

การวิเคราะห์ความไม่คงตัวของข้อมูลอุทกวิทยา

นางสาวอมราพร จิตประไพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-571-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**NONSTATIONARITY ANALYSIS OF HYDROLOGIC DATA**



**Miss Amraporn Jitrapai**

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

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**


**Academic Year 1998**

**ISBN 974-639-571-8**

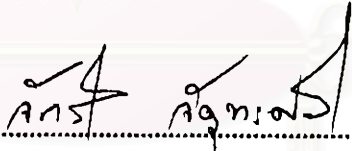
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์ความไม่คงตัวของข้อมูลอุทกวิทยา  
โดย                              นางสาวอมราพร จิตประไพ  
ภาควิชา                            วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม       รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพล แต้สมบัติ


---

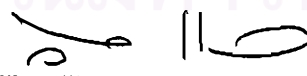
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

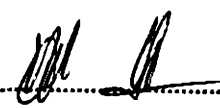
  
..... อนุมัติบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( ศาสตราจารย์จักรี จิตุฑะศรี )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
( รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพล แต้สมบัติ )

  
..... กรรมการ  
( อาจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา )

อมราพร จิตประไพ : การวิเคราะห์ความไม่คงตัวของข้อมูลอุทกวิทยา (NONSTATIONARITY ANALYSIS OF HYDROLOGIC DATA) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ชัชวาล สุขศรี,  
 อ. ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพล แด่สมบัติ, 263 หน้า. ISBN 974-639-571-8.

การวิเคราะห์ความไม่คงตัว (Nonstationarity Analysis) ของข้อมูลอุทกวิทยา มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis) ของข้อมูล โดยเลือกใช้การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำปิงซึ่งตั้งอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากมีการเก็บบันทึกข้อมูลมาในเวลานาน และมีสถานีวัดน้ำฝนตั้งกระจายอยู่ในพื้นที่ โดยใช้วิธี Moving Average การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าสะสมเฉลี่ย การตรวจสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร (Autocorrelation) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบใช้ตัวพารามิเตอร์ (Parametric Analysis) และการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์อันดับของ Spearman (Spearman Rank-Correlation Coefficient) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ใช้ตัวพารามิเตอร์ (Non-Parametric Analysis) และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แนวโน้มจากวิธีการต่าง ๆ ทั้ง 2 แบบ ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีและข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนบางเดือนของสถานีตัวแทน โดยเลือกสถานีในลุ่มน้ำปิงที่มีการเก็บบันทึกข้อมูลยาวนานประมาณ 40 ปี ขึ้นไป และตรวจสอบสถานีวัดน้ำฝนโดยการสำรวจภาคสนาม รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อน (Errors) ด้วยวิธีการกราฟอนุกรมเวลา (Time Series Plot) และ Double Mass Analysis จากนั้นจึงวิเคราะห์ความไม่คงตัว และแนวโน้ม โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ทั้ง 2 แบบดังกล่าว

