7.1 การประเมินขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ.....	157
5.7.2 การประเมินปริมาณน้ำที่ส่งให้โครงการได้ กรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ.....	157
5.7.3 การจัดการอ่างเก็บน้ำ.....	157
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	162
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	162
6.1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	162
6.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบ.....	162
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	166
รายการอ้างอิง.....	168
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	171
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์โดยวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา.....	176
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน.....	186
ภาคผนวก ง. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา.....	246
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	288

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ค่าสถิติรายปีและรายเดือนของสถานี P.1 ปรับแก้ไขให้มีอิทธิพลของ เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล.....	11
ตารางที่ 4.1	สรุปผลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย.-มี.ค.....	70
ตารางที่ 4.2	สรุปผลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย.-31 ส.ค.....	72
ตารางที่ 4.3	สรุปผลการวิเคราะห์วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย.-31 มี.ค.....	86
ตารางที่ 4.4	สรุปผลการวิเคราะห์วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย.-31 ส.ค.....	88
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของ ช่วงระยะเวลาน้ำขาดแคลนต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการ ต่อเนื่อง สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	110
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของ ช่วงระยะเวลาน้ำขาดแคลนต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการ ต่อเนื่อง สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน.....	111
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิด ของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ.....	126
ตารางที่ 4.8	สรุปผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	130
ตารางที่ 4.9	สรุปผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน.....	131
ตารางที่ 4.10	สรุปผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะ เวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบการเกิด 2 ปี และ 5 ปี.....	143
ตารางที่ 4.11	แนวทางการกำหนดจำนวนวันเฉลี่ยและคาบการเกิด เพื่อประยุกต์ใช้ใน งานต่าง ๆ โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	147
ตารางที่ 4.12	แนวทางการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม เพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ โดยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา.....	147
ตารางที่ 5.1	การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า.....	158

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค-1	ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.) สถานี P.1 ซึ่งไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเส้นระดับการใช้น้ำจากค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	187
--------------	---	-----



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	ขั้นตอนการศึกษา..... 7
รูปที่ 1.2	สถานีวัดน้ำท่า P.1 ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน.....8
รูปที่ 1.3	ค่าสถิติฝนรายปีเหนือสถานี P.1.....9
รูปที่ 1.4	ค่าสถิติรายปีของสถานี P.1 ซึ่งได้รับอิทธิพลของเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล.....9
รูปที่ 1.5	ค่าสถิติรายปีของสถานี P.1 ปรับแก้ให้ไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล.....10
รูปที่ 1.6	ค่าสถิติรายเดือนของสถานี P.1 ปรับแก้ให้ไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล.... 10
รูปที่ 2.1	การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลน้ำท่าสถานี P.1 ด้วยวิธีไค้งทัณฑ์.... 13
รูปที่ 2.2	นิยามความแห้งแล้งโดยทฤษฎีวัน..... 18
รูปที่ 2.3	การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุด (L_m) เปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงแบบเบอร์นูลลีกับเหตุการณ์ที่ได้จากชุดข้อมูลต่อขยาย..... 22
รูปที่ 2.4	การแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุด (D) โดยฟังก์ชันลิกอนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เปรียบเทียบกับจุดพล็อตที่ได้จากชุดข้อมูลต่อขยาย..... 22
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดโดยเฉลี่ย ($E(L_n)$) กับระดับการใช้น้ำ (X_0)..... 23
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุดโดยเฉลี่ย ($E(D_n)$) กับระดับการใช้น้ำ (X_0)..... 23
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดโดยเฉลี่ย ($E(L_n)$) กับคาบการเกิด..... 24
รูปที่ 3.1	ลำดับขั้นตอนการเกิดความแห้งแล้งประเภทต่าง ๆ..... 27
รูปที่ 3.2	คำนิยามต่าง ๆ ที่ใช้ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด..... 30
รูปที่ 3.3	ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A โดยมีเงื่อนไขของเหตุการณ์ B..... 36
รูปที่ 3.4	ความสัมพันธ์ของไค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลากับกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด..... 39
รูปที่ 3.5	กราฟการแจกแจงความถี่สำหรับ CS ค่าต่าง ๆ..... 40
รูปที่ 3.6	ไค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลาสำหรับ CS ค่าต่าง ๆ.....41

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7	โค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลาสร้างโดยข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน รายเดือน และรายปี.....	43
รูปที่ 3.8	คำนิยามที่สำคัญและหลักการของทฤษฎีวัน.....	45
รูปที่ 3.9	ความน่าจะเป็นร่วม $f(x,y)$ ของปริมาณการไหลของแม่น้ำ 2 สาย.....	47
รูปที่ 3.10	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f(y x_1)$	49
รูปที่ 3.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง α , β กับ d_l	52
รูปที่ 3.12	นิยามและหลักการวิเคราะห์คาบการเกิดโดยทฤษฎีวัน.....	53
รูปที่ 3.13	นิยามของช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด.....	55
รูปที่ 4.1	ปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดโดยจัดเรียงตามปีน้ำวันที่ 1 เม.ย – 31 มี.ค.....	60
รูปที่ 4.2	ปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดโดยจัดเรียงตามปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.....	60
รูปที่ 4.3	กราฟน้ำท่าในปีต่าง ๆ ที่อยู่ในระดับสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดของสถานี P.1 ในช่วงสภาพการไหลต่ำ.....	61
รูปที่ 4.4	ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	63
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชัน ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.....	66
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชัน ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.....	66
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชัน ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.....	67
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชัน ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.....	67
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชัน ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.....	68
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชัน ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด
สำหรับปีน้ำ 2 แบบ.....69

รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา..... 76

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด
สำหรับปีน้ำ 2 แบบ..... 79

รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ
สำหรับปีน้ำ 2 แบบ.....81

รูปที่ 4.15 โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
แบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค..... 83

รูปที่ 4.16 โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
แบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค..... 83

รูปที่ 4.17 โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
แบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค..... 84

รูปที่ 4.18 โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
แบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.....84

รูปที่ 4.19 โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
แบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค..... 85

รูปที่ 4.20 โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น
แบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค..... 85

รูปที่ 4.21 ระดับการใช้น้ำ 50% 100% และ 150% เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน
ในช่วงระยะเวลา 2 ปีแรกของข้อมูลกับบันทึก..... 92

รูปที่ 4.22 ระดับการใช้น้ำ 50% 100% และ 150% เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน
ในช่วงระยะเวลา 2 ปีแรกของข้อมูลกับบันทึก..... 93

รูปที่ 4.23 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน..... 96

รูปที่ 4.24 ค่า P_{DW} P_{WD} P_{WW} และ P_{DD} ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำทำ
รายเดือน.....107

รูปที่ 4.25 ค่า P_{DW} P_{WD} P_{WW} และ P_{DD} ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำทำ
รายวัน.....107

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.26	การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา เวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% สำหรับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	108
รูปที่ 4.27	การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา เวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% สำหรับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน.....	109
รูปที่ 4.28	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดย ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	112
รูปที่ 4.29	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดย ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน.....	113
รูปที่ 4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ ต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่า รายเดือน.....	114
รูปที่ 4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ ต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่า รายวัน.....	115
รูปที่ 4.32	ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลา ขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	116
รูปที่ 4.33	ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลา ขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน.....	116
รูปที่ 4.34	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับ การใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	117
รูปที่ 4.35	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับ การใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน.....	117
รูปที่ 4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด ที่ระดับ การใช้น้ำต่าง ๆ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	118

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด ที่ระดับ การใช้น้ำต่าง ๆ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....	120
รูปที่ 4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับ การใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน.....	122
รูปที่ 4.39	ภาพขยายของรูปที่ 4.38 ในช่วงคาบการเกิด 0.5 - 2 ปี.....	123
รูปที่ 4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับ การใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....	124
รูปที่ 4.41	ภาพขยายของรูปที่ 4.40 ในช่วงคาบการเกิด 1 - 2 เดือน.....	125
รูปที่ 4.42	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบ การเกิดต่าง ๆ สำหรับระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน.....	127
รูปที่ 4.43	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบ การเกิดต่าง ๆ สำหรับระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....	127
รูปที่ 4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน.....	128
รูปที่ 4.45	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....	129
รูปที่ 4.46	วิธีการหาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด.....	134
รูปที่ 4.47	วิธีการหาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา.....	134
รูปที่ 4.48	การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง และช่วงระยะ เวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำ เฉลี่ยรายเดือนและรายวัน.....	137
รูปที่ 4.49	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ ต่อเนื่อง กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและ รายวัน.....	138
รูปที่ 4.50	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด กำหนดระดับ การใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน.....	139

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับคาบการเกิด
กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน..... 139

รูปที่ 4.52 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลน
น้ำต่อเนื่อง โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด..... 142

รูปที่ 4.53 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลน
น้ำต่อเนื่อง โดยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา..... 142

รูปที่ ก-1 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ..... 172

รูปที่ ข-1 ตัวอย่างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา แต่ละปี สร้างจากข้อมูลช่วงปีน้ำ 2 แบบ... 177

รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ..... 179

รูปที่ ค-1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและ
ช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูล
ปริมาณน้ำท่ารายเดือน..... 190

รูปที่ ค-2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 50% โดยข้อมูล
ปริมาณน้ำท่ารายเดือน..... 194

รูปที่ ค-3 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 60% โดยข้อมูล
ปริมาณน้ำท่ารายเดือน..... 195

รูปที่ ค-4 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 70% โดยข้อมูล
ปริมาณน้ำท่ารายเดือน..... 196

รูปที่ ค-5 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 80% โดยข้อมูล
ปริมาณน้ำท่ารายเดือน..... 197

รูปที่ ค-6 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูล
ปริมาณน้ำท่ารายเดือน..... 198

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ค-7	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 100% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	199
รูปที่ ค-8	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 110% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	201
รูปที่ ค-9	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 120% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	203
รูปที่ ค-10	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 130% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	205
รูปที่ ค-11	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 140% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	207
รูปที่ ค-12	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 150% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	209
รูปที่ ค-13	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ ต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	211
รูปที่ ค-14	ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลา ขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน....	215
รูปที่ ค-15	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	217
รูปที่ ค-16	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบการเกิด 5 ปี โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	219

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ค-26 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
 ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 130% โดยข้อมูล
 ปริมาณน้ำทำรายวัน.....233

รูปที่ ค-27 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
 ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 140% โดยข้อมูล
 ปริมาณน้ำทำรายวัน.....234

รูปที่ ค-28 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
 ที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 150% โดยข้อมูล
 ปริมาณน้ำทำรายวัน.....235

รูปที่ ค-29 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ
 ต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....236

รูปที่ ค-30 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลา
 ขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....240

รูปที่ ค-31 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
 ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....242

รูปที่ ค-32 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง
 ที่คาบการเกิด 5 ปี โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน.....244

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา และนิยามความแห้งแล้ง

ในงานศึกษาทางอุทกวิทยา เพื่อกำหนดขนาดที่เหมาะสมของโครงการ หรือโครงสร้างต่าง ๆ ประเด็นสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจ คือ ความเสี่ยง (Risk) ที่เกิดขึ้นต่อการเลือกใช้หรือกำหนดขนาดของโครงการหรืออาคาร เช่น ในการออกแบบขนาดเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ควรต้องพิจารณาถึงค่าความเสี่ยงที่อาจมีน้ำไม่พอเพียงต่อการใช้ตามวัตถุประสงค์ หรือในการออกแบบระดับการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ (Design Level) และขนาดของเครื่องสูบน้ำสำหรับโครงสร้างสูบน้ำจากลำน้ำเข้าพื้นที่โครงการ (Intake Structure of Pumping Station) ควรต้องพิจารณาถึงความเสี่ยงที่ระดับน้ำในลำน้ำจะลดต่ำกว่าระดับออกแบบ รวมทั้งความเสี่ยงที่ปริมาณการไหลในลำน้ำอาจต่ำกว่าอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำในช่วงสภาพการไหลต่ำ เป็นต้น เมื่อวิเคราะห์หาความเสี่ยงที่เกิดขึ้นแล้วจึงสามารถเลือกหรือกำหนดขนาดของโครงการหรือโครงสร้างในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ รวมทั้งในกรณีของโครงการหรือโครงสร้างขนาดใหญ่ อาจต้องมีการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการตัดสินใจในขั้นสุดท้ายด้วย ดังนั้นการตัดสินใจกำหนดขนาดโครงการหรืออาคาร โดยใช้ความเสี่ยงเป็นเกณฑ์ จึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่องานออกแบบวิศวกรรม เนื่องจากความเสี่ยงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคาบการเกิด (Return Period) และกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์คาบการเกิดเป็นขั้นตอนเบื้องต้นของการศึกษาเพื่อเลือกขนาดความเสี่ยงที่เหมาะสมและยอมรับได้ ทั้งนี้หากสามารถทราบได้ว่าคาบการเกิดของเหตุการณ์ที่สนใจมีลักษณะการแปรเปลี่ยนไปอย่างไร ย่อมจะสามารถวิเคราะห์หาขนาดความเสี่ยงและออกแบบเพื่อรองรับความเสี่ยงดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมต่อไป

คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งและคาบการเกิดของเหตุการณ์น้ำท่วมเป็นประเด็นที่สำคัญสำหรับงานศึกษาทางอุทกวิทยา เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่มีลักษณะสูงสุด หรือต่ำสุด (Extreme) และมีผลกระทบโดยตรงต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ในการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่าส่วนใหญ่มักจะมุ่งเน้นในการศึกษาด้านน้ำท่วมมากกว่าน้ำแล้ง น้ำท่วมเป็นเหตุการณ์ที่เมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถเห็นและรับรู้ถึงปัญหาได้อย่างชัดเจน แตกต่างจากกรณีของน้ำแล้งซึ่งการเกิดขึ้นจะมีลักษณะแบบค่อยเป็นค่อยไป (Creep) ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากเมื่อเริ่มเกิดสภาพฝนทิ้งช่วง จะต้องใช้เวลาพอสมควรกว่าที่กลไกธรรมชาติจะเริ่มส่งผลให้ปริมาณน้ำในลำน้ำมีน้อยลงและเกิดความเดือดร้อนต่อมนุษย์เมื่อขาดความรู้ หรือปรับเปลี่ยน

พฤติกรรมและปริมาณการใช้น้ำให้เหมาะสม ในขณะที่เดียวกันเมื่อสภาพแล้งเริ่มรุนแรงขึ้นแล้วเกิดมีฝนตกลงมาบ้าง สภาพแล้งดังกล่าวจะเริ่มบรรเทาลงไปเกือบจะทันทีในความเห็นของคนทั่วไป โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่เมื่อฝนตก ความชุ่มชื้นในดินจะกลับมาในไม่ช้า แต่ไม่มีใครทราบแน่ชัดว่าสภาพฝนทั้งช่วงที่เกิดขึ้นมีผลต่อการสะสมน้ำในแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ต้นน้ำ และจะเกิดผลกระทบต่อสภาพน้ำในลำน้ำอีกหลายเดือนข้างหน้าอย่างไร ดังนั้นปัญหาสภาพแล้งจึงค่อนข้างจะเป็นปัญหาที่คลุมเครือ และเป็นการยากที่จะอธิบายผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ความหมายของคำว่า “แล้ง” ยังเป็นที่สับสนกันมาก เช่น การที่ในลุ่มน้ำหนึ่งมีสภาพน้ำที่เกือบจะแห้งเหือด แต่เป็นลุ่มน้ำที่มีการใช้น้ำน้อยมาก ถือว่าเกิดความแห้งแล้งขึ้นหรือไม่และแล้งแบบใด เป็นต้น ดังนั้นในงานวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาเกี่ยวกับความแห้งแล้ง ในขั้นตอนแรกจำเป็นต้องมีการนิยามอย่างชัดเจน เพื่อที่จะสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาในแต่ละพื้นที่ และสามารถวิเคราะห์วิเคราะห์ กำหนดแนวทาง รวมถึงวิธีการบรรเทาความเดือดร้อนที่เกิดขึ้นได้อย่างเป็นระบบต่อเนื่องถาวร มิใช่เพียงการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าในแต่ละปีเท่านั้น

สำหรับงานศึกษาวิจัยด้านอุทกวิทยา เพื่อการพัฒนาแหล่งน้ำของประเทศไทย การวิเคราะห์เกี่ยวกับเรื่องความแห้งแล้ง โดยประยุกต์ใช้สถิติในการคำนวณหาคาบการเกิด จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจและสำคัญเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าวมีอยู่หลายวิธี และในแต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมในเรื่องของวิธีการ และมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดของการนำไปประยุกต์ใช้แตกต่างกัน แต่ยังไม่มีการรวบรวมบันทึกเปรียบเทียบเกณฑ์ เงื่อนไข และข้อจำกัดต่าง ๆ ไว้อย่างชัดเจน จึงเป็นอุปสรรคสำหรับนักอุทกวิทยา ซึ่งในบางครั้งทำให้มิได้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม เนื่องจากขาดข้อมูลที่จะใช้เปรียบเทียบแต่ละวิธีการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นที่จะศึกษาเปรียบเทียบวิธีการที่ใช้วิเคราะห์คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาประกอบด้วย

1. ศึกษาวิธีการต่าง ๆ ทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการวิเคราะห์คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ P.1 จังหวัดเชียงใหม่
2. ศึกษารูปแบบ ข้อสมมติฐาน ขั้นตอนและกระบวนการวิเคราะห์ ตลอดจนแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งานของวิธีต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง
3. เปรียบเทียบข้อแตกต่างของแต่ละวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 ซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำปิง ในการศึกษาใช้ข้อมูลช่วงปี พ.ศ.2464 – 2542 รวม 79 ปี โดยข้อมูลดังกล่าวได้ปรับแก้ให้เป็นข้อมูลที่ไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล เพื่อให้มีความยาวข้อมูลในการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้น

2. การศึกษานี้ เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์คาบการเกิดของความแห้งแล้ง 3 วิธีการคือ
 - 1) วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด (Frequency Analysis)
 - 2) วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา (Flow Duration Curve)
 - 3) วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน (Theory of Run)

3. วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันในช่วงสภาพการไหลต่ำสุด 1 วัน 7 วัน 14 วัน 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน 4 เดือน 5 เดือน 6 เดือน และ 9 เดือน ในการวิเคราะห์ และเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 3 แบบ และทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงโดยวิธีไคสแควร์ สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงที่ใช้ได้แก่

- 1) ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 (Log - Pearson Type 3 Distribution)
- 2) ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ (2 - Parameter Lognormal Distribution)
- 3) ฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 (Extreme - Value Type 3 Distribution)

4. วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 3 แบบดังเช่นในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจง

โดยวิธีโคสแควร์ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา คือปริมาณน้ำท่ารายวัน

5. วิธีวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีกรีน วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า 2 ประเภท คือ ปริมาณน้ำท่ารายวันและปริมาณน้ำท่ารายเดือน ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของคาบการเกิดที่แตกต่างกันด้วย ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีกรีนนี้ ต้องมีการสมมติเส้นระดับการใช้น้ำ (Water Use, Threshold) เพื่อใช้วิเคราะห์หาคาบการเกิด จึงได้กำหนดเส้นระดับการใช้น้ำแบบคงที่ ตั้งแต่ 50% – 150% ของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน และรายเดือน ซึ่งวิธีการจะได้กล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 4.3.2

6. การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งทั้งในด้านวิธีการ ข้อสมมติฐาน ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อให้เห็นถึงข้อเปรียบเทียบและสามารถที่จะเลือกใช้วิธีการได้อย่างเหมาะสม แต่ทั้งนี้ประโยชน์ในแง่ของการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ศึกษา (ลุ่มน้ำปิง) มิได้เป็นประเด็นหลักของการวิจัย ข้อมูลที่ใช้จึงเป็นข้อมูลของสถานีวัดปริมาณน้ำเพียงสถานีเดียวเพื่อใช้ทดสอบเปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ ในการวิเคราะห์

7. การเปรียบเทียบความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้ในแต่ละวิธีการ พิจารณาเปรียบเทียบ 3 กรณีคือ

- 1) การประเมินขนาดความจุอ่างเก็บน้ำเพื่อรองรับความต้องการน้ำที่กำหนด
- 2) การประเมินปริมาณน้ำที่สามารถส่งให้กับโครงการในกรณีที่ไม่มีย่างเก็บน้ำ
- 3) การจัดการอ่างเก็บน้ำ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษามีดังนี้ (แสดงในรูปที่ 1.1)

1. ศึกษาและรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง
2. รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน และรายเดือนของสถานี P.1 จังหวัดเชียงใหม่
3. วิเคราะห์คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่เลือกใช้
4. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ข้อแตกต่าง และความเหมาะสมของแต่ละวิธีการ
5. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ
6. รวบรวมและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและสถานภาพของข้อมูลในพื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำปิง รหัสลุ่มน้ำหมายเลข 06 ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่รับน้ำฝน 33,898 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ตาก กำแพงเพชร และ นครสวรรค์ ลุ่มน้ำปิงอยู่ระหว่างเส้นละติจูด $15^{\circ} 24' 00''$ ถึง $19^{\circ} 49' 00''$ เหนือ และเส้นลองจิจูด $98^{\circ} 05' 30''$ ถึง $100^{\circ} 09' 12''$ ตะวันออก มีความยาวลำน้ำประมาณ 740 กิโลเมตร มีอาณาเขตทางทิศเหนือ และทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวิน และลุ่มน้ำกก ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำสะแกกรังและลุ่มน้ำแม่กลอง ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำวัง

แม่น้ำปิง มีต้นกำเนิดในทิวเขาผีปันน้ำ ในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ไหลลงทางทิศใต้ ผ่านหุบเขา โดยมีสภาพความลาดชันของท้องน้ำตามสภาพภูมิประเทศ ซึ่งเป็นเทือกเขา สลับซับซ้อน ปกคลุมด้วยป่าไม้ โดยแม่น้ำในเขตท้องที่อำเภอเชียงดาวอยู่ที่ระดับความสูงระหว่าง 500 – 1,300 เมตร รทก. มีความชันประมาณ 1:40 จากนั้นแม่น้ำปิงจะไหลไปตามหุบเขาตอนบนของเขตอำเภอแม่แตง มีระดับความสูงระหว่าง 320 – 500 เมตร รทก. มีความชันประมาณ 1:50 เมื่อเข้าเขตอำเภอแม่แตง มีลำน้ำสาขาชื่อแม่จัดไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้าย และแม่แตงไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่มในเขตจังหวัดเชียงใหม่ และมีแม่กวงไหลมาบรรจบแม่น้ำปิงทางฝั่งซ้ายที่บริเวณพื้นที่จังหวัดลำพูน จากนั้นแม่น้ำปิงไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ โดยมีแม่ลี้ซึ่งไหลจากอำเภอลี้ขึ้นเหนือมาบรรจบกับแม่น้ำปิงที่อำเภอจอมทองทางด้านฝั่งซ้าย จากอำเภอจอมทอง แม่น้ำปิงไหลลงใต้ มีแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอด โดยแม่น้ำปิงที่ไหลผ่านที่ราบในหุบเขา ในเขตอำเภอแม่แตง อำเภอแมริม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่มีระดับความสูงระหว่าง 260 – 300 เมตร รทก. ความชันประมาณ 1:1,800 และไหลผ่านพื้นที่ราบในหุบเขา ก่อนไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า โดยมีความชันในบริเวณนี้ประมาณ 1:1,590 และมีระดับความสูงระหว่าง 140 – 260 เมตร รทก.

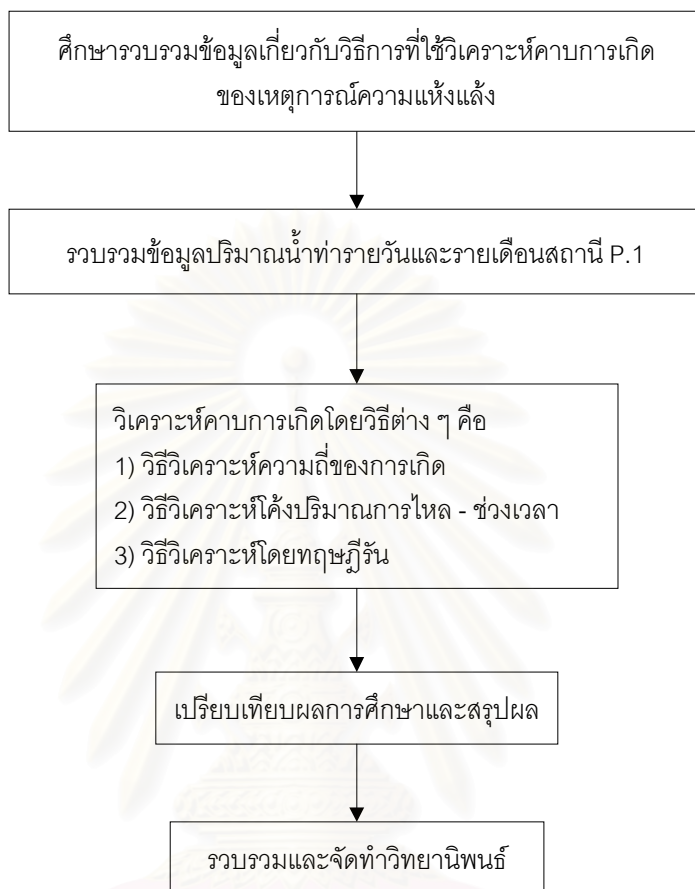
สถานีวัดปริมาณน้ำ P.1 ตั้งอยู่ที่สะพานนวรัฐ ตำบลวัดเกต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน ตำแหน่งละติจูด $18^{\circ} 47' 09''$ เหนือ ลองจิจูด $99^{\circ} 00' 29''$ ตะวันออก กรมชลประทานเป็นผู้ดูแลสถานี มีพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือสถานีรวมประมาณ 6,355 ตารางกิโลเมตร มีการสำรวจข้อมูลปริมาณน้ำรายวันมาตั้งแต่ปีพ.ศ.2464 – ปัจจุบัน (พ.ศ.2542) รวม 79 ปี ที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณน้ำ P.1 แสดงในรูปที่ 1.2 ค่าสถิติของปริมาณฝนรายปีเหนือสถานี P.1 แสดงในรูปที่ 1.3 ค่าสถิติของปริมาณน้ำรายปีสถานี P.1 ซึ่งได้รับอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล แสดงดังรูปที่ 1.4 ค่าสถิติของปริมาณน้ำรายปีและรายเดือนสถานี P.1 ปรับแก้ให้ไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล แสดงดังรูปที่ 1.5 และ 1.6 ตามลำดับ และตารางที่

1.1 แสดงตัวเลขค่าสถิติน้ำท่ารายปีและรายเดือนของสถานี P.1 ปรับแก้ไขให้มีอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล

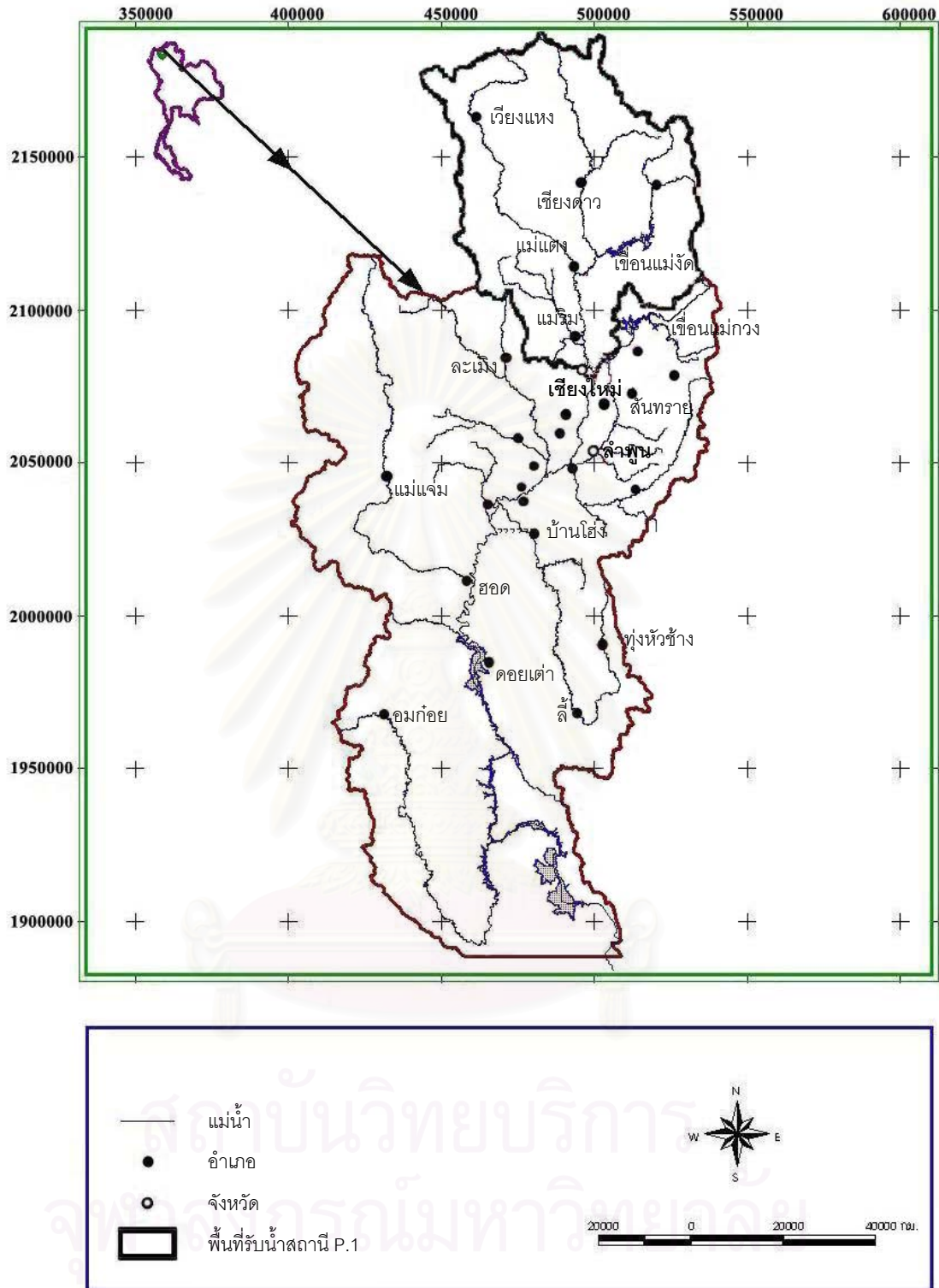
เขื่อนเก็บกักน้ำแม่จัดสมบูรณ์ชล ปิดกั้นน้ำแม่จัดซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำปิง ที่ตำบลช่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เริ่มก่อสร้างในปีพ.ศ.2519 แล้วเสร็จในปีพ.ศ.2528 ตัวอ่างเก็บน้ำมีความจุ 265 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ลุ่มน้ำเหนือเขื่อนประมาณ 1,263 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่ได้รับประโยชน์ทางด้านชลประทานโดยตรง จำนวน 30,000 ไร่ และยังสามารถส่งน้ำไปช่วยโครงการในตอนล่างของลำน้ำ เช่น โครงการแม่แฝก และโครงการแม่ปิงเก่า ในช่วงฤดูฝนจำนวน 158,000 ไร่



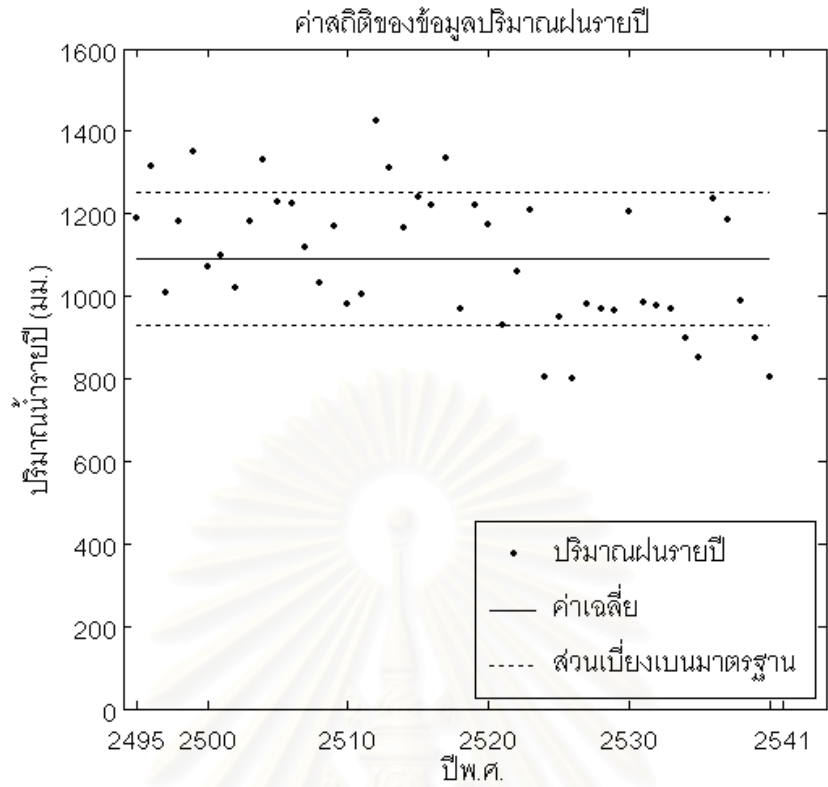
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการศึกษา

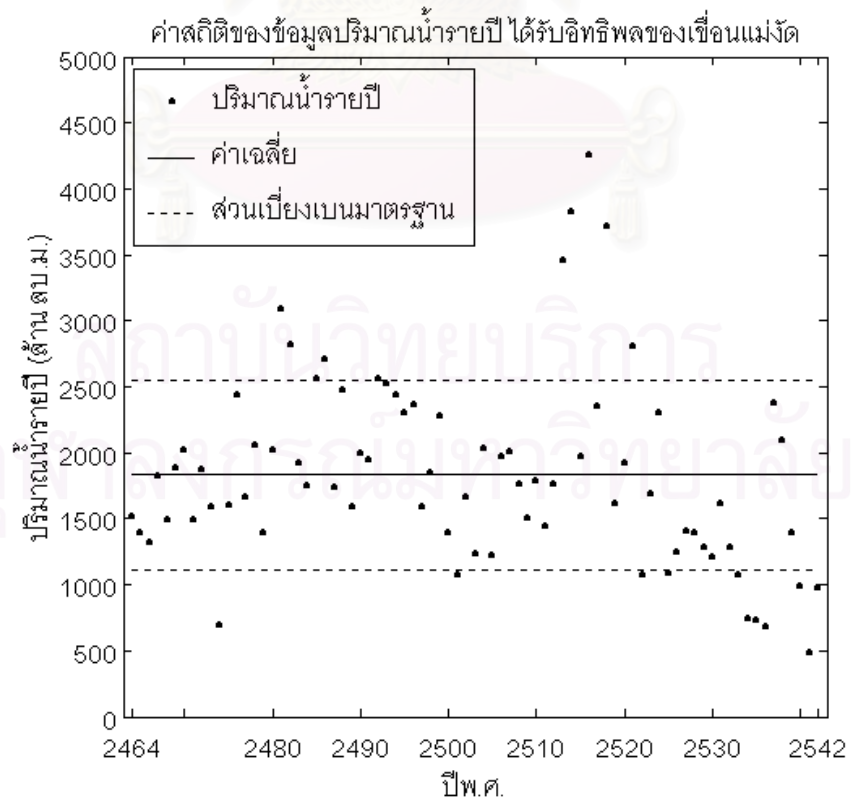


รูปที่ 1.2 สถานีวัดน้ำท่า P.1 ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

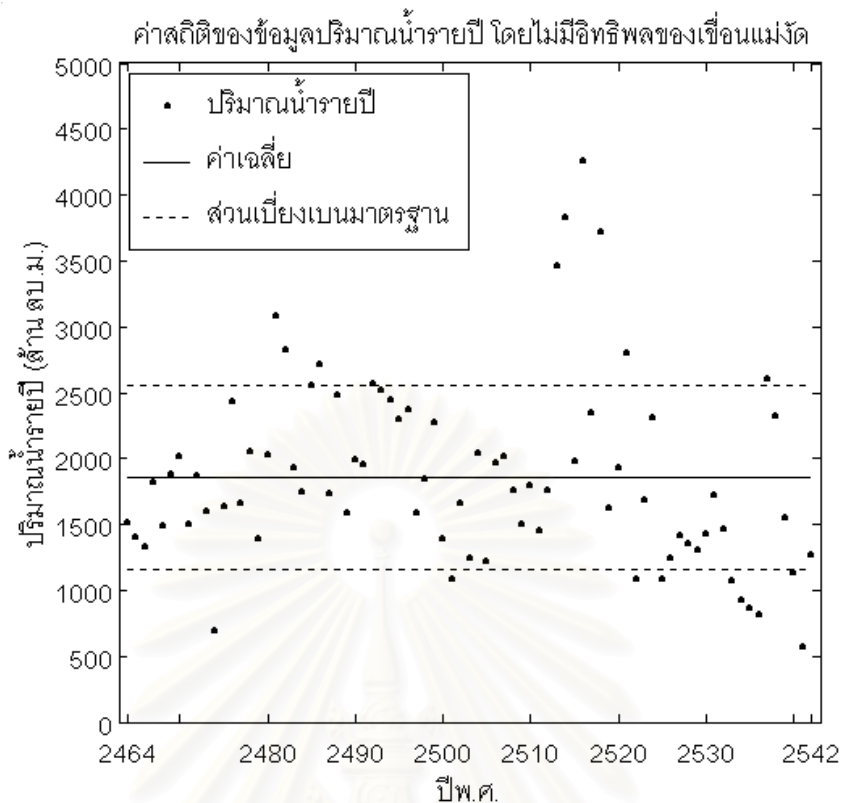


รูปที่ 1.3 ค่าสถิติฝนรายปีเหนือสถานี P.1

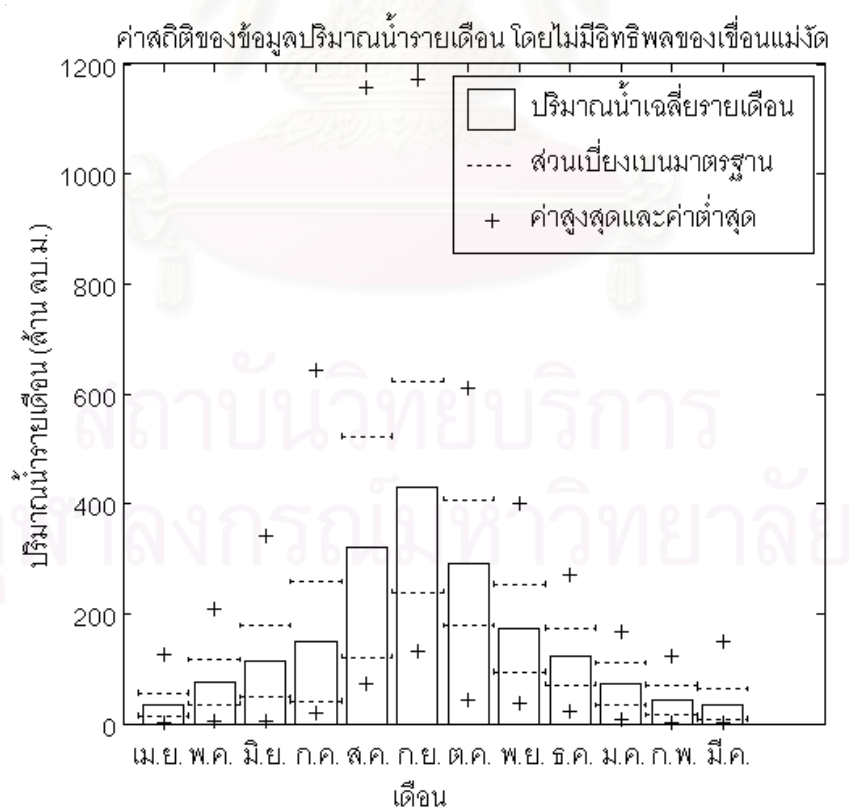
ที่มา : อรรถพร พุทธपालิต (2543)



รูปที่ 1.4 ค่าสถิติน้ำท่ารายปีของสถานี P.1 ซึ่งได้รับอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล



รูปที่ 1.5 ค่าสถิติน้ำท่ารายปีของสถานี P.1 ปรับแก้ให้ไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล



รูปที่ 1.6 ค่าสถิติน้ำท่ารายเดือนของสถานี P.1 ปรับแก้ให้ไม่มีอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล

ตารางที่ 1.1 ค่าสถิติน้ำท่ารายปีและรายเดือนของสถานี P.1 ปรับแก้ไขให้มีอิทธิพลของเขื่อน
แม่จัดสมบูรณ์ชล ช่วงปีพ.ศ.2464 - 2542

ชนิดข้อมูล	ค่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ล้าน ลบ.ม.)	ค่าความเบ้
รายปี	1859.00	697.74	1.05
รายเดือน			
เมษายน	33.97	20.80	1.17
พฤษภาคม	75.57	40.51	0.96
มิถุนายน	112.45	65.07	1.47
กรกฎาคม	148.55	108.89	1.95
สิงหาคม	321.43	200.31	1.65
กันยายน	431.14	192.25	1.07
ตุลาคม	292.5	115.03	0.73
พฤศจิกายน	172.96	79.35	0.98
ธันวาคม	121.7	51.36	0.60
มกราคม	71.39	38.41	0.44
กุมภาพันธ์	42.64	27.29	0.74
มีนาคม	34.70	27.62	1.37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การศึกษาที่ผ่านมา

2.1 การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา

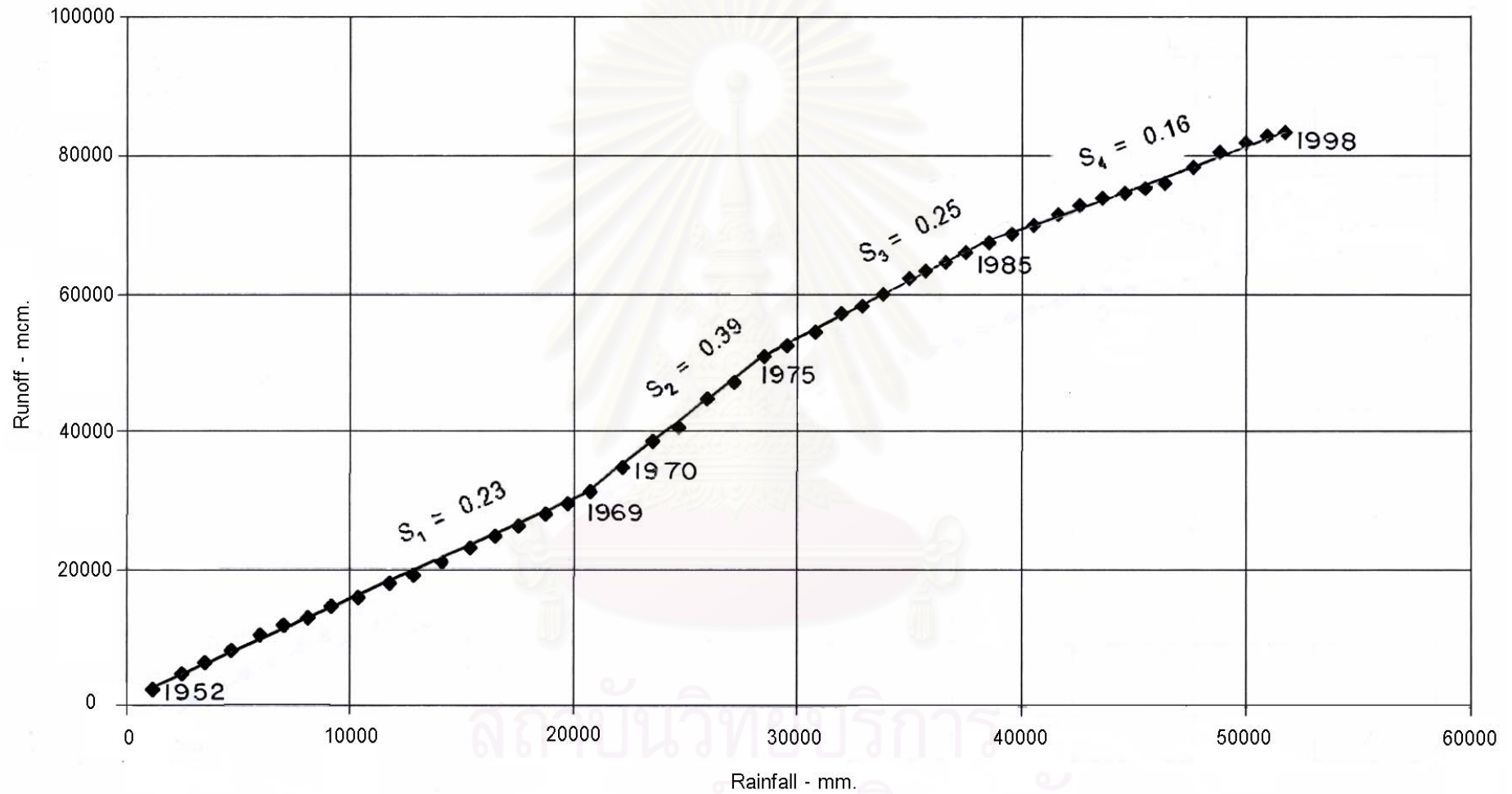
วิชุดา เลี่ยมสงวน (2540) ตรวจสอบข้อมูลปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำปึงตอนบนด้วยวิธีโค้งทับทวี (Double Mass Curve) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ขนาดและความถี่การเกิดน้ำท่วม พบว่าข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานี P.1 ในช่วงปีพ.ศ.2464 – 2538 มีความคงตัว (Consistency) ดี นอกจากนี้ ยังได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating Curve) พบว่าจุดบนกราฟอยู่เกาะกลุ่มกันดี

อรรถพร พุทธิปาไลต (2543) ตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยวิธีโค้งทับทวี (Double Mass Curve) เพื่อใช้ในการศึกษาเกณฑ์การลดลงของน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยา พบว่าปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ (Non – Homogeneity) ตั้งแต่ช่วงปีพ.ศ.2518 เนื่องจากปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของสถานีวัดน้ำฝนเหนือสถานี P.1 มีแนวโน้มลดลง ประกอบกับการผันน้ำจากเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลเข้าในพื้นที่ชลประทานประมาณ 30,000 ไร่ ซึ่งเมื่อโครงการเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลสร้างเสร็จสมบูรณ์ในปีพ.ศ.2528 ปริมาณน้ำที่สถานี P.1 มีแนวโน้มการลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณน้ำท่าต่อน้ำฝนเพียง 16 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ช่วงก่อนปี พ.ศ.2518 อัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณน้ำท่าต่อน้ำฝนที่สถานี P.1 สูงถึง 39 เปอร์เซ็นต์ การตรวจสอบสภาพความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลปริมาณน้ำท่าสถานี P.1 โดยวิธีโค้งทับทวีแสดงในรูปที่ 2.1

จากผลสรุปสาเหตุความไม่คงตัวดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ทำการปรับแก้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าสถานี P.1 ให้เป็นข้อมูลที่ไม่มีอิทธิพลของการจัดการน้ำเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล ด้วยวิธีการดังที่กล่าวในหัวข้อ 1.5 ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

2.2 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

Matalas (1963) ได้ศึกษาความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 4 แบบ เพื่อหาแบบที่จะเป็นตัวแทนของข้อมูลสภาพการไหลต่ำได้ดีที่สุด ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้เปรียบเทียบกันได้แก่ 1) การแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 2) การแจกแจงแบบล็กนอร์มอล 3 พารามิเตอร์ 3) การแจกแจงแบบเพียร์สันประเภทที่ 3 และ 4) การแจกแจง



รูปที่ 2.1 การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลน้ำท่าสถานี P.1 ด้วยวิธีโค้งทับทวี

ที่มา : อรรถพร พุทธपालิต (2543)

แบบเพียร์สันประเภทที่ 5 โดยใช้ข้อมูลจาก 34 สถานีวัดปริมาณน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา จากการศึกษาพบว่าการแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 กับการแจกแจงแบบเพียร์สันประเภทที่ 3 มีความเหมาะสมในการประมาณค่าสภาพการไหลต่ำใกล้เคียงกัน

Riggs (1965) สรุปบางประเด็นที่สำคัญในการวิเคราะห์ความถี่การเกิดของสภาพการไหลต่ำไว้ดังนี้

1. ในการวิเคราะห์ความถี่การเกิดของสภาพการไหลต่ำควรมีข้อมูลมากเพียงพอ เพื่อจะใช้ประมาณค่าการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

2. กรณีที่มีข้อมูลสั้น ข้อมูลนั้นจะต้องครอบคลุมถึงช่วงปีที่เกิดสภาวะแล้งจัด

3. ผลกระทบจากคุณลักษณะของกลุ่มน้ำ และความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าปริมาณน้ำ ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าความคลาดเคลื่อนในการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงเพื่อเป็นตัวแทนของจุดพล็อต (Plotting Position) ได้หลายเท่าตัว ดังนั้นการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงเพื่อเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ความแห้งแล้งจึงนับว่ามีประโยชน์อยู่มาก เมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

4. แต่ละกลุ่มน้ำมีคุณลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน ไม่มีฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิดฟังก์ชันใดที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกกลุ่มน้ำ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงควรยึดถือตามลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำมากกว่ากระบวนการทางสถิติ

5. คุณลักษณะของสภาพการไหลต่ำของกลุ่มน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกันอาจแตกต่างกันได้อย่างมากมาย ดังนั้นการประมาณค่าสภาพการไหลต่ำของกลุ่มน้ำที่ไม่มีการวัดข้อมูล โดยใช้ผลการวิเคราะห์จากกลุ่มน้ำใกล้เคียง จึงไม่อาจเชื่อถือได้

6. U. S. Geological Survey กำหนดใช้ปีน้ำเริ่มวันที่ 1 เมษายน ซึ่งเป็นช่วงลดลงของกราฟน้ำท่า (Recession) ในประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในช่วงสภาพการไหลต่ำ

Fok และ Miyasato (1976) วิเคราะห์ความถี่การเกิดของสภาพการไหลต่ำสุดเฉลี่ย 1 วัน 7 วัน 14 วัน 1 เดือน 45 วัน 2 เดือน และ 3 เดือน สำหรับระบบคลองส่งน้ำในพื้นที่ Central Maui รัฐฮาวาย โดยสร้างเส้นกราฟการแจกแจงความถี่การเกิดจากตำแหน่งจุดพล็อตบนกระดาษกราฟแบบล็อก - ฟังก์ชันค่าต่ำสุด (Log - Extreme Value Probability Paper) จากการศึกษาพบว่าเหตุการณ์ความแห้งแล้งรุนแรงที่เคยเกิดขึ้นในปีพ.ศ.2516 มีขนาดใกล้เคียงกับปริมาณการไหลต่ำสุดเฉลี่ย 45 วัน ที่คาบการเกิด 15 ปี จึงกำหนดใช้เป็นเกณฑ์ในการวางแผนบรรเทาภัยแล้งในพื้นที่ต่อไป

Carter และ Putnam (1978) วิเคราะห์ความถี่การเกิดของปริมาณน้ำต่ำสุดเฉลี่ย 7 วัน และ 1 เดือน โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดปริมาณน้ำท่าจำนวน 134 สถานีในรัฐจอร์เจีย เพื่อศึกษาสภาพการไหลในช่วงฤดูแล้ง โดยได้แนะนำให้รัฐจอร์เจียใช้ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 7 วัน ที่คาบการเกิด 10 ปี ในการจัดการอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้ปริมาณการไหลตลอดลำน้ำไม่น้อยกว่าค่าดังกล่าว และเสนอให้ใช้ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 30 วัน ที่คาบการเกิด 2 ปี ประกอบการพิจารณาวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค เนื่องจากเห็นว่าค่าปริมาณน้ำดังกล่าวเป็นค่าที่สามารถบ่งชี้สภาพเริ่มต้นของการเกิดความแห้งแล้งในพื้นที่ศึกษาได้

Takeuchi (1999) วิเคราะห์ความถี่ของการเกิดโดยใช้ข้อมูลปริมาณการไหลจากหลายสถานีในแม่น้ำโขง เพื่อจะกำหนดปริมาณการไหลต่ำสุดที่ต้องปล่อยลงแม่น้ำโขงในกรณีที่มีระบบควบคุม (Regulating System) ในช่วงสภาพการไหลต่ำ เพื่อรักษาสภาพระบบนิเวศน์ได้น้ำ โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิดแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ (2 - Parameter Lognormal Distribution) จากการศึกษาพบว่าที่สถานีวัดปริมาณน้ำที่จังหวัดมุกดาหารและหนองคายในปีพ.ศ.2515 และ 2522 ตามลำดับ เกิดสภาพการไหลต่ำสุดเท่าที่มีการเก็บบันทึกยาวนานถึง 30 วัน ในการศึกษาเบื้องต้นจึงได้แนะนำให้ใช้ค่าปริมาณการไหลต่ำสุดเฉลี่ย 30 วัน ด้วยคาบการเกิด 10 ปี เป็นปริมาณน้ำต่ำสุดที่ระบบควบคุมต้องปล่อยมาอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาสภาพระบบนิเวศน์ได้น้ำ

Kauffman, Wollaston และ Talley (1999) สรุปรายงานการดำเนินการของรัฐบาลของรัฐเดลาแวร์ (State of Delaware) เกี่ยวกับปัญหาน้ำอุปโภคบริโภคในปีพ.ศ.2543 ซึ่งเกิดสภาพฝนทิ้งช่วงขึ้นในรัฐเดลาแวร์ ทำให้ระดับน้ำใน Brandywine Creek ลดต่ำลงมาก รวมทั้งเกิดปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มใน White Clay Creek สร้างความเดือดร้อนแก่ประชาชนในรัฐเดลาแวร์เกือบ 70% รัฐบาลของรัฐเดลาแวร์ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหามาโดยการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ Hoopes (ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเพียงแห่งเดียวในรัฐเดลาแวร์) ด้วยปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 7 วัน ที่รอบการเกิด 10 ปี โดยปล่อยน้ำด้วยปริมาณดังกล่าวทุกวันเพื่อดำเนินการรุกรานของน้ำเค็ม จนกระทั่งความแห้งแล้งหมดไปเมื่อพายุเฮอริเคนพัดผ่านรัฐเดลาแวร์ และนำฝนขนาดคาบการเกิด 500 ปีมาตกในพื้นที่

การุณย์ (2538) วิเคราะห์การแจกแจงความถี่การเกิดสภาพฝนแล้ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน จำนวนวันฝนตก และจำนวนวันฝนทิ้งช่วงสูงสุดรายปี ระหว่างปี พ.ศ. 2495 - 2534 เพื่อหาฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การ

กระจายแนวโน้ม และการกระจายตามพื้นที่ของฝนแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการศึกษาพบว่า ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ฝนแล้ง คือ 1. ฟังก์ชันการแจกแจงปกติ เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกรายปี ปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกหลังเกิดสภาวะฝนทิ้งช่วง 2. ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เหมาะสมกับข้อมูลจำนวนวันฝนทิ้งช่วงสูงสุดรายปี และ 3. ฟังก์ชันกัมเบล เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกก่อนเกิดสภาพฝนทิ้งช่วง และปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกนอกฤดูฝน

สุदारัตน์ คำปลิว (2542) ศึกษาขนาดและความถี่น้ำหลากในรอบปีการเกิดต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในเชิงความแตกต่างของสภาพพื้นที่ ซึ่งข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ คือ อัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดรายปีที่มีการจดบันทึกข้อมูลไว้ในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความถี่การเกิด 4 แบบ คือ ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เพียร์สันประเภทที่ 3 ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และกัมเบล โดยใช้วิธีทดสอบแบบไคร์สแควร์ (Chi-Square) โคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และค่ายกกำลังสองต่ำสุด (Least Square) ผลการศึกษาพบว่า สำหรับข้อมูลความยาวตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป เมื่อใช้การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 เข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุด ขณะที่ความยาวข้อมูลสั้นประมาณ 10 ปี ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ ให้ผลการแจกแจงดีที่สุด ส่วนการทดสอบไคร์สแควร์ หากข้อมูลความยาวต่ำกว่า 25 ปี จะให้ผลทดสอบไม่ชัดเจนนัก สำหรับข้อมูลยาวเกินกว่า 25 ปี ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ ให้ผลการทดสอบดีที่สุดเหนือกว่าฟังก์ชันกัมเบล สำหรับวิธีค่ายกกำลังสองต่ำสุด ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ

2.3 วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา

Foster (1924) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา กับกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด ด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด ค่าความแปรปรวน และค่าความเบ้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อรูปร่างของโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

Foster (1933) แนะนำวิธีการในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา และโค้งช่วงระยะเวลา – พื้นที่ และการประยุกต์ใช้ในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำ นอกจากนี้ยังอธิบายถึงลักษณะความแตกต่างของโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สำหรับลำน้ำที่มีการควบคุมการไหล (Regulated Flow) กับลำน้ำที่ไม่มีการควบคุมการไหล (Vergin Flow)

Searcy (1959) ศึกษาผลของลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีต่อสภาพการไหลต่ำในลุ่มแม่น้ำมิสซิสซิปปีตอนล่าง โดยประยุกต์ใช้วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาในการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำท่าจำนวน 6 สถานี วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลตลอดช่วงที่เก็บบันทึกในการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา 1 รูปสำหรับแต่ละสถานี ผลการศึกษาสรุปได้ว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาคล้ายคลึงกัน เส้นโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาในหน่วยปริมาณการไหล / พื้นที่ลุ่มน้ำจะมีรูปร่างใกล้เคียงกันมากกว่าเส้นกราฟของพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาแตกต่างกัน และแม้ว่าจะมีลักษณะทางธรณีวิทยาเหมือนกันตลอดทั้งลุ่มน้ำ แต่ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในชั้นดินและความลึกของร่องน้ำ เป็นสิ่งที่ทำให้สภาพการไหลต่ำในแต่ละบริเวณของลุ่มน้ำแตกต่างกันได้เช่นกัน

Beran และ Gustard (1976) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในช่วงสภาพการไหลต่ำกับพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศอังกฤษ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจำนวน 200 สถานี ใช้ค่าปริมาณการไหลที่ 95% ของเวลาสะสม เป็นตัวแทนของปริมาณน้ำในช่วงสภาพการไหลต่ำโค้งปริมาณการไหลแต่ละรูปสร้างโดยใช้ขอบเขตของข้อมูลช่วงระยะเวลา 1 ปี จากการศึกษาพบว่าปริมาณการไหลที่ 95% ของเวลาสะสมมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิอากาศ ในแต่ละพื้นที่อย่างเด่นชัด

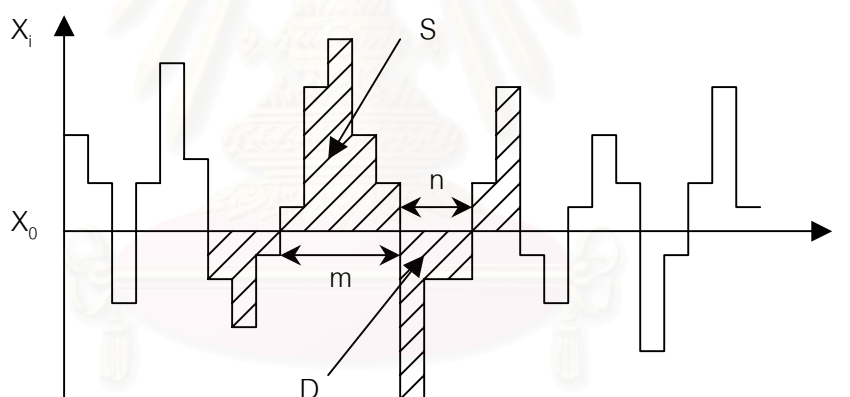
Mario (1989) ประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ในการศึกษาหาขนาดพื้นที่ชลประทานที่โครงการเขื่อนทดน้ำสามารถส่งน้ำให้ได้ในช่วงฤดูแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำ Libungan ประเทศฟิลิปปินส์ โดยวิเคราะห์หาขนาดพื้นที่ชลประทานคำนวณจากค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 15 วันที่คาบการเกิด 5 ปี เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ชลประทานที่คำนวณปริมาณน้ำท่าที่ 80% ของเวลาสะสมจากโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา (ซึ่งโดยปกติจะใช้เป็นเกณฑ์การออกแบบขนาดพื้นที่ชลประทานในประเทศฟิลิปปินส์) ผลการศึกษาพบว่า สำหรับในพื้นที่ลุ่มน้ำ Libungan ขนาดพื้นที่ชลประทานที่คำนวณจากวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา มีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณได้จากวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ชลประทานช่วงฤดูแล้งมากกว่าด้วย

Sugiyama et. al. (1999) เสนอวิธีประยุกต์การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาที่แต่ละคาบการเกิด ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน 3 แห่งในประเทศไทย คือ เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนเขาแหลม

และเชื่อมแมงัดสมบูรณซ์ล เพื่อบ่งบอกสภาพความแห้งแล้งในพื้นที่ต้นน้ำทั้ง 3 แห่ง และนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำต่อไป

2.4 วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน

Yevjevich (1967) ระบุว่านิยามของความแห้งแล้งซึ่งมีอยู่หลากหลายนิยามเป็นอุปสรรคต่อการศึกษารื่องความแห้งแล้ง เนื่องจากการศึกษาของผู้ศึกษาแต่ละคนไม่มุ่งไปที่วัตถุประสงค์เดียวกัน ในการนิยามความหมายของความแห้งแล้ง Yevjevich ให้ความเห็นว่าหลักการของทฤษฎีรันน่าจะสามารภให้ความหมายได้ดีที่สุด และเป็นแนวทางในการศึกษาพารามิเตอร์ทางสถิติของความแห้งแล้งด้วย โดยนิยามความแห้งแล้งตามแนวคิดของ Yevjevich แสดงในรูปที่ 2.2 โดย S แทนปริมาณน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (Positive Run - Sum) D แทนปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (Negative Run - Sum) m แทนช่วงระยะเวลาที่น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (Positive Run - Length) และ n แทนช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (Negative Run - Length) สำหรับระดับการใช้น้ำ X_0



รูปที่ 2.2 นิยามความแห้งแล้งโดยทฤษฎีรัน

ที่มา : Yevjevich (1967)

Millan และ Yevjevich (1971) เสนอวิธีการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุด (Longest Run - Length) และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุด (Largest Run - Sum) โดยฟังก์ชันแรกสร้างจากทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบเบอร์นูลลี (Bernoulli) และฟังก์ชันที่ 2 สร้างขึ้นโดยการประมาณค่าจุดพล็อตด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เส้นระดับการใช้น้ำเป็นแบบคงที่ ข้อมูลจุดพล็อตดังกล่าวได้จากการต่อขยายข้อมูลให้มีความยาวและพารามิเตอร์ทางสถิติตามที่กำหนด ประยุกต์ใช้วิธีการนี้กับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีของลำน้ำหลายสายทั่วโลก พบว่า

วิธีการนี้สามารถใช้ในกรณีที่ความยาวข้อมูลเก็บบันทึกไม่เพียงพอสำหรับการคำนวณหาช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุด และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุดที่ความยาวข้อมูลที่กำหนด ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัว แสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4

Sen (1980a) เสนอวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดโดยเฉลี่ย (Expected Vaule of Largest Drought Duration) กับระดับการใช้น้ำคงที่ค่าต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุดโดยเฉลี่ย (Expected Vaule of Deficit Sum) กับระดับการใช้น้ำคงที่ค่าต่าง ๆ สำหรับชุดข้อมูลสโตแคสติกแบบคงตัว (Stationary Stochastic) โดยความสัมพันธ์แรกสร้างโดยการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเบอร์นูลลี (Bernoulli) แสดงในรูปที่ 2.5 และความสัมพันธ์ที่ 2 สร้างโดยใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Distribution) แสดงในรูปที่ 2.6 โดยความสัมพันธ์ทั้ง 2 แบบใช้สมมติฐานว่าเป็นเหตุการณ์แบบมาร์คอฟลำดับที่ 1 (Lag – One Markov Process) การศึกษานี้ประยุกต์ใช้กับข้อมูลปริมาณน้ำรายปีของแม่น้ำใหญ่ 4 สายในยุโรปและสหรัฐอเมริกา พบว่าความสัมพันธ์แรกมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงดีมาก ขณะที่ความสัมพันธ์ที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนสูงสรุปได้ว่า ฟังก์ชันที่สร้างขึ้นจากสมมติฐานว่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องยาวนานที่สุดเฉลี่ยเป็นเหตุการณ์แบบมาร์คอฟลำดับที่ 1 ไม่สามารถใช้ได้

Sen (1980b) เสนอวิธีการในการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสำหรับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุด (Largest Drought Duration) สำหรับจำนวนข้อมูลขนาดจำกัดและเส้นระดับการใช้น้ำแบบคงที่ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลสโตแคสติกแบบไม่คงตัว (Non – Stationary Stochastic) ประยุกต์ใช้วิธีการนี้กับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานีวัดปริมาณน้ำท่า 4 สถานีในประเทศตุรกี การศึกษาพบว่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสำหรับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดจะมีลักษณะเป็นคาบ (Periodic) โดยลักษณะดังกล่าวจะลดลงตามจำนวนตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดโดยเฉลี่ย กับขนาดความยาวข้อมูลที่สอดคล้องกันแสดงในรูปที่ 2.7

Zelenhasic และ Salvai (1987) เสนอวิธีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับคาบการเกิดด้วยฟังก์ชันแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) สร้างจากข้อมูลเก็บบันทึกจริง และกำหนดเส้นระดับการใช้น้ำแบบคงที่ ข้อมูลจุดพล็อตได้จากเหตุการณ์ความแห้งแล้งสูงสุดของแต่ละปีนำมาจัด

ลำดับมากไปหาน้อย การศึกษานี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันจากลำน้ำ 2 สายในประเทศยูโกสลาเวีย พบว่าฟังก์ชันการแจกแจงความถี่การเกิดทั้ง 2 แบบมีความเข้ากันได้กับข้อมูลจุดพล็อตเป็นอย่างดี แต่ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่คาบการเกิดต่าง ๆ ได้

Mathier et al. (1992) เสนอวิธีการในการสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับคาบการเกิดด้วยฟังก์ชันแบบยี่อเมตริก (Geometric) และฟังก์ชันความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องซึ่งสัมพันธ์กับคาบการเกิดด้วยฟังก์ชันแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) โดยฟังก์ชันแบบแรกสร้างโดยวิธี Analytical ขณะที่ฟังก์ชันแบบที่ 2 สร้างโดยการแจกแจงข้อมูลเก็บบันทึกจริง การศึกษานี้ประยุกต์ใช้กับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลำน้ำในประเทศแคนาดา พบว่าฟังก์ชันทั้ง 2 แบบสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลเก็บบันทึกจริงได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องใช้เส้นระดับการใช้น้ำแบบคงที่ แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่คาบการเกิดต่าง ๆ ได้

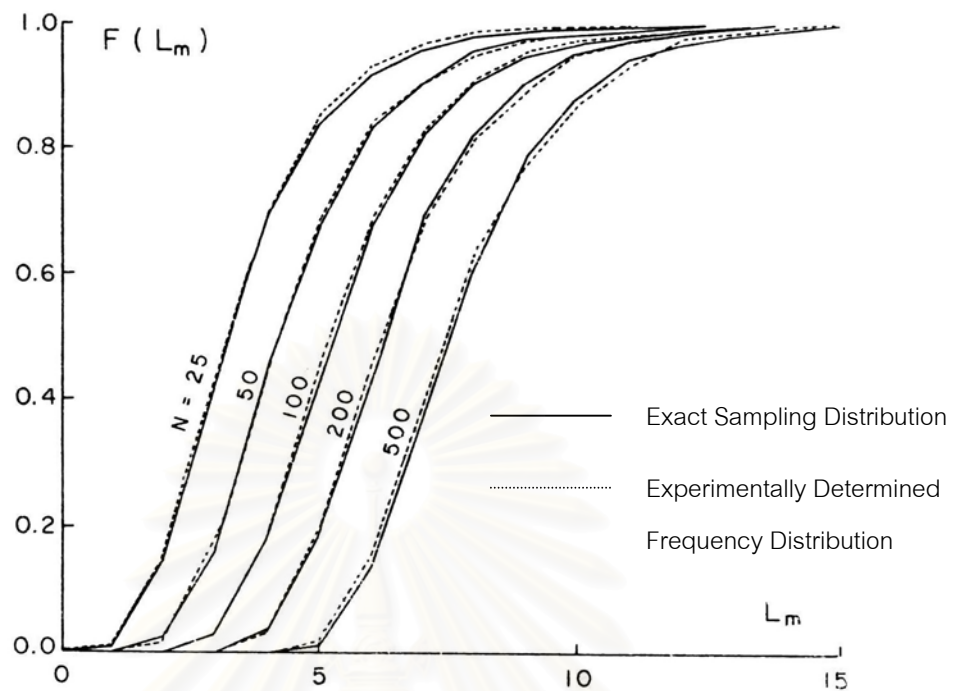
Shiau และ Shen (2001) เสนอวิธีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นร่วมระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ในการวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องซึ่งสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่คาบการเกิดต่าง ๆ โดยไม่จำกัดรูปร่างของเส้นระดับการใช้น้ำ และสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน รายเดือนและรายปีโดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความคงตัว (Stationary) ของข้อมูลเหมือนในหลายการศึกษาอื่น ๆ ที่ผ่านมา การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ในการคำนวณคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งของปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ Shihmen ในประเทศไต้หวัน ผลการศึกษาพบว่าฟังก์ชันความถี่ของการเกิดที่สร้างขึ้นมีความเข้ากันได้กับจุดพล็อตดี แต่ทั้งนี้ต้องมีการขยายข้อมูลปริมาณน้ำท่าออกไปยาวนานถึง 10,000 ปี เพื่อให้มีจำนวนข้อมูลมากพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

จากการตรวจสอบเอกสารอ้างอิง จะเห็นได้ว่า การศึกษาของ Shiau และ Shen แตกต่างจาก Yevjevich คือ การศึกษาของ Yevjevich พยายามที่จะวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของความแห้งแล้ง 2 ตัว คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุด และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องสูงสุด ของข้อมูลที่มีขนาดความยาวต่าง ๆ กัน โดยที่นิยามของคาบการเกิดที่ใช้ในการศึกษายังไม่มีอย่างชัดเจน นอกจากนี้ พารามิเตอร์ความแห้งแล้งทั้ง 2 ตัวซึ่งสนใจเฉพาะในแง่ของเหตุการณ์

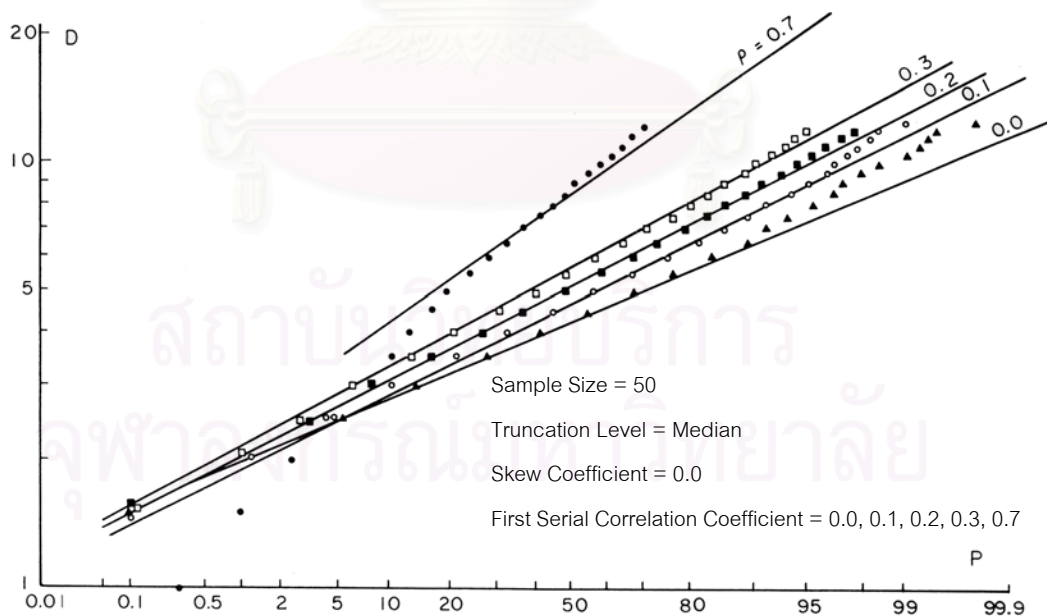
สูงสุดไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้ว ช่วงระยะเวลาขาดแคลน และปริมาณความขาดแคลน เป็นพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กันอยู่เสมอในการบ่งบอกว่า เหตุการณ์ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงเพียงใด ขณะที่การศึกษาของ Shiau และ Shen วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ความแห้งแล้ง 2 ตัว คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง โดยสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบของคาบการเกิด แทนที่จะสนใจเฉพาะค่าสูงสุด เหมือนดังในการศึกษาของ Yevjevich โดยที่การศึกษาของ Shiau และ Shen เป็นการศึกษาแรกที่สามารถนิยามคาบการเกิดของความแห้งแล้งได้โดยอาศัยหลักการของทฤษฎีความน่าจะเป็น และสมการทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวที่คาบการเกิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการบ่งบอกความรุนแรงของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมา ๆ มา วิธีการวิเคราะห์ห้มิได้ให้คำตอบที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว



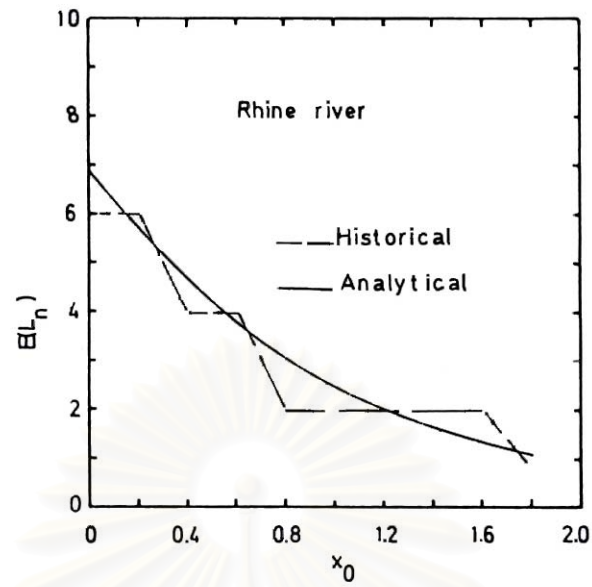
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



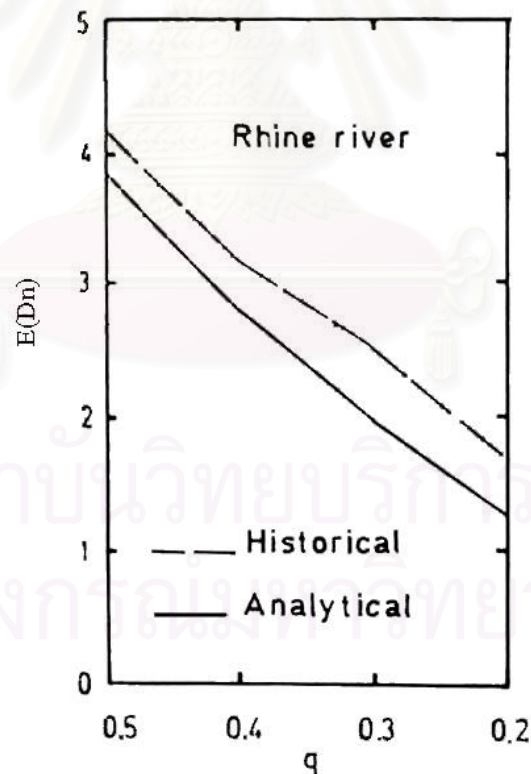
รูปที่ 2.3 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุด (L_m) เปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงแบบเบอรรูลล์กับเหตุการณ์ที่ได้จากชุดข้อมูล ต่อขยาย ที่มา : Millan และ Yevjevich (1971)



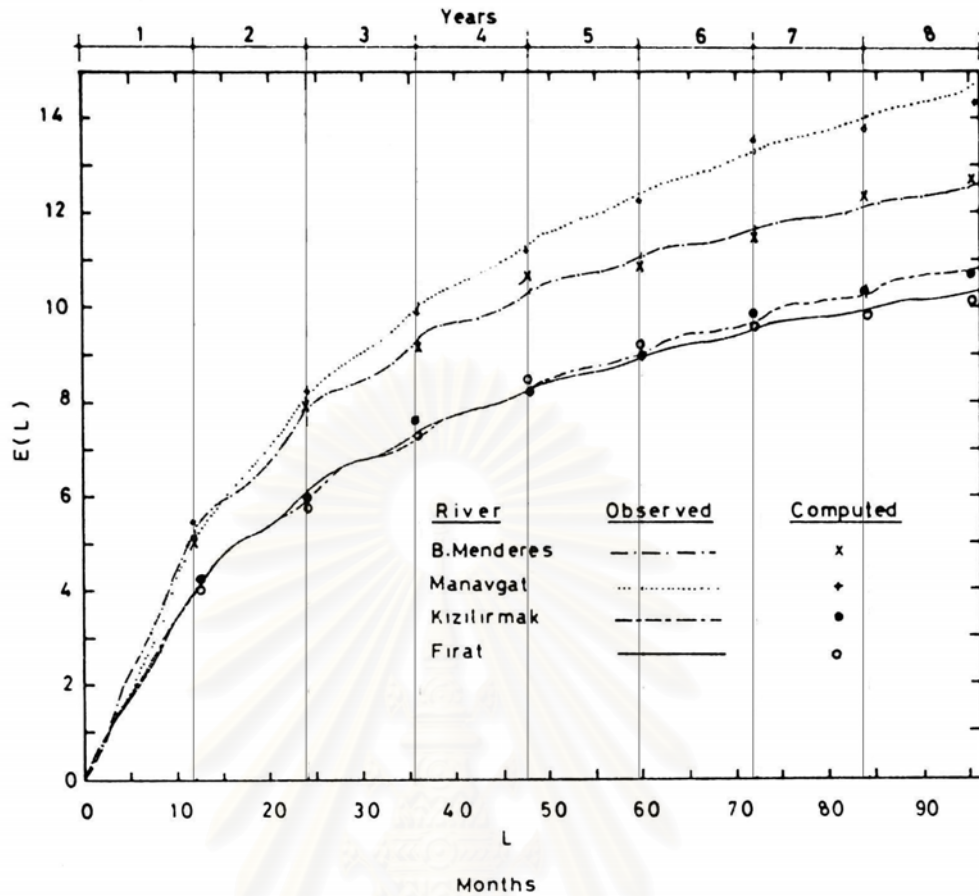
รูปที่ 2.4 การแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุด (D) โดยฟังก์ชัน ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เปรียบเทียบกับจุดพล็อตที่ได้จากชุดข้อมูลต่อขยาย ที่มา : Millan และ Yevjevich (1971)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดโดยเฉลี่ย ($E(L_n)$) กับระดับการใช้น้ำ (X_0) ที่มา : Sen (1980a)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องสูงสุดโดยเฉลี่ย ($E(D_n)$) กับระดับการใช้น้ำ (X_0) ที่มา : Sen (1980a)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องยาวนานที่สุดโดยเฉลี่ย ($E(L)$) กับคาบการเกิด ที่มา : Sen (1980b)

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 คำจำกัดความของความแห้งแล้ง

Wilhite และ Glantz (1985) ได้จำแนกความแห้งแล้งออกเป็น 4 ประเภท ตามลักษณะการเกิดขึ้นดังนี้

1. ความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Drought) เป็นความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจากสภาพฝนทิ้งช่วง หรือมีฝนตกน้อยกว่าระดับที่กำหนด (Threshold) โดยช่วงที่เกิดความแห้งแล้ง (Period of Drought) นิยามจากจำนวนวันที่มีฝนตกน้อยกว่าระดับที่กำหนด ความแห้งแล้งในทางอุตุนิยมวิทยาเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาความแห้งแล้งประเภทอื่น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นตามกันเป็นลำดับ

2. ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรม (Agricultural Drought) เป็นความแห้งแล้งซึ่งเป็นผลกระทบต่อเนื่องมาจากความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรมจะมุ่งสนใจในเรื่องของการเกิดฝนทิ้งช่วงซึ่งทำให้ดินขาดความชุ่มชื้น และนอกจากนี้ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรมยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชซึ่งมีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศได้ต่างกัน ความต้องการน้ำแตกต่างกัน รวมทั้งลำดับขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลต่อผลผลิตทางการเกษตรทั้งสิ้น ดังนั้นการจะระบุว่าเกิดความแห้งแล้งหรือไม่นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาด้วยว่าพืชที่ปลูกเป็นพืชชนิดใด และลำดับขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืชชนิดนั้นสอดคล้องกับฤดูกาลเกิดฝนหรือไม่ และทำได้ที่สุดผลผลิต/ไร่ ที่ได้นั้นมีมากน้อยเพียงใด

3. ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา (Hydrological Drought) เป็นความแห้งแล้งที่เกิดจากช่วงฤดูกาลที่มีปริมาณฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตก ทำให้ระดับน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินคือ น้ำในแม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ และน้ำบาดาลลดระดับลง ซึ่งความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยานี้มักจะพิจารณาในระดับของกลุ่มน้ำ งานทางด้านอุทกวิทยาส่วนใหญ่มักจะเกี่ยวข้องกับความแห้งแล้งประเภทนี้ เนื่องจากความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยามีผลโดยตรงต่อระบบการจัดสรรน้ำและโครงการส่งน้ำ โดยทั่วไปแล้ว ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยาเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ต่างจากความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา และความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรม ยกตัวอย่างเช่น หากเกิดเหตุการณ์ฝนตกทิ้งช่วงขึ้น ความชุ่มชื้นในดินจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาต่อพืชที่ปลูกในพื้นที่เกือบจะ

ในทันที แต่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ลดลงอาจส่งผลกระทบต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในอีกหลายเดือนข้างหน้า นอกจากนี้หากมีการจัดสรรน้ำเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่าง เช่น การบรรเทาอุทกภัย การชลประทาน การพักผ่อนหย่อนใจ การคมนาคมทางน้ำ การผลิตกระแสไฟฟ้า และรักษาระบบนิเวศน์ได้น้ำ ความซับซ้อนของปัญหาจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งระยะเวลาและลำดับของการเกิดแต่ละปัญหา รวมถึงความรุนแรงของปัญหาก็เป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก

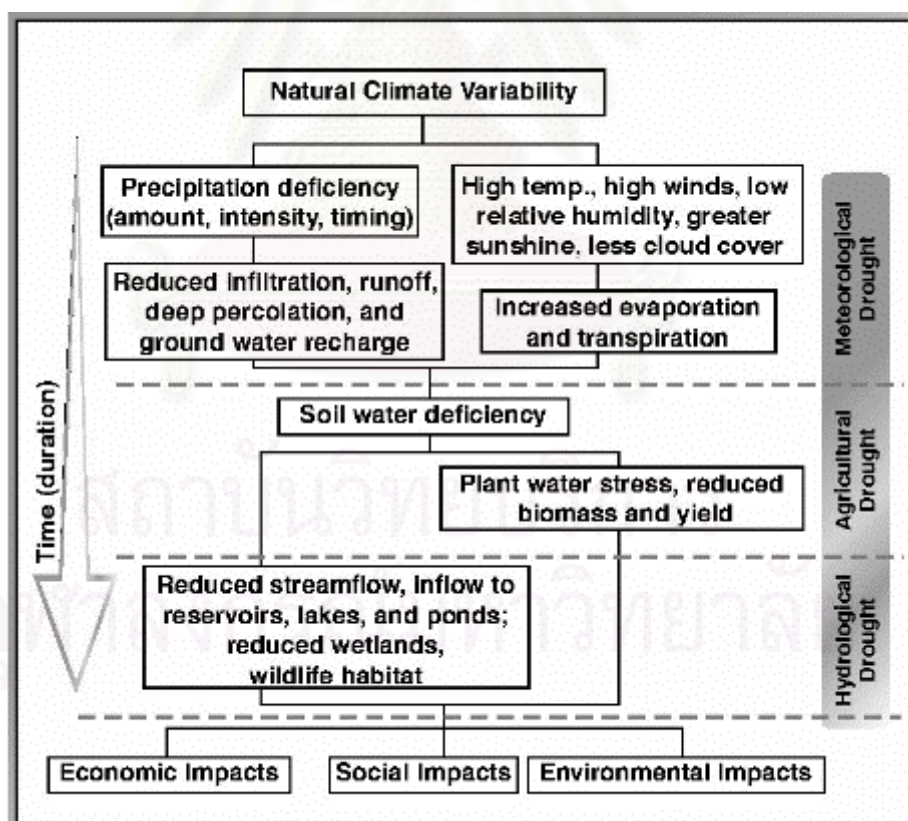
แม้ว่าสภาพภูมิอากาศจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยาขึ้น แต่ปัจจัยอื่น ๆ อาจเป็นสาเหตุด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต้นน้ำ จะทำให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่ท้ายน้ำได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การลดลงของป่าไม้ และการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ เป็นต้น

4. ความแห้งแล้งเชิงเศรษฐกิจและสังคม (Socioeconomic Drought) เป็นความแห้งแล้งที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรที่มีอยู่ (Supply) และความต้องการทรัพยากรนั้น (Demand) แต่เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากรและมีความต้องการทรัพยากรมาก จึงทำให้เกิดความขาดแคลนขึ้น ซึ่งความแห้งแล้งเชิงเศรษฐกิจและสังคมจะแตกต่างออกไปจากนิยามความแห้งแล้งอื่น ๆ เนื่องจากมีเรื่องของความต้องการใช้และความจำกัดของทรัพยากรเข้ามาเกี่ยวข้อง ทรัพยากรที่กล่าวถึงคือ ทรัพยากรที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจหรือมีราคา และเกิดความจำกัดขึ้นเนื่องจากผลกระทบของความแห้งแล้ง 3 ประเภทข้างต้น ทรัพยากรดังกล่าวได้แก่ น้ำ ทรัพยากรผลิตผลทางการเกษตร สัตว์น้ำ และกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ ซึ่งความขาดแคลนทรัพยากรที่เกิดขึ้นย่อมจะเกิดผลกระทบต่อเนื่องในระบบเศรษฐกิจและสังคม เช่น กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้น้อยลง ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณการนำเข้าน้ำมัน และถ่านหิน หรือข้าวมีผลผลิต/ไร่ ลดลง ทำให้ราคาสูงขึ้น หรือมีผลกระทบต่อรายได้จากการส่งออก เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วความต้องการทรัพยากรจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร และความต้องการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้น ในด้านการผลิตอาจเพิ่มขึ้นได้โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต เทคโนโลยีต่าง ๆ และการสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำ ซึ่งเมื่อทั้งปัจจัยในด้านการผลิตและการบริโภคมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น สิ่งที่จะเป็นตัวชี้วัดว่าจะเกิดความขาดแคลนขึ้นหรือไม่จึงอยู่ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของปัจจัยทั้ง 2 อย่าง และหากความต้องการบริโภคมีเกินกว่าที่จะผลิตได้ ความแห้งแล้งในทางเศรษฐกิจและสังคมจะเกิดขึ้นจนกว่าปัจจัยทั้ง 2 อย่างนี้ จะปรับตัวเข้าหากันจนเกิดความสมดุล

3.2 ลำดับการเกิดผลกระทบจากความแห้งแล้ง

ความแห้งแล้งจะเกิดขึ้นเป็นลำดับ โดยเริ่มจากความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรม ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา และความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม ตามลำดับ โดยหลังจากเกิดเหตุการณ์ฝนทิ้งช่วงขึ้น การเกษตรกรรมจะได้รับผลกระทบเป็นอันดับแรก เนื่องจากความชุ่มชื้นของดินจะลดลงอย่างรวดเร็ว และหากยังคงไม่มีฝนตก แหล่งน้ำอื่น ๆ เริ่มลดระดับลง ปัญหาจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ เมื่อฝนเริ่มตกตามปกติอีกครั้ง ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาจะเริ่มหมดไป ความชุ่มชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นก่อนเป็นอันดับแรก จากนั้นระดับน้ำเก็บกักผิวดินและใต้ดินจะเริ่มสูงขึ้น ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรมจะหมดไปอย่างรวดเร็ว เพราะขึ้นอยู่กับสภาพความชุ่มชื้นในดินเป็นหลัก ขณะที่ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยาอาจต้องใช้เวลาเป็นเดือนหรือเป็นปีจึงจะหมดไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของความแห้งแล้ง ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้งต่อเนื่อง และปริมาณฝนที่ตกภายหลังสิ้นสุดสภาพฝนทิ้งช่วง ลำดับขั้นตอนการเกิดความแห้งแล้งประเภทต่าง ๆ แสดงดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการเกิดความแห้งแล้งประเภทต่าง ๆ

ที่มา : National Drought Mitigation Center (1995)

3.3 คำจำกัดความของความแห้งแล้งที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้คำจำกัดความของความแห้งแล้ง 2 ประเภท คือ ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา และความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดและวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา เป็นวิธีการวิเคราะห์หาคาบการเกิดโดยนิยามของความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา เนื่องจากเกี่ยวข้องกับกาไหลในลำน้ำในช่วงที่เกิดสภาพการไหลต่ำ ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันใช้นิยามความแห้งแล้งร่วมกันระหว่างความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยากับความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความต้องการใช้น้ำ (Demand) กับน้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Supply)

3.4 ทฤษฎีที่ใช้ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด คือ วิธีการประมาณค่าโอกาสที่จะเกิดขึ้นของเหตุการณ์ที่สนใจ เช่น ปริมาณน้ำสูงสุด ปริมาณน้ำต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน คุณภาพน้ำ ฯลฯ โดยใช้หลักการทางสถิติเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์ความถี่การเกิดของปริมาณน้ำต่ำสุดมีคำจำกัดความเบื้องต้นที่ควรทราบดังนี้

1. สภาพการไหลต่ำ (Low Flow Condition) คือ ปริมาณการไหลต่ำสุด (Low Flow Discharge) ระดับน้ำต่ำสุด (Low Flow Stage) และปริมาตรน้ำต่ำสุด (Low Flow Volume) ในช่วงเวลาหนึ่ง (Time Interval) ซึ่งพิจารณาจากหน่วยเวลาที่กำหนด (Unit Time Period) ที่ไหลผ่านลำน้ำ ณ หน้าตัดที่ทำการวัดน้ำ

2. ช่วงเวลา (Time Interval, t) คือ ช่วงเวลาที่ใช้คำนวณปริมาณน้ำต่ำสุด เช่น ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 7 วัน 10 วัน 15 วัน เป็นต้น โดยจะเลือกใช้ช่วงเวลาค่าใดขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่วิเคราะห์

3. หน่วยเวลา (Unit Time Period, T_0) คือ ระยะเวลาที่แบ่งเป็นช่วง ๆ เพื่อจะหาค่าปริมาณน้ำต่ำสุดในแต่ละช่วงระยเวลานั้น โดยระยะเวลาดังกล่าวอาจเป็น 6 เดือน 1 ปี 5 ปี 10 ปี แต่โดยทั่วไปมักใช้หน่วยเวลา 1 ปี (Annual) ในการวิเคราะห์

4. ช่วงระยะเวลาที่เกิดสภาพการไหลต่ำ (Low Flow Duration หรือ Time-off, t_{off}) คือ ช่วงระยะเวลาที่ปริมาณน้ำที่หน้าตัดหนึ่งบนลำน้ำมีน้อยกว่าค่าปริมาณน้ำที่กำหนด หรือน้อยกว่าระดับน้ำที่กำหนด (Threshold) โดยพิจารณาภายใต้หน่วยเวลาช่วงหนึ่ง

5. ช่วงระยะเวลาที่ไม่เกิดสภาพการไหลต่ำ (Time-on, t_{on}) คือ ช่วงระยะเวลาที่ปริมาณน้ำที่หน้าตัดหนึ่งบนลำน้ำมีมากกว่าค่าปริมาณน้ำที่กำหนดหรือสูงกว่าระดับน้ำที่กำหนด โดยพิจารณาภายใต้หน่วยเวลาช่วงหนึ่ง

ในรูปที่ 3.2 แสดงภาพประกอบนิยามต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสภาพการไหลต่ำ โดยที่

- Q คือ ปริมาณการไหลที่วัดได้ภายในหน่วยเวลาที่พิจารณา (Unit Period T_0)
- Q_0 คือ ปริมาณการไหลที่กำหนดให้เป็นช่วงสภาพการไหลต่ำ
- Q_{min} คือ ปริมาณการไหลต่ำสุดที่วัดได้ภายในหน่วยเวลาที่พิจารณา (Unit Period T_0)
- Q_i คือ ปริมาณการไหลเฉลี่ยต่ำสุดของช่วงเวลาที่กำหนด (Interval t_i) โดย $Q_i = V_i/t_i$
- V_i คือ ปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดของช่วงเวลาที่กำหนด (Interval t_i)
- t_{off} คือ ช่วงระยะเวลาที่เกิดสภาพการไหลต่ำ สำหรับระดับปริมาณการไหลที่ใช้กำหนดสภาพการไหลต่ำ Q_0 (ช่วงเวลาที่ $Q < Q_0$)
- t_{on} คือ ช่วงระยะเวลาที่ไม่เกิดสภาพการไหลต่ำ สำหรับระดับปริมาณการไหลที่ใช้กำหนดสภาพการไหลต่ำ Q_0 (ช่วงเวลาที่ $Q > Q_0$)

3.4.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 3 แบบ ได้แก่

1. ฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 (Extreme - Value Type 3 Distribution)
2. ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 (Log - Pearson Type 3 Distribution)
3. ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ (2 - Parameter Lognormal Distribution)

สำหรับฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์นั้น Gupta (1989) แนะนำว่าเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่การเกิดของสภาพการไหลต่ำได้ดี ขณะที่ Matalas (1963) และ Kite (1985) แนะนำว่าฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 เป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมการประมาณค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ทำการศึกษานี้ใช้วิธีโมเมนต์ (Moments Method) และทดสอบความเหมาะสมโดยวิธีไคสแควร์ (Chi - Square Goodness of Fit Test) มีรายละเอียดดังนี้



NOTE :

1. t_{off} = TIME - OFF FOR Q_o
2. $t_{on}^1 + t_{on}^2$ = TIME - ON FOR Q_o
3. $t_{off} + t_{on} = T_o$

รูปที่ 3.2 คำนิยามต่างๆ ที่ใช้ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

ที่มา : U.S. Army Engineer District, Tulsa (1964)

3.4.1.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3

ถ้า $\ln X$ มีการแจกแจงแบบเพียร์สันประเภทที่ 3 โดย X คือตัวแปรสุ่ม จะกล่าวได้ว่า X มีการแจกแจงแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Probability Density Function) สำหรับการแจกแจงแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 เป็นดังนี้

$$p(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left[\frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right]} \quad (3.1)$$

โดยที่ α β และ γ คือ พารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 ประมาณค่าพารามิเตอร์ μ_y และ σ_y ของฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 ด้วยวิธีโมเมนต์ได้จากสมการ

$$\mu_y = \gamma + \alpha\beta \quad (3.2)$$

$$\sigma_y = \alpha\sqrt{\beta} \quad (3.3)$$

3.4.1.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์

ถ้า $\ln x$ มีการแจกแจงแบบนอร์มอล โดย X คือตัวแปรสุ่ม จะกล่าวได้ว่า X มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นสำหรับการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เป็นดังนี้

$$p(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln x - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}} \quad (3.4)$$

โดย μ_y และ σ_y เป็นค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $\ln X$

ประมาณค่าพารามิเตอร์ μ_x และ σ_x ของฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ ด้วยวิธีโมเมนต์ได้จากสมการ

$$\mu_x = e^{\mu_y + \sigma_y^2/2} \quad (3.5)$$

$$\text{และ } \sigma_x^2 = (e^{\sigma_y^2} - 1)\mu_x^2 \quad (3.6)$$

3.4.1.3 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3

เมื่อ X คือตัวแปรสุ่ม ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสำหรับการแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 แสดงดังสมการ

$$p(x) = \frac{\alpha}{\beta - \gamma} \left[\frac{x - \gamma}{\beta - \gamma} \right]^{\alpha-1} e^{-\left[\frac{x - \gamma}{\beta - \gamma} \right]^{\alpha}} \quad (3.7)$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability Density Function) ของการแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 แสดงดังสมการ

$$P(x) = e^{-\left[\frac{x - \gamma}{\beta - \gamma} \right]^{\alpha}} \quad (3.8)$$

โดยที่ α β และ γ คือ พารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ μ_x และ σ_x สำหรับการแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 หาได้จากสมการ

$$\mu_x = \gamma + (\beta - \gamma) \Gamma(1 + 1/\alpha) \quad (3.9)$$

$$\text{และ } \sigma_x^2 = (\beta - \gamma)^2 \{ \Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha) \} \quad (3.10)$$

3.4.2 สมการความถี่โดยทั่วไป

Chow (1964) ได้เสนอสมการทั่วไปที่ใช้คำนวณหาค่าของเหตุการณ์ X ที่สนใจในการวิเคราะห์ความถี่การเกิด โดยกำหนดว่าค่าของเหตุการณ์ X ที่สนใจสามารถหาได้จากผลบวกของค่าเฉลี่ยของชุดเหตุการณ์ที่สนใจกับส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ดังแสดง

$$x = \mu_x + \Delta x \quad (3.11)$$

ส่วนเบี่ยงเบน Δx ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของชุดเหตุการณ์ X คาบการเกิด T ที่สนใจและพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบนดังกล่าวจึงอาจเขียนให้อยู่ในรูปของผลคูณระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ กับค่าปัจจัยความถี่ K โดยที่ค่าปัจจัยความถี่เป็นฟังก์ชันของคาบการเกิด และชนิดของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสมการที่ (3.11) จึงเขียนได้ใหม่เป็น

$$x_T = \mu_x + \sigma_x K \quad (3.12)$$

$$\text{หรือ } x_T = \mu_x (1 + ZK) \quad (3.13)$$

โดยที่ x_T คือ ปริมาณน้ำที่คาบการเกิดเฉลี่ย T ปี

σ_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดเหตุการณ์ X

μ_x คือ ค่าเฉลี่ยของชุดเหตุการณ์ X

Z คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation)

K คือ ค่าปัจจัยความถี่ (Frequency Factor)

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยวิธีโมเมนต์ และประยุกต์ใช้สมการความถี่โดยทั่วไปในการวิเคราะห์หาเหตุการณ์ที่สนใจที่คาบการเกิดต่าง ๆ Kite (1977) ได้แสดงวิธีการสำหรับฟังก์ชันการแจกแจงทั้ง 3 แบบในการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3

สมการความถี่ทั่วไปในรูปล็อกการิทึมของเหตุการณ์ที่สนใจ x_T คือ

$$y_T = \ln x_T = \mu_y + K \sigma_y \quad (3.14)$$

โดย K คือ ค่าปัจจัยความถี่ คำนวณได้จาก

$$K \approx t + (t^2 - 1) \frac{\gamma_1}{6} + \frac{1}{3} (t^3 - 6t) \left(\frac{\gamma_1}{6} \right)^2 - (t^2 - 1) \left(\frac{\gamma_1}{6} \right)^3 + t \left(\frac{\gamma_1}{6} \right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_1}{6} \right)^5 \quad (3.15)$$

เมื่อ γ_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Skewness) ของชุดเหตุการณ์ X

t คือ ค่าการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Deviate)

3.4.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์

สามารถคำนวณค่าเหตุการณ์ x_T ที่สนใจได้จากสมการความถี่ทั่วไป 2 รูปแบบ คือ

$$y_T = \ln x_T = \mu_y + t \sigma_y \quad (3.16)$$

โดย t คือ ค่าการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Deviate)

$$\text{หรือ } x_T = \mu_x + \sigma_x K \quad (3.17)$$

โดย K หาได้จากสมการดังนี้

$$K = \frac{e^{t[\ln(1+z^2)]^{\frac{1}{2}} - [\ln(1+z^2)]/2} - 1}{z} \quad (3.18)$$

เมื่อ t คือ ค่าการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Deviate)

Z คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation)

3.4.2.3 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3

สมการความถี่ทั่วไปแสดงโดย

$$x_T = \mu_x + \sigma_x K \quad (3.19)$$

โดย K คำนวณได้จาก

$$K = A_\alpha + B_\alpha \{[-\ln(1 - 1/T)]^{1/\alpha} - 1\} \quad (3.20)$$

$$\text{เมื่อ } \alpha = 1 / [a_1 + a_2\gamma_1 + a_3\gamma_1^2 + a_4\gamma_1^3 + a_5\gamma_1^4] \quad (3.21)$$

$$\text{โดยที่ } a_1 = 0.2777757913 \quad a_2 = 0.3132617714$$

$$a_3 = 0.0575670910 \quad a_4 = -0.0013038566$$

$$a_5 = -0.0081523408$$

และ γ_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Skewness)

$$B_\alpha = [\Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha)]^{-1/2} \quad (3.22)$$

$$A_\alpha = [1 - \Gamma(1 + 1/\alpha)] B_\alpha \quad (3.23)$$

3.4.3 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงโดยวิธีไคสแควร์

ในการวิเคราะห์ความถี่การเกิด สิ่งหนึ่งซึ่งมักเป็นที่สนใจหาคำตอบ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้วิเคราะห์มีความเข้ากันได้กับข้อมูลจริงดีเพียงใด ในทางสถิติสามารถทำได้โดยการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธีไคสแควร์ (Chi-square Test) Haan (1977) ระบุว่าข้อดีประการหนึ่งของวิธีไคสแควร์ คือ ในการเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นหลาย ๆ ฟังก์ชัน วิธีการนี้

ให้ผลการเปรียบเทียบที่ถูกต้องยอมรับได้ จึงทำให้วิธีทางสถิติที่ยังคงได้รับการยึดถือเป็นเกณฑ์การทดสอบอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นด้วยวิธีไคสแควร์พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่ของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้กับการแจกแจงความถี่ของฟังก์ชันแบบที่ต้องการทดสอบ ตามสมการดังนี้

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.24)$$

โดย χ^2 คือ ค่าสถิติไคสแควร์

O_i คือ ค่าความถี่ที่ได้จากการสังเกตในชั้นที่ i

E_i คือ ค่าความถี่ที่คาดว่าจะได้ในชั้นที่ i ตามลักษณะการแจกแจงความถี่ของฟังก์ชันที่ต้องการทดสอบ

k คือ จำนวนช่วงชั้น (Class Interval)

ค่าสถิติไคสแควร์ χ^2 มีองศาอิสระ (Degree of Freedom) เท่ากับ $k-p-1$ เมื่อ p คือ จำนวนพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงที่ทดสอบ เกณฑ์การทดสอบคือ ถ้า $\chi_c^2 < \chi_{1-\alpha, k-p-1}^2$ หมายถึงการยอมรับสมมติฐานว่า กลุ่มตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรมีลักษณะตามการแจกแจงที่ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น $1-\alpha$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะทำการทดสอบที่ $1-\alpha$ เท่ากับ 95% สำหรับการกำหนดจำนวนช่วงชั้น Yevjevich (1972) ระบุว่าไม่ควรมีต่ำกว่า 5 ช่วงชั้น โดยที่เหตุการณ์ที่คาดหมายในแต่ละช่วงชั้นไม่ควรน้อยกว่า 5 ค่าด้วยเช่นกัน

3.4.4 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเมื่อปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์

ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดของเหตุการณ์สภาพการไหลต่ำ อาจมีบางเหตุการณ์ที่ปริมาณการไหลเป็นศูนย์ เช่น ในช่วงฤดูแล้งบางปีที่ไม่มีฝนตกยาวนาน และมีน้ำใต้ดินเต็มในลำน้ำไม่มาก ทำให้ในบางจุดบนลำน้ำไม่มีปริมาณการไหล แต่ในการวิเคราะห์ความถี่การเกิดด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นบางฟังก์ชัน จำเป็นต้องใช้ค่าล็อกการิทึมของข้อมูลปริมาณการไหลในการวิเคราะห์ ซึ่งในการศึกษานี้ คือ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว Haan (1977) ระบุว่าสามารถกระทำได้ 3 แนวทาง คือ

1. บวกเพิ่มค่าให้ข้อมูลที่ศูนย์จำนวนเล็กน้อย เพื่อให้สามารถคำนวณค่าล็อกการิทึมได้แล้วจึงปรับแก้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ในภายหลัง

2. วิเคราะห์ความถี่ของการเกิดโดยตัดข้อมูลที่มีค่าเป็นศูนย์ออก เส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาใช้โดยละทิ้งผลของเหตุการณ์ที่ปริมาณการไหลเป็นศูนย์

3. ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นรวม (Theorem of Total Probability) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์

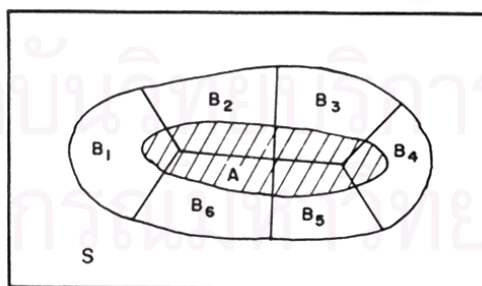
Haan (1977) และ Cordon (1992) แนะนำว่าแนวทางที่ 3 เป็นวิธีการที่สมเหตุสมผลที่สุด เนื่องจากสามารถนำทฤษฎีความน่าจะเป็นเข้ามาอธิบายขั้นตอนการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ดังนั้นในการศึกษาเรื่องนี้จึงได้ยึดถือแนวทางที่ 3 คือ นำทฤษฎีความน่าจะเป็นรวมมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดกรณีที่ข้อมูลปริมาณน้ำต่ำสุดที่คัดเลือกมาวิเคราะห์มีค่าเป็นศูนย์สำหรับฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์

3.4.4.1 ทฤษฎีความน่าจะเป็นรวม

ถ้า B_1, B_2, \dots, B_n เป็นเหตุการณ์ที่เกิดร่วมกันไม่ได้ จากการทดลองสุ่มที่มีสเปซตัวอย่าง S และ $\bigcup_{i=1}^n B_i = S$ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A หาได้จาก

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A|B_i) P(B_i) \quad (3.25)$$

สมการที่ (3.25) แสดงได้โดยรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A โดยมีเงื่อนไขของเหตุการณ์ B

จากทฤษฎีความน่าจะเป็นรวม สมการที่ (3.25) นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดของสภาพการไหลต่ำดังนี้

$$P(X \geq x) = P(X \geq x | X = 0)P(X = 0) + P(X \geq x | X \neq 0)P(X \neq 0) \quad (3.26)$$

เนื่องจาก $P(X \geq x | X = 0)$ เท่ากับ 0 ดังนั้นสมการที่ (3.26) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$P(X \geq x) = P(X \geq x | X \neq 0)P(X \neq 0) \quad (3.27)$$

จากสมการที่ (3.27) นี้ $P(X \neq 0)$ สามารถประมาณค่าได้จากสัดส่วนของเหตุการณ์ที่ไม่เป็นศูนย์ต่อเหตุการณ์ทั้งหมด และ $P(X \geq x | X \neq 0)$ ได้จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นตามวิธีปกติโดยใช้เฉพาะข้อมูลเหตุการณ์ที่ปริมาณการไหลไม่เป็นศูนย์ในการคำนวณความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.27) แสดงได้โดย

$$1 - P_x(x) = k [1 - P_x^*(x)] \quad (3.28)$$

$$\text{หรือ } P_x(x) = 1 - k + kP_x^*(x) \quad (3.29)$$

โดยที่ $P_x(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ X ทั้งหมด ($P(X \leq x | X \geq 0)$)

k คือ ความน่าจะเป็นที่ X ไม่เป็นศูนย์

$P_x^*(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ X ที่ไม่เป็นศูนย์ ($P(X \leq x | X \neq 0)$)

3.5 ทฤษฎีที่ใช้ในวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา

วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำท่า Searcy (1959) ระบุว่าวิธีการนี้ได้เริ่มมีการใช้แพร่หลายมาตั้งแต่ช่วงประมาณปีพ.ศ.2458 หรือเป็นเวลาเกือบ 1 ศตวรรษมาแล้ว โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา คือ โค้งความถี่สะสมแสดงเปอร์เซ็นต์ของเวลาซึ่งปริมาณการไหลมีค่าเท่ากับหรือสูงกว่าค่าที่กำหนด (Equal or Exceed) แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะและความผันแปรของการไหลของลำน้ำตลอดช่วงความยาวข้อมูลที่วิเคราะห์โดยไม่คำนึงถึงลำดับการเกิด

3.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลากับการแจกแจงความถี่ของการเกิด

โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกราฟการแจกแจงความถี่ของ

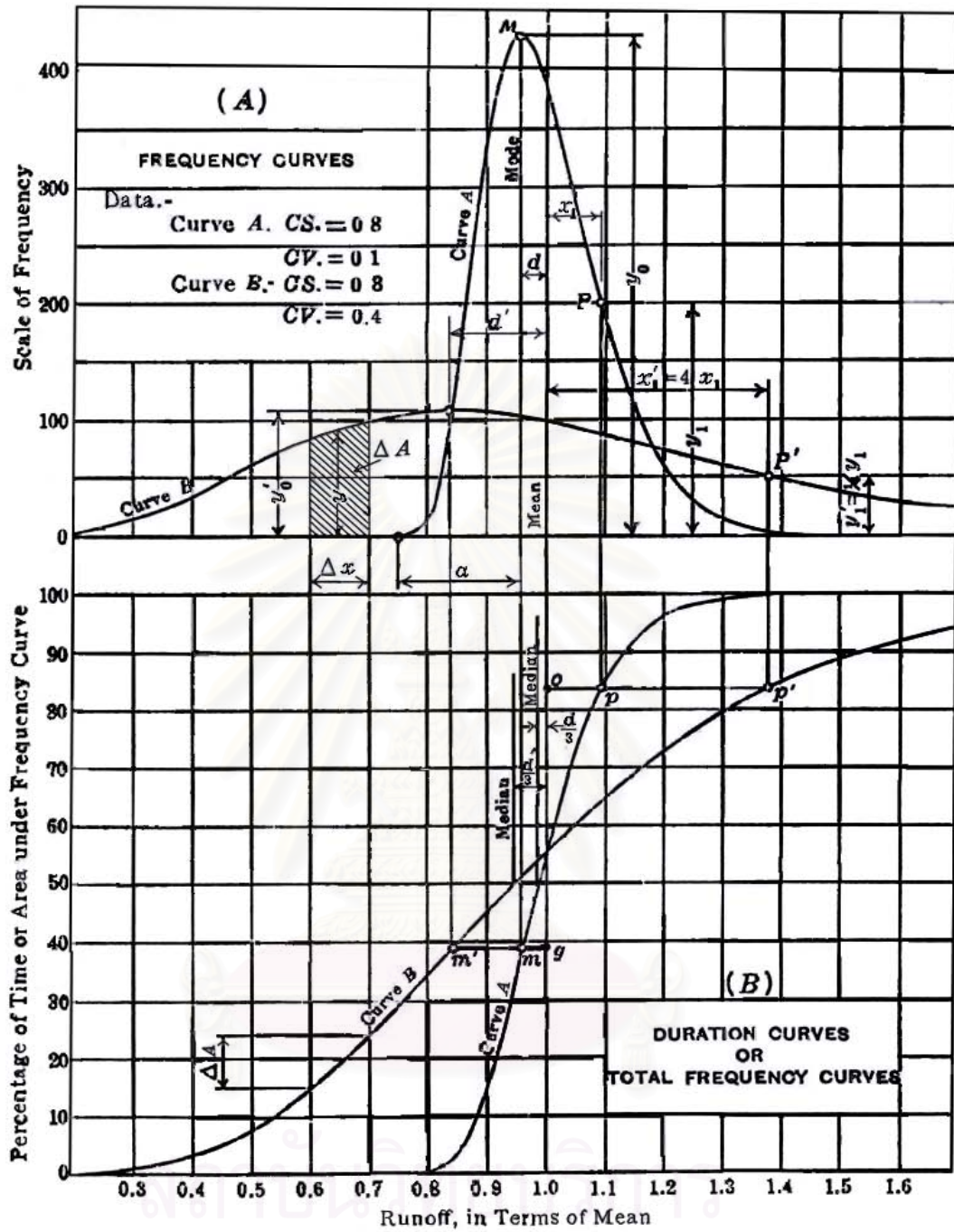
การเกิด (Frequency Diagram) ในรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยที่ในรูปบน (A) แสดงกราฟการแจกแจงความถี่การเกิดที่มีรูปร่างต่างกัน 2 แบบ และในรูปล่าง (B) แสดงโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ซึ่งสร้างขึ้นจากพื้นที่สะสมใต้เส้นกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด โดยโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาในรูปนี้แสดงเปอร์เซ็นต์ของเวลาซึ่งปริมาณการไหลมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด (Non-Exceeded)

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่า ค่าสูงสุด (Mode) บนกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด จะตรงกับจุดเปลี่ยนโค้ง (Inflection Point) m และ m' บนโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ค่ามัธยฐาน (Median) จะตรงกับที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของเวลาโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา และหากเส้นกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด 2 เส้นใด ๆ มีรูปร่างแตกต่างกัน แต่มีค่าเฉลี่ย (Mean) ปริมาณการไหลเท่ากัน โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ของกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด 2 เส้นดังกล่าว จะตัดกันที่ปริมาณการไหลซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยนั้นด้วย โดยค่าสูงสุด ค่ามัธยฐาน และค่าเฉลี่ย มีความสัมพันธ์กัน คือ ระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่ามัธยฐานจะประมาณเท่ากับ 1 ใน 3 ของระยะห่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าเฉลี่ย

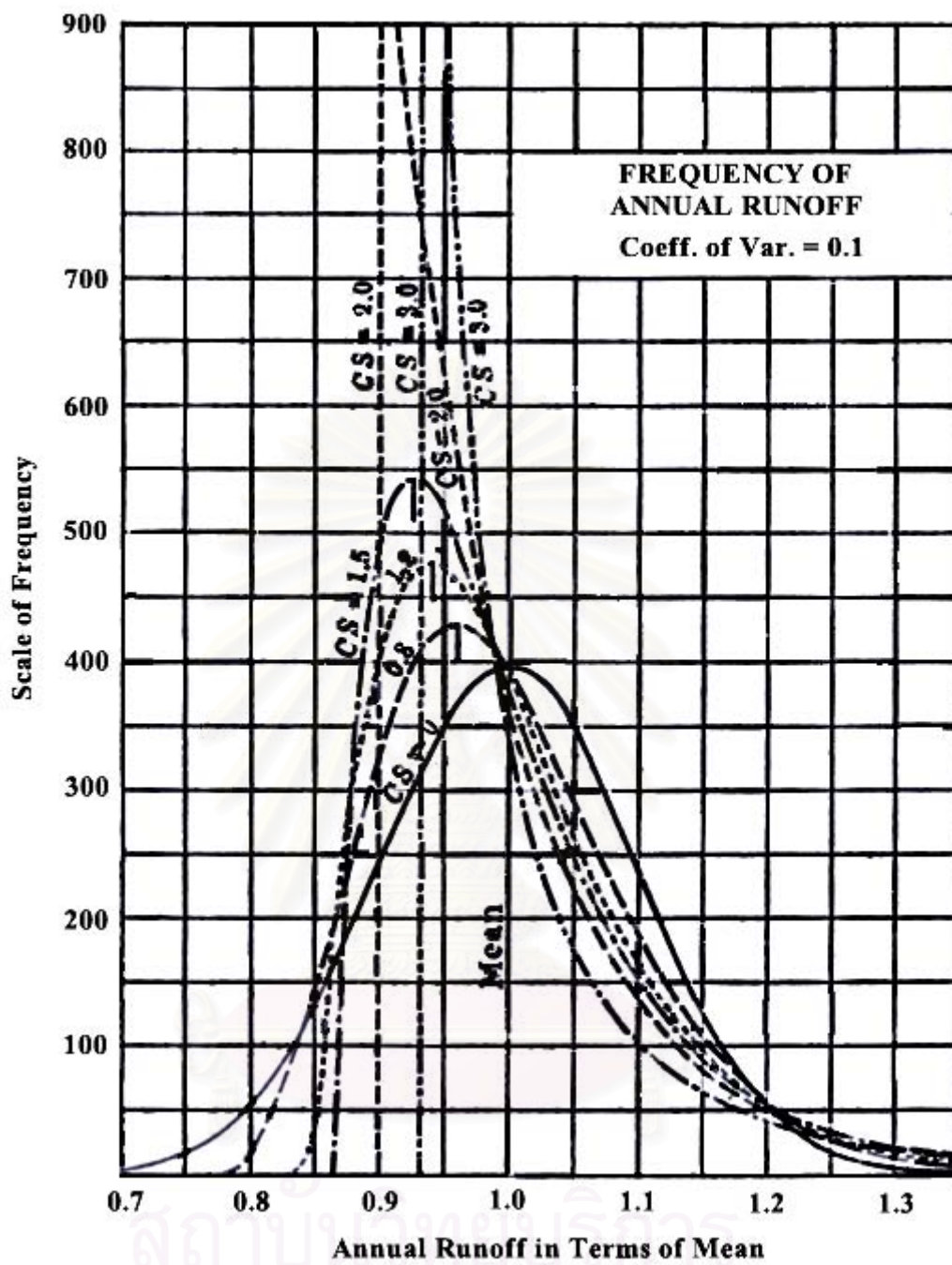
สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation) CV ของ Curve B มีค่าเป็น 4 เท่าของ Curve A โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Coefficient of Skewness) CS เท่ากัน ถ้าจุด P บนกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด Curve A อยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเป็นระยะ x_1 และจุด P' บน Curve B มีระยะห่างจากค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4x_1$ Curve A และ Curve B จะมีพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด นับจากค่าเฉลี่ยจนถึงจุด p บน Curve A และจุด p' บน Curve B คิดเป็นพื้นที่เท่ากัน

อิทธิพลของค่า CS ที่มีต่อรูปลักษณะของโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา แสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 โดยเส้นกราฟการแจกแจงความถี่การเกิดทุกเส้นในรูปที่ 3.5 มีค่า CV เท่ากับ 0.1 แต่มีค่า CS ต่างกัน จะเห็นว่าโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาของ CS แต่ละค่าจะตัดกับโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาที่มีค่า CS เท่ากับ 0 โดยจุดตัดจะเรียงลำดับกันตามขนาดของค่า CS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

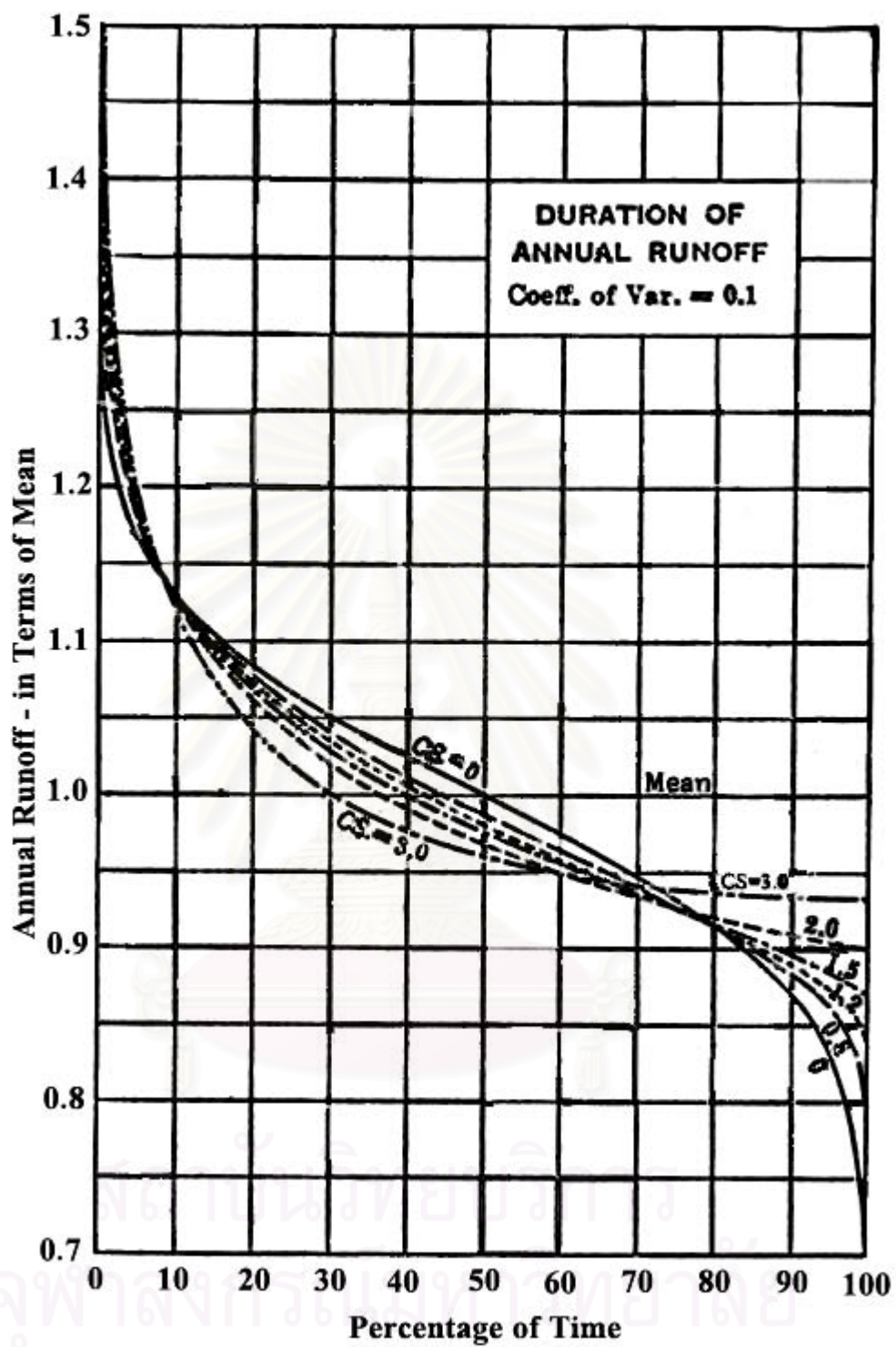


รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลากับกราฟการแจกแจงความถี่การเกิด
 ที่มา : Foster (1924)



รูปที่ 3.5 กราฟการแจกแจงความถี่สำหรับ CS ค่าต่าง ๆ

ที่มา : Foster (1924)



รูปที่ 3.6 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาสำหรับ CS ค่าต่าง ๆ

ที่มา : Foster (1924)

3.5.2 ชนิดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา

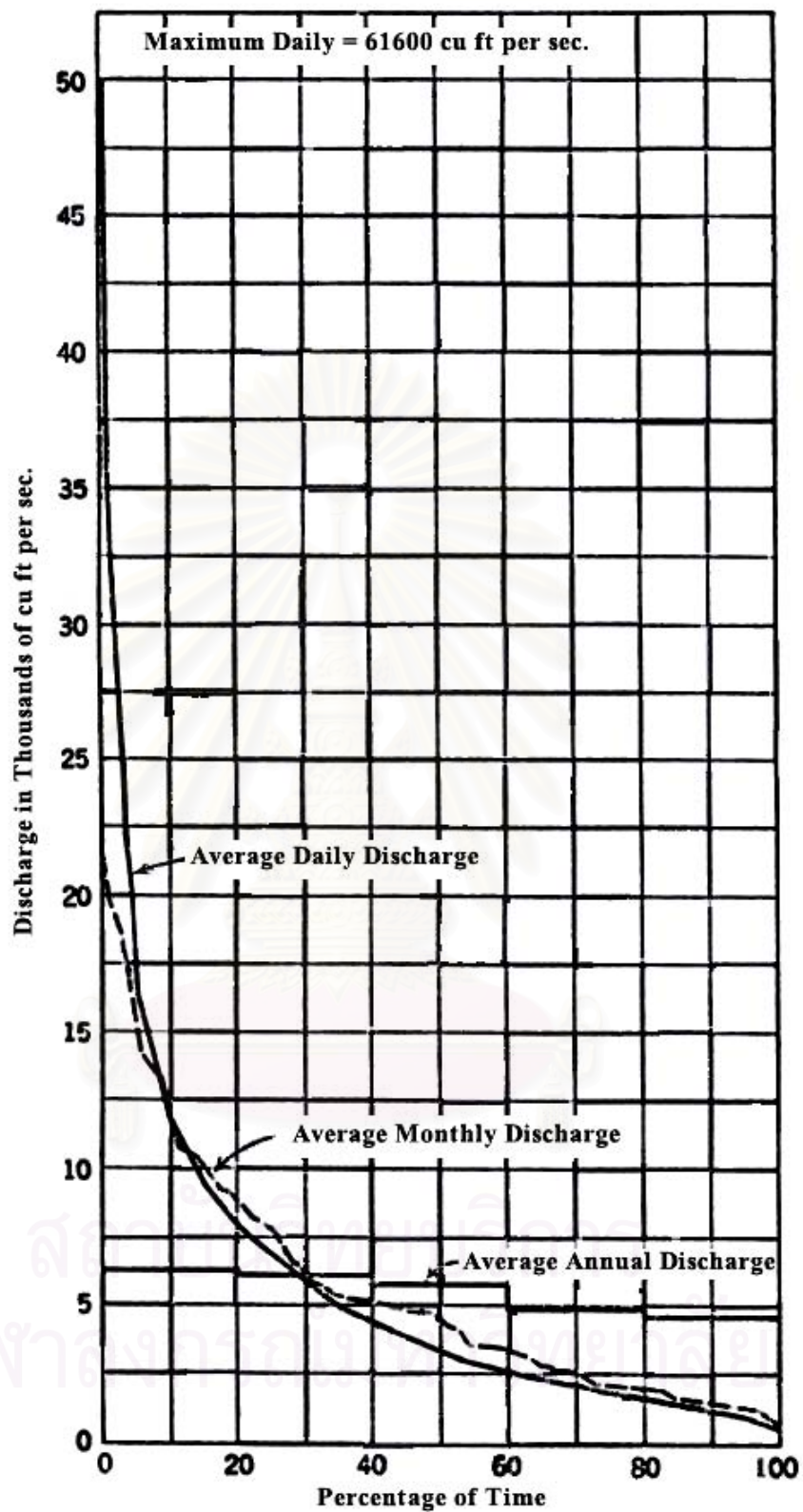
ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา อาจเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน หรือรายปี ขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องที่ต้องการและชนิดของงานที่นำไปประยุกต์ใช้ Searcy (1959) ได้เสนอว่า โดยทั่วไปแล้วการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน มักจะไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความผันแปรของการไหลในลำน้ำได้มากนัก สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำรายปีไม่เป็นที่นิยมด้วยเหตุผลเดียวกับปริมาณน้ำรายเดือน อีกทั้งความยาวข้อมูลที่เก็บบันทึกมีน้อยเกินไปด้วย ดังนั้นโดยทั่วไปโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา จึงมักสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน ลักษณะที่แตกต่างกันของโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน รายเดือน และรายปี แสดงในรูปที่ 3.7

3.5.3 ช่วงความยาวข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา มีวิธีการสร้างได้ 2 แบบ คือ

1. สร้างโดยใช้ข้อมูลในช่วงระยะเวลา 1 ปี
2. สร้างโดยใช้ข้อมูลรวมช่วงระยะเวลาทั้งหมดที่เก็บบันทึก

ในวิธีแรกมักจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน โดยนำข้อมูลในช่วง 1 ปีมาเรียงลำดับจากมากไปน้อย พร้อมกับคำนวณเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม ดังนั้นโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่ได้จะเป็นเส้นกราฟแสดงความผันแปรของการไหลในช่วงเวลา 1 ปีเท่านั้น สำหรับวิธีที่ 2 นำข้อมูลทุกปีที่มีการเก็บบันทึกมาเรียงต่อกัน และจัดลำดับเพื่อสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ดังนั้นเส้นกราฟที่ได้จะมีเพียงเส้นเดียวเป็นตัวแทนของสภาพการไหลตลอดช่วงเวลาที่มีการเก็บบันทึกข้อมูล จะเห็นว่าในช่วงปริมาณการไหลสูง ๆ ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมค่าเดียวกัน โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่สร้างขึ้นจากวิธีแรกจะให้ค่าปริมาณการไหลต่ำกว่าวิธีที่ 2 และในช่วงปริมาณการไหลต่ำ วิธีแรกจะให้ค่าปริมาณการไหลสูงกว่าวิธีที่ 2 ซึ่งถือเป็นข้อดีของวิธีที่ 2 เนื่องจากแสดงให้เห็นถึงความผันแปรของการไหลในลำน้ำได้ละเอียดกว่าโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่สร้างจากวิธีแรก แต่อย่างไรก็ตามโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่สร้างโดยวิธีที่ 2 ไม่สามารถนำวิธีวิเคราะห์ความถี่การเกิดมาประยุกต์ใช้ เพื่อสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่แต่ละคาบการเกิดได้ ต่างจากวิธีแรกซึ่งสามารถนำโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลแต่ละปีมาแจกแจงและวิเคราะห์ความถี่การเกิด เพื่อสร้างเป็นเส้นโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่แต่ละคาบการเกิดได้



รูปที่ 3.7 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาสร้างโดยข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน รายเดือน และรายปี

ที่มา : Foster (1934)

ในกรณีที่สร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลในช่วงระยะเวลา 1 ปี โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลที่จัดหามาได้มักแบ่งช่วงปีตามปีน้ำ ซึ่งตัดแบ่งที่ช่วงสภาพการไหลต่ำของลำน้ำ ดังเช่นประเทศไทย ข้อมูลที่เก็บบันทึกโดยกรมชลประทาน ใช้ช่วงวันที่ 1 เมษายน – 31 มีนาคม เป็นเกณฑ์ แต่ในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลในช่วงปีน้ำดังกล่าว อาจทำให้ไม่สามารถสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ในส่วนที่เป็นปริมาณการไหลที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมสูง ๆ ได้ตรงกับความเป็นจริง กล่าวคือ ปริมาณการไหลที่อ่านได้จากเส้นกราฟจะให้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง อย่างไรก็ตามจะได้มีทดสอบสมมติฐานดังกล่าวในการศึกษานี้ด้วย

3.5.4 คาบการเกิดของโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา

Hironobu et. al. (1999) ได้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา เพื่อให้แสดงผลในรูปของคาบการเกิด ซึ่งทำให้ผู้วิเคราะห์มีทางเลือกมากยิ่งขึ้น ในการเลือกคาบการเกิดเพื่อกำหนดความเสี่ยงที่ยอมรับได้ สำหรับการออกแบบโครงสร้างใช้งาน

ในการศึกษานี้ เลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันในการวิเคราะห์โค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลในช่วงระยะเวลา 1 ปี เพื่อให้สามารถประยุกต์การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ในการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่แต่ละคาบการเกิดได้ โดยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด คือ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ และฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 ซึ่งฟังก์ชันทั้ง 3 แบบนี้ เป็นฟังก์ชันที่เลือกใช้ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดด้วย

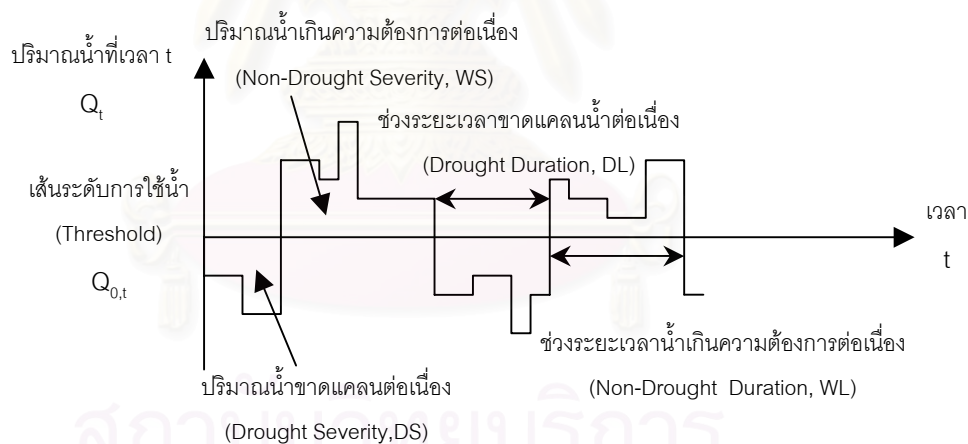
3.6 ทฤษฎีที่ใช้ในวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน

ทฤษฎีรัน (Theory of Run) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญในทางอุทกวิทยาเกี่ยวกับความแห้งแล้ง ทั้งในทางบวก (Positive Run) คือ ช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (Non - Drought Duration) และปริมาณน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (Non - Drought Severity) และในทางลบ (Negative Run) คือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (Drought Duration) และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (Drought Severity) ทั้งนี้ความแห้งแล้งดังกล่าวขึ้นอยู่กับเส้นระดับการใช้น้ำ (Threshold) ที่กำหนดขึ้น หากว่าระดับการใช้น้ำสูง โอกาสที่จะเกิดความแห้งแล้งปริมาณมากและยาวนานยิ่งมีเพิ่มขึ้น หรือหากว่าระดับการใช้น้ำต่ำมาก โอกาสที่

จะเกิดความแห้งแล้งปริมาณมากและยาวนานจะมีน้อย เป็นต้น ในทฤษฎีรันมีคำจำกัดความเบื้องต้นที่ควรทราบดังนี้

1. ช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง (Non - Drought Duration, WL) คือ ช่วงระยะเวลาที่ปริมาณน้ำในลำน้ำ ณ จุดที่ทำการวัด มีสูงเกินกว่าระดับการใช้น้ำที่กำหนด
2. ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (Drought Duration, DL) คือ ช่วงระยะเวลาที่ปริมาณน้ำในลำน้ำ ณ จุดที่ทำการวัด ต่ำกว่าระดับการใช้น้ำที่กำหนด
3. ปริมาณน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (Non - Drought Severity, WS) คือ ปริมาณน้ำสะสมในช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง
4. ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (Drought Severity, DS) คือ ปริมาณน้ำสะสมในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง
5. ระดับการใช้น้ำ (Threshold, $Q_{0,t}$) คือ ค่าปริมาณน้ำที่กำหนดใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งว่าปริมาณน้ำในลำน้ำ ที่เวลา t มีพอเพียงต่อความต้องการใช้น้ำหรือไม่

หลักการและคำนิยามต่าง ๆ เกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่สำคัญในทฤษฎีรันแสดงในรูปที่ 3.8 (คำนิยามต่าง ๆ ที่แสดงในรูปดังกล่าวนี้ ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 2.2 โดยเทอมคำศัพท์ภาษาอังกฤษที่ใช้แตกต่างกันไปตามผู้วิจัยแต่ละท่านเลือกใช้ สำหรับในการศึกษานี้เลือกใช้ตามรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 คำนิยามที่สำคัญและหลักการของทฤษฎีรัน

3.6.1 หลักการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ทฤษฎีรัน

ในการวิเคราะห์ทฤษฎีรันด้วยวิธีการที่เสนอโดย Shiao และ Shen (2001) ใช้ทฤษฎีบทความน่าจะเป็นที่สำคัญ 3 ทฤษฎี ประกอบในการวิเคราะห์ คือ

1. ความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability)
2. ความน่าจะเป็นเดี่ยว (Marginal Probability)
3. ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional Probability)

3.6.1.1 ความน่าจะเป็นร่วม

ความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability) คือ โอกาสการเกิดของเหตุการณ์ที่เป็นผลจากตัวแปรสุ่มมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป และตัวแปรสุ่มแต่ละตัวมีความสัมพันธ์ต่อกัน สมมติให้ตัวแปรสุ่มมี 2 ตัวคือ x และ y ความน่าจะเป็นร่วมของ x และ y คือ $P(X = x_i \cap Y = y_j)$ หรือ $P(x_i, y_j)$ สำหรับ $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ และ $y_j (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ ผลรวมความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(x_i, y_j) = 1 \quad (3.30)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมสะสม (Cumulative Distribution Function) ที่ค่า $X = x_k$ และ $Y = y_l$ คือ

$$F(x_k, y_l) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l P(x_i, y_j) \quad (3.31)$$

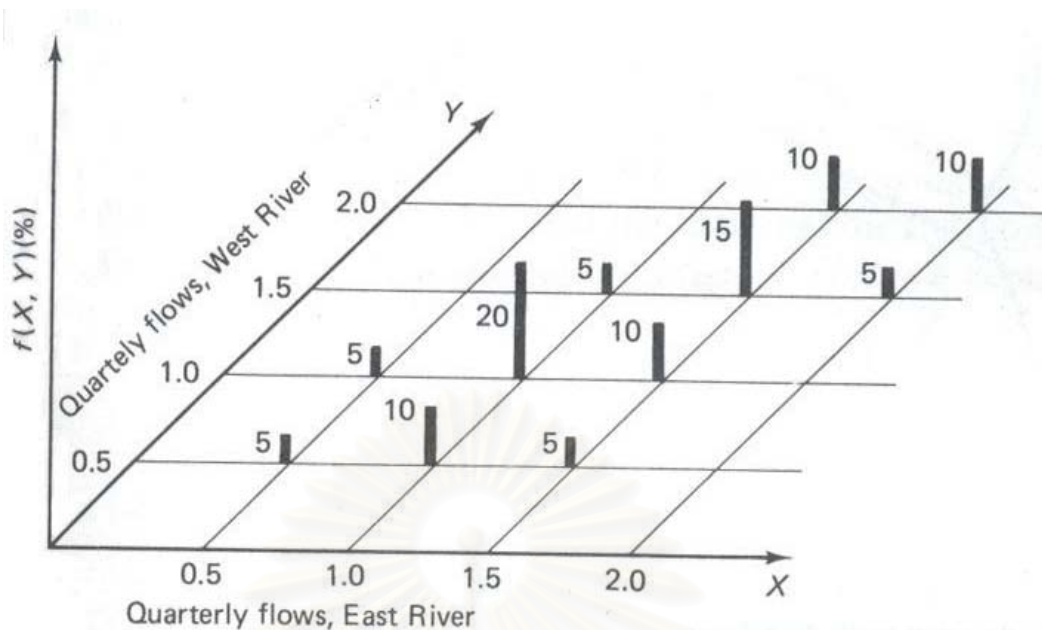
ในกรณีของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง x และ y ผลการอินทิเกรตฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f(x, y)$ มีค่าเท่ากับ 1

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy dx = 1 \quad (3.32)$$

และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม $F(x, y)$ คือ

$$F(x, y) = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^y f(u, v) dv du \quad (3.33)$$

ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมที่มีตัวแปรสุ่ม x และ y สัมพันธ์กันแบบไม่ต่อเนื่อง (Joint Discrete Distribution) แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ความน่าจะเป็นร่วม $f(x, y)$ ของปริมาณการไหลของแม่น้ำ 2 สาย

3.6.1.2 ความน่าจะเป็นเดี่ยว

ความน่าจะเป็นเดี่ยว (Marginal Probability) คือ ผลรวมโอกาสการเกิดของทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ ในการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมเฉพาะตัวแปรสุ่มตัวใดตัวหนึ่ง ในกรณีที่เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม 2 ตัวแปร x และ y คือ $P(x_i, y_j)$ ความน่าจะเป็นของ x หาได้โดยการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวของความน่าจะเป็นร่วม

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^m P(x_i, y_j) \quad (3.34)$$

ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นของ y คือ

$$P(y_j) = \sum_{i=1}^n P(x_i, y_j) \quad (3.35)$$

ความน่าจะเป็นสะสมของ x คือ

$$F(x_k) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m P(x_i, y_j) \quad (3.36)$$

ในกรณีของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง x และ y ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเดี่ยวของ x คือ

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy \quad (3.37)$$

และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของ x คือ

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^{\infty} f(u, y) dy du \quad (3.38)$$

3.6.1.3 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข

ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional Probability) คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์หนึ่ง โดยที่เงื่อนไขหรือทราบว่าอีกเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้น คือ

$$P(x | y) = \frac{P(X = x \cap Y = y)}{P(y)} \quad (3.39)$$

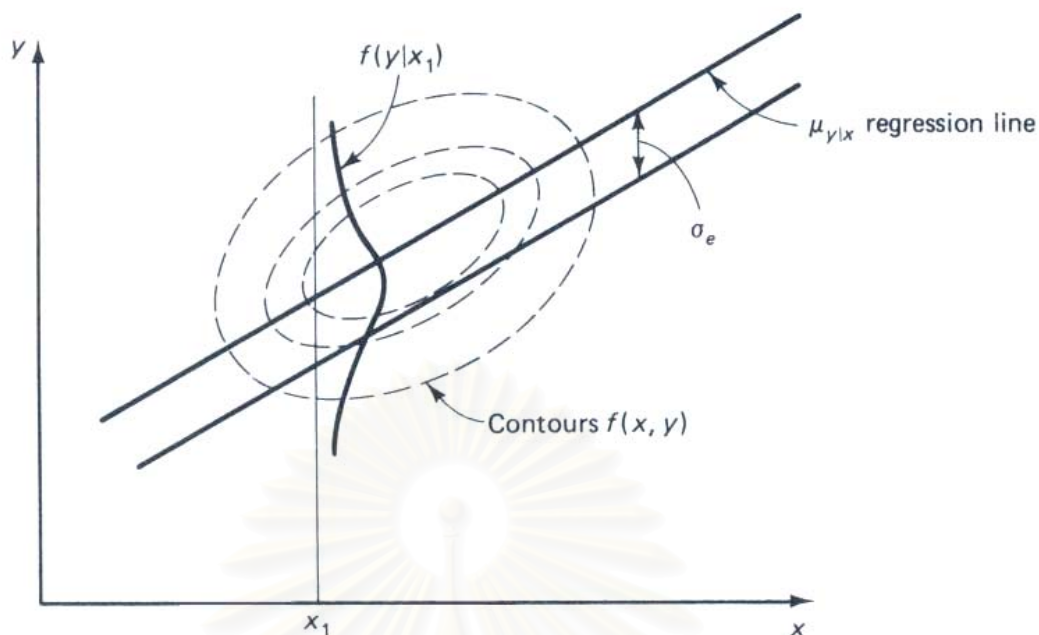
และในกรณีของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง

$$f(x | y) = \frac{f(x, y)}{f(y)} \quad (3.40)$$

จะเห็นว่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม สามารถหาได้จากผลคูณของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข กับฟังก์ชันการแจกแจงเดี่ยวนั่นเอง

ตัวอย่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง x และ y แสดงในรูปที่ 3.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f(y | x_1)$

3.6.2 การวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน

เนื่องจากพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน คือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (ช่วงระยะเวลา DL) และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ปริมาณน้ำ DS) เป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ดังนั้นการสร้างฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นขึ้นเพื่ออธิบายคุณลักษณะของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมาหลายการศึกษา (Sen (1980a) Zelenhastic และ Salvai (1987) และ Mathier et. al. (1992)) ได้พยายามสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (ฟังก์ชัน f_{DL}) และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ฟังก์ชัน f_{DS}) แยกจากกัน ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันทั้ง 2 ตัวนี้ มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันอยู่ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่สร้างขึ้นจึงควรที่จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ 2 ตัวนี้ได้ด้วย นอกเหนือไปจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของพารามิเตอร์เดี่ยวแต่ละตัว ซึ่งในทางสถิติสามารถทำได้โดยการสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมระหว่างพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ช่วงระยะเวลา DL และปริมาณน้ำ DS แสดงในรูปของผลคูณระหว่างฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำ DS สำหรับช่วงระยะเวลา DL ที่กำหนด กับฟังก์ชันความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL ดังแสดงในสมการที่ (3.41)

$$f_{DL,DS}(dl, ds) = f_{DS|DL}(ds \setminus dl) f_{DL}(dl) \quad (3.41)$$

โดยที่	DL และ dl	คือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง
	DS และ ds	คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
	$f_{DL,DS}(dl, ds)$	คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง
	$f_{DS DL}(ds \setminus dl)$	คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง สำหรับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด
	$f_{DL}(dl)$	คือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง

สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL ได้มีผู้ศึกษาไว้หลายท่าน (Yevjevich (1967) Sen (1980a, 1980b) Zelenhastic และ Salvai (1987) และ Mathier et. al. (1992)) โดยใช้ทฤษฎีรัน ปริมาณน้ำในลำน้ำ ณ จุดที่ทำการวัดที่เวลา t และที่ระดับการใช้น้ำที่กำหนด จะมีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ 2 แบบ คือ มีปริมาณน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนด (แทนด้วย D) หรือมีปริมาณน้ำเกินกว่าระดับที่กำหนด (แทนด้วย W) ถ้าปริมาณน้ำที่เวลา t และที่เวลา t-1 มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันยี่ห้อเมตริกดังสมการ

$$f_{DL}(dl) = P_{DW} P_{DD}^{dl-1}, \quad dl = 1, 2, 3, \dots \quad (3.42)$$

โดยที่	dl	คือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง
	P_{DW}	คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำที่เวลา t มีสูงกว่าหรือเท่ากับระดับการใช้น้ำ โดยที่ปริมาณน้ำที่เวลา t-1 มีต่ำกว่าระดับการใช้น้ำ แทนด้วยสมการ $P_{DW} = P(Q_t \geq Q_{0,t} \mid Q_{t-1} < Q_{0,t-1})$
	P_{DD}	คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำที่เวลา t มีต่ำกว่าระดับการใช้น้ำ โดยที่ปริมาณน้ำที่เวลา t-1 มีต่ำกว่าระดับการใช้น้ำด้วยเช่นกัน แทนด้วยสมการ $P_{DD} = P(Q_t < Q_{0,t} \mid Q_{t-1} < Q_{0,t-1})$
	Q_t และ Q_{t-1}	คือ ปริมาณน้ำ ณ จุดที่ทำการวัดที่เวลา t และ t-1 ตามลำดับ
	$Q_{0,t}$ และ $Q_{0,t-1}$	คือ ระดับความต้องการใช้น้ำที่เวลา t และ t-1 ตามลำดับ

แม้ว่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (ฟังก์ชัน f_{DL}) จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.42) แต่ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

ของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ฟังก์ชัน f_{DS}) หรือฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง สำหรับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ($f_{DS|DL}(ds|dl)$) ไม่สามารถสร้างขึ้นได้โดยวิธีทางสถิติ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ในการคำนวณหาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมในสมการที่ (3.41) จึงจำเป็นต้องคำนวณหาจากการนำข้อมูลปริมาณน้ำที่วัดได้จริงมาวิเคราะห์ โดยใช้ฟังก์ชันแกมมา (Gamma Distribution) ซึ่งมีผู้ศึกษาหลายท่าน (Zelenhastic และ Salvai (1987) Mathier et. al. (1992) และ Shiau และ Chen (2001)) ได้ให้ความเห็นว่า เป็นฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมสำหรับการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง โดยที่ขั้นตอนการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f_{DS|DL}(ds|dl)$ แสดงตามลำดับดังนี้

1. เตรียมข้อมูลปริมาณน้ำที่วัดได้จริง โดยข้อมูลดังกล่าวอาจเป็นปริมาณน้ำรายวัน รายเดือน หรือรายปี ตามวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ พร้อมทั้งสร้างเส้นระดับการใช้น้ำขึ้นโดยเส้นระดับการใช้น้ำนี้อาจเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ไม่เป็นเส้นระดับคงที่
2. ช่วงระยะเวลา DL และปริมาณน้ำ DS สามารถหาได้จาก ผลต่างของปริมาณน้ำที่วัดได้จริงที่เวลา t กับระดับการใช้น้ำที่เวลา t โดยที่ความขาดแคลนเกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำที่วัดได้จริงต่ำกว่าระดับการใช้น้ำ
3. จัดกลุ่มของปริมาณน้ำ DS ตามขนาดของช่วงระยะเวลา DL ค่าต่าง ๆ ที่กำหนด เช่น รวมค่าปริมาณน้ำ DS ทุกเหตุการณ์ที่มีช่วงระยะเวลา DL เท่ากับ 1 เดือนไว้ในกลุ่มเดียวกัน เป็นต้น
4. สร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำ DS สำหรับแต่ละค่าของช่วงระยะเวลา DL โดยฟังก์ชันการแจกแจงที่ใช้คือฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา แสดงดังสมการ

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad (3.43)$$

โดยที่ α และ β เป็นพารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบแกมมา

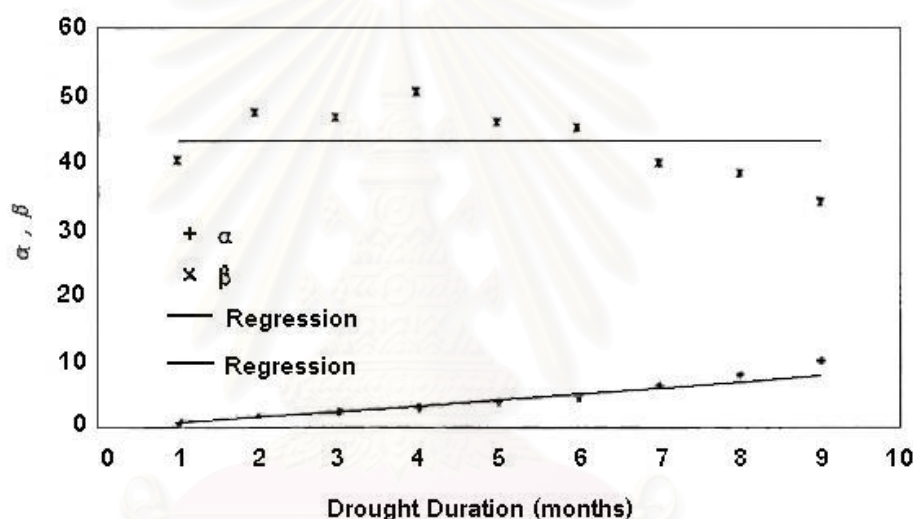
5. α และ β ที่ได้จากแต่ละค่าของช่วงระยะเวลา DL นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับช่วงระยะเวลา DL และระหว่างค่า β กับช่วงระยะเวลา DL ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.11 จะเห็นว่า ความสัมพันธ์ที่ได้แสดงด้วยสมการ $\alpha = adl - b$ และ $\beta = c$ เมื่อ dl คือ ช่วงระยะเวลา DL และ a b c คือ ค่าคงที่

6. ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f_{DS|DL}(ds|dl)$ หาได้จากการแทนค่าความสัมพันธ์ของค่า α และ β ที่สร้างขึ้นในข้อ 5. ลงในสมการที่ (3.43) Shiau และ Shen (2001) ทำการศึกษาโดยใช้เส้นระดับการใช้น้ำเป็นค่ามัธยฐานของข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน พบว่าความสัมพันธ์ของค่า α และ β เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งจะได้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขดังสมการ

$$f_{DS|DL}(ds|dl) = \frac{ds^{adl-b-1}}{c^{adl-b} \Gamma(adl-b)} e^{-ds/c}, ds > 0 \quad (3.44)$$

โดยที่ dl คือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง

ds คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง α, β กับ dl

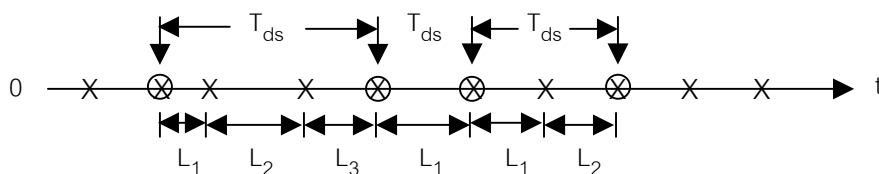
ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง $f_{DL,DS}(dl, ds)$ คือผลคูณของสมการที่ (3.42) กับ (3.44)

$$f_{DL,DS}(dl, ds) = \frac{ds^{adl-b-1}}{c^{adl-b} \Gamma(adl-b)} e^{-ds/c} P_{DW} P_{DD}^{dl-1}, ds > 0 \text{ และ } dl = 1, 2, 3, \dots \quad (3.45)$$

3.6.3 การวิเคราะห์คาบการเกิด

คาบการเกิด (Return Period) สำหรับการศึกษาในเรื่องความแห้งแล้งโดยทฤษฎีรัน คือ ช่วงระยะเวลาโดยเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ ที่มีขนาดมาก

กว่าหรือเท่ากับค่าปริมาณน้ำ DS ที่กำหนด นิยามของคาบการเกิดในการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรีน แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 นิยามและหลักการวิเคราะห์คาบการเกิดโดยทฤษฎีรีน

จากรูปที่ 3.12 เหตุการณ์ความแห้งแล้งเกิดขึ้นบนแกนเวลา t โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัวคือ T_{ds} และ L_i เมื่อ T_{ds} คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับค่าปริมาณน้ำ DS ที่กำหนด และ L_i คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ เครื่องหมาย X แสดงเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีปริมาณน้ำ DS น้อยกว่าค่าที่กำหนด และ \otimes แสดงเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีปริมาณน้ำ DS มากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด

ถ้าให้ N_{ds} แทนจำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งใด ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 เหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีค่าปริมาณน้ำ DS มากกว่าหรือเท่ากับ ds จะได้ความสัมพันธ์ของ T_{ds} , L_i และ N_{ds} ดังสมการ

$$T_{ds} = \sum_{i=1}^{N_{ds}} L_i \quad (3.46)$$

ให้ L_i แทนด้วยค่าคงที่ L ค่าเฉลี่ยของ T_{ds} คือ

$$E(T_{ds}) = E(N_{ds}) E(L) \quad (3.47)$$

ค่า $E(T_{ds})$ คือคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งโดยทฤษฎีรีน ซึ่งจำเป็นต้องทราบค่าของ $E(N_{ds})$ และ $E(L)$ ก่อนเพื่อแทนค่าในสมการที่ (3.47)

ค่า N_{ds} เป็นตัวแปรสุ่มซึ่งขึ้นอยู่กับค่าปริมาณน้ำ DS ถ้าสมมติให้ $F_{DS}(ds)$ แทนฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำ DS จะได้ว่า ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีค่าปริมาณน้ำ DS มากกว่าหรือเท่ากับ ds คือ $1 - F_{DS}(ds)$ และหากว่ามีเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ds เกิดขึ้นในเหตุการณ์ความแห้งแล้งครั้งที่ N_{ds} จะกล่าวได้ว่ามีเหตุการณ์ความแห้งแล้งจำนวน $N_{ds} - 1$ เหตุการณ์ที่มีค่าปริมาณน้ำ DS น้อยกว่า ds

เกิดขึ้นก่อนแล้ว ดังนั้นโอกาสการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งครั้งที่ N_{ds} ดังกล่าวนี้อาจจะมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบยี่ห้อเมตริก โดยมีพารามิเตอร์ที่สนใจคือ $1 - F_{DS}(ds)$

$$P(N_{ds} = n) = F_{DS}(ds)^{n-1} [1 - F_{DS}(ds)] \quad , \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.48)$$

ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบยี่ห้อเมตริก คือ

$$E(N_{ds}) = \frac{1}{1 - F_{DS}(ds)} \quad (3.49)$$

แทนค่า $E(N_{ds})$ ลงในสมการที่ (3.47) จะได้คาบการเกิดสำหรับเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ds ดังสมการ

$$E(T_{ds}) = \frac{E(L)}{1 - F_{DS}(ds)} \quad (3.50)$$

สมการที่ (3.50) นี้เป็นสมการที่สำคัญในการศึกษาคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง โดยไม่ต้องมีการสมมติฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของพารามิเตอร์ความแห้งแล้งหรือกำหนดระดับการใช้น้ำใด ๆ คาบการเกิดขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์สำคัญเพียง 2 ตัวคือ ค่าเฉลี่ยของช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ $E(L)$ และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำ DS

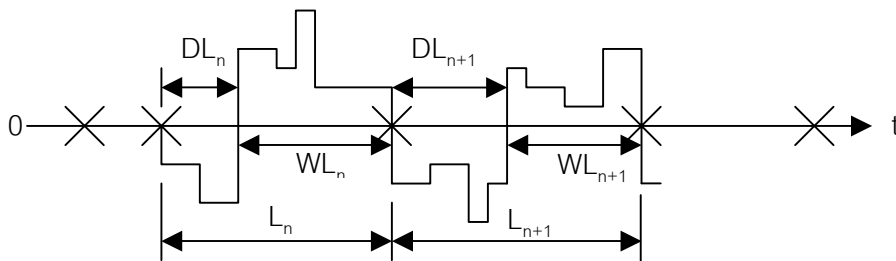
เพื่อที่จะหาค่า $E(L)$ จำเป็นต้องนิยามพารามิเตอร์บางตัวเพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 3.13 สมมติว่า เกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งขึ้นที่เวลา t ใด ๆ ถัดจากเหตุการณ์นั้นต่อมาจะต้องเป็นเหตุการณ์ที่ไม่เกิดความแห้งแล้ง และถัดไปอีก จะเป็นเหตุการณ์ความแห้งแล้ง สลับกันไปเรื่อย ๆ ดังนั้นช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ จึงมีค่าเท่ากับผลรวมของช่วงระยะเวลา DL กับช่วงระยะเวลา WL

$$L = DL + WL \quad (3.51)$$

โดยที่ L คือ ช่วงระยะเวลาว่างระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ

WL คือ ช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง

DL คือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง



รูปที่ 3.13 นิยามของช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา WL สามารถหาได้เช่นเดียวกับ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL ดังสมการ

$$f_{WL}(wl) = P_{WD} P_{WW}^{wl-1} \quad , \quad wl = 1, 2, 3, \dots \tag{3.52}$$

โดยที่ wl คือ ช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง

P_{WD} คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำที่เวลา t มีต่ำกว่าระดับการใช้น้ำ โดยที่ปริมาณน้ำที่เวลา $t-1$ มีสูงกว่าหรือเท่ากับระดับการใช้น้ำ แทนด้วยสมการ $P_{WD} = P(Q_t < Q_{0,t} \mid Q_{t-1} \geq Q_{0,t-1})$

P_{WW} คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ปริมาณน้ำที่เวลา t มีสูงกว่าหรือเท่ากับระดับการใช้น้ำโดยที่ปริมาณน้ำที่เวลา $t-1$ มีสูงกว่าหรือเท่ากับระดับการใช้น้ำด้วยเช่นกัน แทนโดย $P_{WW} = P(Q_t \geq Q_{0,t} \mid Q_{t-1} \geq Q_{0,t-1})$

Q_t และ Q_{t-1} คือ ปริมาณน้ำ ณ จุดที่ทำการวัดที่เวลา t และ $t-1$ ตามลำดับ

$Q_{0,t}$ และ $Q_{0,t-1}$ คือ ระดับความต้องการใช้น้ำที่เวลา t และ $t-1$ ตามลำดับ

โดยใช้สมมติฐานว่า ช่วงระยะเวลา WL กับช่วงระยะเวลา DL เป็นตัวแปรสุ่มซึ่งอิสระต่อกัน ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ สามารถหาได้จากวิธีเจเนเนอเรตติ้งฟังก์ชัน (Generating Function Method) ซึ่งแสดงวิธีการพิสูจน์โดย Shiau และ Shen (2001) ผลลัพธ์แสดงดังสมการที่ (3.53)

$$f_L(l) = \frac{P_{DW} P_{WD}}{P_{DD} P_{WW}} (P_{DD}^{l-1} - P_{WW}^{l-1}) \quad , \quad l = 2, 3, 4, \dots \tag{3.53}$$

โดยมีค่าเฉลี่ยของการแจกแจงคือ

$$E(L) = \frac{1}{P_{DW}} + \frac{1}{P_{WD}} \quad (3.54)$$

แทนค่าสมการที่ (3.54) ลงในสมการที่ (3.50) จะได้สมการในการคำนวณหาคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งดังแสดง

$$E(T_{ds}) = \frac{\frac{1}{P_{DW}} + \frac{1}{P_{WD}}}{1 - F_{DS}(ds)} \quad (3.55)$$

จะเห็นว่า คาบการเกิดจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง และเนื่องจากวิธีการในการสร้างสมการคาบการเกิดดังกล่าว ไม่ได้ยึดถือตามฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบใดแบบหนึ่งหรือขึ้นอยู่กับระดับการใช้น้ำค่าใด ๆ อีกทั้งไม่จำกัดว่าต้องเป็นข้อมูลที่มีความคงตัว (Stationary) ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยาอื่น ๆ หรือใช้กับข้อมูลแบบรายวัน รายเดือน หรือรายปีก็ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการศึกษา

4.1 การปรับแก้ข้อมูล

การปรับแก้ข้อมูลปริมาณน้ำของสถานี P.1 ให้เป็นข้อมูลที่ไม่มีอิทธิพลของการจัดการน้ำ เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล เพื่อให้มีความยาวข้อมูลในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น ทำโดยการนำข้อมูล ปริมาณน้ำรายวันที่ปล่อยจากท้ายเขื่อนหักออกจากข้อมูลที่สถานี P.1 จากนั้นจึงบวกเพิ่มปริมาณ น้ำรายวันไหลเข้าเขื่อน (Inflow) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$I = O \pm \Delta S \quad (4.1)$$

โดยที่ I คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน
O คือ ปริมาณน้ำปล่อยจากท้ายเขื่อน
 ΔS คือ ปริมาณน้ำเก็บกักในเขื่อน

ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนของสถานี P.1 ที่ปรับแก้แล้ว แสดงในภาคผนวก ตารางที่ ค-1

4.2 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

4.2.1 การแบ่งช่วงปีน้ำ

โดยทั่วไปแล้วการจัดเก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าจะแบ่งปีน้ำตามกราฟน้ำท่า (Hydrograph) โดยตัดแบ่งปีที่ช่วงการลดลงของกราฟน้ำท่า (Recession) หรือคือช่วงที่เกิดสภาพการไหลต่ำ นั้นเอง ซึ่งการแบ่งช่วงปีน้ำในลักษณะนี้เหมาะสำหรับการนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์คาบการเกิดของ ปริมาณน้ำสูงสุด แต่อาจไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำต่ำสุด เนื่องจากการแบ่งปีน้ำ ตามช่วงเวลาดังกล่าวมิได้ให้ค่าต่ำสุดที่แท้จริง เช่น ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดสำหรับ ข้อมูลปริมาณน้ำประจำปีเฉลี่ยต่ำสุด 2 เดือน หากใช้ปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. (สำหรับประเทศ ไทย) ข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 2 เดือน ที่คัดเลือกมานี้อาจไม่ใช่ค่าต่ำสุด โดยค่าต่ำสุดที่แท้ จริงอาจอยู่ในช่วงวันที่ 1 มี.ค. – 31 เม.ย. ซึ่งเป็นช่วงที่ถูกแบ่งออก เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึง ได้แบ่งปีน้ำใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ในกรณีของปริมาณน้ำต่ำสุด พร้อมทั้ง เปรียบเทียบผลการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้ปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. กับปีน้ำที่แบ่งขึ้นใหม่ดังกล่าว

รูปที่ 4.1 แสดงวิธีการแบ่งช่วงปีน้ำใหม่ โดยจากรูปนี้เส้นปริมาณน้ำท่าสูงสุดได้จากการคัดเลือกค่าสูงสุดของปริมาณน้ำท่าแต่ละวัน ของสถานี P.1 (79 ปี) เส้นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยได้จากค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าแต่ละวัน และเส้นปริมาณน้ำท่าต่ำสุดได้จากค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำท่าแต่ละวัน จะเห็นว่ากราฟน้ำท่าทั้ง 3 กราฟ มีแนวโน้มขึ้นสูงสุดประมาณช่วงวันที่ 1 ก.ย. – 1 ต.ค. การศึกษานี้จึงเลือกใช้ช่วงวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. เป็นช่วงปีน้ำสำหรับการวิเคราะห์คาบการเกิดของปริมาณน้ำต่ำสุด กราฟน้ำท่าในรูปที่ 4.2 นำมาแบ่งช่วงปีน้ำใหม่โดยใช้ช่วงวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. แสดงในรูปที่ 4.2 พร้อมทั้งตัวอย่างข้อมูลกราฟน้ำท่าปีที่อยู่ในระดับสูงสุด เฉลี่ยและต่ำสุด ซึ่งแบ่งช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. แสดงในรูปที่ 4.3 โดยปีพ.ศ.2487 2490 และ 2534 เป็นตัวแทนของระดับสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดตามลำดับ เกณฑ์การแบ่งระดับดังกล่าว ยึดถือตามขนาดของปริมาณน้ำท่าในช่วงที่เกิดสภาพการไหลต่ำ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าในช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่า (Rising Limb) ปีพ.ศ.2487 ซึ่งเป็นตัวแทนของระดับสูงสุดกลับมีค่าน้อยกว่าปีพ.ศ.2490 ซึ่งถือเป็นระดับเฉลี่ย แต่ในช่วงสภาพการไหลต่ำกราฟน้ำท่าปีพ.ศ.2487 จะมีขนาดสูงกว่าปีพ.ศ.2490 มุมมองในเรื่องดังกล่าวจึงตรงกันข้ามกับการวิเคราะห์ในกรณีของปริมาณน้ำสูงสุดซึ่งพิจารณาจากช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่าเป็นเกณฑ์การแบ่งว่าปีใดอยู่ในระดับสูงสุด เฉลี่ย หรือต่ำสุด

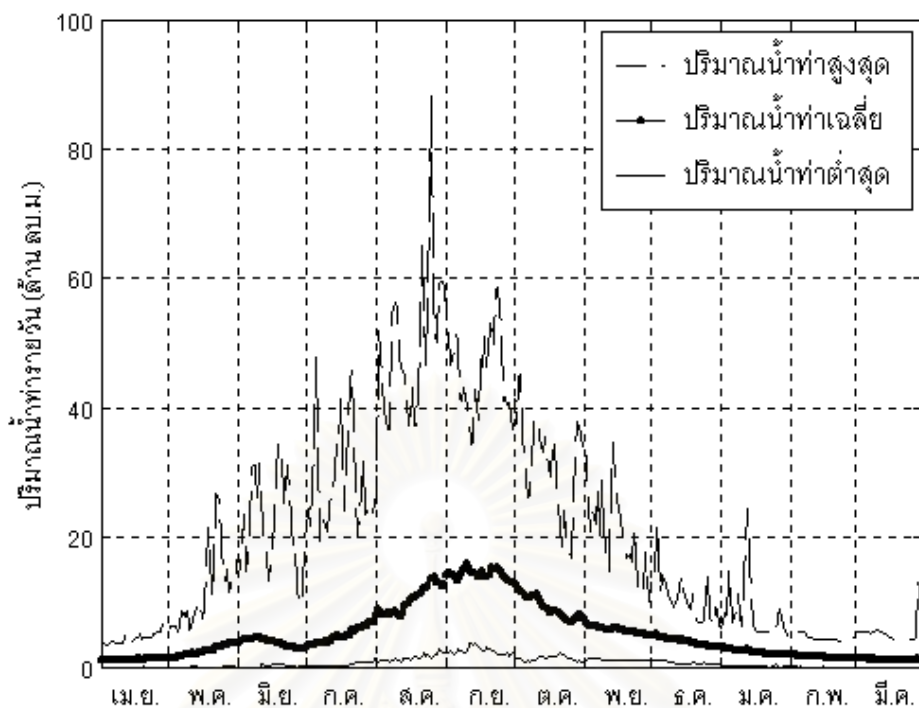
4.2.2 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นในกรณี ที่ปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์

การทดสอบโดยวิธีไคสแควร์กรณีที่ปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์จะแตกต่างไปจากกรณีปกติ เนื่องจากต้องประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นรวมสมการที่ (3.29) ในการสร้างเส้นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ รวมทั้งในการสร้างระยะห่างระหว่างช่วงชั้นทดสอบไคสแควร์เพื่อให้มีค่าความถี่ที่คาดหวังจะได้ในช่วงชั้นต่าง ๆ เท่ากันด้วย โดยจากสมการที่ (3.29) $P_x^*(x) = [P_x(x) + k - 1]/k$ เมื่อแบ่งช่วงชั้นออกเป็น 10 ชั้นเท่า ๆ กัน ขอบเขตระหว่างช่วงชั้นแรกกับช่วงชั้นที่ 2 คือค่า $P_x(x)$ เท่ากับ 0.1 ซึ่งกรณีที่ค่า k หรือสัดส่วนของข้อมูลที่ไม่เป็นศูนย์ต่อข้อมูลทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าน้อยกว่า 0.9 แทนลงในสมการที่ (3.29) จะได้ค่า $P_x^*(x)$ ที่น้อยกว่า 0 ซึ่งมีความหมายว่าค่า X ที่สอดคล้องกับค่า $P_x(x)$ เท่ากับ 0.1 คือ 0 หรือขอบเขตของช่วงชั้นทดสอบแรกคือ $-\infty < X \leq 0$ หากในช่วงชั้นต่อไป คือค่า $P_x(x)$ เท่ากับ 0.2 ยังคงแทนในสมการที่ (3.29) แล้วได้ค่า $P_x^*(x)$ ที่น้อยกว่า 0 อีก จะทำให้ได้ช่วงชั้นทดสอบช่วงชั้นที่ 2 คือ $0 < X \leq 0$ ซึ่งไม่เป็นจริง ดังนั้นในการทดสอบวิธีไคสแควร์ในกรณีที่มีข้อมูลบางค่าเป็นศูนย์จึงไม่สามารถกำหนดให้แต่ละช่วงชั้นมีความน่าจะเป็นเท่ากันได้ ในการศึกษานี้จึงกำหนดให้ช่วงชั้นแรกคือ $-\infty < X \leq 0$ เพื่อให้ปริมาณ

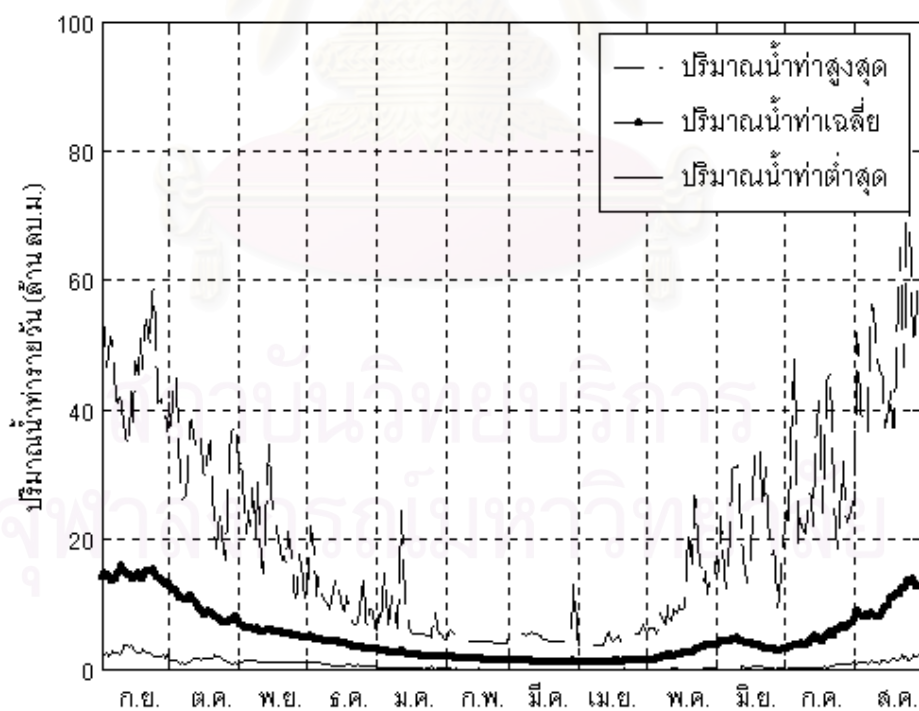
การไหลค่าที่เป็น 0 ทั้งหมดรวมกันอยู่ในช่วงชั้นเดียว และช่วงชั้นอื่น ๆ อยู่ในช่วง $0 < X \leq \infty$ โดยแบ่งให้แต่ละช่วงมีความน่าจะเป็นเท่า ๆ กันพร้อมทั้งคำนวณค่าความถี่ที่คาดว่าจะได้ในแต่ละช่วงชั้นให้สอดคล้องกันด้วย



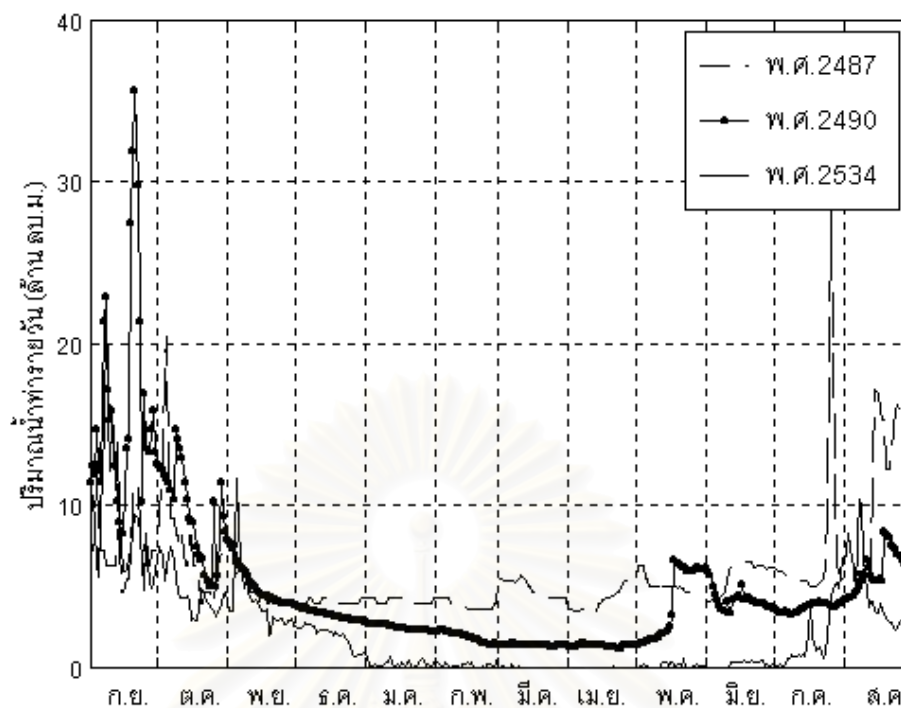
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดโดยจัดเรียงตามปีน้ำวันที่ 1 เม.ย – 31 มี.ค.



รูปที่ 4.2 ปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดโดยจัดเรียงตามปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



รูปที่ 4.3 กราฟน้ำท่าในปีต่าง ๆ ที่อยู่ในระดับสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดของสถานี P.1 ในช่วงสภาพการไหลต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมีดังนี้ (แสดงในรูปที่ 4.4)

1. คัดเลือกข้อมูลปริมาณน้ำประจำปีเฉลี่ยต่ำสุด 1 วัน 7 วัน 14 วัน 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน 4 เดือน 5 เดือน 6 เดือน และ 9 เดือน สำหรับปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. และปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ต.ค.

2. จัดเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปหามาก และสร้างตำแหน่งจุดพล็อต (Plotting Position)

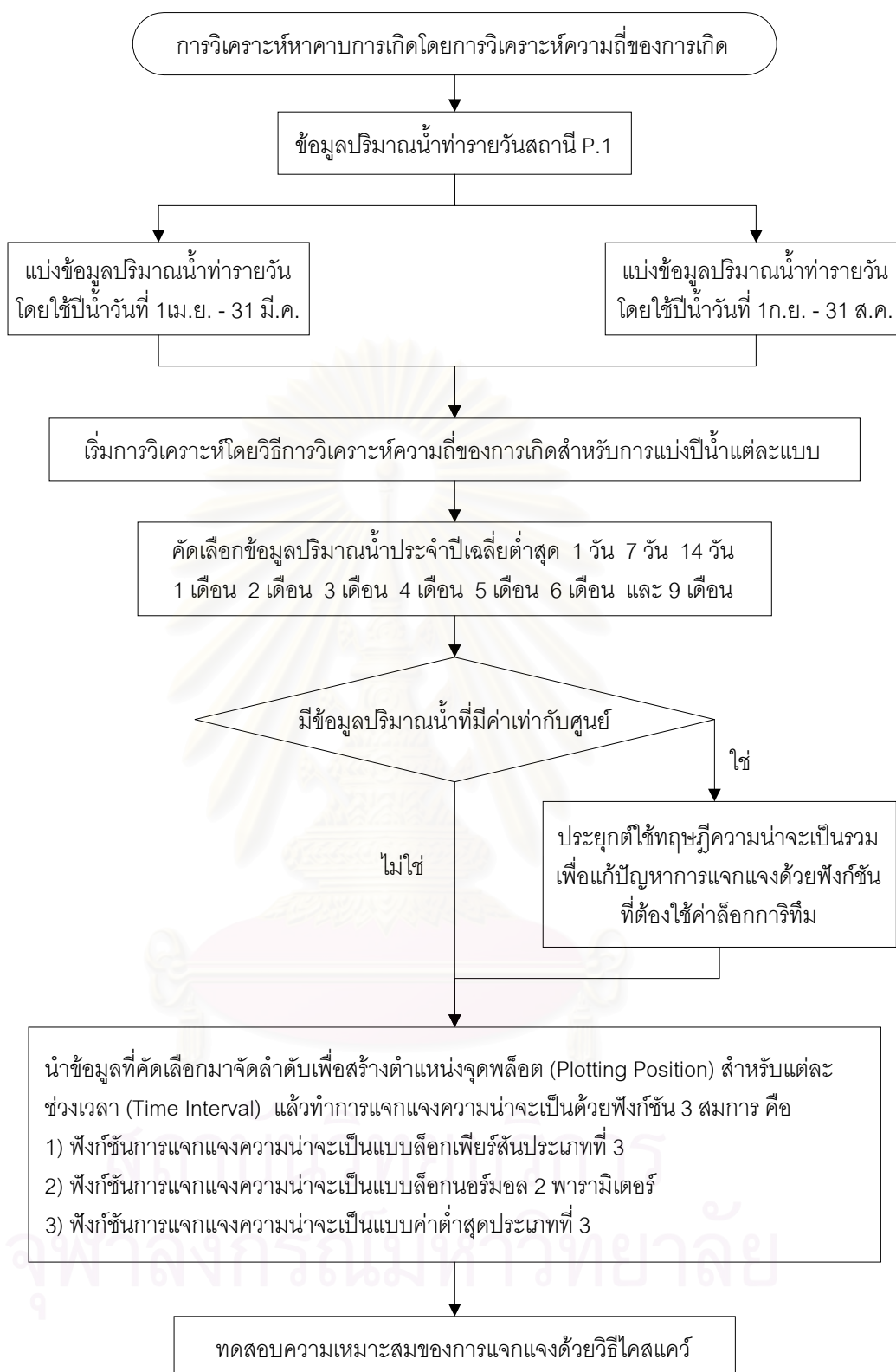
3. สร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 3 แบบ คือ

- 1) ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3
- 2) ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์
- 3) ฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3

โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นรวมในกรณีข้อมูลบางตัวมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อแก้ปัญหาไม่สามารถหาค่าล็อกการิทึมได้ของฟังก์ชัน 1) และ 2)

4. ทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงด้วยวิธีไคสแควร์

5. ทำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 ซ้ำให้ครบทุกค่าจำนวนวันเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับปีน้ำทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

4.2.4 ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าสถานี P.1 ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

1. กราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิดที่จำนวนวันเฉลี่ยต่ำสุดค่าต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.5 – 4.10 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟความถี่ของการเกิดที่จำนวนวันเฉลี่ยสูง เช่น 6 เดือน และ 9 เดือน จะอยู่สูงกว่าที่จำนวนวันเฉลี่ยต่ำ เช่น 1 วัน และ 7 วัน เนื่องจากยิ่งจำนวนวันเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โอกาสที่ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดจะได้รับผลจากช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่าจะยังมีเพิ่มขึ้นด้วย

2. การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด โดยเปรียบเทียบระหว่างปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. กับปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้แตกต่างกัน โดยที่คาบการเกิดเดียวกัน ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่ได้จากปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. จะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. โดยเฉพาะในช่วงจำนวนวันเฉลี่ยสูง ๆ เช่น 6 เดือน หรือ 9 เดือน จะเห็นความแตกต่างดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. ตัดแบ่งปีที่ช่วงลดลงของกราฟน้ำท่า ดังนั้นในช่วงจำนวนวันเฉลี่ยสูง ๆ ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่ได้จึงไม่ใช่ค่าต่ำสุดที่แท้จริง ขณะที่ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. ซึ่งตัดแบ่งปีที่ช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่า ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่ได้ จึงเป็นค่าต่ำสุดที่แท้จริง และได้คาบการเกิดที่ต่ำกว่าปีน้ำในแบบแรก ตัวอย่างการเปรียบเทียบปีน้ำทั้ง 2 แบบ แสดงในรูปที่ 4.11 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก. รูปที่ ก-1)

สรุปได้ว่าการวิเคราะห์โดยใช้ปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. จะให้ผลการวิเคราะห์ซึ่งมีความรุนแรงของเหตุการณ์ความแห้งแล้งน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นในการวิเคราะห์ความถี่การเกิดในกรณีของปริมาณน้ำต่ำสุดจึงควรใช้ปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. แทนที่จะเป็นช่วงวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. ดังเช่นการวิเคราะห์ในกรณีของปริมาณน้ำสูงสุด

3. ในรูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการแจกแจงความน่าจะเป็นด้วยฟังก์ชัน 3 แบบ จากการสังเกตด้วยสายตา จะเห็นว่าในกรณีที่ข้อมูลปริมาณน้ำบางค่าเป็นศูนย์ (ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 1 วัน) ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ไม่สามารถเป็นตัวแทนของจุดพล็อตได้ โดยฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 เข้ากับข้อมูลจุดพล็อตได้ดีกว่า แต่กรณีที่ไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำเป็นศูนย์ (ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 6 เดือน และ 9 เดือน) ฟังก์ชันทั้ง 3 แบบ สามารถเข้ากับข้อมูลได้ดีไม่แตกต่างกันมากนัก

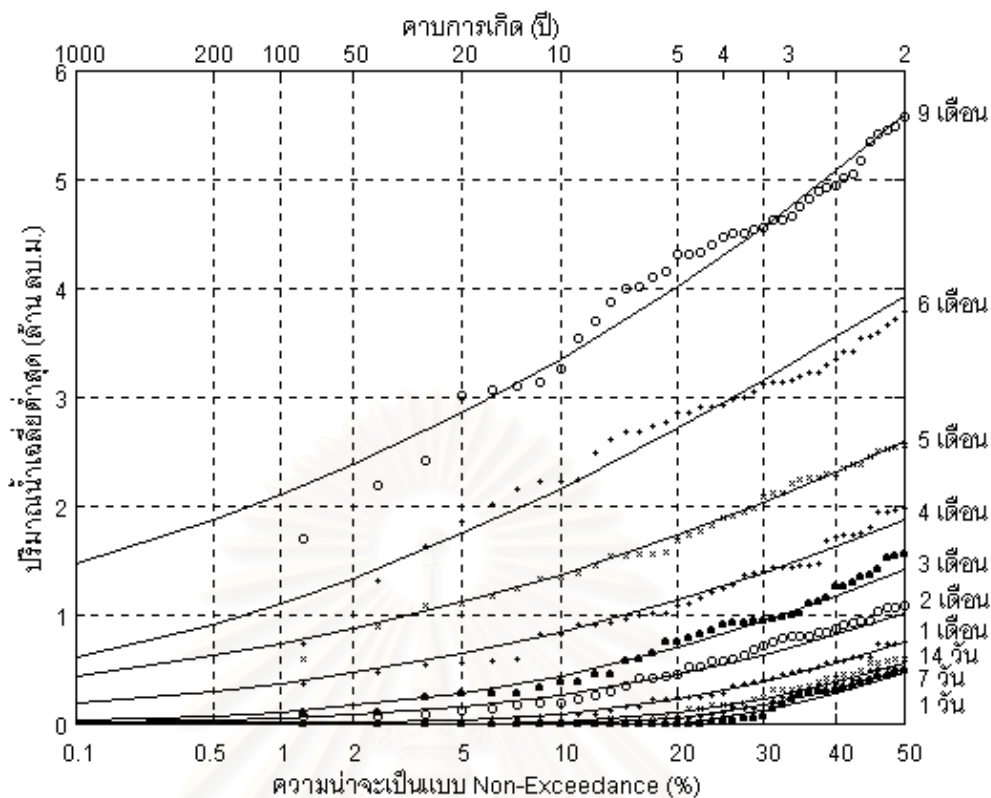
อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.5 – 4.10 พบว่าที่จำนวนวันเฉลี่ยต่ำ ซึ่งมีค่าปริมาณน้ำเป็นศูนย์ แม้ฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 จะเข้ากับจุดข้อมูลได้ดีกว่าฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์

แต่ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ทั้งที่เป็นฟังก์ชันซึ่งมีผู้ศึกษา (Matalas (1963), Kite (1977)) แนะนำว่ามีความเหมาะสม ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นข้อด้อยประการหนึ่งของวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการวิเคราะห์กรณีที่มีปริมาณน้ำบางค่าเป็นศูนย์ เช่น กรณีของลำน้ำที่มีน้ำไม่สม่ำเสมอตลอดปี (Intermittent Stream) ซึ่งไม่มีฟังก์ชันที่มีคุณลักษณะทางสถิติที่เหมาะสมอย่างแท้จริงในการอธิบายสภาพธรรมชาติในกรณีดังกล่าว

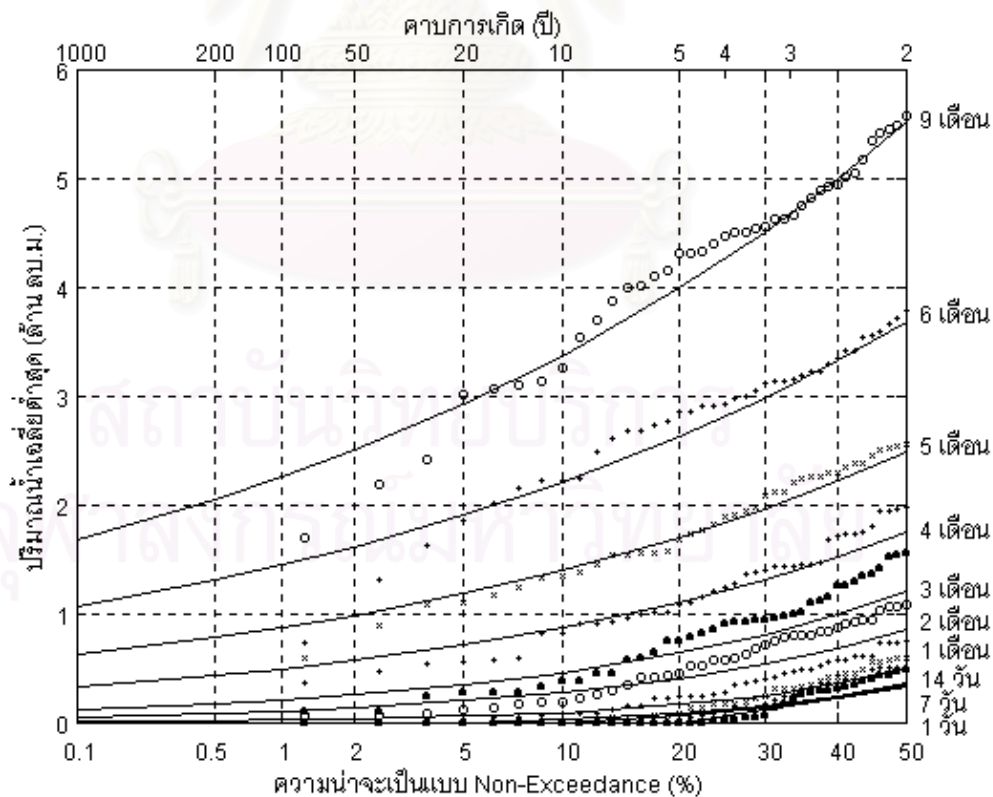
4. การตรวจสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นด้วยวิธีไคสแควร์แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าในช่วงจำนวนวันเฉลี่ยต่ำ ๆ ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยบางค่าเป็นศูนย์ เช่น 1 วัน และ 7 วัน ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 มีความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือ ฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 ส่วนในช่วงจำนวนวันเฉลี่ยสูงซึ่งไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยเป็นศูนย์ ฟังก์ชันการแจกแจงทั้ง 3 ประเภทมีความเหมาะสมไม่แตกต่างกันมากนัก



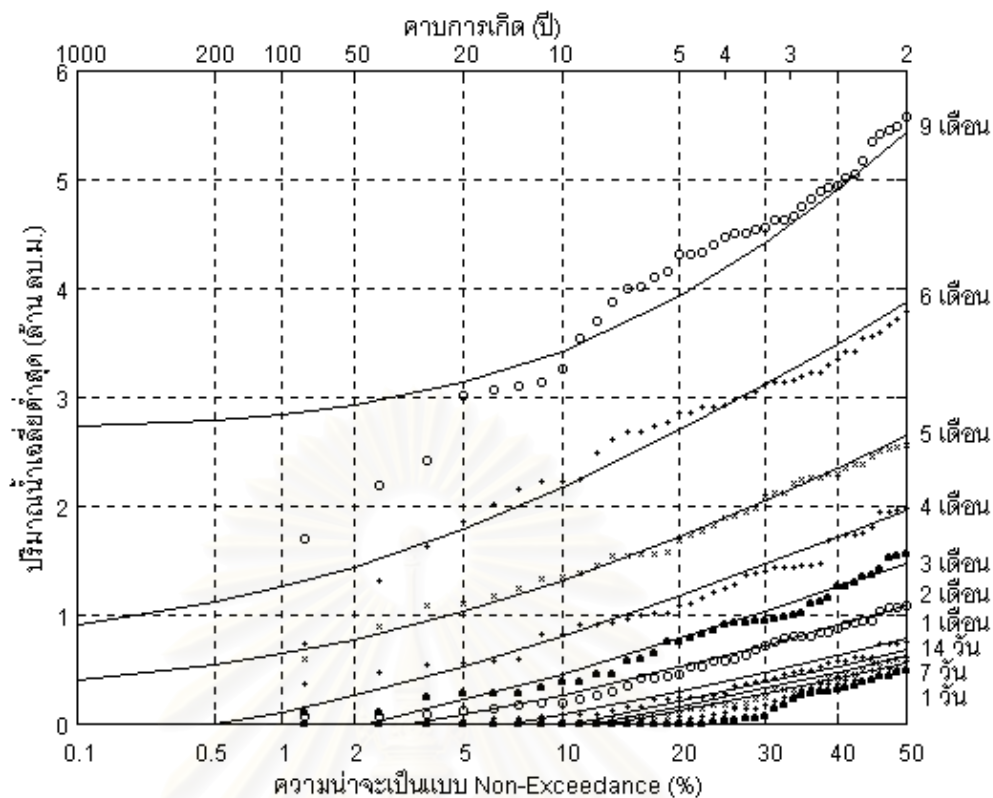
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



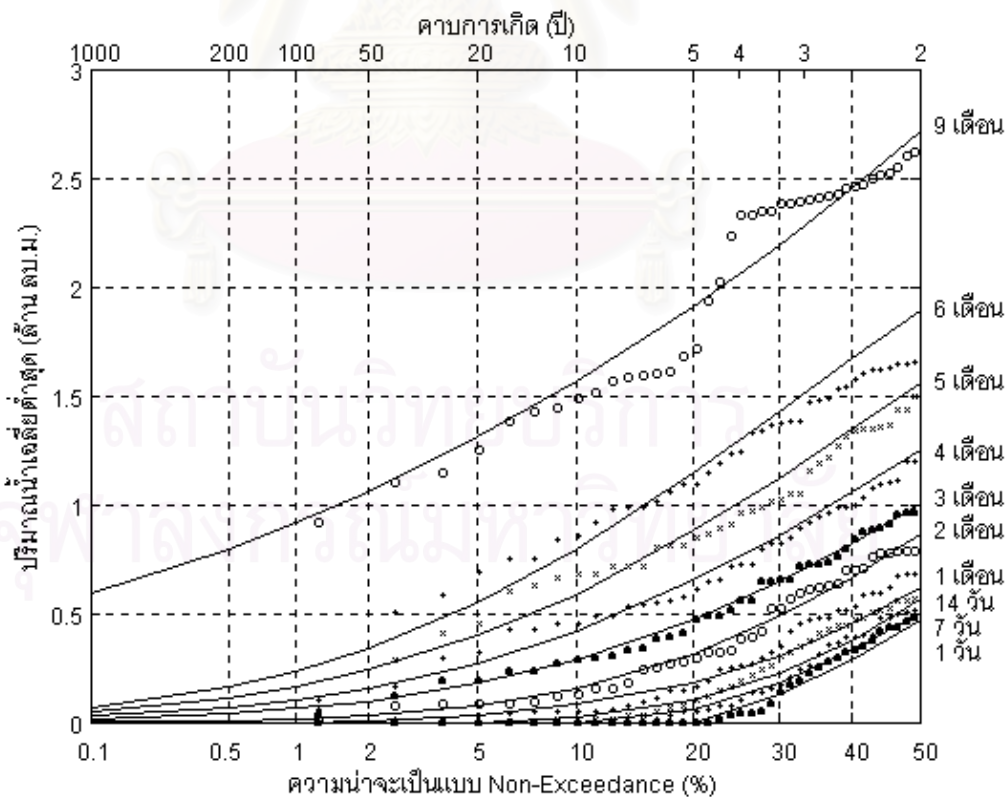
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.



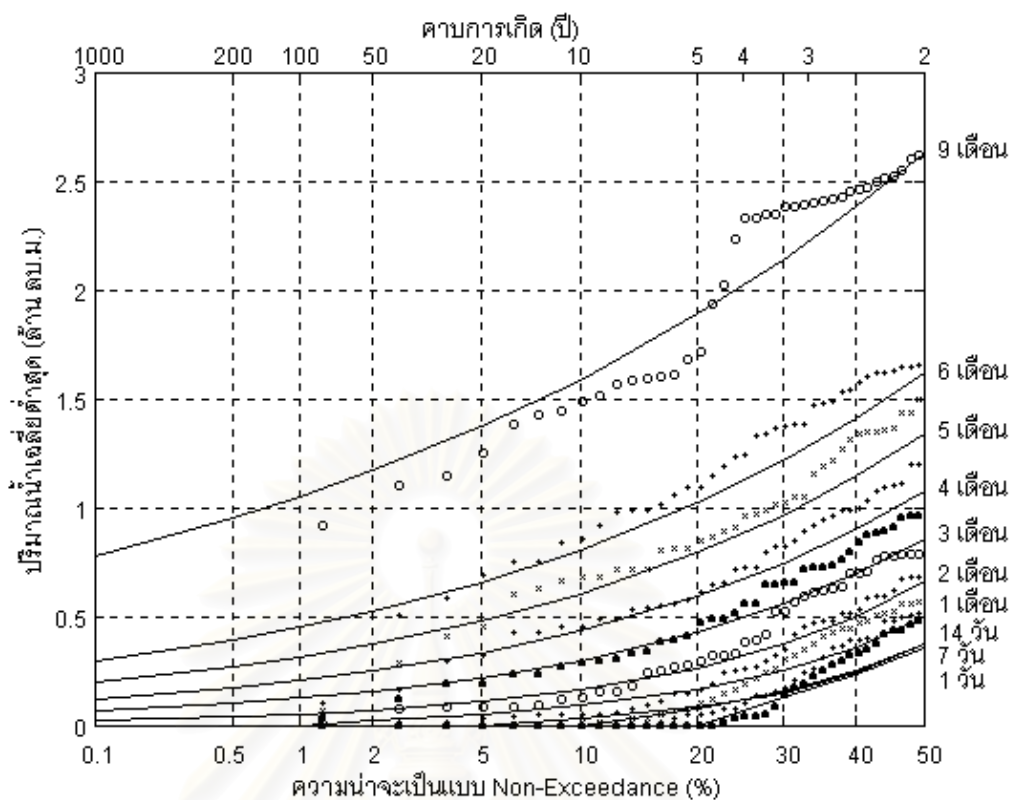
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.



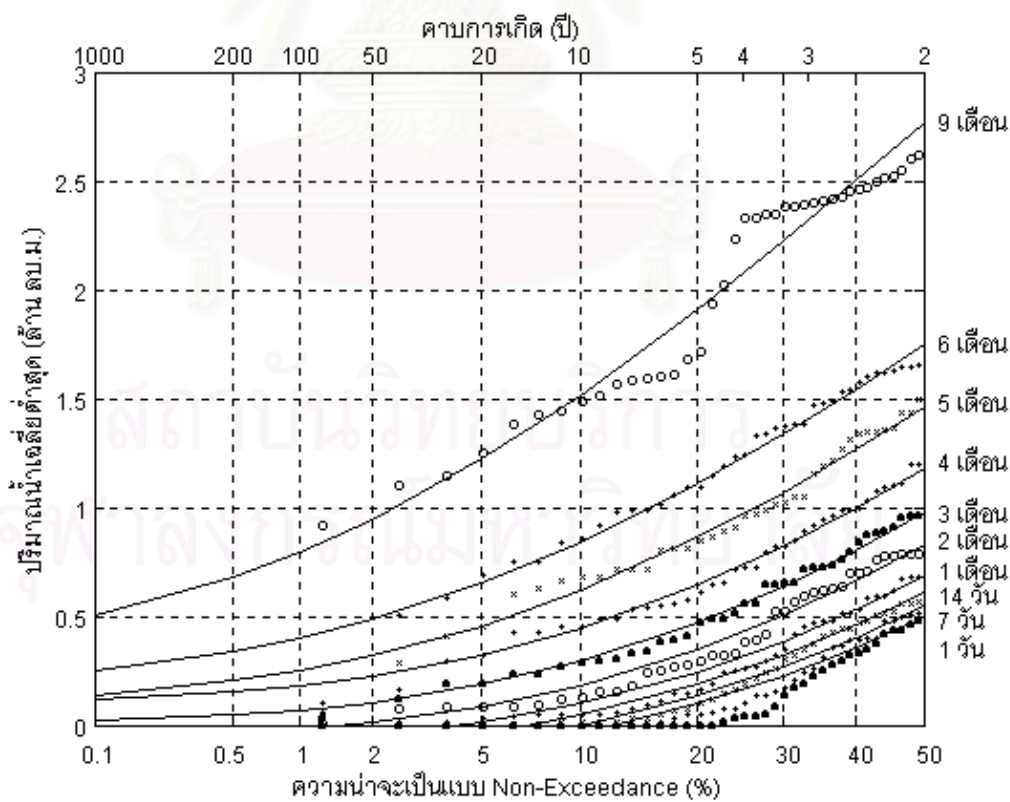
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



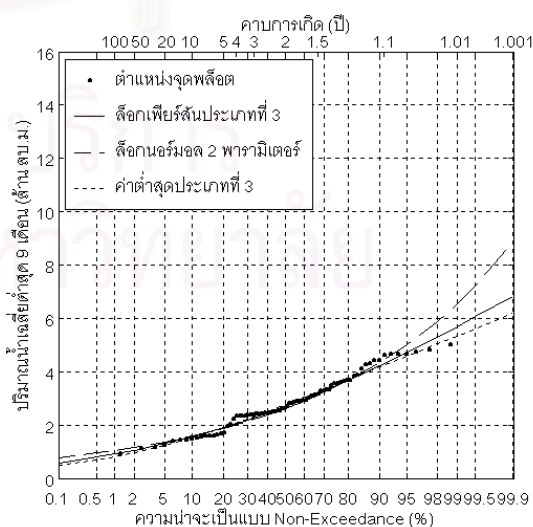
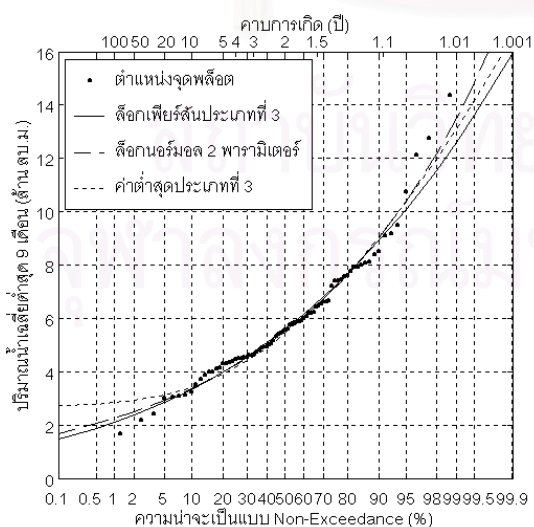
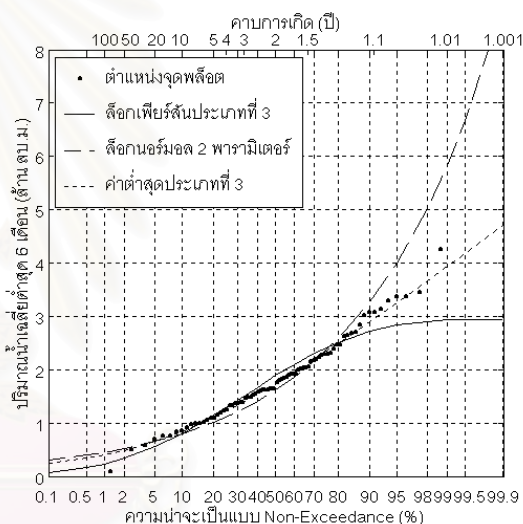
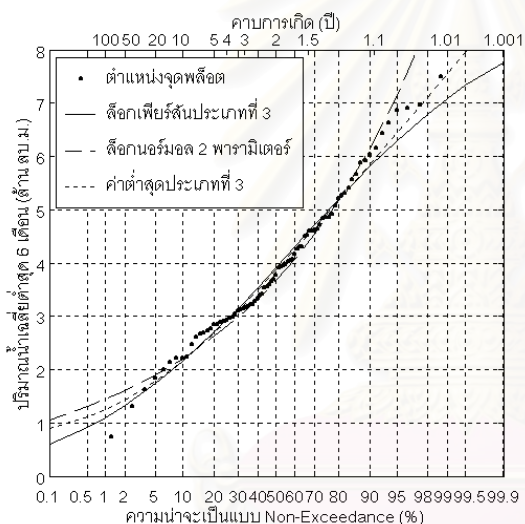
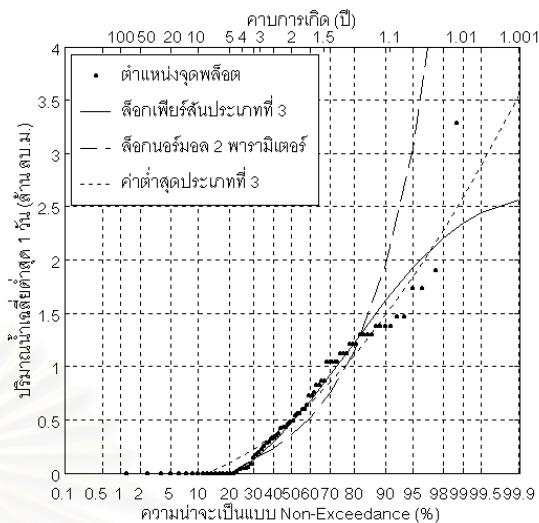
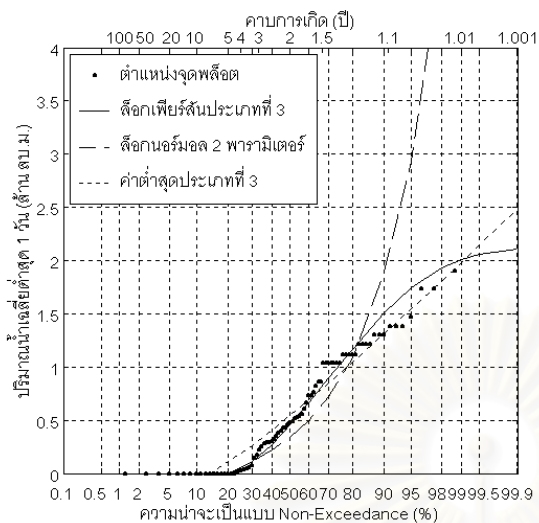
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.

ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย.-31 มี.ค.

จำนวน วันเฉลี่ย (วัน)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
1	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	0.70	ยอมรับ
		8	4	9.49	12.54	ปฏิเสธ						
		10	6	12.59	20.86	ปฏิเสธ						
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5	2	5.99	7.78	ปฏิเสธ
		8	5	11.07	41.89	ปฏิเสธ						
		10	7	14.07	31.18	ปฏิเสธ						
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	16.45	ปฏิเสธ
		8	4	9.49	14.76	ปฏิเสธ						
		10	6	12.59	12.17	ยอมรับ						
7	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3	0.49	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	1.06	ยอมรับ
		8	4	9.49	10.64	ปฏิเสธ						
		10	6	12.59	21.46	ปฏิเสธ						
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์	0.33	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	5	2	5.99	6.00	ปฏิเสธ
		8	5	11.07	52.01	ปฏิเสธ						
		10	7	14.07	32.31	ปฏิเสธ						
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3	0.62	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	6.53	ปฏิเสธ
		8	4	9.49	15.69	ปฏิเสธ						
		10	6	12.59	17.36	ปฏิเสธ						
14	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3	0.56	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	0.27	ยอมรับ
		8	4	9.49	10.38	ปฏิเสธ						
		10	6	12.59	15.51	ปฏิเสธ						
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์	0.36	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	5	2	5.99	5.46	ยอมรับ
		8	5	11.07	52.93	ปฏิเสธ						
		10	7	14.07	33.75	ปฏิเสธ						
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3	0.68	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	13.28	ปฏิเสธ
		8	4	9.49	21.88	ปฏิเสธ						
		10	6	12.59	28.66	ปฏิเสธ						
30	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3	0.74	0.22	0.09	0.03	0.01	0.00	5	1	3.84	1.70	ยอมรับ
		8	4	9.49	4.54	ยอมรับ						
		10	6	12.59	9.73	ยอมรับ						
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์	0.50	0.16	0.09	0.05	0.03	0.02	5	2	5.99	35.11	ปฏิเสธ
		8	5	11.07	38.57	ปฏิเสธ						
		10	7	14.07	47.96	ปฏิเสธ						
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3	0.79	0.30	0.08	0.00	0.00	0.00	5	1	3.84	2.84	ยอมรับ
		8	4	9.49	8.80	ยอมรับ						
		10	6	12.59	11.76	ยอมรับ						
60	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3	1.02	0.44	0.26	0.15	0.08	0.05	5	1	3.84	1.82	ยอมรับ
		8	4	9.49	4.75	ยอมรับ						
		10	6	12.59	4.92	ยอมรับ						
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์	0.85	0.40	0.27	0.19	0.13	0.10	5	2	5.99	9.16	ปฏิเสธ
		8	5	11.07	19.53	ปฏิเสธ						
		10	7	14.07	23.41	ปฏิเสธ						
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3	1.08	0.52	0.26	0.08	0.00	0.00	5	1	3.84	0.68	ยอมรับ
		8	4	9.49	0.49	ยอมรับ						
		10	6	12.59	1.89	ยอมรับ						

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย.-31 มี.ค.(ต่อ)

จำนวน วันเฉลี่ย (วัน)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง					
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง	
90	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3		1.41	0.70	0.44	0.28	0.16	0.10	5	1	3.84	11.82	ปฏิเสธ
		8	4	9.49	5.15	ยอมรับ							
		10	6	12.59	14.04	ปฏิเสธ							
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์		1.20	0.63	0.45	0.34	0.25	0.20	5	2	5.99	21.19	ปฏิเสธ
		8	5	11.07	23.18	ปฏิเสธ							
		10	7	14.07	31.00	ปฏิเสธ							
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3		1.46	0.78	0.46	0.21	0.00	0.00	5	1	3.84	0.43	ยอมรับ
		8	4	9.49	2.92	ยอมรับ							
		10	6	12.59	9.73	ยอมรับ							
120	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3		1.87	1.13	0.84	0.64	0.46	0.36	5	1	3.84	0.68	ยอมรับ
		8	4	9.49	3.33	ยอมรับ							
		10	6	12.59	2.14	ยอมรับ							
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์		1.75	1.10	0.86	0.71	0.56	0.49	5	2	5.99	1.82	ยอมรับ
		8	5	11.07	6.37	ยอมรับ							
		10	7	14.07	10.24	ยอมรับ							
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3		1.96	1.17	0.80	0.52	0.25	0.10	5	1	3.84	1.19	ยอมรับ
		8	4	9.49	5.56	ยอมรับ							
		10	6	12.59	10.75	ยอมรับ							
150	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3		2.59	1.73	1.37	1.11	0.87	0.73	5	1	3.84	1.32	ยอมรับ
		8	4	9.49	1.91	ยอมรับ							
		10	6	12.59	1.89	ยอมรับ							
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์		2.49	1.70	1.39	1.18	0.98	0.87	5	2	5.99	3.09	ยอมรับ
		8	5	11.07	2.11	ยอมรับ							
		10	7	14.07	4.16	ยอมรับ							
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3		2.64	1.71	1.31	1.03	0.77	0.64	5	1	3.84	1.19	ยอมรับ
		8	4	9.49	2.52	ยอมรับ							
		10	6	12.59	5.94	ยอมรับ							
183	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3		3.92	2.71	2.15	1.74	1.33	1.10	5	1	3.84	3.47	ยอมรับ
		8	4	9.49	4.54	ยอมรับ							
		10	6	12.59	6.19	ยอมรับ							
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์		3.68	2.62	2.20	1.90	1.61	1.44	5	2	5.99	2.71	ยอมรับ
		8	5	11.07	4.75	ยอมรับ							
		10	7	14.07	4.42	ยอมรับ							
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3		3.86	2.69	2.16	1.78	1.43	1.25	5	1	3.84	2.46	ยอมรับ
		8	4	9.49	2.52	ยอมรับ							
		10	6	12.59	4.42	ยอมรับ							
274	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3		5.60	4.01	3.34	2.85	2.38	2.10	5	1	3.84	2.33	ยอมรับ
		8	4	9.49	11.23	ปฏิเสธ							
		10	6	12.59	4.16	ยอมรับ							
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์		5.51	3.99	3.36	2.93	2.50	2.25	5	2	5.99	3.34	ยอมรับ
		8	5	11.07	7.18	ยอมรับ							
		10	7	14.07	6.19	ยอมรับ							
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3		5.43	3.92	3.42	3.13	2.92	2.83	5	1	3.84	2.46	ยอมรับ
		8	4	9.49	7.78	ยอมรับ							
		10	6	12.59	6.70	ยอมรับ							

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย.-31 ส.ค.

จำนวน วันเฉลี่ย (วัน)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
1	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.97	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.21	ยอมรับ
								10	6	12.59	15.56	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	4.50	ยอมรับ
								8	5	11.07	30.88	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	16.14	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	8.20	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	12.05	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	19.55	ปฏิเสธ
7	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.16	ยอมรับ
								8	4	9.49	8.75	ยอมรับ
								10	6	12.59	14.81	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	4.58	ยอมรับ
								8	5	11.07	36.75	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	22.06	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	5.45	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	15.66	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	12.89	ปฏิเสธ
14	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.70	ยอมรับ
								8	4	9.49	8.30	ยอมรับ
								10	6	12.59	15.02	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	10.97	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	42.53	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	35.21	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	4.93	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	14.54	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	18.29	ปฏิเสธ
30	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.67	ยอมรับ
								8	4	9.49	14.72	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	8.67	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	6.17	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	24.71	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	26.19	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	6.67	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	14.03	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	16.43	ปฏิเสธ
60	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.59	ยอมรับ
								8	4	9.49	3.64	ยอมรับ
								10	6	12.59	4.31	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	9.82	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	24.97	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	25.08	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	2.26	ยอมรับ
								8	4	9.49	6.51	ยอมรับ
								10	6	12.59	7.13	ยอมรับ

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย.-31 ส.ค.(ต่อ)

จำนวน วันเฉลี่ย (วัน)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
90	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.33	ยอมรับ
								8	4	9.49	0.97	ยอมรับ
								10	6	12.59	2.26	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	3.15	ยอมรับ
								8	5	11.07	8.77	ยอมรับ
								10	7	14.07	12.26	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.08	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.62	ยอมรับ
								10	6	12.59	3.03	ยอมรับ
120	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.59	ยอมรับ
								8	4	9.49	4.05	ยอมรับ
								10	6	12.59	10.46	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	3.54	ยอมรับ
								8	5	11.07	3.23	ยอมรับ
								10	7	14.07	8.41	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.08	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.62	ยอมรับ
								10	6	12.59	4.05	ยอมรับ
150	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.49	ยอมรับ
								8	4	9.49	7.13	ยอมรับ
								10	6	12.59	11.49	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	4.95	ยอมรับ
								8	5	11.07	8.77	ยอมรับ
								10	7	14.07	11.49	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.10	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.41	ยอมรับ
								10	6	12.59	9.44	ยอมรับ
183	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	4.44	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	6.10	ยอมรับ
								10	6	12.59	10.97	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	2.64	ยอมรับ
								8	5	11.07	5.69	ยอมรับ
								10	7	14.07	4.31	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.33	ยอมรับ
								8	4	9.49	1.59	ยอมรับ
								10	6	12.59	2.26	ยอมรับ
274	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.33	ยอมรับ
								8	4	9.49	8.77	ยอมรับ
								10	6	12.59	10.72	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	7.51	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	23.74	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	17.13	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.72	ยอมรับ
								8	4	9.49	8.56	ยอมรับ
								10	6	12.59	18.41	ปฏิเสธ

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

4.3 วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

4.3.1 การแบ่งช่วงปีน้ำ

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา แบ่งปีน้ำ 2 แบบ คือ ปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค. และปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค. เช่นเดียวกับในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด โดยมีสมมติฐานว่า ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมสูง ๆ การแบ่งปีน้ำตามวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค. โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาที่ได้จากการวิเคราะห์ จะให้ค่าปริมาณการไหลต่ำกว่าการแบ่งปีน้ำตามวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค. เนื่องจากการแบ่งข้อมูลตามปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค. จะครอบคลุมช่วงสภาพการไหลต่ำในปีแล้งได้มากกว่าการแบ่งปีน้ำตามวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค. ซึ่งการทดสอบสมมติฐานนี้จะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อผลการศึกษา

4.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลามีดังนี้ (แสดงในรูปที่ 4.12)

1. นำข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวันในช่วงระยะเวลา 1 ปีมาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย พร้อมทั้งคำนวณเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของข้อมูลที่ทำมาจัดเรียงด้วย โดยใช้ปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค. และปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.

2. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำที่จัดเรียงลำดับแล้วกับเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวคือโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ซึ่งแสดงความผันแปรของลำน้ำ ณ จุดที่ทำการวัดในช่วงระยะเวลา 1 ปี ดังนั้นในกรณีของข้อมูลสถานี P.1 จำนวน 79 ปี จะได้โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา จำนวน 79 รูป

3. แบ่งเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ บนโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ออกเป็นส่วน ๆ ละเท่ากัน ให้มีอย่างน้อย 8 - 15 จุด แล้วอ่านค่าปริมาณน้ำรายวันที่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมดังกล่าว วนทำซ้ำเพื่ออ่านค่าให้ครบทั้ง 79 ปี

4. นำข้อมูลปริมาณน้ำรายวันที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเดียวกันของทุกปี (79 ปี) มาวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 3 แบบ คือ

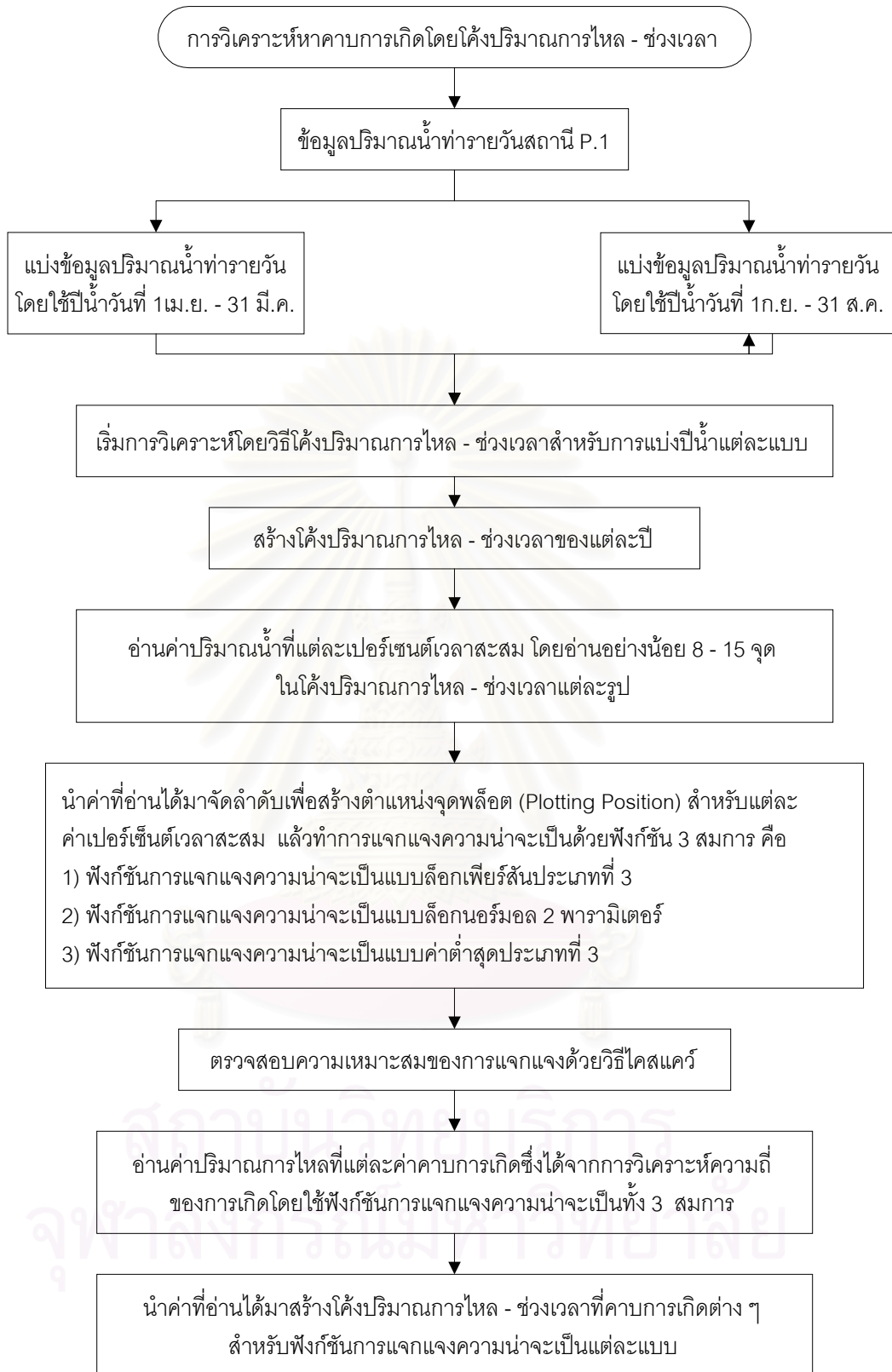
- 1) ฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3
- 2) ฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์
- 3) ฟังก์ชันการแจกแจงแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3

จากนั้นตรวจสอบความเหมาะสมของการแจกแจงด้วยวิธีไคสแควร์

5. อ่านค่าปริมาณการไหลที่คาบการเกิดที่สนใจ บนกราฟความถี่ของการเกิดในแต่ละเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม นำมาสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดที่กำหนด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

4.3.3 ผลการศึกษา

การวิเคราะห์สำหรับวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. กราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่าง ๆ แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.13 ได้จากการสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ของแต่ละปีตลอดช่วงเวลาเก็บบันทึกข้อมูล (ตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ข. รูปที่ ข-1) แล้วนำค่าปริมาณการไหลที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมค่าเดียวกันของทุกปี มาจัดเรียงลำดับ เพื่อสร้างตำแหน่งจุดพล็อตและกราฟฟังก์ชันการแจกแจง 3 แบบ จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า กราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด มีค่าต่ำลงเมื่อเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเพิ่มขึ้น โดยรวมแล้ว จุดพล็อตกับเส้นกราฟฟังก์ชันมีความเข้ากันได้ดีจากการสังเกตด้วยสายตา โดยเฉพาะช่วงเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ไม่มีค่าปริมาณน้ำเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม การสังเกตด้วยสายตาไม่สามารถบ่งบอกความเข้ากันได้ของจุดพล็อตกับเส้นกราฟอย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันโดยวิธีการทางสถิติ คือการทดสอบค่าไคสแควร์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างปีน้ำ 2 แบบ ที่คาบการเกิดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.14 โดยเกณฑ์การเปรียบเทียบพิจารณาจาก ค่าปริมาณน้ำรายวันที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่าง ๆ ของปีน้ำทั้ง 2 แบบ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ผลการเปรียบเทียบ พบว่าการแบ่งปีน้ำทั้ง 2 แบบให้ผลไม่แตกต่างกัน กล่าวคือเส้นโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ในรูปที่ 4.14 สำหรับปีน้ำทั้ง 2 แบบ มีความใกล้เคียงกันมาก ซึ่งถือเป็นการปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า การแบ่งช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. จะให้ค่าปริมาณการไหลต่ำกว่าช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมสูง ๆ ผลที่ได้นี้ต่างจากการวิเคราะห์โดยวิธีความถี่ของการเกิด ซึ่งการแบ่งปีน้ำทั้ง 2 แบบให้ผลแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เหตุผลน่าจะเป็นเพราะวิธีความถี่ของการเกิดเลือกเพียงค่าต่ำสุดเฉลี่ยประจำปีมาใช้ในการวิเคราะห์เท่านั้น ขณะที่วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ข้อมูลปริมาณน้ำรายวันทุกตัวภายในระยะเวลา 1 ปี จะถูกนำมาจัดลำดับเพื่อสร้างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ทำให้ผลของการแบ่งปีน้ำที่มีต่อโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา มีน้อยมาก ดังนั้นในวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา จะใช้ปีน้ำแบบใดในการวิเคราะห์ก็ได้ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในรูปที่ 4.14 สำหรับช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. จะเห็นว่าเส้นกราฟฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 แตกกลุ่มออกจากฟังก์ชันอื่นที่คาบการเกิด 20 50 และ 100 ปี ทั้งนี้จากรูปที่ 4.13 ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่ำ จะพบว่าเส้นกราฟฟังก์ชันดังกล่าวไม่สามารถเข้ากับจุดพล็อตได้ดีบริเวณปลาย เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่มีขอบเขตจำกัดล่าง (Lower Limit) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับการแจกแจงความถี่ในช่วงเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่ำ ซึ่งเป็นช่วงของปริมาณการไหลสูง ที่โดยปกติ

แล้วจะเหมาะสมกับฟังก์ชันการแจกแจงแบบกัมเบล (Gumbel) ซึ่งไม่มีทั้งขอบเขตจำกัดบนและล่าง ดังนั้นในการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ควรใช้ฟังก์ชันซึ่งสามารถเข้ากับข้อมูลจุดพล็อตได้ทั้งในช่วงเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมสูงและต่ำ ซึ่งในการศึกษานี้แนะนำว่าฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ จะมีความเหมาะสมมากกว่าฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3

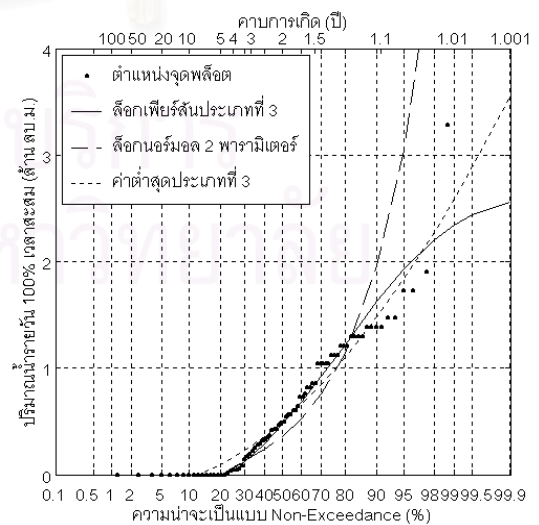
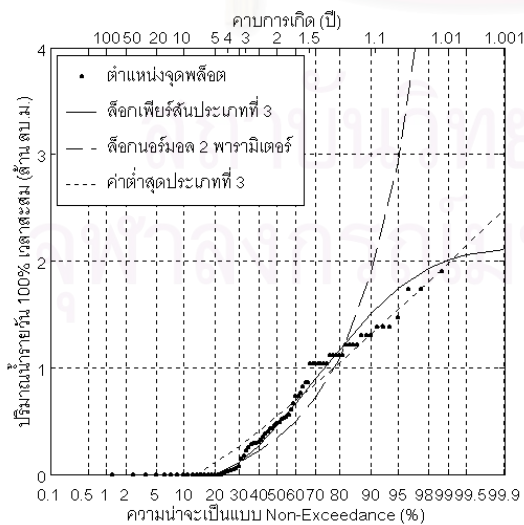
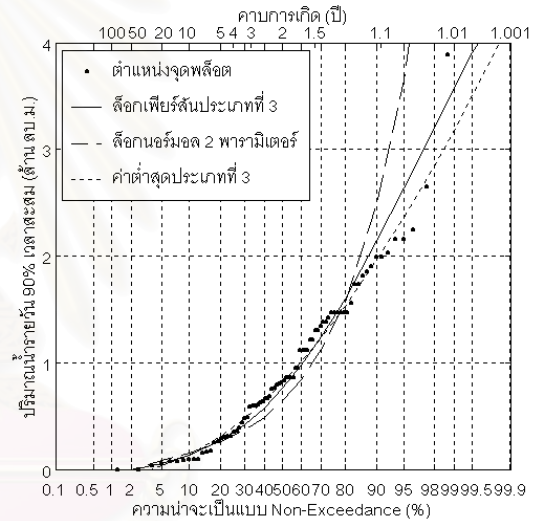
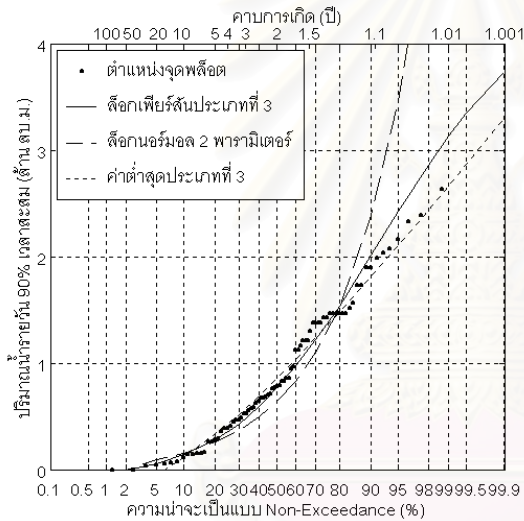
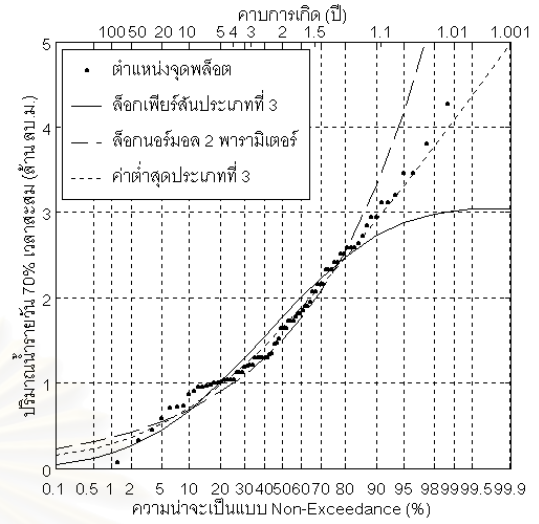
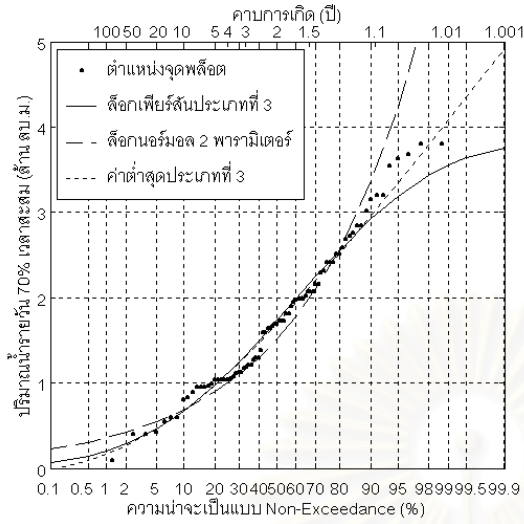
โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ สำหรับการแบ่งช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค. และปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค. โดยฟังก์ชันการแจกแจง 3 แบบ แสดงในรูปที่ 4.15 - 4.20 รูปดังกล่าวเป็นผลสรุปของการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

2. การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น โดยวิธีไคสแควร์ รูปดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 สำหรับปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค. และปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค. ตามลำดับ พบว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่ำกว่า 80% ฟังก์ชันที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้ง 3 แบบ มีความเข้ากันได้กับจุดพล็อตดี และมีค่า χ^2 ต่ำกว่าค่าทดสอบในทุกช่วงชั้น แต่ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมสูงกว่า 80% ซึ่งมีข้อมูลปริมาณน้ำรายวันบางค่าที่เป็นศูนย์ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 มีความเหมาะสมมากกว่าฟังก์ชันอื่น ๆ เช่นเดียวกับผลการศึกษาในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

3. การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ทำให้สามารถสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่มีคาบการเกิดต่าง ๆ กันได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาโดยวิธีปกติ เพราะผู้วิเคราะห์สามารถเลือกค่าความเสี่ยงที่จะนำไปใช้ในการออกแบบหรือวางโครงการได้ คำตอบที่ได้จากวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา กับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด มีความคล้ายคลึงกัน จึงอาจนำมาใช้ทดแทนกันได้ โดยในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดต้องพิจารณาจำนวนวันเฉลี่ยของปริมาณน้ำต่ำสุดให้เหมาะสมกับงานที่ประยุกต์ใช้ ขณะที่วิธีวิเคราะห์โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ค่าปริมาณการไหลที่จะนำมาใช้ในการออกแบบพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สภาพน้ำสำหรับกรณีที่สนใจ

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

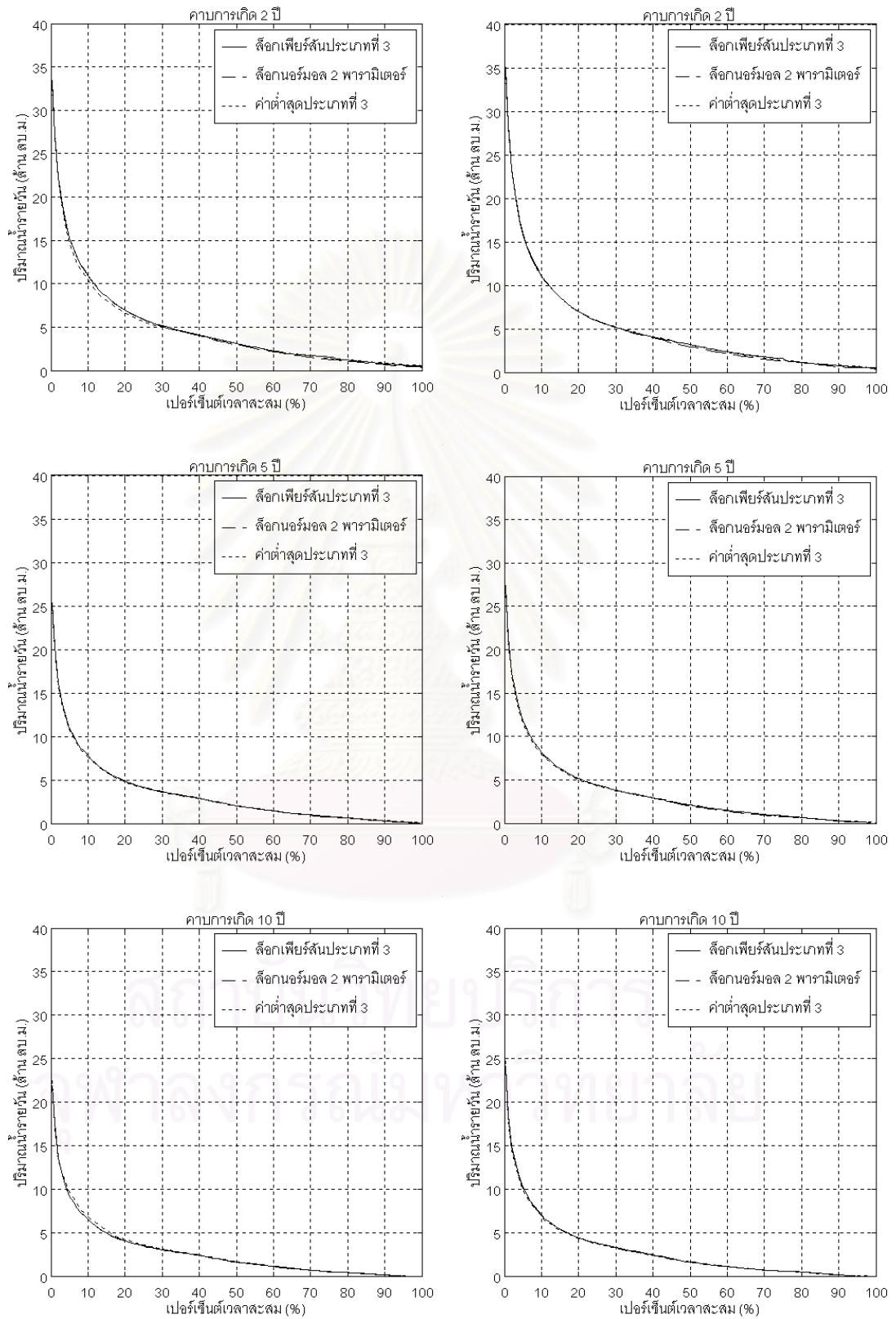
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.

ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.

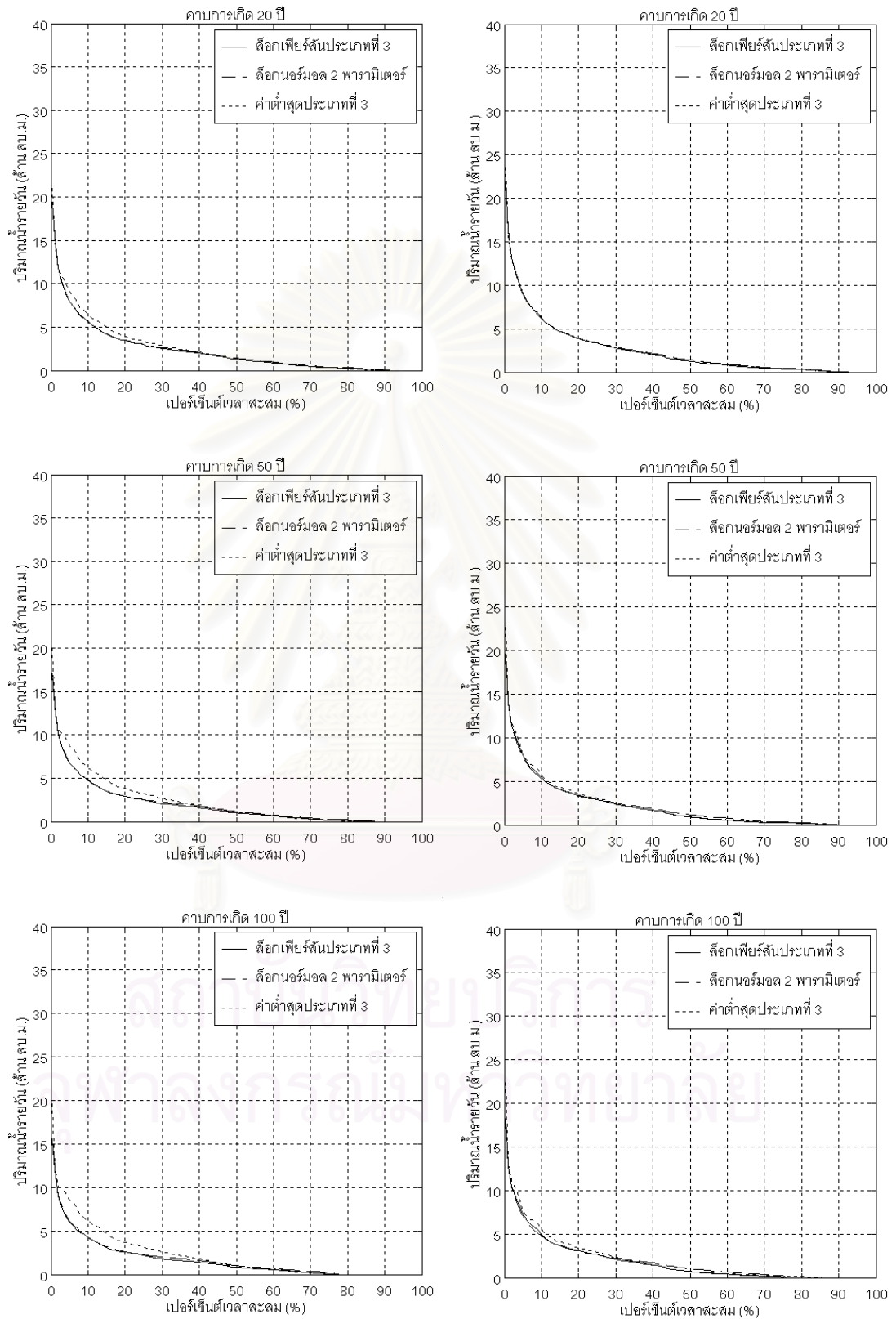


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลาที่คาบการเกิดต่าง ๆ สำหรับปีน้ำ

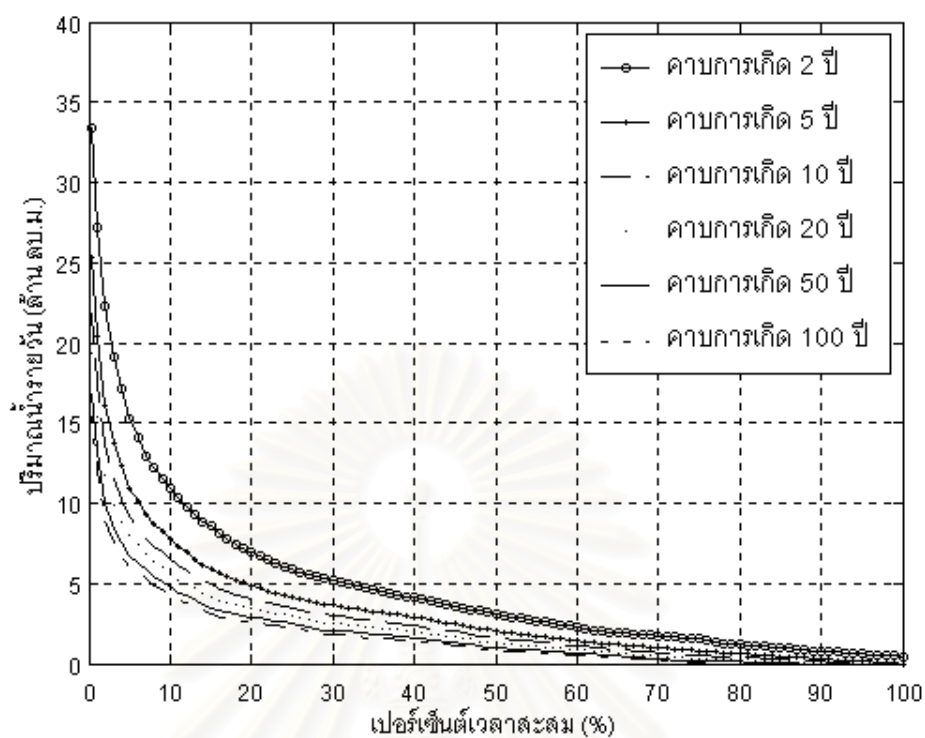
2 แบบ

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.

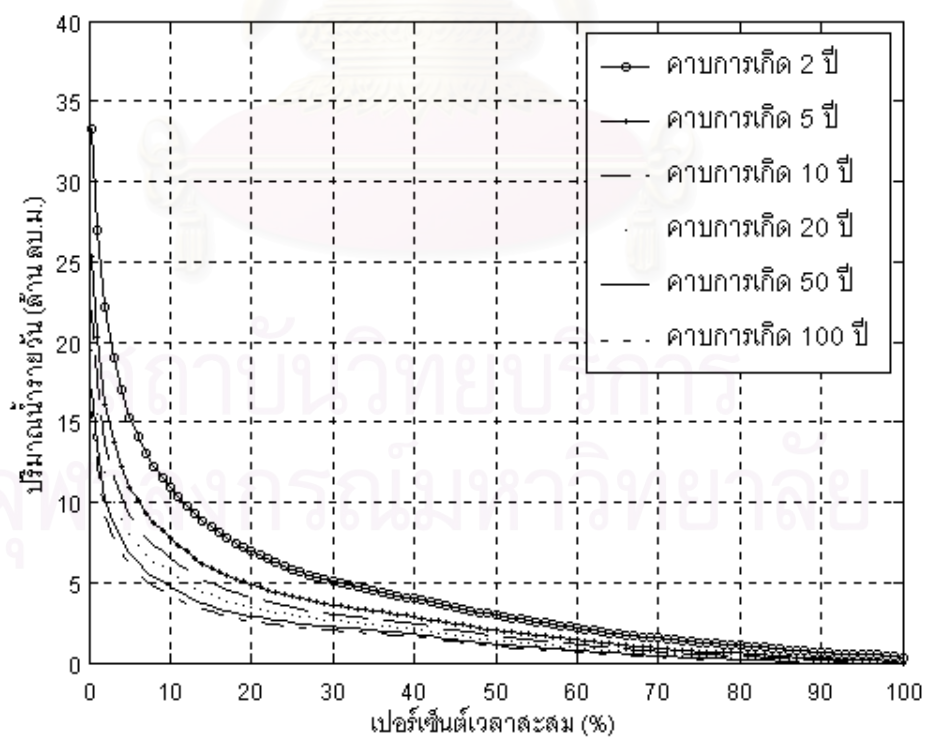
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



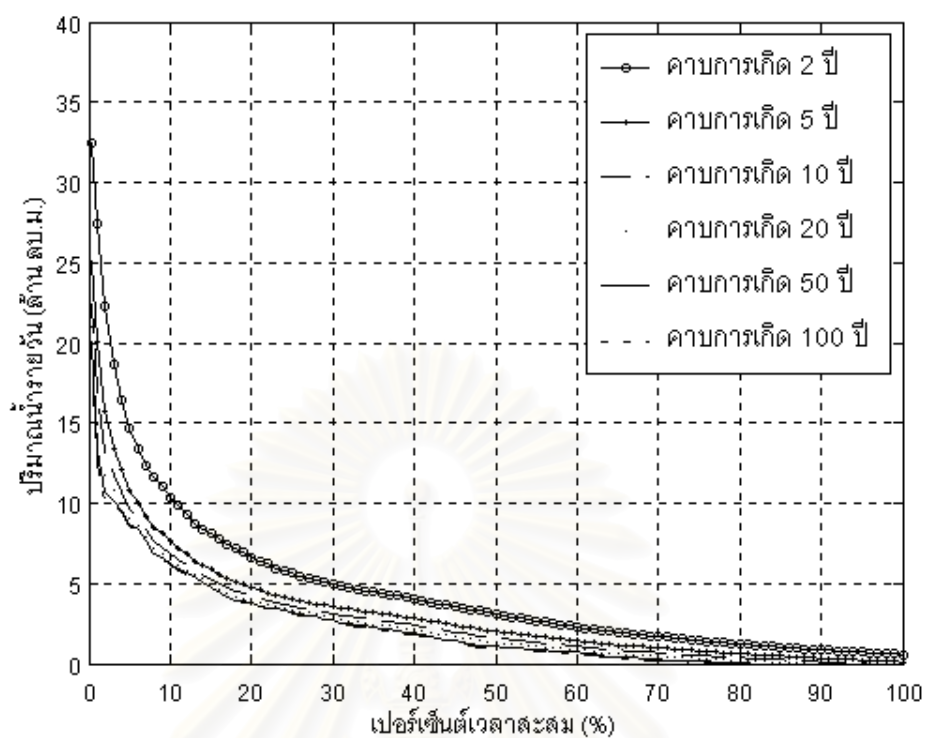
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลาที่คาบการเกิดต่าง ๆ สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)



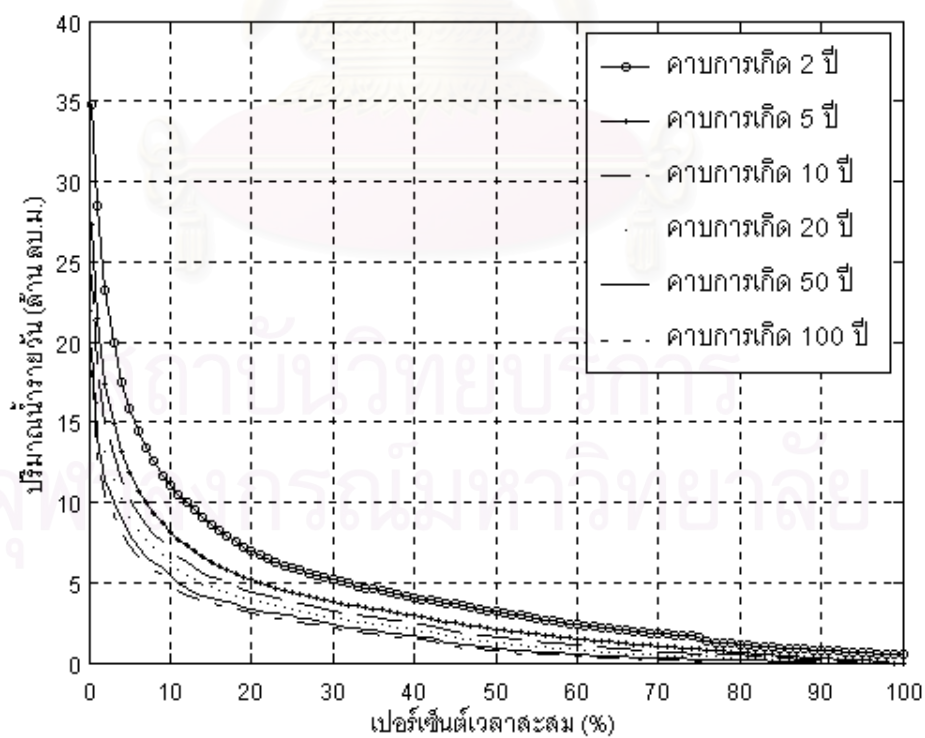
รูปที่ 4.15 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.



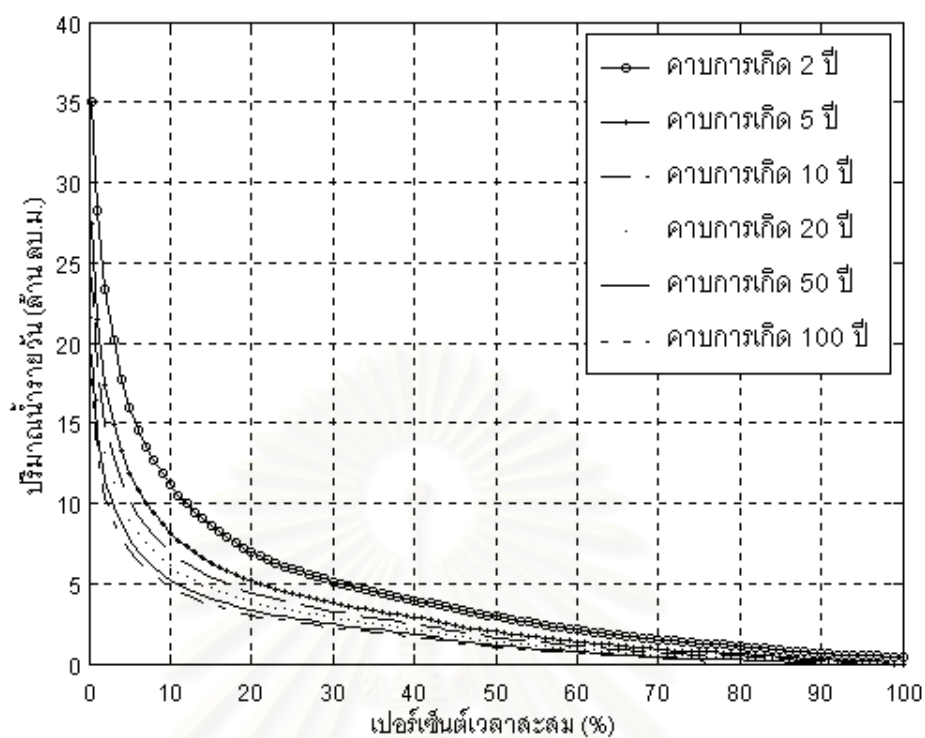
รูปที่ 4.16 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.



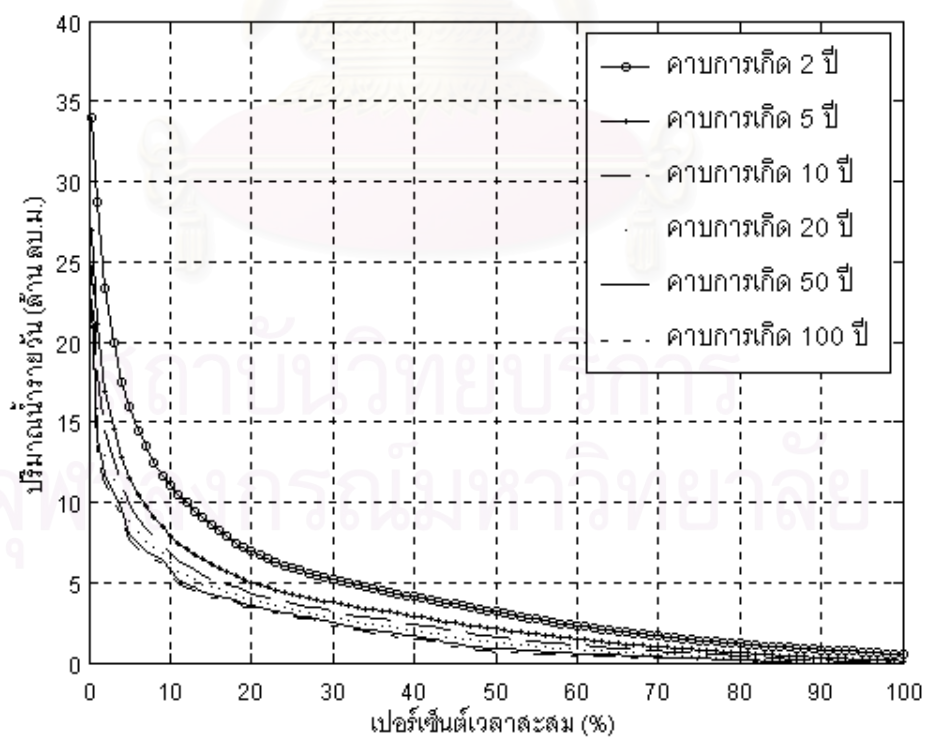
รูปที่ 4.17 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.



รูปที่ 4.18 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ 4.19 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ 4.20 โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สร้างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 โดยข้อมูลช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย.-31 มี.ค.

เปอร์เซ็นต์ เวลาสะสม (%)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
60	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.94	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.11	ยอมรับ
								10	6	12.59	2.65	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	1.32	ยอมรับ
								8	5	11.07	2.92	ยอมรับ
								10	7	14.07	4.16	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.94	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.11	ยอมรับ
								10	6	12.59	1.63	ยอมรับ
65	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.56	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.76	ยอมรับ
								10	6	12.59	7.46	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	2.58	ยอมรับ
								8	5	11.07	11.43	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	9.99	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.56	ยอมรับ
								8	4	9.49	8.19	ยอมรับ
								10	6	12.59	7.46	ยอมรับ
70	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.94	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.76	ยอมรับ
								10	6	12.59	11.00	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	5.49	ยอมรับ
								8	5	11.07	9.20	ยอมรับ
								10	7	14.07	12.77	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.03	ยอมรับ
								8	4	9.49	9.08	ยอมรับ
								10	6	12.59	12.34	ยอมรับ
75	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	3.09	ยอมรับ
								8	4	9.49	9.00	ยอมรับ
								10	6	12.59	26.44	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	6.00	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	8.19	ยอมรับ
								10	7	14.07	13.03	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.41	ยอมรับ
								8	4	9.49	4.55	ยอมรับ
								10	6	12.59	16.09	ปฏิเสธ
80	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.49	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.64	ยอมรับ
								10	6	12.59	5.77	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	5.38	ยอมรับ
								8	5	11.07	5.10	ยอมรับ
								10	7	14.07	7.84	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.70	ยอมรับ
								8	4	9.49	6.56	ยอมรับ
								10	6	12.59	1.86	ยอมรับ

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ช่วงปีน้ำ 1เม.ย.-31มี.ค.(ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ เวลาสะสม (%)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
85	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.49	ยอมรับ
								8	4	9.49	1.51	ยอมรับ
								10	6	12.59	11.53	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	2.62	ยอมรับ
								8	5	11.07	15.15	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	17.99	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	3.86	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	3.31	ยอมรับ
								10	6	12.59	14.04	ปฏิเสธ
90	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.18	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.63	ยอมรับ
								10	6	12.59	15.45	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	3.99	ยอมรับ
								8	5	11.07	16.00	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	18.02	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	4.97	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	8.33	ยอมรับ
								10	6	12.59	6.55	ยอมรับ
95	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.84	ยอมรับ
								8	4	9.49	10.73	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	9.49	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	4.10	ยอมรับ
								8	5	11.07	29.46	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	18.87	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	3.31	ยอมรับ
								8	4	9.49	11.30	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	13.01	ปฏิเสธ
97	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.60	ยอมรับ
								8	4	9.49	14.58	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	21.50	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	3.27	ยอมรับ
								8	5	11.07	29.82	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	22.57	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	5.57	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	22.14	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	17.40	ปฏิเสธ
100	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.70	ยอมรับ
								8	4	9.49	12.54	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	20.86	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	7.78	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	41.89	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	31.18	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	16.45	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	14.76	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	12.17	ยอมรับ

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย.-31 ส.ค.

เปอร์เซ็นต์ เวลาสะสม (%)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
60	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.74	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.82	ยอมรับ
								10	6	12.59	14.56	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	6.49	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	5.08	ยอมรับ
								10	7	14.07	10.46	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	2.90	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.00	ยอมรับ
								10	6	12.59	11.49	ยอมรับ
65	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	2.26	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.28	ยอมรับ
								10	6	12.59	9.44	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	2.13	ยอมรับ
								8	5	11.07	7.13	ยอมรับ
								10	7	14.07	7.90	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.33	ยอมรับ
								8	4	9.49	4.26	ยอมรับ
								10	6	12.59	5.59	ยอมรับ
70	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	5.21	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	9.18	ยอมรับ
								10	6	12.59	10.21	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	5.72	ยอมรับ
								8	5	11.07	7.74	ยอมรับ
								10	7	14.07	10.21	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	4.05	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	8.15	ยอมรับ
								10	6	12.59	8.67	ยอมรับ
75	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	10.08	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	18.41	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	33.79	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	7.26	ปฏิเสธ
								8	5	11.07	13.08	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	15.59	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	5.72	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	7.33	ยอมรับ
								10	6	12.59	9.44	ยอมรับ
80	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.04	ยอมรับ
								8	4	9.49	3.64	ยอมรับ
								10	6	12.59	6.80	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	0.46	ยอมรับ
								8	5	11.07	3.09	ยอมรับ
								10	7	14.07	3.07	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.10	ยอมรับ
								8	4	9.49	2.00	ยอมรับ
								10	6	12.59	5.08	ยอมรับ

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการวิเคราะห์วิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา ช่วงปีน้ำ 1ก.ย.-31ส.ค.(ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ เวลาสะสม (%)	ฟังก์ชันการ แจกแจง	คาบการเกิด (ปี)						การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจง				
		2	5	10	20	50	100	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
85	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.46	ยอมรับ
								8	4	9.49	0.73	ยอมรับ
								10	6	12.59	7.04	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	1.08	ยอมรับ
								8	5	11.07	6.91	ยอมรับ
								10	7	14.07	7.50	ยอมรับ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	2.44	ยอมรับ
								8	4	9.49	1.32	ยอมรับ
								10	6	12.59	4.00	ยอมรับ
90	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.26	ยอมรับ
								8	4	9.49	3.03	ยอมรับ
								10	6	12.59	8.31	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	2.84	ยอมรับ
								8	5	11.07	19.23	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	26.77	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.81	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.02	ยอมรับ
								10	6	12.59	12.53	ยอมรับ
95	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.63	ยอมรับ
								8	4	9.49	9.99	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	13.31	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	2.46	ยอมรับ
								8	5	11.07	21.79	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	17.67	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	3.95	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	10.12	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	14.12	ปฏิเสธ
97	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	1.00	ยอมรับ
								8	4	9.49	11.04	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	10.51	ยอมรับ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	1.84	ยอมรับ
								8	5	11.07	29.01	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	22.06	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	5.56	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	22.27	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	12.54	ยอมรับ
100	ล็อกเพียร์สัน ประเภทที่ 3							5	1	3.84	0.97	ยอมรับ
								8	4	9.49	5.21	ยอมรับ
								10	6	12.59	15.56	ปฏิเสธ
	ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์							5	2	5.99	4.50	ยอมรับ
								8	5	11.07	30.88	ปฏิเสธ
								10	7	14.07	16.14	ปฏิเสธ
	ค่าต่ำสุด ประเภทที่ 3							5	1	3.84	8.20	ปฏิเสธ
								8	4	9.49	12.05	ปฏิเสธ
								10	6	12.59	19.55	ปฏิเสธ

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวันที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในหน่วยล้าน ลบ.ม.

4.4 วิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน

4.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันจะแตกต่างจากการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด กล่าวคือ ข้อมูลปริมาณน้ำทุกค่า จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ โดยไม่มีการละทิ้งข้อมูลค่าหนึ่งค่าใด เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์โดยใช้วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ขณะที่การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด เลือกเพียงค่าต่ำสุดประจำปีมาใช้วิเคราะห์เท่านั้น

ทฤษฎีรันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับทั้งข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน รายเดือน และรายปี ข้อมูลปริมาณน้ำสถานี P.1 มีอยู่รวม 79 ปี คิดเป็นจำนวน 948 เดือน หรือ 28,855 วัน ซึ่งถือได้ว่าข้อมูลรายเดือน และรายวันมีจำนวนมากเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ จึงได้นำมาใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีรันในการศึกษาครั้งนี้

4.4.2 การกำหนดระดับการใช้น้ำ

ค่าระดับการใช้น้ำมีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน กล่าวคือใช้เป็นเกณฑ์ในการระบุว่าระยะเวลาช่วงใดของข้อมูลที่เกิดความแห้งแล้งขึ้นบ้าง ความรุนแรงของความแห้งแล้งแสดงให้เห็นโดยพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (ช่วงระยะเวลา DL) และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ปริมาณน้ำ DS) ซึ่งความรุนแรงดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับว่ามีความต้องการใช้น้ำเท่าไร ดังนั้นหากสามารถกำหนดระดับการใช้น้ำที่เวลาต่าง ๆ ได้ ย่อมจะสามารถคำนวณหาขนาดของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวได้

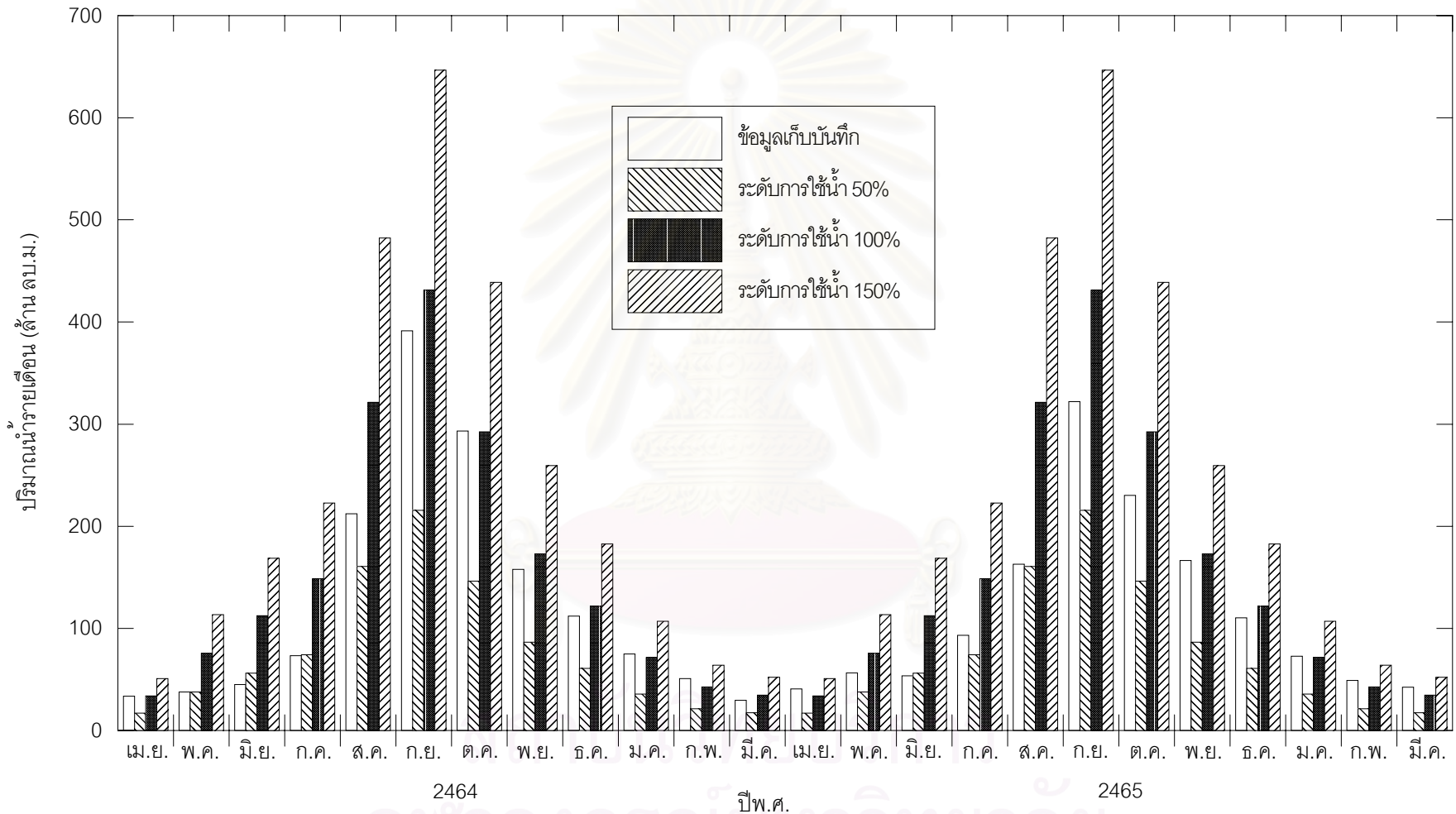
ในการกำหนดระดับการใช้น้ำ Milan (1972) ระบุว่า ในแง่ของการศึกษาพารามิเตอร์ทางสถิติของวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน เส้นระดับการใช้น้ำสามารถกำหนดให้เป็นค่าคงที่ อนุกรมเวลาแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) หรืออนุกรมเวลาแบบสโตแคสติก (Stochastic) สำหรับการศึกษเกี่ยวกับสภาพทางธรรมชาติ ค่าระดับการใช้น้ำมักถูกกำหนดให้เป็นสัดส่วนของค่าเฉลี่ย ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ หรือส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ของสภาพการนั้น ๆ

สำหรับการศึกษานี้เพื่อทดสอบกระบวนการของทฤษฎีรันว่าใช้ได้จริงตามทฤษฎี จึงกำหนดให้ระดับการใช้น้ำเป็นสัดส่วนตั้งแต่ 50% - 150% ของค่าเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน โดยค่าเฉลี่ยรายเดือน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำในแต่ละเดือนตลอดช่วงระยะเวลาที่มีการเก็บบันทึก 79 ปี ดังนั้นจะได้ระดับการใช้น้ำที่แตกต่างกัน 12 ค่า เป็นตัวแทนของจำนวนเดือนใน 1 ปี และค่าเฉลี่ยรายวัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำในแต่ละวัน ตลอดช่วงระยะเวลาที่มีบันทึก ดังนั้นจะได้ระดับการใช้น้ำที่แตกต่างกัน 365 ค่า เป็นตัวแทนของจำนวนวันใน 1 ปี ทั้งนี้ในการ

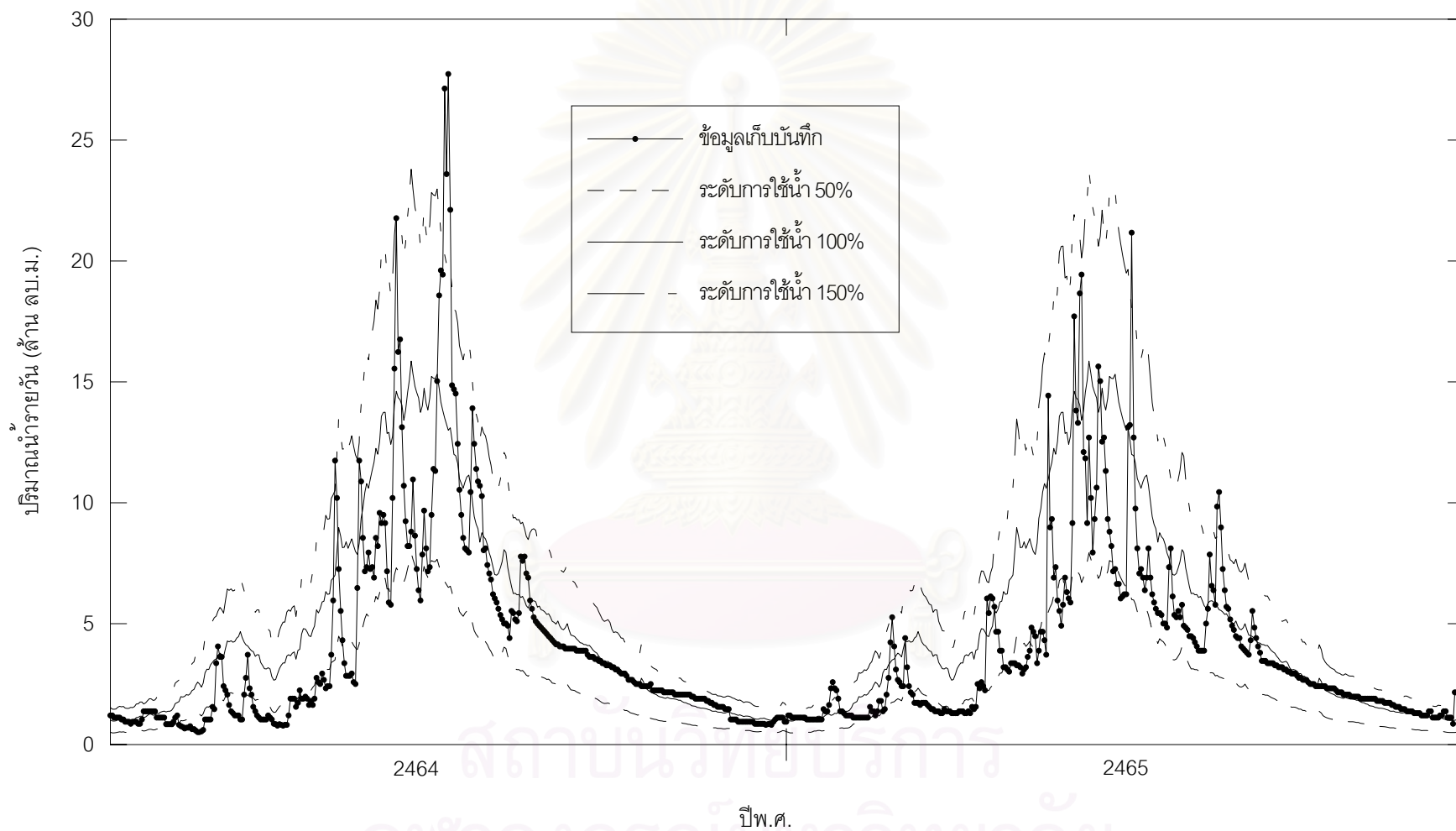
ศึกษานี้กำหนดให้เส้นระดับการใช้น้ำในแต่ละปีคงที่ เพื่อลดตัวแปรคือ ความผันแปรของระดับการใช้น้ำตามเวลา ตัวอย่างระดับการใช้น้ำ 50% 100% และ 150% เทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนและรายวัน ในช่วงระยะเวลา 2 ปีแรกของข้อมูลเก็บบันทึก แสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ ระดับการใช้น้ำในรูปดังกล่าวนี้ จะใช้เป็นเกณฑ์ในการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีรีน ข้อมูลปริมาณการไหลรายเดือน และค่าระดับการใช้น้ำรายเดือน แสดงในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค-1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 ระดับการใช้น้ำ 50% 100% และ 150% เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน ในช่วง 2 ปีแรกของข้อมูลเก็บบันทึก



รูปที่ 4.22 ระดับการใช้น้ำ 50% 100% และ 150% เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน ในช่วง 2 ปีแรกของข้อมูลเก็บบันทึก

4.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์โดยทฤษฎีนี้มีดังนี้ (แสดงในรูปที่ 4.23)

1. เลือกชนิดข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ รายวัน รายเดือน หรือรายปี พร้อมทั้งสร้างเส้นระดับการใช้น้ำขึ้นให้ยาวครอบคลุมช่วงของข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในการศึกษาเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวันและรายเดือน สำหรับเส้นระดับการใช้น้ำใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำของแต่ละวันและแต่ละเดือนดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.3.2 พร้อมทั้งแปรเปลี่ยนระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% ครั้งละ 10%

2. หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจากข้อมูลปริมาณน้ำและเส้นระดับการใช้น้ำที่สร้างขึ้น คือ

- 1) ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (ช่วงระยะเวลา DL)
- 2) ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ปริมาณน้ำ DS)
- 3) ช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (ช่วงระยะเวลา WL)
- 4) ปริมาณน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง (ปริมาณน้ำ WS)
- 5) ค่า P_{DD} P_{DW} P_{WD} และ P_{WW}

$$\text{โดยที่ } P_{DD} = P(Q_t < Q_{0,t} \mid Q_{t-1} < Q_{0,t-1})$$

$$P_{DW} = P(Q_t \geq Q_{0,t} \mid Q_{t-1} < Q_{0,t-1})$$

$$P_{WD} = P(Q_t < Q_{0,t} \mid Q_{t-1} \geq Q_{0,t-1})$$

$$P_{WW} = P(Q_t \geq Q_{0,t} \mid Q_{t-1} \geq Q_{0,t-1})$$

3. สร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL (f_{DL}) และช่วงระยะเวลา WL (f_{WL}) จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่หาได้ในข้อ 2. โดยสมการที่ (3.42) และ (3.52)

4. แบ่งกลุ่มปริมาณน้ำ DS ตามขนาดของช่วงระยะเวลา DL พร้อมทั้งสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมมาสำหรับปริมาณน้ำ DS แต่ละกลุ่ม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ α และ β ของการแจกแจงแบบแกมมา

5. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ α กับช่วงระยะเวลา DL และ β กับช่วงระยะเวลา DL แทนค่าลงในฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมมา เพื่อสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ของปริมาณน้ำ DS ที่ช่วงระยะเวลา DL ที่กำหนด ($f_{DS|DL}$)

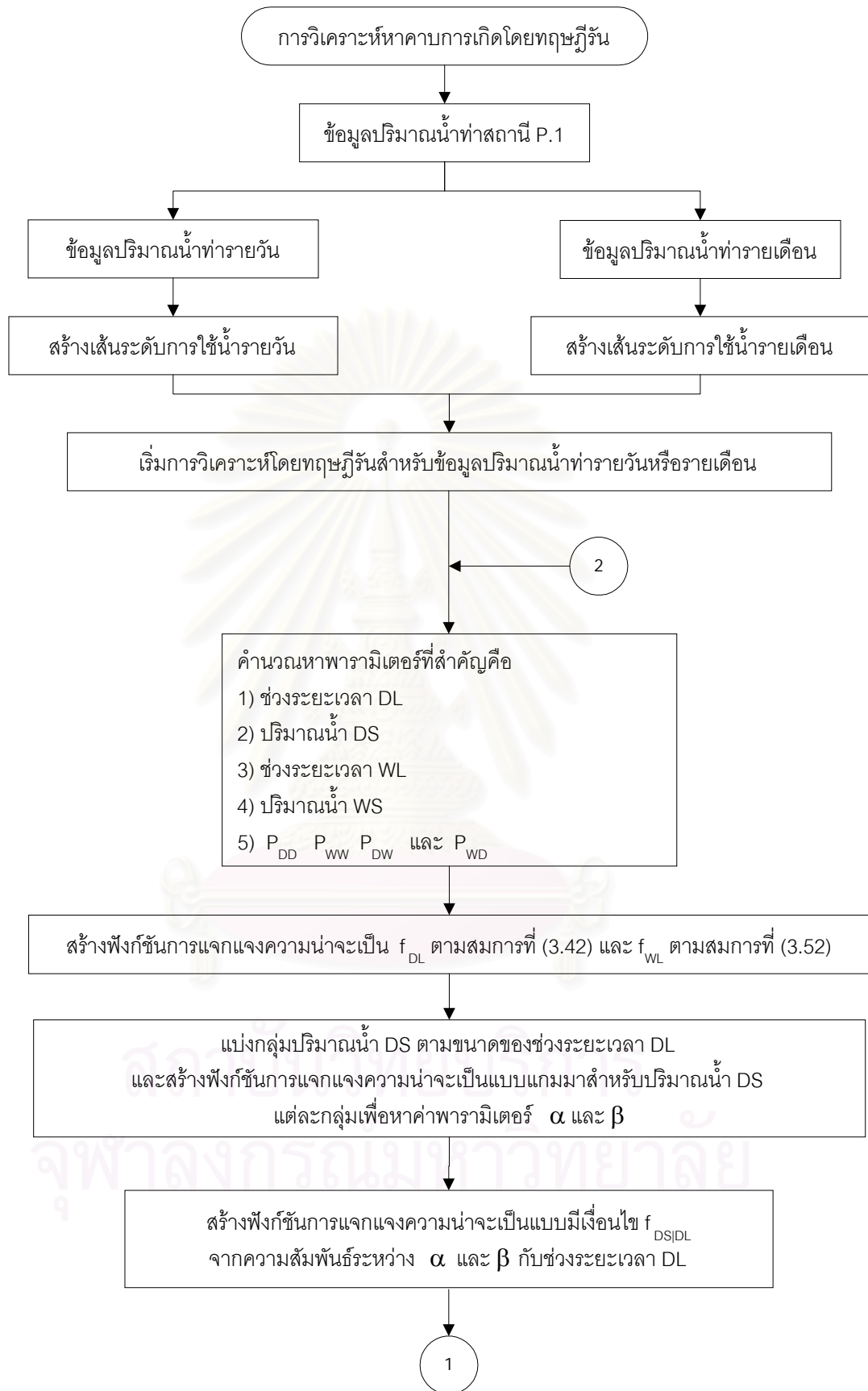
6. สร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมระหว่างปริมาณน้ำ DS กับช่วงระยะเวลา DL ($f_{DL,DS}$) โดยมีค่าเท่ากับผลคูณของ $f_{DS|DL}$ กับ f_{DL}

7. สร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำ DS (f_{DS}) จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)

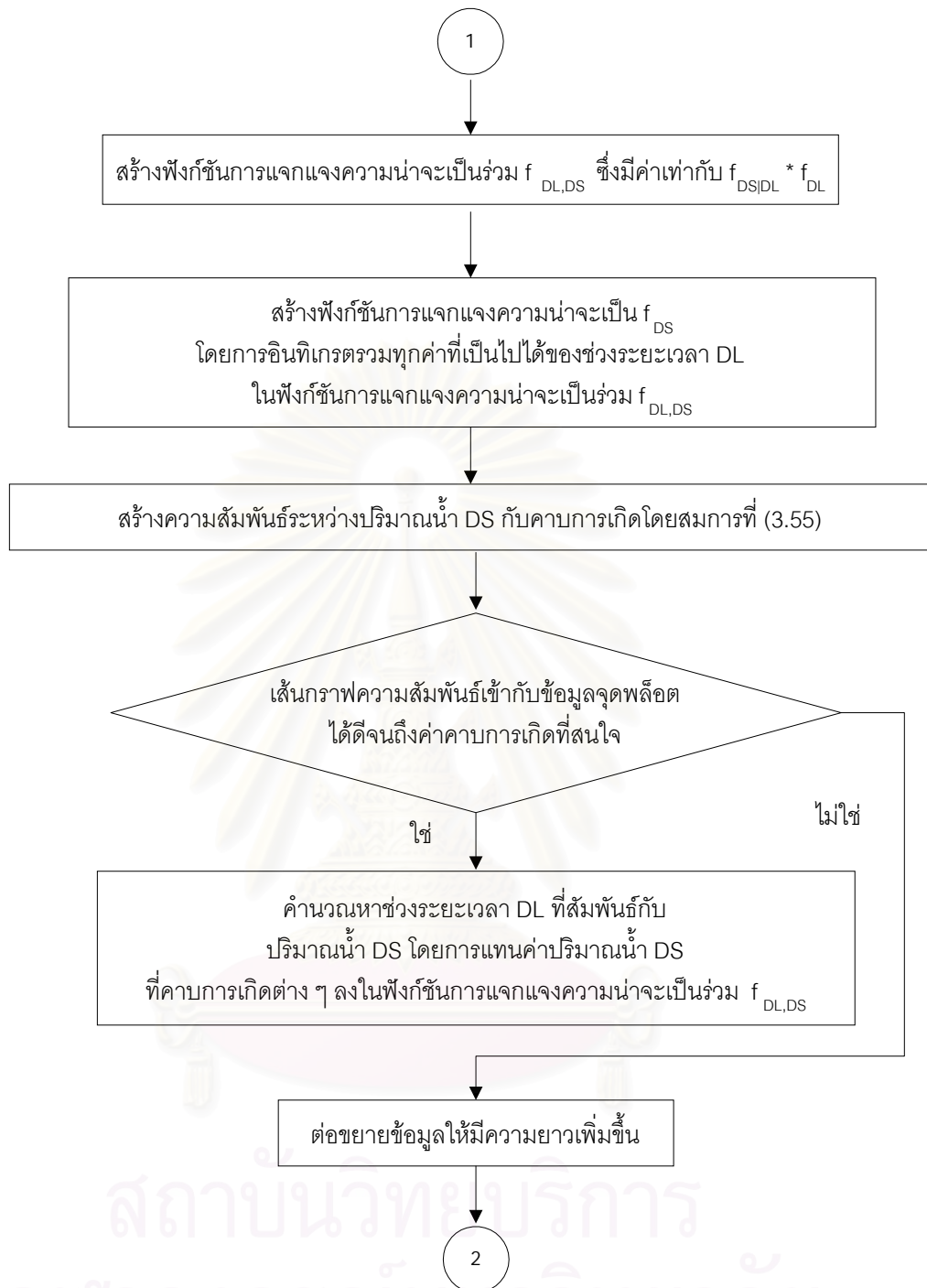
8. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ DS กับคาบการเกิด โดยสมการที่ (3.55)
9. ถ้าเส้นกราฟความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น เข้ากับข้อมูลจุดพล็อตที่คาบการเกิดที่สนใจได้ คำนวณหาช่วงระยะเวลา DL ที่สัมพันธ์กับค่าปริมาณน้ำ DS จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข แต่หากเส้นกราฟความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น ไม่สามารถเข้ากับข้อมูลจุดพล็อตที่คาบการเกิดที่สนใจได้ จำเป็นต้องต่อขยายข้อมูลให้ยาวขึ้น แล้วเริ่มทำการวิเคราะห์จากขั้นตอนที่ 2 อีกครั้ง จนกว่าจะได้คำตอบที่คาบการเกิดที่สนใจ
10. ทำการวิเคราะห์ให้ครบทุกค่าระดับการใช้น้ำ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรีน



รูปที่ 4.23 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน (ต่อ)

หมายเหตุ : ในขั้นตอนของการต่อขยายข้อมูล ความยาวของข้อมูลไม่สามารถกำหนดได้แน่ชัด เนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการ คือ คาบการเกิดที่สนใจ และรูปแบบของเส้นระดับการใช้น้ำ ในการศึกษาที่ผ่านมา Shiao และ Shen (2001) ต่อขยายข้อมูล 10,000 ปี เพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่คาบการเกิด 100 ปี โดยกำหนดเส้นระดับการใช้น้ำเป็นค่ามัธยฐานของข้อมูลเก็บบันทึกในแต่ละเดือน

4.4.4 ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีรันสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนและรายวันของสถานีวัดปริมาณน้ำ P.1 จังหวัดเชียงใหม่ โดยสมมติระดับการใช้น้ำระหว่าง 50% - 150% ของค่าเฉลี่ยรายเดือนและรายวันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_{DW} P_{WD} P_{WW} และ P_{DD} กับระดับการใช้น้ำ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือนและรายวันแสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ โดยผลรวมของ P_{WD} กับ P_{WW} และ P_{DW} กับ P_{DD} จะเท่ากับ 1 เสมอ จะเห็นว่าเส้นกราฟของข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวันจะเบนเข้าใกล้ค่า 0 และ 1 ขณะที่เส้นกราฟของข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือนกระจายครอบคลุมช่วงความน่าจะเป็นระหว่าง 0 ถึง 1 ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน เมื่อเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งขึ้น จะเกิดติดต่อกันยาวนานหลายวัน แต่เมื่อไม่เกิดความแห้งแล้งขึ้น ก็จะไม่เกิดติดต่อกันยาวนานหลายวันเช่นกัน ทำให้ P_{DW} และ P_{WD} มีค่าน้อย ขณะที่ P_{WW} และ P_{DD} มีค่ามาก แต่สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน เมื่อเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งขึ้นจะเกิดเพียงช่วงสั้น ๆ ไม่กี่เดือนสลับกับช่วงที่ไม่แห้งแล้ง P_{DW} และ P_{WD} จึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น และ P_{WW} และ P_{DD} มีค่าลดน้อยลงกว่ากรณีข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน

ค่าความน่าจะเป็น P_{DD} เพิ่มขึ้น ขณะที่ P_{WW} ลดลงเมื่อระดับการใช้น้ำเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดความแห้งแล้งยาวนานจะมีมากขึ้น และโอกาสที่จะมีน้ำเพียงพอเป็นเวลานานจะยังมีน้อยลง ค่าที่ตัดกันของเส้นกราฟ P_{WD} กับ P_{DW} และ P_{WW} กับ P_{DD} คือที่ระดับการใช้น้ำประมาณ 90% และ 85% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือนและรายวันตามลำดับ หมายความว่าระดับการใช้น้ำดังกล่าวเทียบเท่ากับการใช้ค่ามัธยฐาน (Median) ของข้อมูลเป็นเส้นระดับการใช้น้ำ เนื่องจากที่ค่ามัธยฐาน ผลรวมของปริมาณน้ำ DS หรือพื้นที่ของข้อมูลใต้เส้นระดับการใช้น้ำทั้งหมด จะเท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำ WS หรือพื้นที่เหนือเส้นระดับการใช้น้ำทั้งหมดตลอดความยาวของข้อมูล

2. ตัวอย่างรูปกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น f_{DL} ตามสมการที่ (3 – 42) และ f_{WL} ตามสมการที่ (3 – 52) เปรียบเทียบกับข้อมูลเก็บบันทึกที่รายเดือนและรายวัน ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% แสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27 (รูปกราฟดังกล่าวตั้งแต่ระดับการใช้น้ำ 50% - 150% แสดงในภาคผนวก ค. รูปที่ ค-1 และ ค-17) จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 จะเห็นว่า ที่ระดับการใช้น้ำต่ำ ๆ ช่วงระยะเวลา DL จะสั้นกว่าช่วงระยะเวลา WL จนกระทั่งเมื่อระดับการใช้น้ำสูงกว่าระดับที่เทียบเท่ากับการใช้เส้นมัธยฐานของข้อมูล (ในที่นี้คือที่ระดับการใช้น้ำประมาณ 90% ทั้งข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวันและรายเดือน) เป็นเส้นระดับการใช้น้ำแล้ว ช่วงระยะเวลา DL จะ

เริ่มยาวนานกว่าช่วงระยะเวลา WL มากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากที่ระดับการใช้น้ำเทียบเท่ากับค่ามัธยฐานของข้อมูล จำนวนเหตุการณ์น้ำแล้งกับน้ำไม่แล้งจะมีอยู่เท่ากัน เมื่อเส้นระดับการใช้น้ำสูงขึ้น จำนวนเหตุการณ์น้ำแล้งจะเริ่มมีมากกว่าเหตุการณ์น้ำไม่แล้ง และเป็นไปในทางกลับกันเมื่อระดับการใช้น้ำลดต่ำลง

โดยรวมแล้วเส้นกราฟฟังก์ชัน f_{DL} และ f_{WL} ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.26 และ 4.27 มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงพอสมควร แต่ในช่วงระยะเวลา DL และช่วงระยะเวลา WL ค่าต่ำ ๆ เส้นกราฟค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อนสูง ทั้งในกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงด้วยวิธีโคสแควร์ ในช่วงความน่าจะเป็นระหว่าง 0 ถึงประมาณ 0.90 ของกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability Distribution) ของฟังก์ชัน f_{DL} และ f_{WL} ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า เส้นกราฟฟังก์ชัน f_{DL} และ f_{WL} ทั้งในกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวันสามารถผ่านเกณฑ์ $\chi^2_{0.95}$ ได้ เว้นเพียงเส้นกราฟฟังก์ชัน f_{WL} ที่ระดับการใช้น้ำ 50% และ 60% ของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันเท่านั้น ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ สำหรับช่วงความน่าจะเป็นที่เกินจากประมาณ 0.90 ขึ้นไป หลายค่าระดับการใช้น้ำ เส้นกราฟการแจกแจงตามทฤษฎีไม่สามารถเข้ากับข้อมูลเก็บบันทึกจริงได้ สาเหตุเกิดจากจำนวนข้อมูลเก็บบันทึกจริง คือ จำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งมีน้อยเกินไป ที่ช่วงระยะเวลา DL และช่วงระยะเวลา WL ค่าสูง ๆ

3. ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมมา ของปริมาณน้ำ DS สำหรับช่วงระยะเวลา DL ค่าต่าง ๆ ที่ระดับการใช้น้ำ 90% แสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.29 สำหรับกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ (รูปกราฟดังกล่าวที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% แสดงในภาคผนวก ค. รูปที่ ค-2 - ค-12 และ รูปที่ ค-18 - ค-28 สำหรับกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ) ในรูปที่ 4.28 จะเห็นว่า ช่วงระยะเวลา DL มีตั้งแต่ 1 - 6 เดือน โดยข้อมูลจุดพล็อต คือ ปริมาณน้ำ DS มีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ เมื่อช่วงระยะเวลา DL เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบบแกมมาจะมีความถูกต้องน้อยลงด้วยเช่นกัน สำหรับที่ช่วงระยะเวลา DL ตั้งแต่ 7 เดือนขึ้นไป มีจำนวนจุดพล็อตอยู่น้อยมาก ไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ α และ β (ซึ่งได้จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมมา) กับช่วงระยะเวลา DL เพื่อใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f_{DS|DL}$ แสดงตัวอย่างที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% ในรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ (ในภาคผนวก ค. รูปที่ ค-13 และ ค-29

แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว ที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวันตามลำดับ) การสร้างความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 4.30 และ 4.31 มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีผลอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์หาคาบการเกิด หากไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงได้ จะไม่สามารถประมาณค่าคาบการเกิดได้ใกล้เคียงความเป็นจริงด้วยเช่นกัน

จากรูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ α กับช่วงระยะเวลา DL ที่ระดับการใช้น้ำ 50% และ 90% สร้างโดยใช้สมการความถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression) ขณะที่ β ใช้ค่าแท้จริงที่ได้จากการประมาณโดยฟังก์ชันแบบแกมมา โดยที่ช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ ซึ่งไม่สามารถประมาณค่า β ได้ เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลปริมาณน้ำ DS ไม่เพียงพอตามที่ได้กล่าวแล้วนั้น กำหนดใช้ค่าเฉลี่ยของ β ในช่วงระยะเวลา DL ค่าต่ำ ๆ สำหรับที่ระดับการใช้น้ำ 150% ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ α กับช่วงระยะเวลา DL ใช้ค่าแท้จริงที่ได้จากการประมาณโดยฟังก์ชันแบบแกมมา และ β สร้างโดยใช้สมการความถดถอยเชิงเส้นตรง โดยที่ช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ ซึ่งไม่สามารถประมาณค่า α ได้ กำหนดใช้ค่าเฉลี่ยของ α ในช่วงระยะเวลา DL ค่าต่ำ ๆ

สำหรับในรูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ใช้ค่าแท้จริงที่ได้จากการประมาณโดยฟังก์ชันแบบแกมมาในทุกระดับการใช้น้ำ โดยที่ช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ ซึ่งไม่สามารถประมาณค่า α และ β ได้ กำหนดใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา DL ค่าต่ำ ๆ สำหรับกรณีของพารามิเตอร์ α และใช้สมการความถดถอยเชิงเส้นตรงซึ่งมีความเข้ากันได้ดีกับข้อมูลจุดพล็อตที่ช่วงระยะเวลา DL ค่าต่ำ ๆ สำหรับกรณีของพารามิเตอร์ β

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ขึ้นอยู่กับเส้นระดับการใช้น้ำ หากลักษณะของเส้นระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงไป ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจเปลี่ยนไปได้เช่นกัน โดยไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด ดังนั้นในรูปที่ 4.30 และ 4.31 จึงไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวในการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL และอาจหาฟังก์ชันที่เหมาะสมมาสร้างความสัมพันธ์ไม่ได้ด้วย การศึกษานี้เสนอว่าควรที่จะใช้ค่า α และ β แท้จริงที่ได้จากการประมาณโดยฟังก์ชันแบบแกมมา (สมการที่ 3.43) ในการสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ จึงจะเหมาะสมที่สุด

สำหรับช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ ซึ่งไม่สามารถประมาณค่า α และ β ได้ จะส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ คือ ความสัมพันธ์ของคาบการเกิดกับปริมาณน้ำ DS ในช่วงคาบการเกิดสูง ๆ เส้นกราฟฟังก์ชันทางทฤษฎีจะไม่สามารถเข้ากับข้อมูลจุดพล็อตได้เช่นกัน ดังนั้นหากวัตถุประสงค์ของการศึกษา สนใจค่าปริมาณน้ำ DS ในช่วงคาบการเกิดต่ำ การประมาณค่า α และ β ที่ช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ อาจไม่มีความสำคัญมากนัก แต่ในกรณีที่สนใจค่าปริมาณน้ำ

DS ในช่วงคาบการเกิดสูง จำเป็นต้องประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่าง α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ที่ช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด ซึ่งในกรณีนี้หากความยาวของข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ใช้ในการวิเคราะห์มีไม่มากนัก ควรต่อขยายข้อมูลให้ยาวขึ้น เพื่อให้มีจำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งเพิ่มมากขึ้น และสามารถประมาณค่า α และ β ที่ช่วงระยะเวลา DL สูง ๆ ได้ โดยความยาวของข้อมูลที่ต่อขยายเพิ่มมาน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ซึ่งนำมาใช้คำนวณหาว่าคาบการเกิดสูงที่สุดที่ต้องการทราบเป็นเท่าไร หากต้องการความเสี่ยงต่ำ จำเป็นต้องทราบค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL ที่คาบการเกิดสูง ย่อมต้องการความยาวของข้อมูลต่อขยายมากด้วย

4. ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น f_{DL} ในข้อ 2. และความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ในข้อ 3. นำมาสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ ตามสมการที่ (3.41) ได้ดังแสดงตัวอย่างที่ระดับการใช้น้ำ 90% ในรูปที่ 4.32 และ 4.33 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ (กราฟฟังก์ชันดังกล่าวที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% – 150% แสดงในภาคผนวก ค. รูปที่ ค-14 และ ค-30 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ) กราฟฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ แสดงถึงโอกาสการเกิดร่วมกันของปริมาณน้ำ DS กับช่วงระยะเวลา DL ค่าหนึ่งค่าใด ซึ่งถ้าค่าความน่าจะเป็นร่วมที่จุดใดสูง หมายถึงโอกาสการเกิดร่วมกันของปริมาณน้ำ DS กับช่วงระยะเวลา DL ค่านั้น ๆ มีมาก จากรูปที่ 4.32 และ 4.33 จะเห็นว่าที่ค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL น้อย ๆ จะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมสูง แล้วจึงลดต่ำลงเมื่อค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า โดยส่วนใหญ่แล้วเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจะมีค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL ต่ำนั่นเอง

ความหยักขรุขระของพื้นผิว 3 มิติของรูปที่ 4.33 เกิดจากการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL โดยใช้ค่าที่แท้จริง ซึ่งมีการกระจายตัวของข้อมูลสูง ขณะที่ในรูปที่ 4.32 มีพื้นผิว 3 มิติที่ราบเรียบกว่า เนื่องจากการประมาณความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง คือ α ใช้สมการความถดถอยเชิงเส้นตรง

5. ตัวอย่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น f_{DS} ที่ระดับการใช้น้ำ 90% แสดงในรูปที่ 4.34 และ 4.35 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ (กราฟฟังก์ชันดังกล่าว ที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% แสดงในรูปที่ ค-15 และ ค-31 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ) เส้นกราฟฟังก์ชัน f_{DS} ได้จากการอินทิเกรตฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ รวมทุกช่วงระยะเวลา DL ที่เป็นไปได้ ลักษณะเส้นกราฟใกล้เคียงกับ

ฟังก์ชันแบบแกมมา เพราะในฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ มีเทอมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f_{DS|DL}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบแกมมารวมอยู่ด้วย จากรูปดังกล่าว ค่าความน่าจะเป็นลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณน้ำ DS เพิ่มสูงขึ้น บ่งบอกให้ทราบว่าโอกาสการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งขนาดเล็ก มักจะเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งกว่าเหตุการณ์ความแห้งแล้งรุนแรง

6. คาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS ที่ระดับการใช้ น้ำต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.36 และ 4.37 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนและรายวัน ตามลำดับ แกน Y ด้านซ้าย แสดงคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีความรุนแรงต่าง ๆ กัน โดยมีหน่วยของคาบการเกิดเหมือนกับประเภทของข้อมูลปริมาณน้ำท่า ที่ใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการวิเคราะห์ และแกน Y ทางด้านขวา แสดงค่าความน่าจะเป็นแบบ Exceedance ในเชิงทฤษฎี คาบการเกิดที่ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 คือคาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS เท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึงยังไม่มี ความแห้งแล้งเกิดขึ้น แต่หากค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่า 1 เพียงเล็กน้อย (ปริมาณน้ำ DS มากกว่า 0 เล็กน้อย) จะให้ความหมายว่า ที่คาบการเกิดค่าดังกล่าว เริ่มที่จะเกิดความแห้งแล้งขึ้นแล้ว เช่น ถ้าคาบการเกิดที่ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 คือ 40 วัน กล่าวได้ว่า ความแห้งแล้งจะเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยทุก 40 วัน เป็นต้น

ในรูปที่ 4.36 และ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงตามทฤษฎี กับข้อมูลเก็บบันทึกจริง และตำแหน่งจุดพล็อต โดยคาบการเกิดของข้อมูลเก็บบันทึกจริง หมายถึง โอกาสการเกิดโดยเฉลี่ยของปริมาณน้ำ DS ซึ่งมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด ที่ได้จากข้อมูลปริมาณน้ำที่เก็บบันทึกจริง คำนวณหาโดยใช้หลักการตามรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตำแหน่งจุดพล็อต หมายถึง การนำข้อมูลปริมาณน้ำ DS ทุกค่าของข้อมูลเก็บบันทึกจริง ภายใต้เส้นระดับการใช้ น้ำหนึ่ง ๆ มาสร้างตำแหน่งจุดพล็อตด้วยสมการของไวบูล (Weibull Plotting Position) และแทนค่าความน่าจะเป็นของตำแหน่งจุดพล็อตลงในสมการของคาบการเกิด สมการที่ (3.55) เพื่อแปลงค่าความน่าจะเป็นให้เป็นคาบการเกิด จากรูปจะเห็นได้ว่าตำแหน่งจุดพล็อตและข้อมูลเก็บบันทึกซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลจริง มีความเข้ากันได้เป็นอย่างดี

สำหรับเส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงตามทฤษฎี ค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลเก็บบันทึก และตำแหน่งจุดพล็อตในช่วงแรก ๆ แต่ที่คาบการเกิดสูงขึ้น จะเริ่มไม่สามารถเป็นตัวแทนของจุดข้อมูลได้ดีนัก เนื่องจากในการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีนั้น ต้องพยายามสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด แต่ที่ช่วงระยะเวลา DL ค่าสูง ๆ จำนวนข้อมูลปริมาณน้ำ DS เริ่มมีน้อยลง จนไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β เพื่อนำมาใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เมื่อนำไปสร้างฟังก์ชัน

การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DS,DS}$ จะทำให้ได้ฟังก์ชันที่คลาดเคลื่อน เป็นผลให้เส้นกราฟ ฟังก์ชันการแจกแจงตามทฤษฎีเบนอนอกจากจุดพล็อตในช่วงคาบการเกิดสูง ๆ ในงานศึกษาทาง อุทกวิทยาบางกรณี หากจำเป็นต้องใช้เกณฑ์การออกแบบที่คาบการเกิดสูง ๆ วิธีการแก้ปัญหา ดังกล่าว ทางหนึ่งที่สามารถทำได้คือ ต้องมีการขยายข้อมูลให้ยาวขึ้นด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งข้อ แนะนำดังกล่าวนี้ได้กล่าวไว้แล้วในผลการศึกษาข้อ 3.

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ DS กับคาบการเกิด ทุกระดับการใช้น้ำแสดงใน รูปที่ 4.38 และ 4.40 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ ภาพขยายของ 2 รูปดังกล่าว ที่ช่วงคาบการเกิดต่ำ แสดงในรูปที่ 4.39 และ 4.41 จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 จะ เห็นได้ว่า ในช่วงปริมาณน้ำ DS ต่ำ ลักษณะเส้นกราฟจะชันไขว้กัน แต่เมื่อค่าปริมาณน้ำ DS เริ่มสูงขึ้น เส้นกราฟเริ่มเรียงลำดับกันไปตามเปอร์เซ็นต์ระดับการใช้น้ำ

จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 ในช่วงปริมาณน้ำ DS สูง การเรียงลำดับของเส้นกราฟอธิบาย ได้ว่า ที่ปริมาณน้ำ DS ค่าเดียวกัน โอกาสการเกิดความแห้งแล้งขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ DS เนื่องจากระดับการใช้น้ำต่ำ มีน้อยกว่าระดับการใช้น้ำสูง ดังนั้นช่วงระยะเวลาโดยเฉลี่ยระหว่าง เหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มากกว่าหรือเท่ากับ DS ของระดับการใช้น้ำต่ำจึงยาวนานกว่าระดับการ ใช้น้ำสูง ที่ปริมาณน้ำ DS ค่าเดียวกัน ค่าระดับการใช้น้ำต่ำจึงมีคาบการเกิดสูงกว่าค่าระดับการ ใช้น้ำสูง

จากภาพขยายในรูปที่ 4.39 และ 4.41 จะพบว่า จุดเริ่มต้นของเส้นกราฟที่อยู่ต่ำสุดคือ ที่ ระดับการใช้น้ำ 90% ซึ่งเป็นระดับที่เทียบเท่ากับการใช้ค่ามัธยฐานของข้อมูลเป็นเส้นระดับการใ้ น้ำ สาเหตุที่เส้นกราฟดังกล่าวอยู่ต่ำสุด เนื่องจากที่ระดับการใช้น้ำเทียบเท่ามัธยฐาน จะมีจำนวน ข้อมูลเหตุการณ์ความแห้งแล้ง คือ ปริมาณน้ำ DS อยู่มากกว่าที่ระดับการใช้น้ำอื่น ๆ เมื่อพิจารณา ความยาวข้อมูลปริมาณน้ำท่าเท่ากัน ดังนั้นจึงมีโอกาสเป็นไปได้มากที่โดยเฉลี่ยแล้ว จุดเริ่มต้น ของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์ใด ๆ ที่มีขนาดมากกว่า 0 จะอยู่ใกล้กัน ดังนั้นที่ปริมาณ น้ำ DS ต่ำค่าเดียวกัน คาบการเกิดของระดับการใช้น้ำเทียบเท่ามัธยฐานจึงต่ำกว่าที่ระดับการใ้ น้ำอื่น ๆ สำหรับที่ระดับการใช้น้ำอื่น ๆ เส้นกราฟจะมีจุดเริ่มต้นที่คาบการเกิดสูงถัดกันขึ้นไป ตามจำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งของแต่ละระดับการใช้น้ำ (สรุปจำนวนเหตุการณ์ความแห้ง แล้งแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9) และในช่วงปริมาณน้ำ DS ต่ำ เส้นกราฟมีการเรียงชันไขว้ กัน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าปริมาณน้ำ DS เข้าใกล้ 0 ไปเป็นช่วงปริมาณน้ำ DS สูง (Transition)

ลักษณะเส้นกราฟที่ชันไขว้กันตามรูปที่ 4.38 – 4.41 คือที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 100% – 150% อาจทำให้เกิดปัญหาในการนำไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากหากสนใจช่วงคาบการเกิดต่ำ เช่น คาบการเกิด 2 ปี ตามรูปที่ 4.38 จะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำ DS ที่ระดับการใช้น้ำ 140% สูงกว่าที่

ระดับการใช้น้ำ 150% ดังนั้นหากออกแบบโดยเลือกระดับการใช้น้ำ 150% แต่การใช้น้ำจริงอยู่ที่ระดับ 140% จะทำให้เกิดปัญหาการออกแบบเพื่อไม่เพียงพอ (Underestimate) ทั้งที่มีการใช้น้ำลดลง การออกแบบในกรณีนี้จึงจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตการใช้เส้นกราฟคาบการเกิดตามรูปที่ 4.38 – 4.41 ไว้เพียงช่วงที่สูงกว่าช่วงที่มีการซ้อนทับกันขึ้นไป และหากจำเป็นต้องใช้เส้นกราฟในช่วงคาบการเกิดต่ำซึ่งมีการซ้อนไขว้กัน ควรเลือกใช้ค่าที่มากที่สุด

7. การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิดรูปที่ 4.36 และ 4.37 โดยวิธีไคสแควร์ แสดงในตารางที่ 4.7 สรุปผลได้ว่าในกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน การทดสอบที่ $\chi^2_{0.95}$ พบว่าฟังก์ชันการแจกแจงสามารถเข้ากับข้อมูลตำแหน่งจุดพล็อตได้อย่างดีในทุกระดับการใช้น้ำ แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบไม่สามารถทำให้ครอบคลุมช่วงความน่าจะเป็นระหว่าง 0 ถึง 1 ได้ เนื่องจากในหลาย ๆ ระดับการใช้น้ำ ค่าปริมาณน้ำ DS สูงสุด มีค่าห่างจากกลุ่มข้อมูลมาก ทำให้ผลการทดสอบไม่ผ่านที่ค่า $\chi^2_{0.95}$ โดยรวมแล้วแม้จะไม่สามารถทดสอบให้ครอบคลุมช่วงความน่าจะเป็นระหว่าง 0 ถึง 1 ได้ แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ อย่างไม่มีความคลาดเคลื่อนใด ๆ เนื่องจากโดยปกติแล้วทฤษฎีนั้นจะไม่สามารถสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ของความถี่การเกิดให้มีคาบการเกิดสูงกว่าข้อมูลจริงที่นำมาวิเคราะห์เหมือนที่วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดสามารถทำได้ ยกเว้นจะวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลต่อขยายซึ่งยาวขึ้นกว่าข้อมูลจริงที่มีอยู่ แล้วนำเส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความถี่การเกิดที่ได้จากข้อมูลต่อขยายมาเทียบกับตำแหน่งจุดพล็อตของข้อมูลเก็บบันทึกจริง ดังนั้นหากไม่มีการต่อขยายข้อมูลการนำไปประยุกต์ใช้จะใช้ได้ถึงคาบการเกิดระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจะไม่สูงไปกว่าคาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS สูงสุดของ ข้อมูลเก็บบันทึก ดังนั้นการทดสอบความเหมาะสมเฉพาะในส่วนที่ได้ใช้งานจริงให้ยอมรับที่ค่า $\chi^2_{0.95}$ ได้ถือว่าเพียงพอแล้ว

สำหรับการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิดที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน พบว่าไม่สามารถผ่านการทดสอบที่ค่า $\chi^2_{0.95}$ ปัญหาดังกล่าวจะได้กล่าวถึงสาเหตุต่อไปในหัวข้อที่ 4.5 ซึ่งกำหนดระดับการใช้น้ำเป็นแบบเส้นตรงคงที่

8. ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL ที่ปริมาณน้ำ DS ที่สนใจ (ในที่นี้คือปริมาณน้ำ DS ที่คาบการเกิด 5 ปี) แสดงตัวอย่างที่ระดับการใช้น้ำ 90% ในรูปที่ 4.42 และ 4.43 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ (กราฟฟังก์ชันดังกล่าว ที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% – 150% แสดงในรูปที่ ค-16 และ ค-32 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ) โดยฟังก์ชันดังกล่าวได้จากการแทนค่าปริมาณน้ำ DS ที่คาบการเกิด

ที่สนใจ ลงในฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ ดังนั้นรูปร่างของเส้นกราฟจะเหมือนกับฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ ที่หน้าตัดของปริมาณน้ำ DS ที่สนใจ

ความสัมพันธ์ของช่วงระยะเวลา DL เฉลี่ยกับคาบการเกิด แสดงดังในรูปที่ 4.44 และ 4.45 โดยช่วงระยะเวลา DL เฉลี่ย คือค่าเฉลี่ยของเส้นกราฟในรูปที่ 4.42 และ 4.43 ที่คาบการเกิดที่สนใจ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะคล้ายคลึงกับคาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS ในรูปที่ 4.38 และ 4.40 ด้วยเหตุผลในลักษณะเดียวกันดังที่กล่าวแล้วในข้อ 6.

ตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงผลสรุปของการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ตามลำดับ จะเห็นว่า ที่ระดับการใช้น้ำ 90% ในกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน จำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งสูงสุด คือ 122 เหตุการณ์ และกรณีของข้อมูลรายวัน คือ 966 เหตุการณ์ ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว จำนวนเหตุการณ์จะมีมากที่สุดที่ระดับการใช้น้ำเทียบเท่ากับระดับการใช้น้ำที่เป็นค่ามัธยฐานของข้อมูล ซึ่งจากผลที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริง ค่ามัธยฐานของข้อมูลเก็บบันทึก เมื่อเทียบกับค่าสูงสุดแล้ว จะเห็นว่าแตกต่างกันมาก เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำ คาบการเกิดสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนสามารถคำนวณได้จนถึง 10 ปีหรือ 120 เดือน ขณะที่ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันสามารถคำนวณได้เพียง 5 ปี เนื่องจากที่คาบการเกิดสูง ๆ เส้นกราฟฟังก์ชันที่สร้างขึ้นไม่มีความเข้ากันได้กับข้อมูลจุดพล็อต ช่วงระยะเวลา DL เฉลี่ย ที่คาบการเกิดที่สนใจ ซึ่งได้จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 จะไม่สามารถตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลเก็บบันทึกจริงได้ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงไร ดังนั้นวิธีการป้องกันปัญหาความคลาดเคลื่อนของช่วงระยะเวลา DL เฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ ต้องพยายามสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL เพื่อให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ DS กับคาบการเกิดที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งจุดพล็อตมากที่สุด

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่า ที่คาบการเกิดเดียวกัน เมื่อระดับการใช้น้ำเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL เฉลี่ยจะสูงขึ้นด้วย ในช่องสุดท้ายของตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงคาบการเกิดเมื่อปริมาณน้ำ DS เข้าใกล้ 0 จะเห็นได้ว่าคาบการเกิดจะต่ำสุด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% ทั้งข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายวัน ที่ระดับการใช้น้ำดังกล่าวเป็นระดับเทียบเท่ากับระดับการใช้น้ำที่เป็นค่ามัธยฐานของข้อมูล คาบการเกิดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระดับการใช้น้ำเพิ่มขึ้นหรือลดต่ำลง อธิบายได้ว่าที่ระดับการใช้น้ำ 90% มีจำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งสูงกว่าที่ระดับการใช้น้ำอื่น ๆ ภายในช่วงเวลาเก็บบันทึกข้อมูลเท่ากันคือ 79 ปี ดังนั้นเมื่อมีจำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งมาก จุดเริ่มต้นของแต่ละเหตุการณ์จะใกล้กันมากด้วย คาบการเกิดเมื่อ

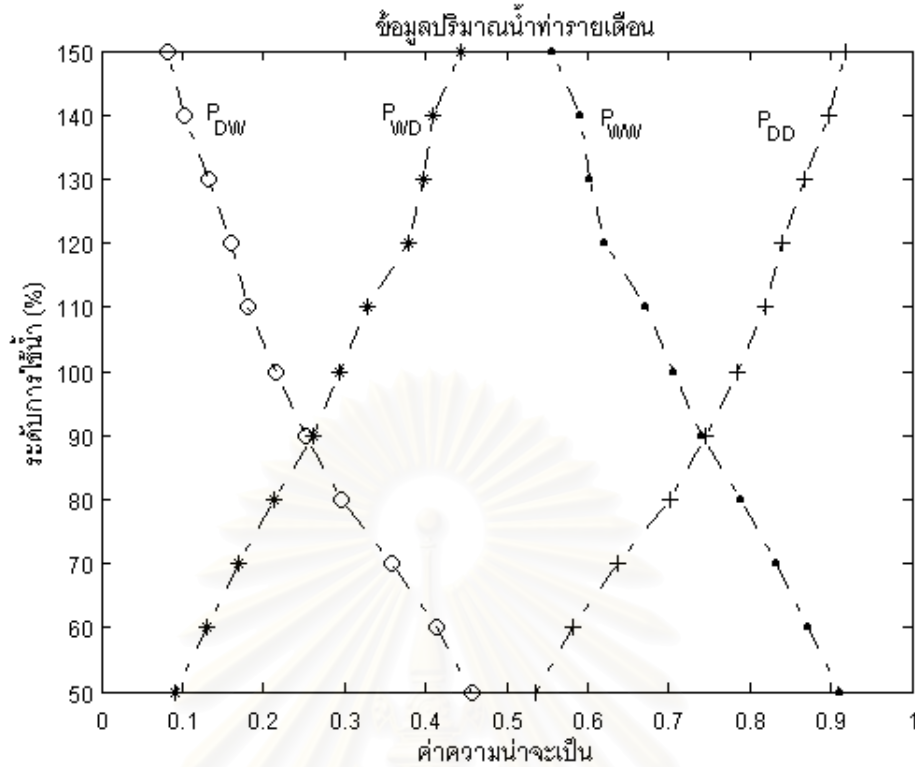
ปริมาณน้ำ DS เข้าใกล้ 0 ที่ระดับการใช้น้ำ 90% จึงต่ำกว่าที่ระดับการใช้น้ำอื่น ๆ ดังที่ได้อธิบายแล้วในข้อที่ 6.