ข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า ข้อมูลน้ำฝนเป็นอนุกรมเวลาที่มีลักษณะความไม่คงตัว โดยพบแนวโน้มลักษณะวงจรที่ชัดเจน การวิเคราะห์แนวโน้มฝนของลุ่มน้ำปิงโดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น ส่วน ๆ ตามสภาพที่ตั้ง และกลุ่มข้อมูล พบว่าไม่สามารถสรุปได้ว่าลุ่มน้ำปิงมีแนวโน้มฝนลดลงหรือไม่ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ของแต่ละจุดโดยหลายวิธีให้ผลสรุปเกี่ยวกับแนวโน้มที่ไม่ตรงกัน แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงไม่ได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทั้งพื้นที่ รวมทั้งผลการวิเคราะห์แนวโน้มโดยรวมแล้วพบว่า ข้อมูลฝนรายปียังไม่มีแนวโน้มลดลงที่ชัดเจน ส่วนผลการวิเคราะห์แนวโน้มของฝนรายเดือนส่วนใหญ่พบว่าไม่มีแนวโน้มลดลง ทางด้านวิธีการวิเคราะห์แนวโน้ม ทุกวิธีที่เลือกใช้ต่างมีประสิทธิภาพดีในการวิเคราะห์ความไม่คงตัวของข้อมูลปริมาณน้ำฝน โดยวิธีแบบไม่ใช้ตัวพารามิเตอร์ซึ่งคุ้นเคยและนิยมใช้ แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงสมมติฐานเกี่ยวกับชนิดและการกระจายของชุดข้อมูล และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ยอมรับได้ตามสมมติฐาน รวมทั้งสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการอ่านกราฟซึ่งต้องตั้งอยู่บนสมมติฐานและการตัดสินใจของผู้วิเคราะห์ ในขณะที่การวิเคราะห์แบบไม่ใช้ตัวพารามิเตอร์ซึ่งยังไม่ค่อยเป็นที่แพร่หลายนั้นไม่ขึ้นกับสมมติฐานชนิดการกระจายของข้อมูล เป็นการวิเคราะห์โดยอิสระ กระทำได้ง่าย ชัดเจน และไม่ขึ้นอยู่กับสมมติฐานของผู้วิเคราะห์ รวมทั้งสามารถใช้ได้ร่วมกับวิธีอื่น ไม่ว่าชุดของข้อมูลจะมีแนวโน้มแบบเป็นเส้นตรง หรือแนวโน้มแบบไม่เป็นเส้นตรง การตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์อันดับของ Spearman โดยการเปรียบเทียบค่าลำดับของข้อมูลตามเวลาที่บันทึกไว้กับค่าลำดับโดยเรียงค่าของข้อมูลจากน้อยไปมาก และสามารถทดสอบข้อมูลทั้งชุดข้อมูล และทดสอบข้อมูลเป็นช่วง ๆ เพื่อบางช่วงได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจ และมีเหตุผลในการสรุปผลมากขึ้น ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใด ๆ จึงควรใช้การวิเคราะห์แบบไม่ใช้ตัวพารามิเตอร์ เพื่อประกอบ และเปรียบเทียบวิธีการอื่นหลาย ๆ วิธี ก่อนที่จะสรุปผล

ภาควิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....  
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....  
 ปีการศึกษา..... 2541.....

ลายมือชื่อนิติกร..... อมราพร จิตประไพ.....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## C819068 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: NONSTATIONARITY/TREND/PARAMETRIC ANALYSIS/NON-PARAMETRIC ANALYSIS/PING RIVER BASIN

AMRAPORN JITPRAPAI : NONSTATIONARITY ANALYSIS OF HYDROLOGIC DATA.

THESIS ADVISOR : CHAIYUTH SUKHSRI, MS.CE. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF.

VIRAPHOL TAESOMBUT, PhD. 263 pp. ISBN 974-639-571-8.

The nonstationarity analysis of hydrologic data is aimed at analysing changes and trends in the time series data. Rainfall data from the Ping river basin, located in the northern part of Thailand, was used since it had considerable length of records and rather high number of recording stations distributed over the watershed. The "Parametric Analysis" methods such as: the Moving Average, the Analysis of Mean Accumulated Rainfall and the Autocorrelation Analysis; together with one of the "Non-parametric Analysis," i.e. the Spearman Rank-Correlation Coefficient were employed, the outcomes were then also compared. Annual and selected monthly rainfall data from the "representative" stations which have sufficient length of record, over 40 years, were used. Field observations on the conditions of the recording stations including data testing to eliminate errors with the Time Series Plot and the Double Mass Analysis were performed to check the quality and the consistency of the compiled data before carrying out the nonstationarity and trend analyses.