9. ทฤษฎีรันสามารถประยุกต์ใช้ในงานอุทกวิทยาที่ต้องมีการกำหนดระดับการใช้น้ำ เช่น การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนการจัดสรรน้ำของเขื่อน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การนำทฤษฎีรันไปประยุกต์ใช้ในปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดและวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา อาจต้องมีข้อมูลในด้านอื่น ๆ ประกอบด้วย เพื่อช่วยในการตัดสินใจ หรือออกแบบได้อย่างมั่นใจ

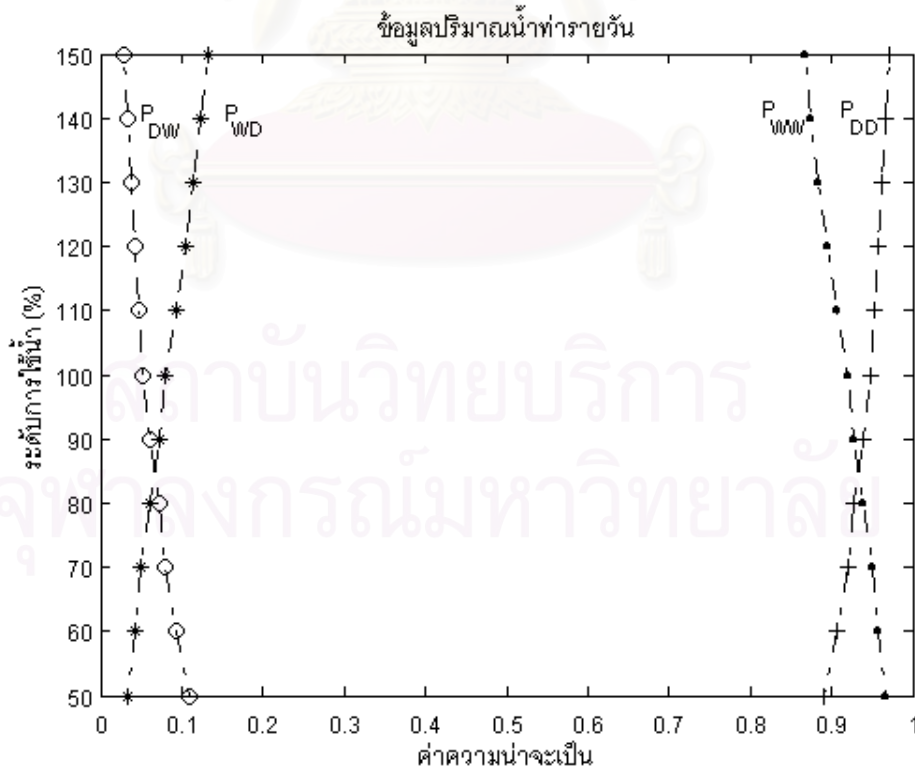
การกำหนดระดับการใช้น้ำในการศึกษาที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงระดับการใช้น้ำตามเวลา เช่น การศึกษาเพื่อออกแบบระบบน้ำประปา ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปมีประชากรในพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ความต้องการใช้น้ำย่อมจะมีเพิ่มขึ้นด้วย ในการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีรันสามารถกำหนดให้ระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในลักษณะดังกล่าว

10. การจัดการทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากการคำนวณหาต้นทุนหรือศักยภาพของกลุ่มน้ำแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงการใช้น้ำว่าในพื้นที่การจัดการนั้น มีการใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์ใด เป็นจำนวนมากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะสามารถประเมินได้ว่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าว มีปริมาณน้ำเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการใช้น้ำ จะเป็นปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาว่า ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน ควรจะเป็นข้อมูลรายวัน รายเดือน หรือรายปี อีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดลักษณะแนวโน้มของเส้นระดับการใช้น้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย

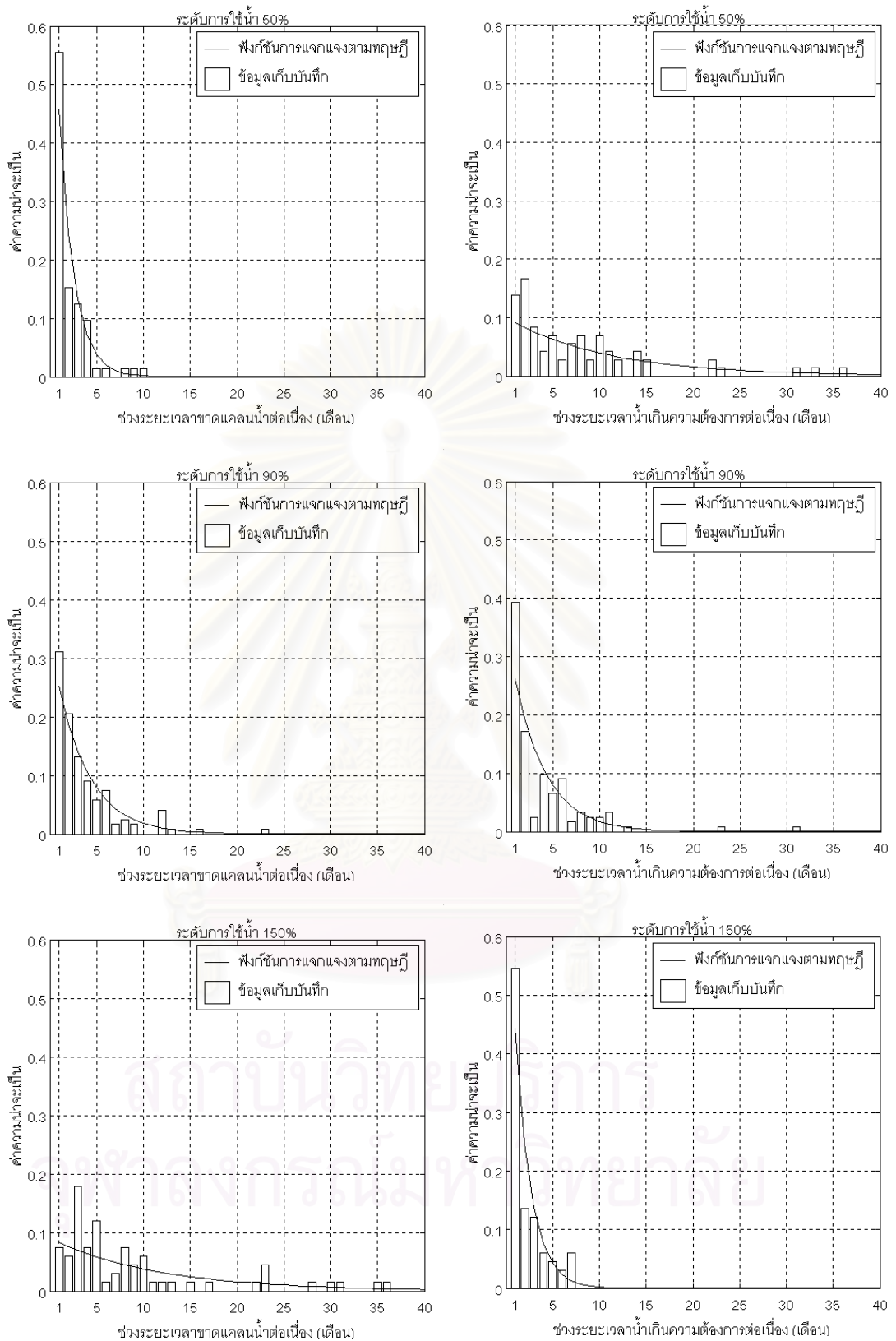
การวิเคราะห์ในเรื่องความแห้งแล้ง พารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัว คือ ปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทราบควบคู่กัน เนื่องจากความรุนแรงของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัว เช่น เหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีปริมาณน้ำ DS สูงมาก แต่มีช่วงระยะเวลา DL เพียงสั้น ๆ อาจมีความรุนแรงหรือสร้างความเสียหายให้แก่โครงการน้อยกว่าเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีปริมาณน้ำ DS ต่ำ แต่มีช่วงระยะเวลา DL ยาวนาน เป็นต้น การวิเคราะห์โดยมุ่งสนใจพารามิเตอร์ 2 ตัวในลักษณะที่ไม่สัมพันธ์กัน เช่น การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำ DS ที่คาบการเกิด 10 ปี นำมาประกอบการพิจารณาควบคู่กันกับช่วงระยะเวลา DL ที่คาบการเกิด 10 ปี อาจนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบได้ แต่ทั้งนี้การประยุกต์ใช้ในลักษณะดังกล่าว อาจไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากมิได้ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของความเป็นจริง เพราะเหตุการณ์ความแห้งแล้งที่มีปริมาณน้ำ DS ขนาดเท่ากับคาบการเกิด 10 ปี ไม่จำเป็นต้องมีช่วงระยะเวลา DL ขนาดเท่ากับคาบการเกิด 10 ปี ซึ่งในการนำทฤษฎีรันไปประยุกต์ใช้ ควรได้มีการคำนึงถึงในเรื่องดังกล่าวด้วย



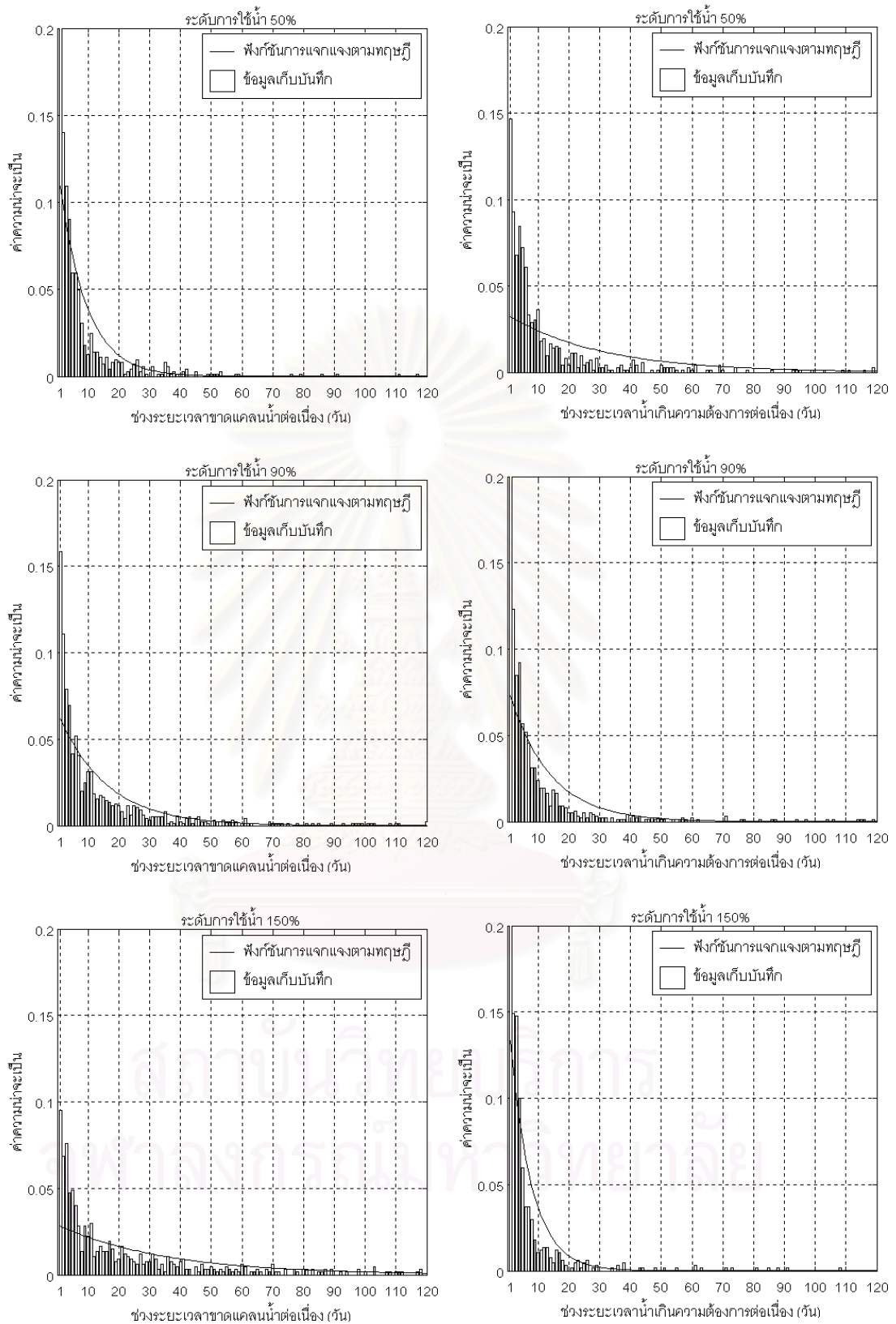
รูปที่ 4.24 ค่า P_{DW} P_{WD} P_{WW} และ P_{DD} ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



รูปที่ 4.25 ค่า P_{DW} P_{WD} P_{WW} และ P_{DD} ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



รูปที่ 4.26 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเดือนและช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเดือน ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



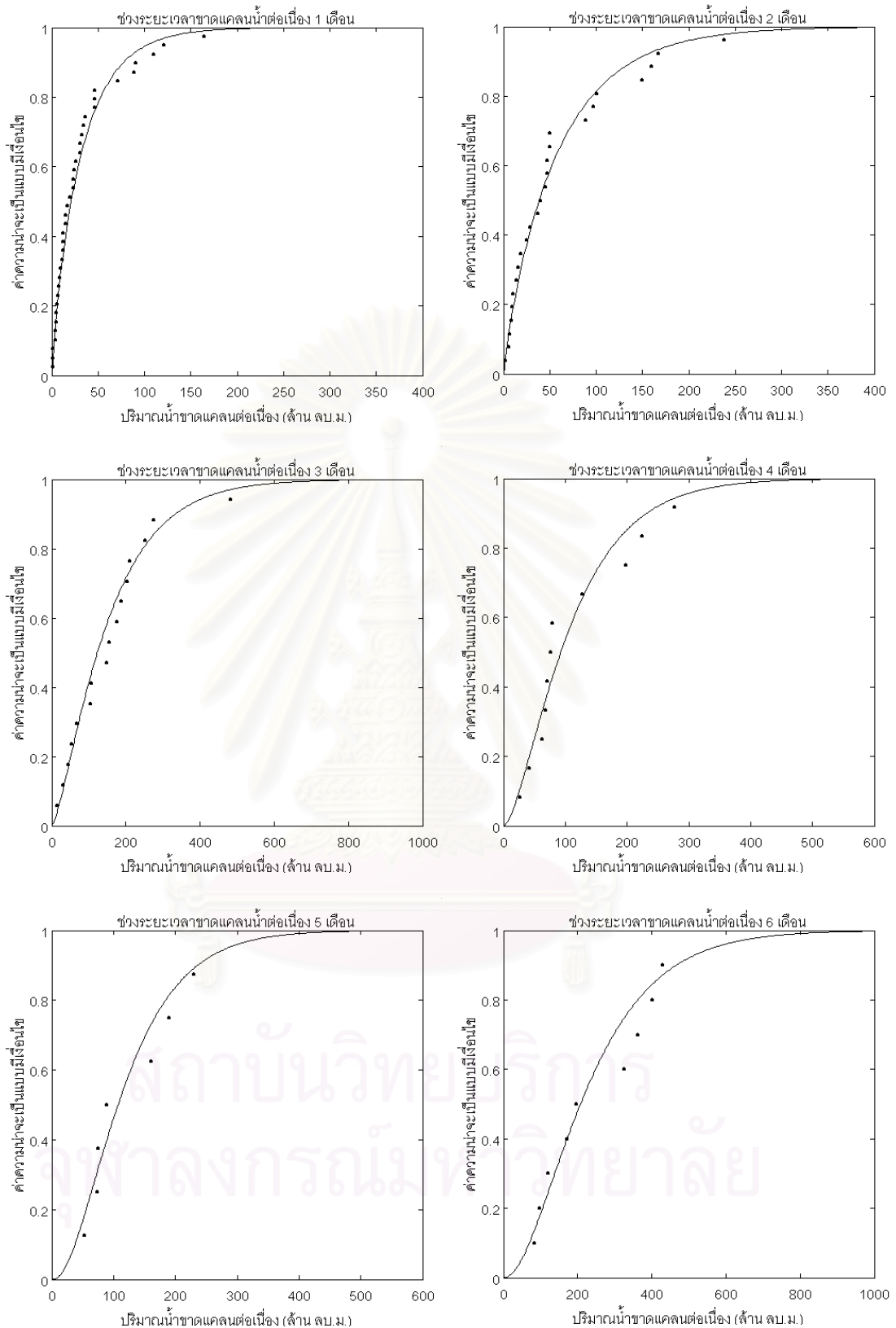
รูปที่ 4.27 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาที่น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน

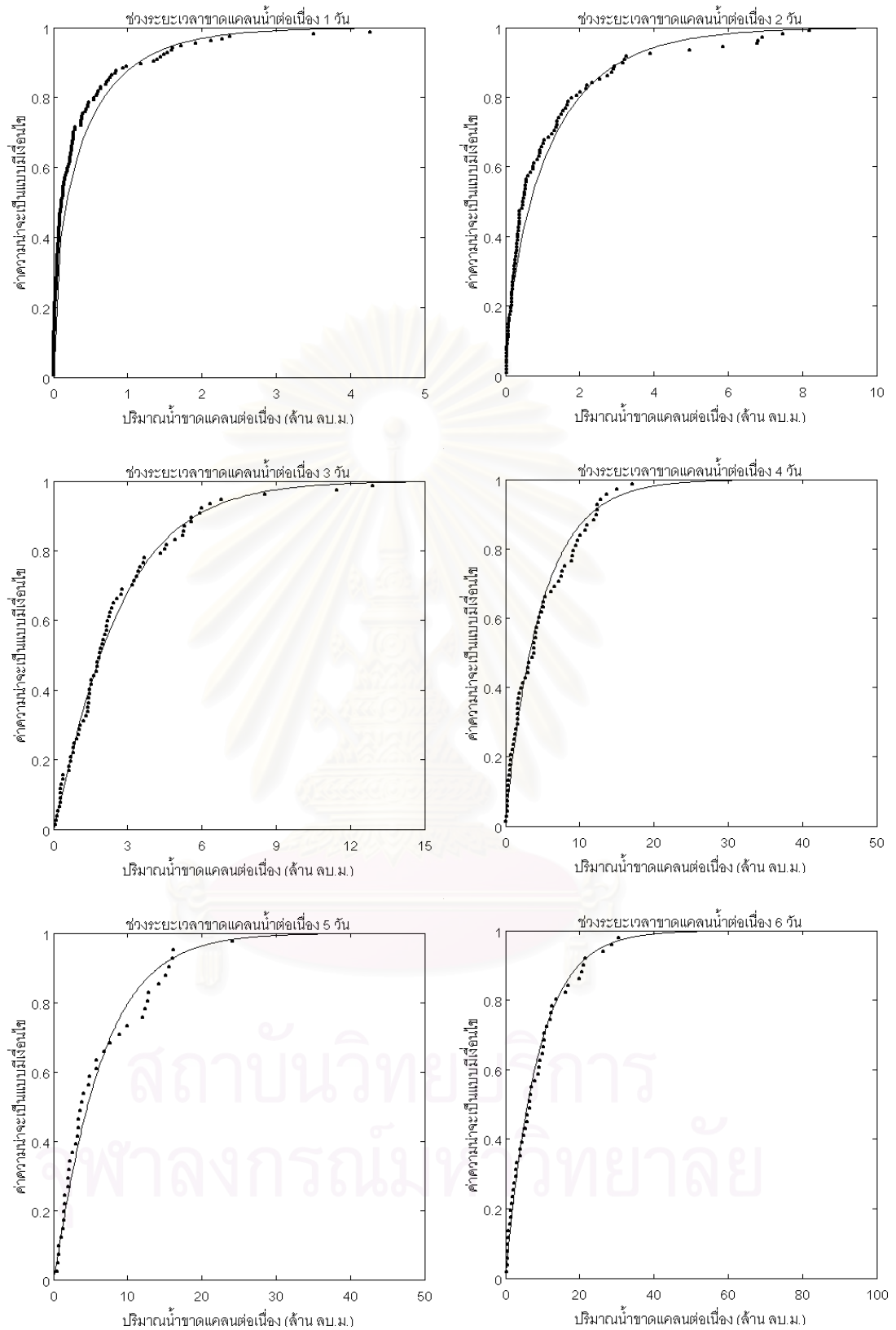
ระดับ การใช้น้ำ (%)	การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนต่อเนื่อง						การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง					
	ช่วงความ น่าจะเป็น ที่ทดสอบ	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง	ช่วงความ น่าจะเป็น ที่ทดสอบ	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
50	0 - 1.00	5	4	9.49	3.00	ยอมรับ	0 - 0.95	5	4	9.49	6.24	ยอมรับ
60	0 - 1.00	5	4	9.49	5.00	ยอมรับ	0 - 0.88	5	4	9.49	2.56	ยอมรับ
70	0 - 1.00	5	4	9.49	4.00	ยอมรับ	0 - 0.91	5	4	9.49	2.00	ยอมรับ
80	0 - 0.99	5	4	9.49	3.88	ยอมรับ	0 - 0.94	5	4	9.49	2.43	ยอมรับ
90	0 - 0.99	5	4	9.49	3.92	ยอมรับ	0 - 0.98	5	4	9.49	2.00	ยอมรับ
100	0 - 0.99	5	4	9.49	5.48	ยอมรับ	0 - 0.99	5	4	9.49	2.00	ยอมรับ
110	0 - 0.96	5	4	9.49	8.11	ยอมรับ	0 - 1.00	5	4	9.49	3.11	ยอมรับ
120	0 - 0.94	5	4	9.49	8.11	ยอมรับ	0 - 0.99	5	4	9.49	3.09	ยอมรับ
130	0 - 0.95	5	4	9.49	4.75	ยอมรับ	0 - 1.00	5	4	9.49	3.00	ยอมรับ
140	0 - 0.94	5	4	9.49	8.08	ยอมรับ	0 - 1.00	5	4	9.49	0.75	ยอมรับ
150	0 - 0.88	5	4	9.49	2.21	ยอมรับ	0 - 1.00	5	4	9.49	3.71	ยอมรับ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน

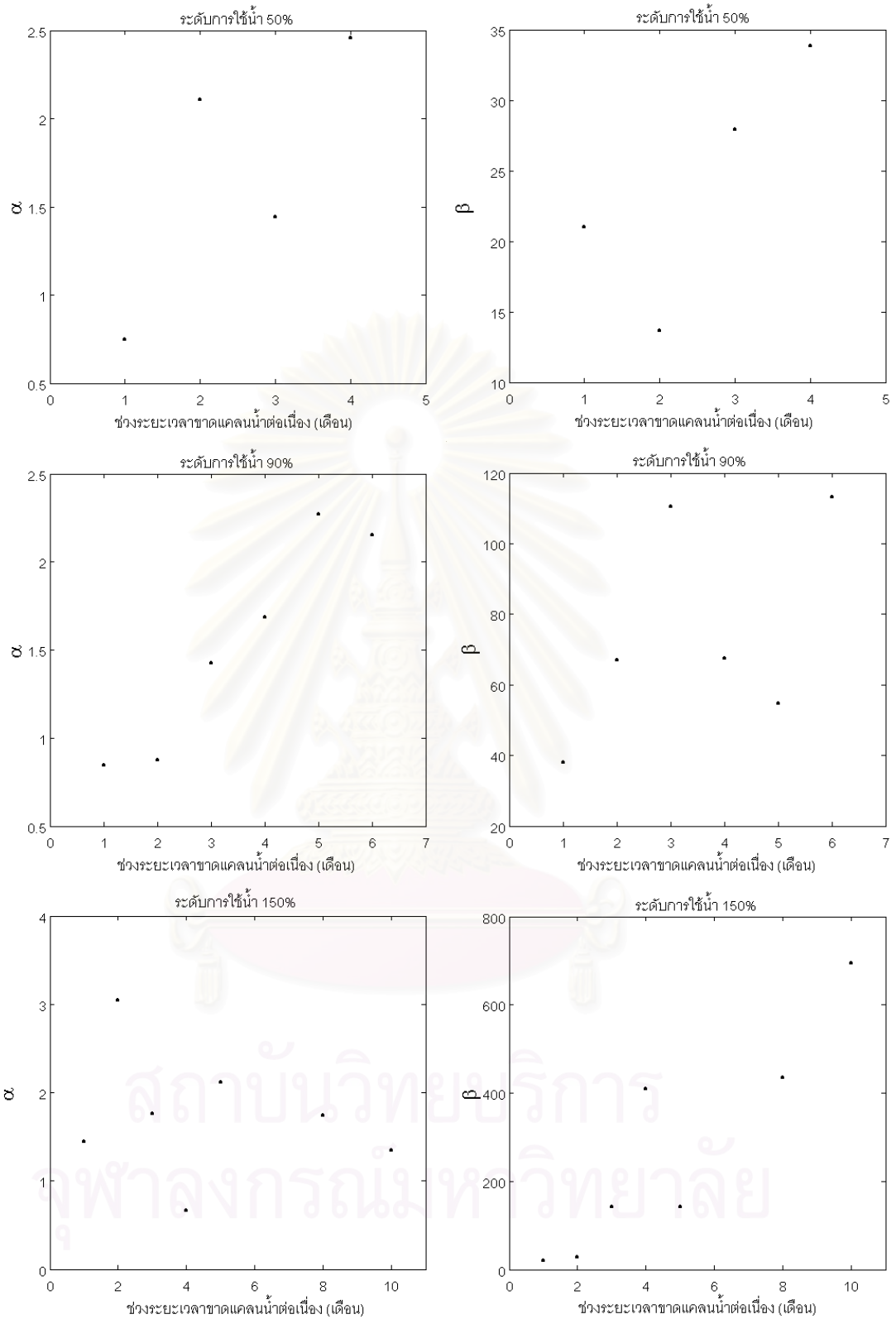
ระดับ การใช้น้ำ (%)	การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนต่อเนื่อง						การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง					
	ช่วงความ น่าจะเป็น ที่ทดสอบ	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง	ช่วงความ น่าจะเป็น ที่ทดสอบ	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง
50	0 - 0.93	5	4	9.49	8.23	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ					ปฏิเสธ
60	0 - 0.93	5	4	9.49	7.76	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ					ปฏิเสธ
70	0 - 0.94	5	4	9.49	7.75	ยอมรับ	0 - 0.93	20	19	30.14	23.78	ยอมรับ
80	0 - 0.95	5	4	9.49	8.85	ยอมรับ	0 - 0.93	17	16	26.30	23.02	ยอมรับ
90	0 - 0.92	5	4	9.49	7.11	ยอมรับ	0 - 0.93	10	9	16.92	13.00	ยอมรับ
100	0 - 0.90	5	4	9.49	6.61	ยอมรับ	0 - 0.94	8	7	14.07	9.78	ยอมรับ
110	0 - 0.90	5	4	9.49	7.42	ยอมรับ	0 - 0.94	8	7	14.07	11.00	ยอมรับ
120	0 - 0.90	5	4	9.49	9.40	ยอมรับ	0 - 0.95	5	4	9.49	9.27	ยอมรับ
130	0 - 0.88	8	7	14.07	12.80	ยอมรับ	0 - 0.95	5	4	9.49	8.07	ยอมรับ
140	0 - 0.87	12	11	19.68	19.45	ยอมรับ	0 - 0.95	5	4	9.49	7.26	ยอมรับ
150	0 - 0.87	12	11	19.68	18.22	ยอมรับ	0 - 0.95	5	4	9.49	8.00	ยอมรับ



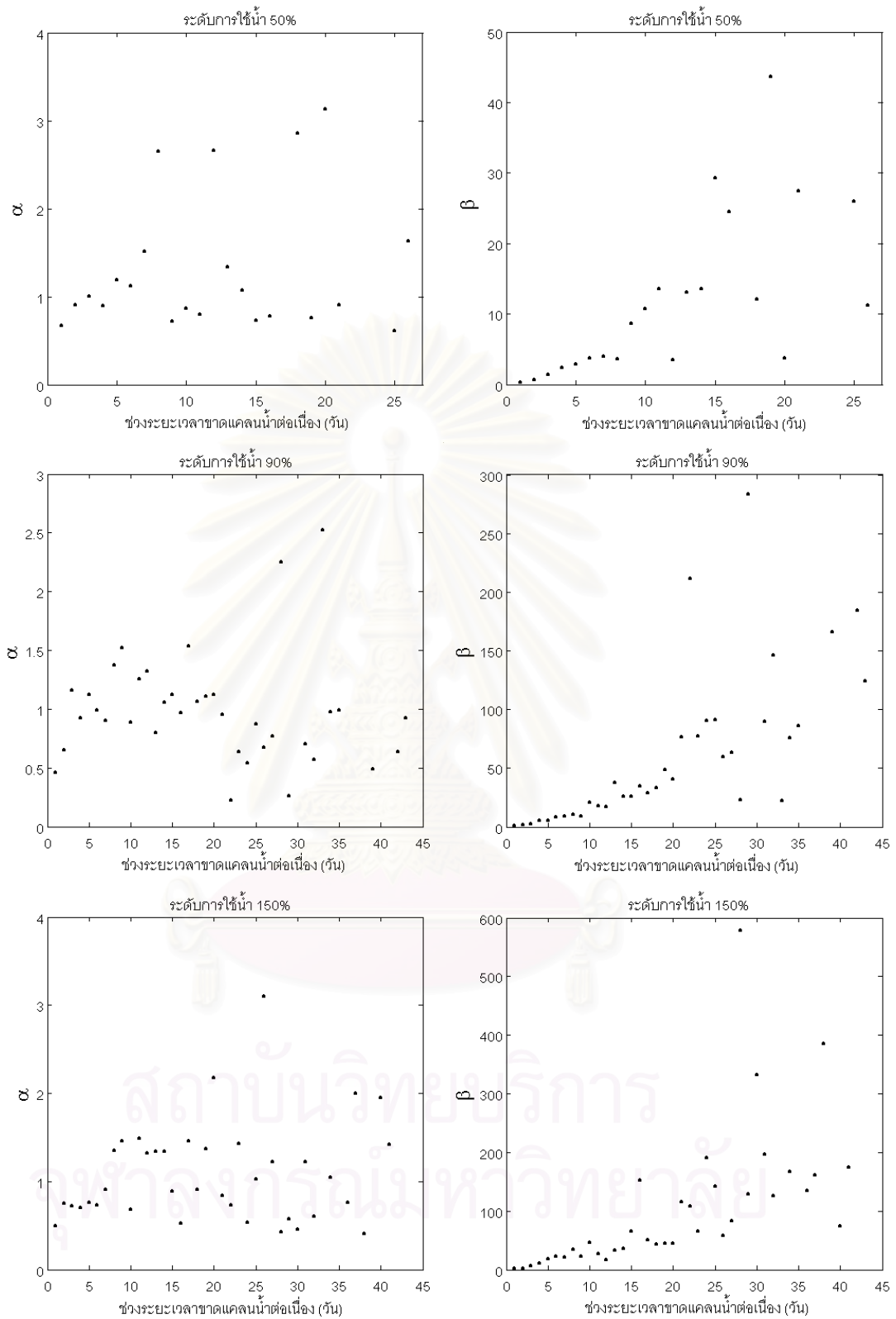
รูปที่ 4.28 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



รูปที่ 4.29 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน

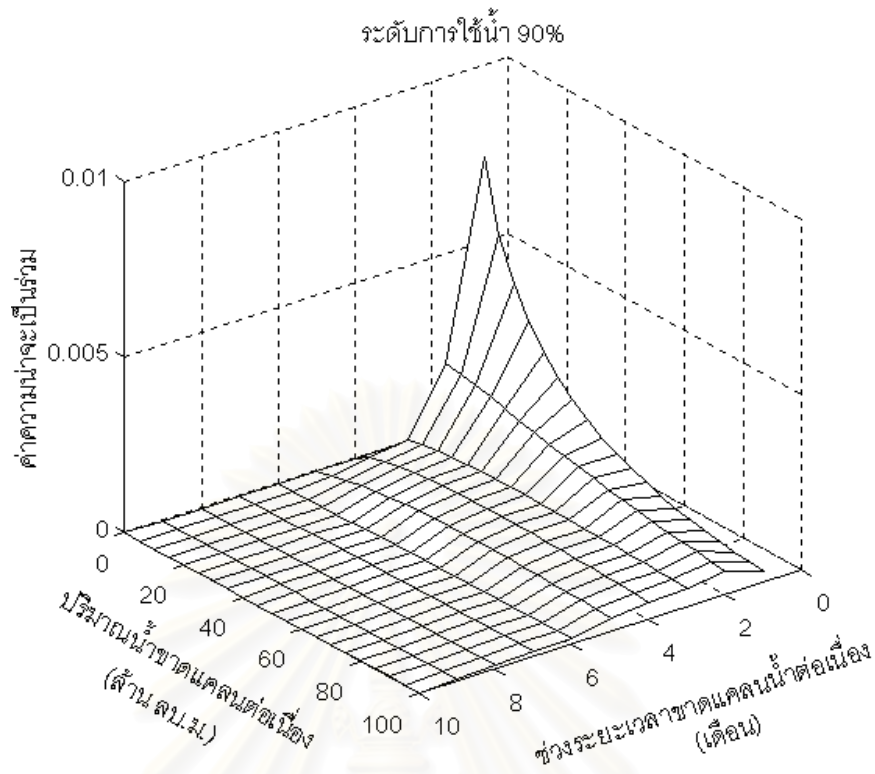


รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน
 หมายเหตุ : ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูป ขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นระดับการใช้น้ำเป็นสำคัญ ไม่มีเกณฑ์ที่แน่ชัด จึงไม่มีการแสดงเส้นความสัมพันธ์ไว้ในรูป

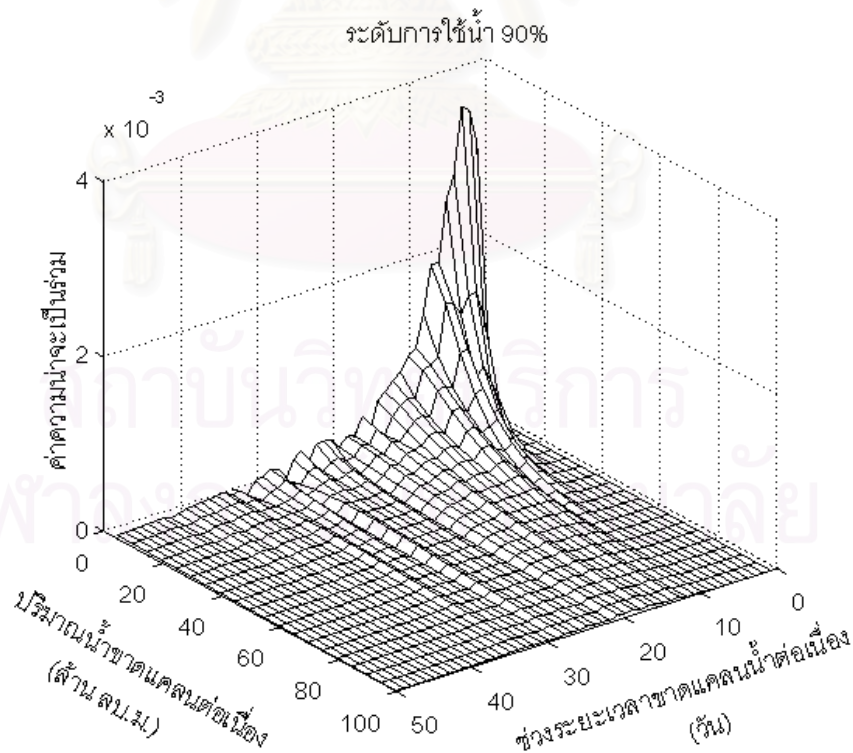


รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 50% 90% และ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน

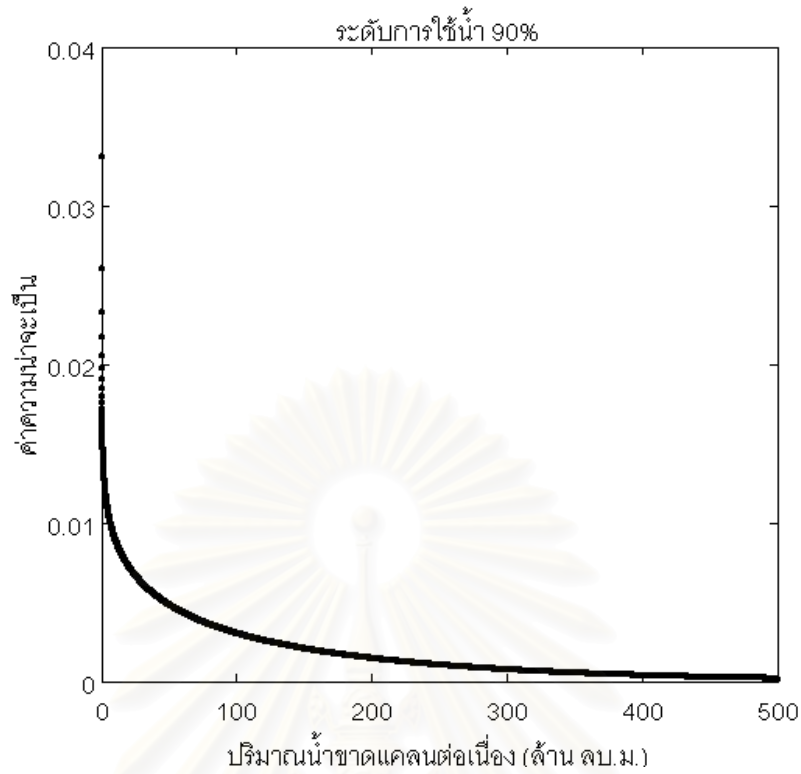
หมายเหตุ : ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูป ขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นระดับการใช้น้ำเป็นสำคัญ ไม่มีเกณฑ์ที่แน่ชัด จึงไม่มีการแสดงเส้นความสัมพันธ์ไว้ในรูป



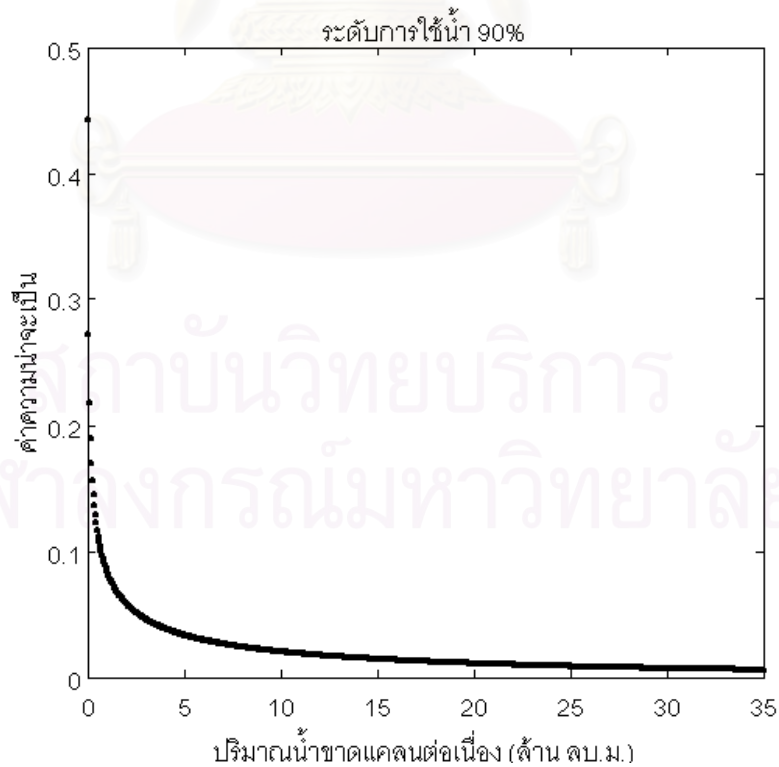
รูปที่ 4.32 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นรวมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเดือนกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเดือน ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



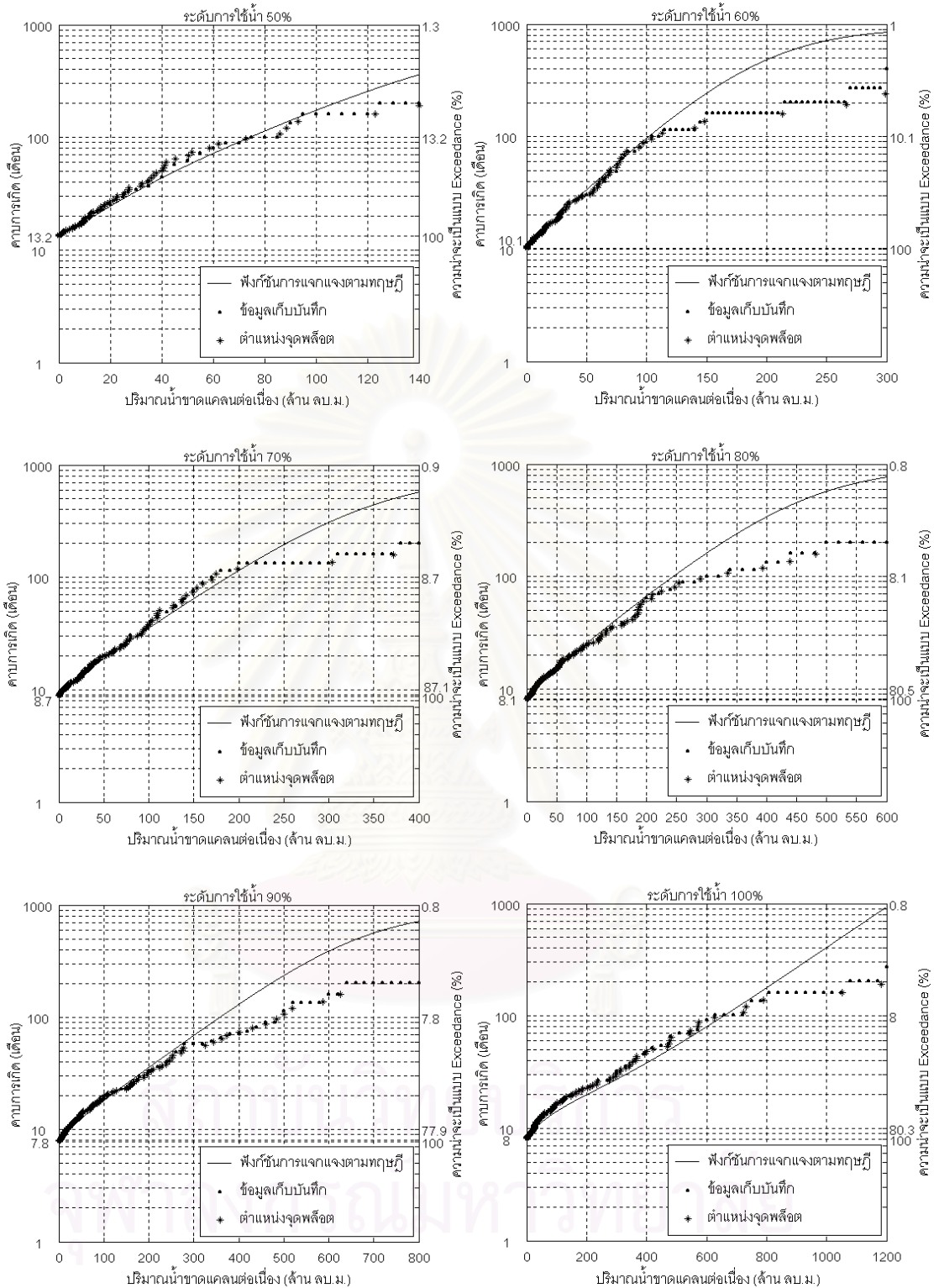
รูปที่ 4.33 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นรวมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเดือนกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเดือน ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



รูปที่ 4.34 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



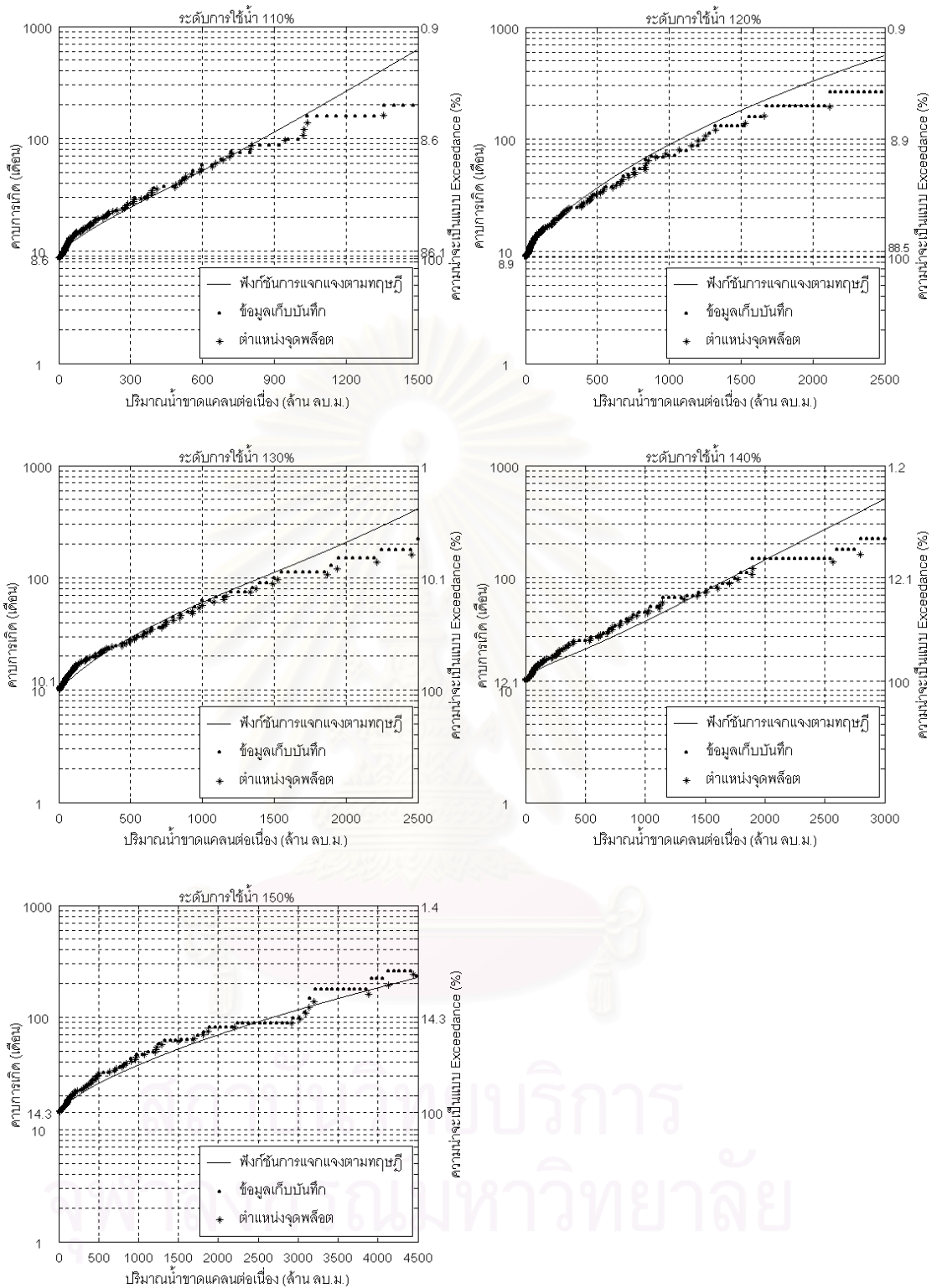
รูปที่ 4.35 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน

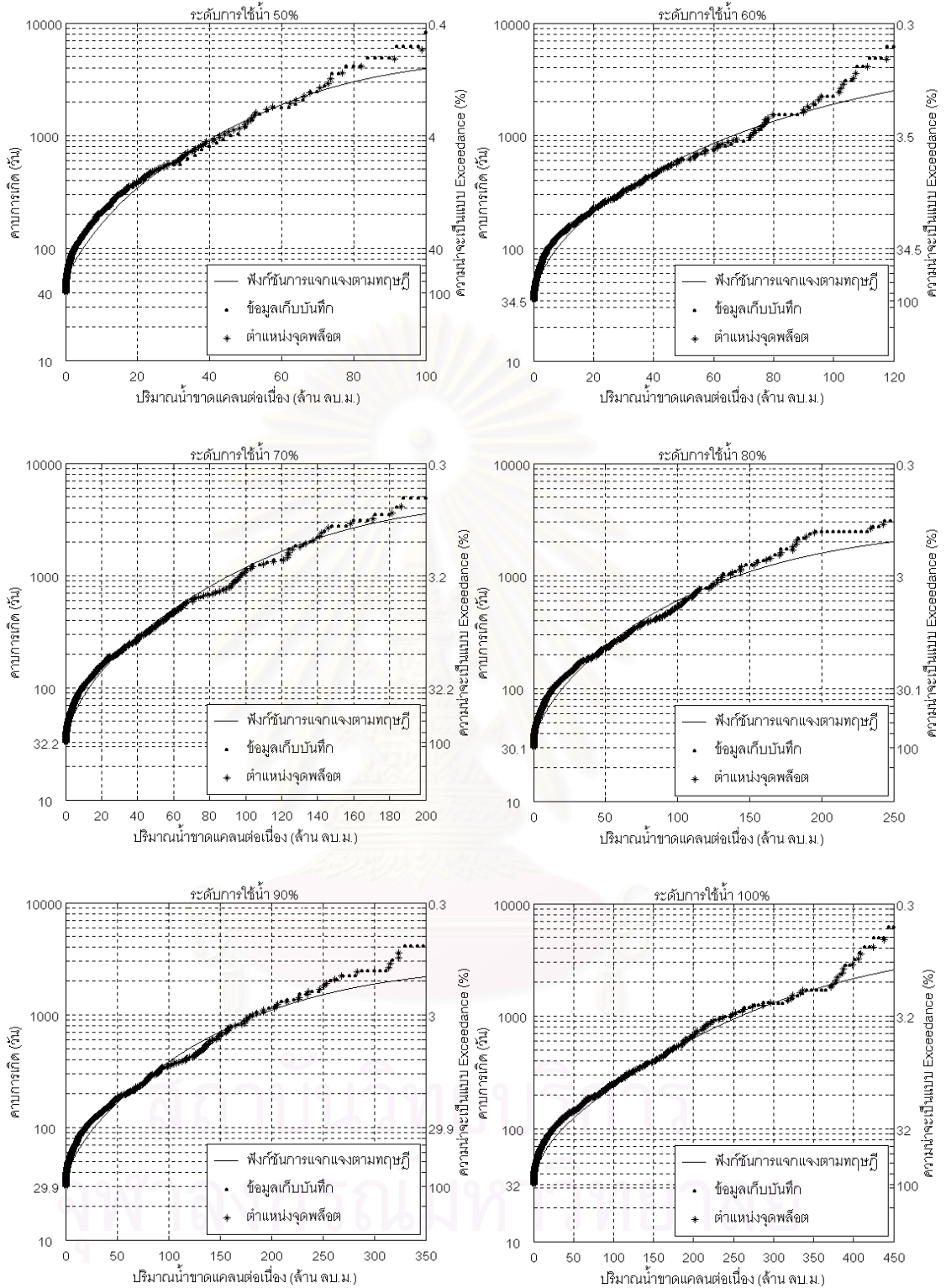
หมายเหตุ : ข้อมูลเก็บบันทึก คือ ข้อมูลจากการคำนวณหาคาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS จากข้อมูลจริง

ข้อมูลจุดพล็อต คือ ข้อมูลที่จัดเรียงด้วยสมการไวบูล และคำนวณคาบการเกิดด้วยสมการที่ (3.55)



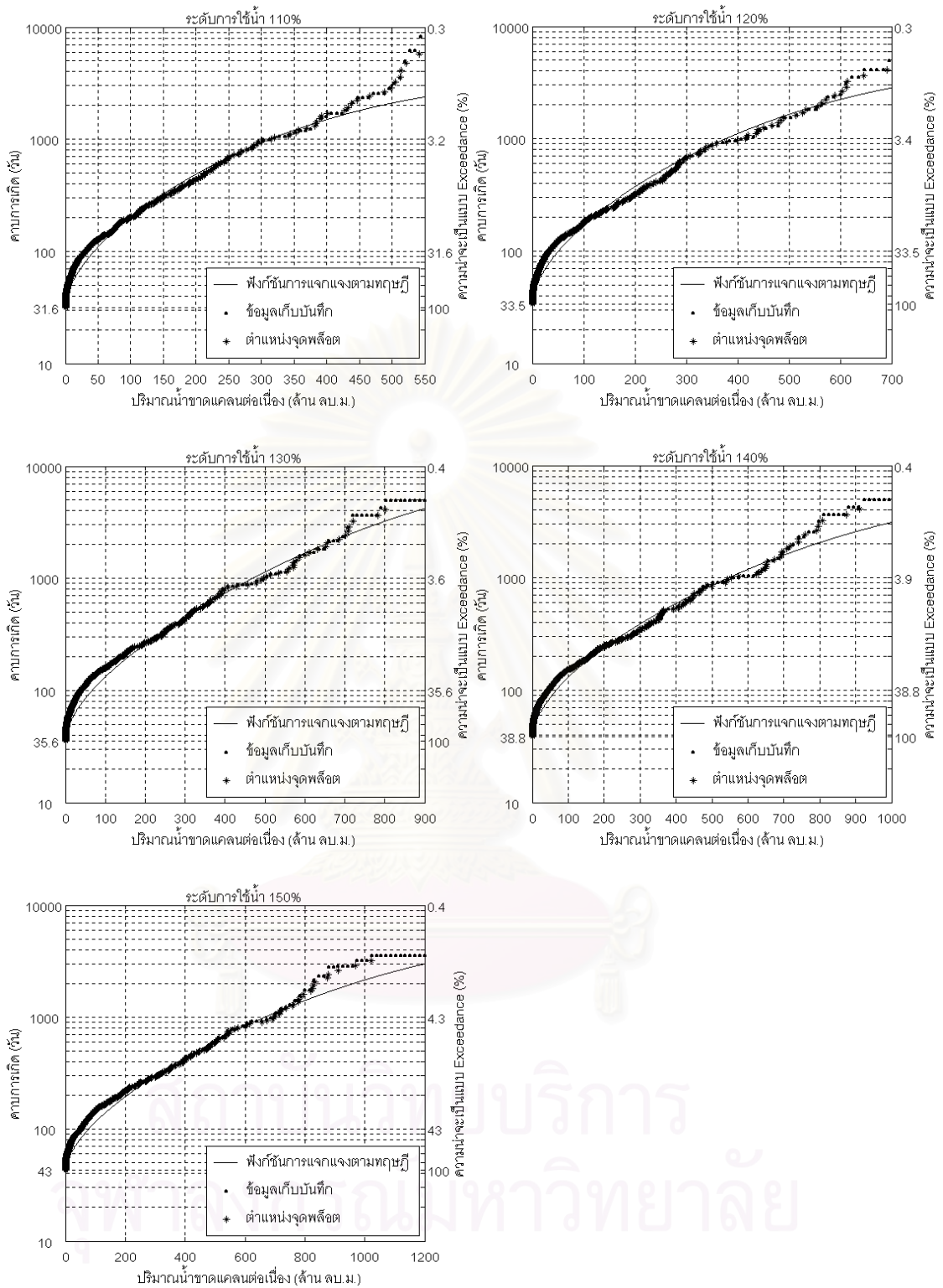
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขนาดแคลนต่อเดือนกับค่าการเกิด ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน (ต่อ)

หมายเหตุ: ข้อมูลเก็บบันทึก คือ ข้อมูลจากการคำนวณหาค่าการเกิดของปริมาณน้ำ DS จากข้อมูลจริง
ข้อมูลจุดพล็อต คือ ข้อมูลที่จัดเรียงด้วยสมการไวบูล และคำนวณค่าการเกิดด้วยสมการที่ (3.55)



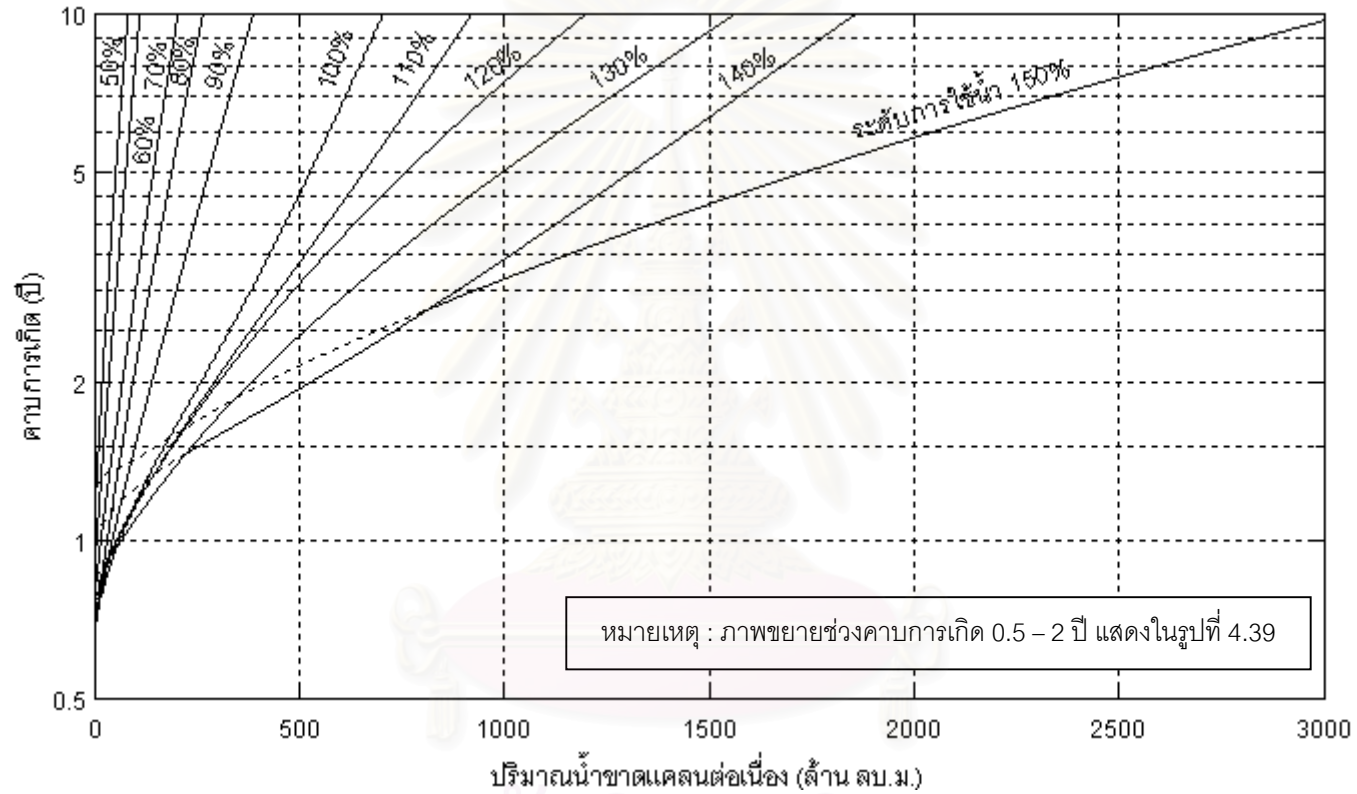
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน

หมายเหตุ : ข้อมูลเก็บบันทึก คือ ข้อมูลจากการคำนวณหาคาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS จากข้อมูลจริง
 ข้อมูลจุดพล็อต คือ ข้อมูลที่จัดเรียงด้วยสมการไวบูล และคำนวณคาบการเกิดด้วยสมการที่ (3.55)

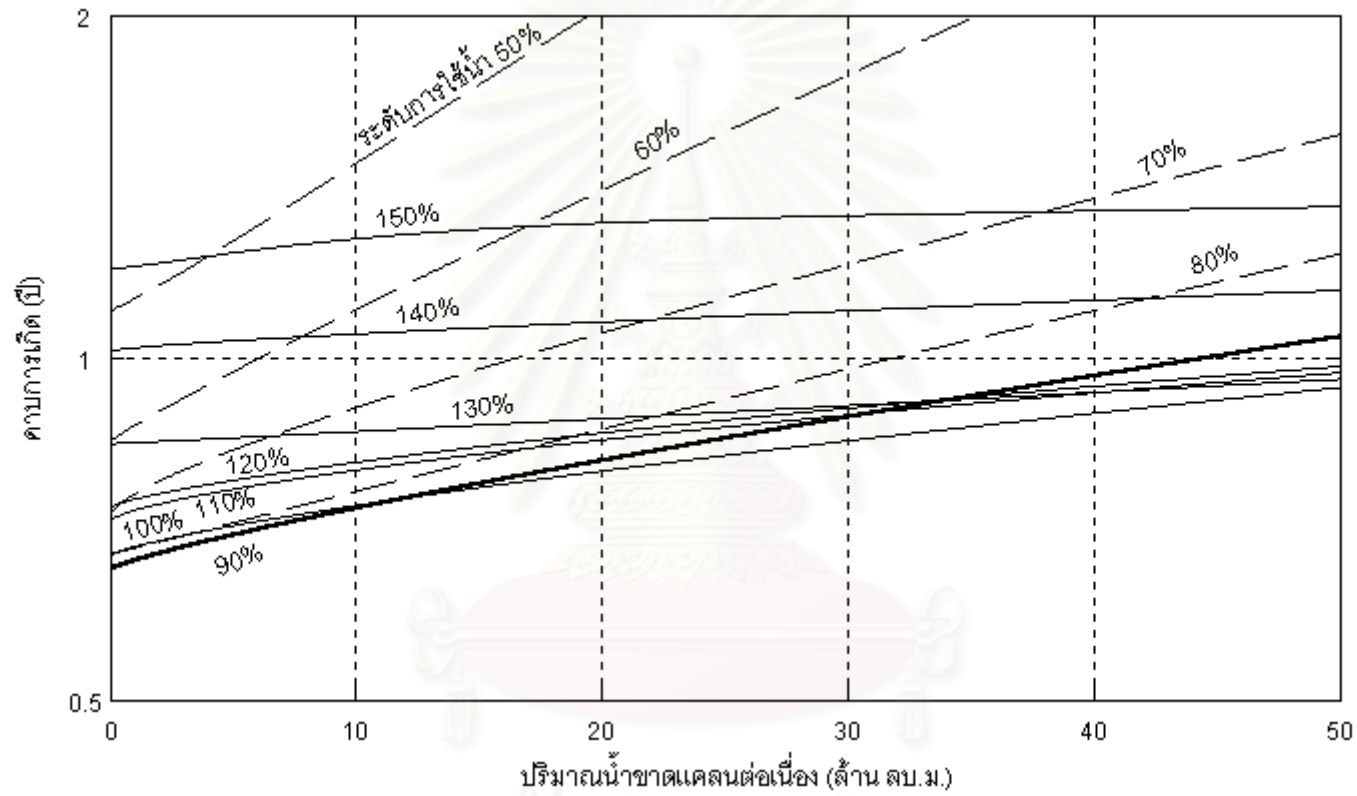


รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขนาดแคลนต่อเนื่องกับความการเกิดที่ระดับการใช้
ต่าง ๆ สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน (ต่อ)

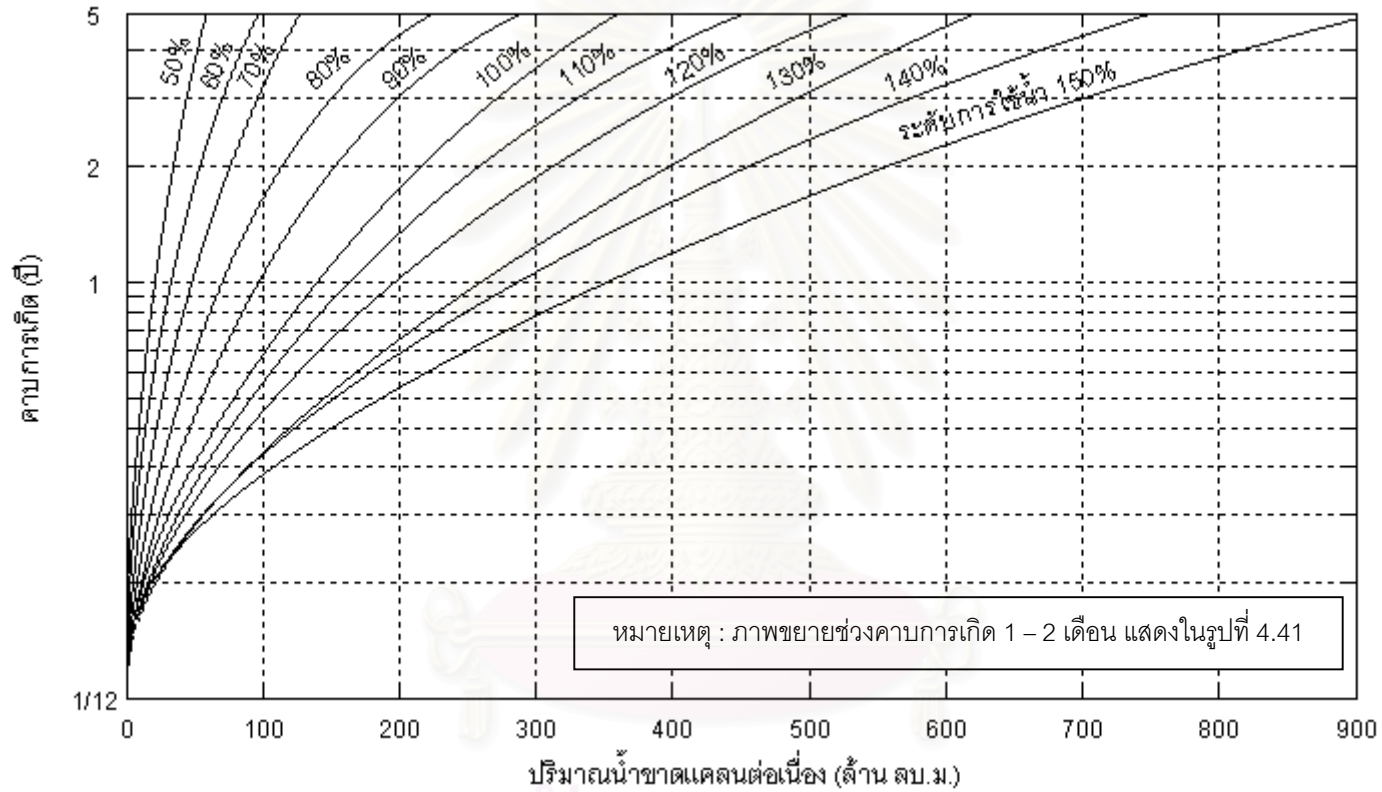
หมายเหตุ : ข้อมูลเก็บบันทึก คือ ข้อมูลจากการคำนวณหาความการเกิดของปริมาณน้ำ DS จากข้อมูลจริง
ข้อมูลจุดพล็อต คือ ข้อมูลที่จัดเรียงด้วยสมการไวร์บูล และคำนวณความการเกิดด้วยสมการที่ (3.55)



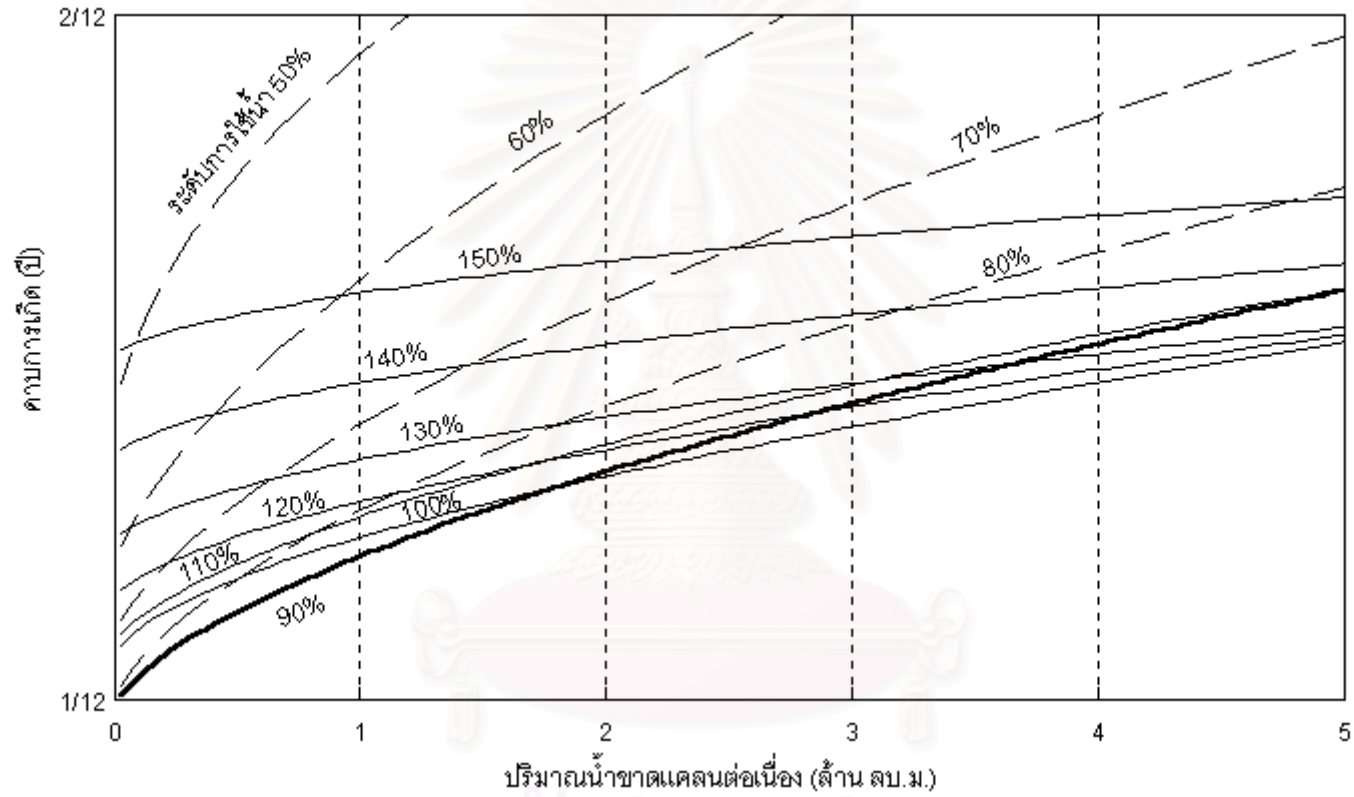
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



รูปที่ 4.39 ภาพขยายของรูปที่ 4.38 ในช่วงคาบการเกิด 0.5 – 2 ปี



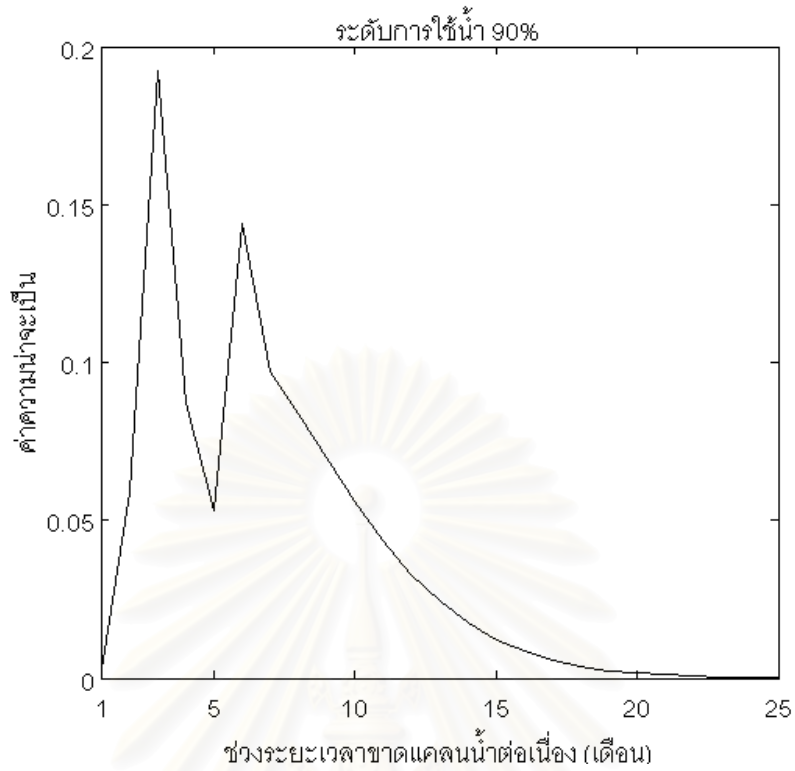
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



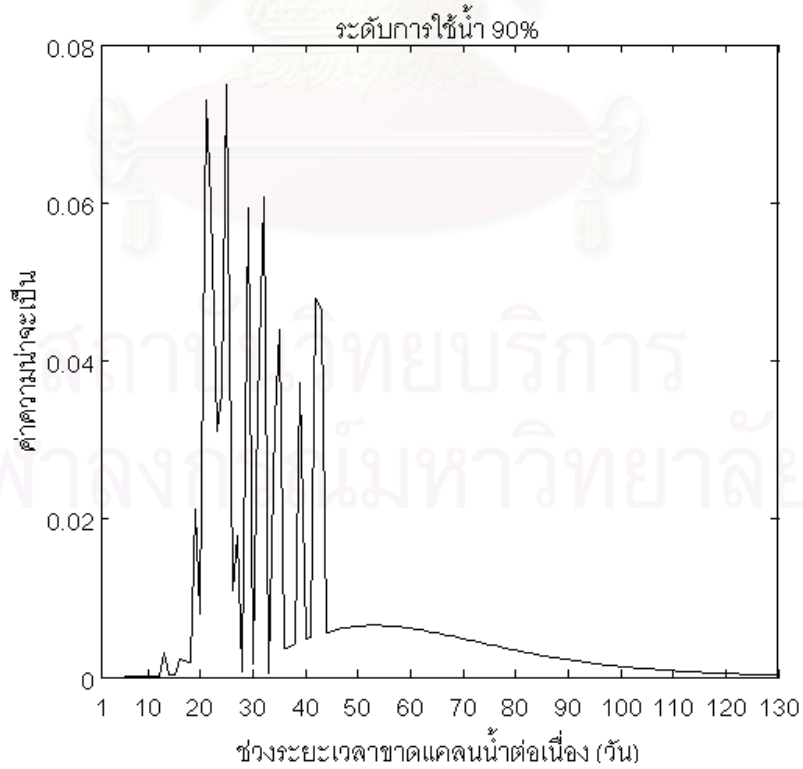
รูปที่ 4.41 ภาพขยายของรูปที่ 4.40 ในช่วงคานการเกิด 1 – 2 เดือน

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิดของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ

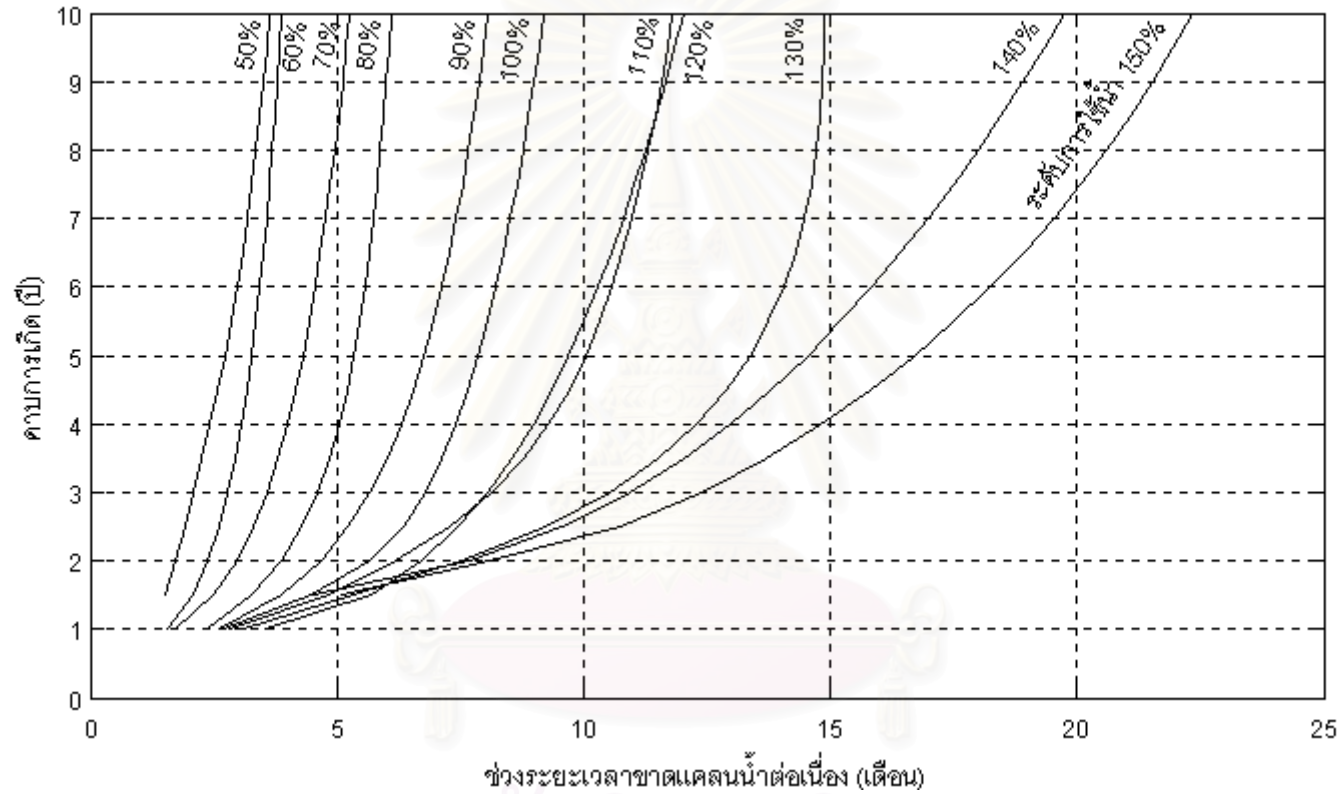
ระดับ การใช้น้ำ (%)	ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่การเกิดสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน						ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่การเกิดสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน						
	ช่วงความ น่าจะเป็น ที่ทดสอบ	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง	ช่วงความ น่าจะเป็น ที่ทดสอบ	จำนวนชั้น ทดสอบ	องศา อิสระ	$\chi^2_{0.95, k-p-1}$	χ^2	ยอมรับ/ปฏิเสธ ฟังก์ชันการ แจกแจง	
50	0 - 1.00	10	9	16.92	11.78	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
60	0 - 1.00	10	9	16.92	12.81	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
70	1 - 1.00	10	9	16.92	16.63	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
80	0 - 0.99	10	9	16.92	6.30	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
90	0 - 0.99	10	9	16.92	6.98	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
100	0 - 0.99	10	9	16.92	12.71	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
110	0 - 0.96	10	9	16.92	13.36	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
120	0 - 0.98	10	9	16.92	10.08	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
130	0 - 0.98	10	9	16.92	10.81	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
140	0 - 0.97	10	9	16.92	13.42	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ
150	0 - 0.93	10	9	16.92	15.29	ยอมรับ	ไม่ผ่านการทดสอบโดยจำนวนชั้นทดสอบใด ๆ						ปฏิเสธ



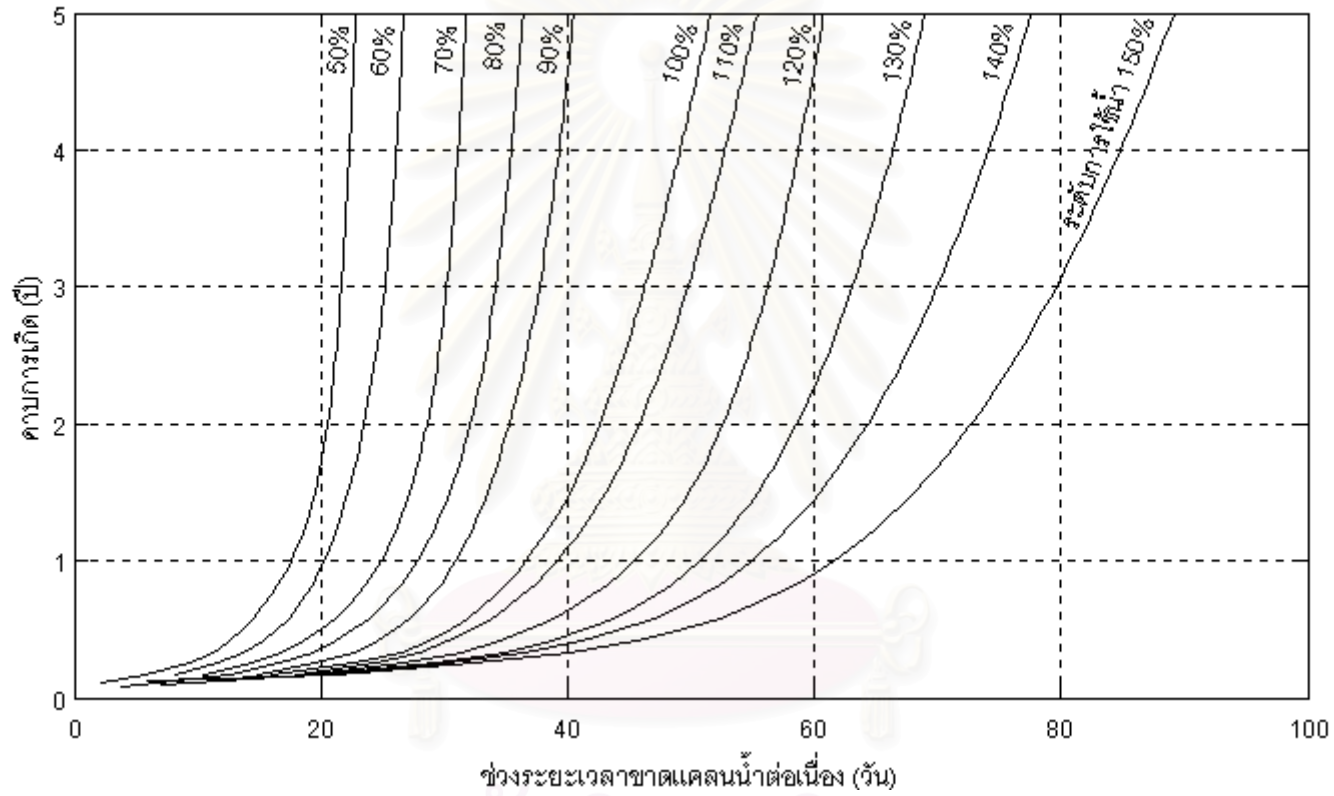
รูปที่ 4.42 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบการเกิด 5 ปี สำหรับระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



รูปที่ 4.43 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบการเกิด 5 ปี สำหรับระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับคาบการเกิด รวมระดับการให้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีจันสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน

ระดับ การใช้น้ำ (%)	ข้อมูลปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องและ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่ได้จากข้อมูลเก็บบันทึก							ผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีจัน											
	จำนวน เหตุการณ์ ความแห้งแล้ง (เหตุการณ์)	ค่าสูงสุด		ค่ามัธยฐาน		ค่าต่ำสุด		คาบการเกิด (ปี)								ds เฉลี่ยของ ข้อมูลเก็บบันทึก			คาบการเกิด ของ ds เข้าใกล้ 0 (เดือน)
		ds	dl	ds	dl	ds	dl	1		2		5		10		คาบการ เกิด (เดือน)	ds	dl เฉลี่ย	
								ds	dl เฉลี่ย	ds	dl เฉลี่ย	ds	dl เฉลี่ย	ds	dl เฉลี่ย				
50	72	390.80	10	19.29	1	0.033	1	-	-	19.50	1.7	52.56	2.7	82.56	3.7	41.5	38.35	2.2	13.2
60	94	565.74	10	27.48	1	0.003	1	6.13	1.6	35.30	2.4	77.06	3.3	111.17	3.9	37.5	55.23	2.8	10.1
70	109	741.30	16	39.50	2	0.127	1	16.58	1.7	69.08	3.0	144.07	4.3	204.26	5.3	28.2	82.02	3.2	8.7
80	118	1578.47	29	54.09	2	0.433	1	31.97	2.4	95.05	3.9	188.91	5.3	265.50	6.1	31.0	120.31	4.3	8.1
90	122	3058.86	44	71.75	2	1.260	1	44.80	2.6	141.34	4.7	279.57	6.8	387.58	8.1	29.6	172.57	5.2	7.8
100	119	3781.20	45	95.60	3	0.291	1	62.65	2.7	260.58	5.7	525.47	7.9	703.50	9.2	22.9	245.07	5.5	8.0
110	111	4510.36	45	130.93	3	1.588	1	58.04	2.8	293.39	6.2	657.15	10.0	918.71	11.8	27.5	346.25	6.8	8.6
120	108	5264.87	48	186.94	3	0.664	1	54.73	3.6	304.82	6.7	760.85	9.7	1199.68	12.0	33.1	449.64	7.8	8.9
130	95	6008.46	48	253.12	4	5.796	1	66.71	3.1	385.63	7.5	995.76	13.4	1562.46	14.9	35.7	626.02	10.5	10.1
140	79	8997.14	85	344.40	5	0.085	1	-	-	531.93	7.7	1309.17	14.5	1857.50	19.7	36.3	899.25	11.0	12.1
150	67	10123.35	85	472.87	5	12.255	1	-	-	423.08	8.1	1730.97	16.7	3056.15	22.3	44.3	1242.53	14.1	14.3

หมายเหตุ : ds แทนปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ล้าน ลบ.ม.)

dl แทนช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (เดือน)

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน

ระดับ การใช้น้ำ (%)	ข้อมูลปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องและ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่ได้จากข้อมูลเก็บบันทึก							ผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน									
	จำนวน เหตุการณ์ ความแห้งแล้ง (เหตุการณ์)	ค่าสูงสุด		ค่ามัธยฐาน		ค่าต่ำสุด		คาบการเกิด (ปี)						ds เฉลี่ยของ ข้อมูลเก็บบันทึก			คาบการเกิด ของ ds เข้าใกล้ 0 (วัน)
		ds	dl	ds	dl	ds	dl	1		2		5		คาบการเกิด (วัน)	ds	dl เฉลี่ย	
								ds	dl เฉลี่ย	ds	dl เฉลี่ย	ds	dl เฉลี่ย				
50	722	192.84	205	1.38	4	0.00076	1	21.20	18	34.70	21	59.12	23	131	7.64	12	40
60	836	392.48	223	2.25	5	0.00013	1	32.99	20	54.16	24	97.32	27	127	11.24	14	35
70	897	508.13	245	3.59	5	0.00003	1	48.31	25	76.24	29	127.86	32	117	16.24	16	32
80	960	608.34	249	4.38	6	0.00025	1	70.26	28	114.10	32	225.94	36	107	21.87	18	30
90	966	712.31	263	5.92	6	0.00028	1	96.81	31	153.12	35	291.11	40	104	29.64	21	30
100	902	1171.18	355	7.96	7	0.00051	1	140.04	37	216.65	43	362.05	52	108	41.36	25	32
110	913	1592.45	556	9.47	7	0.00203	1	163.77	39	259.12	46	454.20	55	111	51.32	27	32
120	861	1846.21	556	12.39	8	0.00101	1	197.28	45	313.21	53	531.89	61	119	66.38	31	34
130	811	2099.98	556	15.87	9	0.00029	1	260.34	51	398.54	59	622.77	69	115	83.99	34	36
140	744	2354.38	557	20.74	10	0.00230	1	287.41	55	456.41	64	752.24	78	136	106.99	39	39
150	672	2609.25	557	28.79	12	0.00532	1	352.60	62	557.76	73	918.13	89	141	136.28	44	43

หมายเหตุ : ds แทนปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ล้าน ลบ.ม.)

dl แทนช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (วัน)

4.5 การศึกษาความเหมาะสมในการเลือกประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์

ประเด็นปัญหาเรื่องของการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ สำหรับการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 ข้อ คือ

- 1) การตรวจสอบสาเหตุความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณ กรณีใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน (ตามที่กล่าวอ้างผลการศึกษาในหัวข้อ 4.4.4 ข้อที่ 7.)
- 2) การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำเพื่อให้รองรับกับความต้องการน้ำที่กำหนดขึ้นได้
- 3) การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินปริมาณน้ำที่สามารถส่งให้กับโครงการในกรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ
- 4) การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางการจัดการอ่างเก็บน้ำ

เพื่อให้สามารถระบุได้ว่า วิธีการวิเคราะห์ 3 แบบ วิธีใดมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงแต่ละกรณี การศึกษานี้จึงได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คาบการเกิดของแต่ละวิธี โดยกำหนดเส้นระดับการใช้น้ำของวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณ ให้เป็นค่าคงที่ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ซึ่งวิเคราะห์ได้เพียงกรณีระดับการใช้น้ำคงที่เท่านั้น โดยรายละเอียดของการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

4.5.1 การกำหนดระดับการใช้น้ำ

ระดับการใช้น้ำกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ด้วยค่าปริมาณน้ำ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาก่อนบันทึกข้อมูล (79ปี) เนื่องจากในการประยุกต์ใช้งานจริง การดำเนินโครงการมักจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนที่ระดับการใช้น้ำในช่วง 70% - 90% ของปริมาณน้ำเฉลี่ย (เช่น โครงการเขื่อนแม่กวงอุดมธารา (RID (1993))) ดังนั้นวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา และวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน จึงกำหนดใช้ค่า 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน คือ 3.56 ล้าน ลบ.ม./วัน ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน ใช้ค่า 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือน คือ 108.44 ล้าน ลบ.ม./เดือน ซึ่งเทียบเท่ากับค่าสะสมในช่วง 1 เดือนของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน เป็นเกณฑ์ระดับการใช้น้ำ

4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับการใช้น้ำ

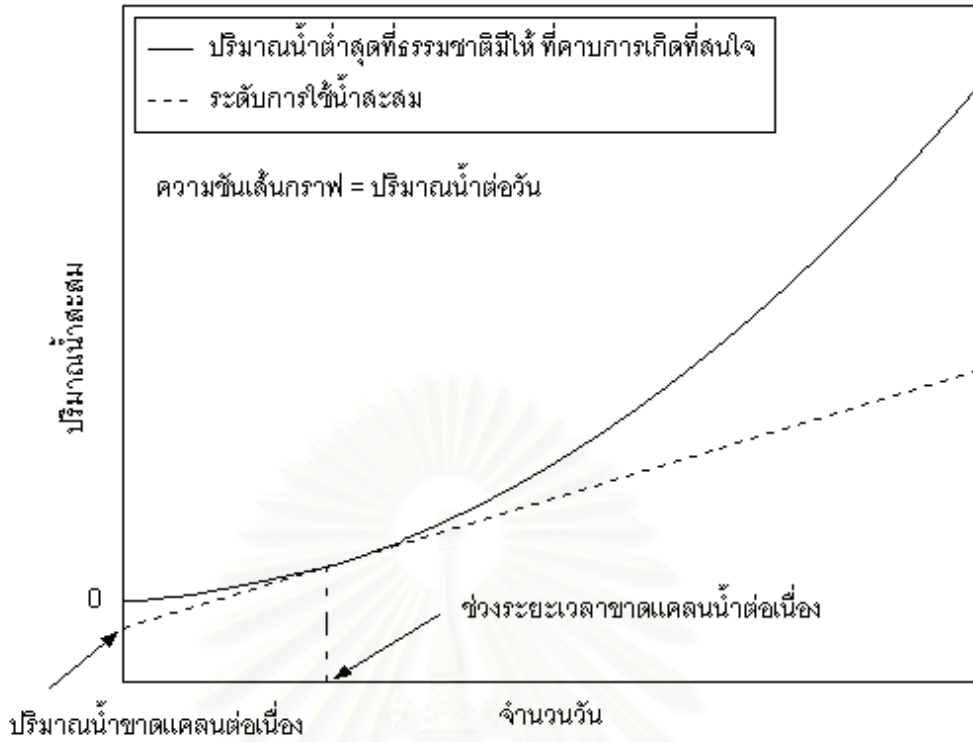
ตามหลักการของวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณ สามารถสร้างความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้ กับระดับการใช้น้ำได้ โดยแสดงผลเป็นคาบการเกิดของพารามิเตอร์ความขาดแคลน คือ ปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL ขณะที่วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้ง

ปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว ผู้วิเคราะห์ต้องสร้างขึ้นเอง เนื่องจากหลักการของ 2 วิธีดังกล่าวให้ผลการวิเคราะห์ในแง่ของปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้เท่ากับการวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL สามารถทำได้ดังนี้

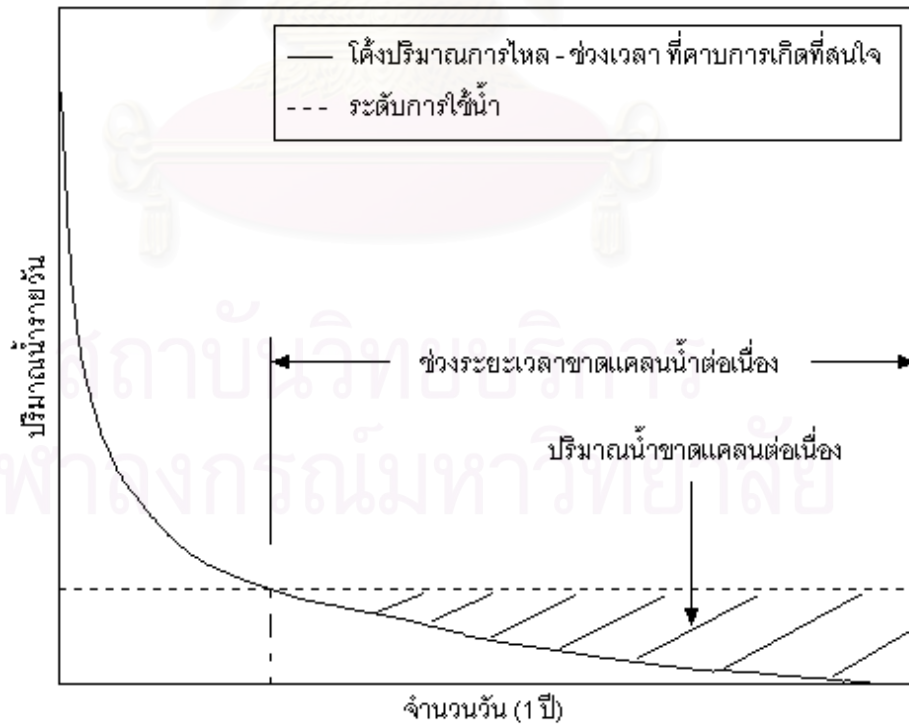
วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด Yevjevich (1964) แนะนำให้นำค่าปริมาณน้ำต่ำสุด ด้วยจำนวนวันเฉลี่ยต่าง ๆ ที่คาบการเกิดที่สนใจ มาคำนวณหาปริมาณน้ำสะสม แล้วสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสะสม กับเวลาในหน่วยของวัน โดยที่ความชันของเส้นกราฟแสดงถึงอัตราการให้น้ำต่อวันของสถานี นำมาเปรียบเทียบกับระดับการใช้น้ำสะสม ดังแสดงในรูปที่ 4.46 จุดที่เส้นกราฟทั้งสองสัมผัสกัน คือ จุดที่อัตราการให้น้ำของสถานีเท่ากับระดับการใช้น้ำ โดยจุดตัดแกนเวลา คือ ช่วงระยะเวลา DL และจุดตัดแกนปริมาณน้ำสะสมคือ ปริมาณน้ำ DS

สำหรับวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา วิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL ที่คาบการเกิดที่สนใจ โดยลากเส้นระดับการใช้น้ำรายวันตัดโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ของคาบการเกิดที่สนใจ ดังแสดงในรูปที่ 4.47 ซึ่งจากรูป จะเห็นว่า พื้นที่ในขอบเขตของจุดตัดกราฟ คือค่าปริมาณน้ำ DS และความยาวในแกนเวลา คือ ช่วงระยะเวลา DL

การกำหนดระดับการใช้น้ำในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ไม่สามารถกำหนดให้เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ซึ่งจะนำมาสร้างความสัมพันธ์กับระดับการใช้น้ำของทั้ง 2 วิธี ดังในรูปที่ 4.5 – 4.10 และ 4.15 – 4.20 ได้ผ่านกระบวนการจัดเรียงลำดับเหตุการณ์มาแล้ว กล่าวคือในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ข้อมูลปริมาณน้ำสะสมต่ำสุด ด้วยจำนวนวันที่กำหนดสำหรับแต่ละคาบการเกิด ไม่มีช่วงวันที่แน่นอน เช่น ไม่สามารถบอกได้ว่าปริมาณน้ำสะสมต่ำสุด 30 วัน จะต้องเกิดขึ้น ระหว่างวันที่ 1 เม.ย. – 30 เม.ย. ของทุกปี นอกจากนี้ ปริมาณน้ำสะสมต่ำสุด 1 วันอาจไม่ได้อยู่ในช่วงเดือนดังกล่าวก็ได้ ดังนั้นลำดับของเวลาจึงไม่มีความแน่นอน สำหรับวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปหาน้อย เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม ซึ่งก็ไม่มีลำดับเวลาที่แน่นอนเช่นกัน ขณะที่การกำหนดระดับการใช้น้ำหากจะกำหนดให้เปลี่ยนแปลงตามเวลา ต้องเรียงตามลำดับเหตุการณ์จริง ดังนั้นการกำหนดระดับการใช้น้ำสำหรับ 2 วิธีนี้จึงจำเป็นต้องเป็นระดับการใช้น้ำแบบคงที่เท่านั้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อด้อยประการหนึ่งของการวิเคราะห์โดยใช้ 2 วิธีนี้



รูปที่ 4.46 วิธีการหาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด



รูปที่ 4.47 วิธีการหาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

4.5.3 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งตามหัวข้อที่กล่าวแล้วข้างต้น ดังนี้

4.5.3.1 การตรวจสอบสาเหตุความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณ การใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน

ดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.3.4 ข้อสรุปที่ 7. เกี่ยวกับเรื่องการทดสอบผลการแจกแจงโดยวิธีไคสแควร์ กรณของข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน การวิเคราะห์โดยทฤษฎีกรณไม่สามารถให้ผลการแจกแจงที่สอดคล้องกับข้อมูลเก็บบันทึกจริงได้ ซึ่งสิ่งที่เป็นข้อสังเกตเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนดังกล่าวประการหนึ่งคือ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL (f_{DL}) ค่อนข้างจะมีสูงมาก (ดูรูปที่ 4.27) ดังนั้นประเด็นคำถามที่สำคัญคือ ความถูกต้องของสมการที่ใช้ประมาณค่าฟังก์ชัน f_{DL} คือสมการที่ (3.42) มีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากผลการศึกษากรณที่เปลี่ยนระดับการใช้น้ำให้เป็นค่าคงที่ในหัวข้อนี้ สามารถตอบคำถามดังกล่าวได้จากการวิเคราะห์ทฤษฎีกรณด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน และรายวันดังรูปที่ 4.48

จากรูปจะเห็นว่า เมื่อลักษณะของเส้นระดับการใช้น้ำเปลี่ยนไป รูปร่างของการแจกแจงก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยเฉพาะกรณของข้อมูลรายเดือนซึ่งกำหนดระดับการใช้น้ำให้เป็นค่าคงที่พบว่าในช่วงระยะเวลา DL สูงสุด คือ 10 เดือน ครอบคลุมช่วงเดือนที่ไม่เกิดน้ำหลากในแต่ละปีเท่านั้น ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่า ลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL และ WL เปลี่ยนแปลงได้ตามรูปร่างของเส้นระดับการใช้น้ำ และในกรณของเส้นระดับการใช้น้ำบางรูปแบบ คุณลักษณะของกราฟน้ำท่าก็มีผลต่อการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL และ WL ด้วย ซึ่งไม่ตรงกับหลักการอ้างใน Shiau และ Shen (2001) ที่กล่าวว่ารูปร่างของการแจกแจงจะเป็นไปตามสมการที่ (3.42) และ (3.52) เท่านั้น การศึกษานี้จึงเสนอให้ใช้ค่าที่ได้จากการแจกแจงของข้อมูลจริงเป็นเกณฑ์ทั่วไปในการสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม (สมการที่ (3.45)) แทนที่จะใช้การประมาณค่าด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็น ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนสูง และไม่ทราบแน่ชัดว่าการแจกแจงของข้อมูลจริงเข้ากันได้ดีกับคุณลักษณะทางสถิติของฟังก์ชันชนิดใด

การประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL สำหรับทั้งข้อมูลรายเดือน และรายวันแสดงในรูปที่ 4.49

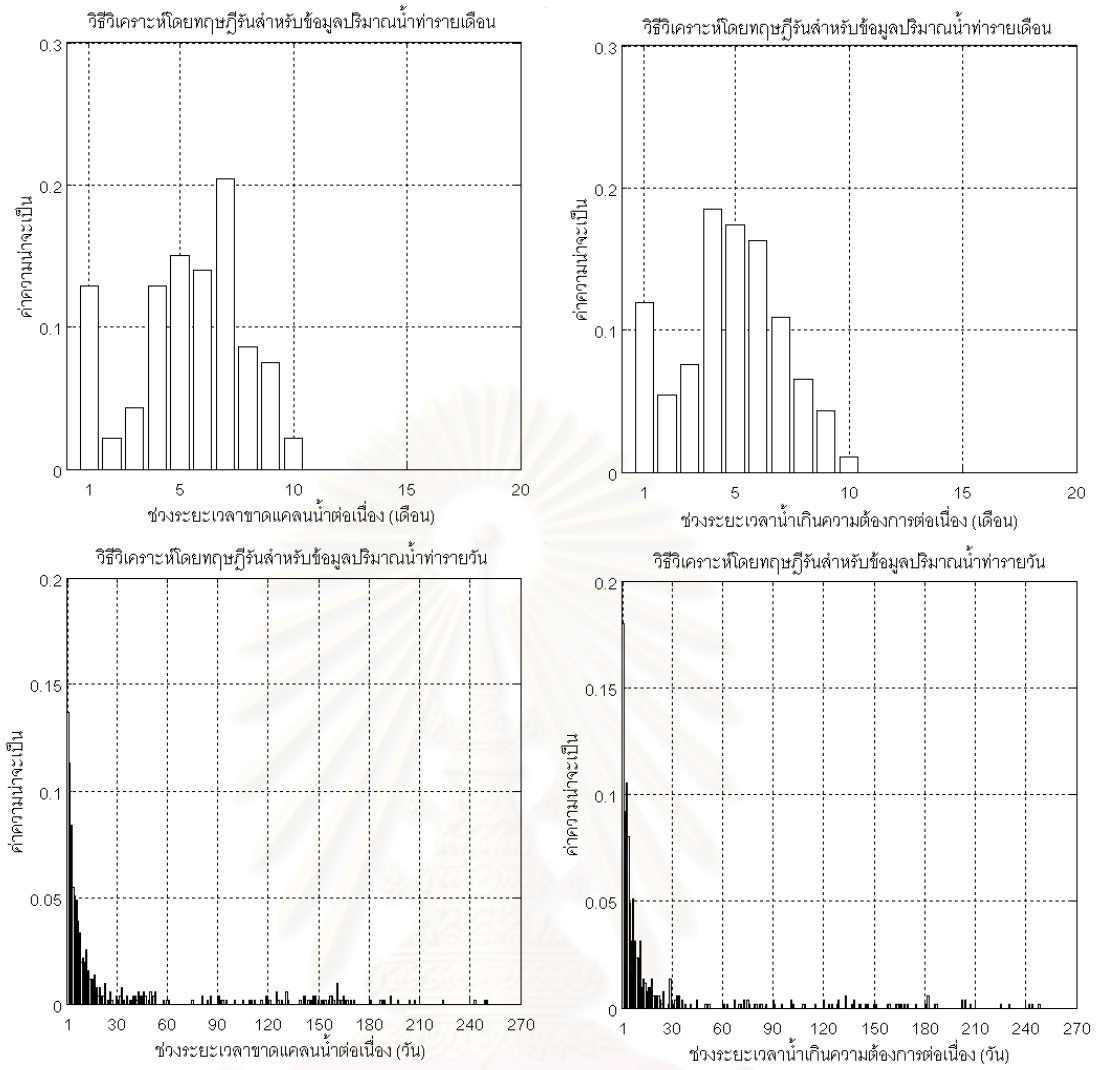
ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ใช้ประมาณค่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ ซึ่งจากหัวข้อ 4.3.4 ข้อสรุปที่ 3. แนะนำว่าควรใช้ค่า α และ β ในการสร้างฟังก์ชัน $f_{DL,DS}$ แทนที่จะประมาณค่าความสัมพันธ์ด้วยฟังก์ชันเชิงเส้น เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของคาบการเกิดที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น คาบการเกิดของปริมาณน้ำ

DS ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.50 และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบการเกิดต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 4.51

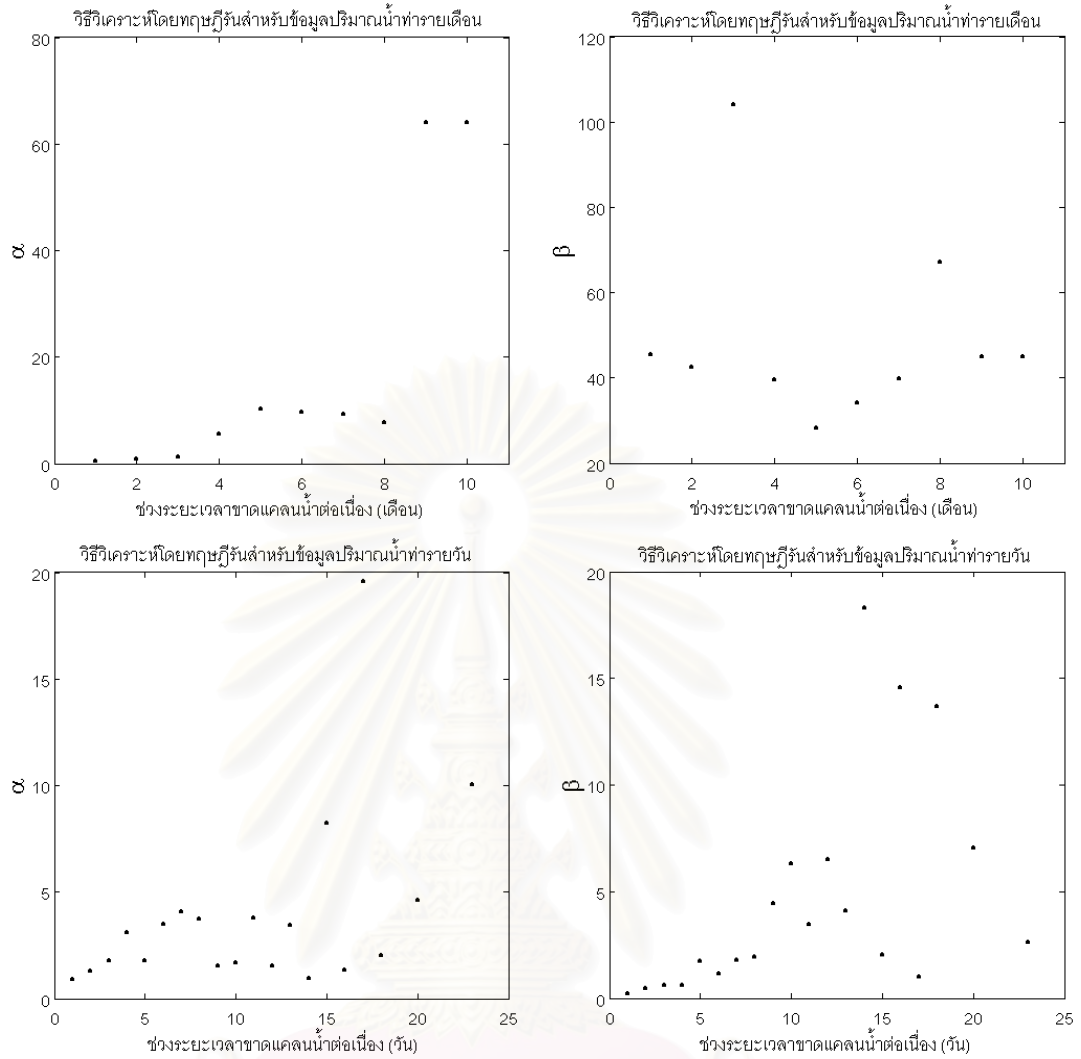
การตรวจสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงทางทฤษฎีของรูปที่ 4.50 โดยวิธีไคสแควร์ พบว่า ทั้งการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายวันและรายเดือน สามารถผ่านการทดสอบได้ในช่วงความน่าจะเป็นระหว่าง 0 – 0.90 โดยกำหนดจำนวนช่วงชั้น 8 ช่วง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำรายวันและรายเดือน โดยควรใช้การแจกแจงของช่วงระยะเวลา DL จากข้อมูลเก็บบันทึกจริง ร่วมกับการสร้างความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลา DL ด้วยค่าจริง ในการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{DL,DS}$ ซึ่งจากฟังก์ชัน $f_{DL,DS}$ สามารถนำไปใช้ประมาณค่าความน่าจะเป็นเดี่ยว f_{DL} และ f_{DL} และสร้างความสัมพันธ์กับคาบการเกิดอย่างใกล้เคียงความเป็นจริงได้



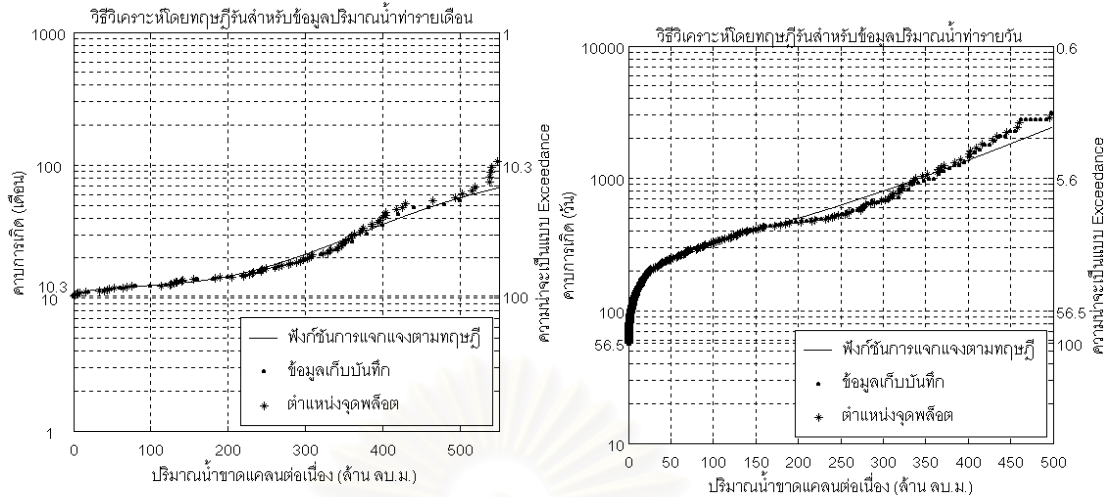
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



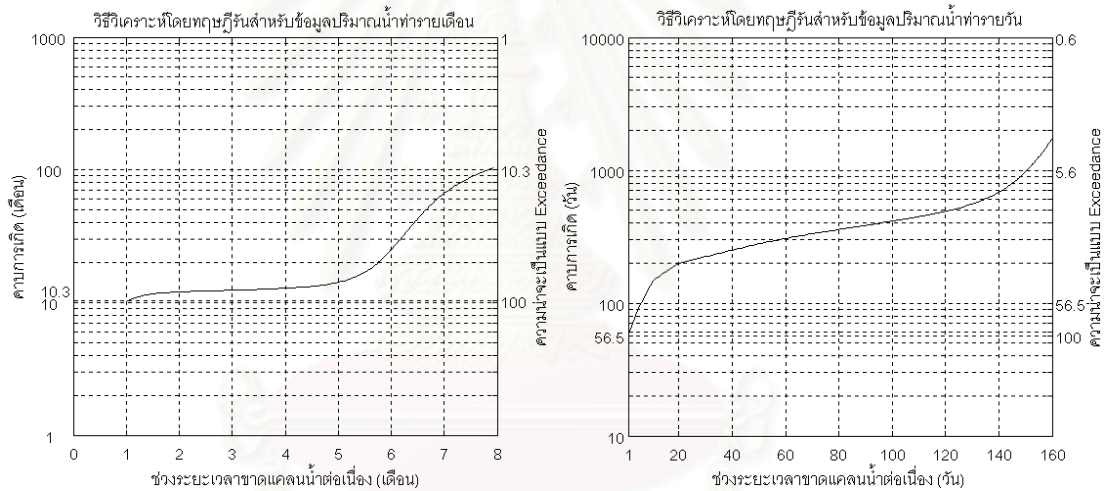
รูปที่ 4.48 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลา น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน



รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับค่าการเกิด กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน



รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องกับค่าการเกิด กำหนดระดับการใช้น้ำคงที่ 70% ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนและรายวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3.2 การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้รองรับกับความต้องการน้ำที่กำหนดขึ้นได้

การประเมินขนาดความจุอ่างเก็บน้ำ มีอยู่หลายวิธีการ (McMahon และ Arenas (1982)) โดยวิธีที่วิเคราะห์สัมพันธของสภาพการไหลต่ำกว่าค่าความน่าจะเป็น คือ วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา สามารถที่จะใช้ประเมินขนาดความจุอ่างเก็บน้ำได้เช่นกัน ขนาดความจุอ่างที่ประเมินโดยใช้วิธีการทั้ง 3 วิธีในการศึกษานี้ ใช้ผลการวิเคราะห์ที่คาบการเกิด 2 ปี และ 5 ปี ในการเปรียบเทียบ โดยในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา เลือกใช้เส้นกราฟที่คาบการเกิด 2 ปี และ 5 ปี ของรูปที่ 4.8 และ 4.18 ในการประเมินขนาดความจุอ่างเก็บน้ำ โดยทั้ง 2 รูปดังกล่าวสร้างจากฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 ซึ่งมีความเหมาะสมที่สุด ตามที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.14 และ 4.23

ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของพารามิเตอร์ความขาดแคลนที่คาบการเกิด 2 ปี และ 5 ปี ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด แสดงในรูปที่ 4.52 สำหรับวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา แสดงในรูปที่ 4.53 เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนและรายวัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.50 และรูปที่ 4.51 โดยผลสรุปการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 4.10

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่า วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน กรณีของข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน ให้ทั้งค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ทั้งนี้อธิบายได้ว่าในการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลรายวัน การเกิดเหตุการณ์แล้งช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วค้นกลางด้วยช่วงระยะเวลาที่ไม่แล้งจำนวนไม่กี่วัน จากนั้นจึงเกิดเหตุการณ์แล้งต่อเนื่องขึ้นอีก มีโอกาสที่เกิดขึ้นได้มาก ดังนั้นเหตุการณ์ที่น้ำจะมีระดับความรุนแรงสูงจึงกลับกลายเป็นความแห้งแล้งขนาดเล็กลง การวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวจึงทำให้การประเมินขนาดเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ และช่วงระยะเวลาที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะลดลงจนต่ำสุด ได้ค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

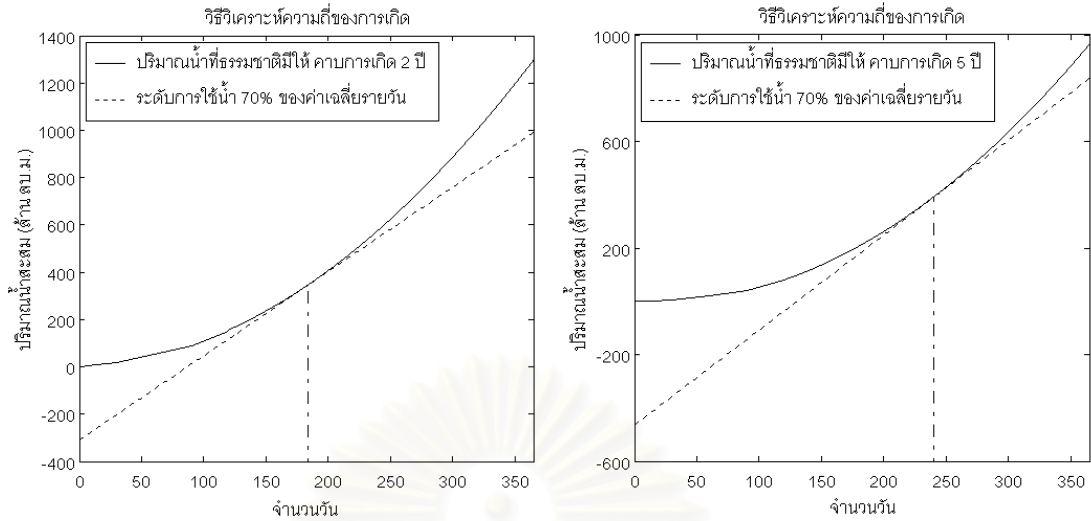
สำหรับกรณีวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ให้ค่าปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL อยู่ในเกณฑ์สูง ทั้งนี้เพราะวิธีการนี้จัดเรียงข้อมูลในช่วง 1 ปีตามลำดับจากมากไปหาน้อย การวิเคราะห์ดังเช่นรูปที่ 4.53 จึงเสมือนว่าปริมาณน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นต่อเนื่องกันโดยตลอด แต่ในความเป็นจริง ช่วงเวลาที่ลำน้ำเริ่มฟื้นจากช่วงสภาพการไหลต่ำ คือเริ่มมีฝนตกในลุ่มน้ำบ้าง ถือได้ว่าปริมาณน้ำดังกล่าวมีส่วนช่วยบรรเทาความแห้งแล้งลงได้ส่วนหนึ่งแล้ว ดังนั้นในวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ค่าพารามิเตอร์ความแห้งแล้งที่ได้จากการวิเคราะห์จึงอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันกรณีของข้อมูลรายเดือน เมื่อเปรียบเทียบกัน พบว่า ให้ค่าที่อยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน ในแง่หลักการวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์

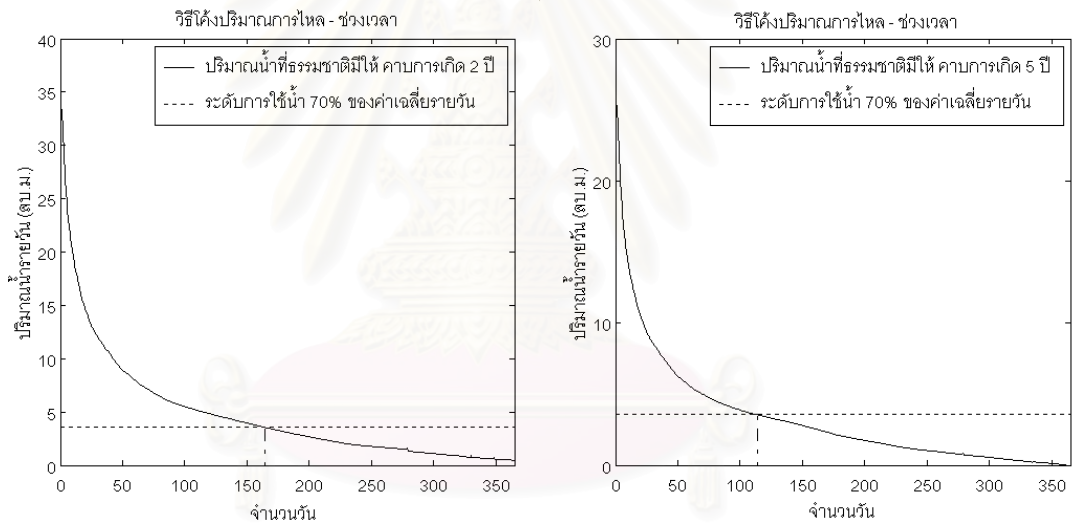
ความถี่ของการเกิดมีแนวความคิดการจัดเรียงข้อมูลคล้ายกับวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลาดังนั้นโดยหลักการแล้ว วิธีการวิเคราะห์หึ่งค่อนข้างเป็นการประมาณ ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน มีแนวความคิดในการวิเคราะห์ที่มีหลักการชัดเจนกว่า โดยการวิเคราะห์ในกรณีของข้อมูลรายเดือน ปัญหาการเกิดเหตุการณ์ที่ไม่แล้้งคั่นกลางเหตุการณ์ ความแห้งแล้ง 2 เหตุการณ์จะไม่มีผลกระทบเหมือนในกรณีของข้อมูลรายวัน ประกอบกับวิธีการนี้สามารถกำหนดระดับการใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำให้เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนได้ ดังนั้นโดยสรุปแล้ว การศึกษานี้จึงเสนอให้ใช้วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนในการประเมินหาขนาดอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.52 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ ต่อเนื่องโดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด



รูปที่ 4.53 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำ ต่อเนื่องโดยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

สำนักงานวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่คาบการเกิด 2 ปี และ 5 ปี

วิธีวิเคราะห์	คาบการเกิด 2 ปี		คาบการเกิด 5 ปี	
	ds (ล้าน ลบ.ม.)	dl (วัน)	ds (ล้าน ลบ.ม.)	dl (วัน)
ความถี่ของการเกิด	309.34	183	464.48	240
โค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา	372.85	201	543.82	251
ทฤษฎีวัน โดยใช้ข้อมูลรายเดือน	324.02	181	514.82	209
ทฤษฎีวัน โดยใช้ข้อมูลรายวัน	281.44	142	450.20	161

หมายเหตุ : ds แทนปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ปริมาตรน้ำที่ต้องเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ เพื่อรองรับระดับการใช้น้ำที่กำหนด)

dl แทนช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (ช่วงระยะเวลาที่น้ำในอ่างเก็บน้ำลดระดับลงจนถึงระดับต่ำสุด)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3.3 การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินปริมาณน้ำที่สามารถส่งให้กับโครงการในกรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ

ในกรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่สามารถส่งให้กับโครงการได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในลำน้ำ โดยเฉพาะในช่วงสภาพการไหลต่ำ ซึ่งระดับน้ำลดลงต่ำสุดในรอบปี เป็นช่วงที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำได้มากที่สุด การกำหนดระดับการใช้น้ำในกรณีนี้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้ เนื่องจากหากปริมาณการไหลในลำน้ำต่ำ แม้จะมีความต้องการน้ำมากก็ไม่สามารถหาน้ำได้ อาจต้องหาน้ำจากแหล่งอื่นทดแทน เช่น น้ำบาดาล หรือสูบน้ำจากจุดอื่นในลำน้ำที่มีน้ำมากกว่า ซึ่งในกรณีที่โครงการใช้น้ำจากลำน้ำเพียงอย่างเดียวไม่มีการสูบน้ำจากแหล่งอื่น ๆ เสริม เช่น โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำโดยไม่มีอ่างเก็บน้ำ สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือ ปริมาณน้ำขั้นต่ำที่ได้จากลำน้ำมีเท่าใด และมีโอกาสที่จะต่ำกว่าเกณฑ์ดังกล่าวด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่าใดภายในช่วงระยะเวลาดำเนินโครงการ วิธีวิเคราะห์คาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตอบคำถามดังกล่าวได้ โดย แต่ละวิธีมีแนวทางการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ประยุกต์ใช้ด้วยผลการศึกษารูปที่ 4.8 – 4.10 โดยการเลือกเส้นกราฟจำนวนวันสูงสุดที่ยอมให้ขาดน้ำติดต่อกัน พร้อมทั้งเลือกค่าคาบการเกิด (ความน่าจะเป็น) ที่ยอมรับได้ จะได้ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดของลำน้ำที่สามารถนำไปใช้ในโครงการ เช่น จากรูปที่ 4.8 ถ้าโครงการยอมให้ขาดน้ำได้ไม่เกิน 1 วัน ด้วยคาบการเกิด 4 ปี (สมมติคาบการเกิดต่ำ เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำของสถานี P.1 ที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าใกล้ศูนย์ในช่วงคาบการเกิดสูง ๆ แต่ในการประยุกต์ใช้งานจริง คาบการเกิดที่เลือกใช้มักจะมีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าว) อ่านค่าจากเส้นกราฟจำนวนวันเฉลี่ย 1 วัน ได้ค่าปริมาณน้ำที่นำไปใช้ได้ในช่วงสภาพการไหลต่ำของสถานี P.1 เท่ากับ 0.049 ล้าน ลบ.ม./วัน

วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ใช้ผลการศึกษารูปที่ 4.15 – 4.20 เลือกคาบการเกิดที่ยอมรับได้ หากยอมให้ขาดน้ำได้ไม่เกิน 1 วัน ปริมาณน้ำรายวันที่ได้จากลำน้ำคือ ปริมาณน้ำที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 100% เช่น จากรูปที่ 4.15 เลือกคาบการเกิด 4 ปี จะได้ค่าปริมาณที่สามารถส่งให้กับโครงการเท่ากับ 0.032 ล้าน ลบ.ม./วัน

วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน เลือกวิเคราะห์ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน เนื่องจากสนใจช่วงเวลาขาดน้ำในระดับรายวัน การประเมินปริมาณน้ำสูงสุดที่ลำน้ำสามารถส่งได้โดยวิธีนี้ค่อนข้างทำได้ยากกว่า 2 วิธีแรก เนื่องจากวิธีนี้มีแนวความคิดที่จะวิเคราะห์คาบการเกิดในแง่ของความขาดแคลนน้ำ ซึ่งรวมผลความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำธรรมชาติกับความต้องการน้ำไว้ด้วยกันแล้ว แต่ประเด็นปัญหาในหัวข้อนี้ต้องการทราบเพียงปริมาณน้ำธรรมชาติต่ำสุดเท่านั้น อย่างไรก็ตาม

ทฤษฎีรันสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาดังกล่าวได้โดยวิธีสมมติค่าระดับการใช้น้ำ (ค่าปริมาณน้ำต่ำสุดของลำน้ำ) เพื่อให้ได้กราฟความสัมพันธ์ของช่วงระยะเวลา DL กับคาบการเกิด ดังเช่นในรูปที่ 4.51 จุดเริ่มต้นของเส้นกราฟคือคาบการเกิดของการขาดแคลนน้ำ เช่น ในรูปดังกล่าว กรณีของข้อมูลรายวัน ความขาดแคลนต่ำสุด คือ 1 วัน จะเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยทุก 57 วัน หากกำหนดคาบการเกิดที่ยอมรับได้เท่ากับ 4 ปี ต้องสมมติค่าระดับการใช้น้ำจนกว่าจะได้ช่วงระยะเวลา DL 1 วัน ตรงกับคาบการเกิด 4 ปีพอดี จึงจะได้คำตอบว่าปริมาณน้ำสูงสุดที่สูบได้จากลำน้ำคือค่าระดับการใช้น้ำดังกล่าวนั่นเอง

จะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีรันต้องผ่านกระบวนการสมมติค่าระดับการใช้น้ำ ซึ่งอาจต้องสมมติหลายครั้งจึงจะทราบค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่สูบได้จากลำน้ำ นอกจากนี้หากต้องการคำตอบที่คาบการเกิดสูง อาจต้องมีการต่อขยายข้อมูลให้ยาวขึ้นจึงจะสามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากในทฤษฎีรัน นิยามความหมายของคาบการเกิดว่าเป็นช่วงระยะเวลาที่ห่างกันโดยเฉลี่ยของเหตุการณ์ความแห้งแล้งซึ่งมีปริมาณน้ำ DS มากกว่าหรือเท่ากับค่าที่สนใจ ดังนั้นหากสนใจที่คาบการเกิดสูงมาก ต้องกำหนดค่าระดับการใช้น้ำให้ต่ำลง เพื่อให้ช่วงระยะเวลาที่ห่างกันของความแห้งแล้งแต่ละเหตุการณ์ยาวนาน ความยาวของข้อมูลที่ใช้จึงต้องมีความยาวมากด้วย จึงจะได้ค่าเฉลี่ยของช่วงระยะเวลาตามนิยามของคาบการเกิดที่มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งหากไม่สามารถต่อขยายข้อมูลให้ยาวขึ้นด้วยวิธีการที่เหมาะสมได้ การประยุกต์ใช้อาจต้องจำกัดเฉพาะในช่วงคาบการเกิดต่ำเท่านั้น

การศึกษานี้แนะนำให้ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด หรือวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถส่งจากลำน้ำไปใช้ในโครงการกรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ ซึ่งทั้ง 2 วิธีให้คำตอบที่ใกล้เคียงกัน และมีความเหมาะสมกว่าทฤษฎีรัน ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น

4.5.3.4 การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางการจัดการอ่างเก็บน้ำ

ในการจัดการอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้สามารถส่งน้ำแก่พื้นที่โครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการวางแผนการจัดการอย่างเหมาะสม โดยในปีต่าง ๆ ต้องมีการประเมินความต้องการใช้น้ำในแต่ละเดือน เพื่อวางแผนการจัดการ และหาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เหลือหลังสิ้นฤดูปีแล้ว การวางแผนในลักษณะดังกล่าว วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม โดยการประเมินปริมาณน้ำที่ต้องการปล่อยลงทำynnน้ำในเดือนต่าง ๆ ให้ครบทุกเดือนตลอดปี ได้เป็นระดับการใช้น้ำแบบคงที่ในระดับรายปี นำไปวิเคราะห์ที่ทฤษฎีรันควบคู่กับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตลอดช่วงเวลาเก็บบันทึกข้อมูล

จะทำให้ทราบว่าสำหรับแผนการปล่อยน้ำที่กำหนดขึ้น จะมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงเท่าใด และจะลดลงจนถึงระดับต่ำสุดภายในระยะเวลาที่เดือนที่ค่าความน่าจะเป็นต่าง ๆ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความเสี่ยง (วิธีการโดย Shiau และ Shen (2001)) จะทำให้ทราบด้วยว่าเดือนใดมีโอกาสเกิดการขาดแคลนน้ำด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่าใด ซึ่งโดยวิธีการดังกล่าว จะทำให้สามารถเลือกแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมได้

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาดังกล่าวได้โดยตรง เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์กรณีที่ระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 วิธีนี้อาจนำไปใช้ประกอบการพิจารณากำหนดปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยลงท้ายเขื่อน เช่น การกำหนดให้เหลือปริมาณน้ำในลำน้ำท้ายโครงการเท่ากับค่าปริมาณน้ำเฉลี่ย 7 วันต่ำสุดด้วยคาบการเกิด 10 ปี เพื่อระบายน้ำเสีย เป็นต้น เกณฑ์ที่ใช้กันทั่วไปในลักษณะดังกล่าว รวมถึงเกณฑ์ที่ประยุกต์ใช้ในแนวทางอื่น ๆ รวบรวมไว้ดังตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 แนวทางการกำหนดจำนวนวันเฉลี่ยและคาบการเกิด เพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

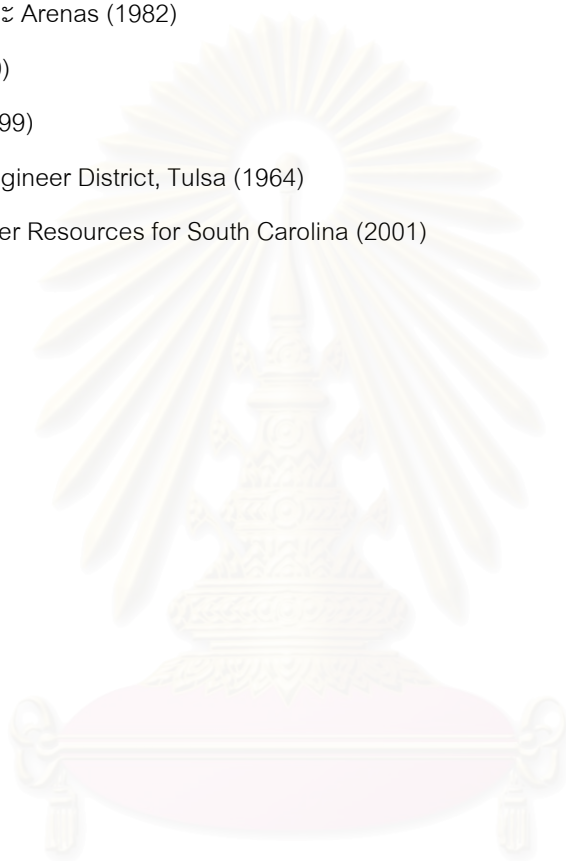
จำนวนวันเฉลี่ย (วัน)	คาบการเกิด (ปี)	การประยุกต์ใช้
1, 7	ช่วงระยะเวลาของโครงการ	ประเมินปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระดับรายวันและรายสัปดาห์ [9]
หลายเดือน	ช่วงระยะเวลาของโครงการ	ประเมินขนาดความจุอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานและอุปโภคบริโภค [9]
7	2	ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดปริมาณน้ำต่ำสุดที่ต้องมีในลำน้ำเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาน้ำเสีย [3, 6]
7	10	ปริมาณน้ำต่ำสุดในลำน้ำที่ต้องปล่อยทำเยื่อ เพื่อประโยชน์ในการอุปโภคบริโภค ต้านน้ำเค็ม ระบายน้ำเสียและใช้เป็นเกณฑ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย [2, 3, 4, 6, 10]
15	5	ใช้ในการประเมินขนาดพื้นที่ชลประทานที่สามารถส่งน้ำให้ได้ในช่วงฤดูแล้งกรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ [5]
30	2	ใช้เป็นเกณฑ์บ่งบอกว่าเริ่มเกิดความแห้งแล้งขึ้นในพื้นที่ และต้องเริ่มจำกัดการใช้น้ำ [2]
30	10	ปริมาณน้ำต่ำสุดในลำน้ำที่ต้องปล่อยทำเยื่อ เพื่อรักษาระบบนิเวศน์ใต้น้ำ [8]

ตารางที่ 4.12 แนวทางการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม เพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ โดยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)	การประยุกต์ใช้
10, 30	บ่งบอกช่วงระยะเวลาที่พื้นที่น้ำท่วม (Floodplain) จะถูกน้ำท่วมถึง [3]
20% ของปริมาณน้ำที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม = 50	ใช้เป็นเกณฑ์บ่งบอกว่าเริ่มเกิดความแห้งแล้งขึ้นในพื้นที่ และต้องเริ่มจำกัดการใช้น้ำ [10]
80	ใช้ในการประเมินขนาดพื้นที่ชลประทานที่สามารถส่งน้ำให้ได้ในช่วงฤดูแล้งกรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ [5]
90	เป็นค่าประเมินปริมาณน้ำจากแหล่งสะสมใต้ดินเดิมในลำน้ำ และใช้ในการประเมินศักยภาพของโรงไฟฟ้าที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ [6, 7]
90, 95, 99	บ่งบอกสภาพการไหลต่ำ (เลือกใช้ค่าใดขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแต่ละลุ่มน้ำ) และใช้เป็นเกณฑ์การออกแบบโรงบำบัดน้ำเสีย [1, 3, 6, 7]

หมายเหตุ : รายการอ้างอิงตารางที่ 4.11 และ 4.12

- [1] Beran และ Gustard (1976)
- [2] Carter และ Putnam (1978)
- [3] Cordon (1992)
- [4] Kauffman, Wollaston และ Talley (1999)
- [5] Mario (1989)
- [6] McMahon และ Arenas (1982)
- [7] Searcy (1959)
- [8] Takeuchi (1999)
- [9] U.S. Army Engineer District, Tulsa (1964)
- [10] U.S.G.S. Water Resources for South Carolina (2001)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์

ในการนำวิธีการวิเคราะห์คาบการเกิดในการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องทราบพื้นฐานแนวความคิด ข้อเด่นข้อด้อยและข้อจำกัดต่าง ๆ ของแต่ละวิธีการให้ชัดเจน เพื่อว่าจะสามารถเลือกวิธีการที่เหมาะสมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามวัตถุประสงค์ ในบทนี้จึงได้เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี โดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบตั้งแต่สมมติฐาน การวิเคราะห์ และการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งรายละเอียดของการเปรียบเทียบมีดังนี้ (สรุปในตารางที่ 5.1)

5.1 นิยามความแห้งแล้ง

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ 3 วิธีในการศึกษานี้ วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ใช้นิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา เนื่องจากทั้ง 2 วิธีใช้เพียงข้อมูลด้านน้ำที่ธรรมชาติมีให้มาวิเคราะห์เท่านั้น โดยมีได้ให้ความสนใจในเรื่องของความต้องการใช้น้ำ ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน ใช้นิยามความแห้งแล้งร่วมกันระหว่างนิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา และนิยามความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม เนื่องจากเกี่ยวข้องกับทั้งปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้ และความต้องการใช้น้ำ

5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลเริ่มต้นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ ในการศึกษานี้ ล้วนเป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งสิ้น การเปรียบเทียบจะมุ่งเน้นในประเด็นที่ว่าข้อมูลชนิดรายวัน รายเดือน หรือรายปี ที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ และต้องมีความยาวของข้อมูลมากน้อยเพียงใด

5.2.1 ชนิดของข้อมูล

ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดสำหรับกรณีสภาพการไหลต่ำ จะต้องคัดเลือกข้อมูลรายวันต่ำสุดประจำปีมาใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นการวิเคราะห์ ซึ่งจะใช้กันติดต่อกันในแต่ละปีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่ประยุกต์ใช้เป็นหลัก แต่ในเบื้องต้นแล้วข้อมูลที่นำมาใช้จะต้องเป็นข้อมูลรายวันจึงจะสามารถวิเคราะห์ได้ ขณะที่วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลาโดยปกติจะใช้

ข้อมูลรายวันในการวิเคราะห์ แม้ว่าข้อมูลรายเดือนและรายปีจะสามารถใช้ได้เช่นกัน แต่เมื่อแปลงหน่วยของปริมาณน้ำให้เป็นค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาแล้ว จะพบว่าข้อมูลรายเดือนและรายปีแสดงให้เห็นความผันแปรของเส้นกราฟน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อมูลรายวันจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ เมื่อนำวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมาประยุกต์ใช้สร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ จำเป็นต้องสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา แบบปีต่อปี ซึ่งถ้าใช้ข้อมูลรายเดือนจะมีจุดพล็อตเพียง 12 จุดเท่านั้น ไม่เพียงพอที่จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับสภาพการไหลของลำน้ำ ดังนั้นในวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา เมื่อประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเพื่อให้ได้เส้นโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ ต้องใช้ข้อมูลชนิดรายวันเท่านั้น สำหรับวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลรายวัน รายเดือน หรือรายปีก็ได้ ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของวิธีการ ขึ้นอยู่กับประเด็นปัญหาเป็นสำคัญ เนื่องจากคาบการเกิดที่ได้จะมีหน่วยเป็นวัน เดือน หรือปี ขึ้นกับชนิดของข้อมูลเริ่มต้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้ต้องพิจารณาความเหมาะสมของหน่วยเวลาด้วย

5.2.2 ความยาวของข้อมูล

ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดซึ่งต้องมีการคัดเลือกข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลในแต่ละปี จะต้องมีจำนวนปีของข้อมูลเพียงพอที่จะใช้ในการสร้างเส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นให้ครอบคลุมช่วงที่เกิดสภาพแล้งรุนแรงได้ โดยเป็นที่ยอมรับกันว่าหากมีจำนวนข้อมูลเพิ่มมากขึ้น จะสามารถสร้างเส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น เพื่ออธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำในบริเวณที่ศึกษาได้ใกล้เคียงสภาพธรรมชาติที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้นด้วย สำหรับวิธีการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ จำนวนปีของข้อมูลที่ต้องการจะเหมือนกับในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด เนื่องจากนำวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมาประยุกต์ใช้ ส่วนในทฤษฎีรัน ความยาวของข้อมูลไม่สามารถบอกได้แน่ชัด เนื่องจากผลการวิเคราะห์ไม่ได้ขึ้นกับชนิดของข้อมูลว่าเป็นปริมาณน้ำรายวัน รายเดือน หรือรายปี เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับเส้นระดับการใช้น้ำด้วยว่าจะทำให้เกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งขึ้นทั้งหมดก็เหตุการณ์ และแต่ละเหตุการณ์มีขนาดความแห้งแล้งรุนแรงเท่าใด

5.3 กระบวนการวิเคราะห์

แต่ละวิธีการมีขั้นตอนการวิเคราะห์แตกต่างกันไป การเปรียบเทียบกระบวนการวิเคราะห์ของแต่ละวิธีการแสดงดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

5.3.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์สำคัญในที่นี้ หมายถึงตัวแปรหรือชนิดของเหตุการณ์ที่สนใจ และต้องการทราบว่าเหตุการณ์นั้นเกิดขึ้นบ่อยครั้งเพียงใด ดังนั้นจึงต้องเอาค่าของพารามิเตอร์นั้นหลาย ๆ เหตุการณ์มาวิเคราะห์หาคาบการเกิด ในกรณีของวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด พารามิเตอร์สำคัญคือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดของจำนวนวันที่สนใจ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการสร้างตำแหน่งจุดพล็อตเพื่อคำนวณหาคาบการเกิด ขณะที่พารามิเตอร์สำคัญในการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา คือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน เนื่องจากเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างเส้นกราฟที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่คาบการเกิดต่าง ๆ สำหรับทฤษฎีรัน มีพารามิเตอร์สำคัญคือ ช่วงระยะเวลา DL และปริมาณน้ำ DS เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่สนใจว่าจะเกิดขึ้นโดยมีขนาดเท่าใด พารามิเตอร์แต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างไร รวมถึงมีโอกาสการเกิดขึ้นบ่อยครั้งเพียงใด

5.3.2 รูปแบบการวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดใช้วิธีการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นจากข้อมูลกับบันทึกเพื่อให้เป็นตัวแทนของจุดพล็อตที่คาบการเกิดต่าง ๆ ขณะที่วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ใช้วิธีการสร้างเส้นกราฟความถี่สะสมจากข้อมูลเก็บบันทึก แล้วนำค่าปริมาณน้ำที่ความถี่สะสมต่าง ๆ มาสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น เพื่อให้ได้โค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่มีความสัมพันธ์กับคาบการเกิด กล่าวได้ว่าทั้ง 2 วิธีอาศัยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Empirical

สำหรับทฤษฎีรันใช้หลักการของทฤษฎีความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งประกอบกันระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f_{DS|DL}$ กับฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น f_{DL} โดยฟังก์ชัน $f_{DS|DL}$ สร้างขึ้นโดยการประมาณค่าพารามิเตอร์การแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลเก็บบันทึกจริง ฟังก์ชัน f_{DL} มีสูตรการคำนวณแบบ Analytical (สมการที่ 3.42) เฉพาะเส้นระดับการใช้น้ำบางรูปแบบเท่านั้น ซึ่งการศึกษานี้ไม่แนะนำให้ใช้ เนื่องจากไม่สามารถบอกได้แน่ชัดว่าเส้นระดับการใช้น้ำรูปแบบใดบ้างที่ใช้สูตรดังกล่าวได้ ดังนั้นในวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน จึงอาศัยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Empirical เช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ

5.3.3 ชนิดของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสม

เนื่องจากพฤติกรรมของธรรมชาติ ที่เป็นประเด็นสำคัญของวิธีวิเคราะห์แต่ละวิธีแตกต่างกัน ชนิดของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ ย่อมจะแตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับ

ลักษณะเฉพาะของฟังก์ชัน ว่ามีความสอดคล้องสัมพันธ์กับพารามิเตอร์สำคัญของการวิเคราะห์ในแต่ละวิธีหรือไม่ ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ ทั้งกรณีที่มีข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำบางค่าเป็นศูนย์ และกรณีที่ไม่มีค่าศูนย์ ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ และฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 มีความเหมาะสมเฉพาะกรณีที่ไม่มีค่าปริมาณการไหลเป็นศูนย์เท่านั้น ขณะที่วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ซึ่งประยุกต์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการสร้างคาบการเกิด ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่มีความเหมาะสมคือ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 ซึ่งมีความเหมาะสมทั้งกรณีที่มีปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์ และกรณีที่ไม่มีค่าศูนย์ ส่วนฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ เหมาะสมเฉพาะกรณีที่ไม่มีข้อมูลการไหลเป็นศูนย์เท่านั้น สำหรับทฤษฎีรันฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่มีความเหมาะสมคือ ฟังก์ชันแกมมา ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำ DS ที่ช่วงระยะเวลา DL ที่กำหนด โดยฟังก์ชันที่ใช้ในการศึกษานี้คือฟังก์ชันหนึ่ง คือ ฟังก์ชันยี่อเมตริก ไม่ถือว่ามีความเหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถใช้ได้กับเส้นระดับการใช้น้ำทุกรูปแบบ อีกทั้งไม่สามารถระบุได้ว่า ลักษณะเส้นระดับการใช้น้ำรูปแบบใดบ้างที่ใช้ฟังก์ชันดังกล่าวได้

5.3.4 รูปแบบของความน่าจะเป็นที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดพล็อต

ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด จะจัดเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามากเพื่อสร้างตำแหน่งจุดพล็อตความน่าจะเป็นแบบ Non-Exceedance เช่นเดียวกับในวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ซึ่งใช้ความน่าจะเป็นแบบ Non-Exceedance ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดด้วยเช่นกัน ขณะที่ทฤษฎีรันสร้างตำแหน่งจุดพล็อตความน่าจะเป็นแบบ Exceedance สาเหตุที่วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดและวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ใช้รูปแบบของความน่าจะเป็นแตกต่างจากทฤษฎีรัน เนื่องจากใน 2 วิธีแรกต้องการทราบค่าปริมาณน้ำในด้านต่ำสุด ขณะที่ทฤษฎีรันต้องการทราบค่าความขาดแคลนในด้านสูงสุดนั่นเอง

5.3.5 การแบ่งช่วงปีน้ำ

จากผลการศึกษาในบทที่ 4 พบว่าวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดควรจะแบ่งช่วงปีน้ำโดยตัดแบ่งที่ช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่าแทนที่จะใช้ข้อมูลที่ตัดแบ่งในช่วงสภาพการไหลต่ำ เพื่อให้ในช่วงเวลา 1 ปีของข้อมูล มีช่วงสภาพการไหลต่ำเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องยาวนานที่สุด ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. เปรียบเทียบกับช่วงปีน้ำปกติ วันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. พบว่าช่วงปีน้ำแบบแรกให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากกว่า ส่วนการวิเคราะห์โดยวิธีโค้งปริมาณ

การไหล – ช่วงเวลา กลับให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ การแบ่งช่วงปีน้ำที่แตกต่างกัน ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของผลการวิเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการแบ่งปีน้ำในการวิเคราะห์จะเลือกใช้แบบใดก็ได้ และสำหรับกรวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันไม่จำเป็นต้องมีการช่วงแบ่งปีน้ำ เนื่องจากข้อมูลทุกตัวตลอดช่วงความยาวของข้อมูล จะถูกนำมาเรียงต่อกัน เพื่อคำนวณหาพารามิเตอร์สำคัญ 2 ตัว คือ ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลา น้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่เกิดขึ้นจากเส้นระดับการใช้ น้ำเส้นหนึ่ง

5.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นกับคาบการเกิด

ความน่าจะเป็นกับคาบการเกิด สำหรับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สัมพันธ์กันโดย คาบการเกิดเป็นส่วนกลับของความน่าจะเป็น ดังสมการ $F = 1/T$ ซึ่งเป็นสมการที่รู้จักกันดีเนื่องจากใช้วิเคราะห์กันโดยทั่วไป แต่ในกรณีของทฤษฎีรันความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการที่ (3.55) คือ $E(T_{ds}) = (1/P_{DW} + 1/P_{WD}) / (1 - F_{DS}(ds))$ เหตุที่ความสัมพันธ์ระหว่างคาบการเกิดกับความน่าจะเป็นของวิธีวิเคราะห์ 2 วิธีแรกแตกต่างจากทฤษฎีรัน เนื่องจากในการวิเคราะห์โดย 2 วิธีแรก ข้อมูลที่นำมาสร้างตำแหน่งจุดพล็อตคือข้อมูลปริมาณน้ำท่า ซึ่งเป็นตัวแทนประจำปี คือใน 1 ปีเลือกมา 1 ค่า ดังนั้นถือได้ว่าระยะเวลาที่ห่างกันของแต่ละเหตุการณ์คือ 1 ปีเท่ากันสำหรับข้อมูลทุกตัว ขณะที่ทฤษฎีรัน ระยะเวลาที่ห่างกันของปริมาณน้ำ DS แต่ละเหตุการณ์ (Interarrival Time) ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับให้เป็นค่าเฉลี่ย $E(L)$

5.3.7 การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

ในการศึกษาใช้เฉพาะวิธีไคสแควร์ในการทดสอบ โดยทั่วไปแล้ววิธีการทดสอบเหมือนกันในทุกวิธีวิเคราะห์ แต่สิ่งหนึ่งซึ่งเป็นแนวคิดที่แตกต่างกันคือ วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดกับวิธีโค้งปริมาณการไหลช่วงเวลา ข้อมูลเก็บบันทึกทุกตัวมีส่วนในการกำหนดลักษณะของเส้นกราฟฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยปกติจึงทดสอบไคสแควร์กับข้อมูลจุดพล็อตทุกตัว ขณะที่ทฤษฎีรันอาจไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ เนื่องจากความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ DS กับคาบการเกิดที่สร้างโดยหลักการความน่าจะเป็นร่วม ต้องมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β ที่ช่วงระยะเวลา DL ค่าต่าง ๆ เพื่อนำไปสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $f_{DS|DL}$ ซึ่งในการประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β ที่ช่วงระยะเวลา DL สูงมักจะมีปริมาณน้ำ DS ที่สอดคล้องกันอยู่เพียง 1 - 2 ค่า ไม่เพียงพอสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว เป็นผลให้ที่คาบการเกิดสูง ๆ เส้นกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิดจะ

ค่อนข้างคลาดเคลื่อนจากจุดพล็อตมาก ดังนั้นหากทดสอบความเหมาะสมตลอดช่วงความยาวข้อมูล ผลการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรีนจะไม่สามารถผ่านการทดสอบได้อย่างแน่นอน การทดสอบจึงควรเลือกเฉพาะในช่วงที่จะใช้งานเท่านั้น

5.3.8 หน่วยของคาบการเกิด

คาบการเกิดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา มีหน่วยเป็นปี เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาสร้างตำแหน่งจุดพล็อตคือค่าตัวแทนประจำปี โอกาสการเกิดของตำแหน่งจุดพล็อตแต่ละตัวจึงนับระยะเวลาเป็นปีด้วย ขณะที่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรีน คาบการเกิดที่ได้จะมีหน่วยเดียวกับข้อมูลเริ่มต้นที่น่ามาวิเคราะห์ เช่น ถ้าใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันเป็นข้อมูลเริ่มต้น คาบการเกิดจะมีหน่วยเป็นวันด้วยเช่นกัน

5.3.9 ขอบเขตของคาบการเกิดที่เข้ากันได้กับข้อมูลจุดพล็อต

ในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดและวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา เส้นกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิดสามารถใช้งานได้ในช่วงคาบการเกิดเกินไปจากตำแหน่งจุดพล็อต หากเส้นกราฟและจุดพล็อตมีความเข้ากันได้ดีพอจากการสังเกตด้วยสายตา และผ่านการทดสอบทางสถิติ แต่สำหรับทฤษฎีรีน หากวิเคราะห์โดยไม่มี การต่อขยายข้อมูล ความคลาดเคลื่อนของเส้นกราฟจะมีค่อนข้างมากในช่วงคาบการเกิดสูง ๆ ซึ่งสาเหตุเกิดจากข้อจำกัดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β ดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 5.3.7 ดังนั้นในช่วงคาบการเกิดสูง ๆ ผลการวิเคราะห์จะไม่มีที่น่าเชื่อถือ และไม่สามารถประยุกต์ใช้เส้นกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด เกินกว่าขอบเขตของตำแหน่งจุดพล็อตได้

5.3.10 พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมในการประยุกต์ใช้

พารามิเตอร์ในที่นี้คือค่าที่แปรเปลี่ยนไปได้ตามชนิดของงานศึกษาออกแบบ ซึ่งผู้วิเคราะห์ต้องพิจารณาเลือกให้เหมาะสม จึงจะสามารถออกแบบได้ใกล้เคียงความเป็นจริงและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานมากที่สุด โดยในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดพารามิเตอร์ดังกล่าวคือจำนวนวันเฉลี่ยของปริมาณน้ำต่ำสุด จำนวนวันเฉลี่ยที่เลือกใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของงานศึกษาออกแบบโดยไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ สำหรับวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ให้เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาค่าปริมาณการไหลที่จะใช้ในการศึกษาออกแบบ ส่วนทฤษฎีรีนใช้เส้นระดับการใช้น้ำเป็นเกณฑ์ในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ความขาดแคลนนํ้าต่อเนื่องกับคาบการเกิด

5.4 ผลการศึกษา

5.4.1 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมีความง่ายในการวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีการนี้สามารถทำได้โดยไม่ซับซ้อน จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย มีเอกสารอ้างอิงถึงวิธีการวิเคราะห์นี้อย่างเพียงพอ อีกทั้งไม่จำเป็นต้องมีความยาวข้อมูลเก็บบันทึกมากนัก ก็สามารถวิเคราะห์ได้ วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด สามารถใช้ทำนายหรือออกแบบที่ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด ในช่วงคาบการเกิดสูง ๆ นอกขอบเขตของจุดพล็อตออกไปได้ ซึ่งถือเป็นข้อดีมากสำหรับกรณีที่มีความยาวของข้อมูลไม่มากนัก

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด อธิบายโอกาสการเกิดในแง่ของปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้เพียงด้านเดียว การวิเคราะห์ไม่ได้มีเรื่องของความต้องการนำมาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้ไม่สามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ด้านได้อย่างชัดเจน และในกรณีที่ความยาวข้อมูลน้อย ความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์จะต่ำ ยิ่งถ้าข้อมูลไม่ครอบคลุมถึงช่วงปีที่แห้งแล้งมาก โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนจะยิ่งมีสูง

5.4.2 วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา จะมีความคล้ายคลึงกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด คือแนวคิดไม่ซับซ้อน และมีการศึกษากันมานาน และการที่สามารถประยุกต์วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดในการสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาที่คาบการเกิดต่าง ๆ ได้ ทำให้มีทางเลือกในการวิเคราะห์มากขึ้น นอกจากนี้วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานในลักษณะเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด รวมทั้งมีวิธีการนำไปประยุกต์ใช้คล้ายกัน ต่างกันเพียงพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ซึ่งในวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ต้องพิจารณาเลือกใช้ค่าปริมาณน้ำที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่เหมาะสม ขณะที่วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ต้องเลือกใช้จำนวนวันเฉลี่ยของค่าปริมาณน้ำต่ำสุดให้เหมาะสม

วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา มีขั้นตอนการวิเคราะห์ค่อนข้างยาว แม้ว่าจะไม่ซับซ้อนมากนักก็ตาม เนื่องจากต้องสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลาของข้อมูลแต่ละปี เพื่อนำไปวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด แล้วนำกลับมาสร้างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา ที่คาบการเกิดต่าง ๆ อีกครั้ง นอกจากนี้เนื่องจากวิธีการนี้ประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ดังนั้นหากความยาวข้อมูลไม่มากนักและไม่ครอบคลุมช่วงปีที่แห้งแล้งมาก ผลการวิเคราะห์ย่อมจะมีความน่าเชื่อถือต่ำด้วยเช่นกัน

5.4.3 วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน

การวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน สามารถกำหนดระดับการใช้น้ำให้เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ตามต้องการ อีกทั้งยังให้คำตอบเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้ กับความต้องการใช้น้ำได้อย่างชัดเจน แต่วิธีการนี้มีการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อน แม้ว่าจะมีการศึกษาวิจัยมานานแล้ว แต่กลับเพิ่งคิดค้นวิธีวิเคราะห์ที่สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สำคัญ 2 ตัว คือ ช่วงระยะเวลา DL และปริมาณน้ำ DS ได้เมื่อไม่นานนี้ ทำให้แหล่งค้นคว้าอ้างอิงมีไม่มากนัก นอกจากนี้ทฤษฎีรันยังต้องการข้อมูลช่วงยาวในการวิเคราะห์ และหากต้องการทราบคาบการเกิดของเหตุการณ์ในช่วงที่เกินกว่าข้อมูลจุดพล็อต จำเป็นต้องวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลต่อขยายให้มีความยาวของข้อมูลจำนวนมากขึ้น

5.5 การประยุกต์ใช้

ในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานจริง สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ ต้องการการวิเคราะห์ที่สัมพันธ์กับระดับการใช้น้ำมากน้อยเพียงใด หากต้องการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ธรรมชาติมีให้ กับระดับการใช้น้ำเพียงคร่าว ๆ วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดกับวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ แต่หากต้องการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ด้านโดยละเอียด วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันจะสามารถประยุกต์ใช้ได้ อย่างเหมาะสมกว่า

5.6 ข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ เป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์เฉพาะในด้านน้ำที่ธรรมชาติมีให้เท่านั้น ในกรณีที่งานศึกษาออกแบบต้องการการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับระดับการใช้น้ำ ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องพิจารณาเพิ่มเติมเอง

สำหรับทฤษฎีรัน มีข้อจำกัดคือ แม้ว่าทฤษฎีรันจะสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับระดับการใช้น้ำ โดยกำหนดระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ แต่หากความยาวของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ไม่มากพอที่จะให้ผลการวิเคราะห์ คือ ปริมาณน้ำ DS ในช่วงคาบการเกิดที่สูงมากพอครอบคลุมช่วงที่ต้องการทราบ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการต่อขยายข้อมูลให้ยาวขึ้น

5.7 แนวทางการเลือกใช่วิธีวิเคราะห์

5.7.1 การประเมินขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ

วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน มีความเหมาะสมที่สุด โดยคำตอบที่ได้จากวิธีดังกล่าวกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันสามารถกำหนดระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้น้ำจริงในแต่ละเดือนได้ จึงมีข้อได้เปรียบกว่า สำหรับวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา และวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันกรณีของข้อมูลปริมาณน้ำรายวัน ไม่แนะนำให้ใช้ตามเหตุผลที่อธิบายในหัวข้อ 4.4.3.2

5.7.2 การประเมินปริมาณน้ำที่ส่งให้โครงการได้ กรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา เป็นวิธีที่แนะนำให้ใช้ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้ในกรณีนี้ ต้องการประเมินปริมาณน้ำสูงสุดที่ธรรมชาติมีให้โดยไม่เกิดการขาดน้ำเกินระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งตรงกับหลักการของ 2 วิธีดังกล่าวมากกว่าการวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน เพราะทฤษฎีวันมุ่งเน้นในเรื่องโอกาสการเกิดของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับระดับการใช้น้ำ จึงไม่ได้ให้คำตอบในด้านปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้เพียงด้านเดียวโดยตรง

5.7.3 การจัดการอ่างเก็บน้ำ

วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ เพราะสามารถที่จะประเมินปริมาณน้ำและช่วงระยะเวลาที่น้ำในอ่างเก็บน้ำลดระดับลงเนื่องจากแผนการปล่อยน้ำที่กำหนด ทำให้เลือกแผนการปล่อยน้ำได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น ขณะที่วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดและวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลาไม่แนะนำให้นำมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ระดับการที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนได้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า

การเปรียบเทียบ	วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด	วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา	วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน
1. นิยามความแห้งแล้ง	ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา	ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา	ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยาและ ความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม
2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ - ชนิดของข้อมูล - ความยาวของข้อมูล	ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ยาวครอบคลุมช่วงที่เกิดสภาพแล้งจัด	ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ยาวครอบคลุมช่วงที่เกิดสภาพแล้งจัด	ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน รายเดือน หรือรายปีก็ได้ ไม่สามารถระบุได้แน่ชัด ขึ้นอยู่กับ เส้นระดับการใช้น้ำและคาบการเกิด (หรือระดับความเสี่ยง) ที่สนใจ
3. กระบวนการวิเคราะห์ - พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ใน การวิเคราะห์ - รูปแบบการวิเคราะห์ - ชนิดของฟังก์ชันการแจกแจง ความน่าจะเป็นที่เหมาะสม (กรณีที่ไม่มีข้อมูลเป็นศูนย์)	ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดของจำนวนวัน เฉลี่ยที่สนใจ ใช้หลักการของวิธี Empirical 1) ฟังก์ชันแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 2) ฟังก์ชันแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ 3) ฟังก์ชันแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3	ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน ใช้หลักการของวิธี Empirical 1) ฟังก์ชันแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 2) ฟังก์ชันแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์	ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง และปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ใช้หลักการของทั้งวิธี Empirical และ Analytical 1) ฟังก์ชันแบบย็อเมตริก (เฉพาะเส้นระดับ การใช้น้ำบางรูปแบบเท่านั้น) 2) ฟังก์ชันแบบแกมมา

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาคาบการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า (ต่อ)

การเปรียบเทียบ	วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด	วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา	วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน
<ul style="list-style-type: none"> - รูปแบบของความน่าจะเป็นที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดพล็อต - การแบ่งช่วงปีน้ำ - ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นกับคาบการเกิด - การทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยวิธีไคสแควร์ - หน่วยของคาบการเกิด - ขอบเขตของคาบการเกิดที่เข้ากันได้ดีกับจุดพล็อต - พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ 	<p>ความน่าจะเป็นแบบ Non - Exceedance</p> <p>แบ่งที่ช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่า</p> $F = 1/T$ <p>ทดสอบกับข้อมูลจุดพล็อตทุกค่า</p> <p>ปี</p> <p>ตลอดช่วงข้อมูลจุดพล็อต</p> <p>จำนวนวันเฉลี่ยของปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด</p>	<p>ความน่าจะเป็นแบบ Non - Exceedance</p> <p>แบ่งที่ได้ก็ได้ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์</p> $F = 1/T$ <p>ทดสอบกับข้อมูลจุดพล็อตทุกค่า</p> <p>ปี</p> <p>ตลอดช่วงข้อมูลจุดพล็อต</p> <p>เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม</p>	<p>ความน่าจะเป็นแบบ Exceedance</p> <p>ไม่มีการแบ่งช่วงปีน้ำในการวิเคราะห์</p> $E(T_{ds}) = (1/P_{DW} + 1/P_{WD}) / (1 - F_{DS}(ds))$ <p>อาจทดสอบกับข้อมูลจุดพล็อตเพียงบางช่วง</p> <p>ขึ้นอยู่กับหน่วยของข้อมูลเริ่มต้นที่ทำกรวิเคราะห์</p> <p>หากไม่มีการต่อขยายข้อมูล ฟังก์ชันการแจกแจงที่สร้างขึ้นจะเข้ากับข้อมูลจุดพล็อตได้ไม่ทั้งหมด</p> <p>เส้นระดับการใช้น้ำ</p>

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า (ต่อ)

การเปรียบเทียบ	วิธีวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิด	วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา	วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน
4. ผลการศึกษา			
- ข้อได้เปรียบในแง่ของการประยุกต์ใช้	<ol style="list-style-type: none"> 1) วิธีการวิเคราะห์ที่ไม่สลับซับซ้อน 2) วิธีการวิเคราะห์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเก็บบันทึกยาวมาก 3) สามารถใช้ทำนายสภาพน้ำในช่วงคาบการเกิดสูงเกินกว่าจุดพลัดได้ 4) เหมาะสำหรับงานที่ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา 	<ol style="list-style-type: none"> 1) วิธีการวิเคราะห์ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเก็บบันทึกยาวมาก 2) สามารถใช้ทำนายสภาพน้ำในช่วงคาบการเกิดสูงเกินกว่าจุดพลัดได้ 3) เหมาะสำหรับงานที่ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ระดับการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา 	<ol style="list-style-type: none"> 1) สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับความต้องการใช้น้ำได้ 2) กำหนดระดับการใช้น้ำให้เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ ทำให้วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น
- ข้อเสียเปรียบในแง่ของการประยุกต์ใช้	<ol style="list-style-type: none"> 1) หากความยาวข้อมูลไม่มากนัก ประกอบกับไม่ครอบคลุมช่วงปีที่แห้งแล้งจัด ความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์จะต่ำมาก 2) ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับความต้องการใช้น้ำได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่อนข้างยาวแม้จะไม่ซับซ้อน 2) หากความยาวข้อมูลไม่มากนัก ประกอบกับไม่ครอบคลุมช่วงปีที่แห้งแล้งมาก ความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์จะต่ำมาก 3) ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับความต้องการใช้น้ำได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ต้องการข้อมูลเก็บบันทึกค่อนข้างยาวมาก 2) วิธีการวิเคราะห์สลับซับซ้อน 3) หากต้องการทราบผลการวิเคราะห์ที่คาบการเกิดสูง ๆ อาจจำเป็นต้องมีการต่อขยายข้อมูลให้ยาวขึ้น

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเหตุการณ์ความแห้งแล้งด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า (ต่อ)

การเปรียบเทียบ	วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด	วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา	วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน
5. แนวทางการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์			
- การประเมินขนาดความจุอ่างเก็บน้ำ	ประยุกต์ใช้ได้	ประยุกต์ใช้ได้	ประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลรายเดือน (แนะนำให้ใช้)
- การประเมินปริมาณน้ำที่ส่งให้กับ โครงการได้ กรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ	ประยุกต์ใช้ได้ (แนะนำให้ใช้)	ประยุกต์ใช้ได้ (แนะนำให้ใช้)	ประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลรายวัน
- การจัดการอ่างเก็บน้ำ	ประยุกต์ใช้ไม่ได้	ประยุกต์ใช้ไม่ได้	ประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลรายเดือน (แนะนำให้ใช้)

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาโดยสรุปแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น คือ ความสำคัญของปัญหา และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแต่ละวิธีการ ดังนี้

6.1.1 ความสำคัญของปัญหา

ความแห้งแล้งเป็นปัญหาที่มีความสำคัญ และส่งผลโดยตรงต่อชีวิตและทรัพย์สิน การแก้ไขและบรรเทาปัญหาความแห้งแล้ง จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัย 2 อย่าง คือ น้ำที่ธรรมชาติมีให้ และความต้องการใช้น้ำ ว่ามีความสมดุลกันหรือไม่ โดยเฉพาะในด้านความต้องการใช้น้ำซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และวัตถุประสงค์การใช้ หากไม่วิเคราะห์อย่างละเอียดถี่ถ้วน ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในโครงการขึ้น การเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาที่มีความเหมาะสมจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาดังกล่าวลงได้

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งในงานอุทกวิทยา คือ วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา และวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน โดยทำการเปรียบเทียบแนวความคิด กระบวนการวิเคราะห์ และแนวทางการประยุกต์ใช้แต่ละวิธีการ เพื่อให้ผู้นำไปประยุกต์ใช้สามารถเลือกวิธีการนำไปใช้ในการศึกษาออกแบบได้อย่างเหมาะสมต่อไป

6.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบ

6.1.2.1 วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมีดังนี้

1. วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ทำการศึกษาโดยการเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 3 แบบคือ 1) ฟังก์ชันแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 2) ฟังก์ชันแบบล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ และ 3) ฟังก์ชันแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 ตรวจสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันแต่ละแบบด้วยวิธีไคสแควร์โดยมีจำนวนช่วงชั้นทดสอบ 5 8 และ 10 ช่วงชั้น พบว่าที่ช่วงจำนวนวันเฉลี่ยต่ำ ๆ ซึ่งมีปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์ ฟังก์ชันแบบล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 มีความ

เหมาะสมมากที่สุด แต่เมื่อช่วงจำนวนวันเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและไม่มีปริมาณการไหลเป็นศูนย์ ฟังก์ชันการแจกแจงทั้ง 3 แบบสามารถเข้ากับข้อมูลจุดพล็อตได้ดีพอ ๆ กัน

2. การแบ่งช่วงปีน้ำโดยตัดแบ่งที่ช่วงสภาพการไหลต่ำ คือปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่ถูกต้องในช่วงจำนวนวันเฉลี่ยสูง ๆ เนื่องจากค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดจะสูงกว่าความเป็นจริง ดังนั้นในการวิเคราะห์ควรใช้ปีน้ำที่ตัดแบ่งในช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่า คือปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.

3. วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเป็นวิธีที่ใช้นิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา ซึ่งมีมุมมองความแห้งแล้งในด้านน้ำที่ธรรมชาติมีให้ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องเป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน โดยมีความยาวของข้อมูลมากเพียงพอที่จะใช้สร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ที่อธิบายสภาพการไหลต่ำของลำน้ำได้ใกล้เคียงความเป็นจริง พารามิเตอร์สำคัญในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ คือ ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุดของจำนวนวันเฉลี่ยที่สนใจ โดยการนำพารามิเตอร์สำคัญนี้ มาจัดเรียงลำดับเพื่อสร้างตำแหน่งจุดพล็อตแบบ Non-Exceedance เพื่อสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งสัมพันธ์กับคาบการเกิดตามสมการ $F = 1/T$ คาบการเกิดที่ได้จะมีหน่วยเป็นปีเสมอ เนื่องจากพารามิเตอร์สำคัญของวิธีนี้เป็นตัวแทนของช่วงเวลา 1 ปี ในการนำไปประยุกต์ใช้ผู้ทำการศึกษาต้องเลือกจำนวนวันเฉลี่ยให้เหมาะสมกับงาน เช่น เลือกใช้ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 30 วันที่คาบการเกิด 2 ปี ในการเริ่มเตรียมการรับมือปัญหาภัยแล้งที่อาจเกิดขึ้น วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง แต่ทั้งนี้การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับระดับการใช้น้ำ เป็นสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องพิจารณาเพิ่มเติมเองในภายหลัง เนื่องจากวิธีการนี้ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าวได้

วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีกับการประเมินปริมาณน้ำที่สามารถส่งให้โครงการในช่วงที่เกิดสภาพการไหลต่ำกรณีที่ไม่อ่างเก็บน้ำ แต่การประยุกต์ใช้ในการประเมินขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ และการประยุกต์ใช้ในการจัดการอ่างเก็บน้ำ ไม่แนะนำให้ใช้ เนื่องจากจำเป็นต้องกำหนดระดับการใช้น้ำให้คงที่ ซึ่งเป็นสมมติฐานที่มักจะไม่สอดคล้องกับสภาพการใช้น้ำจริงในทางปฏิบัติ

6.1.2.2 วิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลามีดังนี้

1. วิธีโค้งปริมาณการไหลช่วงเวลาในการศึกษา นี้ ประยุกต์การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมาใช้ เพื่อให้สามารถแสดงผลในรูปของคาบการเกิดได้ โดยฟังก์ชันที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดได้แก่ 1) ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 2) ฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ และ 3) ฟังก์ชันแบบค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 ตรวจสอบความเหมาะสมของการแจกแจงโดยใช้วิธีไคสแควร์ จำนวน 5 8 และ 10 ช่วงชั้นทดสอบ พบว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมสูง ๆ ซึ่งมีปริมาณการไหลบางค่าเป็นศูนย์ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 มีความเหมาะสมมากที่สุด สำหรับที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ไม่มีค่าปริมาณการไหลเป็นศูนย์ ฟังก์ชันล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3 และฟังก์ชันล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์ มีความเหมาะสมดีใกล้เคียงกัน ขณะที่ฟังก์ชันค่าต่ำสุดประเภทที่ 3 ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่มีขีดจำกัดล่าง ไม่สามารถเข้ากันได้กับข้อมูลในช่วงปริมาณการไหลสูง ซึ่งไม่มีทั้งขีดจำกัดบนและล่าง

2. การแบ่งช่วงปีน้ำทั้งที่ตัดแบ่งที่ช่วงสภาพการไหลต่ำคือปีน้ำวันที่ 1 เม.ย. – 31 มี.ค. และที่ตัดแบ่งในช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่า คือปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. – 31 ส.ค. ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่ต่างกัน เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าทุกตัวในช่วงระยะเวลา 1 ปีได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทุกตัว มิได้คัดเลือกเพียงส่วนใดค่าหนึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลประจำปีดังเช่นในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ดังนั้นจะเลือกใช้ช่วงปีน้ำแบบใดในการวิเคราะห์ก็ได้

3. วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลาเป็นวิธีวิเคราะห์คาบการเกิดที่ใช้นิยามความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา เนื่องจากใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้ในการวิเคราะห์โดยไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำ ในกรณีที่มีการนำวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดมาประยุกต์ใช้ดังเช่นในการศึกษานี้ ข้อมูลเริ่มต้นในการวิเคราะห์ต้องเป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันเท่านั้น พารามิเตอร์สำคัญในวิธีนี้คือปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน เนื่องจากเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างเส้นโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่าง ๆ การเรียงลำดับของจุดพล็อตในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเป็นแบบ Non-Exceedance เช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างคาบการเกิดกับความน่าจะเป็นคือ $F=1/T$ คาบการเกิดที่ได้จากการวิเคราะห์มีหน่วยเป็นปี พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมในการประยุกต์ใช้วิธีการนี้คือ เปอร์เซ็นต์สะสมของเวลา เช่น ในการออกแบบขนาดพื้นที่โครงการชลประทานในบางประเทศใช้ค่าปริมาณการไหลที่ 80% ของเวลาเป็นเกณฑ์ เป็นต้น วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สามารถนำไปการประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลาย เช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด แต่ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้กับระดับการใช้น้ำ วิธีการนี้ไม่สามารถทำได้ จึงเป็นสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องพิจารณาประกอบเพิ่มเติมเองในภายหลัง

วิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประเมินความสามารถในการส่งน้ำให้โครงการกรณีที่ไม่อย่างเก็บน้ำ แต่ในการประเมินขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ ค่อนข้างที่จะให้ค่าในเกณฑ์สูงกว่าวิธีอื่น ๆ สำหรับการประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำ ไม่แนะนำให้ใช้วิธีการนี้ เนื่องจากระดับการใช้น้ำต้องกำหนดเป็นแบบคงที่เท่านั้น

6.1.2.3 วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวัน

สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีวันมีดังนี้

1. ในการศึกษาทำการเปรียบเทียบค่าการเกิดของปริมาณน้ำ DS และช่วงเวลา DL เฉลี่ยที่สัมพันธ์กัน ที่ระดับการใช้น้ำตั้งแต่ 50% - 150% ของค่าเฉลี่ยรายวันและรายเดือน ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อระดับการใช้น้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำ DS และช่วงระยะเวลา DL เฉลี่ย ที่ค่าการเกิดเดียวกันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งก็ตรงกับความเป็นจริงที่ว่า ยิ่งมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นโอกาสที่ขนาดแคลนน้าก็จะยังมีมากขึ้น

2. การวิเคราะห์ที่ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันเมื่อเปรียบเทียบกับรายเดือน จะเห็นได้ว่า ผลการวิเคราะห์ที่ได้แตกต่างกันไป โดยถ้าใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันในการวิเคราะห์ค่าการเกิดที่ได้จะมีหน่วยเป็นวัน และข้อมูลรายเดือนจะมีหน่วยเป็นเดือน

3. การทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงด้วยวิธีโคสแควร์ นำมาประยุกต์ใช้กับฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL และช่วงระยะเวลา WL สร้างจากสมการที่ (3.42) ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนและรายวัน โดยกำหนดให้เส้นระดับการใช้น้ำเป็นค่าเฉลี่ยของเดือนและวัน ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่ากรณีของข้อมูลรายเดือน ฟังก์ชันแบบยี่อเมตริกมีความเข้ากันกับข้อมูลการแจกแจงของช่วงระยะเวลา DL และช่วงระยะเวลา WL แต่กรณีของข้อมูลรายวันไม่มีความเหมาะสมมากนัก และเมื่อเปลี่ยนรูปแบบของเส้นระดับการใช้น้ำให้เป็นเส้นตรงคงที่ พบว่าไม่มีฟังก์ชันการแจกแจงใดที่มีความเหมาะสมสำหรับการอธิบายการกระจายตัวของช่วงระยะเวลา DL และช่วงระยะเวลา WL ทั้งกรณีของข้อมูลรายวันและรายเดือน

สำหรับการทดสอบความเหมาะสมของฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ของการเกิดของปริมาณน้ำ DS พบว่าหากใช้ค่าจริงของการแจกแจงช่วงระยะเวลา DL ในการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นรวม f_{DL} จะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ DS กับค่าการเกิดที่เข้ากับข้อมูลจุดพล็อตดีพอที่จะผ่านการทดสอบโคสแควร์ได้ทั้งข้อมูลรายเดือนและรายวัน ไม่ว่าจะกำหนดเส้นระดับการใช้น้ำเป็นแบบคงที่หรือเปลี่ยนแปลงตามเวลาก็ตาม

4. ทฤษฎีรันใช้นิยามความแห้งแล้งร่วมกันระหว่างความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยากับความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม เนื่องจากมีมุมมองทั้งในด้านปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้และความต้องการใช้น้ำ การวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีรันสามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลแบบรายวัน รายเดือน หรือรายปีก็ได้ และไม่มีข้อจำกัดว่าจะต้องเป็นระดับการใช้น้ำคงที่ ทฤษฎีรันจำเป็นต้องใช้ข้อมูลค่อนข้างยาวเมื่อเทียบกับวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ พารามิเตอร์สำคัญในวิธีนี้คือ ค่าปริมาณน้ำDS และช่วงระยะเวลา DL ซึ่งเป็นสิ่งที่สนใจว่ามีขนาดเท่าใด มีคาบการเกิดเท่าใดและพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างไร การวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันใช้หลักการของความน่าจะเป็นร่วมระหว่างปริมาณ DS และช่วงระยะเวลา DL ในการสร้างความสัมพันธ์กับคาบการเกิด โดยการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลา DL ควรใช้การแจกแจงของข้อมูลจริงแทนการประมาณค่าด้วยฟังก์ชันทางสถิติ ขณะที่การแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณ DS ได้จากฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำ DS ที่ช่วงระยะเวลา DL ที่กำหนดซึ่งสร้างจากฟังก์ชันแกมมา จุดพล็อตที่คาบการเกิดต่าง ๆ ในการวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน ใช้ค่าความน่าจะเป็นแบบ Exceedance โดยความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นกับคาบการเกิดเป็นไปตามสมการที่ (3.55) คือ $E(T_{ds}) = (1/P_{DW} + 1/P_{WD}) / (1 - F_{DS}(ds))$ ในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีรัน พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมในการศึกษาคือ เส้นระดับการใช้น้ำ เนื่องจากเป็นสิ่งที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ ทฤษฎีรันสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับงานศึกษาที่ต้องเกี่ยวข้องกับทั้งปริมาณน้ำที่ธรรมชาติมีให้และความต้องการใช้น้ำ

วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันด้วยข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในการประเมินขนาดเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ และการจัดการอ่างเก็บน้ำ ขณะที่การประเมินความสามารถในการส่งน้ำให้โครงการ กรณีที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำ วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรันด้วยข้อมูลรายวันสามารถให้คำตอบได้ แต่ขั้นตอนการวิเคราะห์ไม่มีความเหมาะสมมากนักในทางปฏิบัติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการดำเนินการศึกษาในขั้นต่อไป จึงขอเสนอแนะดังนี้

1. การแบ่งปีน้ำในกรณีของการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด ซึ่งได้สรุปไว้แล้วว่า ควรตัดแบ่งที่ช่วงขึ้นของกราฟน้ำท่า ซึ่งในกรณีของสถานีวัดน้ำ P.1 ช่วงปีน้ำวันที่ 1 ก.ย. - 31 ส.ค. มีความเหมาะสมที่สุด แต่ทั้งนี้หากศึกษาในกลุ่มน้ำใหญ่ซึ่งมีสถานีวัดน้ำหลายสถานี ช่วงปีน้ำที่เหมาะสมอาจไม่ใช่ช่วงดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาโดยประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษา

ใดก็ควรเลือกปีน้ำให้เหมาะสมด้วยวิธีการที่กล่าวถึงในการศึกษานี้ โดยพิจารณาข้อมูลหลาย ๆ สถานีในกลุ่มน้ำประกอบกัน

2. ในการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดและวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา สิ่งหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญมากและผู้ศึกษาควรจะได้พิจารณาเลือกให้ให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน คือ จำนวนวันเฉลี่ยในวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด และเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมในวิธีโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์

3. วิธีวิเคราะห์โดยทฤษฎีรัน เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ เพราะสามารถพิจารณาความแห้งแล้งจากสภาพธรรมชาติควบคู่ไปกับการใช้ความต้องการใช้น้ำได้ แต่วิธีนี้ค่อนข้างจะมีความสลับซับซ้อน ทั้งในแง่ของทฤษฎีที่ใช้และกระบวนการวิเคราะห์ ดังนั้นหากจะเลือกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัยหรือประยุกต์ใช้ ควรอย่างยิ่งที่จะศึกษาทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ทั้งวิธีการวิเคราะห์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ เพื่อจะสามารถทำการวิเคราะห์ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. สิ่งที่เป็นประเด็นสำคัญสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปจากการวิเคราะห์คาบการเกิด คือ เรื่องการพิจารณาความเสี่ยง ทั้งนี้เพราะในการศึกษาออกแบบโครงการ การประเมินความเสี่ยงเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณา เนื่องจากสภาพความแห้งแล้งรุนแรงกว่าขนาดที่ออกแบบไว้ อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงอายุของโครงการ ดังนั้นการศึกษารายละเอียดในแง่ของวิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยง และการประยุกต์ใช้ จึงเป็นสิ่งที่ควรจะได้ศึกษาต่อไป

5. เนื่องจากเส้นกราฟแสดงคาบการเกิดของปริมาณน้ำ DS ตามรูปที่ 4.38 – 4.41 มีลักษณะซ้อนไขว้กันในช่วงคาบการเกิดต่ำ ซึ่งหลักการนำการนำไปประยุกต์ใช้ของเส้นกราฟในช่วงดังกล่าวยังไม่มีความชัดเจนมากนัก เป็นประเด็นที่ควรจะได้มีการศึกษาต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

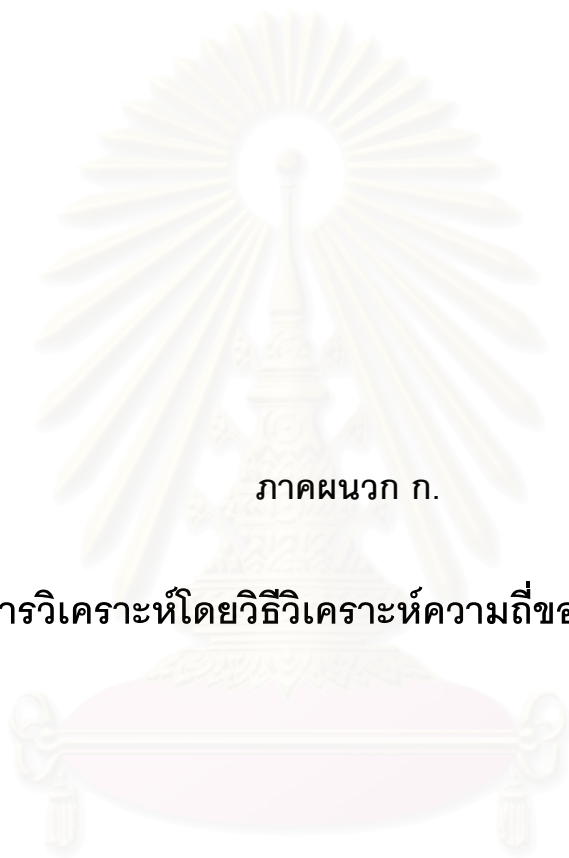
- การุณย์ อักกาณูจันวณิชย์. การวิเคราะห์การกระจายและแนวโน้มของฝนแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- ชลประทาน,กรม. การศึกษาความเหมาะสมและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการบรรเทาอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำ ลุ่มน้ำปิงตอนบน. รายงานฉบับสุดท้าย เล่มที่ 2: รายงานหลัก งานศึกษาความเหมาะสม, 2540.
- สงศรี พิทยารัตน์, มณฑา พัววิไล, สรชัย พิศาลบุตร และ สุชาดา กิระนันท์. หลักสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สุภารัตน์ คำปลิว. ขนาดและความถี่ของน้ำหลากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- วิชชุดา เลี่ยมสงวน. การใช้อนุกรมสูงสุดรายปีและอนุกรมสูงสุดบางส่วนในการวิเคราะห์ขนาดและความถี่น้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- อรรถพร พุทธपालิต. การศึกษาเกณฑ์การลดลงของน้ำท่าของแม่น้ำเจ้าพระยา. ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, 2543.

ภาษาอังกฤษ

- Beran, M.A., and Gustard, A. A Study into The Low – Flow Characteristics of British Rivers. Journal of Hydrology, 35(1977) : 147-157.
- Carter. R.F., and Putnam, S.A. Low Flow Frequency of Georgia Streams. U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 104(1978) : 77-127.
- Chow, V.T. Handbook of Applied Hydrology. New York : McGraw-Hill, Inc.,1964.
- Cordon, N.D. Stream Hydrology. London : John Willey & Sons, 1992.
- Fok, Y.S., and Miyasato, C.S. Low – Flow Frequency and Stochastic Analysis Analysis of Irrigation Ditch Flows for Central Maui, Hawaii Final Report. Resources Research Center. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. November, 1976.

- Foster, A. Theoretical Frequency Curves and Their Application to Engineering Problems. ASCE Transaction. Paper No.1532 : 143-203.
- Foster, A. Duration Curves. ASCE Transaction. Paper No.1885 : 1213-1267.
- Gupta, R.S. Hydrology & Hydraulic Systems. Prentice-Hall, Inc., 1989.
- Haan, C.T. Statistical Methods in Hydrology. 4th ed. Iowa : Iowa State University Press, 1986.
- Kauffman, G.J., Wollaston, M.W., and Talley, J.H., The Drought of 1999: The Efforts of the Governor's Water Supply Task Force in Delaware. Final Report Governor's Water Supply Task Force. December 1999.
- Kite, G.W. Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Colorado : Water Resources Publication, 1985.
- Mario, H.S. Low Flow Analysis for Irrigation Planning. AIT Thesis No. WA-89-20, 1989.
- Matalas, N.C. Probability Distribution of Low Flows. U.S.G.S. Professional Paper 434-A(1963).
- Mathier, L., Perreault, L., and Bobee, B. The Use of Geometric and Gamma – Related Distributions for Frequency Analysis of Water Deficit. Stochastic Hydrology and Hydraulics. 6(1992) : 239-254.
- McMahon, T.A. and Arenas, A. D. Methods of Computation of Low Streamflow. Unesco, 1982.
- Millan, J. and Yevjevich, V. Probability of Observed Droughts. Hydrology Papers. Colorado : Colorado State University, 1971.
- Millan, J. Statistical Properties of Runs as Applied to Hydrologic Droughts. Floods and Droughts. Colorado : Water Resources Publication, 1972.
- National Drought Mitigation Center. Understanding and Defining Drought[Online]. 1995. Available from: <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm#conceptual> [2002, June 25]
- Royal Irrigation Department (RID). Operation & Maintenance Manual. Mae Kuang Irrigated Agriculture Development Project Phase III. Ministry of Agriculture & Cooperative, Government of The Kingdom of Thailand., 1993.
- Riggs, H.C. Estimating Probability Distributions of Drought Flows. Water & Sewage Works. 112, No.5(1965) : 153-157.

- Searcy, J.K. Flow – Duration Curves. U.S.G.S. Water – Supply Paper. 1542-A(1959).
- Sen, Z. Statistical Analysis of Hydrologic Critical Droughts. Journal of Hydraulic Division, ASCE. 106, No.1 (1980a) : 99-115.
- Sen, Z. Critical Drought Analysis of Periodic – Stochastic Processes, Journal of Hydrology. 46(1980b) : 251-263.
- Shiau, J.T. and Shen, H.W. Recurrence Analysis of Hydrologic Droughts of Differing Severity. Journal of Water Resources Planning and Management. 127, No.1(2001) : 30-40.
- Sugiyama, H., Whitaker, A.C., Vudhivanich, V., Ngernprasertsri, S., and Lorsirirat, K. Extension of the Stochastic Flow Duration Curve to the Upper Reaches of Streams. Workshop on Sustainable Management of The Mae Klong River Basin, Thailand., 1999.
- Takeuchi, K. Technical Cooperation in Hydrology and Pump Irrigation in Thailand. Summary Report of Technical Cooperation in the Department of Energy Development and Promotion (DEDP), Thailand., 1999.
- U.S.Army Engineer District, Tulsa, Corps of Engineers. Technical Report No.1 Low – Flow Frequency Analysis. CW – 154. Tulsa, Oklahoma, 1964.
- U.S.G.S. Water Resources for South Carolina. Explanation of Duration Graphs[Online]. 2001. Available from: <http://sc.water.usgs.gov/duration.plots/duration.exp.html> [2002, July 20]
- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definitions. Water Int. 10, No.3(1985) : 111-120.
- Yevjevich, V. An Objective Approach to Definitions and Investigation of Continental Hydrologic Droughts. Hydrology Papers No.23. Colorado State University, 1967.
- Yevjevich, V. Probability and Statistics in Hydrology. 2nd Printing. Michigan : LithoCrafters, 1977
- Zelenhasic, E. and Salvai, A. A Method of Streamflow Drought Analysis. Water Resources Research. 23 No.1(1987) : 156-168.



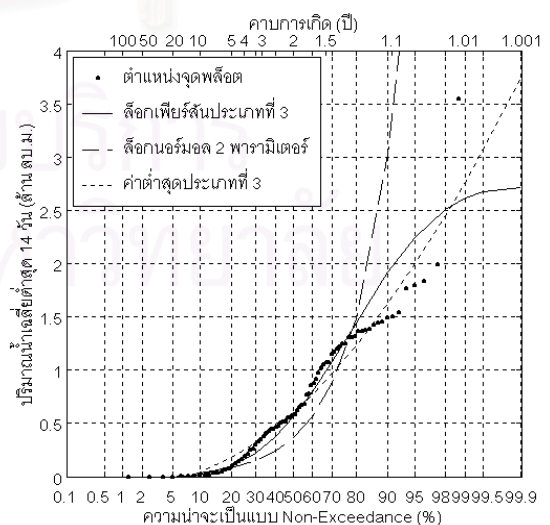
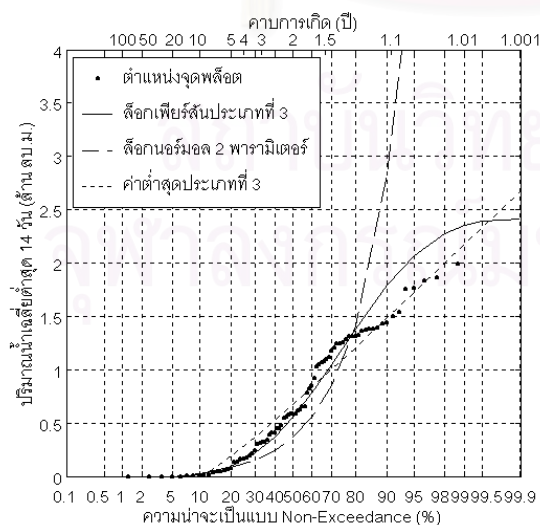
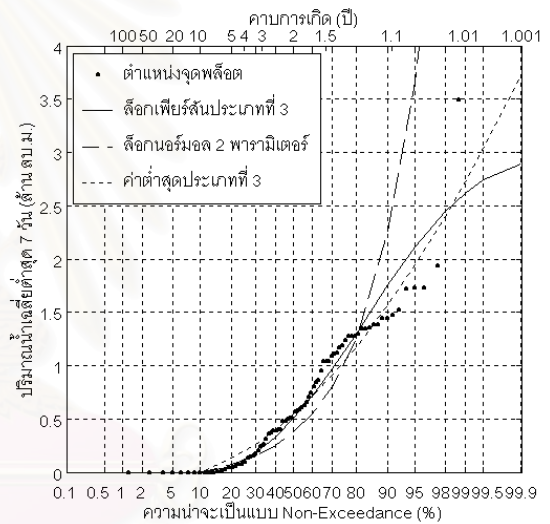
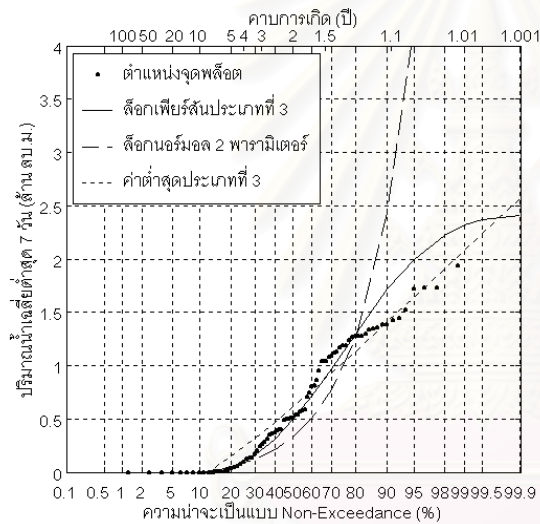
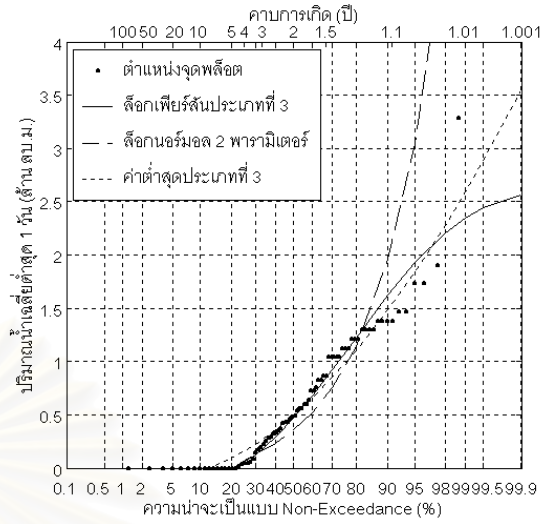
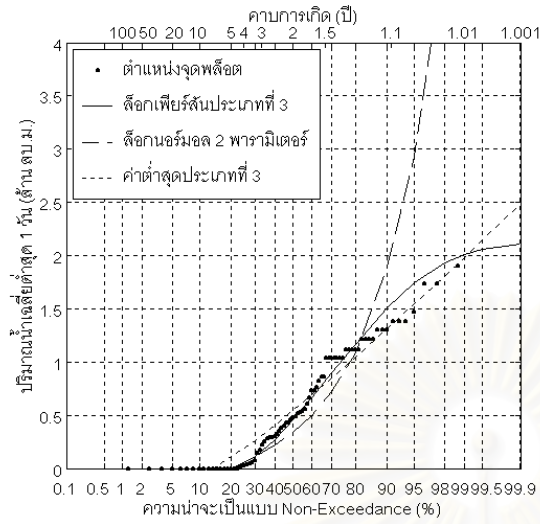
ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.

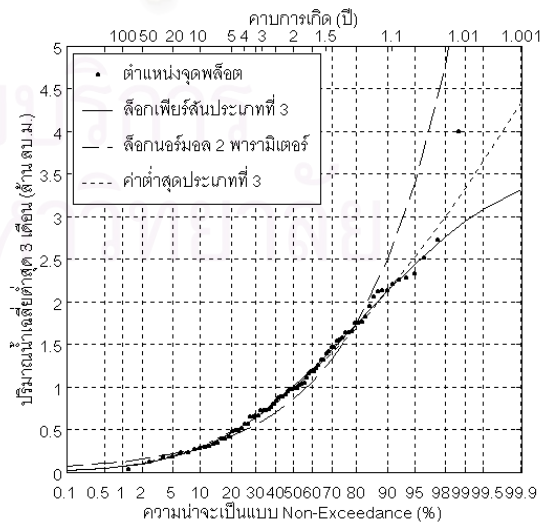
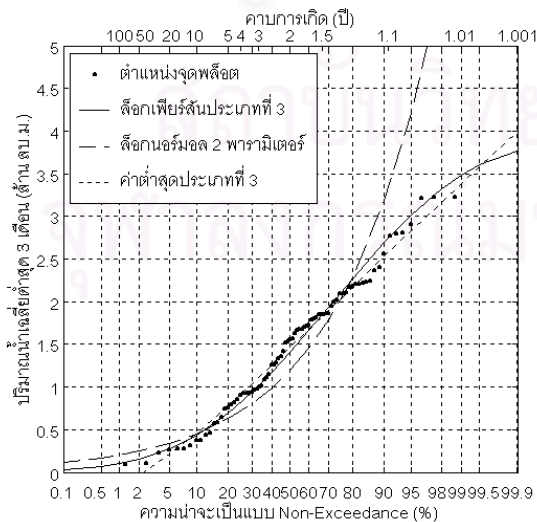
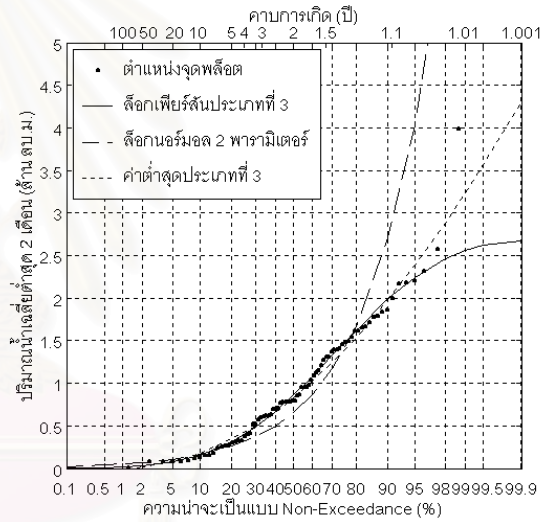
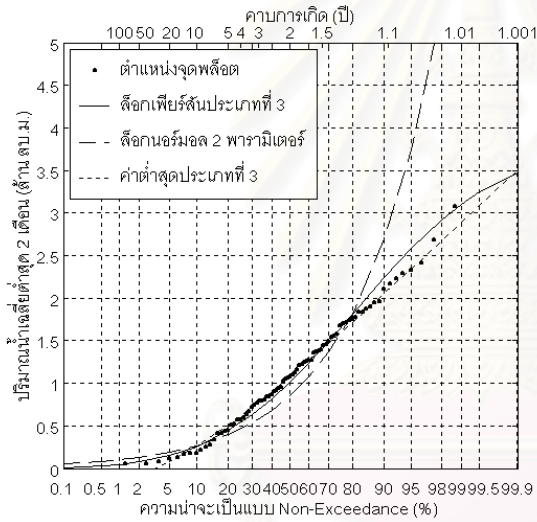
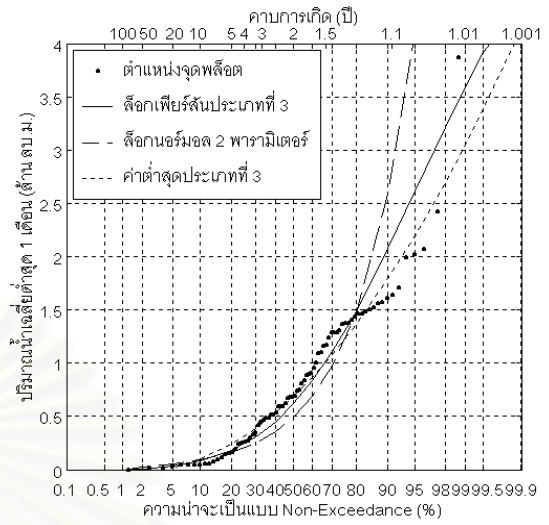
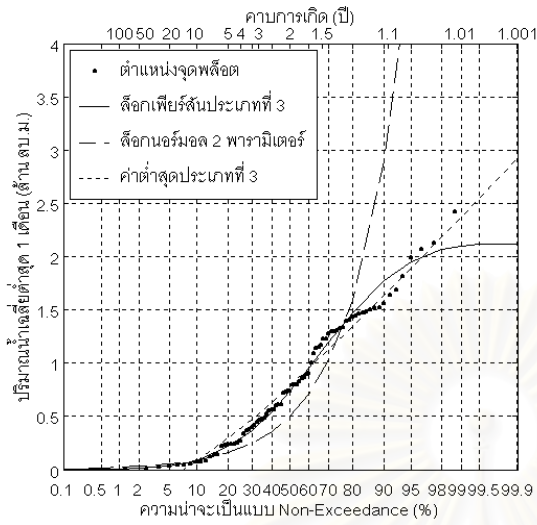
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



รูปที่ ก-1 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ

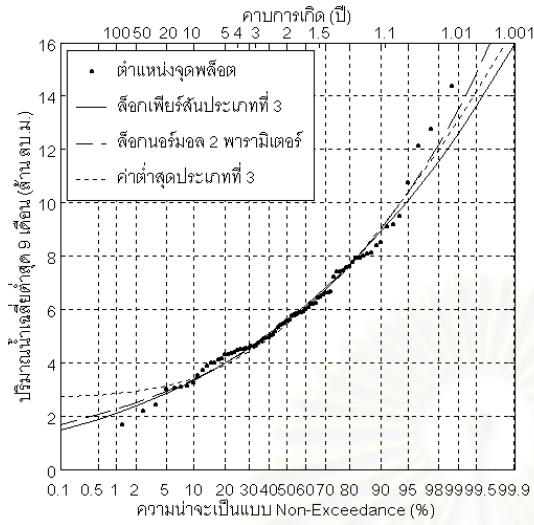
ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.

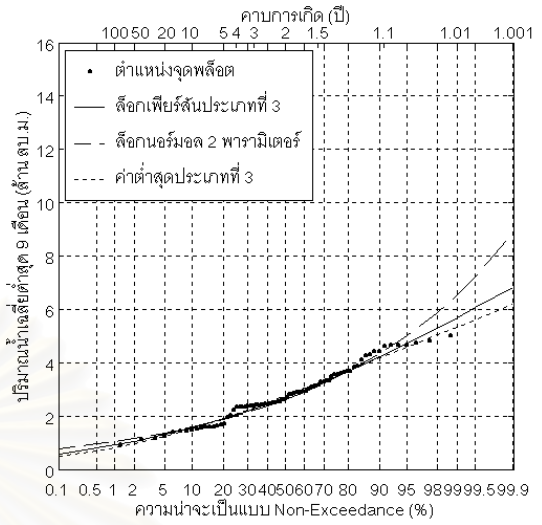


รูปที่ ก-1 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

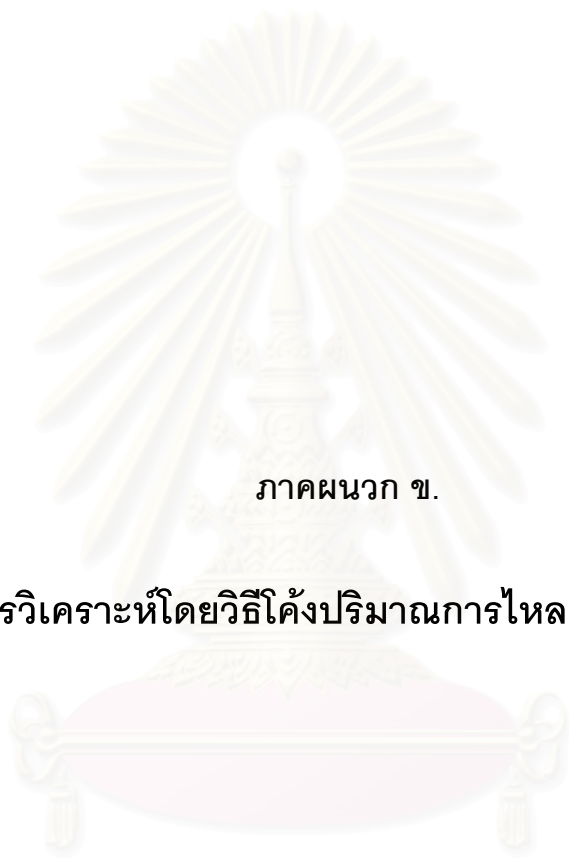
ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.



ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ก-1 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)



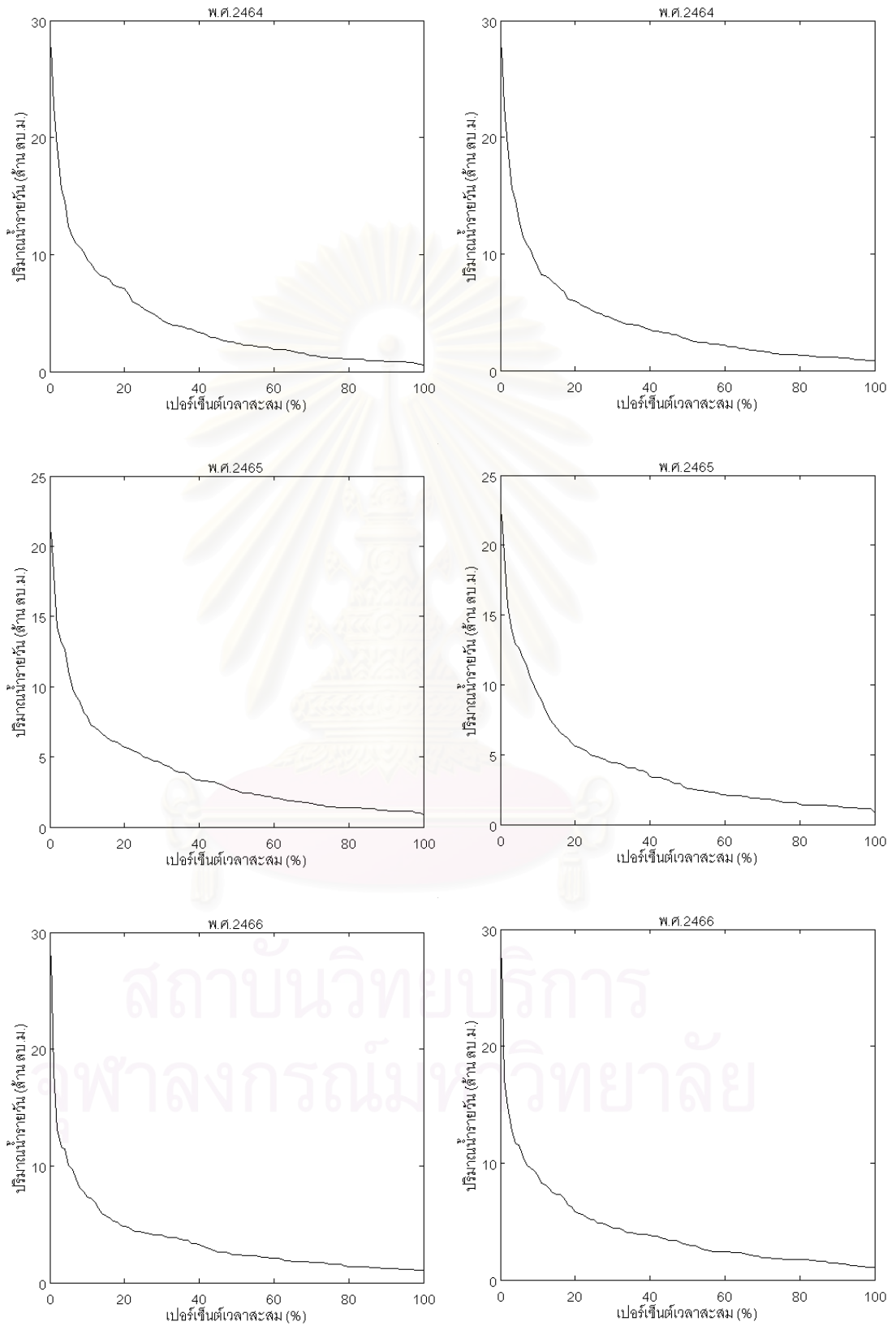
ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์โดยวิธีโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.

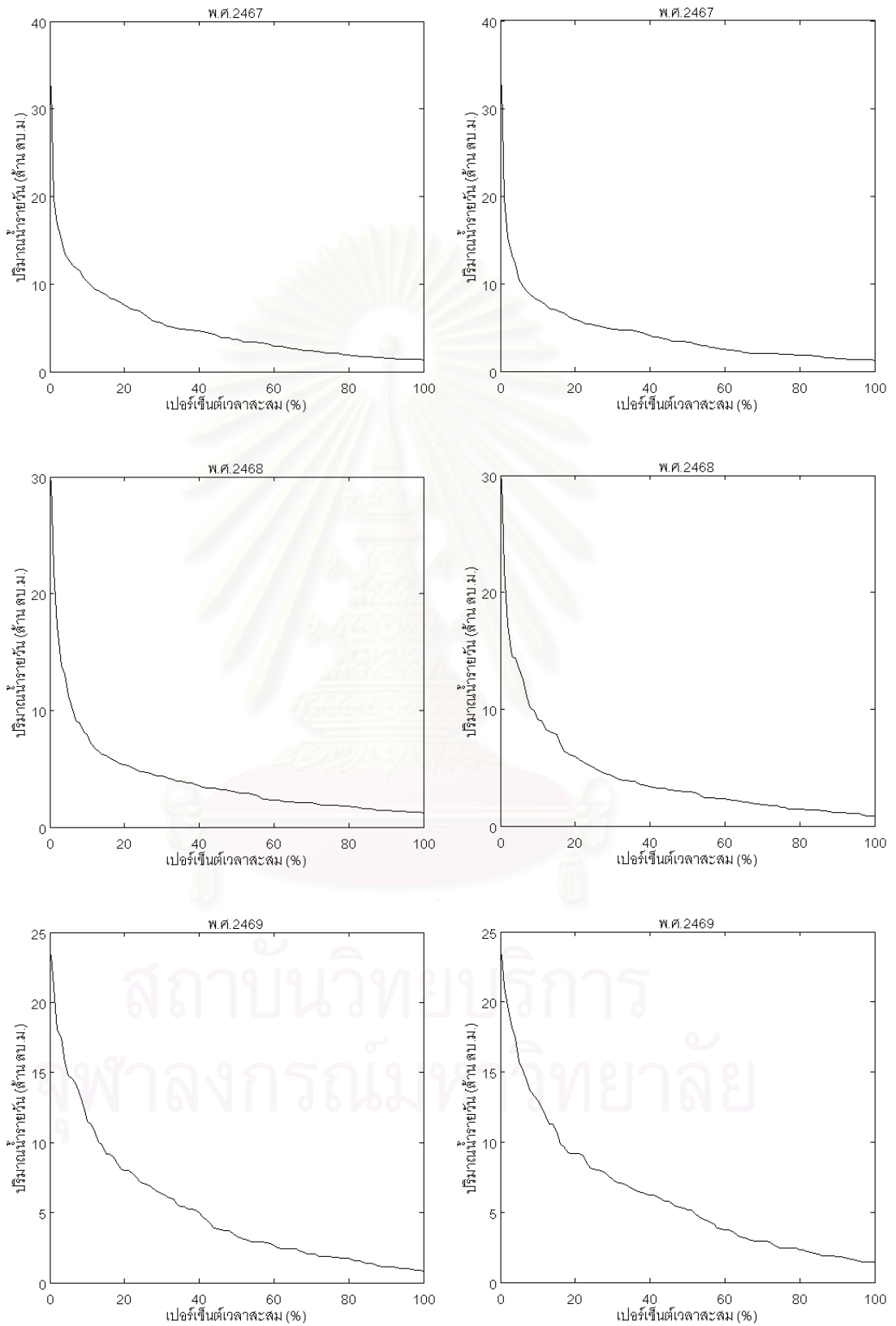
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



รูปที่ ๗-1 ตัวอย่างโค้งปริมาณการไหล - ช่วงเวลา แต่ละปี สร้างจากข้อมูลช่วงปีน้ำ 2 แบบ

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. – 31 มี.ค.

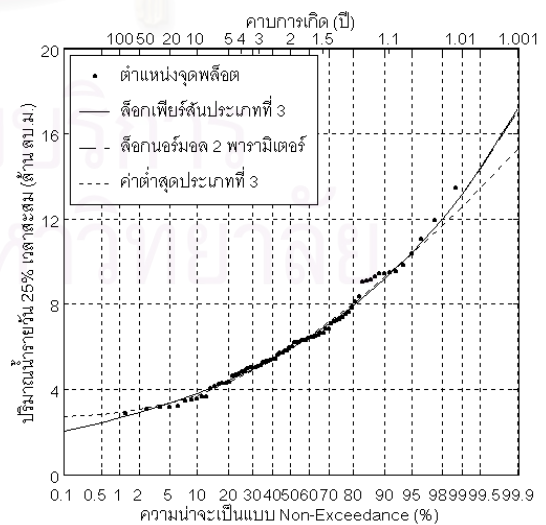
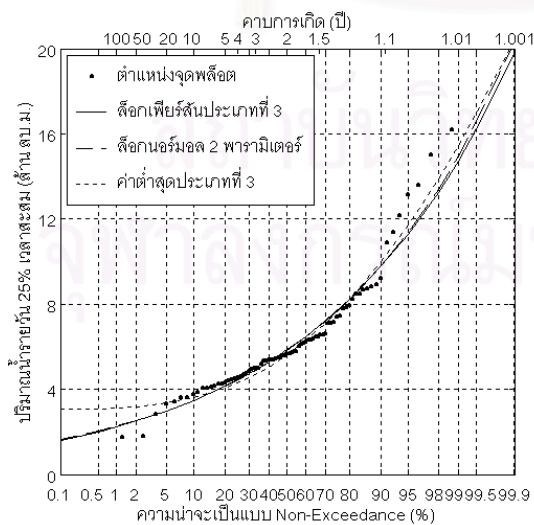
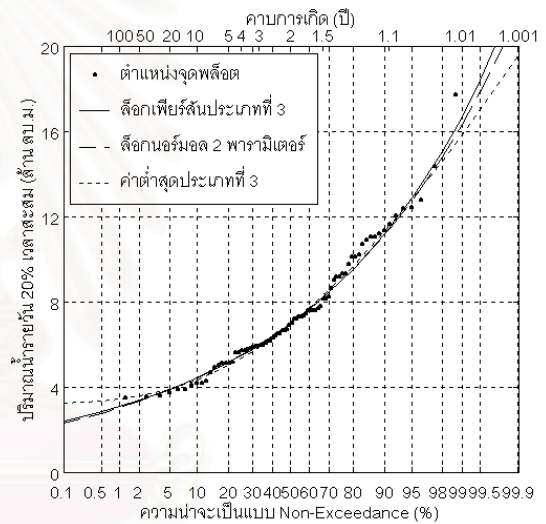
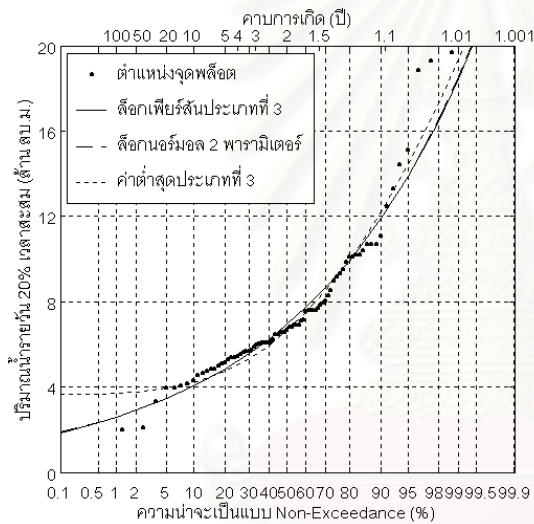
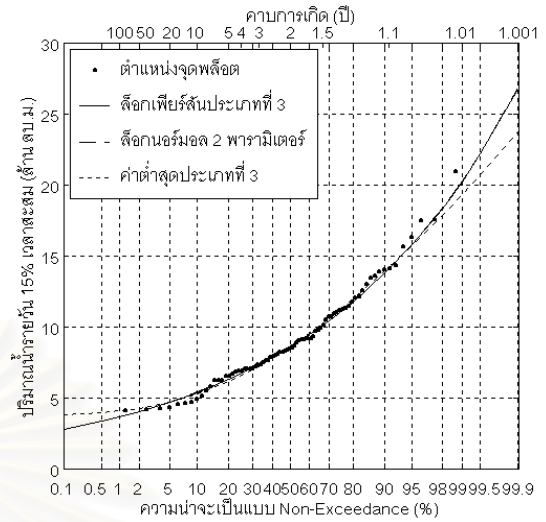
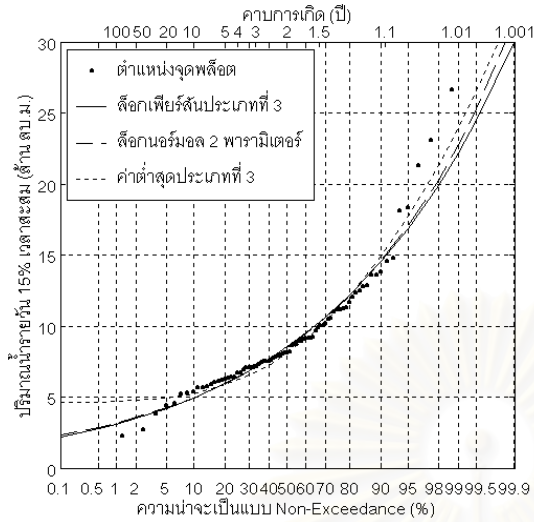
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. – 31 ส.ค.



รูปที่ ข-1 ตัวอย่างโค้งปริมาณการไหล – ช่วงเวลา แต่ละปี สร้างจากข้อมูลช่วงปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

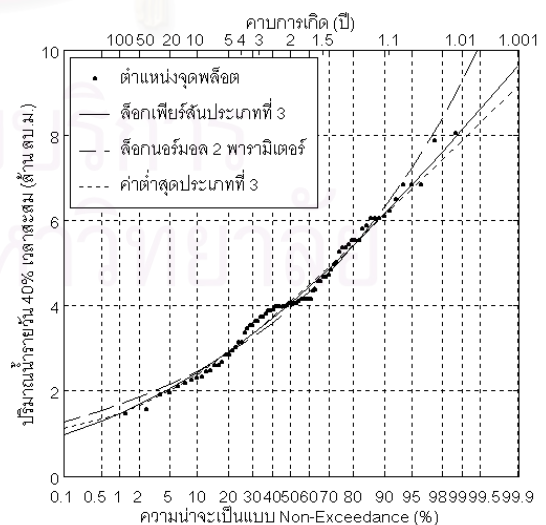
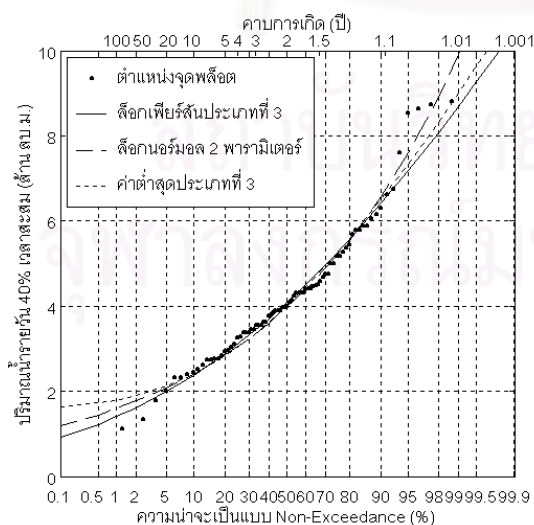
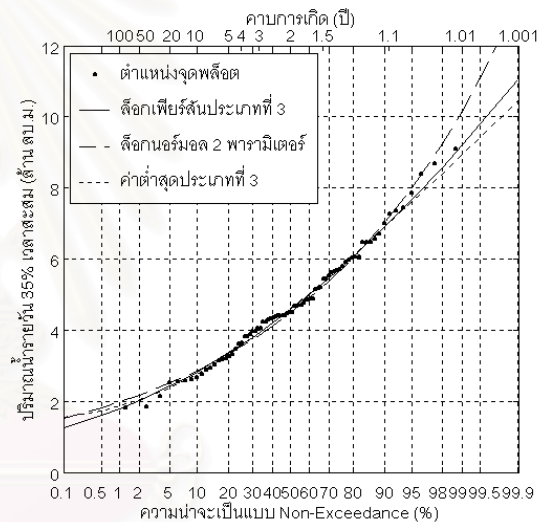
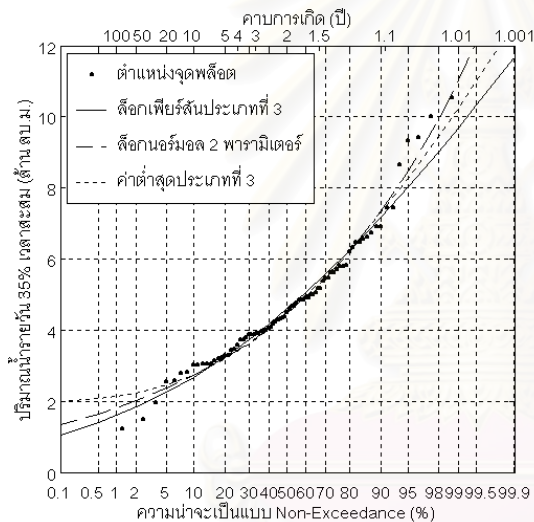
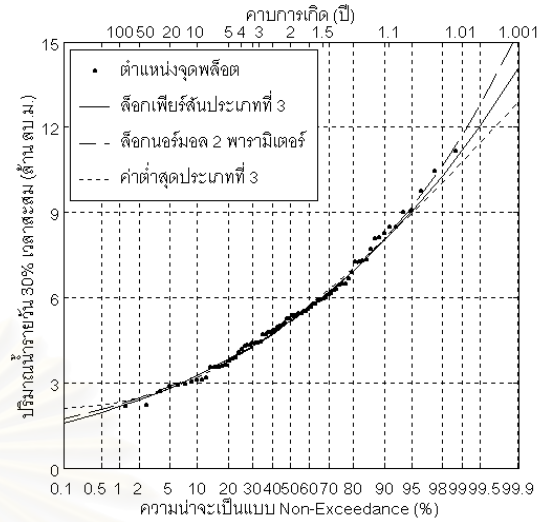
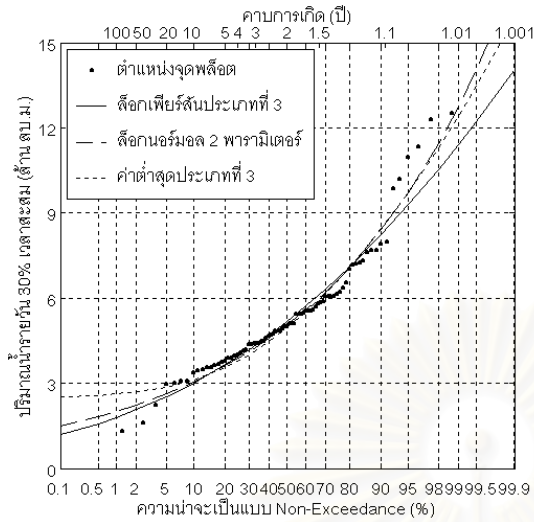
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

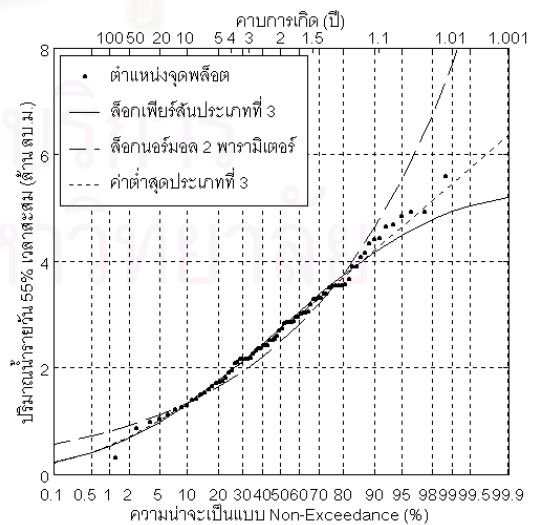
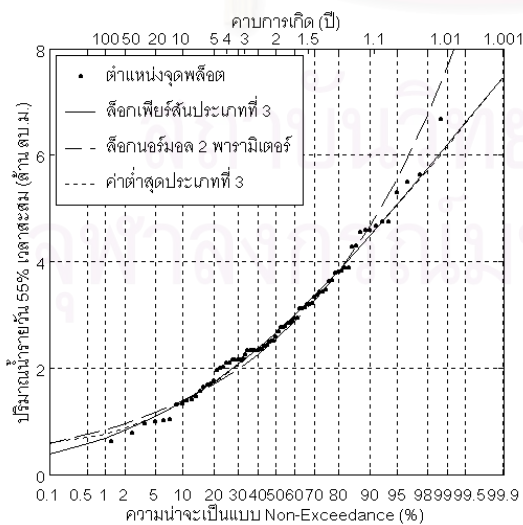
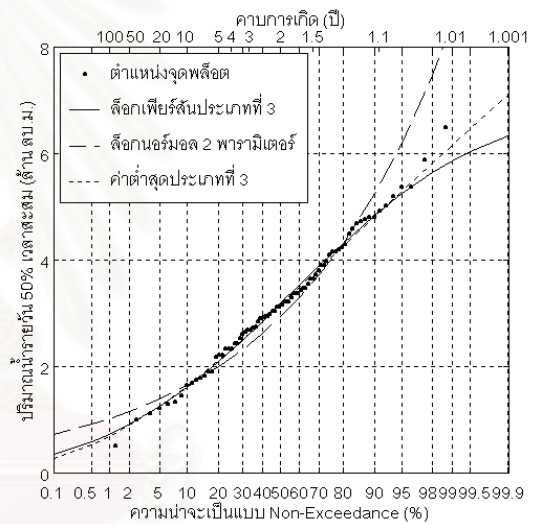
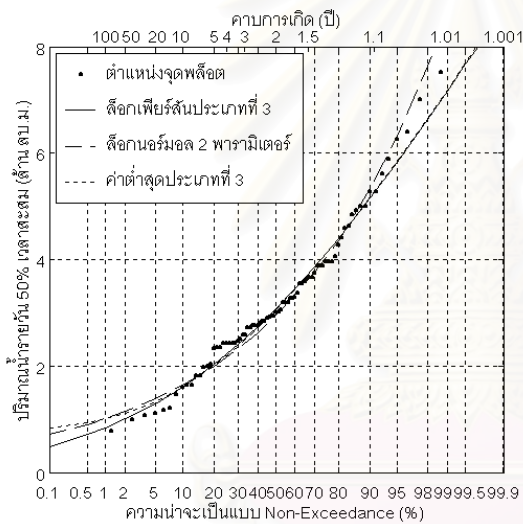
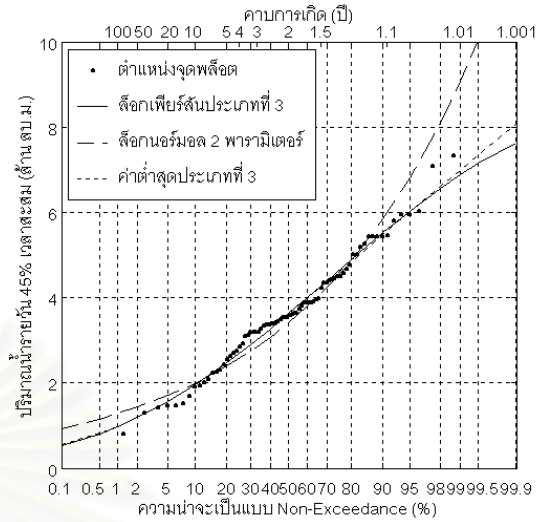
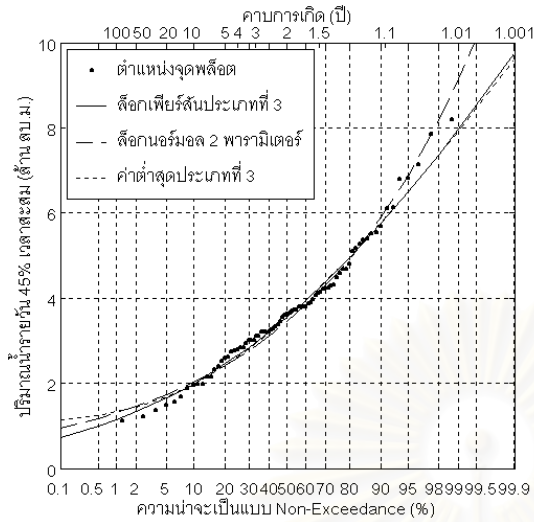
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

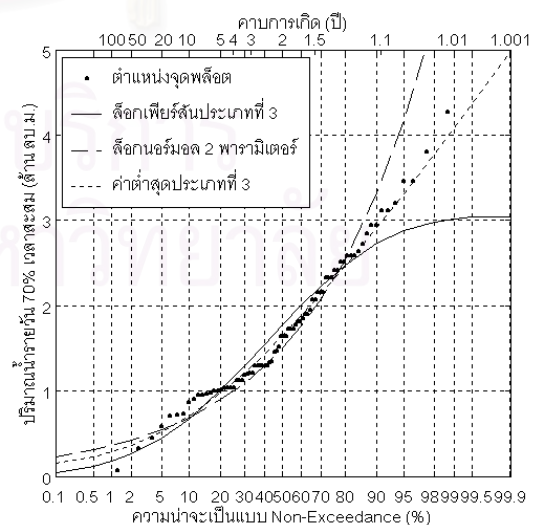
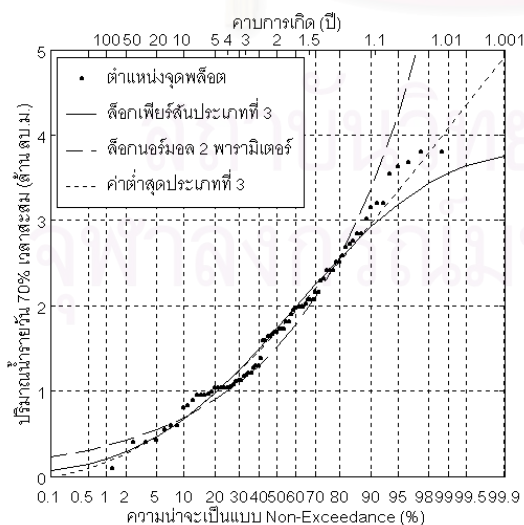
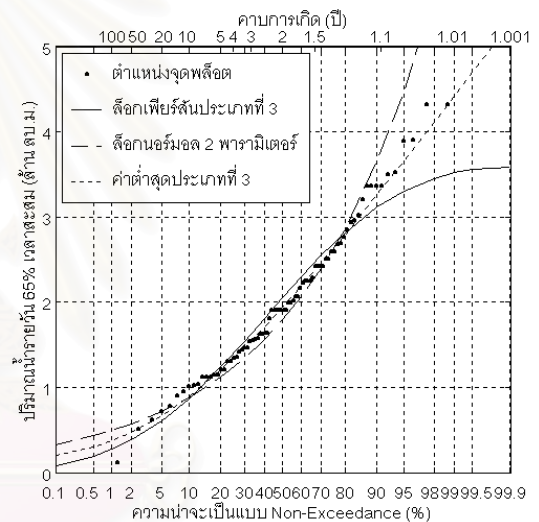
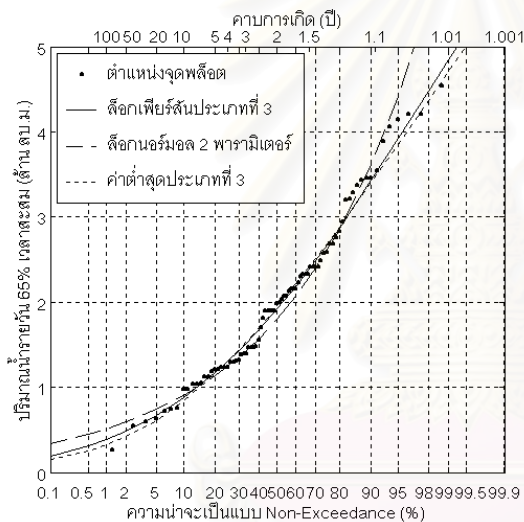
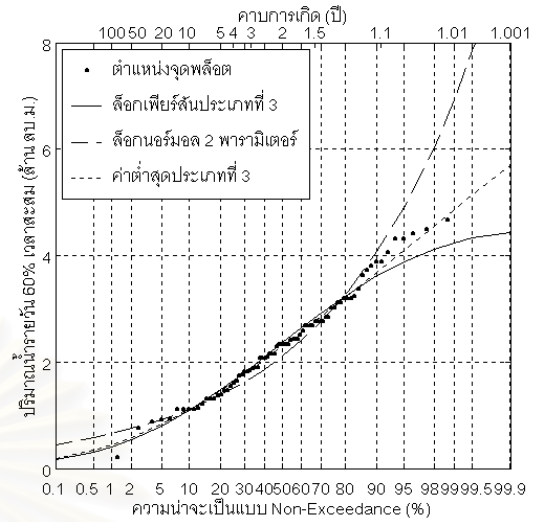
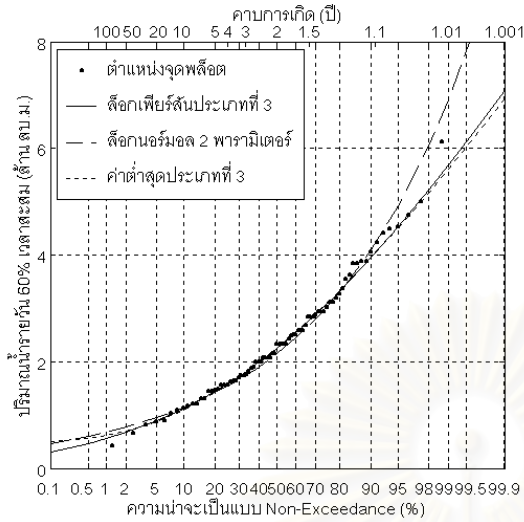
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

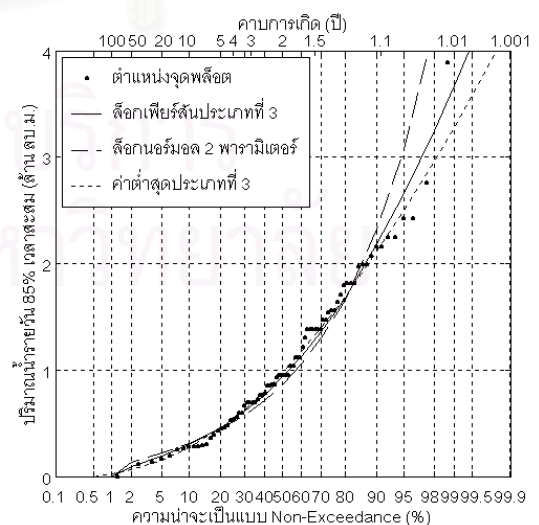
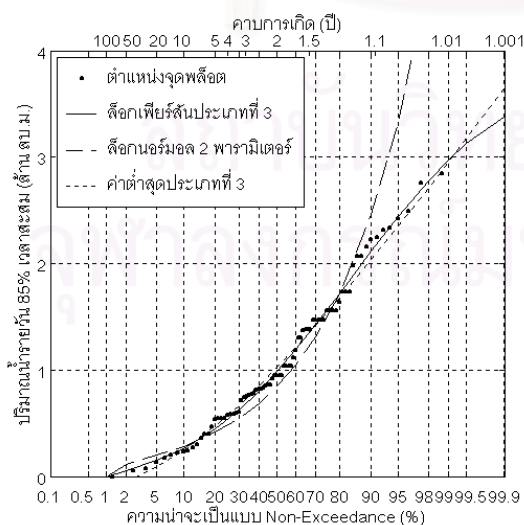
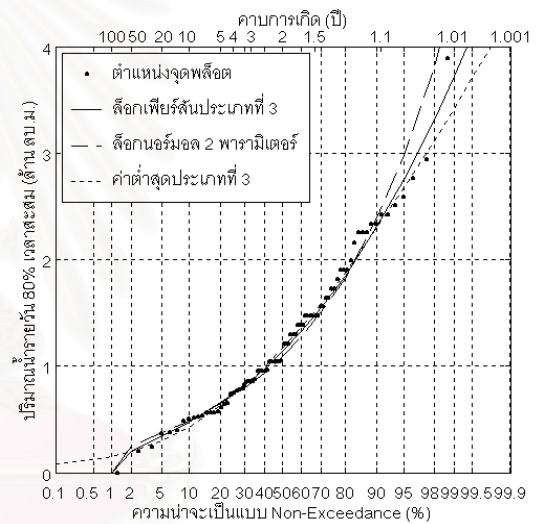
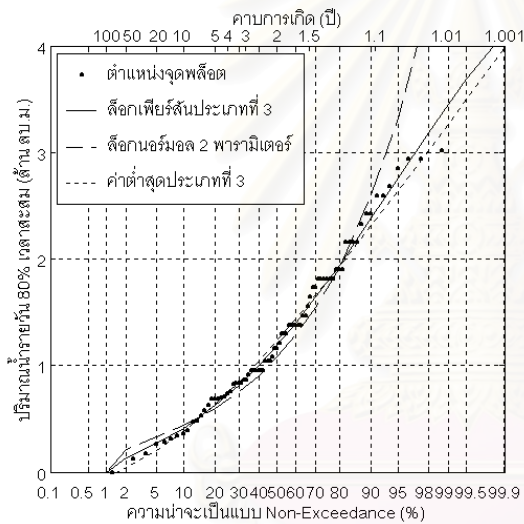
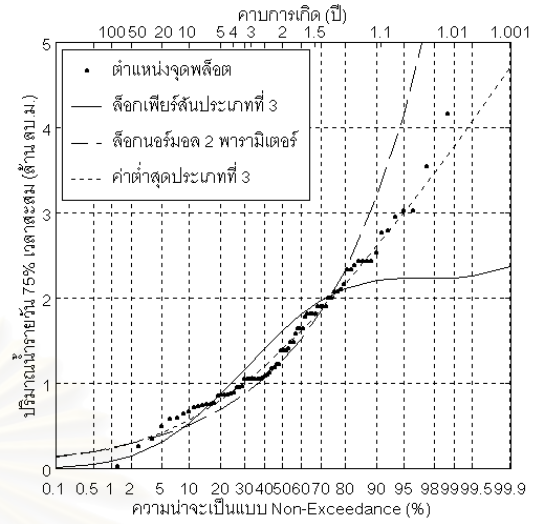
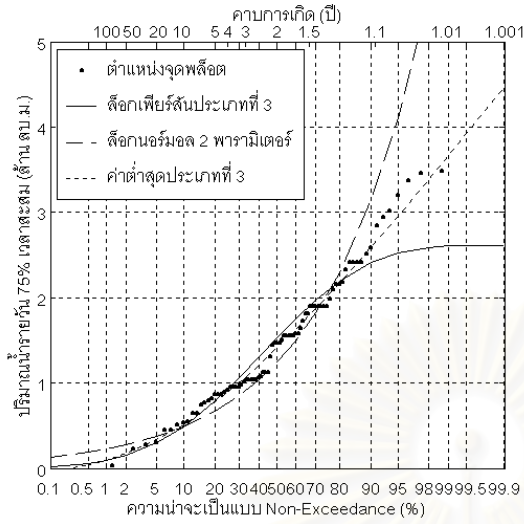
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

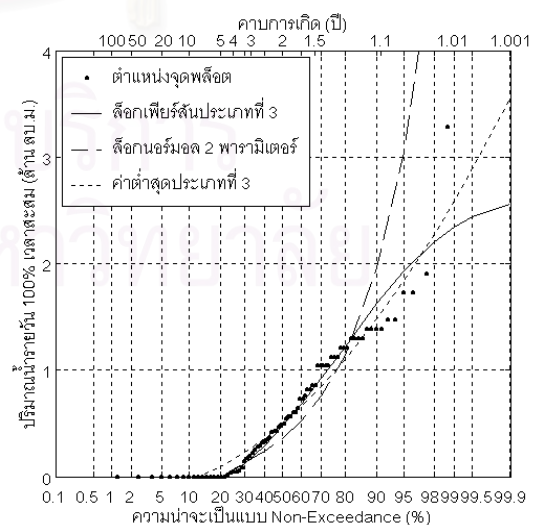
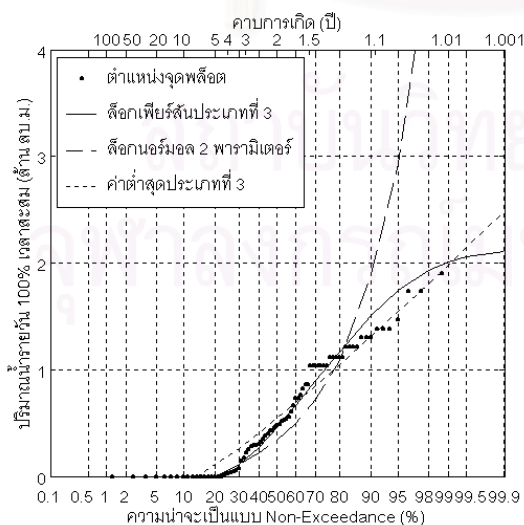
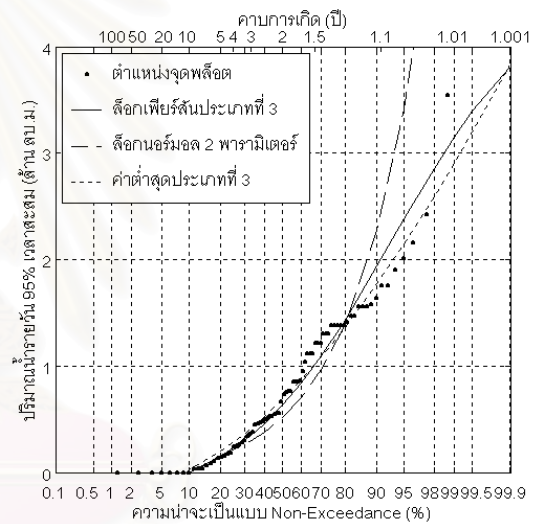
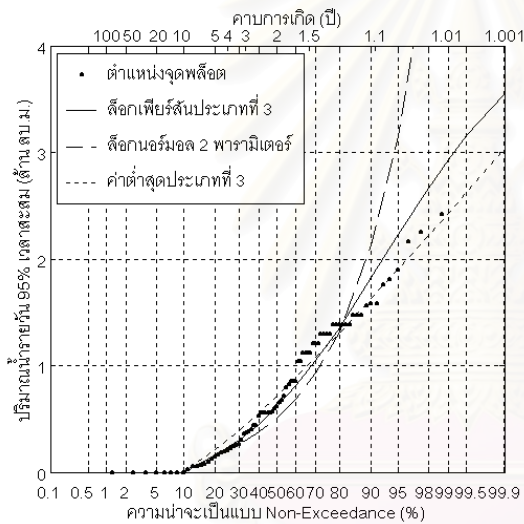
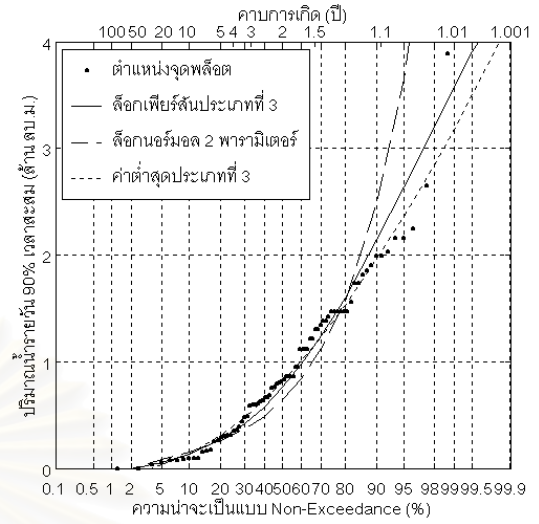
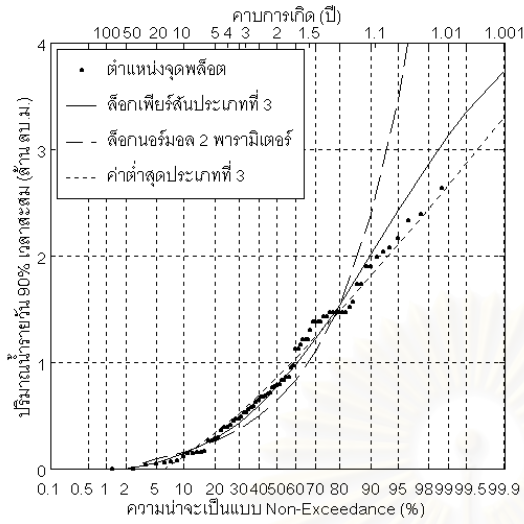
ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)

ช่วงปีน้ำ 1 เม.ย. - 31 มี.ค.

ช่วงปีน้ำ 1 ก.ย. - 31 ส.ค.



รูปที่ ข-2 การเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิด สำหรับปีน้ำ 2 แบบ (ต่อ)



ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์โดยทฤษฎีรึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.) สถานี P.1 ซึ่งไม่มีอิทธิพลของเขื่อน
แม่งัดสมบูรณ์ชล และเส้นระดับการใช้น้ำจากค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายเดือน

ปี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
2464	33.61	37.74	45.01	73.31	212.11	391.39	293.24	157.77	112.06	75.00	50.89	29.62
2465	40.78	56.42	53.48	93.14	162.86	321.93	230.26	166.49	110.33	72.84	48.99	42.42
2466	37.50	63.24	87.35	64.02	251.42	197.94	259.89	122.00	89.86	65.06	43.98	44.24
2467	55.38	62.81	100.57	141.70	338.69	396.58	232.76	165.02	129.86	93.14	60.57	47.52
2468	49.25	57.89	77.16	108.35	150.77	401.85	225.16	130.81	103.77	86.92	55.99	44.67
2469	34.47	37.58	70.11	101.17	245.38	336.36	368.50	280.20	170.29	111.11	72.75	54.95
2470	63.94	177.03	169.60	208.40	239.24	199.76	521.16	175.31	114.91	70.59	42.51	38.71
2471	40.18	43.46	147.66	303.09	229.48	183.08	169.69	141.18	85.80	59.01	45.36	49.42
2472	39.14	48.82	91.24	107.74	329.10	666.84	227.75	124.68	97.89	62.99	39.05	35.77
2473	33.18	96.16	85.88	233.71	247.19	335.58	222.74	121.74	83.46	62.81	39.23	33.96
2474	29.86	32.23	28.62	33.09	94.95	232.59	73.09	36.37	37.15	33.78	30.07	27.93
2475	35.13	31.49	100.59	175.82	124.76	391.48	352.86	150.34	104.98	72.14	52.10	46.74
2476	43.89	88.99	90.03	299.46	673.75	524.02	254.19	148.26	113.62	87.87	65.49	48.38
2477	44.67	43.55	80.35	143.60	231.38	356.66	359.77	130.29	106.01	75.77	49.42	40.69
2478	34.13	76.20	88.39	188.78	242.52	454.38	342.40	238.64	159.15	101.78	74.39	54.26
2479	49.94	85.02	80.96	227.15	192.33	308.79	136.17	73.70	73.18	55.38	51.93	59.53
2480	47.43	92.62	116.90	209.87	200.36	653.18	241.32	127.44	136.68	95.04	56.85	47.78
2481	44.24	182.74	340.59	268.62	605.75	554.69	381.37	239.59	179.97	132.62	79.83	77.67
2482	61.08	83.29	120.79	192.93	551.40	635.13	384.22	230.69	236.30	141.78	89.94	91.67
2483	80.01	109.12	119.32	107.14	388.71	388.11	193.97	128.13	120.96	104.54	96.16	89.25
2484	75.51	71.11	99.27	83.38	233.97	416.45	298.68	140.40	130.64	82.94	59.18	56.42
2485	47.95	64.28	276.91	184.98	487.64	645.34	250.99	201.92	149.64	103.42	72.49	72.92
2486	55.99	62.99	99.10	214.40	469.07	725.07	265.42	245.03	172.11	167.79	122.77	110.33
2487	61.95	70.24	68.60	208.14	211.42	223.26	240.54	143.94	124.50	127.44	107.74	148.95
2488	125.45	153.27	168.74	220.49	327.02	503.28	485.14	118.97	158.46	81.48	69.12	66.01
2489	61.77	109.30	103.42	79.75	273.72	301.02	284.43	127.09	90.29	75.17	43.63	43.46
2490	57.63	98.15	134.27	183.43	311.64	486.60	296.18	154.48	100.14	76.12	53.22	41.13
2491	38.79	122.60	124.42	113.96	187.66	299.64	539.31	163.47	128.65	106.79	72.06	51.58
2492	38.71	68.43	93.31	174.79	434.51	492.74	402.71	309.74	210.38	168.31	97.20	72.49
2493	49.68	88.47	155.26	178.33	272.59	467.42	530.58	265.08	188.87	152.32	99.19	74.82
2494	55.04	63.07	189.48	217.90	319.42	470.36	506.13	191.89	173.15	113.88	73.87	66.01

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.) สถานี P.1 ซึ่งไม่มีอิทธิพลของเขื่อน

แม้งัดสมบูรณืซล และเส้นระดับการใช้น้ำจากค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)

ปี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
2495	47.61	56.59	78.02	122.34	348.71	734.92	300.33	196.39	146.10	107.74	104.54	58.49
2496	50.72	106.79	133.75	146.97	433.30	495.33	345.60	234.58	170.04	103.16	67.22	82.25
2497	51.15	142.65	147.74	68.95	186.28	281.49	317.52	121.31	114.57	73.35	43.20	38.36
2498	31.29	63.24	162.43	146.36	432.17	419.99	232.59	142.99	89.68	58.75	38.71	25.08
2499	28.11	113.69	92.71	189.99	520.56	647.22	273.46	154.40	125.88	63.07	37.15	27.17
2500	21.96	29.81	110.68	65.32	207.53	445.05	258.51	101.87	63.76	37.32	36.63	17.38
2501	17.20	40.14	52.29	89.94	179.63	313.20	180.75	82.77	55.47	32.92	19.67	14.89
2502	11.83	44.99	80.66	95.13	277.78	581.47	292.64	97.98	76.64	46.48	34.82	23.42
2503	15.15	31.19	31.65	55.33	177.55	359.77	187.40	104.46	163.30	58.32	34.56	20.71
2504	23.76	82.77	101.17	86.05	311.64	599.70	355.80	177.12	130.72	77.07	50.37	40.00
2505	26.98	57.28	39.92	130.46	228.61	165.02	303.61	103.77	79.75	37.15	26.51	22.82
2506	18.64	19.78	62.22	90.03	387.68	266.37	381.11	401.33	170.38	96.25	47.00	26.31
2507	21.56	134.52	99.71	210.21	198.81	472.69	387.85	201.74	141.18	74.65	45.19	26.58
2508	22.93	37.53	99.79	48.50	206.50	348.80	319.68	332.29	191.03	90.98	39.40	23.05
2509	16.94	50.33	61.56	51.99	322.62	433.30	195.09	153.10	102.38	59.53	26.91	26.66
2510	33.18	68.14	96.25	69.09	253.32	646.40	298.34	144.03	97.29	43.03	24.14	16.26
2511	47.17	76.46	99.88	132.71	364.44	243.13	221.36	112.06	67.91	38.71	27.37	17.78
2512	8.13	72.78	143.25	148.26	579.40	273.11	211.85	155.00	86.23	41.30	23.59	19.57
2513	23.93	208.20	275.96	357.00	782.27	757.38	376.19	216.26	270.52	109.56	46.83	32.24
2514	18.27	141.57	153.79	642.38	876.79	737.42	586.40	296.09	199.07	108.60	46.92	25.43
2515	49.10	27.56	65.78	32.64	381.97	341.19	361.84	325.47	230.52	83.20	34.39	42.97
2516	7.28	96.74	217.64	377.48	1158	1173	571.10	282.10	210.38	99.36	36.29	25.22
2517	23.40	115.43	131.59	61.86	440.21	555.90	294.54	393.90	143.68	142.99	31.66	14.81
2518	7.75	50.60	331.35	346.90	718.76	894.50	610.33	354.84	233.99	103.08	44.15	23.19
2519	20.10	84.50	102.82	33.00	202.35	386.73	353.38	189.82	132.71	96.60	11.03	7.96
2520	52.39	89.14	63.28	66.05	141.96	576.03	353.89	237.95	137.12	133.75	48.34	25.75
2521	10.59	96.32	91.89	525.29	551.36	660.03	425.23	185.14	165.90	57.68	27.48	4.80
2522	2.15	64.82	164.06	39.48	156.71	131.35	311.00	93.00	92.40	17.44	5.68	2.41
2523	7.34	38.50	155.57	137.40	179.60	637.02	194.41	123.23	128.38	53.91	23.73	5.75
2524	3.68	139.12	181.73	304.53	463.03	377.97	233.57	269.29	191.92	81.53	39.16	20.28
2525	29.79	49.52	109.20	43.80	98.12	290.61	223.96	112.39	72.09	28.18	16.37	7.19

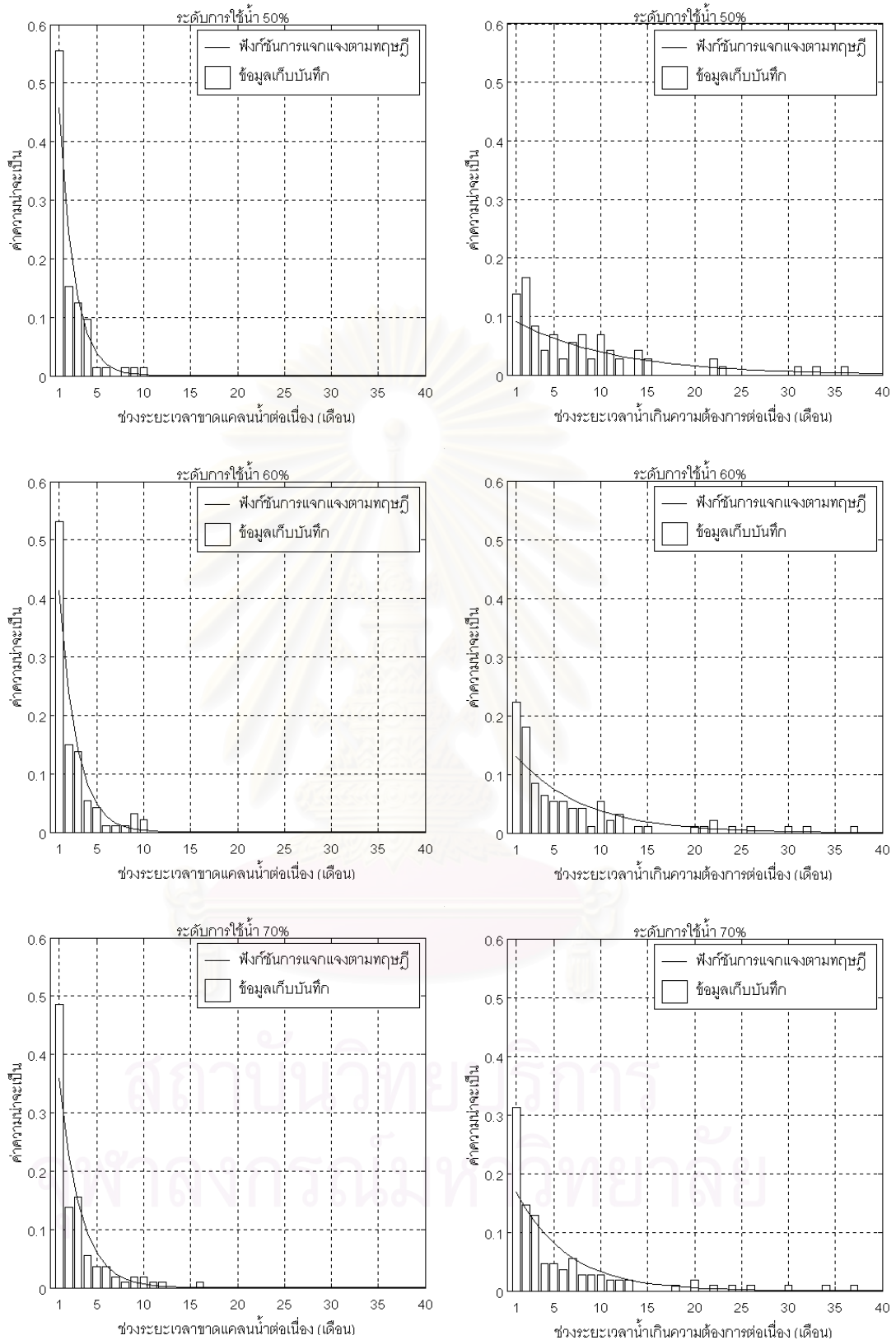
ตารางที่ ค-1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.) สถานี P.1 ซึ่งไม่มีอิทธิพลของเขื่อน
 แม้งัดสมบูรณืชล และเส้นระดับการใช้น้ำจากค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายเดือน(ต่อ)

ปี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
2526	1.80	10.19	41.05	19.06	114.84	343.34	240.84	303.98	107.59	37.24	21.27	7.19
2527	11.00	69.99	141.39	106.84	200.92	353.69	290.34	133.42	60.98	17.23	10.68	13.06
2528	15.21	51.59	80.08	71.05	136.66	257.84	200.04	315.39	151.89	45.84	17.64	7.58
2529	21.68	93.05	94.60	139.43	259.23	334.62	123.82	92.07	73.23	47.30	14.42	11.59
2530	16.91	53.70	84.54	42.35	462.81	281.56	202.01	172.54	86.73	19.58	6.72	2.73
2531	51.72	150.19	274.70	212.00	260.27	233.47	242.22	163.49	102.80	24.27	7.68	2.12
2532	21.81	62.44	119.73	169.84	176.53	341.32	341.65	122.78	80.37	21.54	11.00	1.11
2533	20.31	101.42	108.03	58.80	164.52	212.81	166.73	118.53	58.98	25.30	22.14	10.88
2534	14.53	19.58	35.02	49.96	199.25	273.09	144.81	123.38	59.71	6.50	3.31	0.26
2535	0.03	3.21	5.54	59.57	140.08	262.62	156.77	93.23	105.01	30.63	4.87	0.87
2536	27.01	42.29	48.39	83.91	72.20	224.00	155.80	61.18	40.67	14.25	2.20	38.47
2537	34.87	74.37	155.76	176.07	783.83	743.90	288.79	131.91	112.55	51.92	27.36	19.10
2538	24.07	73.52	54.58	155.77	610.29	753.36	304.28	165.52	94.24	37.49	32.44	15.39
2539	24.48	52.77	137.63	102.49	343.49	393.99	205.19	151.51	73.85	37.27	11.46	19.21
2540	19.20	32.00	25.22	129.85	164.82	303.78	294.00	95.86	48.02	18.94	4.72	1.53
2541	36.70	52.28	22.33	47.08	97.30	185.89	43.65	42.03	21.18	9.96	7.18	7.33
2542	24.05	118.21	108.85	55.37	197.22	353.08	176.88	129.35	62.18	23.10	8.20	8.78
เฉลี่ย	36.88	76.32	112.1	145.8	309.6	419.1	286.8	170.8	120.9	72.16	44.58	37.53

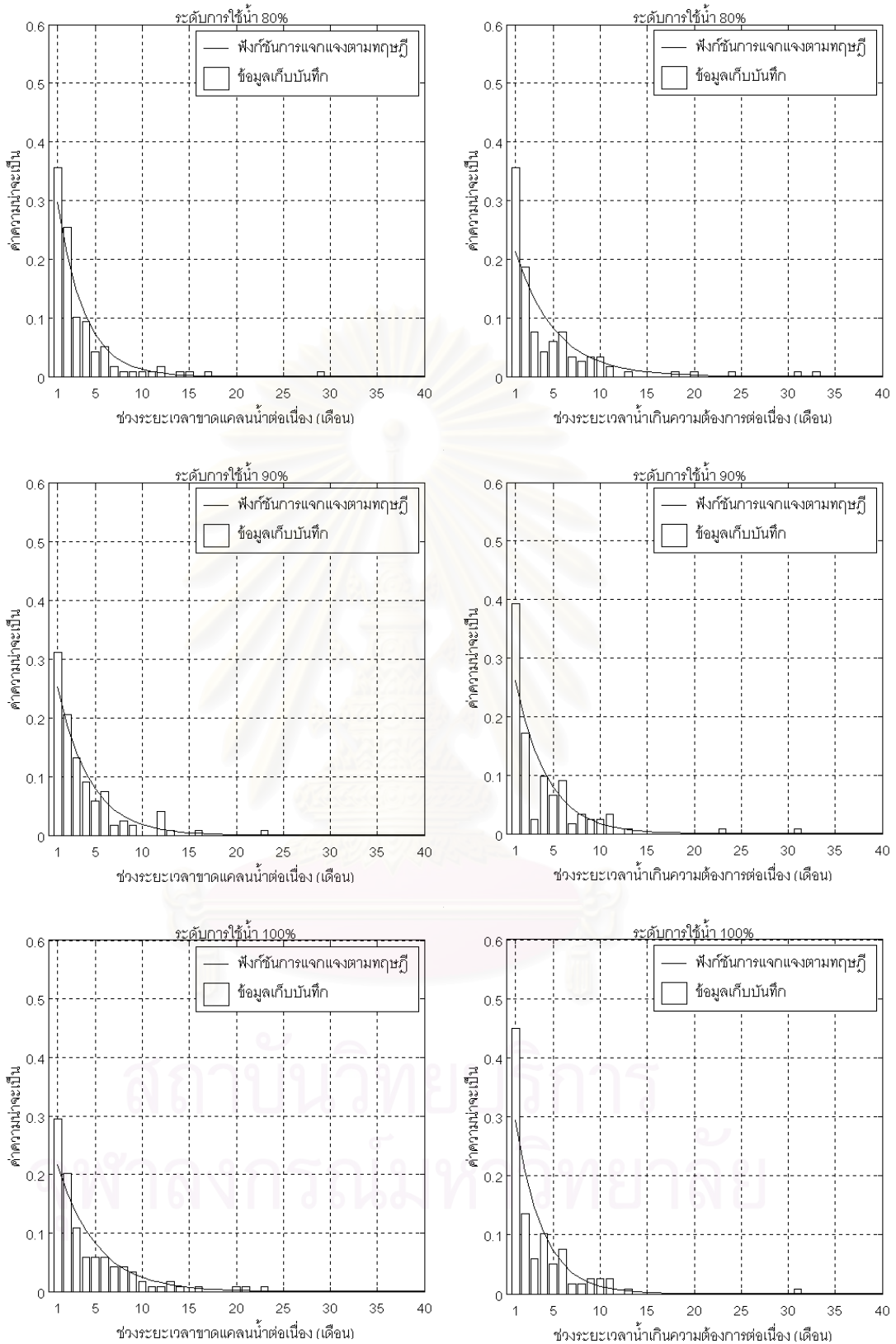
ระดับการใช้น้ำที่แต่ละค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยรายเดือน

50%	18.44	38.16	56.07	72.90	154.79	209.54	143.40	85.39	60.43	36.08	22.29	18.76
60%	22.13	45.79	67.28	87.48	185.74	251.44	172.08	102.47	72.51	43.29	26.75	22.52
70%	25.82	53.42	78.49	102.06	216.70	293.35	200.76	119.55	84.60	50.51	31.21	26.27
80%	29.51	61.06	89.70	116.64	247.66	335.26	229.44	136.63	96.68	57.73	35.66	30.02
90%	33.20	68.69	100.92	131.22	278.62	377.17	258.12	153.71	108.77	64.94	40.12	33.78
100%	36.88	76.32	112.1	145.8	309.6	419.1	286.8	170.8	120.9	72.16	44.58	37.53
110%	40.57	83.95	123.34	160.38	340.53	460.98	315.48	187.87	132.94	79.37	49.04	41.28
120%	44.26	91.59	134.56	174.96	371.49	502.89	344.16	204.95	145.03	86.59	53.49	45.04
130%	47.95	99.22	145.77	189.54	402.44	544.79	372.85	222.03	157.11	93.81	57.95	48.79
140%	51.64	106.85	156.98	204.12	433.40	586.70	401.53	239.10	169.20	101.02	62.41	52.54
150%	55.33	114.48	168.20	218.70	464.36	628.61	430.21	256.18	181.28	108.24	66.87	56.29

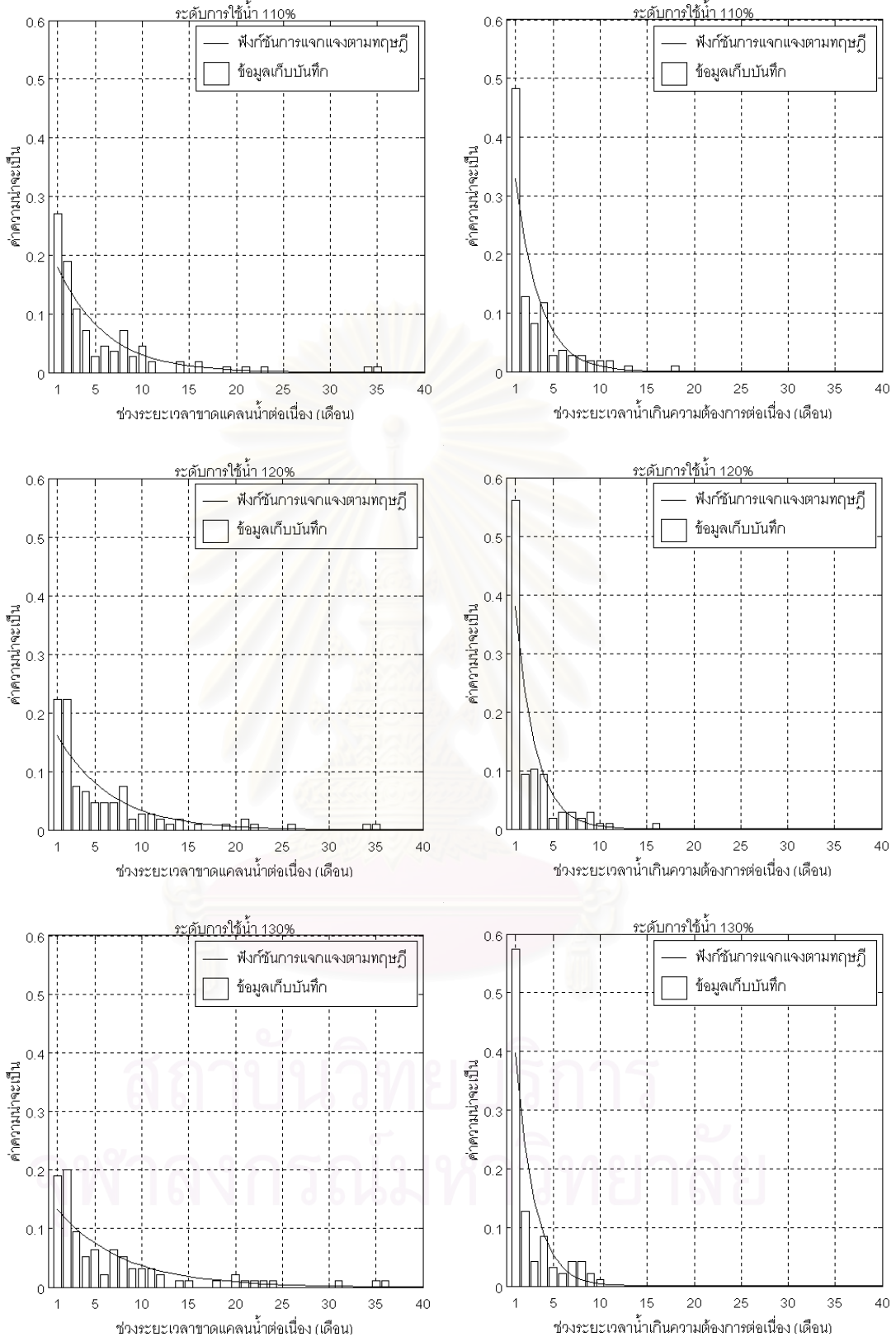
หมายเหตุ : สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันก็ใช้วิธีเดียวกันนี้ในการคำนวณหาเส้นระดับการใช้น้ำ



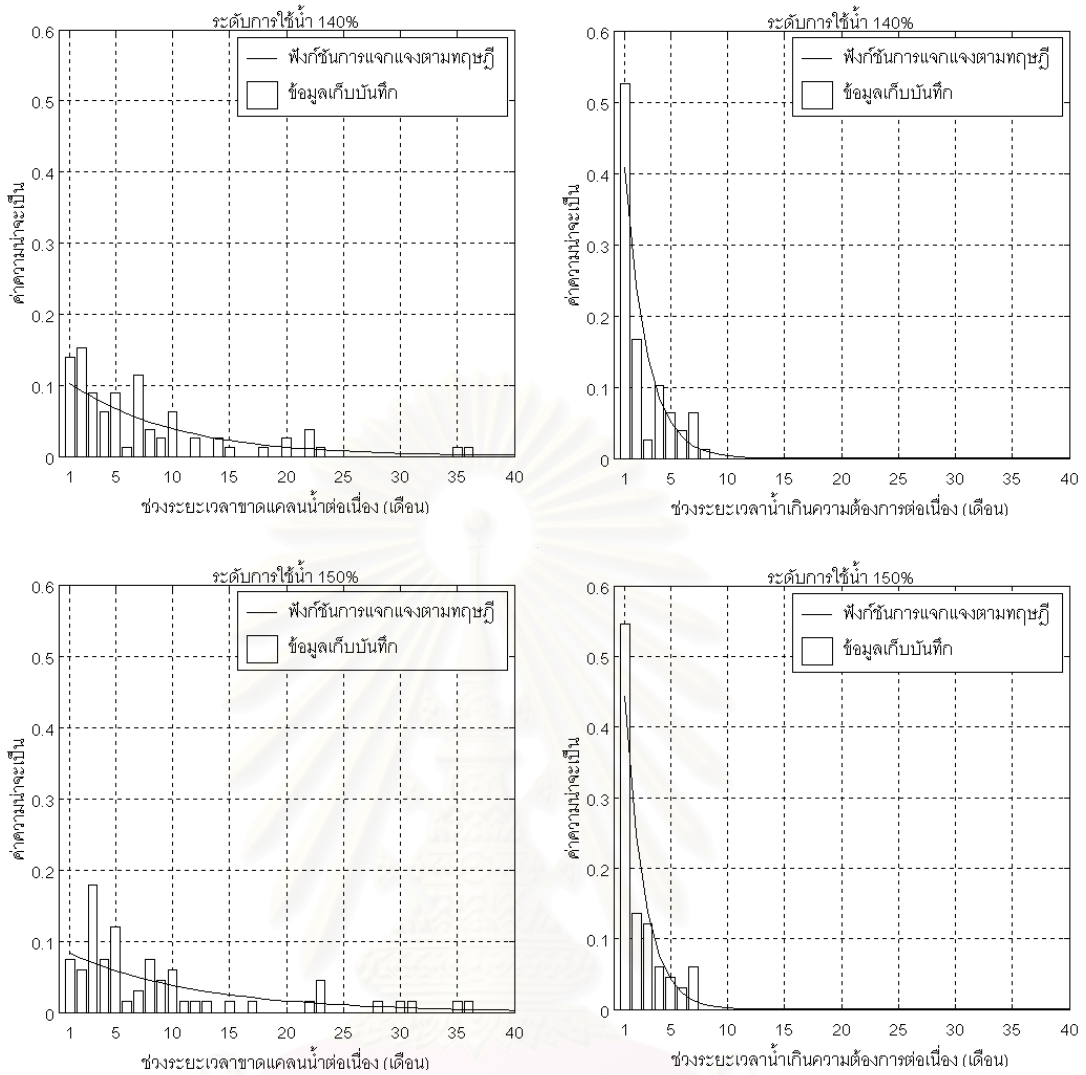
รูปที่ ค-1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา
น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



รูปที่ ค-1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำที่รายเดือน (ต่อ)

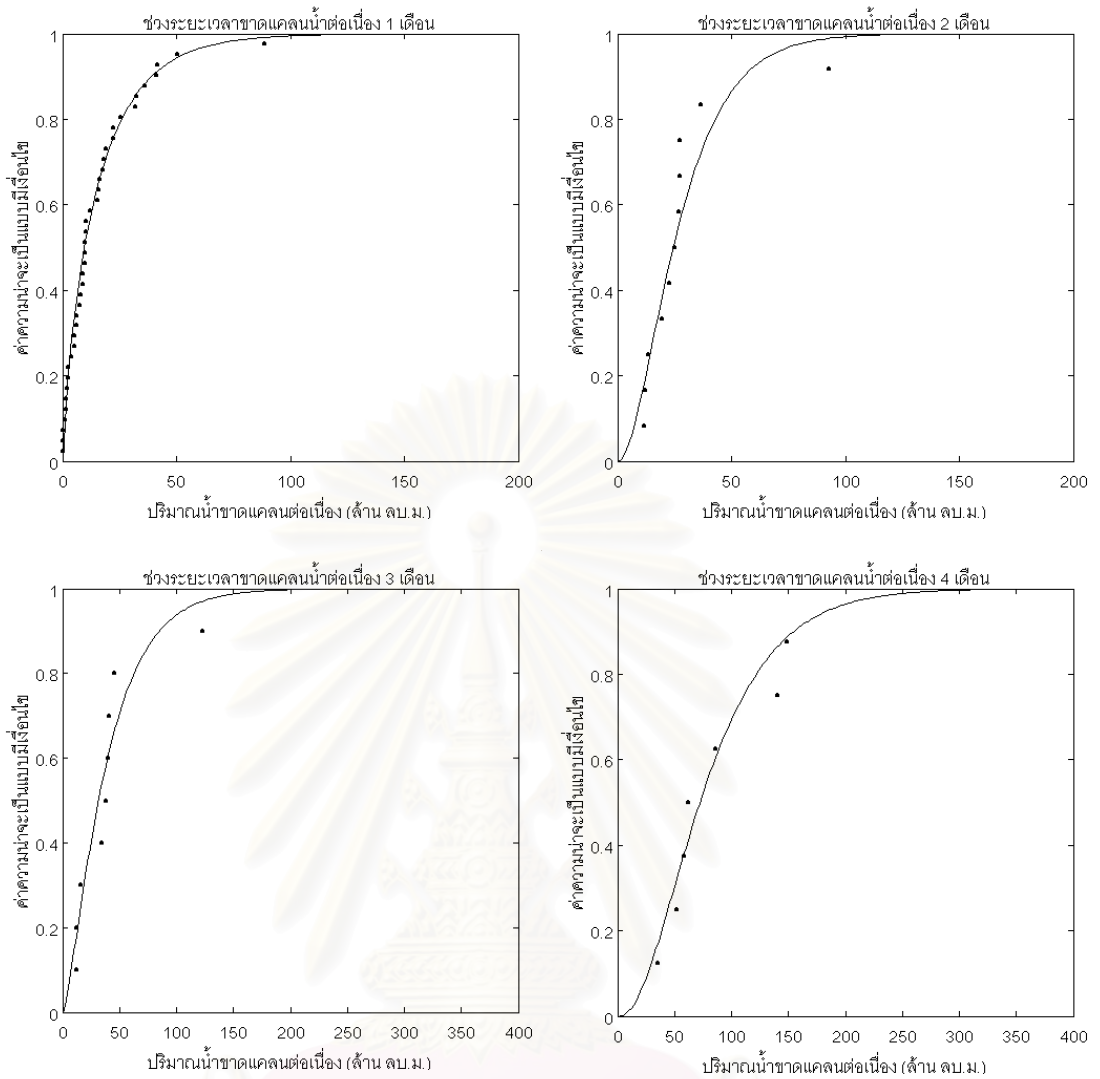


รูปที่ ค-1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา
น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน
(ต่อ)



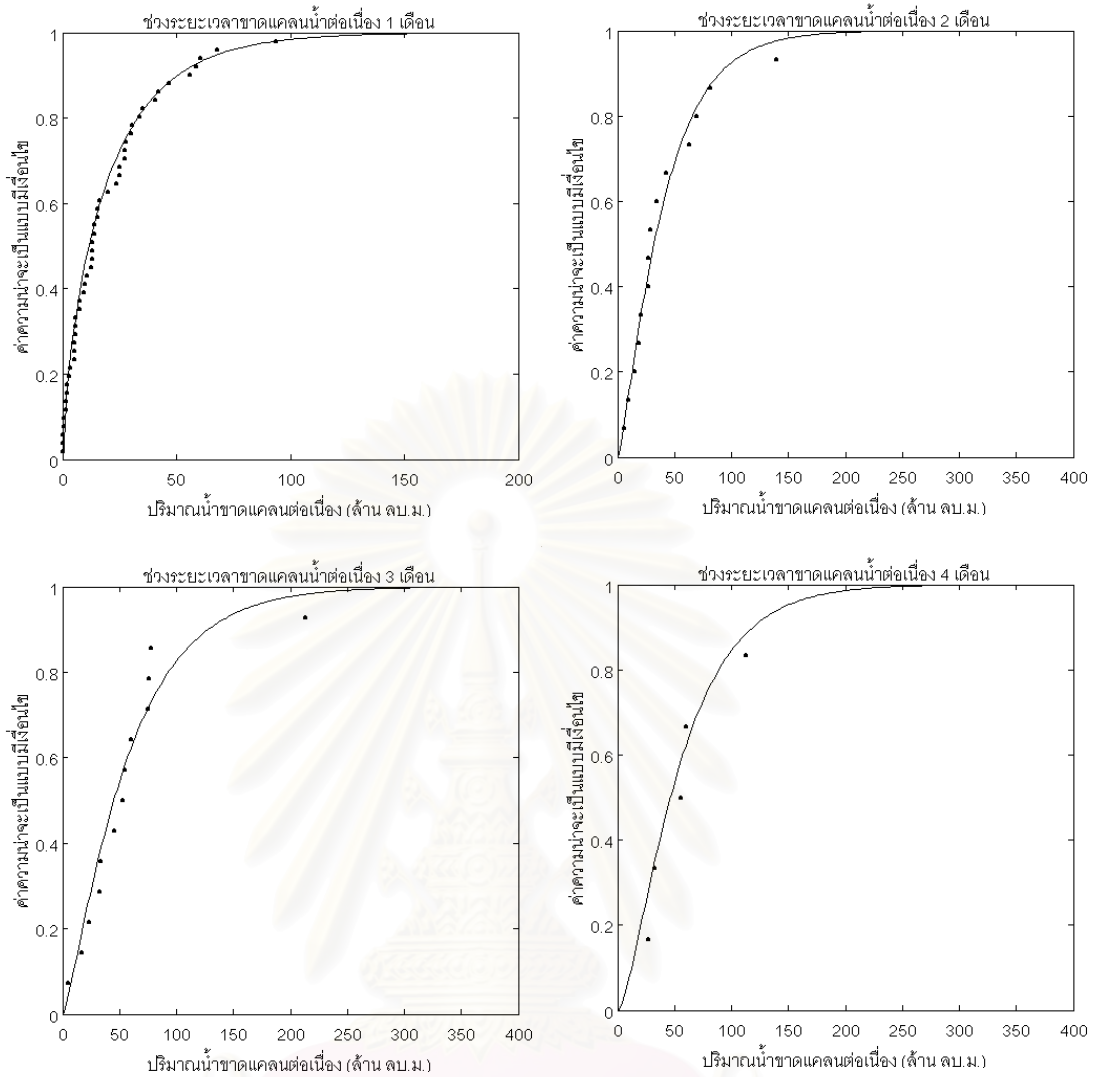
รูปที่ ค-1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



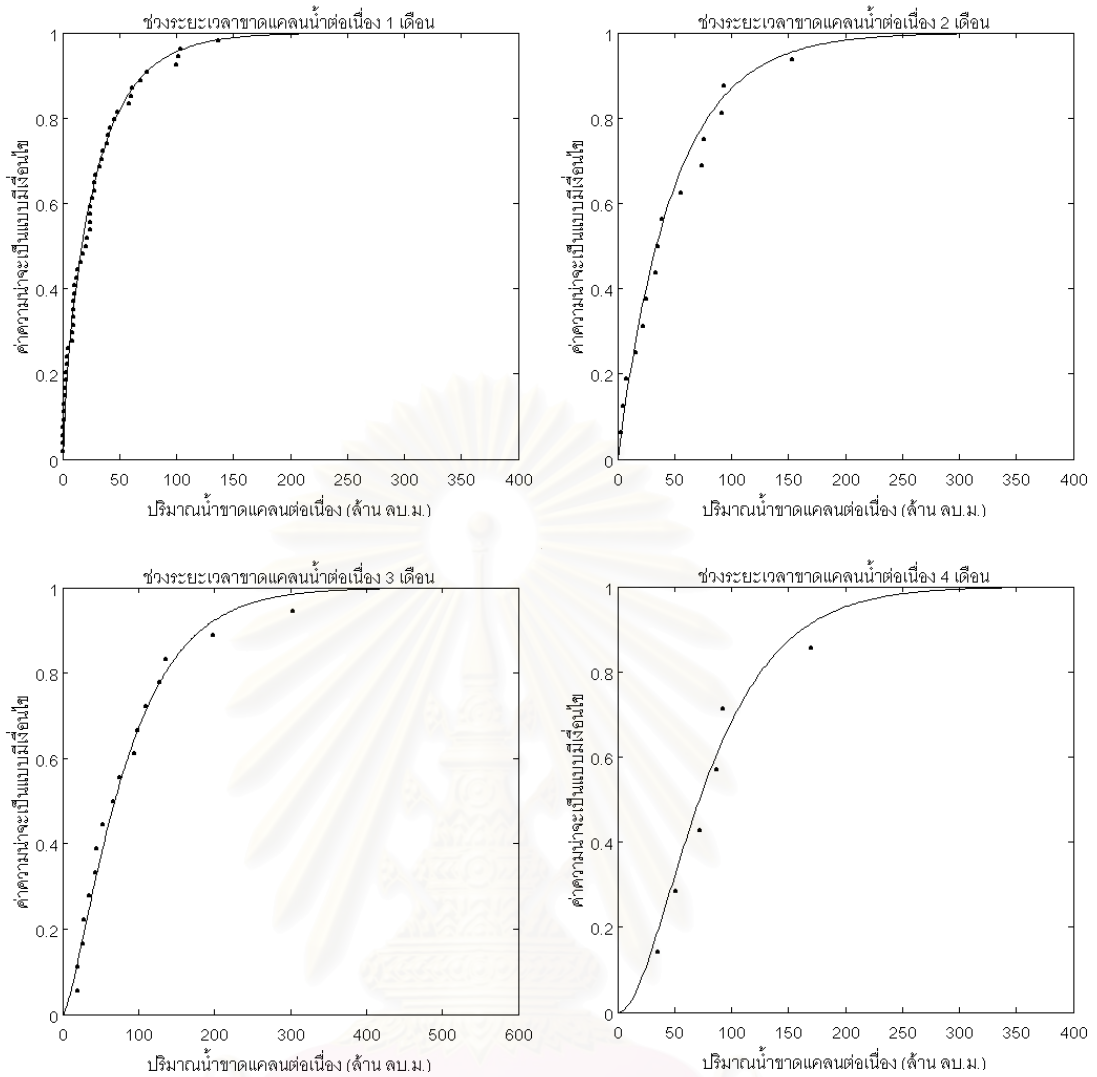
รูปที่ ค-2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 50% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



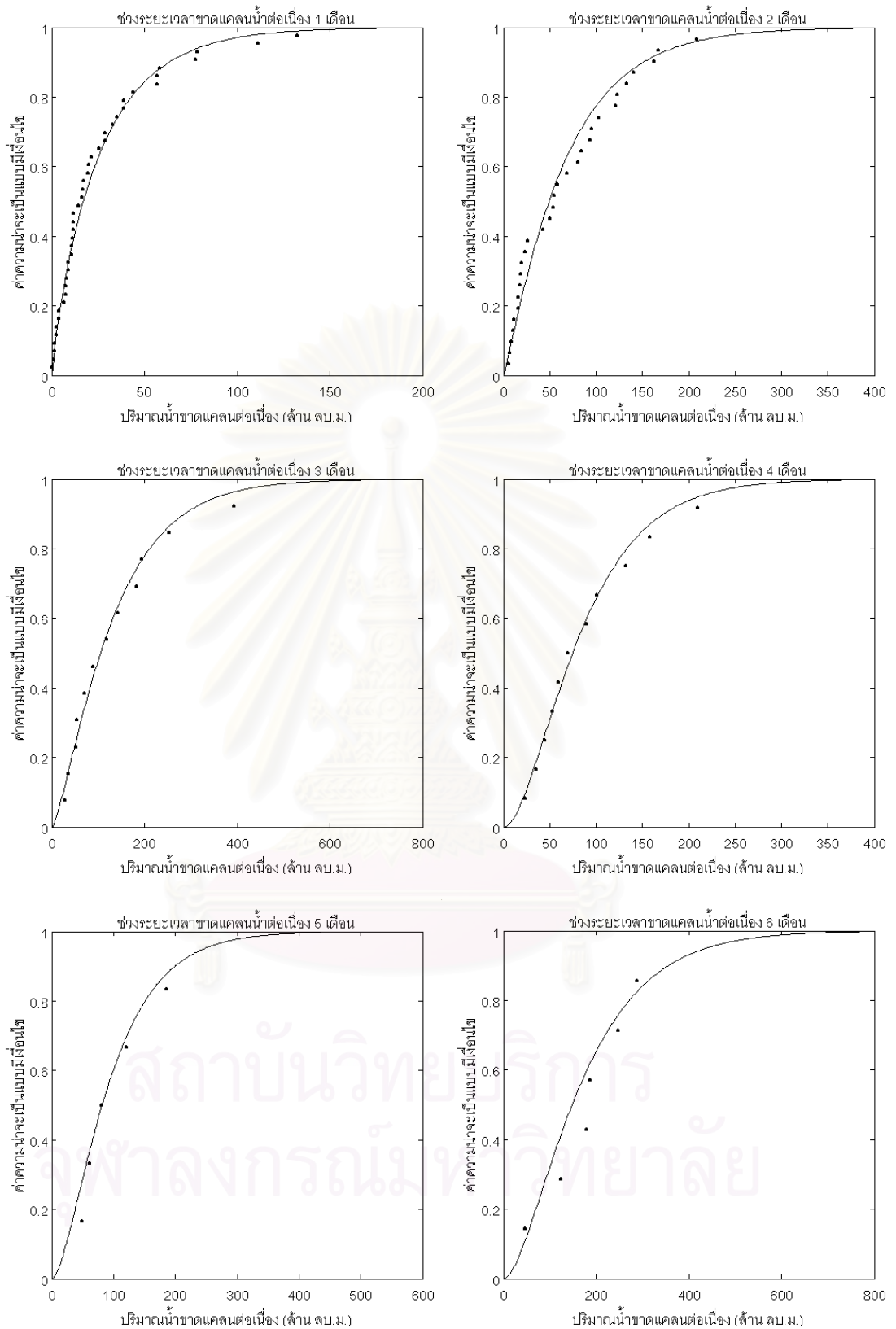
รูปที่ ค-3 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 60% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

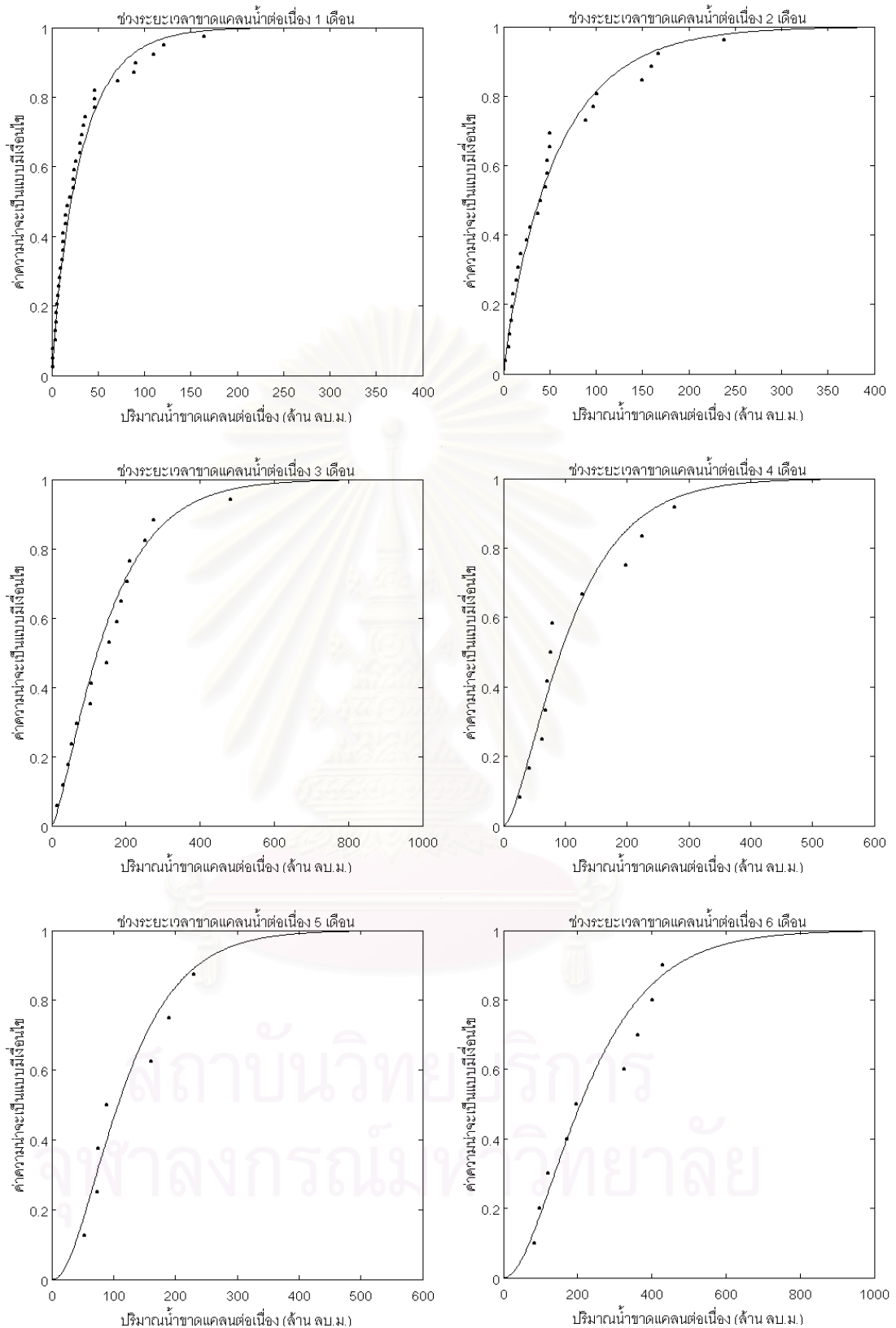


รูปที่ ค-4 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 70% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน

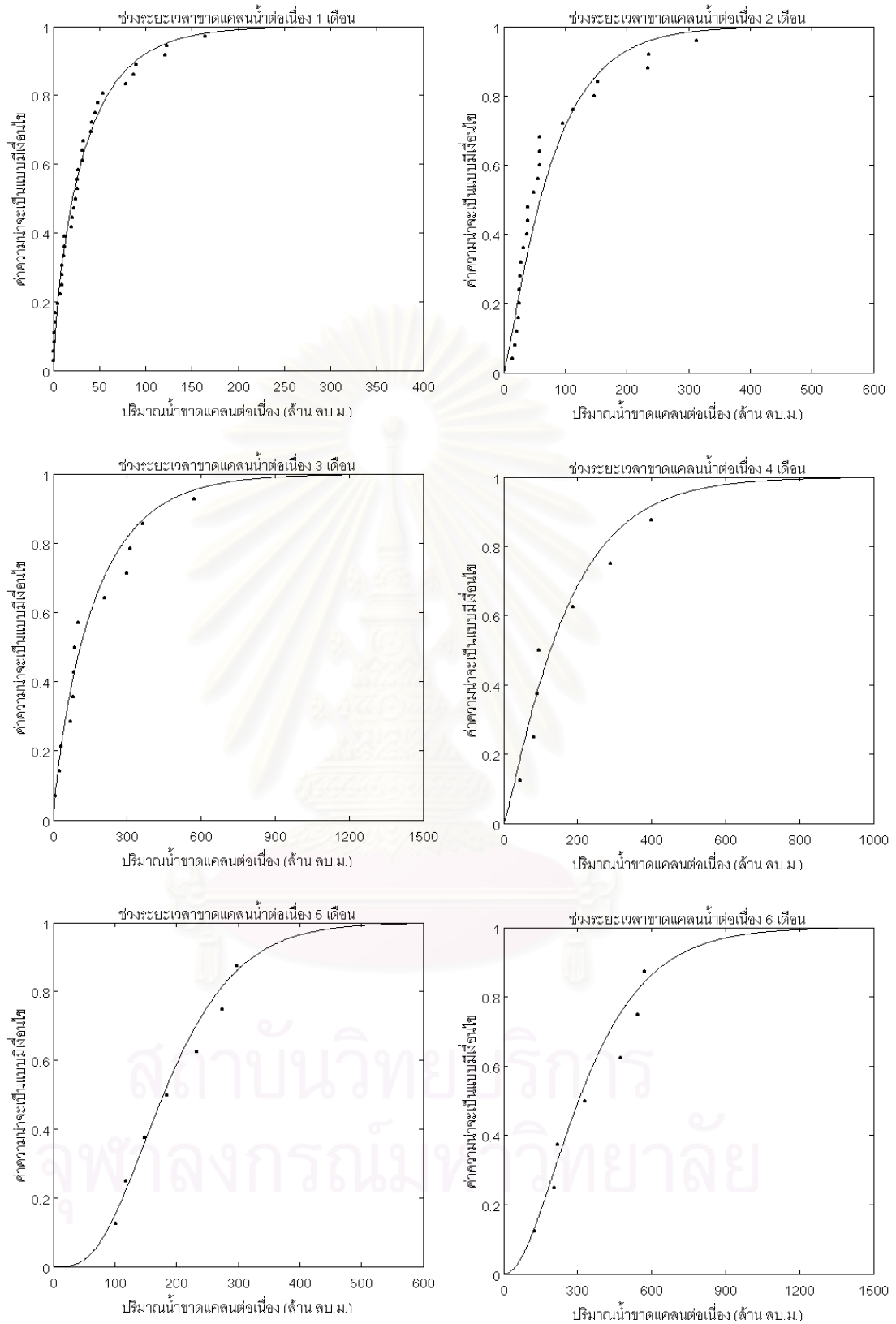
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



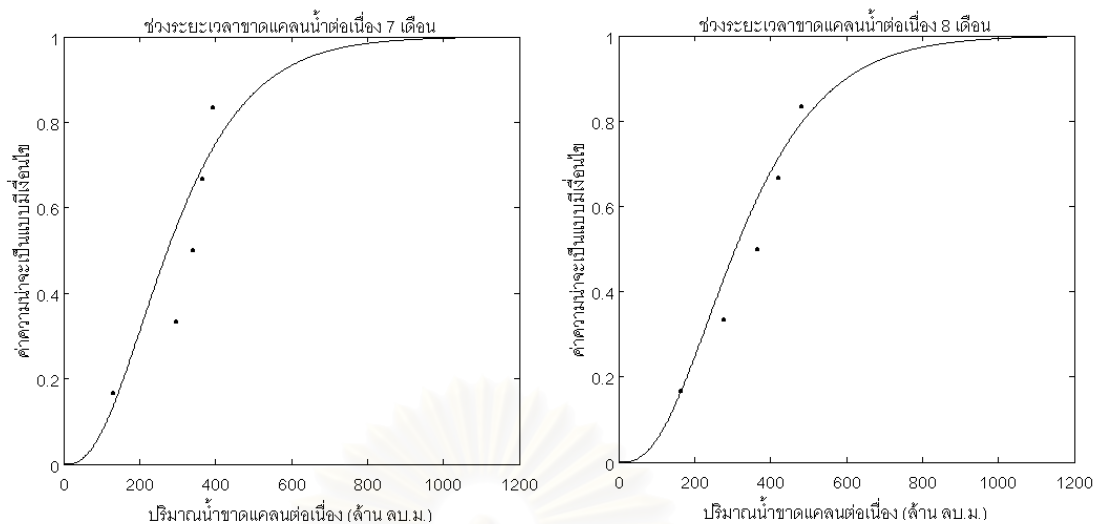
รูปที่ ค-5 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนนํ้าต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้นํ้า 80% โดยข้อมูลปริมาณนํ้าทำรายเดือน



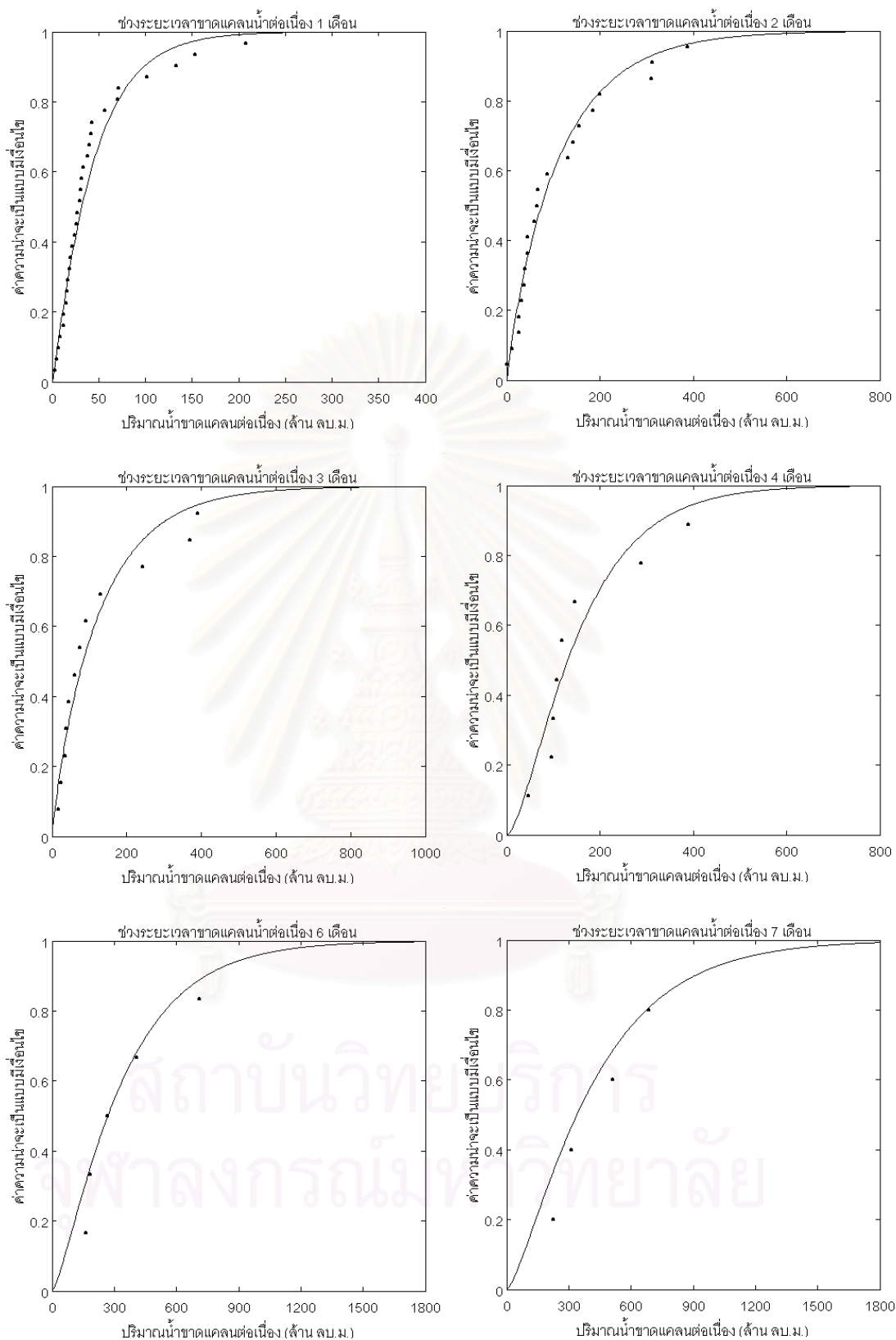
รูปที่ ค-6 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



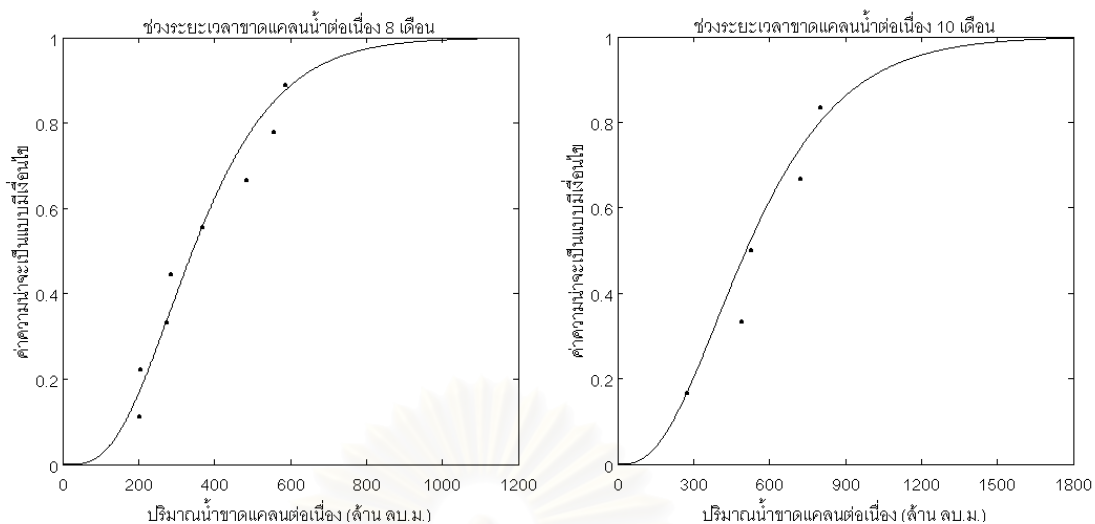
รูปที่ ค-7 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนนํ้าต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้นํ้า 100% โดยข้อมูลปริมาณนํ้าทำรายเดือน



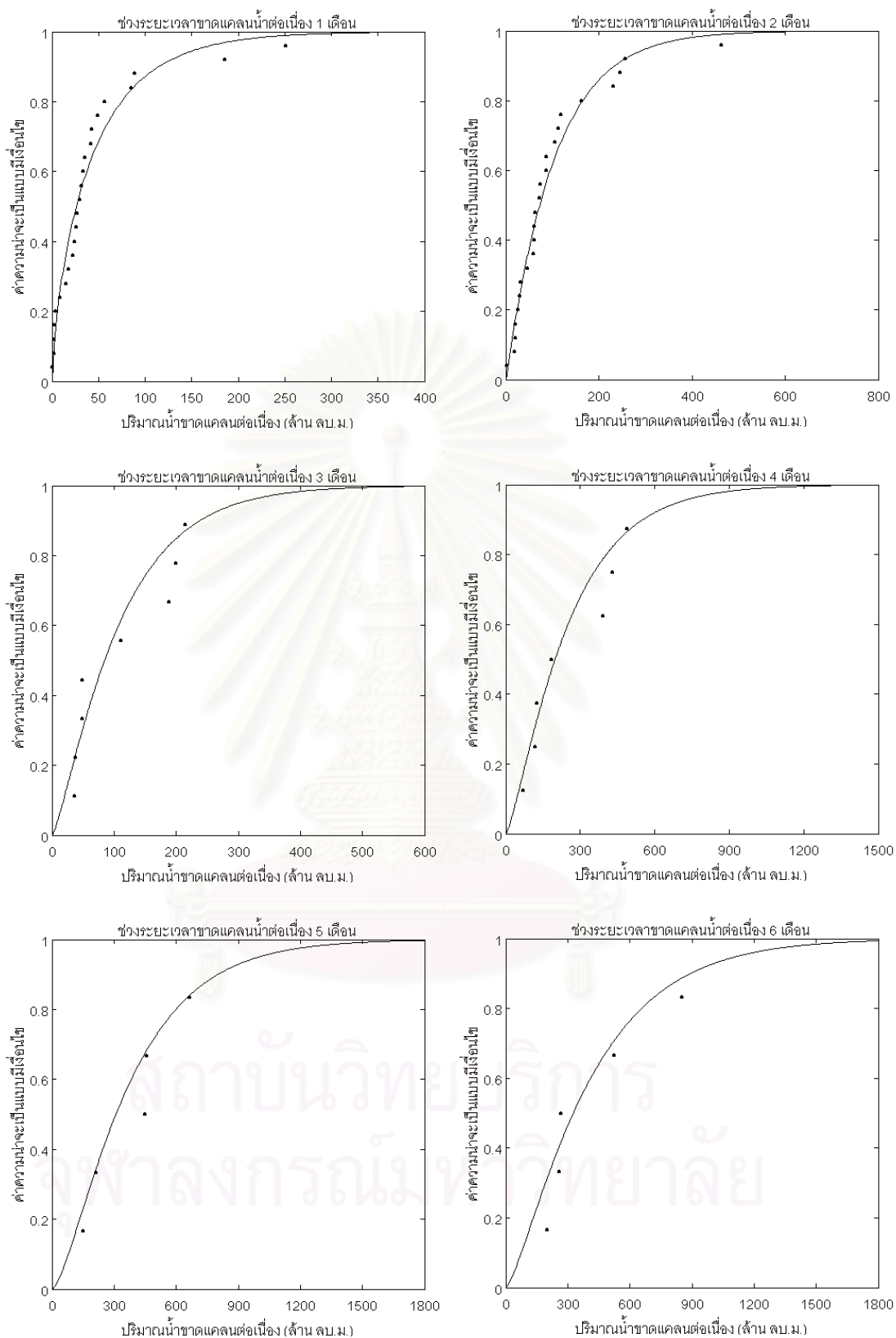
รูปที่ ค-7 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 100% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน (ต่อ)



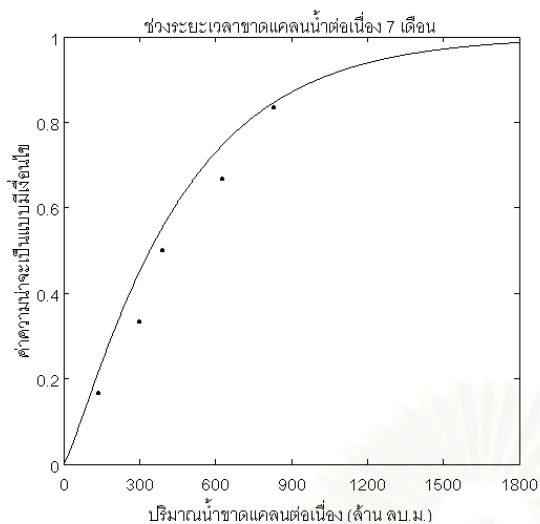
รูปที่ ค-8 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนนํ้าต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้นํ้า 110% โดยข้อมูลปริมาณนํ้าทำรายเดือน



รูปที่ ค-8 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเดือนในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 110% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน (ต่อ)

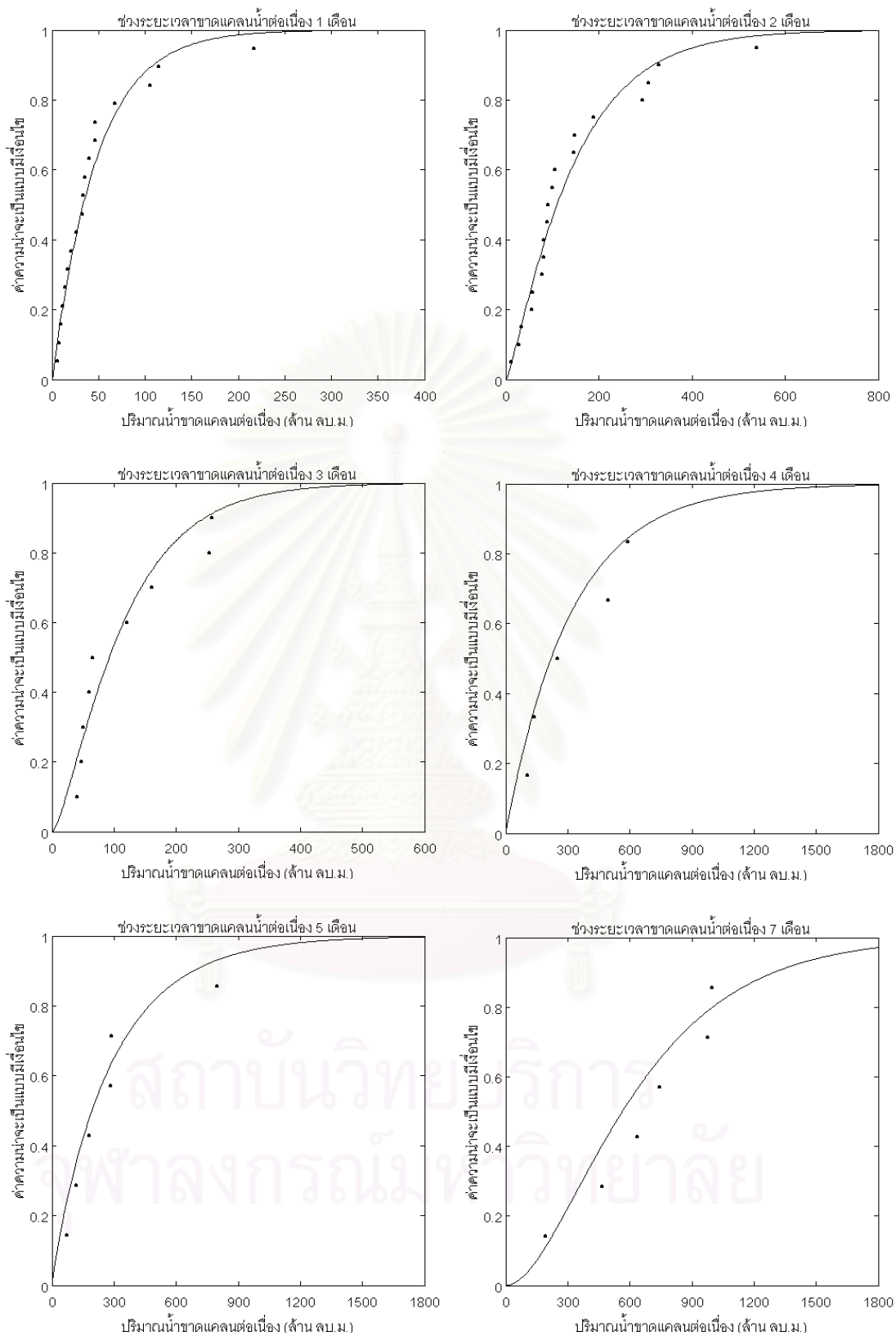


รูปที่ ค-9 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนนํ้าต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้นํ้า 120% โดยข้อมูลปริมาณนํ้าทำรายเดือน

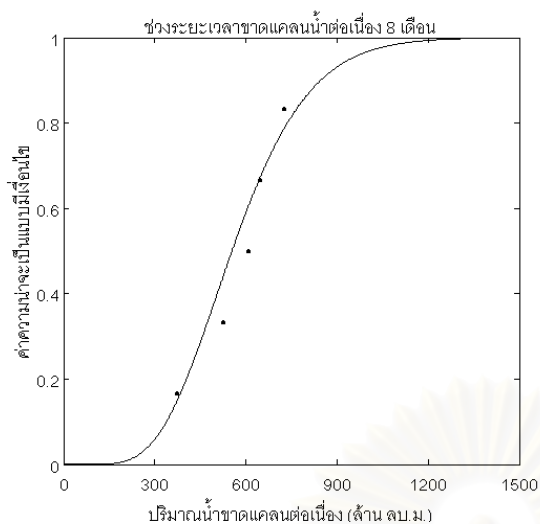


รูปที่ ค-9 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 120% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

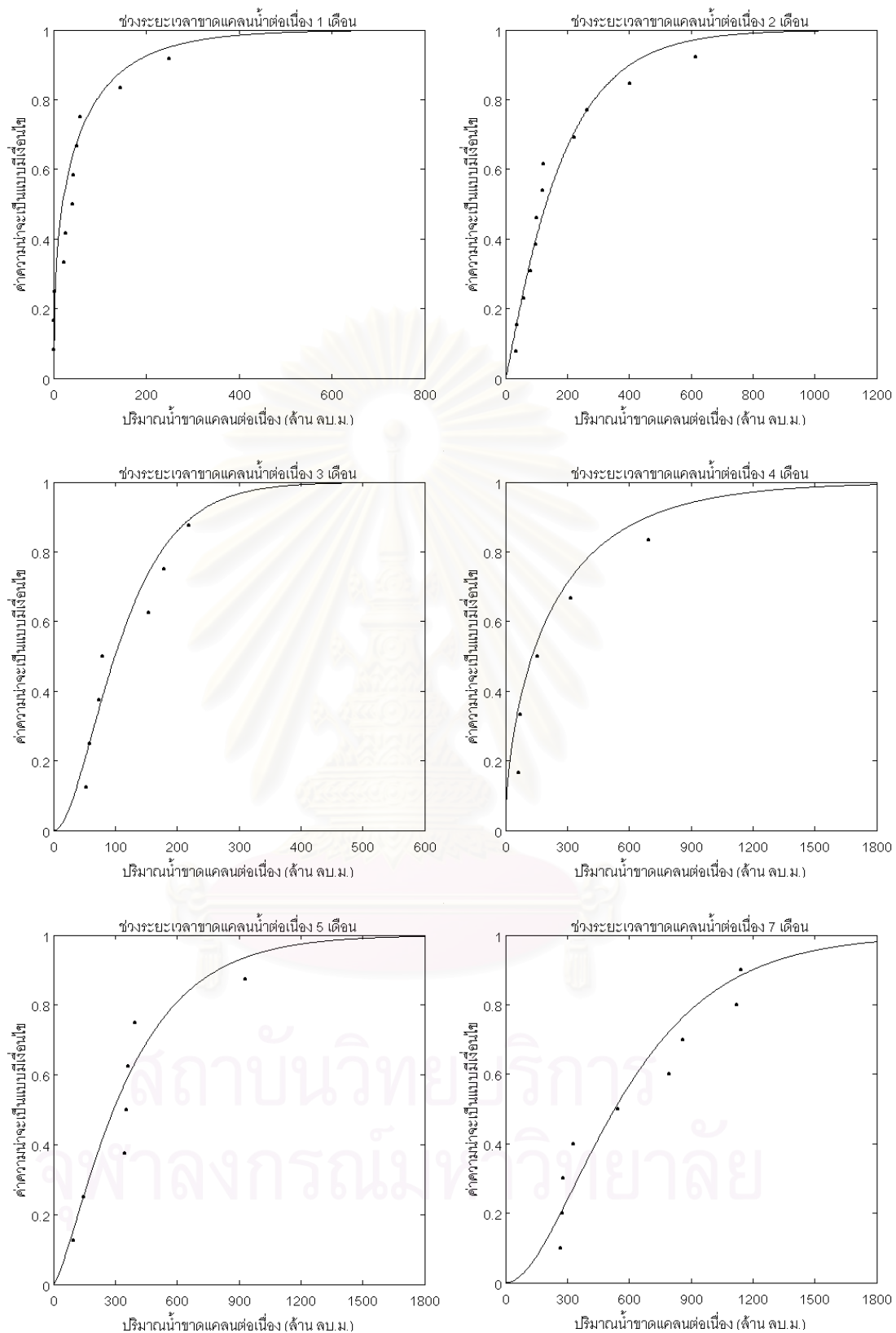


รูปที่ ค-10 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนืองที่กำหนด ที่ระดับการให้น้ำ 130% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน

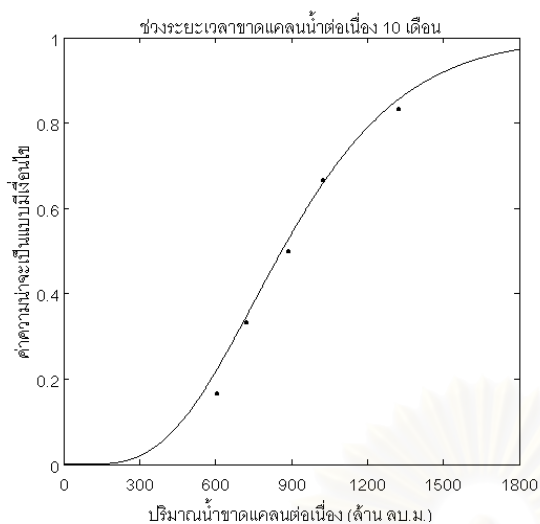


รูปที่ ค-10 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 130% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

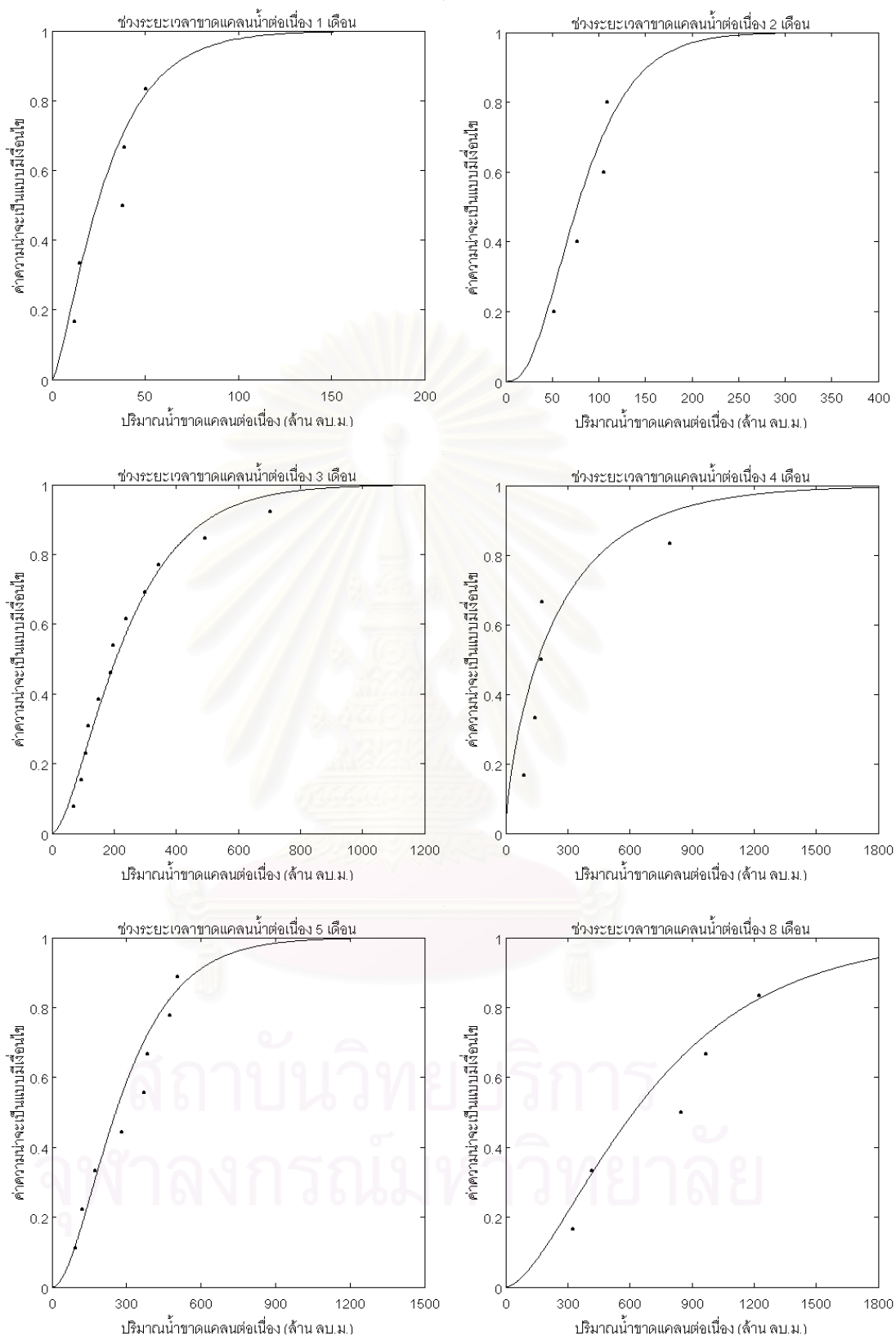


รูปที่ ค-11 การแจกแจงความน้ำจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการให้น้ำ 140% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน

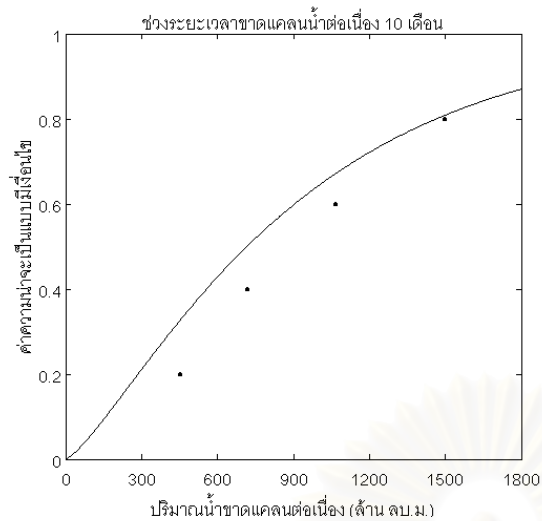


รูปที่ ค-11 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 140% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

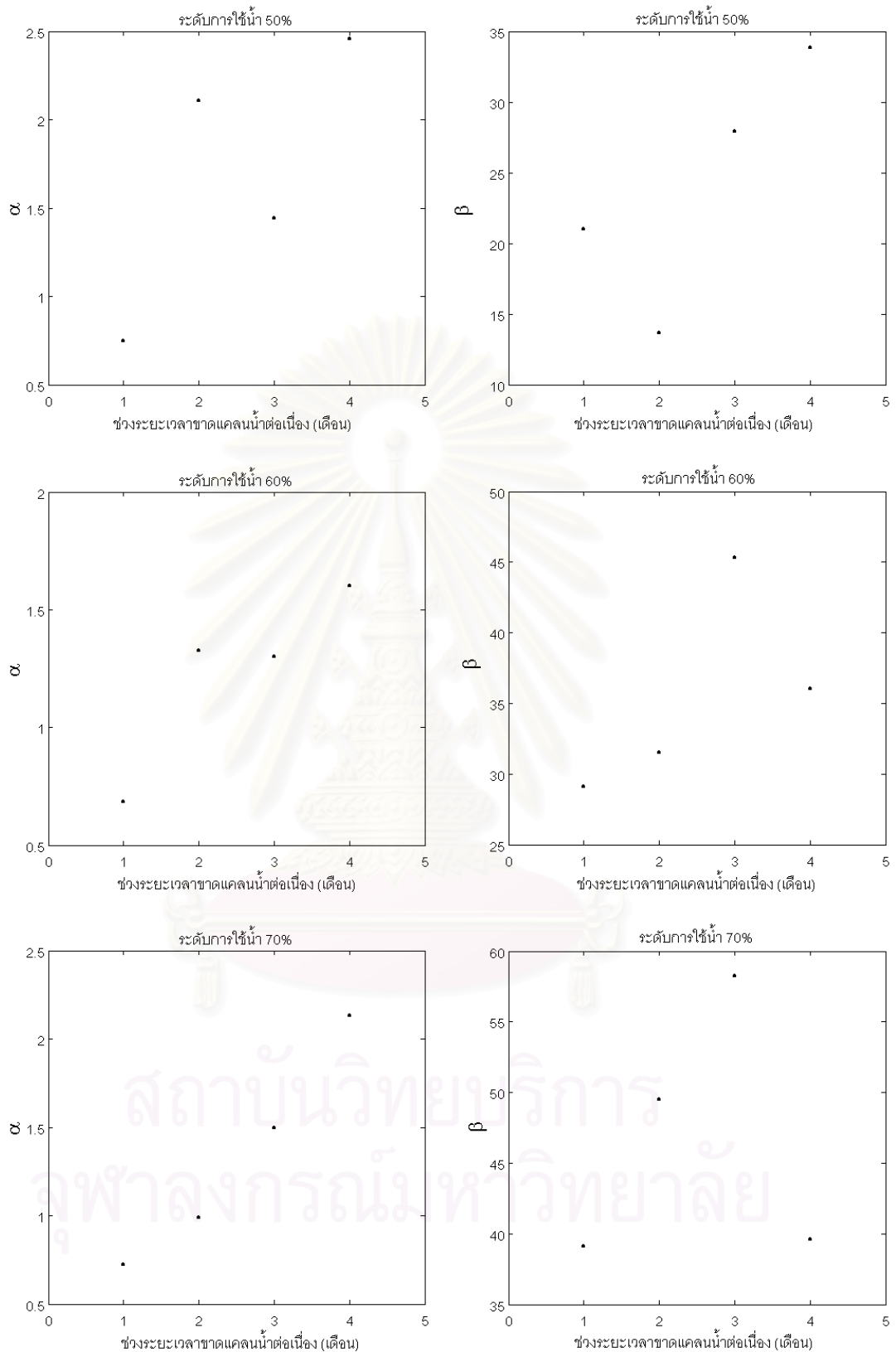


รูปที่ ค-12 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน

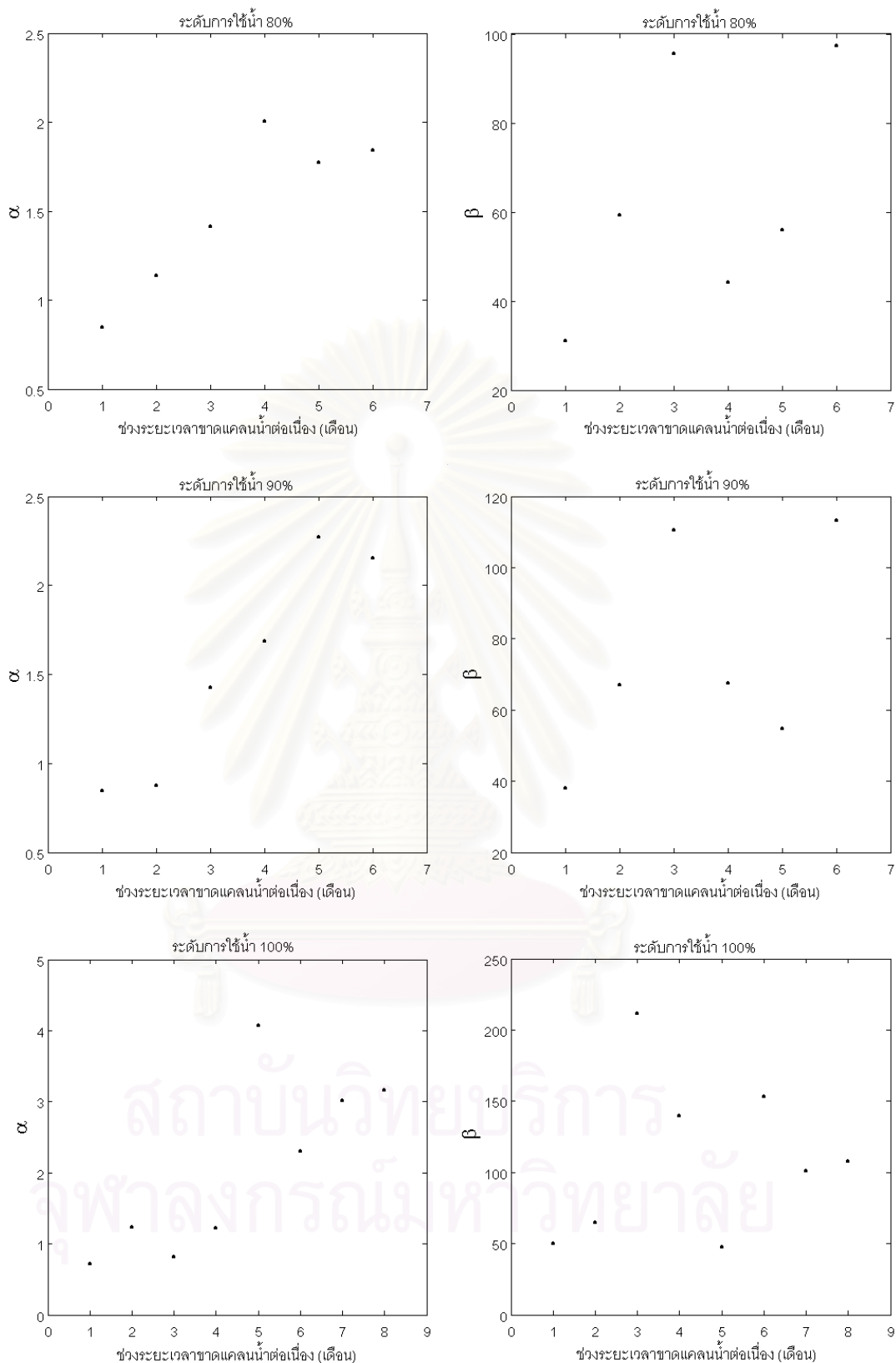


รูปที่ ค-12 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)