The results of these various analyses indicated that the rainfall data of the Ping basin can be characterized as a time series with nonstationarity and acute cyclic/periodic trend. By dividing the watershed into sub-watersheds according to the geographical location and data groups, and using various techniques to detect a negative trend, i. e., a persistent reduction in rainfall, the analyses gave inconclusive results. Since the analyses of each particular station with different methods rendered different conclusions on trend, these indicates that the watershed's rainfall does not have the negative trend all over the whole area. Furthermore, the overall analysis of trend showed that the annual rainfall data did not have significant negative trend, while the monthly rainfall data did not present any negative trend. Though all the "parametric analysis" methods employed in this Study do provide efficient way for analysing and detecting trends and they are also well-known and popular, yet they require the analyzer to make a critical assumption on the type and the distribution function of data, and require the statistical technique for determining the proper parameters. Furthermore, they rely, subjectively, on the interpretation of the graphical results which are also based upon assumptions and decisions of the analyzer. While the non-parametric analysis one, though not yet well-known, does not depend upon the assumption on the distribution function, it can be independently analyze, easy and precise, and can be used on the data set which containing both linear and non-linear trends. Therefore, in any nonstationarity analysis of hydrologic data before making any conclusion about the nonstationarity and the trend, various methods both parametric and non-parametric should be used to increase the reliability and to provide more logical reasons for making conclusions and the non-parametric "Spearman Rank-Correlation Coefficient" method was recommended.

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ

สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... อมราพร จิตประไพ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์แนวคิด คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อมูลที่มีประโยชน์ จากผู้มีพระคุณดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี และรองศาสตราจารย์ ดร.วิระพล แต่สมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ แนวคิด คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องจน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์จักรี จิตตะศรี และ อาจารย์ ดร. เสรี จันทโรชา ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.สมศรี อัมระภูท และ ดร.สงกรานต์ อักษร ที่กรุณาให้คำแนะนำ ด้านแหล่งข้อมูล และเอกสารอ้างอิง ขอขอบพระคุณ กรมอุทกนิคมวิทยา กรมชลประทาน และ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์ข้อมูล และขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่กองอุทกนิคมวิทยาอุทก กรมอุทกนิคมวิทยา เจ้าหน้าที่ศูนย์อุทกนิคมวิทยาภาคเหนือ เจ้าหน้าที่ประจำ ศตอ. สกษ. และสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปิง ที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และ ข้อมูลทางอุทก-อุทกวิทยาต่าง ๆ

ตลอดจนขอขอบคุณ คุณชรินทร์ ไชยมาเสรีภูท เจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ที่กรุณาติดต่อประสานงาน และจัดทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ต่าง ๆ และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน รวมทั้งขอขอบคุณ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้โอกาส และสนับสนุน การศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งให้ความรัก ความอบอุ่น กำลังใจ และคำแนะนำในทุก ๆ ด้าน เสมอมา