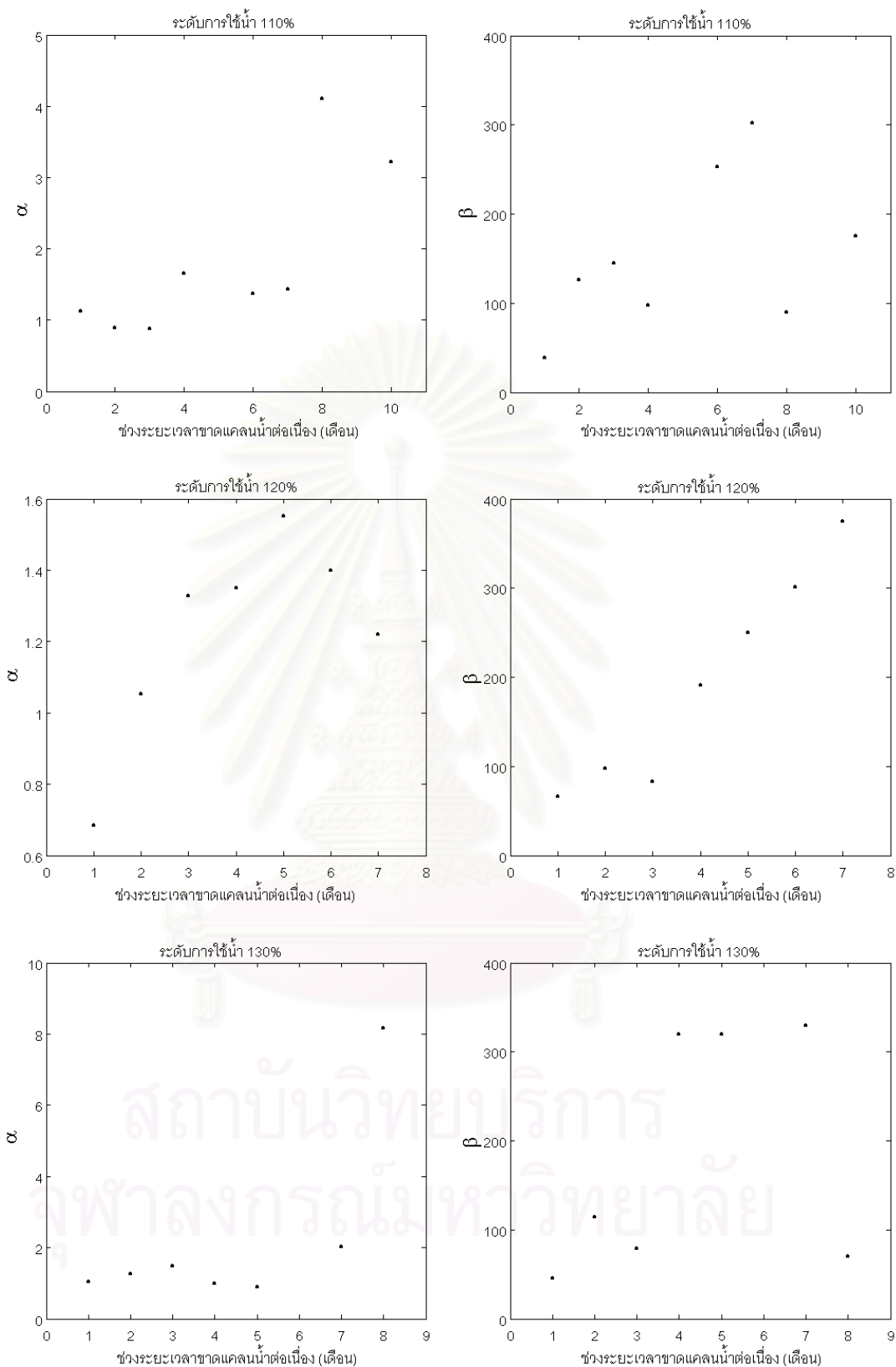
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



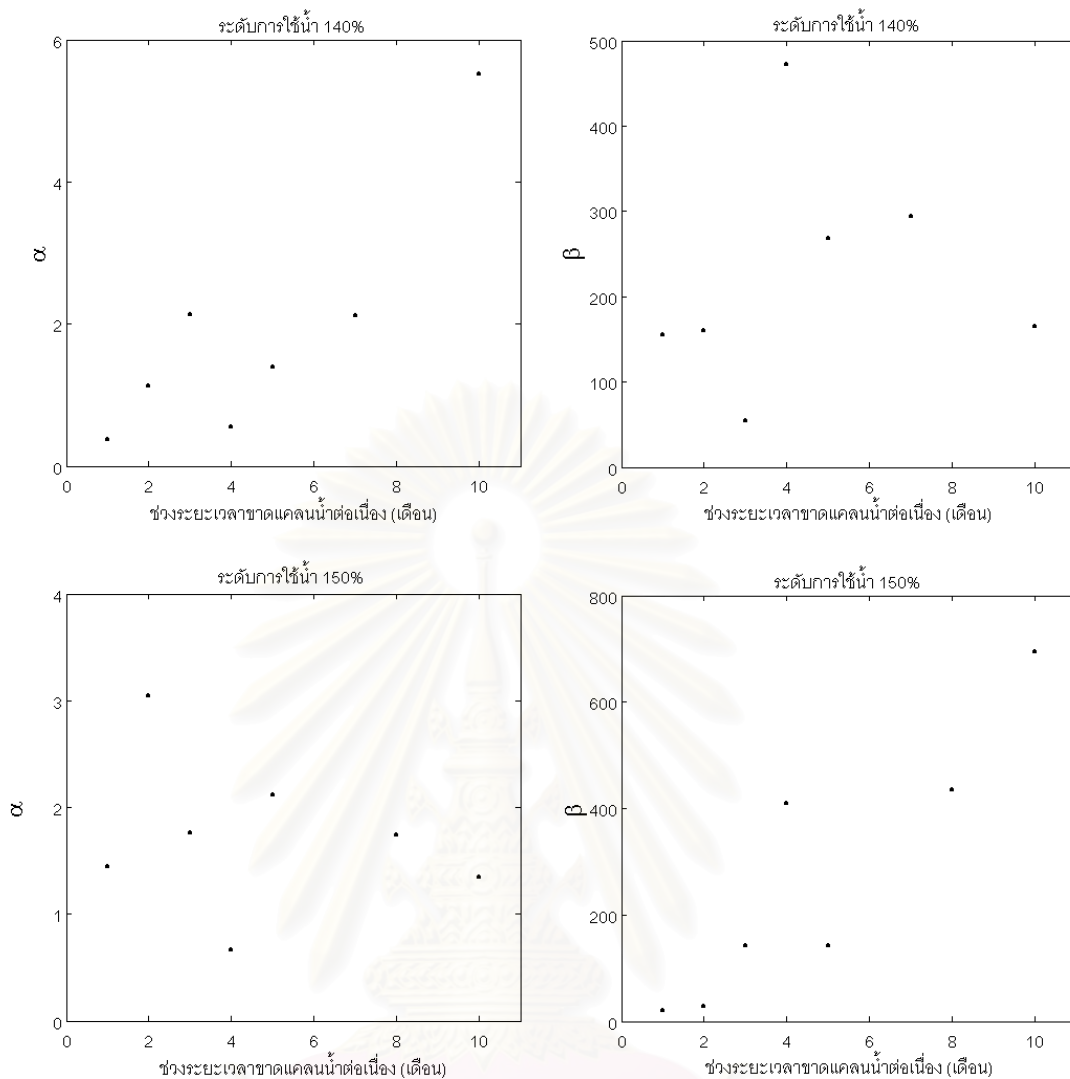
รูปที่ ค-13 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



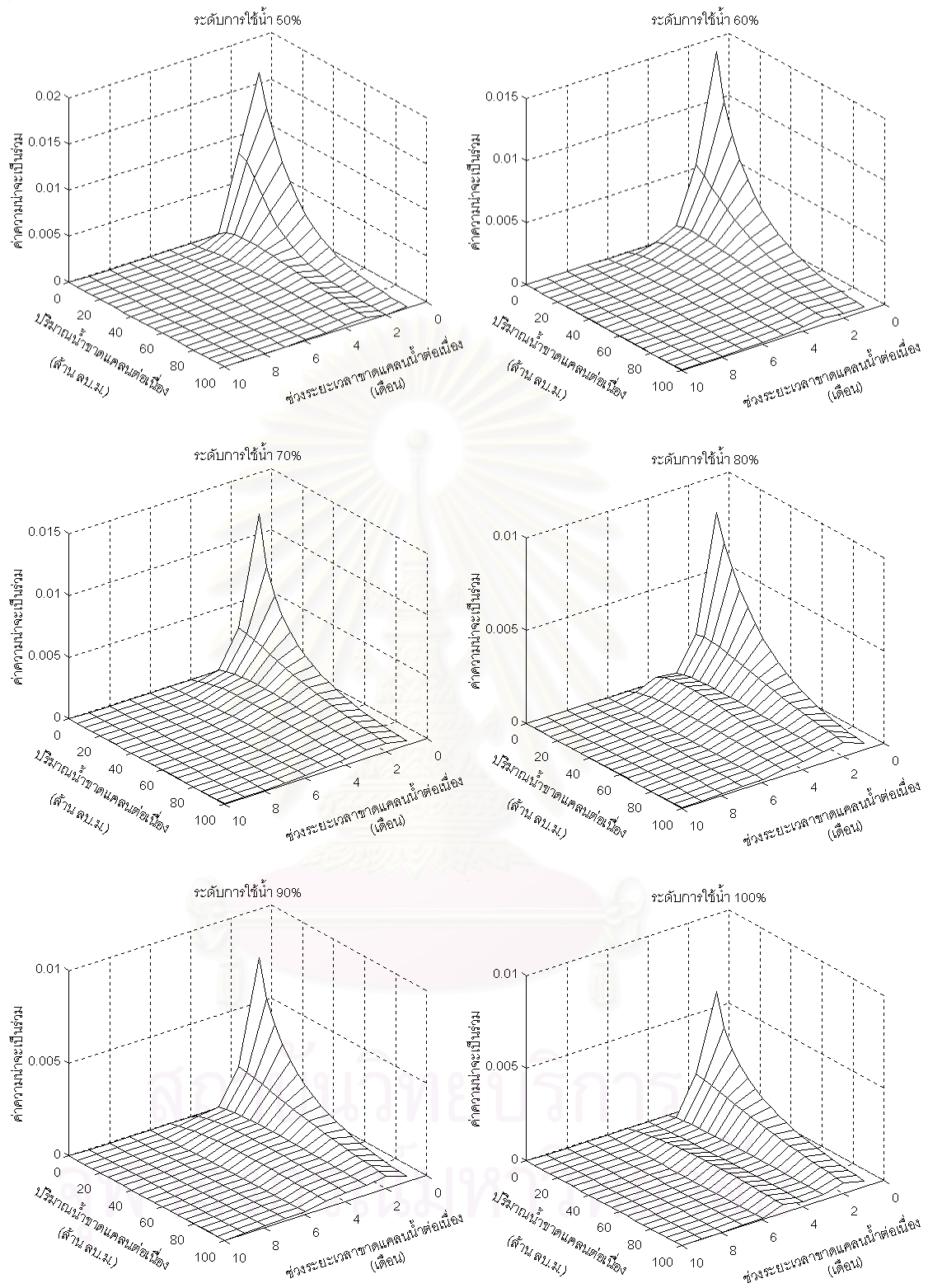
รูปที่ ค-13 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)



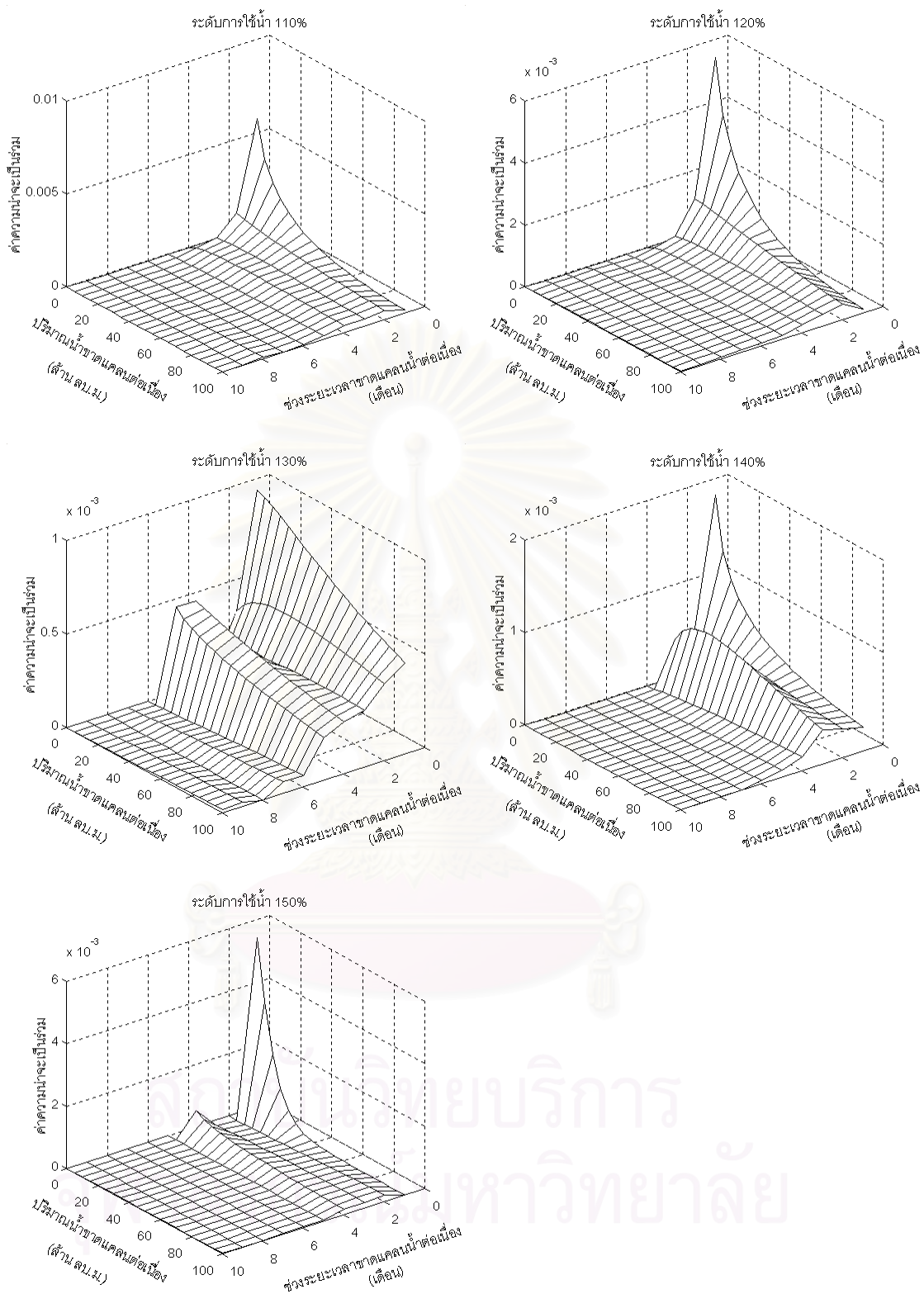
รูปที่ ค-13 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)



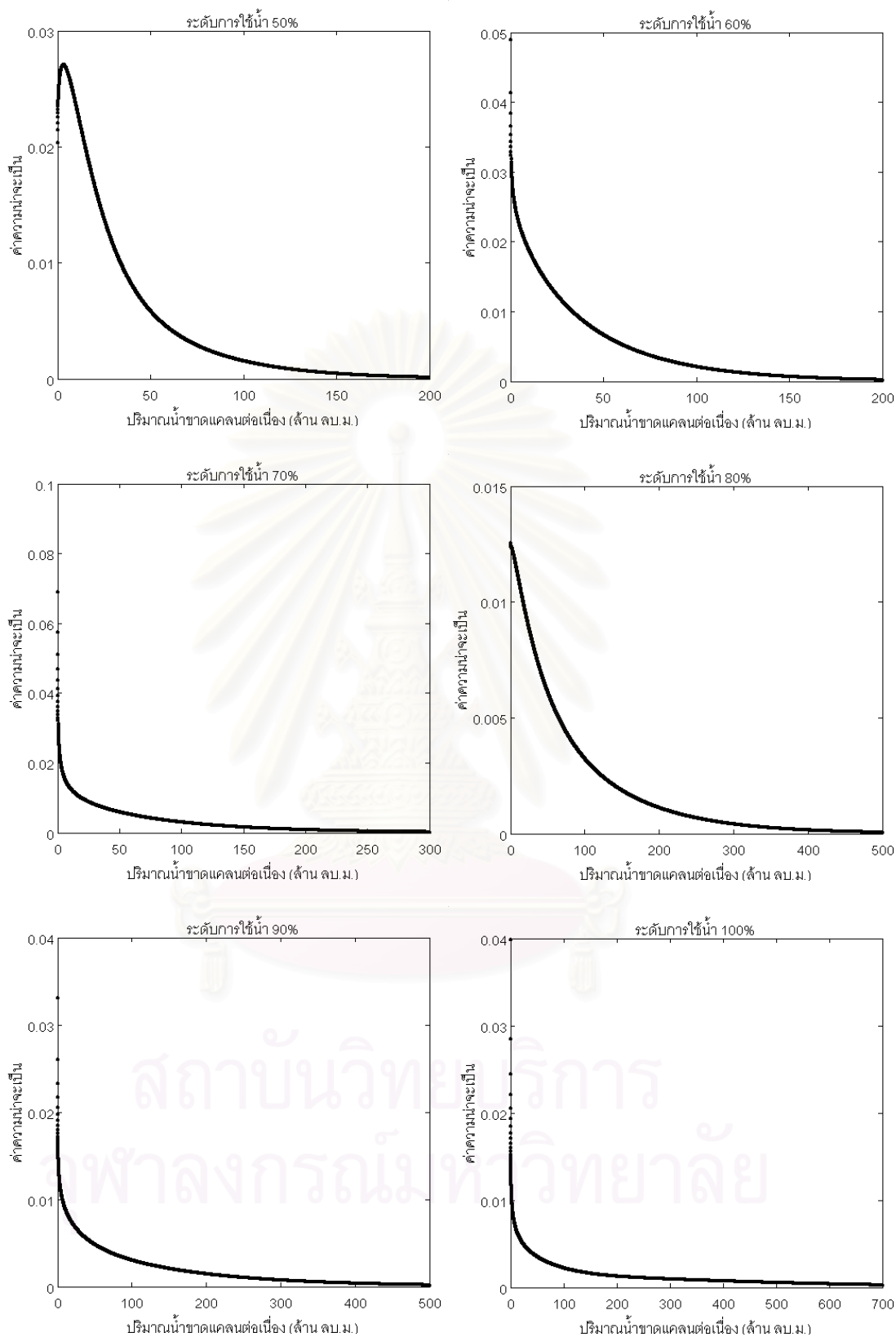
รูปที่ ค-13 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)



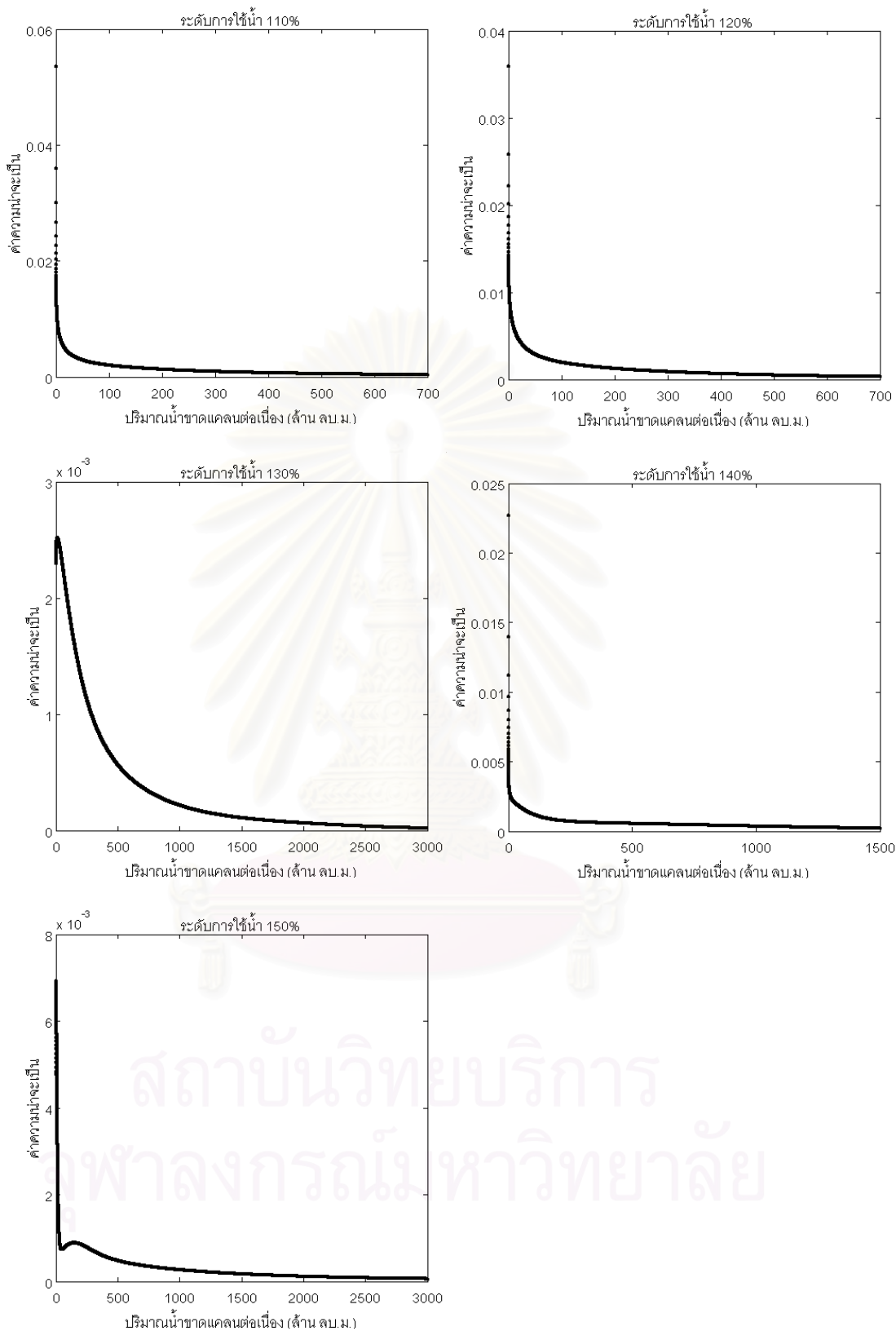
รูปที่ ค-14 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อ ที่ระดับการให้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



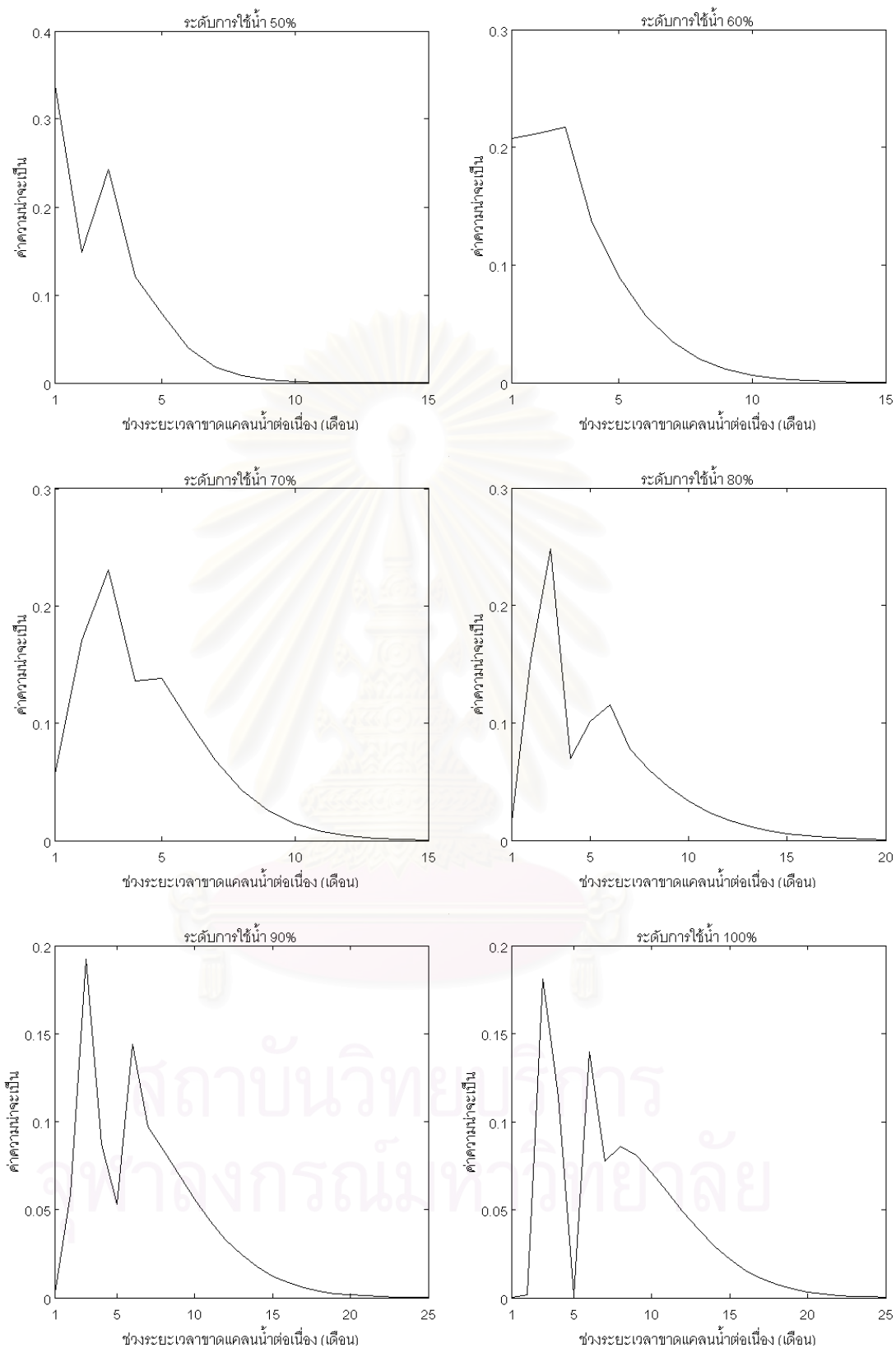
รูปที่ ค-14 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเดือนกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเดือน ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน (ต่อ)



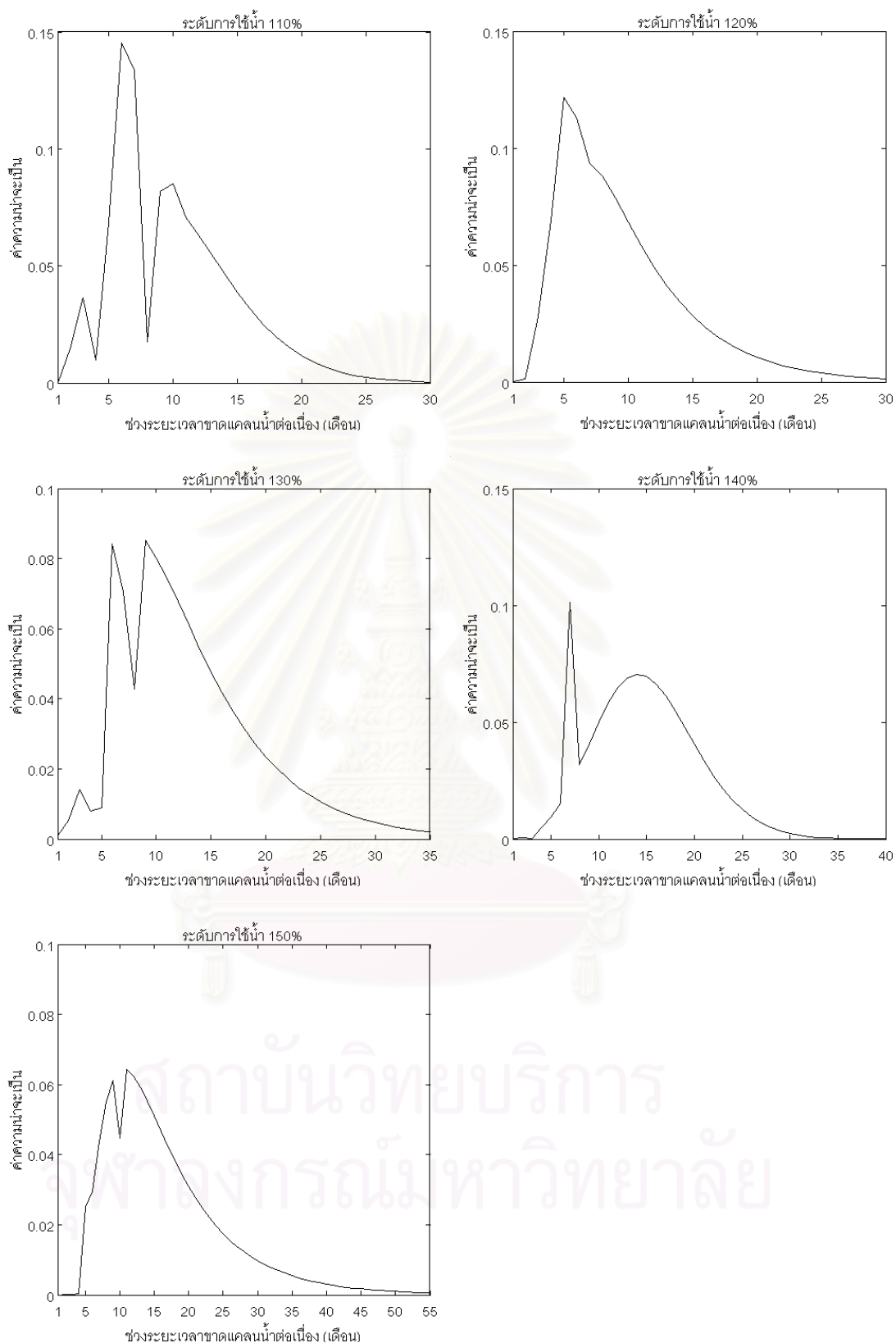
รูปที่ ค-15 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อ ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน



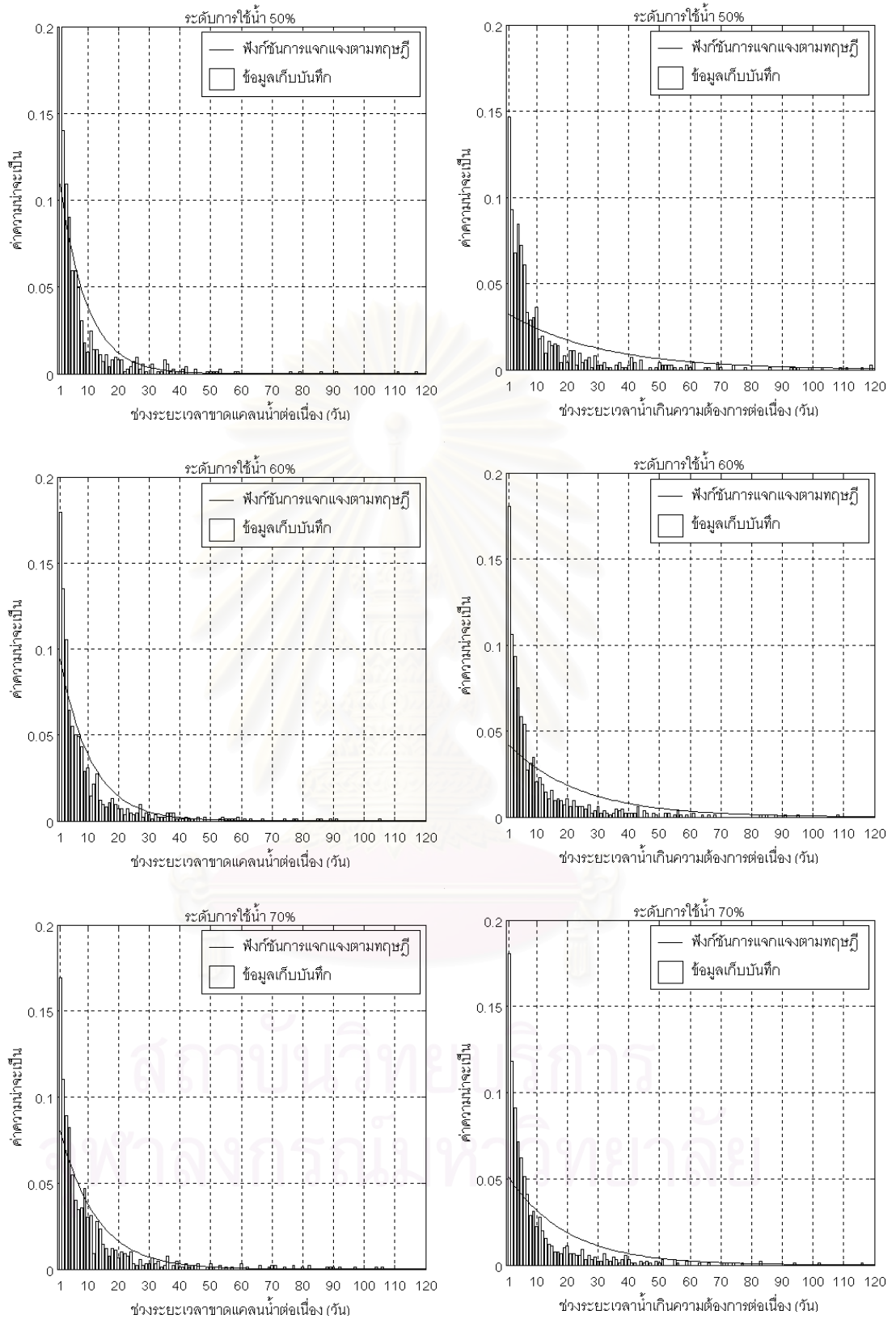
รูปที่ ค-15 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายเดือน (ต่อ)



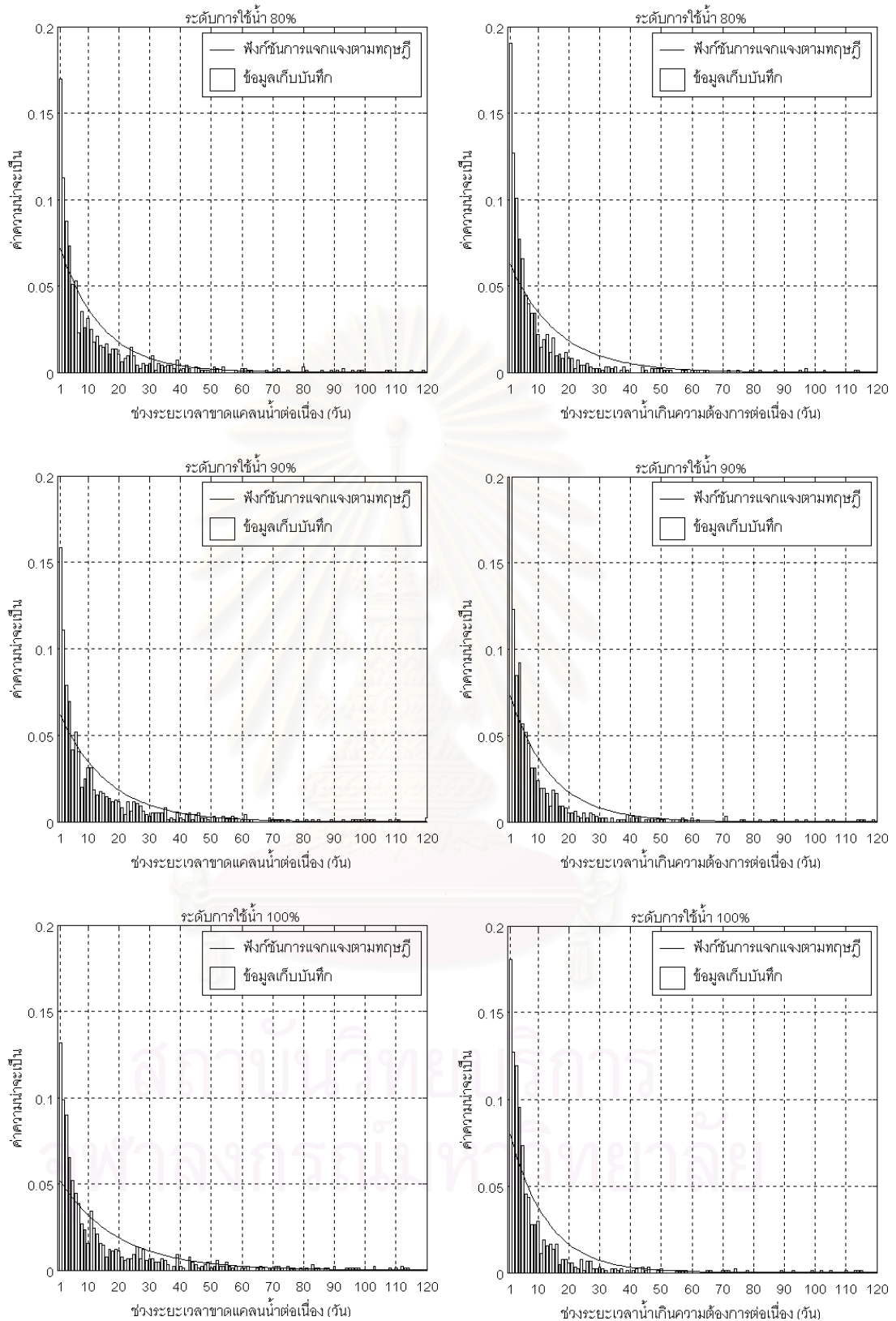
รูปที่ ค-16 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่คาบการเกิด 5 ปี โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน



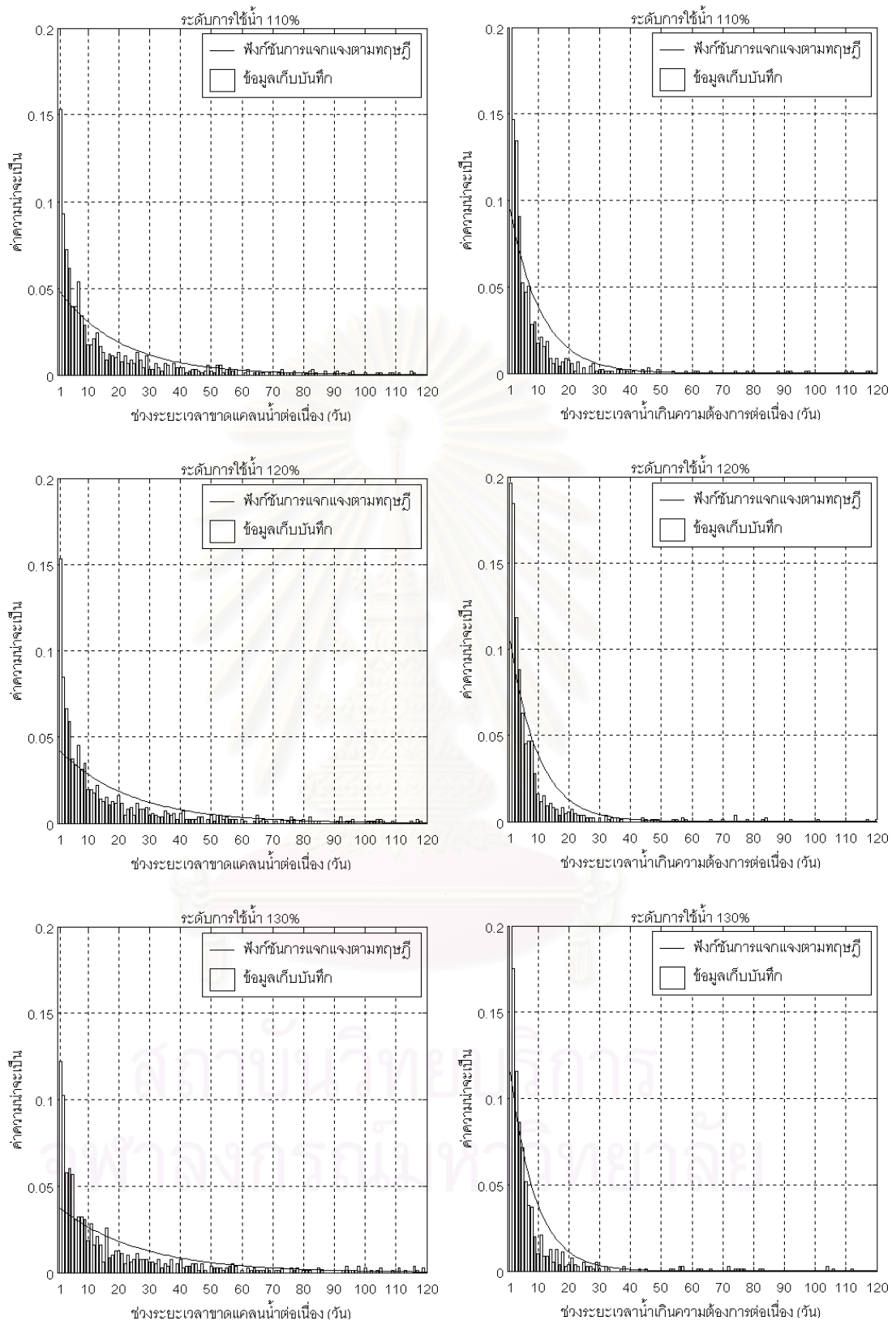
รูปที่ ค-16 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่คาบการเกิด 5 ปี โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ต่อ)



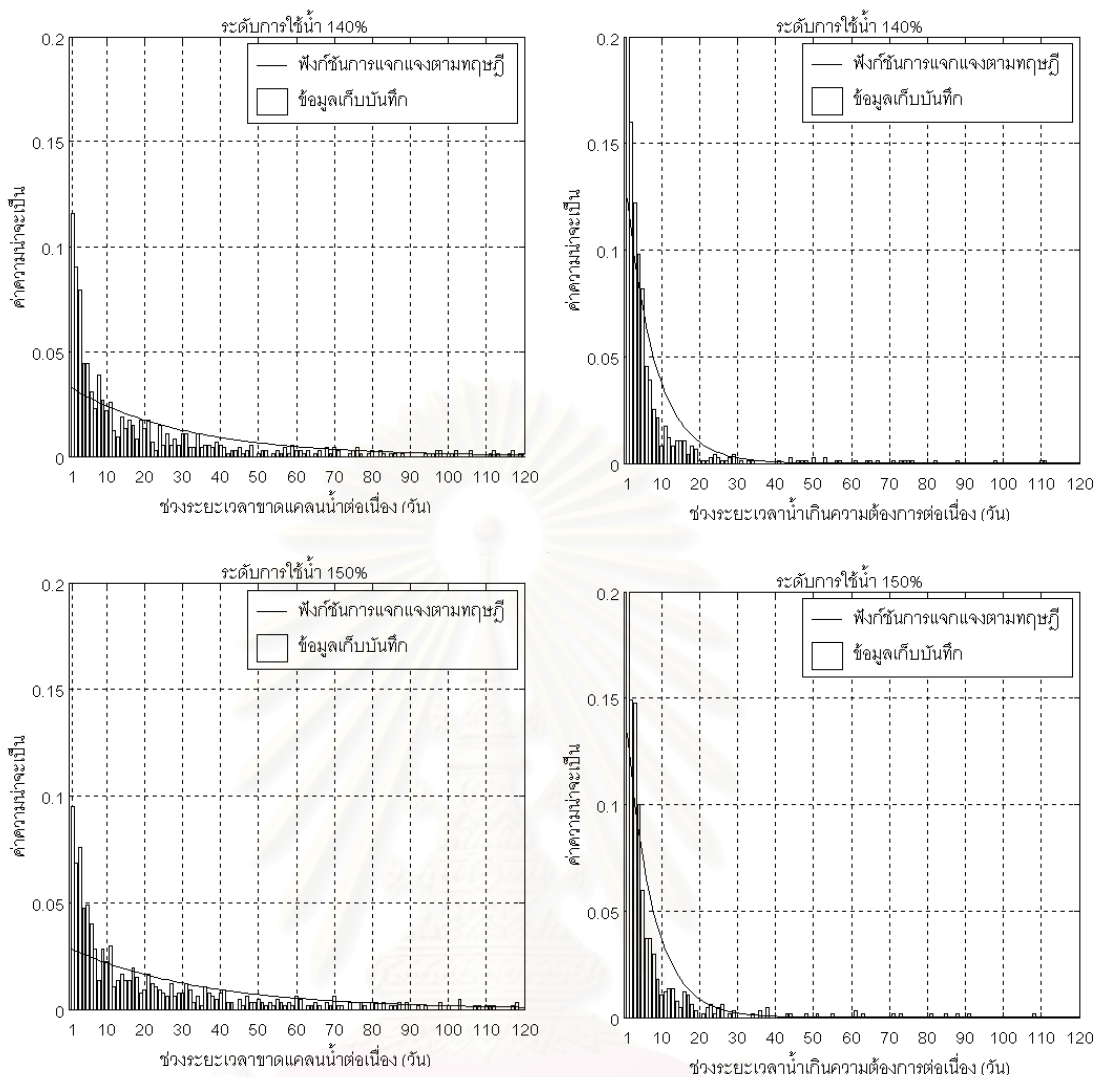
รูปที่ ค-17 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา
 ใช้น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำ
 รายวัน



รูปที่ ค-17 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน (ต่อ)

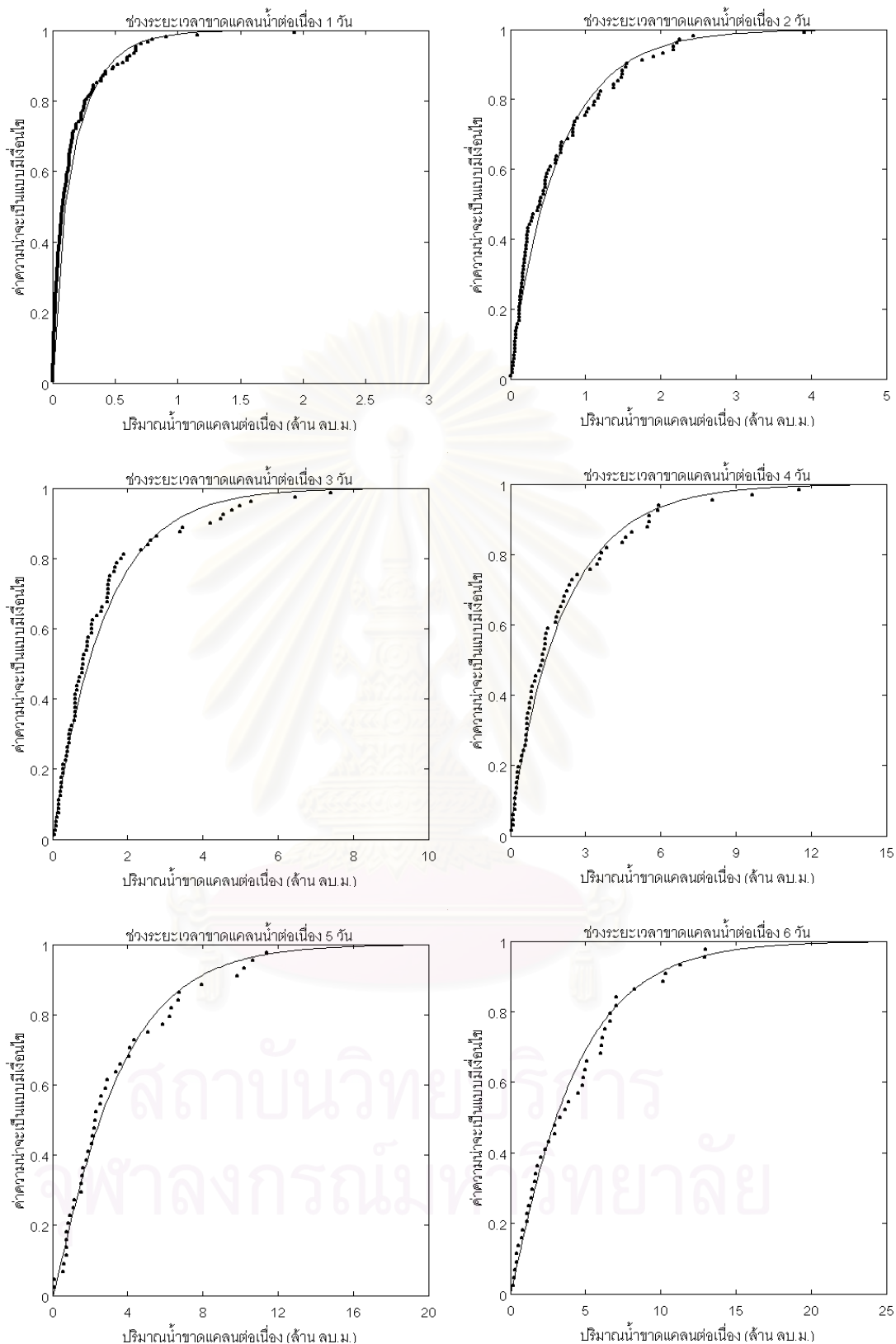


รูปที่ ค-17 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลา
 เวลาน้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำ
 รายวัน (ต่อ)

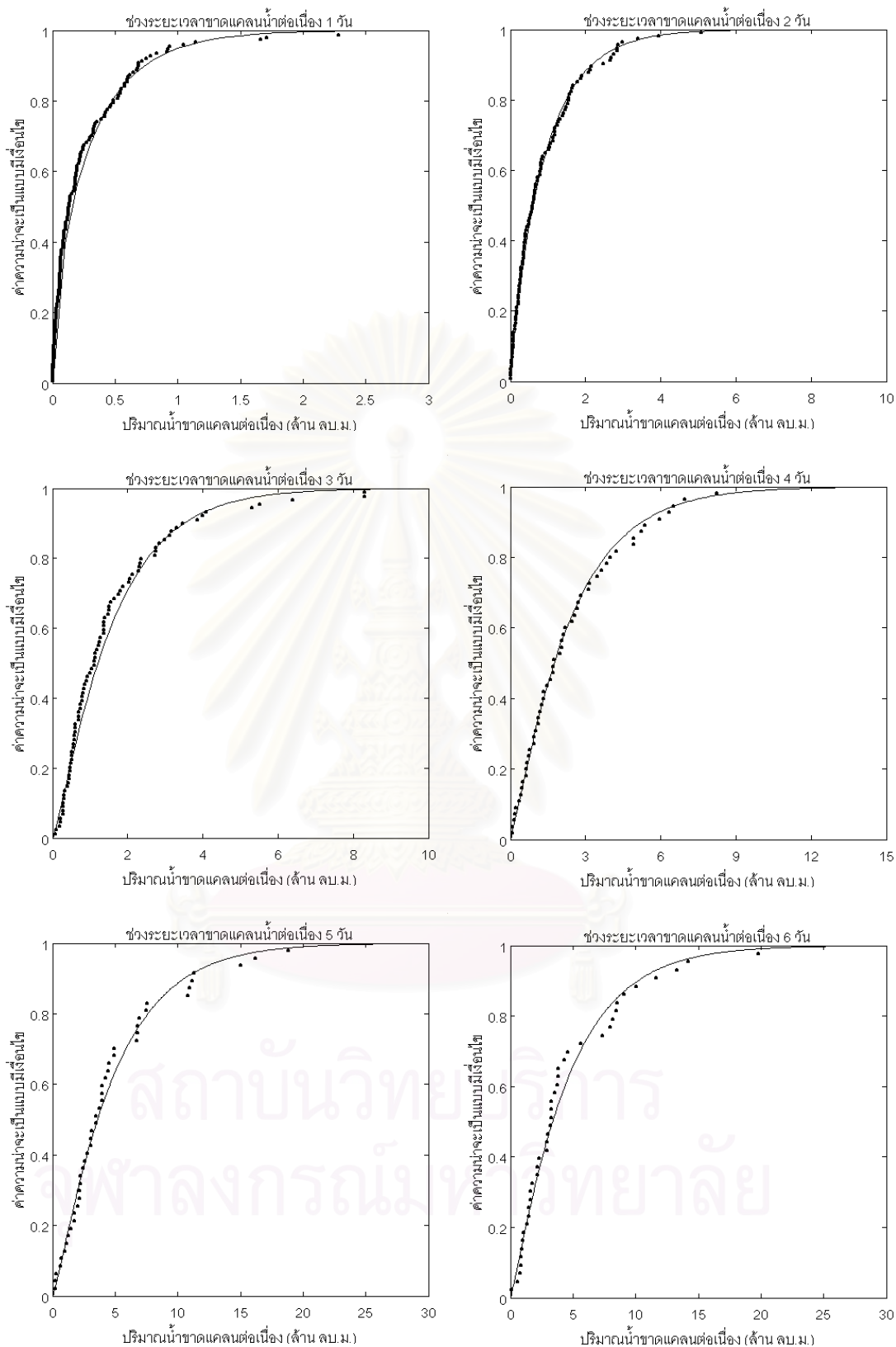


รูปที่ ค-17 การแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องและช่วงระยะเวลาให้น้ำเกินความต้องการต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน (ต่อ)

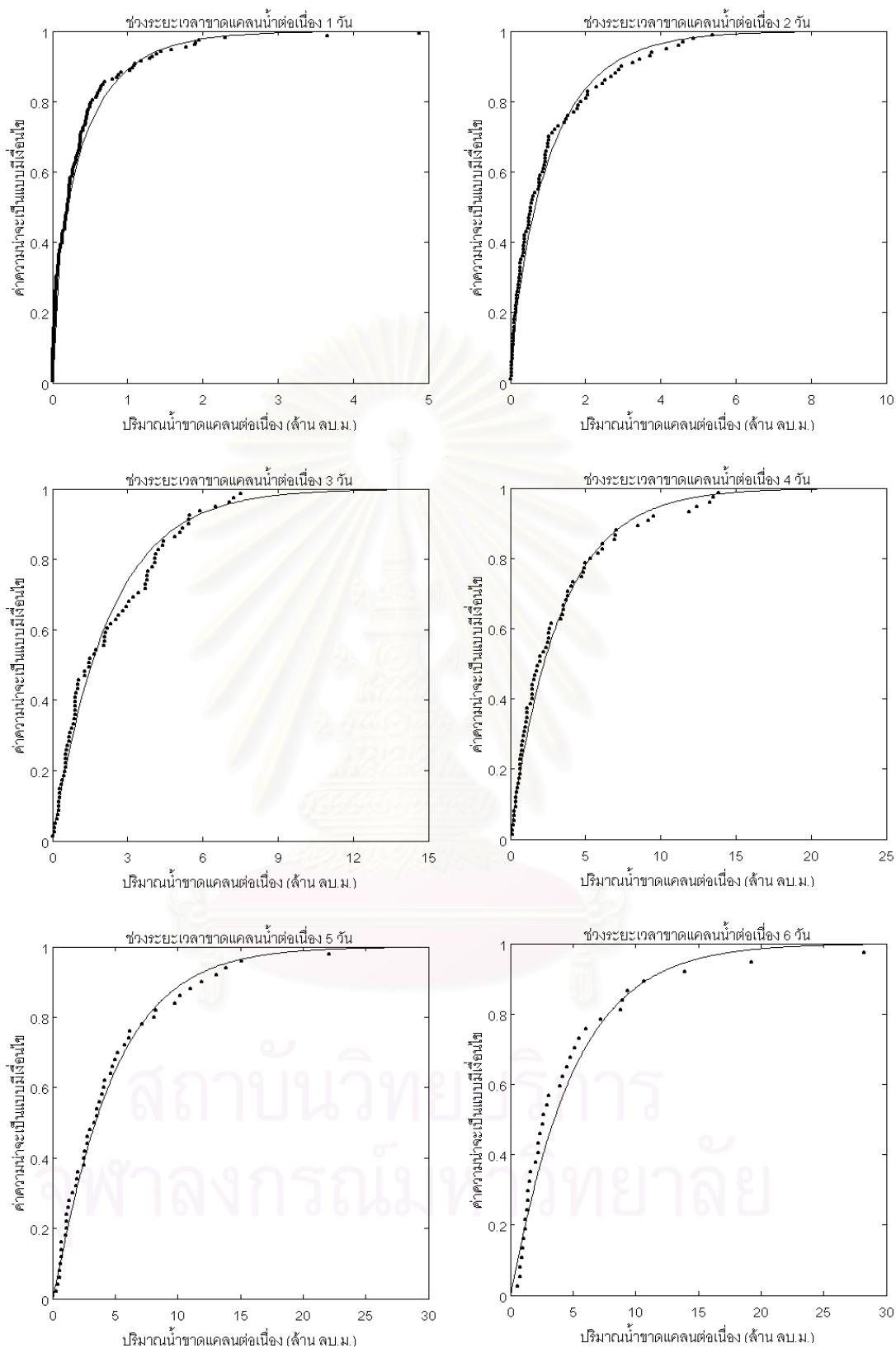
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



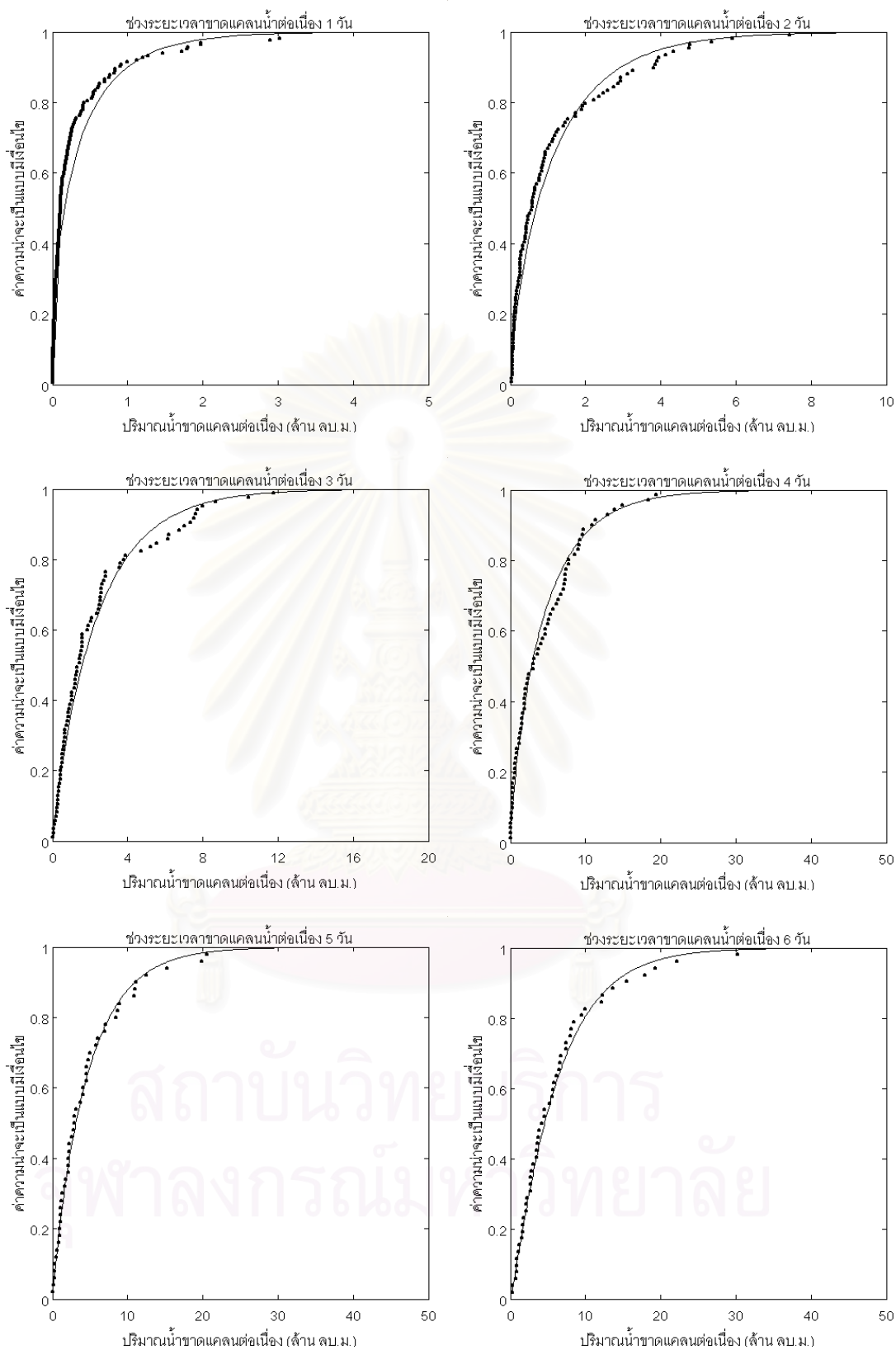
รูปที่ ค-18 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 50% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายวัน



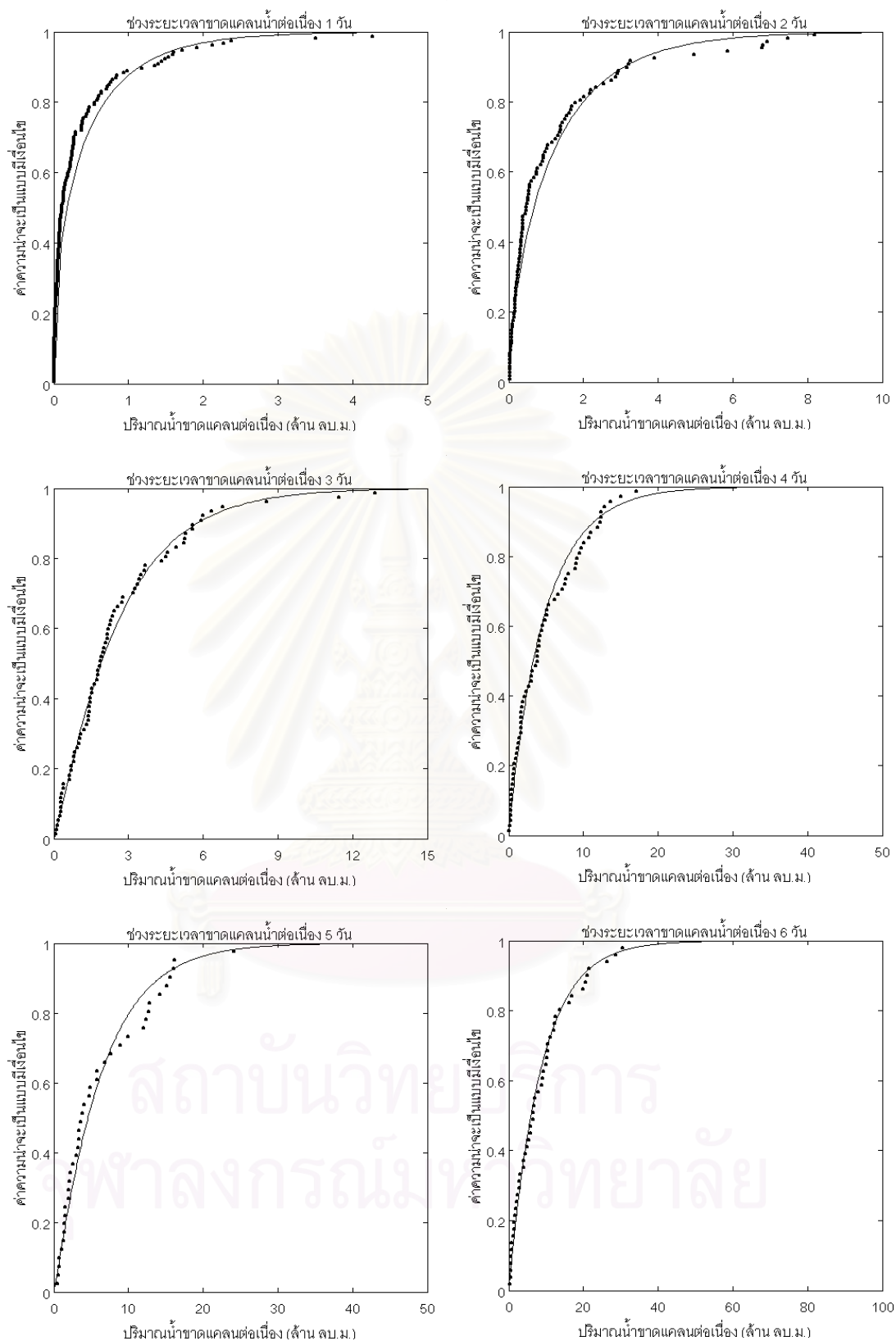
รูปที่ ค-19 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 60% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



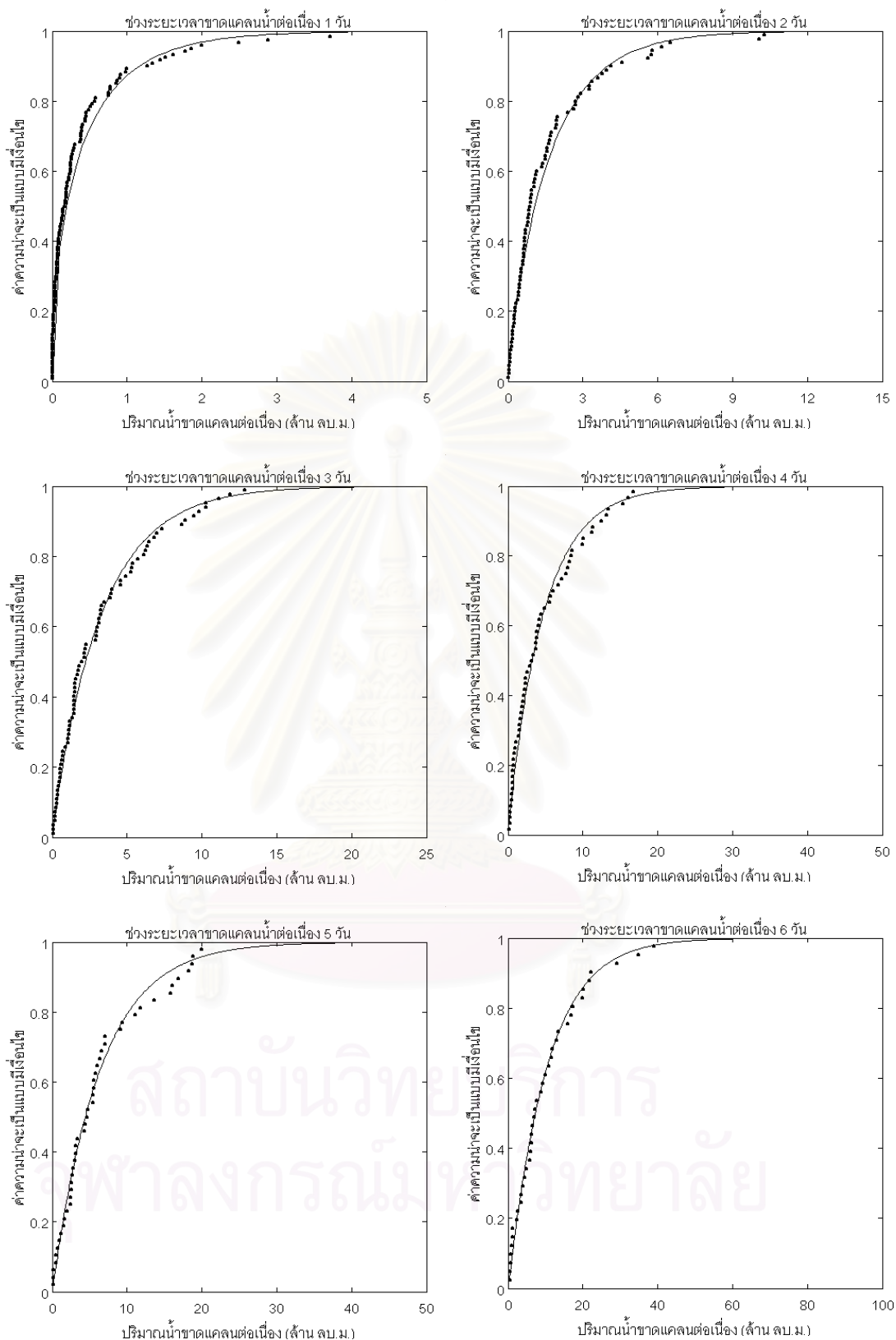
รูปที่ ค-20 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 70% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



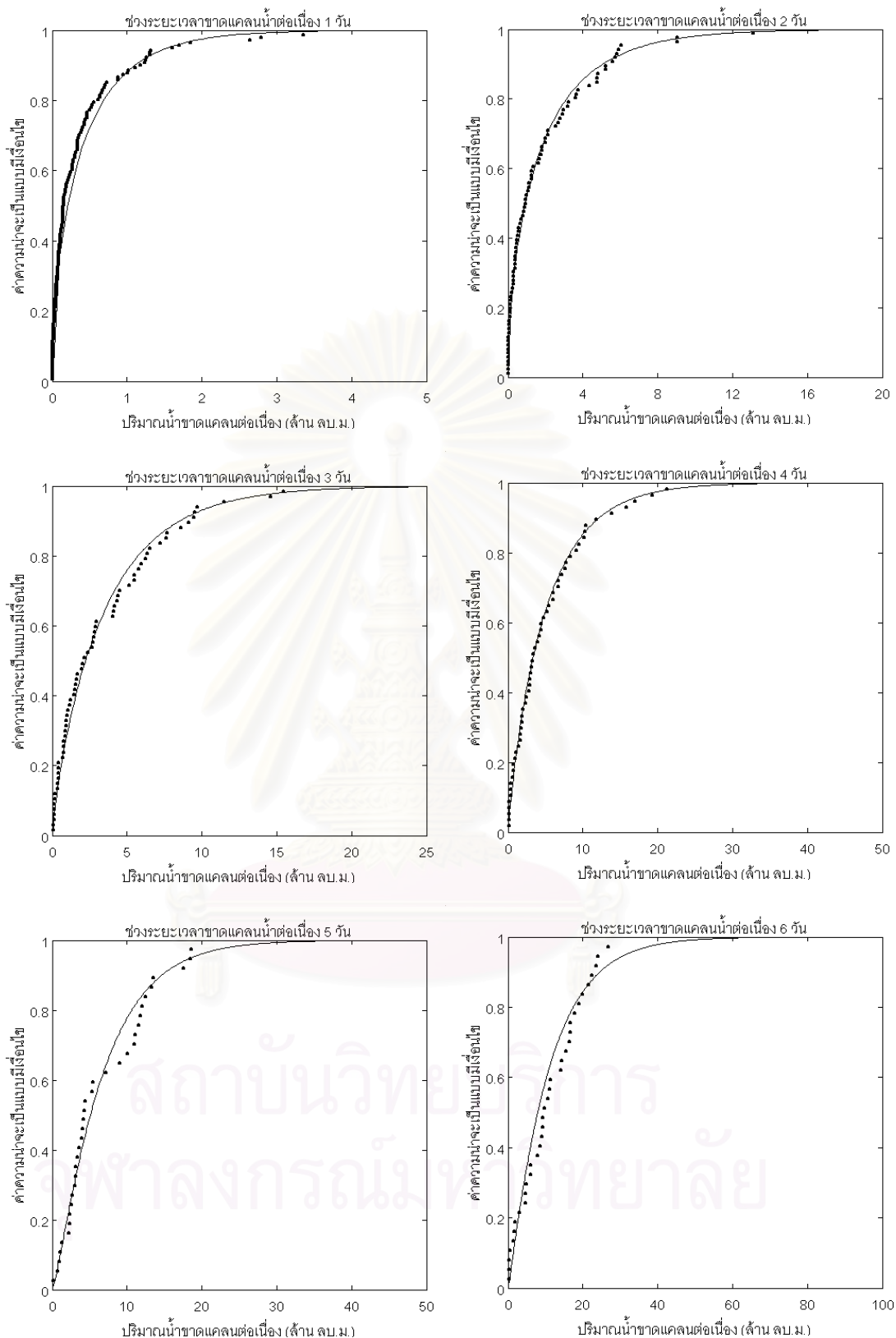
รูปที่ ค-21 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ในช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่ที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 80% โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



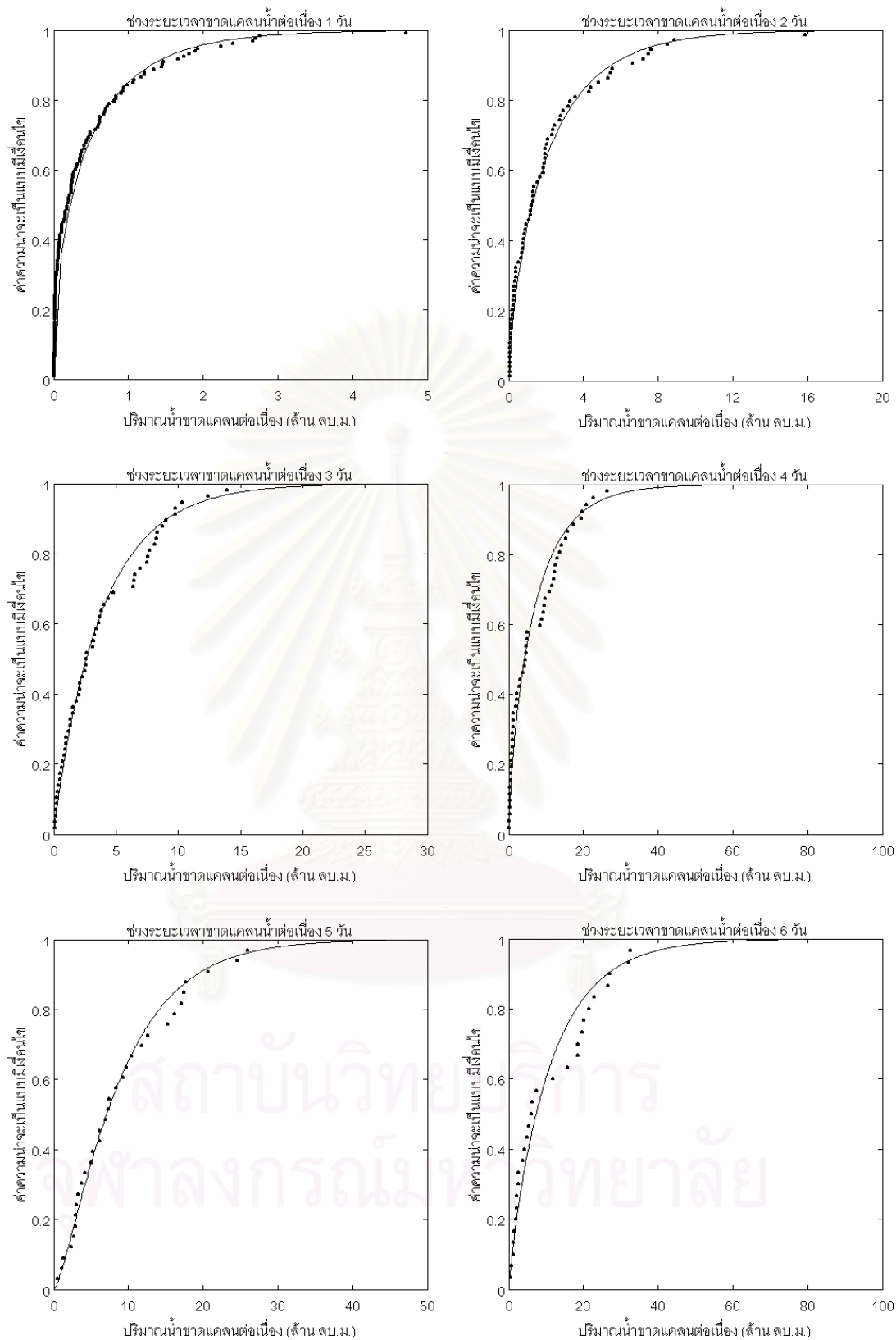
รูปที่ ค-22 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 90% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



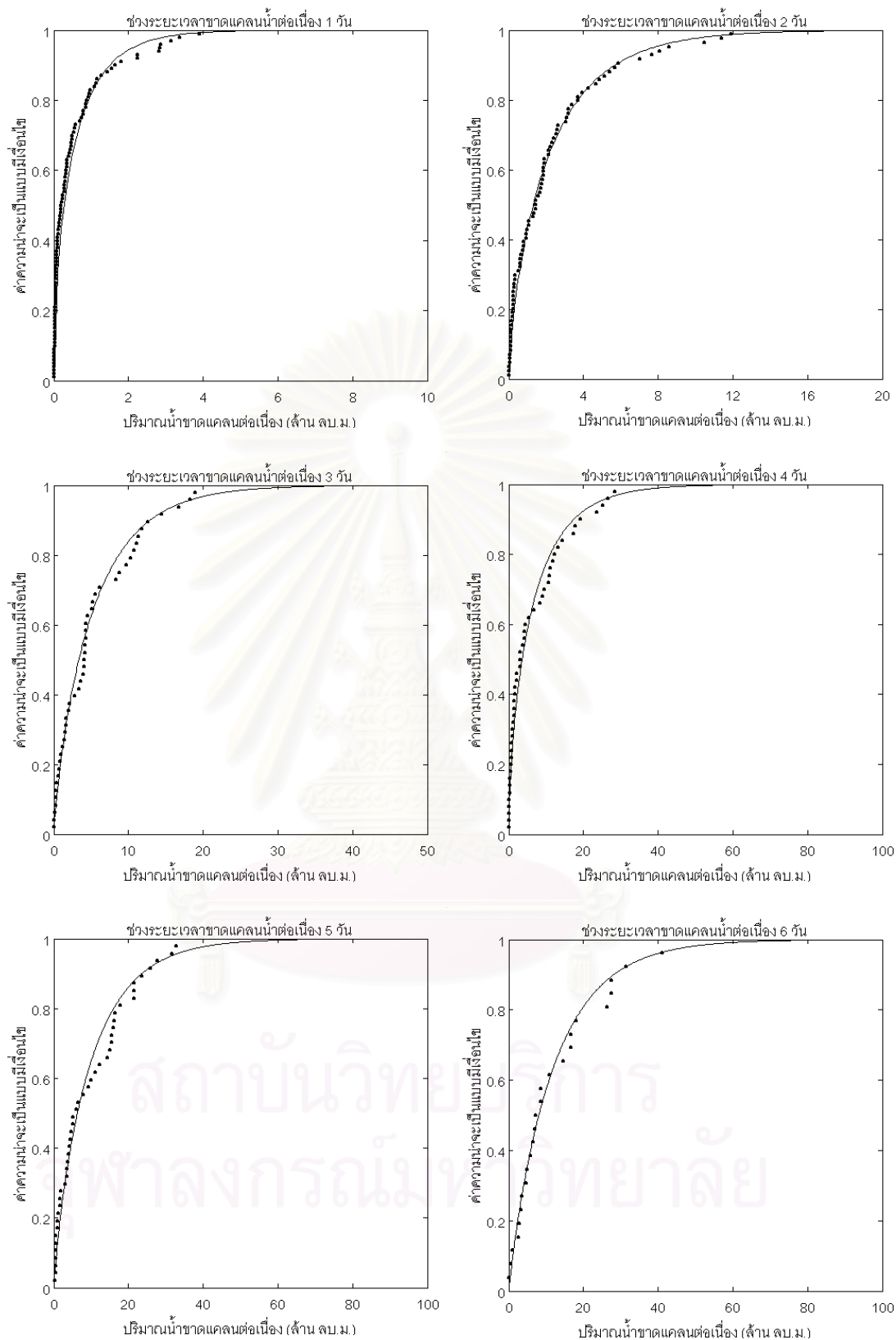
รูปที่ ค-23 ตัวอย่างการแจกแจงความน้ำจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 100% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



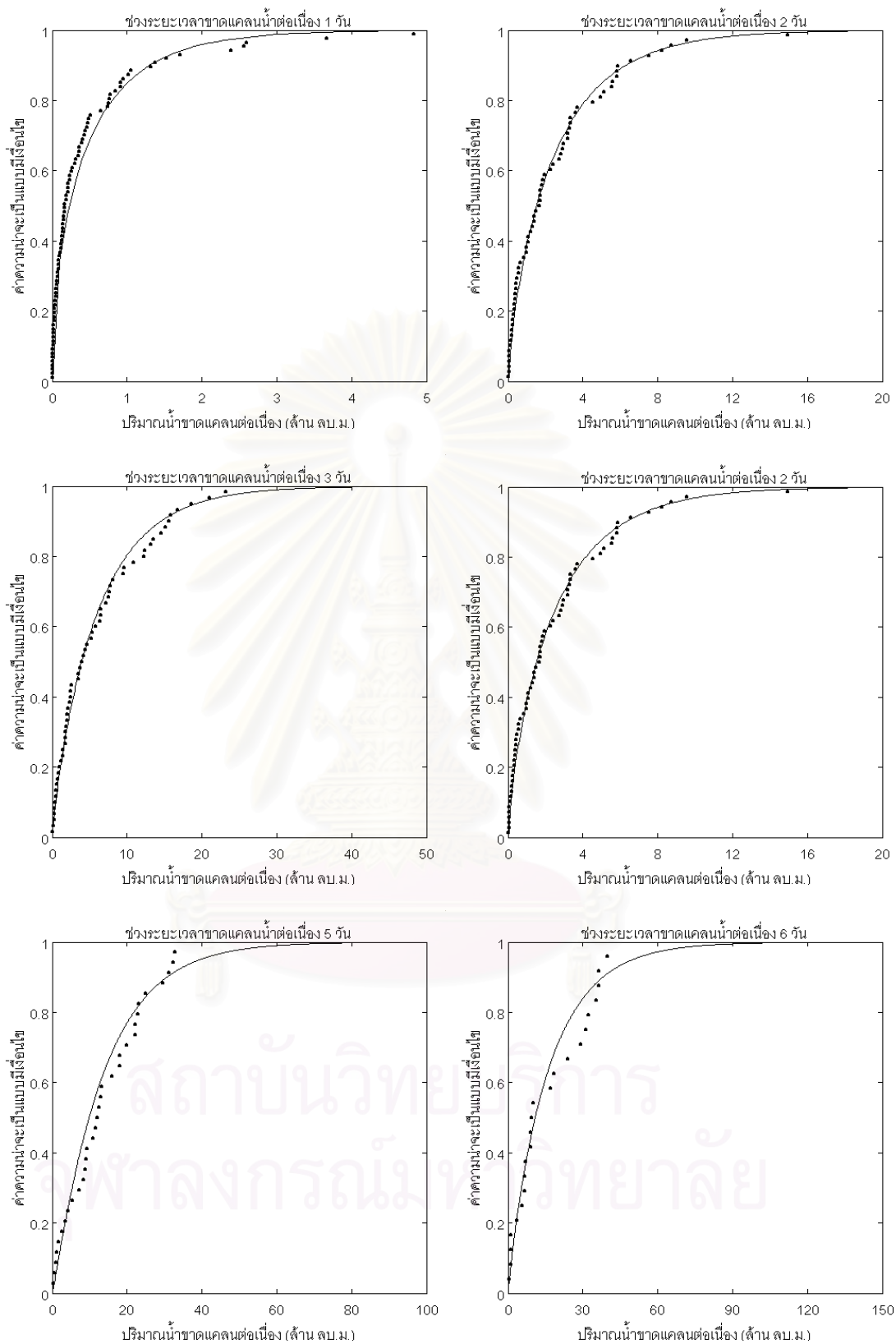
รูปที่ ค-24 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำซาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาซาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 110% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



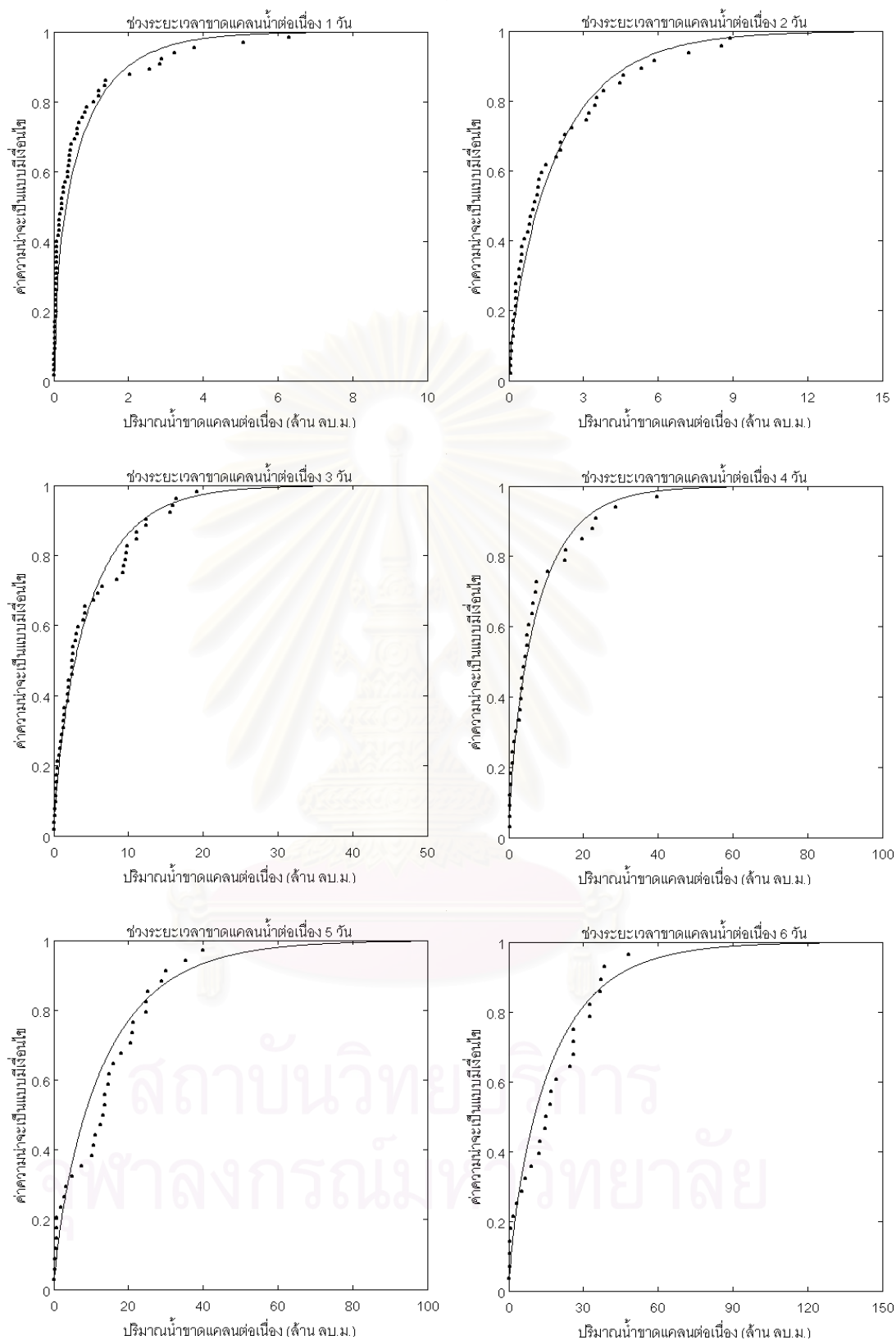
รูปที่ ค-25 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 120% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



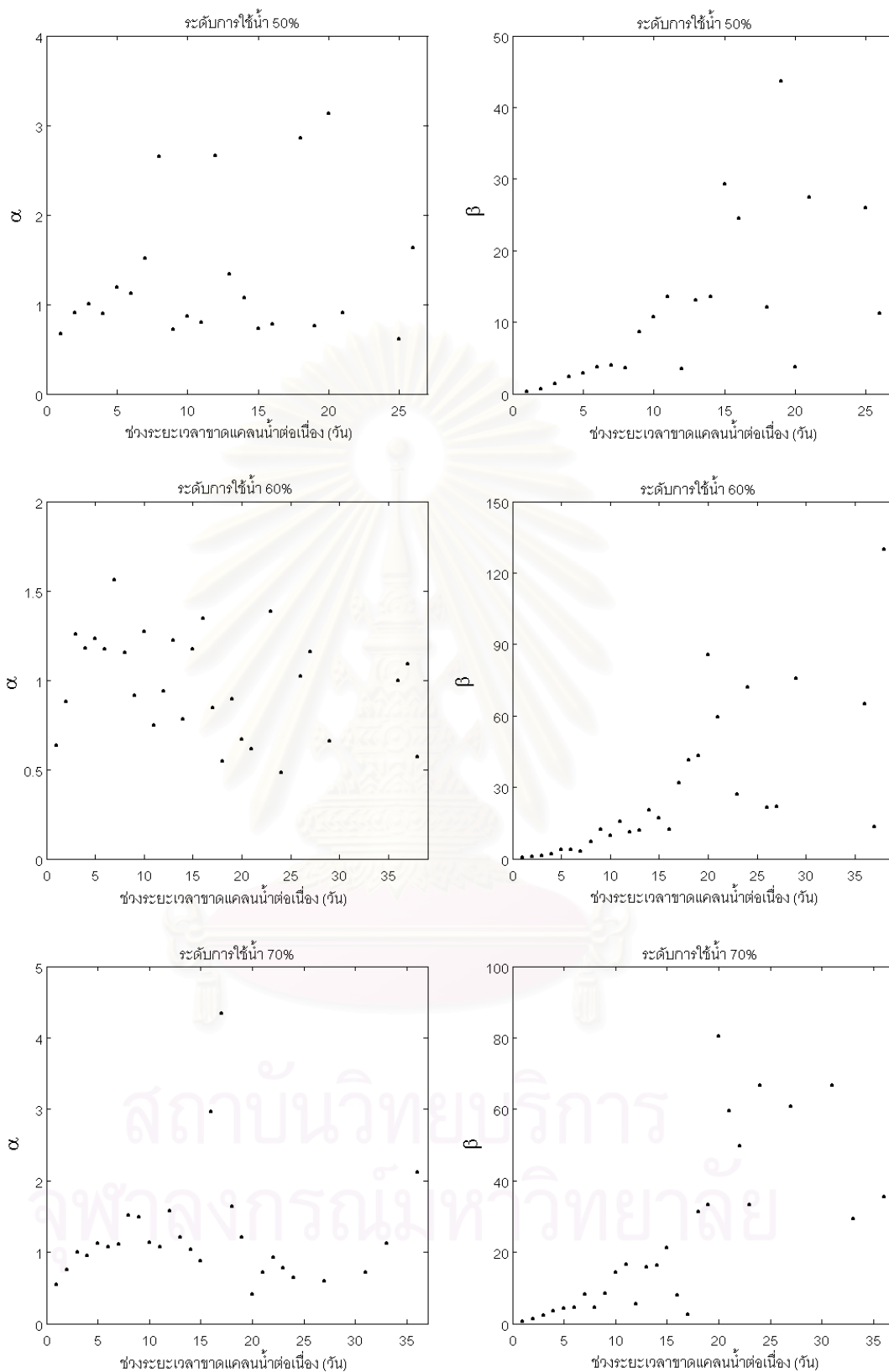
รูปที่ ค-26 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื้อที่ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื้อที่ที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 130% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำท่ารายวัน



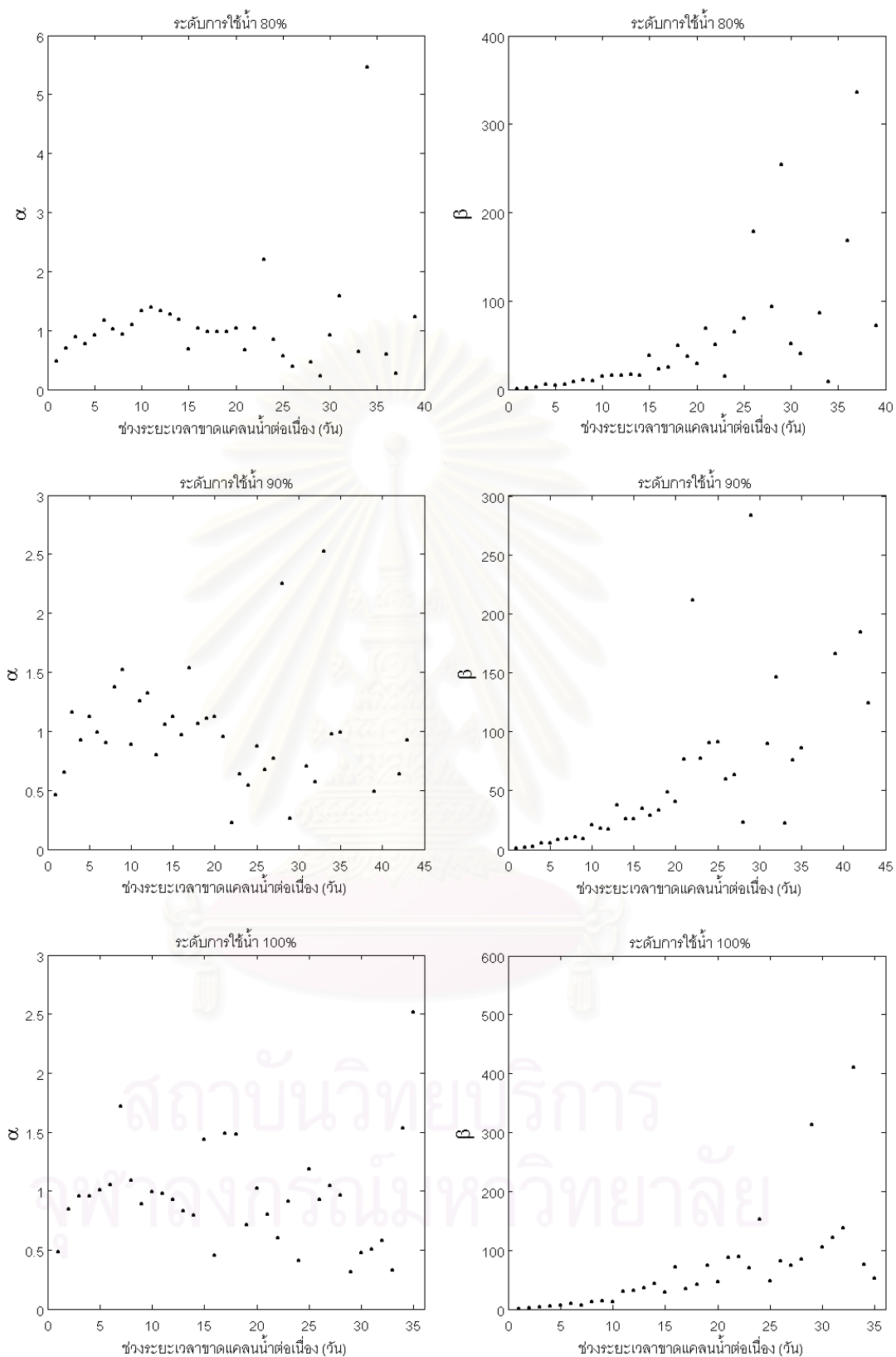
รูปที่ ค-27 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 140% โดยข้อมูล ปริมาณน้ำทำรายวัน



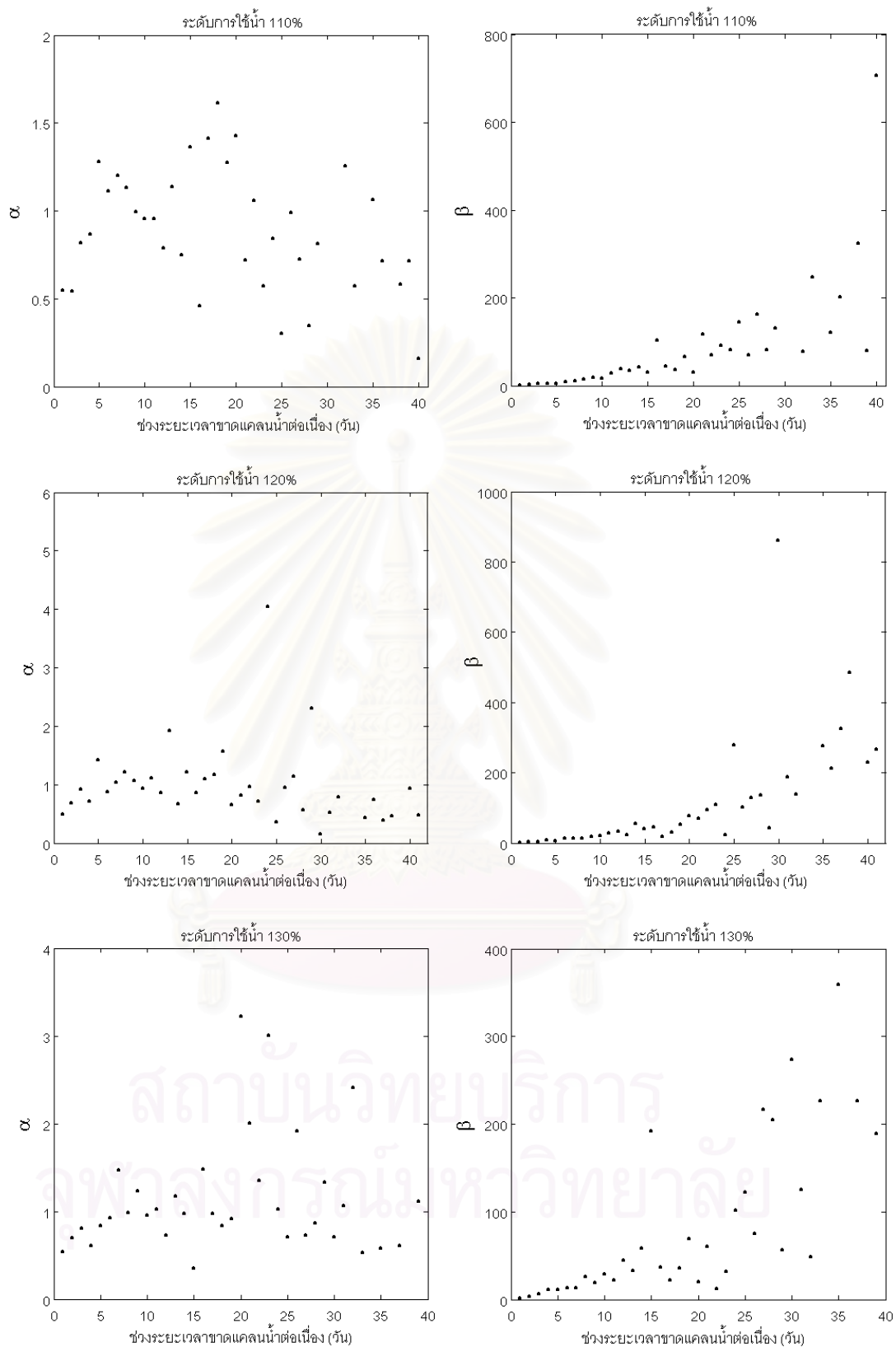
รูปที่ ค-28 ตัวอย่างการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องที่ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่กำหนด ที่ระดับการใช้น้ำ 150% โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



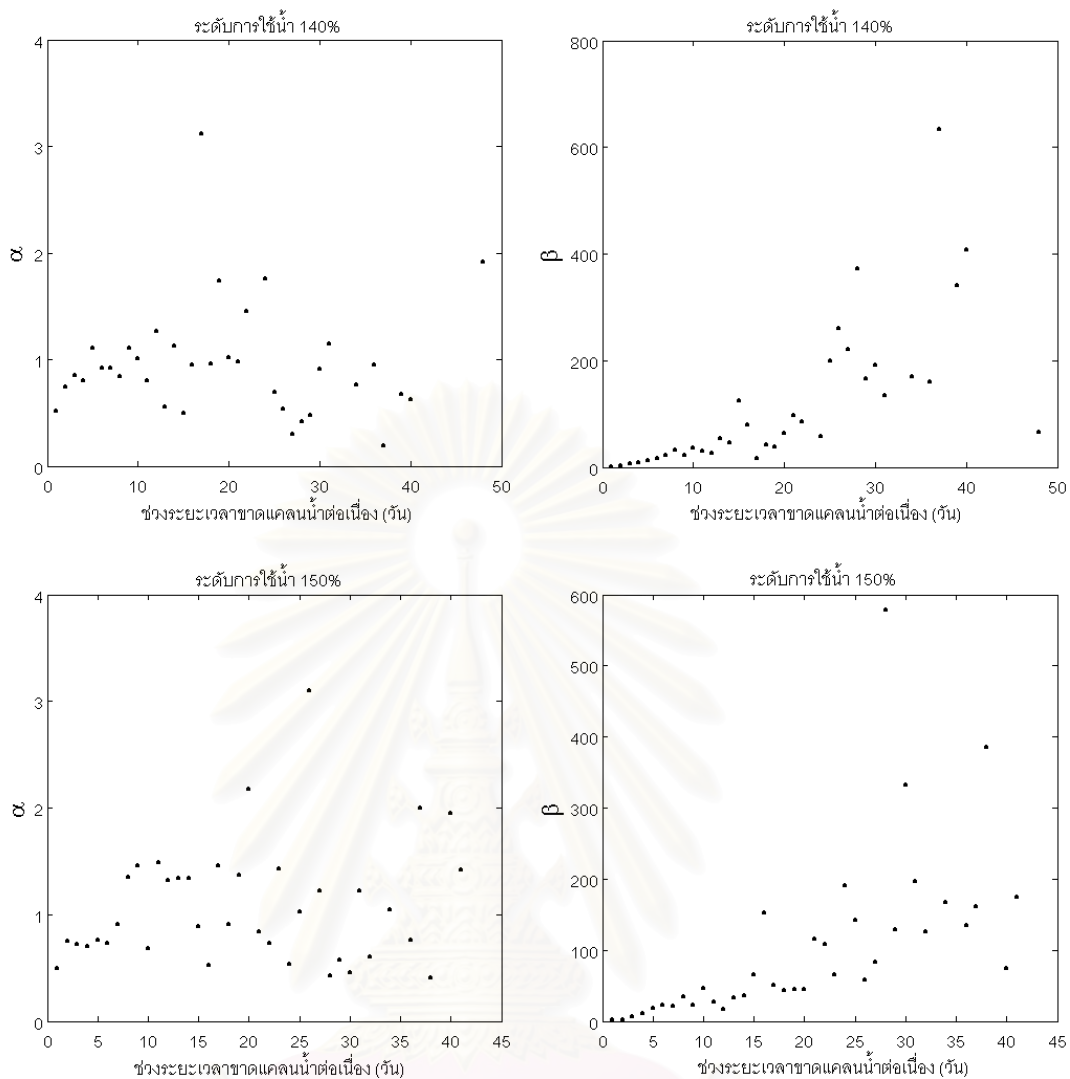
รูปที่ ค-29 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



รูปที่ ค-29 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน (ต่อ)

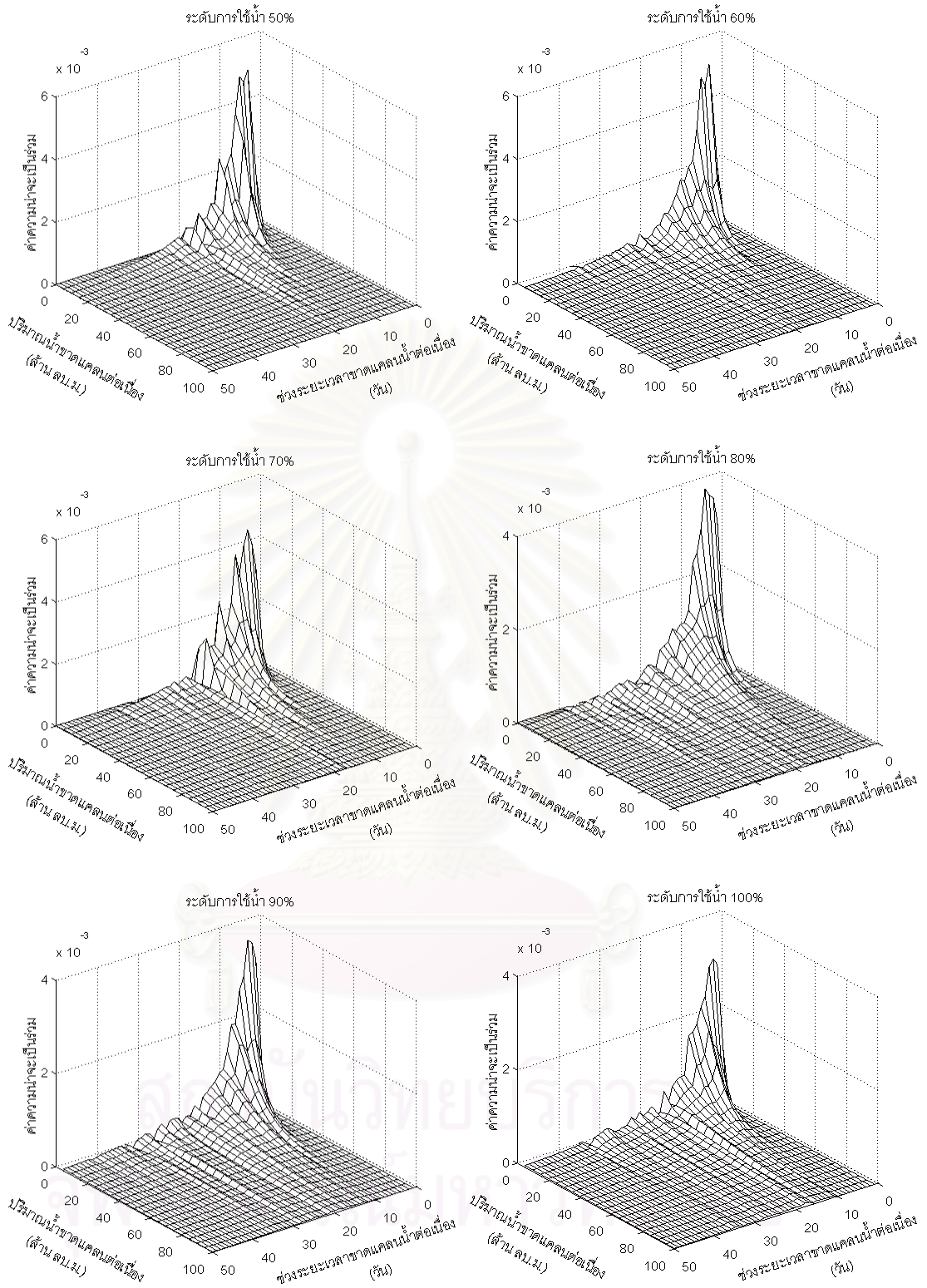


รูปที่ ค-29 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน (ต่อ)