ประโยชน์ และความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี

อมราพร จิตประไพ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
สัญลักษณ์ และสมการพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษา.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความไม่คงตัว.....	7
2.1 ข้อมูลอุทกวิทยา และสภาพฝนของประเทศไทย.....	7
2.2 นิยามและความหมายของคำหลัก.....	8
บทที่ 3 การศึกษาที่ผ่านมา.....	20
3.1 การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ฝน ในลุ่มน้ำปิง.....	20
3.2 การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการ การวิเคราะห์ความไม่คงตัวและแนวโน้ม ของข้อมูลอุทกวิทยา ในประเทศไทย.....	21
3.2 การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการ การวิเคราะห์ความไม่คงตัวและแนวโน้ม ของข้อมูลอุทกวิทยา ในต่างประเทศ.....	24
บทที่ 4 พื้นที่ศึกษา.....	27
4.1 สภาพทางภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา.....	27
4.2 สภาพทางภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 อิทธิพลการเกิดฝนในพื้นที่ศึกษา.....	30
4.3.1 ฝนที่เกิดโดยธรรมชาติ.....	30
4.3.2 ฝนหลวง.....	32
4.4 การใช้ที่ดิน.....	35
บทที่ 5 ข้อมูล และการตรวจสอบข้อมูล.....	40
5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	40
5.2 การตรวจสอบข้อมูล.....	47
5.2.1 การตรวจสอบสถานีวัดน้ำฝน.....	47
5.2.2 การตรวจสอบการกระจายของข้อมูล โดย กราฟอนุกรมเวลา (Time Series Plot).....	54
5.2.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดย Double Mass Analysis.....	55
5.3 สรุปผลการตรวจสอบข้อมูล.....	60
บทที่ 6 ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ความ ไม่คงตัวของข้อมูลอุทกวิทยา.....	61
6.1 คำนำ.....	61
6.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบใช้ตัวพารามิเตอร์.....	62
6.2.1 Moving Average.....	63
6.2.2 วิเคราะห์ด้วยกราฟค่าสะสมเฉลี่ย.....	67
6.2.3 การตรวจสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร (Autocorrelation).....	69
6.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่ใช้ตัวพารามิเตอร์.....	71
6.3.1 การตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่ง ของ Spearman.....	71
บทที่ 7 ผลการวิเคราะห์ ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ.....	74
7.1 ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในด้านฤดูกาล.....	74
7.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย Moving Average.....	74
7.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วย กราฟค่าสะสมเฉลี่ย.....	75



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วย ตรวจสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร.....	75
7.1.4 ผลการวิเคราะห์ด้วย ตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ตามตำแหน่งของ Spearman.....	76
7.1.5 สรุปผล และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากวิธีต่าง ๆ.....	76
7.2 ผล และ สรุปผล จากการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในด้านพื้นที่.....	77
7.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย Moving Average.....	77
7.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วย กราฟค่าสะสมเฉลี่ย.....	78
7.2.3 ผลการวิเคราะห์ด้วย ตรวจสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร.....	78
7.2.4 ผลการวิเคราะห์ด้วย ตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ตามตำแหน่งของ Spearman.....	79
7.2.5 สรุปผล และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากวิธีต่าง ๆ.....	79
7.3 ข้อสรุป.....	80
7.4 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	113
ภาคผนวก.....	117
ภาคผนวก ก รายงานภาคสนาม.....	118
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ด้วย กราฟอนุกรมเวลา.....	133
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ด้วย Double Mass Curve.....	144
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ด้วย Moving Average.....	158
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ด้วย กราฟสะสมเฉลี่ย.....	197
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ด้วย การตรวจสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร.....	208
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์ด้วย การตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ตามตำแหน่งของ Spearman.....	215
ภาคผนวก ซ ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่น ของ t Test.....	250
ภาคผนวก ฌ สภาพอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำปิง.....	252
ภาคผนวก ฉ ความเป็นมาของข้อมูลทางด้านอุทกนิคมวิทยา.....	257
ประวัติผู้ศึกษา.....	263

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการปฏิบัติการฝนหลวง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 - 2534.....	34
ตารางที่ 4.2 ลักษณะพื้นที่ดิน และการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำปิง.....	35
ตารางที่ 5.1 สถานีฝนแบ่งตามลุ่มน้ำ ของกองอุตุนิยมวิฑาอุทก กรมอุตุนิยมวิฑา ลุ่มน้ำปิง (06).....	42
ตารางที่ 5.2 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปิง ที่คัดเลือกเป็นสถานีตัวแทน.....	44
ตารางที่ 5.3 ช่วงความยาวข้อมูลปริมาณน้ำฝน จากสถานีตัวแทนในกลุ่มน้ำปิง.....	46
ตารางที่ 5.4 ผลการสำรวจภาคสนาม.....	52
ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณค่าปริมาณน้ำฝนรายปี เพื่อวิเคราะห์กราฟอนุกรมเวลา.....	57
ตารางที่ 7.1 สรุปผลการวิเคราะห์แนวโน้มด้วยวิธี Moving Average ในแต่ละส่วน พื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	102
ตารางที่ 7.2 สมการเส้นตรง $r^2$ และ ความชัน จากการวิเคราะห์กราฟสะสมเฉลี่ย และจำนวนความถี่สถานี ในแต่ละช่วงค่าสัมบูรณ์ของความชัน.....	103
ตารางที่ 7.3 สรุปผลจำนวนสถานีในแต่ละช่วงค่าสัมบูรณ์ของความชัน ของแนวโน้ม เส้นตรงของกราฟสะสมเฉลี่ย ในแต่ละส่วนพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	104
ตารางที่ 7.4 สรุปผลการทดสอบแนวโน้ม ด้วย การตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความ สัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ในแต่ละส่วนพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	105
ตารางที่ 7.5 สรุปผลการตรวจสอบข้อมูล วิเคราะห์ความไม่คงตัว และวิเคราะห์แนวโน้ม ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี ของสถานีตัวแทน 31 สถานี ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	106
ตารางที่ 7.6 สรุปผลการวิเคราะห์ความไม่คงตัว และวิเคราะห์แนวโน้ม ข้อมูลปริมาณ น้ำฝนรายเดือน เมษายน ถึง พฤศจิกายน ของสถานีตัวแทน 10 สถานี ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	108
ตารางที่ 7.7 สรุปผล และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางด้านฤดูกาล.....	110
ตารางที่ 7.8 สรุปผล และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางด้านพื้นที่.....	111
ตารางที่ 7.9 สรุปผลการวิเคราะห์แนวโน้มคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ.....	112
ตารางที่ ก-1 ตารางการเดินทางเพื่อสำรวจภาคสนาม.....	119
ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบสมมติฐานแนวโน้มเส้นตรงของเส้น 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ด้วยวิธี Student-t Test ของสถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	169

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง-2	ผลการทดสอบสมมติฐานแนวโน้มเส้นตรงของเส้น 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ด้วยวิธี Student-t Test ของสถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	171
ตารางที่ ง-3	ผลการทดสอบสมมติฐานแนวโน้มเส้นตรงของเส้น 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ด้วยวิธี Student-t Test ของสถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	172
ตารางที่ ข-1	ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลา โดยโปรแกรม Screen ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง.....	218
ตารางที่ ข-2	ผลการวิเคราะห์แนวโน้ม โดยการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง โดยการทดสอบข้อมูลทั้งหมด.....	220
ตารางที่ ข-3	ผลการวิเคราะห์แนวโน้ม โดยการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่ของลุ่มน้ำปิง โดยการทดสอบแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน และ 4 ส่วน.....	236
ตารางที่ ข-4	ผลการวิเคราะห์แนวโน้ม โดยการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ โดยการทดสอบข้อมูลเป็นช่วง ๆ.....	240
ตารางที่ ข-5	ผลการทดสอบความมั่นคง (Stability) ของค่าความแปรปรวน และค่าเฉลี่ย โดยโปรแกรม Screen ด้วยวิธี F-Test และ t-Test ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง โดยการทดสอบแบ่งครั้งชุดข้อมูล.....	245
ตารางที่ ข-1	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่น ของ t-Distribution.....	251

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำปิง.....	3
รูปที่ 1.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษา.....	6
รูปที่ 2.1 สถานีใกล้เคียง.....	9
รูปที่ 2.2 กระบวนการทางอุทกวิทยา.....	10
รูปที่ 2.3 กราฟอนุกรมเวลา.....	14
รูปที่ 2.4 Double Mass Curve.....	14
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่าง ๆ ในอนุกรมเวลา.....	17
รูปที่ 4.1 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำปิง.....	29
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงทิศทางลมมรสุม ร่องความกดอากาศต่ำ และพายุหมุนเขตร้อน.....	31
รูปที่ 5.1 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปิง.....	41
รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายตัวอย่างสภาพสถานี และตั้งวัดน้ำฝนอยู่ในสภาพดี.....	48
รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายตัวอย่างสภาพสถานี และตั้งวัดน้ำฝนอยู่ในสภาพไม่ดี.....	50
รูปที่ 5.4 กราฟอนุกรมเวลา ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่.....	56
รูปที่ 5.5 Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่.....	59
รูปที่ 5.6 กราฟอนุกรมเวลา ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่ของลุ่มน้ำปิง.....	61
รูปที่ 6.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธี Moving Average.....	66
รูปที่ 6.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธี กราฟค่าสะสมเฉลี่ย.....	68
รูปที่ 6.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธี การตรวจสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ ภายในตัวแปร.....	70
รูปที่ 6.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานเพื่อวิเคราะห์ ด้วยวิธี การตรวจสอบด้วยค่า สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman.....	73
รูปที่ 7.1 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่ของลุ่มน้ำปิง.....	85
รูปที่ 7.2 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้ม เส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน.....	86

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 7.3	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้ม เส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง.....	87
รูปที่ 7.4	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้ม เส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่าง.....	88
รูปที่ 7.5	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายเดือน เมษายน สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่.....	89
รูปที่ 7.6	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายเดือน พฤษภาคม สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่.....	90
รูปที่ 7.7	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายเดือน สิงหาคม สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่.....	91
รูปที่ 7.8	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายเดือน กันยายน สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่.....	92
รูปที่ 7.9	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ตุลาคม สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่.....	93
รูปที่ 7.10	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายเดือน พฤศจิกายน สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่.....	94
รูปที่ 7.11	กราฟสะสมเฉลี่ย ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนใน แต่ละส่วนพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	95
รูปที่ 7.12	จำนวนสถานีในแต่ละช่วงความชันของเส้นแนวโน้มเส้นตรงของกราฟสะสมเฉลี่ย ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนจำนวน 30 สถานีในกลุ่มน้ำปิง.....	96
รูปที่ 7.13	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ต.ค. ในแต่ละส่วนพื้นที่ ; Lag-Time จนจำนวนข้อมูล ลดลงเหลือ $\frac{1}{2}$ ของทั้งหมด.....	97
รูปที่ 7.14	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ต.ค. ในแต่ละส่วนพื้นที่ ; Lag-Time จนครบจำนวน ข้อมูลทั้งหมด.....	98



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 7.15 ผลการทดสอบแนวโน้มด้วยการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่ของถุ่มน้ำปิง โดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน.....	99
รูปที่ 7.16 ผลการทดสอบแนวโน้มด้วยการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในแต่ละส่วนพื้นที่ของถุ่มน้ำปิง โดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 4 ส่วน.....	100
รูปที่ 7.17 ผลการทดสอบแนวโน้มด้วยการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ตามตำแหน่งของ Spearman ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ โดยการทดสอบข้อมูลเป็นช่วง ๆ.....	101
รูปที่ ก-1 ภาพถ่ายสถานีวัดน้ำฝนที่มีสภาพสถานี และเครื่องวัดน้ำฝนที่ดี.....	131
รูปที่ ข-1 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน ช่วงกลางถุ่มน้ำปิง.....	134
รูปที่ ข-2 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนฝั่งซ้ายถุ่มน้ำปิง.....	137
รูปที่ ข-3 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนฝั่งขวาถุ่มน้ำปิง.....	138
รูปที่ ข-4 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ช่วงกลางถุ่มน้ำปิง.....	139
รูปที่ ข-5 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางฝั่งซ้ายถุ่มน้ำปิง.....	140
รูปที่ ข-6 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางฝั่งขวาถุ่มน้ำปิง.....	141
รูปที่ ข-7 กราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่าง ช่วงกลางถุ่มน้ำปิง.....	142
รูปที่ ก-1 