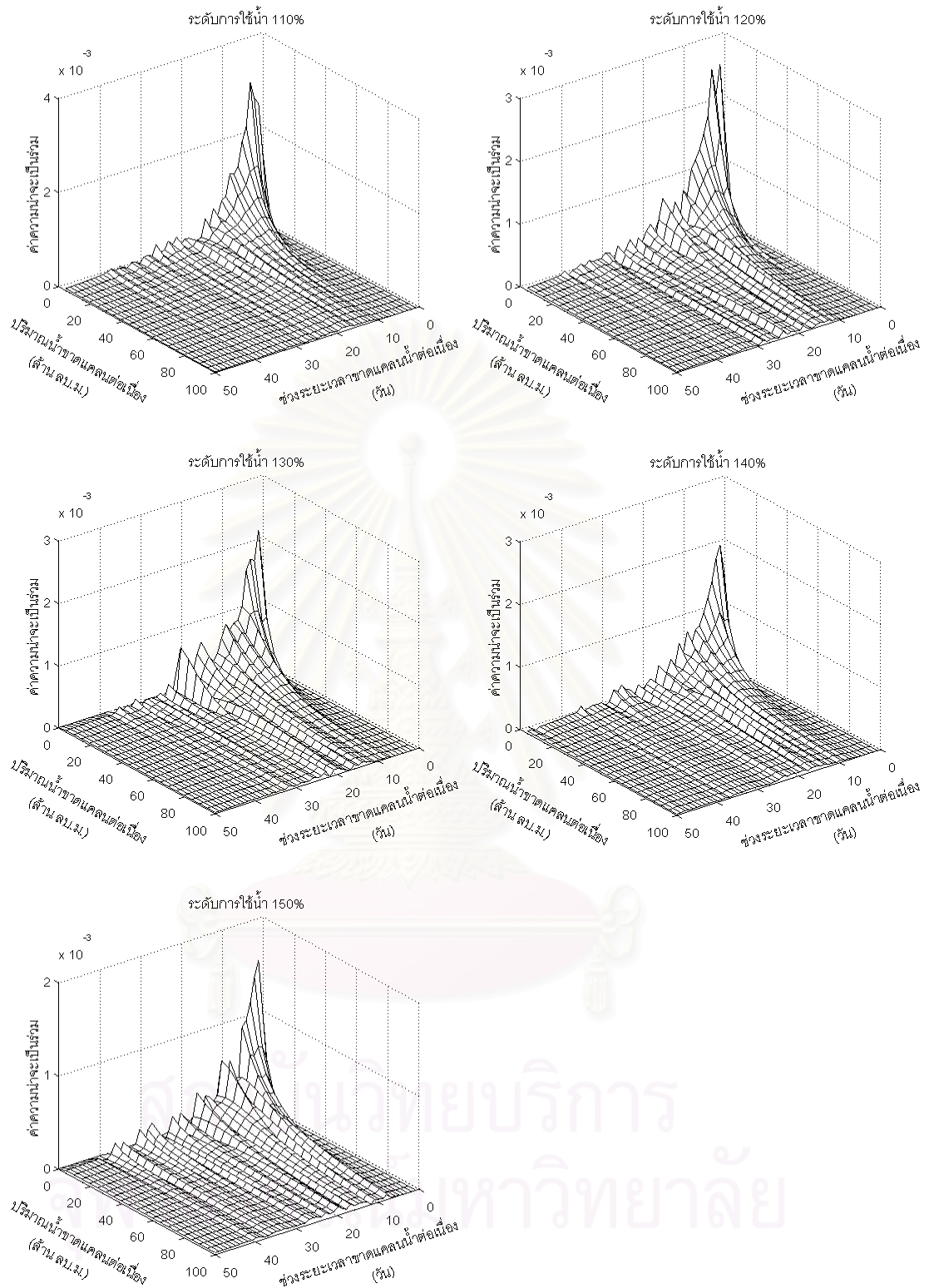


รูปที่ ค-29 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ α และ β กับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง
ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน (ต่อ)

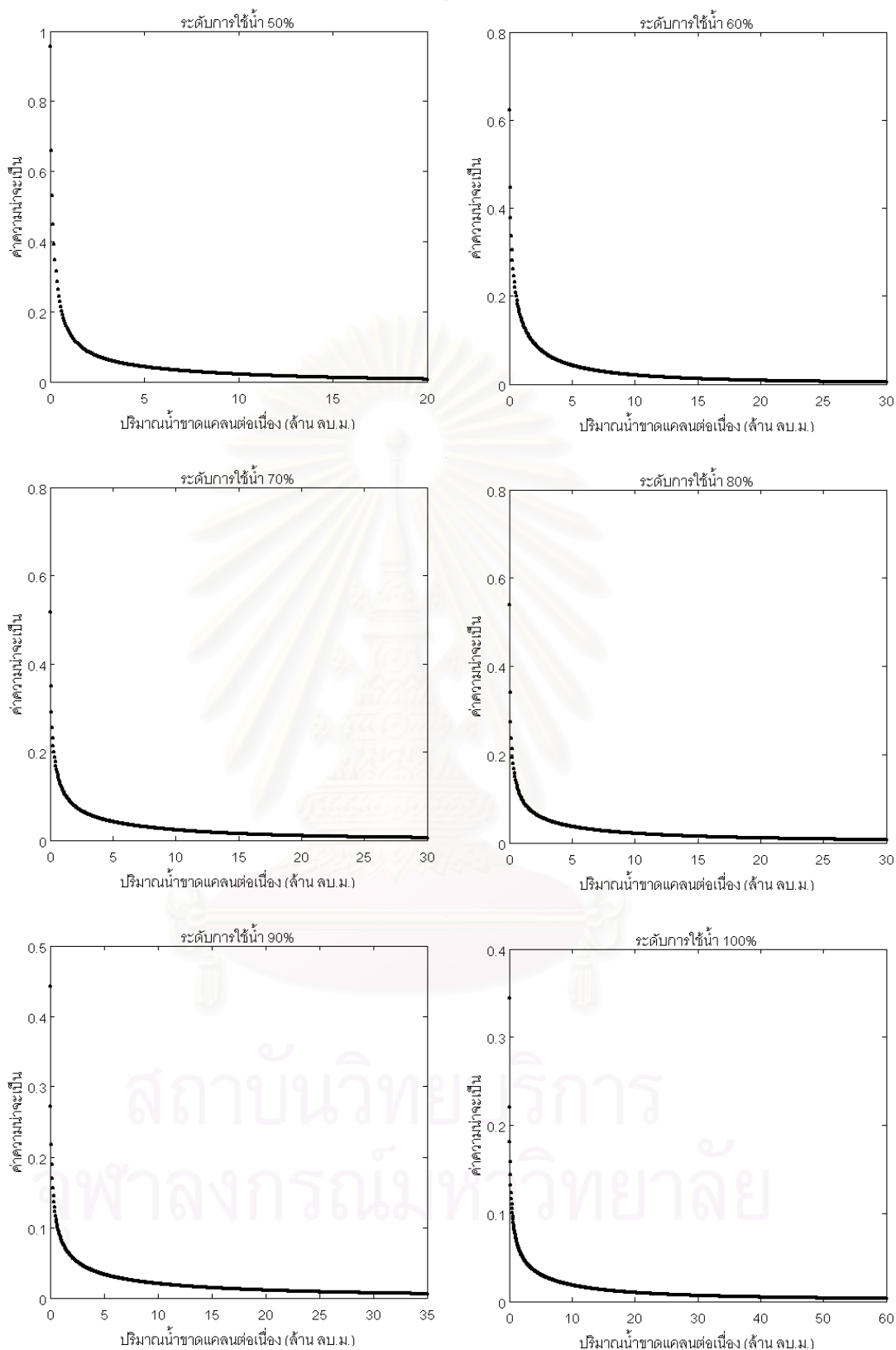
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



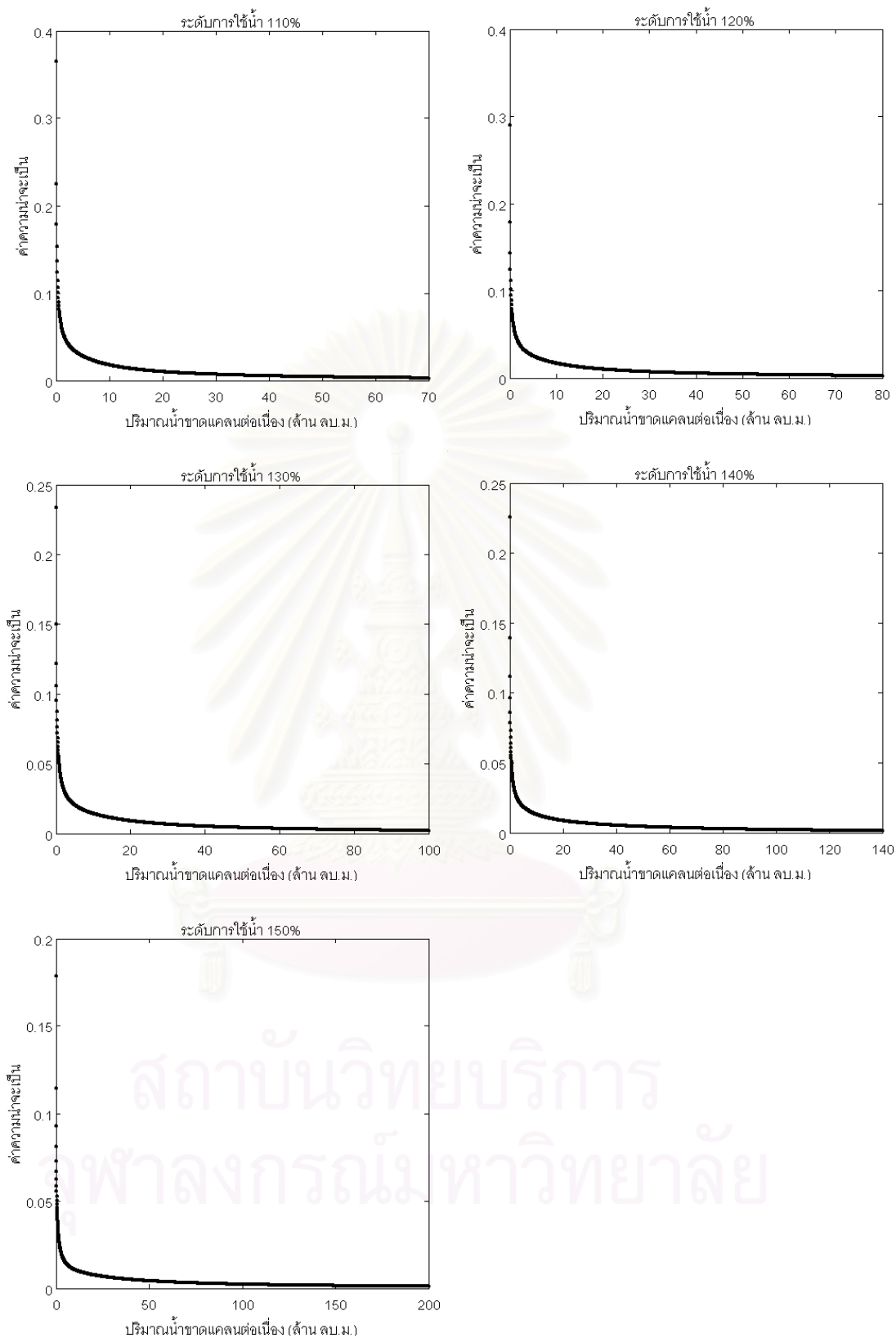
รูปที่ ค-30 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



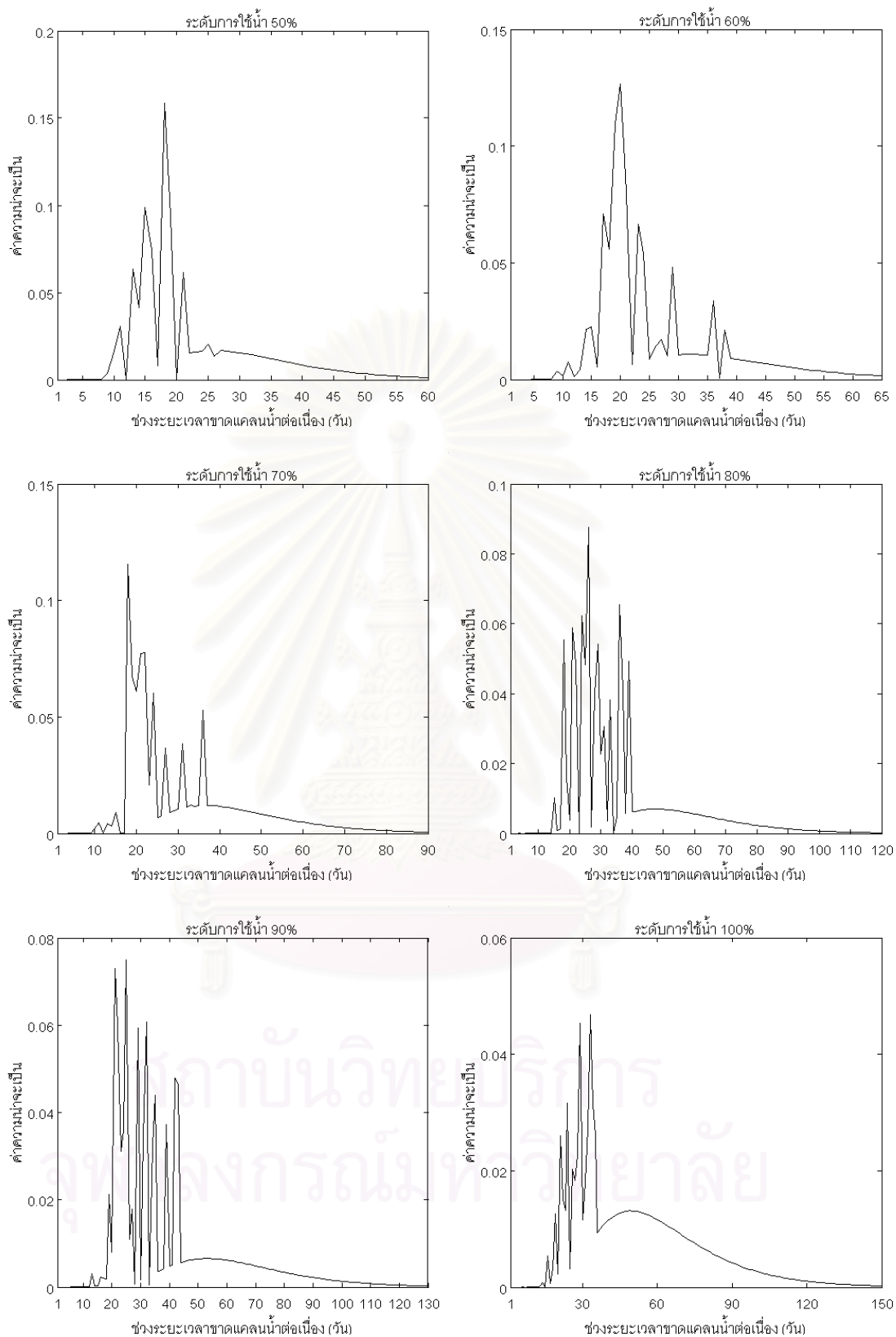
รูปที่ ค-30 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเดือนกับช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเดือน ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน (ต่อ)



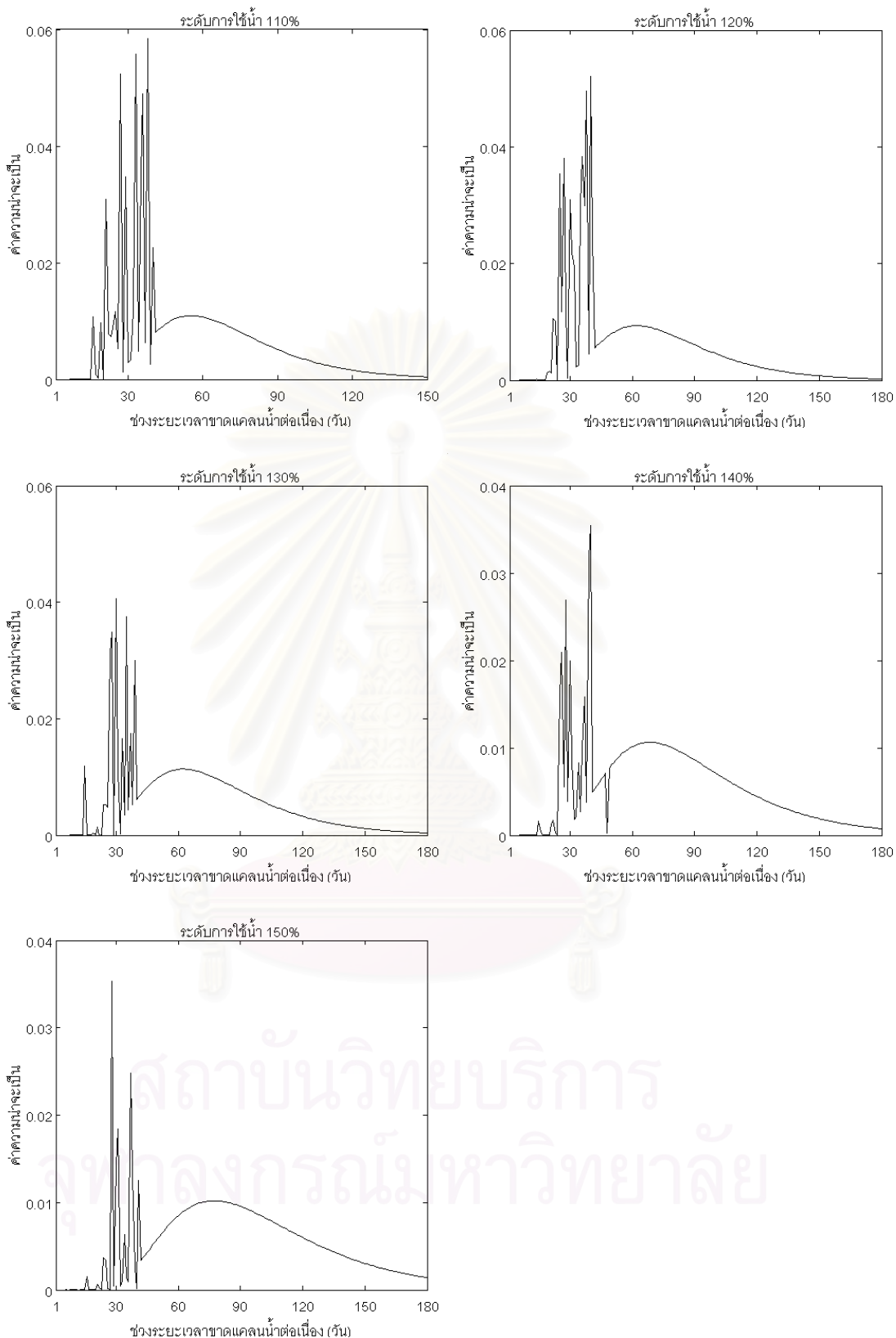
รูปที่ ค-31 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน



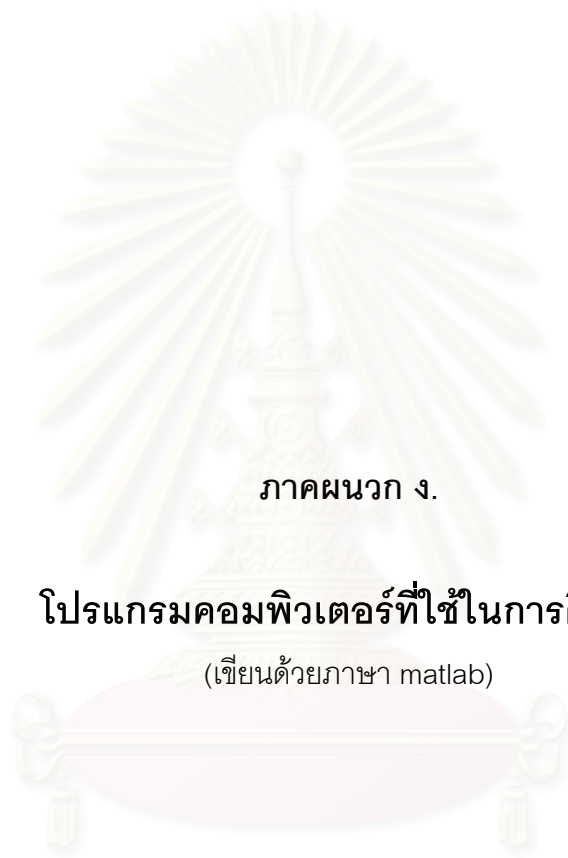
รูปที่ ค-31 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง ที่ระดับการใช้น้ำต่าง ๆ โดยข้อมูลปริมาณน้ำทำรายวัน (ต่อ)



รูปที่ ค-32 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่คาบการเกิด 5 ปี โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน



รูปที่ ค-32 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่องที่คาบการเกิด 5 ปี โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน (ต่อ)



ภาคผนวก ง.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

(เขียนด้วยภาษา matlab)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีความถี่ของการเกิด

1.1 โปรแกรมการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด โดยฟังก์ชันความน่าจะเป็น 3 แบบ

```

%This code determine return period and graphic plot
%of average minimum flow by frequency analysis method for
%3 distributions :
%1) Log Peason Type III
%2) Log-normal
%3) Extreme value type III
%*****
clear
%Load variable named "data" which contain
%daily flow record into workspace.
%Note : data in MCM. and the last record in each column which
%have 365 days in 1 years filled with 5000.
load d:\matlab\FreqAnal\resulta.mat;
%*****
nr=size(data, 1);
nc=size(data, 2);
%Number of average days of minimum flow.
nsum=274
%*****
%Y-axis scale
a=16
ticky = 0:2:a;
%*****
%Process to find out average flow of number of days specified
if nsum>1;
    nstep=nr-(nsum-1);
    j=1;
    k=0;
    for i=1:nc
        min_(i)=10000000000000000;
    end
    for i=1:nstep;
        cum_=sum(data(j:nsum+k, :));
        fins=[min_ cum_];
        min_=min(fins);
        j=j+1;
        k=k+1;
    end ;
    Q=(1/nsum)*min_;
    flowsum=min_;
    flowav=Q;
else;
    Q=min(data);
    flowav=Q;
    flowsum=flowav;
end;
%*****
%Probability paper
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 0.98 0.99 0.995 0.999]
t=[100 50 20 10 5 4 3 2 1.5 1.1 1.01 1.001]
pt=1./t
labelx= str2mat(' 0.1', '0.5', ' 1', ' 2', ' 5', ' 10', ' 20', ...
    ' 30', ' 40', ' 50', ' 60', ' 70', ' 80', ' 90', ' 95', ...
    ' 98', ' 99', ' 99.5', ' 99.9');
tickx = norminv(p, 0, 1);
labelxt=str2mat(' 100', ' 50', ' 20', ' 10', ' 5', ' 4', ...
    ' 3', ' 2', ' 1.5', ' 1.1', ' 1.01', ' 1.001')
tickxt = norminv(pt, 0, 1);
tickyt=[]
labelyt=[]
figure(1)
%*****
%Find zero flow

```

```

flowav=flowav*1000000
clm=find(flowav>0)
if length(clm)<length(flowav)
    %Treat zero value by total probability
    nch=2
    kz=length(clm)/length(flowav)
else
    %Don't have any zero value
    nch=1
end
%*****
%Statistical parameters
x0=flowav
x0=sort(x0)
meanx0=mean(x0)
stdx0=std(x0)
skewx0=skewness(x0)
x=flowav(clm)
x=sort(x)
meanx=mean(x)
stdx=std(x)
skewx=skewness(x)
y=log10(x)
meany=mean(y)
stdy=std(y)
skewy=skewness(y)
%*****
%Total probability to treat zero flow
if nch==2
    pst=(p-1+kz)/kz
    cnp=find(pst<=0)
end
%*****
%Plotting position with Weibull formulae
num=length(flowav)
mct=1:1:num
plp=mct/(num+1)
pln=norminv(plp,0,1);
ppa=plot(pln,sort(flowav)/1000000,'k.')
hold on
%*****
%Log Pearson Type III Distribution
if nch==1
    z=norminv(p,0,1)
    k=skewy/6
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6.*z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+...
        z.*k^4+(1/3)*k^5
    ytp=meany+kt*stdy
    xtp=10.^ytp
end
if nch==2
    z=norminv(pst,0,1)
    k=skewy/6
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6.*z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+...
        z.*k^4+(1/3)*k^5
    ytp=meany+kt*stdy
    xtp=10.^ytp
    xtp(cnp)=0
end
xtp=xtp/1000000
ppb=plot(tickx,xtp,'k')
hold on
%*****
%Log-normal Distribution
if nch==1
    ytn=meany+z*stdy
    xtn=10.^ytn
end
if nch==2

```



```

ytn=meany+z*stdy
xtn=10.^ytn
xtn(cnp)=0
end
xtn=xtn/1000000
ppc=plot(tickx, xtn, 'k--')
%*****
%Extreme Value type III Distribution
if (skewx<2)&(skewx>-1.02)
alp=1/(0.277757913+0.3132617714*skewx+0.0575670910*...
skewx^2-0.0013038566*skewx^3-0.0081523408*skewx^4)
balp=((gamma(1+2/alp))-gamma(1+1/alp))^2)^(-0.5);
aalp=(1-(gamma(1+1/alp)))^balp;
ktw=aalp+balp.*((-log(1-p)).^(1/alp)-1)
xtw=meanx0+stdx0*ktw
xtw=xtw/1000000
ppd=plot(tickx, xtw, 'k:')
else
'No alpha'
end
%*****
%Probability paper
minx=norminv(0.001, 0, 1);
maxx=norminv(1/1.001, 0, 1);
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
set(gca, 'XTick', tickx, 'XTickLabel', labelx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'XLim', [minx maxx], 'YLim', [0 a]);
xlabel('ความน่าจะเป็นแบบ Non-Exceedance (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 274 วัน (ล้าน ลบ. ม.)')
bn=legend([ppa, ppb, ppc, ppd], 'ตำแหน่งจุดพล็อต', 'ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3', ...
'ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3', 2)
set(bn, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
ax1 = gca;
grid on
ax2 = axes('Position', get(ax1, 'Position'), ...
'XAxisLocation', 'top', ...
'YAxisLocation', 'right', ...
'Color', 'none', ...
'XColor', 'k', 'YColor', 'k');
ax2=gca
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
set(gca, 'XTick', tickxt, 'XTickLabel', labelxt, 'YTick', tickyt, ...
'YTickLabel', labelyt)
set(gca, 'XLim', [minx maxx]);
jj=text(-0.61, 1.06, 'คาบการเกิด (ปี)')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
%*****
%Save figure
saveas(gcf, 'd:\thesis\Freqanal\sep\day274.fig')
%*****
%Save current workspace
save d:\matlab\FreqAnal\resul t2.mat;
%*****

```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลปริมาณน้ำรายวันในหน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร เป็นเมตริกที่มีมิติเท่ากับ 366 วัน * จำนวนปี โดยแถวสุดท้ายสำหรับปีที่มี 365 วัน ให้ใส่ตัวเลข 5000 ดังตัวอย่าง

```

clear
data=[1 เม.ย.ปีที่ 1 1.21 1.47 1.73 1.30 1.38 1.47 1.04 ... 1 เม.ย.ปีที่ 79
      2 เม.ย.ปีที่ 1 1.21 1.47 1.73 1.30 1.38 1.47 1.04 ... 2 เม.ย.ปีที่ 79
      1.12 1.12 1.38 1.73 1.30 1.38 1.47 1.04 ... 0.17
      . . . . .
      . . . . .
      . . . . .
      5000 5000 1.73 5000 5000 5000 1.04 5000 ... 1.56]
save d:\matlab\FreqAnal\resulta.mat;

```

ผลการรันโปรแกรม

การรันโปรแกรมได้ผลเป็นกราฟการแจกแจงความถี่ของการเกิดดังแสดงในรูปที่ 4.11



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 โปรแกรมการทดสอบความเหมาะสมการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยวิธีไคสแควร์

สำหรับฟังก์ชัน 3 แบบ

```
%Chi square goodness of fit test for 3 distributions :
%1) Log Pearson Type III
%2) Log-normal
%3) Extreme value type III
%*****
clear
%Load variable named "data" which contain
%daily flow record into workspace.
%Note : data in MCM. and the last record in each column which
%have 365 days in 1 years filled with 5000.
load d:\matlab\FreqAnal\resulta.mat;
%*****
nr=size(data, 1);
nc=size(data, 2);
%Number of average days of minimum flow.
nsum=274
%*****
%Number of class interval
ncs=10;
%*****
%Process to find out average flow of number of days specified
if nsum>1
    nstep=nr-(nsum-1);
    j=1;
    k=0;
    for i=1:nc
        min_(i)=10000000000000000;
    end
    for i=1:nstep
        cum_=sum(data(j:nsum+k, :));
        fins=[min_ cum_];
        min_=min(fins);
        j=j+1;
        k=k+1;
    end
    Q=(1/nsum)*min_;
    flowsum=min_;
    flowav=Q;
else;
    Q=min(data);
    flowav=Q;
    flowsum=flowav;
end;
%*****
%Probability of flow data determined
p=[0.001:0.001:0.999];
%*****
%Find zero flow
flowav=flowav*1000000;
clm=find(flowav>0);
if length(clm)<length(flowav)
    %Treat zero value by total probability
    nch=2;
    kz=length(clm)/length(flowav);
else
    %Don't have any zero value
    nch=1;
end
%*****
%Statistical parameters
x0=flowav;
x0=sort(x0);
meanx0=mean(x0);
stdx0=std(x0);
```

```

skewx0=skewness(x0);
x=fl owav(c l m);
x=sort(x);
meanx=mean(x);
stdx=std(x);
skewx=skewness(x);
y=log10(x);
meany=mean(y);
stdy=std(y);
skewy=skewness(y);
%*****
%Total probability to treat zero flow
if nch==2
    pst=(p-1+kz)/kz;
    cnp=find(pst<=0);
end
%*****
%Plotting position with Weibul formulae
num=length(fl owav);
mct=1:1: num;
pl p=mct/(num+1);
pl n=normi nv(pl p, 0, 1);
%*****
%Determine flow ordinates of each distribution at interested
%probability p
%-----
%Log Peason Type III Di stributi on
if nch==1
    z=normi nv(p, 0, 1);
    k=skewy/6;
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6.*z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+...
        z.*k^4+(1/3)*k^5;
    ytp=meany+kt*stdy;
    xtp=10.^ytp ;
end
if nch==2
    z=normi nv(pst, 0, 1);
    k=skewy/6;
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6.*z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+...
        z.*k^4+(1/3)*k^5;
    ytp=meany+kt*stdy;
    xtp=10.^ytp;
    xtp(cnp)=0;
end
xtp=xtp/1000000;
%*****
%Log-normal Di stributi on
if nch==1
    ytn=meany+z*stdy;
    xtn=10.^ytn;
end
if nch==2
    ytn=meany+z*stdy;
    xtn=10.^ytn;
    xtn(cnp)=0;
end
xtn=xtn/1000000;
%*****
%Extreme Value type III Di stributi on
if (skewx<2)&(skewx>-1.02)
    al p=1/(0.2777757913+0.3132617714*skewx0+0.0575670910*...
        skewx0^2-0.0013038566*skewx0^3-0.0081523408*skewx0^4);
    bal p=((gamma(1+2/al p))-(gamma(1+1/al p))^2)^(-0.5);
    aal p=(1-(gamma(1+1/al p))) *bal p;
    ktw=aal p+bal p.*((-log(1-p)).^(1/al p)-1);
    xtw=meanx0+stdx0*ktw;
    nb=find(xtw<0);
    xtw(nb)=0;
    xtw=xtw/1000000;

```

```

else
    'No alpha'
end
end
%*****
%-----
%Chi square goodness of fit test
%-----
%Log Peason Type III Di stri buti on
if nch==1
    pcs=0:1/ncs:1;
    xbd=i nterp1(p, xtp, pcs);
    xbd(ncs+1)=i nf;
    xbd(1)=-i nf;
    xbd=xbd*1000000;
    ocl (1: ncs)=0;
    for i =1:l ength(fl owav);
        for j =1:ncs;
            if fl owav(i)>=xbd(j) & fl owav(i)<xbd(j+1);
                ocl (j)=ocl (j)+1;
            end
        end
    end
    obr=sum(ocl );
    ecl (1: ncs)=l ength(fl owav)/ncs;
    exn=l ength(fl owav);
    chi 2a=sum((ocl -ecl ). ^2. /ecl );
    chi 2b=chi 2i nv(0. 95, ncs-3-1);
    if chi 2a<=chi 2b
        'accept for Log Peason Type III'
    else
        'reject for Log Peason Type III'
    end
end
if nch==2
    gk=fi nd(xtp==0);
    rh=(max(gk));
    ecl (1)=p(rh)*l ength(fl owav);
    zr=fi nd(fl owav==0);
    ocl (1)=l ength(fl owav(zr));
    dtf=(1-p(rh))/(ncs-1);
    pcs=p(rh): dtf: 1;
    mhj =fi nd(xtp==0);
    fgi =max(mhj );
    xss=xtp(fgi : l ength(xtp));
    pss=p(fgi : l ength(xtp));
    xbd=i nterp1(pss, xss, pcs(1:(ncs-1)));
    xbd(ncs)=i nf;
    xbd=xbd. *1000000;
    ocl (2: ncs)=0;
    for i =1:l ength(fl owav);
        for j =1:ncs-1;
            if fl owav(i)>xbd(j) & fl owav(i)<=xbd(j+1);
                ocl (j+1)=ocl (j+1)+1;
            end
        end
    end
    obr=sum(ocl );
    ecl (2: ncs)=(1-p(rh))*l ength(fl owav)/(ncs-1);
    chi 2a=sum((ocl -ecl ). ^2. /ecl );
    chi 2b=chi 2i nv(0. 95, ncs-3-1);
    if chi 2a<=chi 2b
        'accept for Log Peason Type III'
    else
        'reject for Log Peason Type III'
    end
end
end
%*****
%Log-normal Di stri buti on
if nch==1

```

```

pcs=0:1/ncs:1;
xbd2=i nterp1(p, xtn, pcs);
xbd2(ncs+1)=i nf;
xbd2(1)=-i nf;
xbd2=xbd2*1000000;
ocl 2(1: ncs)=0;
for i=1:l ength(fl owav);
    for j=1:ncs;
        i f fl owav(i)>=xbd2(j) & fl owav(i)<xbd2(j+1);
            ocl 2(j)=ocl 2(j)+1;
        end
    end
end
obn2=sum(ocl 2);
ecl 2(1: ncs)=l ength(fl owav)/ncs;
chi 2a2=sum((ocl 2-ecl 2).^2./ecl 2);
chi 2b2=chi 2i nv(0.95, ncs-2-1);
i f chi 2a2<=chi 2b2
    'accept for Log Normal '
el se
    'reject for Log Normal '
end
end
i f nch==2
gk2=fi nd(xtn==0);
rh2=(max(gk2));
ecl 2(1)=p(rh2)*l ength(fl owav);
zr2=fi nd(fl owav==0);
ocl 2(1)=l ength(fl owav(zr2));
dtf2=(1-p(rh2))/(ncs-1);
pcs2=p(rh2): dtf2: 1;
mhj 2=fi nd(xtn==0);
fgi 2=max(mhj 2);
xss2=xtn(fgi 2:l ength(xtn));
pss2=p(fgi 2:l ength(xtn));
xbd2=i nterp1(pss2, xss2, pcs2(1:(ncs-1)));
xbd2(ncs)=i nf;
xbd2=xbd2.*1000000;
ocl 2(2: ncs)=0;
for i=1:l ength(fl owav);
    for j=1:ncs-1;
        i f fl owav(i)>xbd2(j) & fl owav(i)<=xbd2(j+1);
            ocl 2(j+1)=ocl 2(j+1)+1;
        end
    end
end
obn2=sum(ocl 2);
ecl 2(2: ncs)=(1-p(rh2))*l ength(fl owav)/(ncs-1);
chi 2a2=sum((ocl 2-ecl 2).^2./ecl 2);
chi 2b2=chi 2i nv(0.95, ncs-2-1);
i f chi 2a2<=chi 2b2
    'accept for Log Normal '
el se
    'reject for Log Normal '
end
end
%*****
%Extreme Value type III Di stri buti on
i f nch==1
pcs=0:1/ncs:1;
xbd3=i nterp1(p, xtw, pcs);
xbd3(ncs+1)=i nf;
xbd3(1)=-i nf;
xbd3=xbd3*1000000;
ocl 3(1: ncs)=0;
for i=1:l ength(fl owav);
    for j=1:ncs;
        i f fl owav(i)>=xbd3(j) & fl owav(i)<xbd3(j+1);
            ocl 3(j)=ocl 3(j)+1;
        end
    end
end

```



```

        end
    end
    end
    obn3=sum(ocl 3);
    ecl 3(1: ncs)=l ength(fl owav)/ncs;
    chi 2a3=sum((ocl 3-ecl 3).^2./ecl 3);
    chi 2b3=chi 2i nv(0.95, ncs-3-1);
    i f chi 2a3<=chi 2b3
        'accept for EVIII'
    el se
        'reject for EVIII'
    end
end
i f nch==2
    gk3=fi nd(xtw==0);
    rh3=(max(gk3));
    ecl 3(1)=p(rh3)*l ength(fl owav);
    zr3=fi nd(fl owav==0);
    ocl 3(1)=l ength(fl owav(zr3));
    dtf3=(1-p(rh3))/(ncs-1);
    pcs3=p(rh3): dtf3: 1;
    mhj 3=fi nd(xtw==0);
    fgi 3=max(mhj 3);
    xss3=xtw(fgi 3: l ength(xtw));
    pss3=p(fgi 3: l ength(xtw));
    xbd3=i nterp1(pss3, xss3, pcs3(1: (ncs-1)));
    xbd3(ncs)=i nf;
    xbd3=xbd3. *1000000;
    ocl 3(2: ncs)=0;
    for i=1: l ength(fl owav);
        for j=1: ncs-1;
            i f fl owav(i)>xbd3(j) & fl owav(i)<=xbd3(j+1);
                ocl 3(j+1)=ocl 3(j+1)+1;
            end
        end
    end
    end
    obn3=sum(ocl 3);
    ecl 3(2: ncs)=(1-p(rh3))*l ength(fl owav)/(ncs-1);
    chi 2a3=sum((ocl 3-ecl 3).^2./ecl 3);
    chi 2b3=chi 2i nv(0.95, ncs-3-1);
    i f chi 2a3<=chi 2b3
        'accept for EVIII'
    el se
        'reject for EVIII'
    end
end
end
%*****
%-----

```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมเป็นข้อมูลเดียวกันกับกรณีของหัวข้อ 1.1

ผลการรันโปรแกรม

การรันโปรแกรมโดยแบ่งช่วงชั้นการทดสอบเป็น 10 ชั้น ได้ตัวอย่างผลการทดสอบสำหรับแต่ละฟังก์ชันดังแสดง

ans =

accept for Log Pearson Type III

ans =

accept for Log-normal

ans =

accept for Extreme Value Type III



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา

2.1 โปรแกรมการสร้างโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา สำหรับคาบการเกิดต่าง ๆ ด้วย

ฟังก์ชันความน่าจะเป็น 3 แบบ

```
%Flow duration curve at varies return periods estimated by
%3 distributions :
%1) Log Peason Type III
%2) Log-normal
%3) Extreme value type III
%*****
clear
%Load variable named "data" which contain
%daily flow record into workspace.
%Note : data in MCM. and the last record in each column which
%have 365 days in 1 years filled with 5000.
load d:\matlab\Flow_Duration\apr\resulta.mat
%*****
%Determine variable 'xt' matrix of flow at each value of
%accumulated time 'pts'
fd=sort(data);
cc=fd(366,:)==5000;
ptm1=(365:-1:0)/365*100;
ptm2=(366:-1:1)/366*100;
pts=[0.3 1:1:100]
for i=1:length(cc)
    if cc(i)==1
        xt(i,:)=interp1(ptm1,fd(:,i),pts);
    else
        xt(i,:)=interp1(ptm2,fd(:,i),pts);
    end
end
end
%*****
%Frequency distributions of flow at each value of
%accumulated time
for i=1:length(pts)
    flowav=xt(:,i);
    %Probability of flow data determined
    p=[0.01 0.02 0.05 0.1 0.2 0.5];
    %*****
    %Find zero flow
    flowav=flowav*1000000;
    clm=find(flowav>0);
    if length(clm)<length(flowav)
        %Treat zero value by total probability
        nch=2;
        kz=length(clm)/length(flowav);
    else
        %Don't have any zero value
        nch=1;
    end
    %*****
    %Statistical parameters
    x0=flowav;
    x0=sort(x0);
    meanx0=mean(x0);
    stdx0=std(x0);
    skewx0=skewness(x0);
    x=flowav(clm);
    x=sort(x);
    meanx=mean(x);
    stdx=std(x);
    skewx=skewness(x);
    y=log10(x);
    meany=mean(y);
    stdy=std(y);
    skewy=skewness(y);
end
```

```

%*****
%Total probability to treat zero flow
if nch==2
    pst=(p-1+kz)/kz;
    cnp=find(pst<=0);
end
%*****
%Log Peason Type III Di stri buti on
if nch==1
    z=normi nv(p, 0, 1);
    k=skewy/6;
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6. *z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+. . .
        z. *k^4+(1/3)*k^5;
    ytp=meany+kt*stdy;
    xtp=10.^ytp ;
end
if nch==2
    z=normi nv(pst, 0, 1);
    k=skewy/6;
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6. *z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+. . .
        z. *k^4+(1/3)*k^5;
    ytp=meany+kt*stdy;
    xtp=10.^ytp;
    xtp(cnp)=0;
end
xtp=xtp/1000000;
'Flow duration curve at any percent of time'
'for Log Peason Type III Di stri buti on'
fdp(i, :)=xtp
%*****
%Log-normal Di stri buti on
if nch==1
    ytn=meany+z*stdy;
    xtn=10.^ytn;
end
if nch==2
    ytn=meany+z*stdy;
    xtn=10.^ytn;
    xtn(cnp)=0;
end
xtn=xtn/1000000;
'Flow duration curve at any percent of time'
'for Log-normal Di stri buti on'
fdn(i, :)=xtn
%*****
%Extreme Value type III Di stri buti on
if (skewx<2)&(skewx>-1.02)
    alp=1/(0.277757913+0.3132617714*skewx+0.0575670910*. . .
        skewx^2-0.0013038566*skewx^3-0.0081523408*skewx^4);
    balp=((gamma(1+2/alp))- (gamma(1+1/alp))^2)^(-0.5);
    aalp=(1-(gamma(1+1/alp))) *balp;
    ktw=aaalp+balp. *((-l og(1-p)). ^(1/alp)-1);
    xtw=meanx0+stdx0*ktw;
    zro=find(xtw<=0);
    xtw(zro)=0;
    xtw=xtw/1000000;
    'Flow duration curve at any percent of time'
    'for Extreme Value type III Di stri buti on'
    fdw(i, :)=xtw
else
    'No alpha';
    fdw(i, :)=50000;
end
end
%*****
'f i n i s h'
%Save current workspace
save d:\matlab\FI ow_Durati on\apr\resul t_1. mat;
%*****

```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมเป็นข้อมูลเดียวกันกับกรณีของหัวข้อ 1.1

ผลการรันโปรแกรม

ตัวอย่างผลการรันโปรแกรมดังแสดง

ans =

Flow duration curve at any percent of time for Log Peason Type
III Di stri buti on

fdp =

15.3455	16.8405	19.3425	21.8556	25.3105	33.3970
12.0841	13.3231	15.4021	17.4952	20.3780	27.1370
8.9822	10.0112	11.7667	13.5682	16.1003	22.2420
7.5053	8.4024	9.9351	11.5093	13.7219	19.0789
.
.
.
0	0	0	0	0	0.4586

ans =

Flow duration curve at any percent of time for Log-normal
Di stri buti on

fdn =

15.5660	17.0161	19.4485	21.8998	25.2854	33.2891
12.3486	13.5343	15.5297	17.5481	20.3466	27.0040
9.1369	10.1362	11.8439	13.6010	16.0812	22.1561
7.7148	8.5720	10.0398	11.5534	13.6949	18.9600
.
.
.
0	0	0	0	0	0.3380

ans =

Flow duration curve at any percent of time for Extreme Value type
III Di stri buti on

fdw =

19.6167	20.0302	21.0347	22.4362	24.9282	32.4964
12.3992	13.2509	14.9706	16.9763	20.0048	27.4091
10.1206	10.6468	11.8075	13.2830	15.6927	22.2278
9.8144	10.0926	10.7714	11.7224	13.4198	18.6012
.
.
.
0	0	0	0	0.1105	0.5462

2.2 โปรแกรมการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยวิธีไคส

แควอร์ สำหรับฟังก์ชันความน่าจะเป็น 3 แบบ

```
%Chi square goodness of fit test for 3 distributions :
%1) Log Peason Type III
%2) Log-normal
%3) Extreme value type III
%*****
clear
%Load variable named "data" which contain
%daily flow record into workspace.
%Note : data in MCM. and the last record in each column which
%have 365 days in 1 years filled with 5000.
load d:\matlab\FIow_Durati on\apr\resul ta. mat;
%*****
%Determine variable 'xt' matrix of flow at each value of
%accumulated time 'pts'
fd=sort(data);
cc=fd(366, :)==5000;
ptm1=(365: -1: 0)/365*100;
ptm2=(366: -1: 1)/366*100;
pts=[60: 5: 95 97 100]
for i=1:length(cc)
    if cc(i)==1
        xt(i, :)=i nterp1(ptm1, fd(:, i), pts);
    else
        xt(i, :)=i nterp1(ptm2, fd(:, i), pts);
    end
end
end
%*****
%Number of class interval
ncs=[5 8 10];
%*****
kk=0;
for pp=1:length(ncs)
    for mnt=1:length(pts)
        kk=kk+1;
        fl owav=xt(:, mnt);
        %Probability of flow data determined
        p=[0. 001: 0. 001: 0. 999];
        %*****
        %Fi nd zero flow
        fl owav=fl owav*1000000;
        cl m=fi nd(fl owav>0);
        if l ength(cl m)<l ength(fl owav)
            %Treat zero value by total probability
            nch=2;
            kz=l ength(cl m)/l ength(fl owav);
        else
            %Don' t have any zero value
            nch=1;
        end
        %*****
        %Statistical parameters
        x0=fl owav;
        x0=sort(x0);
        meanx0=mean(x0);
        stdx0=std(x0);
        skewx0=skewness(x0);
        x=fl owav(cl m);
        x=sort(x);
        meanx=mean(x);
        stdx=std(x);
        skewx=skewness(x);
        y=l og10(x);
        meany=mean(y);
        stdy=std(y);
    end
end
```



```

skewy=skewness(y);
%*****
%Total probability to treat zero flow
if nch==2
    pst=(p-1+kz)/kz;
    cnp=find(pst<=0);
end
%*****
%Determine flow ordinates of each distribution at
%interested probability p
%-----
%Log Peason Type III Distribution
if nch==1
    z=norminv(p,0,1);
    k=skewy/6;
    kt=z+(z.^2-1).*k+(1/3).*(z.^3-6.*z).*k^2-...
        (z.^2-1).*k^3+z.*k^4+(1/3)*k^5;
    ytp=meany+kt*stdy;
    xtp=10.^ytp ;
end
if nch==2
    z=norminv(pst,0,1);
    k=skewy/6;
    kt=z+(z.^2-1).*k+(1/3).*(z.^3-6.*z).*k^2-...
        (z.^2-1).*k^3+z.*k^4+(1/3)*k^5;
    ytp=meany+kt*stdy;
    xtp=10.^ytp;
    xtp(cnp)=0;
end
xtp=xtp/1000000;
%*****
%Log-normal Distribution
if nch==1
    ytn=meany+z*stdy;
    xtn=10.^ytn;
end
if nch==2
    ytn=meany+z*stdy;
    xtn=10.^ytn;
    xtn(cnp)=0;
end
xtn=xtn/1000000;
%*****
%Extreme Value type III Distribution
if (skewx<2)&(skewx>-1.02)
    alp=1/(0.277757913+0.3132617714*skewx0+...
        0.0575670910*skewx0^2-0.0013038566*skewx0^3-...
        0.0081523408*skewx0^4);
    balp=((gamma(1+2/alp))-gamma(1+1/alp))^2^(-0.5);
    aalp=(1-gamma(1+1/alp))*balp;
    ktw=aalp+balp.*((-log(1-p)).^(1/alp)-1);
    xtw=meanx0+stdx0*ktw;
    zro=find(xtw<=0);
    xtw(zro)=0;
    xtw=xtw/1000000;
else
    'No alpha';
end
%-----
%Chi square goodness of fit test
%-----
%find zero flow
hhh=find(xtp==0);
if length(hhh)==0
    nct1=1;
else
    nct1=2;
end
hhh=find(xtn==0);

```

```

if length(hhh)==0
    nct2=1;
else
    nct2=2;
end
hhh=find(xtw==0);
if length(hhh)==0
    nct3=1;
else
    nct3=2;
end
%*****
%Log Peason Type III Di stributi on
if nct1==1
    pcs=0:1/ncs(pp):1;
    xbd=interp1(p, xtp, pcs);
    xbd(ncs(pp)+1)=inf;
    xbd(1)=-inf;
    xbd=xbd*1000000;
    ocl(1:ncs(pp))=0;
    for i=1:length(flowav);
        for j=1:ncs(pp);
            if flowav(i)>=xbd(j) & flowav(i)<xbd(j+1);
                ocl(j)=ocl(j)+1;
            end
        end
    end
    obn=sum(ocl);
    ecl(1:ncs(pp))=length(flowav)/ncs(pp);
    exn=length(flowav);
    chi2a(pp, mnt)=sum((ocl-ecl).^2./ecl);
    chi2b(pp, mnt)=chi2inv(0.95, ncs(pp)-3-1);
    if chi2a(pp, mnt)<=chi2b(pp, mnt)
        rep(kk, 1:6)=str2mat(' ยอมรับ ');
    else
        rep(kk, 1:6)=str2mat(' ปฏิเสธ ');
    end
end
if nct1==2
    gk=find(xtp==0);
    rh=(max(gk));
    ecl(1)=p(rh)*length(flowav);
    zr=find(flowav==0);
    ocl(1)=length(flowav(zr));
    dtf=(1-p(rh))/(ncs(pp)-1);
    pcs=p(rh):dtf:1;
    %*****
    mhj=find(xtp==0);
    fgi=max(mhj);
    xss=xtp(fgi:length(xtp));
    %*****
    pss=p(fgi:length(xtp));
    %*****
    xbd=interp1(pss, xss, pcs(1:(ncs(pp)-1)));
    xbd(ncs(pp))=inf;
    xbd=xbd.*1000000;
    ocl(2:ncs(pp))=0;
    for i=1:length(flowav);
        for j=1:ncs(pp)-1;
            if flowav(i)>xbd(j) & flowav(i)<=xbd(j+1);
                ocl(j+1)=ocl(j+1)+1;
            end
        end
    end
    obn=sum(ocl);
    ecl(2:ncs(pp))=(1-p(rh))*length(flowav)/(ncs(pp)-1);
    chi2a(pp, mnt)=sum((ocl-ecl).^2./ecl);
    chi2b(pp, mnt)=chi2inv(0.95, ncs(pp)-3-1);
    if chi2a(pp, mnt)<=chi2b(pp, mnt)

```

```

        rep(kk, 1: 6)=str2mat(' ยอมจับ' );
    el se
        rep(kk, 1: 6)=str2mat(' ปฏิเสธ' );
    end
end
%*****
%Log-normal Di stri buti on
i f nct2==1
    pcs=0: 1/ncs(pp): 1;
    xbd2=i nterp1(p, xtn, pcs);
    xbd2(ncs(pp)+1)=i nf;
    xbd2(1)=-i nf;
    xbd2=xbd2*1000000;
    ocl 2(1: ncs(pp))=0;
    for i =1: l ength(fl owav);
        for j =1: ncs(pp);
            i f fl owav(i) >=xbd2(j) & fl owav(i) <xbd2(j +1);
                ocl 2(j) =ocl 2(j) +1;
            end
        end
    end
    obn2=sum(ocl 2);
    ecl 2(1: ncs(pp))=l ength(fl owav)/ncs(pp);
    chi 2a2(pp, mnt)=sum((ocl 2-ecl 2). ^2. /ecl 2);
    chi 2b2(pp, mnt)=chi 2i nv(0. 95, ncs(pp) -2-1);
    i f chi 2a2(pp, mnt) <=chi 2b2(pp, mnt)
        rep2(kk, 1: 6)=str2mat(' ยอมจับ' );
    el se
        rep2(kk, 1: 6)=str2mat(' ปฏิเสธ' );
    end
end
i f nct2==2
    gk2=f i nd(xtn==0);
    rh2=(max(gk2));
    ecl 2(1)=p(rh2)*l ength(fl owav);
    zr2=f i nd(fl owav==0);
    ocl 2(1)=l ength(fl owav(zr2));
    dtf2=(1-p(rh2))/(ncs(pp) -1);
    pcs2=p(rh2): dtf2: 1;
    %*****
    mhj 2=f i nd(xtn==0);
    fgi 2=max(mhj 2);
    xss2=xtn(fgi 2: l ength(xtn));
    %*****
    pss2=p(fgi 2: l ength(xtn));
    %*****
    xbd2=i nterp1(pss2, xss2, pcs2(1: (ncs(pp) -1)));
    xbd2(ncs(pp))=i nf;
    xbd2=xbd2. *1000000;
    ocl 2(2: ncs(pp))=0;
    for i =1: l ength(fl owav);
        for j =1: ncs(pp) -1;
            i f fl owav(i) >xbd2(j) & fl owav(i) <=xbd2(j +1);
                ocl 2(j +1) =ocl 2(j +1) +1;
            end
        end
    end
    obn2=sum(ocl 2);
    ecl 2(2: ncs(pp))=(1-p(rh2))*l ength(fl owav)/. . .
        (ncs(pp) -1);
    chi 2a2(pp, mnt)=sum((ocl 2-ecl 2). ^2. /ecl 2);
    chi 2b2(pp, mnt)=chi 2i nv(0. 95, ncs(pp) -2-1);
    i f chi 2a2(pp, mnt) <=chi 2b2(pp, mnt)
        rep2(kk, 1: 6)=str2mat(' ยอมจับ' );
    el se
        rep2(kk, 1: 6)=str2mat(' ปฏิเสธ' );
    end
end

```

```

end
%*****
%Extreme Value type III Distribution
if nct3==1
    pcs=0:1/ncs(pp):1;
    xbd3=interp1(p,xtw,pcs);
    xbd3(ncs(pp)+1)=inf;
    xbd3(1)=-inf;
    xbd3=xbd3*1000000;
    ocl3(1:ncs(pp))=0;
    for i=1:length(flowav);
        for j=1:ncs(pp);
            if flowav(i)>=xbd3(j) & flowav(i)<xbd3(j+1);
                ocl3(j)=ocl3(j)+1;
            end
        end
    end
    obn3=sum(ocl3);
    ecl3(1:ncs(pp))=length(flowav)/ncs(pp);
    chi2a3(pp,mnt)=sum((ocl3-ecl3).^2./ecl3);
    chi2b3(pp,mnt)=chi2inv(0.95,ncs(pp)-3-1);
    if chi2a3(pp,mnt)<=chi2b3(pp,mnt)
        rep3(kk,1:6)=str2mat(' ยอมรับ ');
    else
        rep3(kk,1:6)=str2mat(' ปฏิเสธ ');
    end
end
if nct3==2
    gk3=find(xtw==0);
    rh3=(max(gk3));
    ecl3(1)=p(rh3)*length(flowav);
    zr3=find(flowav==0);
    ocl3(1)=length(flowav(zr3));
    dtf3=(1-p(rh3))/(ncs(pp)-1);
    pcs3=p(rh3):dtf3:1;
    %*****
    mhj3=find(xtw==0);
    fgi3=max(mhj3);
    xss3=xtw(fgi3:length(xtw));
    %*****
    pss3=p(fgi3:length(xtw));
    %*****
    xbd3=interp1(pss3,xss3,pcs3(1:(ncs(pp)-1)));
    xbd3(ncs(pp))=inf;
    xbd3=xbd3.*1000000;
    ocl3(2:ncs(pp))=0;
    for i=1:length(flowav);
        for j=1:ncs(pp)-1;
            if flowav(i)>xbd3(j) & flowav(i)<=xbd3(j+1);
                ocl3(j+1)=ocl3(j+1)+1;
            end
        end
    end
    obn3=sum(ocl3);
    ecl3(2:ncs(pp))=(1-p(rh3))*length(flowav)/...
        (ncs(pp)-1);
    chi2a3(pp,mnt)=sum((ocl3-ecl3).^2./ecl3);
    chi2b3(pp,mnt)=chi2inv(0.95,ncs(pp)-3-1);
    if chi2a3(pp,mnt)<=chi2b3(pp,mnt)
        rep3(kk,1:6)=str2mat(' ยอมรับ ');
    else
        rep3(kk,1:6)=str2mat(' ปฏิเสธ ');
    end
end
end
end
'Percent of time'
pts

```

```
'Chi square test for Log Peason Type III Di stri buti on'
rep
'Chi square test for Log-normal Di stri buti on'
rep2
'Chi square test for Extreme Value type III Di stri buti on'
rep3
%-----
```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมเป็นข้อมูลเดียวกันกับกรณีของหัวข้อ 1.1

ผลการรันโปรแกรม

การรันโปรแกรมโดยแบ่งช่วงชั้นการทดสอบเป็น 10 ชั้น ได้ตัวอย่างผลการทดสอบสำหรับแต่ละฟังก์ชันดังแสดง

Percent of time

pts =

60 65 70 75 80 85 90 95 97 100

ans =

Chi square test for Log Peason Type III Di stri buti on

rep =

ยอมรับ

ยอมรับ

ยอมรับ

ปฏิเสธ

ยอมรับ

ยอมรับ

ปฏิเสธ

ยอมรับ

ปฏิเสธ

ปฏิเสธ

ans =

Chi square test for Log-normal Di stri buti on

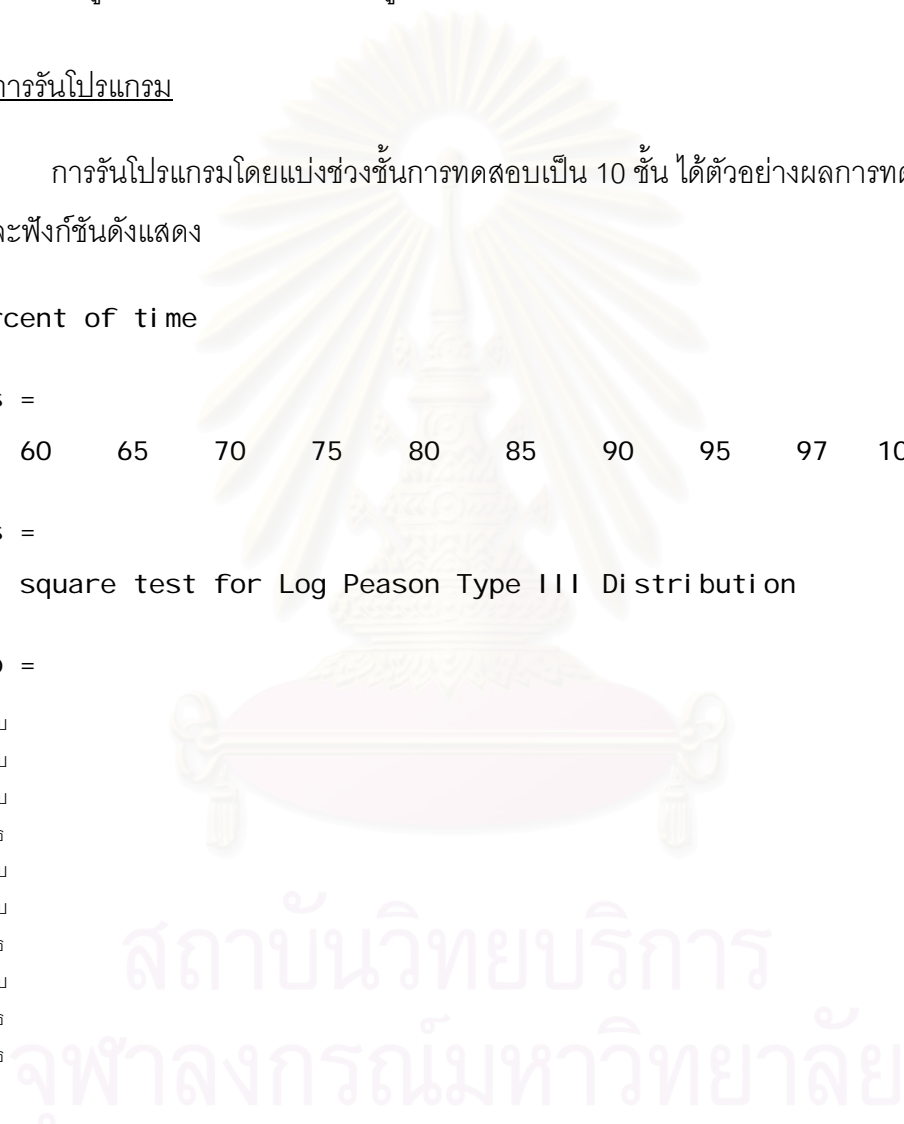
rep2 =

ยอมรับ

ยอมรับ

ยอมรับ

ยอมรับ



ยอมรับ
ปฏิเสธ
ปฏิเสธ
ปฏิเสธ
ปฏิเสธ
ปฏิเสธ

ans =

Chi square test for Extreme Value type III Distribution

rep3 =

ยอมรับ
ยอมรับ
ยอมรับ
ปฏิเสธ
ยอมรับ
ปฏิเสธ
ยอมรับ
ปฏิเสธ
ปฏิเสธ
ยอมรับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 โปรแกรมแสดงผลการสร้างกราฟโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา

```

%Compare flow duration curve of 3 distributions at each
%return period
clear
%load result from Construct_flow_duration.m
load d:\matlab\Flow_Duration\apr\result_1.mat;
%*****
tickx=0: 10: 100;
vv=40
ticky=0: 5: vv;
fdp=sort(fdp)
fdn=sort(fdn)
fdw=sort(fdw)
zp=size(fdp)
%
figure(1)
plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 1), 'k-', pts, fdn(zp(1):-1:1, 1), 'k--', ...
      pts, fdw(zp(1):-1:1, 1), 'k:');
grid on
set(gca, 'XTick', tickx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend('ลือกเพียรสันประเภทที่ 3', 'ลือกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3')
jj=title('คาบการเกิด 100 ปี')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')
set(gca, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 vv]);
%
figure(2)
plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 2), 'k', pts, fdn(zp(1):-1:1, 2), 'k--', ...
      pts, fdw(zp(1):-1:1, 2), 'k:');
grid on
set(gca, 'XTick', tickx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend('ลือกเพียรสันประเภทที่ 3', 'ลือกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3')
jj=title('คาบการเกิด 50 ปี')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')
%title('Flow Duration Curve of Nonexceedence Probability 2%')
set(gca, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 vv]);
saveas(gcf, 'd:\thesi s\Flow_Duration\apr\fl owdu6\r50. fig')
%
figure(3)
plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 3), 'k', pts, fdn(zp(1):-1:1, 3), 'k--', ...
      pts, fdw(zp(1):-1:1, 3), 'k:');
grid on
set(gca, 'XTick', tickx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)')
legend('ลือกเพียรสันประเภทที่ 3', 'ลือกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3')
jj=title('คาบการเกิด 20 ปี')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')
set(gca, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 vv]);
%
figure(4)
plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 4), 'k', pts, fdn(zp(1):-1:1, 4), 'k--', ...
      pts, fdw(zp(1):-1:1, 4), 'k:');
grid on

```

```

set(gca, 'XTick', tickx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend('ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3', 'ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3')
jj=title('คาบการเกิด 10 ปี')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')
set(gca, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 vv]);
%
figure(5)
plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 5), 'k', pts, fdn(zp(1):-1:1, 5), 'k--', ...
      pts, fdw(zp(1):-1:1, 5), 'k:');
grid on
set(gca, 'XTick', tickx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend('ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3', 'ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3')
jj=title('คาบการเกิด 5 ปี')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')
set(gca, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 vv]);
%
figure(6)
plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 6), 'k', pts, fdn(zp(1):-1:1, 6), 'k--', ...
      pts, fdw(zp(1):-1:1, 6), 'k:');
grid on
set(gca, 'XTick', tickx, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend('ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3', 'ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', 'ค่าต่ำสุดประเภทที่ 3')
jj=title('คาบการเกิด 2 ปี')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')
set(gca, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 vv]);
%*****

%Plot flow duration curve at the interested return periods
%for 3 distributions :
%1) Log Peason Type III
%2) Log-normal
%3) Extreme value type III
%*****
clear
%load result from Construct_flow_duration.m
load d:\matlab\FIow_Duration\apr\result_1.mat;
%*****
ticky=0:5:40;
%Graphic plot
%Log Peason Type III Distribution
fdp=sort(fdp)
zp=size(fdp)
figure(1)
yya=plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 6), 'k-o')
hold on
yyb=plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 5), 'k-*')
yyc=plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 4), 'k--')
yyd=plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 3), 'k:')
yye=plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 2), 'k')
yyf=plot(pts, fdp(zp(1):-1:1, 1), 'k-.')
grid on
set(gca, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 14)

```

```

set([yya yyb yyc yyd yye yyf], 'markersize', 2)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend([yya, yyb, yyc, yyd, yye, yyf], 'คาบการเกิด 2 ปี', 'คาบการเกิด 5 ปี', ...
        'คาบการเกิด 10 ปี', 'คาบการเกิด 20 ปี', 'คาบการเกิด 50 ปี', 'คาบการเกิด 100 ปี')
%*****
%Log-normal Distribution
fdn=sort(fdn)
figure(2)
yya=plot(pts, fdn(zp(1):-1:1, 6), 'k-o')
hold on
yyb=plot(pts, fdn(zp(1):-1:1, 5), 'k-*')
yyc=plot(pts, fdn(zp(1):-1:1, 4), 'k--')
yyd=plot(pts, fdn(zp(1):-1:1, 3), 'k.')
yye=plot(pts, fdn(zp(1):-1:1, 2), 'k')
yyf=plot(pts, fdn(zp(1):-1:1, 1), 'k-.')
grid on
set(gca, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordiaupc', 'fontsize', 14)
set([yya yyb yyc yyd yye yyf], 'markersize', 2)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)')
legend([yya, yyb, yyc, yyd, yye, yyf], 'คาบการเกิด 2 ปี', 'คาบการเกิด 5 ปี', ...
        'คาบการเกิด 10 ปี', 'คาบการเกิด 20 ปี', 'คาบการเกิด 50 ปี', 'คาบการเกิด 100 ปี')
%*****
%Extreme Value type III Distribution
fdw=sort(fdw)
figure(3)
yya=plot(pts, fdw(zp(1):-1:1, 6), 'k-o')
hold on
yyb=plot(pts, fdw(zp(1):-1:1, 5), 'k-*')
yyc=plot(pts, fdw(zp(1):-1:1, 4), 'k--')
yyd=plot(pts, fdw(zp(1):-1:1, 3), 'k.')
yye=plot(pts, fdw(zp(1):-1:1, 2), 'k')
yyf=plot(pts, fdw(zp(1):-1:1, 1), 'k-.')
grid on
set(gca, 'YTick', ticky)
set(gca, 'fontname', 'cordiaupc', 'fontsize', 14)
set([yya yyb yyc yyd yye yyf], 'markersize', 2)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
legend([yya, yyb, yyc, yyd, yye, yyf], 'คาบการเกิด 2 ปี', 'คาบการเกิด 5 ปี', ...
        'คาบการเกิด 10 ปี', 'คาบการเกิด 20 ปี', 'คาบการเกิด 50 ปี', 'คาบการเกิด 100 ปี')
%*****
%Plot frequency curve of 3 distributions :
%1) Log Peason Type III
%2) Log-normal
%3) Extreme value type III
%at the specified accumulated time
%*****
clear
load result from Construct_flow_duration.m
load d:\matlab\FIow_Duration\apr\result_1.mat;
%*****
%Probability paper
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 0.98 0.99 0.995 0.999]
t=[100 50 20 10 5 4 3 2 1.5 1.1 1.01 1.001]
pt=1./t
labelx= str2mat(' 0.1', '0.5', ' 1', ' 2', ' 5', ' 10', ' 20', ...

```

```

        ' 30', ' 40', ' 50', ' 60', ' 70', ' 80', ' 90', ' 95', ...
        ' 98', ' 99', ' 99.5', ' 99.9');
tickx = norminv(p, 0, 1);
labelxt=str2mat(' 100', ' 50', ' 20', ' 10', ' 5', ' 4', ...
        ' 3', ' 2', ' 1.5', ' 1.1', ' 1.01', ' 1.001')
tickxt = norminv(pt, 0, 1);
a=4
ticky = 0:1:a;
tickyt=[]
labelyt=[]
figure(1)
%*****
%Define data column of 'xt', the selected accumulated time 'pts'
flowav=xt(:, 101)
%*****
flowav=flowav*1000000
clm=find(flowav>0)
if length(clm)<length(flowav)
    %' Press 1 for neglect zero value or press 2 for treat zero value
    by probability solution'
    nch=2
    kz=length(clm)/length(flowav)
else
    nch=1
end
%*****
%Statistical parameters
x0=flowav
x0=sort(x0)
meanx0=mean(x0)
stdx0=std(x0)
skewx0=skewness(x0)
x=flowav(clm)
x=sort(x)
meanx=mean(x)
stdx=std(x)
skewx=skewness(x)
y=log10(x)
meany=mean(y)
stdy=std(y)
skewy=skewness(y)
%*****
%Total probability to treat zero flow
if nch==2
    pst=(p-1+kz)/kz
    cnp=find(pst<=0)
end
%*****
%Plotting position with Weibul formulae
num=length(flowav)
mct=1:1:num
plp=mct/(num+1)
pln=norminv(plp, 0, 1);
ppa=plot(pln, sort(flowav)/1000000, 'k. ')
hold on
%*****
%Log Peason Type III Distribution
if nch==1
    z=norminv(p, 0, 1)
    k=skewy/6
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6. *z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+...
        z. *k^4+(1/3)*k^5
    ytp=meany+kt*stdy
    xtp=10.^ytp
end
if nch==2
    z=norminv(pst, 0, 1)
    k=skewy/6
    kt=z+(z.^2-1). *k+(1/3). *(z.^3-6. *z). *k^2-(z.^2-1). *k^3+...

```

```

        z. *k^4+(1/3)*k^5
        ytp=meany+kt*stdy
        xtp=10.^ytp
        xtp(cnp)=0
    end
    xtp=xtp/1000000
    ppb=plot(tickx, xtp, 'k')
    hold on
    %*****
%Log-normal Distribution
    if nch==1
        ytn=meany+z*stdy
        xtn=10.^ytn
    end
    if nch==2
        ytn=meany+z*stdy
        xtn=10.^ytn
        xtn(cnp)=0
    end
    xtn=xtn/1000000
    ppc=plot(tickx, xtn, 'k--')
    %*****
%Extreme Value type III Distribution
    if (skewx<2)&(skewx>-1.02)
        alp=1/(0.2777757913+0.3132617714*skewx0+0.0575670910*...
            skewx0^2-0.0013038566*skewx0^3-0.0081523408*skewx0^4)
        balp=((gamma(1+2/alp))- (gamma(1+1/alp))^2)^(-0.5);
        aalp=(1-(gamma(1+1/alp))) *balp;
        ktw=aalp+balp.*((-log(1-p)).^(1/alp)-1)
        xtw=meanx0+stdx0*ktw
        xtw=xtw/1000000
        ppd=plot(tickx, xtw, 'k:')
    else
        'No alpha'
    end
    %*****
%Probability paper
    minx=norminv(0.001, 0, 1);
    maxx=norminv(1/1.001, 0, 1);
    set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
    set(gca, 'XTick', tickx, 'XTickLabel', labelx, 'YTick', ticky)
    set(gca, 'XLim', [minx maxx], 'YLim', [0 a]);
    xlabel('ความน่าจะเป็นแบบค่าน้อยกว่า (Non-Exceedence Probability, %)')
    ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน 100% เวลาสะสม (ล้าน ลบ. ม.)')
    bn=legend([ppa, ppb, ppc, ppd], 'ตำแหน่งจุดพล็อต', ' ล็อกเพียร์สันประเภทที่ 3', ...
        ' ล็อกนอร์มอล 2 พารามิเตอร์', ' ค่าค่าสุดประเภทที่ 3', 2)
    set(bn, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
    ax1 = gca;
    grid on
    ax2 = axes('Position', get(ax1, 'Position'), ...
        'XAxisLocation', 'top', ...
        'YAxisLocation', 'right', ...
        'Color', 'none', ...
        'XColor', 'k', 'YColor', 'k');
    ax2=gca
    set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
    set(gca, 'XTick', tickxt, 'XTickLabel', labelxt, 'YTick', tickyt, ...
        'YTickLabel', labelyt)
    set(gca, 'XLim', [minx maxx]);
    jj=text(-0.61, 1.06, 'คาบการเกิด (ปี)')
    set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
    hold on
    %*****

%Plot flow duration curve of historical data in specified year
clear

```

```

%load result from Construct_flow_duration.m
load d:\matlab\FIow_Duration\apr\result_1.mat;
%*****
plot(pts, xt(79, :), 'k')
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18)
xlabel('เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)')
ylabel('ปริมาณน้ำรายวัน (ล้าน ลบ. ม.)')
jj=title('พ. ศ. 2542')
set(jj, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsize', 18, 'vertical', 'cap')

```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมคือ ผลการวิเคราะห์ต่อเนื่องจากโปรแกรมที่ 2.1

ผลการรันโปรแกรม

ผลการรันโปรแกรมหังแสดงดังในรูปที่ 4.13 – 4.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทฤษฎีวัน

3.1 โปรแกรมการวิเคราะห์หาคาบการเกิดของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง และช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง กรณีของข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน ที่ระดับการใช้น้ำ 90%

```
%This code is used to compute return period of drought
%severities and average drought durations from a threshold
%level which constructed by average flow of each month in the
%range of data record.
clear
%Load variable named 'flow' into the workspace
run d:\matlab\RunTheory\monthly\Data_mng.m
%*****
%Construct threshold level
nflow=length(flow);
nyear=nflow/12;
j=1;
for j=1:12
    lev(j)=0;
    for i=j:12:nyear*12
        lev(j)=flow(i)+lev(j);
    end
    lev(j)=(lev(j)/nyear)*0.9; %0.9 is percent of threshold
end
k=0;
for i=1:nyear
    for j=1:12;
        k=k+1;
        thres(k)=lev(j);
    end
end
%*****
%Determine drought parameters :-
%Drought severity: 'rsum', Drought duration: 'rlen'
%Non-Drought severity: 'ursum', Non-Drought duration: 'urlen'
i=1;
ndw=0;
nnd=0;
nwd=0;
nww=0;
nd=0;
nw=0;
%
j=1;
temp=0;
rsum(1)=0;
rlen(1)=0;
%
k=1;
temp1=0;
ursum(1)=0;
urlen(1)=0;
%
for i=1:nflow
    if i==1
        if flow(i)<thres(i);
            rsum(j)=thres(i)-flow(i);
            rlen(j)=1;
            ind=0;
        end
        if flow(i)>=thres(i);
            ursum(k)=flow(i)-thres(i);
            urlen(k)=1;
            ind=1;
        end
    end
    if i>1
```

```

    if flow(i)<thres(i)
        if j>length(rsum)
            rsum(j)=0;
            rlen(j)=0;
        end
        temp=rsum(j);
        rsum(j)=(thres(i)-flow(i))+temp;
        rlen(j)=rlen(j)+1;
        if flow(i)<thres(i) & flow(i-1)<thres(i-1)
            ndd=ndd+1;
            nd=nd+1;
        end;
        if flow(i)<thres(i) & flow(i-1)>=thres(i-1);
            nwd=nwd+1;
            nd=nd+1;
            k=k+1;
        end;
    end;
    if flow(i)>=thres(i)
        if k>length(ursum)
            ursum(k)=0;
            urlen(k)=0;
        end
        temp1=ursum(k);
        ursum(k)=(flow(i)-thres(i))+temp1;
        urlen(k)=urlen(k)+1;
        if flow(i)>=thres(i) & flow(i-1)>=thres(i-1)
            nww=nww+1;
            nw=nw+1;
        end
        if flow(i)>=thres(i) & flow(i-1)<thres(i-1)
            ndw=ndw+1;
            nw=nw+1;
            j=j+1;
        end
    end
end
end
end
%*****
%Compute interarrival time: 'arvt'
nrlen=length(rlen);
nurlen=length(urlen);
nrsum=length(rsum);
if nurlen > nrlen
    for i=2:nurlen
        arvt(i-1)=rlen(i-1)+urlen(i);
    end
end
if nurlen < nrlen
    for i=1:nurlen
        arvt(i)=rlen(i)+urlen(i);
    end
end
if nurlen == nrlen & ind==0;
    for i=1:nurlen;
        arvt(i)=rlen(i)+urlen(i);
    end
end
if nurlen == nrlen & ind==1
    for i=2:nurlen
        arvt(i-1)=rlen(i-1)+urlen(i);
    end
end
end
%*****
%Plotting position
rlen2=rlen;
rsum2=rsum;
dsplot=0:20:max(rsum);
ndsplot=length(dsplot);

```

```

for j=1:ndsplot
    i=1;
    while rsum(i)<dsplot(j)
        i=i+1;
    end;
    count=1;
    temp=0;
    clear tds;
    clear tds2;
    while i<nrsun
        if rsum(i+1)<dsplot(j)
            tds(count)=arvt(i)+temp;
            temp=tds(count);
            ind2=0;
        end
        if rsum(i+1)>=dsplot(j)
            tds(count)=arvt(i)+temp;
            temp=0;
            count=count+1;
            ind2=1;
        end
        i=i+1;
    end
    ntds=length(tds);
    if ind2==0
        if length(tds)>1
            for k=1:ntds-1
                tds2(k)=tds(k);
            end
            ntds2=length(tds2);
            etds(j)=sum(tds2)/ntds2;
        end
    else
        etds(j)=sum(tds)/ntds;
    end
end
end
%*****
%Determine Pdd, Pww, Pdw and Pwd
pdw=ndw/nd;
pdd=ndd/nd;
pwd=nwd/nw;
pww=nww/nw;
%*****
%Sort 'rlen' from max to min and 'rsum' along with 'rlen'
for i=1:nrlen
    rlenum(i,1)=rlen(i);
    rlenum(i,2)=rsum(i);
end
rlenum=sortrows(rlenum);
for i=1:nrlen
    rlen(i)=rlenum(i,1);
    rsum(i)=rlenum(i,2);
end
%*****
rsum1=sort(rsum);
%Sort 'urlen' from max to min and 'ursum' along with 'urlen'
for i=1:nurlen
    urlenum(i,1)=urlen(i);
    urlenum(i,2)=ursum(i);
end
urlenum=sortrows(urlenum);
for i=1:nurlen
    urlen(i)=urlenum(i,1);
    ursum(i)=urlenum(i,2);
end
%*****
%Count number of each value of drought duration in matrix 'rlen'
count=0;
for i=1:nrlen

```

```

    if i==1
        j=1;
        count=1;
        temp=r len(i);
        dur(j)=count;
        dl(j)=temp;
    end
    if i~=1
        if temp==r len(i);
            count=count+1;
            dur(j)=count;
            dl(j)=temp;
        end;
        if temp~=r len(i)
            count=1;
            j=j+1;
            dur(j)=count;
            temp=r len(i);
            dl(j)=temp;
        end
    end
end
end
%*****
%Plot probability distribution of drought duration
maxx=40;
maxy=0.6;
tickx=[1 5:5:maxx];
ticky=0:0.1:maxy;
ndl=length(dl);
for i=1:ndl;
    pdl(i)=dur(i)/nr len;
end;
dl d=1:1:maxx;
fdl=pdw*pdd.^(dl d-1);
figure(1);
ba=bar(dl,pdl,'w');
hold on;
pl=plot(dl d,fdl,'k');
grid on
set(gca,'fontname','cordi aupc','fontsi ze',18);
set(gca,'XLi m',[0 maxx],'YLi m',[0 maxy]);
set(gca,'XTi ck',tickx,'YTi ck',ticky)
xl label('ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (เดือน)')
yl label('ค่าความน่าจะเป็น')
j j j=text(13.5,0.62,'ระดับการใช้น้ำ 90%');
set(j j j,'fontname','cordi aupc','fontsi ze',18)
legend([pl,ba],'ฟังก์ชันการแจกแจงตามทฤษฎี','ข้อมูลเก็บบันทึก');
saveas(gcf,'d:\Thesi s\RunTheory\monthl y\fi g_1_90.fi g');
%*****
%Count number of each value of non-drought duration in matrix
%'url en'
count=0;
for i=1:nurl en
    if i==1
        j=1;
        count=1;
        temp=url en(i);
        udur(j)=count;
        udl(j)=temp;
    end
    if i~=1
        if temp==url en(i)
            count=count+1;
            udur(j)=count;
            udl(j)=temp;
        end
    end
end
end

```

```

end
if temp~=urlen(i)
count=1;
j=j+1;
udur(j)=count;
temp=urlen(i);
udl(j)=temp;
end
end
end
%*****
%Plot probability distribution of non-drought duration
maxx=40;
maxy=0.6;
tickx=[1 5:5:maxx];
ticky=0:0.1:maxy;
nudl=length(udl);
for i=1:nudl;
pudl(i)=udur(i)/nurlen;
end;
uud=1:1:maxx;
fudl=pwd*pww.^(uud-1);
figure(2);
ba=bar(udl,pudl,'w');
hold on;
pl=plot(uud,fudl,'k');
grid on
set(gca,'fontname','cordi aupc','fontsize',18);
set(gca,'XLim',[0 maxx],'YLim',[0 maxy]);
set(gca,'XTick',tickx,'YTick',ticky)
xlabel('ช่วงระยะเวลาที่เกินความต้องการต่อเนื่อง (เดือน)');
ylabel('ค่าความน่าจะเป็น');
jjj=text(13.5,0.62,'ระดับการใช้น้ำ 90%');
set(jjj,'fontname','cordi aupc','fontsize',18)
legend([pl,ba],'ฟังก์ชันการแจกแจงตามทฤษฎี','ข้อมูลเก็บบันทึก');
saveas(gcf,'d:\Thesis\RunTheory\monthl y\fig2_90.fig');
%*****
save d:\matlab\RunTheory\monthl y\T90\Result1.mat;

clear
load d:\matlab\RunTheory\monthl y\T90\Result1.mat;
for i=1:max(rlen)
tmp=find(rlen==i);
duri(i)=length(tmp);
end
%Input drought duration to compute alpha and beta
%of conditional probability
dlcount=[1:6];
%*****
ngraph=max(dlcount);
n=0;
temp=1;
k=0;
fignum=1;
ticky=0:0.2:1
for i=1:ngraph
n=dur(i)+n;
clear xds
clear plott
for j=temp:n
k=k+1;
xds(k)=rsum(j);
end
nxds=length(xds);
avxds=mean(xds);
%Plotting position
for m=1:nxds

```

```

        plott(m)=m/(nxds+1);
    end
    para=gamfit(xds);
    for count=1:2
        para1(i, count)=para(count);
    end
    %Adjust bias for small sample sizes
    a=para(1)-3*para(1)/nxds;
    b=1/(a/avxds);
    %*****
    para2(i, 1)=a;
    para2(i, 2)=b;
    %Plot conditional probability
    ds=0:2:2500;
    pbcond=gamcdf(ds, a, b);
    yld=find(pbcond>0.998);
    yls=min(yld);
    if ds(yls)<200
        lmt=200
    elseif ds(yls)<400
        lmt=400
    elseif ds(yls)<600
        lmt=600
    elseif ds(yls)<800
        lmt=800
    elseif ds(yls)<1000
        lmt=1000
    elseif ds(yls)<1200
        lmt=1200
    elseif ds(yls)<1400
        lmt=1400
    else
        lmt=1600
    end
    asf=figure(fignum);
    set(gcf, 'Color', 'w');
    fignum=fignum+1;
    plot(xds, plott, 'k.', ds, pbcond, 'k')
    set(gca, 'fontname', 'cordiaupc', 'fontsize', 18);
    set(gca, 'YTick', 'ticky')
    axis([0 lmt 0 1])
    sss=xlabel('ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ล้าน ลบ. ม.)')
    set(sss, 'fontname', 'cordiaupc', 'fontsize', 18, ...
        'vertical', 'top');
    ylabel('ค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข')
    uuu=num2str(fignum-1);
    yyy='ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง'
    zzz='เดือน'
    yyz=title(yyy, uuu, zzz)
    aa=5
    set(yyz, 'fontname', 'cordiaupc', 'fontsize', 18, ...
        'vertical', 'cap');
    temp=n+1
    k=0
end
%*****
%Curve fitting of alfa , beta
deg=1 %polynomial order
xtime=find(duri(1: ngraph)>3);
af=para2(:, 1);
af=af';
afcoef=polysfit(dlcount, af(dlcount), deg); %linear regression
bt=para2(:, 2);
bt=bt';
lmt=round((ngraph+10)/10)*10;

```



```

uxtime=find(duri(1:ngraph)<=3);
btcoef(1:1mt)=0;
btcoef(dl count)=bt(dl count);
btz=find(btcoef==0);
bte=mean(btcoef(dl count));
btcoef(btz)=bte;
%*****
%Plot alpha, beta relate to drought duration
xtime1=1:ngraph;
xtime2=length(btcoef);
yaf=afcoef(1).*xtime1+afcoef(2);
ybt=btcoef;
btea(xtime2)=bte;
%-----
asf=figure(fignum)
set(gcf,'Color','w');
plot(xtime,af(xtime),'k.',xtime1,yaf,'k:');
set(gca,'fontname','cordaupc','fontsize',18);
set(gca,'XLim',[0 ngraph+1])
sss=xlabel('ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (เดือน)')
set(sss,'fontname','cordaupc','fontsize',18,'vertical','top');
aaa=ylabel('a')
set(aaa,'fontname','symbol','fontsize',18);
yyz=title('ระดับการใช้น้ำ 90%')
set(yyz,'fontname','cordaupc','fontsize',18,...
'vertical','cap');
saveas(gcf,'d:\Thesis\RunTheory\monthly\fig3_90.fig');
asf=figure(fignum+1)
set(gcf,'Color','w');
plot(xtime,bt(xtime),'k.',xtime2,ybt,'k:','...
1: max(dl count)+1, btea(1: max(dl count)+1), 'k--')
set(gca,'fontname','cordaupc','fontsize',18);
set(gca,'XLim',[0 1mt])
sss=xlabel('ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (เดือน)')
set(sss,'fontname','cordaupc','fontsize',18,'vertical','top');
bbb=ylabel('b')
set(bbb,'fontname','symbol','fontsize',18);
yyz=title('ระดับการใช้น้ำ 90%')
set(yyz,'fontname','cordaupc','fontsize',18,'vertical','cap');
saveas(gcf,'d:\Thesis\RunTheory\monthly\fig4_90.fig');
%*****
save d:\matlab\RunTheory\monthly\T90\Result2.mat;

clear
load d:\matlab\RunTheory\monthly\T90\Result2.mat;
%Plot joint probability
clear ds
dl=1:1:10;
ndl=length(dl);
btcoef(length(btcoef)+1:ndl)=bte;
ds=0:5:100;
nds=length(ds);
for i=1:nds
    for j=1:ndl
        fj(i,j)=((ds(i)^(afcoef(1)*dl(j)+afcoef(2)-1))/...
(btcoef(j)^(afcoef(1)*dl(j)+afcoef(2)))*...
gamma(afcoef(1)*dl(j)+afcoef(2))*...
(exp(-ds(i)/btcoef(j)))*(pdw*pdd^(dl(j)-1)));
    end
end
asf=figure(5)
set(gcf,'Color','w');
ddd=mesh(dl,ds,fj,'edgecolor','k');
axis 'ij'
grid on
tickx=0:2:10;
ticky=0:20:100;

```

```

tickz=0:0.005:0.02;
set(gca,'XTick',tickx,'YTick',ticky,'ZTick',tickz,...
    'fontname','cordi aupc','fontsize',18);
set(gca,'XDir','reverse','XLim',[0 10],'YLim',[0 100],...
    'ZLim',[0 0.02])
ttt=text(13,18,'ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง')
ttu=text(15,54,'(ล้าน ลบ. ม.)')
set([ttt ttu],'fontname','cordi aupc','fontsize',18,...
    'vertical','middle','rotation',330);
fff=text(10,140,'ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง')
ggg=text(7,155,'(เดือน)')
set([fff ggg],'fontname','cordi aupc','fontsize',18,...
    'vertical','middle','rotation',18);
zlabel('ค่าความน่าจะเป็นร่วม')
yyz=text(-8.84,-165.00,'ระดับการใช้น้ำ 90%')
set(yyz,'fontname','cordi aupc','fontsize',18);
saveas(gcf,'d:\Thesis\RunTheory\monthly\fig5_90.fig');
pause(1)
%*****
%Plot marginal probability of drought severity
clear dl
clear ds
frd=1;
dl=frd:1:200; %6*****
ndl=length(dl);
btcoef(length(btcoef)+1:ndl)=bte;
lng1=0.05;
lng2=0.2;
jnt=1200;
ds1=lng1/2:lng1:jnt;
ds2=jnt+lng2/2:lng2:1200; %7*****
ds=[ds1 ds2];
nds1=length(ds1);
nds2=length(ds2);
nds=length(ds);
temp=0;
for i=1:nds
    for j=1:ndl
        f=((ds(i).^(afcoef(1).*dl(j)+afcoef(2)-1))./...
            (btcoef(j).^(afcoef(1).*dl(j)+afcoef(2))).*...
            gamma(afcoef(1).*dl(j)+afcoef(2))).*...
            (exp(-ds(i)./btcoef(j))).*(pdw.*pdd.^(dl(j)-1)));
        temp=temp+f;
    end
    pmar(i)=temp;
    temp=0;
end
asf=figure(6)
set(gcf,'Color','w');
para3=gamfit(rsum1);
rsum2=1:1:300;
pmar2=gampdf(rsum2,para3(1),para3(2));
pcdf=gamcdf(rsum2,para3(1),para3(2));
plot(ds,pmar,'k')
set(gca,'fontname','cordi aupc','fontsize',18);
sss=xlabel('ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ล้าน ลบ. ม.)')
set(sss,'fontname','cordi aupc','fontsize',18,'vertical','top');
ylabel('ค่าความน่าจะเป็น')
yyz=title('ระดับการใช้น้ำ 90%')
set(yyz,'fontname','cordi aupc','fontsize',18,'vertical','cap');
saveas(gcf,'d:\Thesis\RunTheory\monthly\fig6_90.fig');
pause(1)
%*****
%Calculate return period
temp=0;
phis=gamcdf(rsum2,para3(1),para3(2));

```

```

pmar=[pmar(1: nds1)*l ng1 pmar(nds1+1: nds)*l ng2];
fs=cumsum(pmar);
et=(1/pdw+1/pwd)./(1-fs);
ethi s=(1/pdw+1/pwd)./(1-phi s);
%*****
rnk=nrsum:-1:1;
rtp=(nrsum+1)./rnk;
ertp=(1/pdw+1/pwd)./(1-(1./rtp));
%*****
save d:\matlab\RunTheory\monthl y\T90\Resul t3. mat;

clear
load d:\matlab\RunTheory\monthl y\T90\Resul t3. mat;
%Plot return period of drought severity
rsum=sort(rsum);
sertp=sort(ertp);
l mx=800;
ti ckx=0: 100: l mx;
ymx=1000;
org=round((1/pdw+1/pwd)*10)/10;
%
aj =2: 1: 9;
org1=num2str(org);
sz=si ze(org1);
j k=log10(org);
i f mod(org, 10)==0
    ti cky=[0 log10(aj) 1 log10(aj.*10) 2 log10(aj.*100) 3];
e l se
    ti cky=[0 log10(aj) 1 log10(aj.*10) 2 log10(aj.*100) 3 j k];
end
ti cky=sort(ti cky);
for i=1: length(ti cky)
    i f ti cky(i)==0
        l abel y(i, 1)=num2str(1);
    e l se i f ti cky(i)==1
        l abel y(i, 1: 2)=num2str(10);
    e l se i f ti cky(i)==2
        l abel y(i, 1: 3)=num2str(100);
    e l se i f ti cky(i)==3
        l abel y(i, 1: 4)=num2str(1000);
    e l se i f ti cky(i)==j k
        l abel y(i, 1: sz(2))=num2str(org);
    e l se l abel y(i, 1: 5)=setstr(32);
end
end
%
asf=fi gure(7)
set(gcf, ' Col or', ' w' );
pl ot(ds, log10(et), ' k', dspl ot(1: 1: length(etds)), ...
    log10(etds(1: 1: length(etds))), ' k.', ...
    rsum(1: 1: length(sertp)), ...
    log10(sertp(1: 1: length(sertp))), ' k*');
hol d on
gri d on
set(gca, ' XLi m', [0 l mx], ' YLi m', [0 3]);
set(gca, ' XTi ck', ti ckx, ' YTi ck', ti cky, ' YTi ckLabel', l abel y)
set(gca, ' fontname', ' cordi aupc', ' fontsi ze', 18)
yyz=ti tle(' ระดับการใช้ น้ำ 90%')
set(yyz, ' fontname', ' cordi aupc', ' fontsi ze', 18, ' verti cal', ' cap');
sss=xl abel (' ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง (ด้าน ลบ. ม.)')
set(sss, ' fontname', ' cordi aupc', ' fontsi ze', 18, ' verti cal', ' top');
j j j =yl abel (' คาบการเกิด (เดือน)')
set(j j j, ' fontname', ' cordi aupc', ' fontsi ze', 18)
l egend(' ฟังก์ชันการแจกแจงตามทฤษฎี', ' ข้อมูลเก็บบันทึก', ' ตำแหน่งจุดพล็อต', 4)
ax1=gca;
%

```

```

ax2 = axes('Position', get(ax1, 'Position'))
if org > 10
    efg = [100 1000];
else efg = [10 100 1000];
end
fgt = (1/pdw + 1/pwd) ./ efg;
dfgt = fgt .* 1000;
dfgt = round(dfgt) / 10;
dfgt = [100 dfgt];
bb = num2str(dfgt(2));
bba = size(bb);
cc = num2str(dfgt(3));
cca = size(cc);
tictk = [j k 2 3];
if org < 10
    dd = num2str(dfgt(4));
    dda = size(dd);
    tictk = [j k 1 2 3];
end
if org < 10
    for i = 1:length(tictk)
        if tictk(i) == j k
            labelyt(i, 1:3) = num2str(100);
        elseif tictk(i) == 1
            labelyt(i, 1:bba(2)) = num2str(bb);
        elseif tictk(i) == 2
            labelyt(i, 1:cca(2)) = num2str(cc);
        elseif tictk(i) == 3
            labelyt(i, 1:dda(2)) = num2str(dd);
        end
    end
end
if org > 10
    for i = 1:length(tictk)
        if tictk(i) == j k
            labelyt(i, 1:3) = num2str(100);
        elseif tictk(i) == 2
            labelyt(i, 1:bba(2)) = num2str(bb);
        elseif tictk(i) == 3
            labelyt(i, 1:cca(2)) = num2str(cc);
        end
    end
end
plot(ds, log10(et), 'k')
grid off
set(gca, 'XLim', [0 1 mx], 'YLim', [0 3]);
set(gca, 'YTick', tictk, 'YTickLabel', labelyt, 'XTick', tictk, ...
    'color', 'none', 'YAxisLocation', 'right')
set(gca, 'fontname', 'cordiaupc', 'fontSize', 18)
ylabel('ความน่าจะเป็นแบบ Exceedance')
saveas(gcf, 'd:\Thesis\RunTheory\monthly\fig7_90.fig');
%
figure(8)
plot(ds, fs, 'r.', 1:300, phi_s)
saveas(gcf, 'd:\Thesis\RunTheory\monthly\fig8_90.fig');
%*****

clear
load d:\matlab\RunTheory\monthly\T90\Result3.mat;
%Calculate average drought duration
mrs = mean(rsum);
emrs = interp1(ds, et, mrs);
%Return period 1, 2, 5, 10 yrs and at avg drought severity
ret = [12 24 60 120 emrs]

```

```

%*****
nret=length(ret);
clear dl;
clear z;
clear f;
dl=1:1:200;
ndl=length(dl);
nfs=length(fs);
stp=0;
for i=2:nfs;
    if fs(i)==fs(i-1);
        stp=1;
    end;
end;
if stp==1;
    i=1;
    fss=fs;
    dss=ds;
    clear fs;
    clear ds;
    while fss(i)~=fss(i+1);
        fs(i)=fss(i);
        ds(i)=dss(i);
        i=i+1;
    end;
end;
mn=0;
for k=1:nret;
    fd(k)=1-(1/pdw+1/pwd)/ret(k);
    if fd(k)<max(fs) & fd(k)>=0;
        dsi(k)=INTERP1(fs, ds, fd(k));
        ndsi=length(dsi);
        mn=mn+1;
        for j=1:ndl;
            z(mn,j)=((dsi(k)^(afcoef(1)*dl(j)+afcoef(2)-1))/...
                (btcoef(j)^(afcoef(1)*dl(j)+afcoef(2))*...
                gamma(afcoef(1)*dl(j)+afcoef(2))*...
                (exp(-dsi(k)/btcoef(j)))*(pdw*pdd^(dl(j)-1)));
        end;
        zn(mn,:)=cumsum(z(mn,:));
        maxzn(mn)=max(zn(mn,:));
        z(mn,:)=(1./maxzn(mn)).*z(mn,:);
        dev=sum(z(mn,:));
        temp=0;
        for i=1:ndl;
            ad=z(mn,i)*dl(i)+temp;
            temp=ad;
        end;
        mdl(k)=ad/dev;
    else;
        mdl(k)=nan;
        dsi(k)=nan;
    end;
end;
tst=0;
for i=1:mn;
    if isreal(mdl(i))==0;
        tst=tst+1;
    end;
end;
ltx=25;
lty=0.2;
ticx=[1 5:5:ltx];
ticky=0:0.05:lty;
labelx=ticx';
labely=ticky';
asf=figure(9);
set(gcf,'Color','w');
plot(dl,z(1,:), 'k-+', dl,z(2,:), 'k-o', dl,z(3,:), 'k.-', ...

```

```

    dl, z(4, :), 'k-*', dl, z(5, :), 'k-x');
set(gca, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsi ze', 18);
set(gca, 'XLim', [1 ltx], 'YLim', [0 lty]);
set(gca, 'XTi ck', 'ti ckx', 'XTi ckLabel', 'label x', 'YTi ck', 'ti cky');
sss=xl abel (' ช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง (เดือน) ');
set(sss, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsi ze', 18, 'vertical', 'top');
yl abel (' ค่าความน่าจะเป็น ');
l egend(' คาบการเกิด 1 ปี', ' คาบการเกิด 2 ปี', ' คาบการเกิด 5 ปี', ' คาบการเกิด 10 ปี', ...
        ' ปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่องเฉลี่ย', ' ของข้อมูลเก็บบันทึก ');
yyz=ti tle(' ระดับการใช้น้ำ 90%' )
set(yyz, 'fontname', 'cordi aupc', 'fontsi ze', 18, 'vertical', 'cap' );
saveas(gcf, 'd:\Thesi s\RunTheory\monthl y\fi g9_90. fi g');
%*****
%-----
save d:\matl ab\RunTheory\monthl y\T90\Resul t4. mat;

```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมคือ ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน ในหน่วย ล้าน ลบ.ม. เป็นเมตริก
ขนาดเท่ากับ $1 * \text{จำนวนเดือนทั้งหมดตลอดความยาวข้อมูลเก็บบันทึก}$ ดังตัวอย่าง

```

Cl ear
fl ow=[ เดือน เม.ย.ปีที่ 1   เดือน พ.ค.ปีที่ 1   เดือน มิ.ย.ปีที่ 1   73. 31  212. 11  391. 39  293. 24  157. 77, ...
        112. 06  75. 00  50. 89  29. 62  40. 78  56. 42  53. 48  93. 14  162. 86, ...
        321. 93  230. 26  166. 49  110. 33  72. 84  48. 99  42. 42  . . .   เดือน มี.ค.ปีที่ 79]

```

ผลการรันโปรแกรม

ผลการรันโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.26, 4.28, 4.30, 4.32, 4.34, 4.36, 4.42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 โปรแกรมทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยวิธีไคสแควร์

ของช่วงระยะเวลาขาดแคลนน้ำต่อเนื่อง

```
%This code used to check chi-square goodness of fit of
%drought duration and non-drought duration distribution
clear
load d:\matlab\RunTheory\monthly\T90\Result1.mat;
%Number of class
ncs=5;
%*****
%max. value of plotting point to check X^2 of drought duration
maxx=24;
%*****
for i=1:maxx
    inx=find(dl==i);
    if ~isempty(inx)
        odr(i)=pdl(inx);
    else odr(i)=0;
    end
end
pdlx=cumsum(odr);
dl=1:1:maxx;
fdl=pdw*pdd.^(dl-1);
fdlx=cumsum(fdl);
figure(1)
plot(dl,fdlx,'k',dl,cumsum(pdl),'r.')
grid on
%
zx=0:maxx/ncs:maxx;
fcl(1)=0;
fcl(ncs+1)=1;
for i=2:ncs
    fcl(i)=interp1(dl,fdlx,zx(i));
end
ocl(1:ncs)=0;
for i=1:maxx;
    for j=1:ncs;
        if pdlx(i)>=fcl(j) & pdlx(i)<fcl(j+1);
            ocl(j)=ocl(j)+1;
        end
    end
end
ecl(1:ncs)=maxx/ncs;
chi2a=sum((ocl-ecl).^2./ecl)
chi2b=chi2inv(0.95,ncs-0-1)
if chi2a<=chi2b
    'accept'
else
    'reject'
end
pz=pdlx(maxx)
%*****
%max. value of plotting point to check X^2 of
%non-drought duration
umaxx=13;
%*****
for i=1:umaxx
    inx=find(udl==i);
    if ~isempty(inx)
        uodr(i)=pudl(inx);
    else uodr(i)=0;
    end
end
pudlx=cumsum(uodr);
uud=1:1:umaxx;
fudl=pwd*pww.^(uud-1);
fudlx=cumsum(fudl);
```

```

figure(2)
plot(uud, fudl x, 'k', udl, cumsum(pudl), 'r.')
grid on
%
uzx=0: umaxx/ncs: umaxx;
ufcl(1)=0;
ufcl(ncs+1)=1;
for i=2: ncs
    ufcl(i)=i nterp1(uud, fudl x, uzx(i));
end
uocl(1: ncs)=0;
for i=1: umaxx;
    for j=1: ncs;
        if pudl x(i) >=ufcl(j) & pudl x(i) <ufcl(j+1);
            uocl(j)=uocl(j)+1;
        end
    end
end
uecl(1: ncs)=umaxx/ncs;
uchi 2a=sum((uocl -uecl).^2./uecl)
uchi 2b=chi 2i nv(0.95, ncs-0-1)
if uchi 2a <= uchi 2b
    'accept'
else
    'reject'
end
upz=pudl x(umaxx)
save d:\matlab\RunTheory\monthly\T90\Result_chi a.mat;

```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมคือ ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือน ในหน่วย ล้าน ลบ.ม. เป็นเมตริก
ขนาดเท่ากับ $1 * \text{จำนวนเดือนทั้งหมดตลอดความยาวข้อมูลเก็บบันทึก}$ ดังตัวอย่าง

```

Clear
flow=[เดือน เม.ย.ปีที่ 1   เดือน พ.ค.ปีที่ 1   เดือน มิ.ย.ปีที่ 1   73.31 212.11 391.39 293.24 157.77, ...
      112.06 75.00 50.89 29.62 40.78 56.42 53.48 93.14 162.86, ...
      321.93 230.26 166.49 110.33 72.84 48.99 42.42 ...   เดือน มี.ค.ปีที่ 79]

```

ผลการรันโปรแกรม

ผลการรันโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 4.5

ศูนย์วิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 โปรแกรมทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยวิธีไคสแควร์

ของปริมาณน้ำขาดแคลนต่อเนื่อง

```
%This code used to check chi-square goodness of fit of
%drought severity distribution
clear
load d:\matlab\RunTheory\Monthl y\T90\Resul t3. mat;
clc
%Number of class
ncs=10
%*****
%%max. percent of distribution curve to check X^2 of
%drought duration
maxp=0.99
%*****
ftd=[0 fs];
dstd=[0 ds];
pcs=0: maxp/ncs: maxp;
dsbnd=i nterp1(ftd, dstd, pcs);
frtp=sort(1./rtp);
zfrtp=fi nd(frtp<=maxp);
dty=l ength(zfrtp);
srsum=sort(rsum);
ocl(1: ncs)=0;
ny=1;
kk=0;
for i=ny: ny: l ength(zfrtp)
    for j=1: ncs
        i f srsum(i)>=dsbnd(j) & srsum(i)<dsbnd(j+1)
            ocl(j)=ocl(j)+1;
        end
    end
    kk=kk+1;
end
obn=sum(ocl);
ecl(1: ncs)=kk/ncs;
chi 2a=sum((ocl -ecl).^2./ecl)
chi 2b=chi 2i nv(0.95, ncs-0-1)
i f chi 2a<=chi 2b
    'accept'
el se
    're ject'
end
save d:\matlab\RunTheory\monthl y\T90\Resul t_chi rp. mat;
```

ข้อมูลนำเข้าสำหรับรันโปรแกรม

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมคือ ผลการวิเคราะห์ต่อเนื่องจากโปรแกรมที่ 3.3

ผลการรันโปรแกรม

ผลการรันโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 4.7

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนสิทธิ์ ธรรมศิริโรจน์ เกิดวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีพ.ศ.2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย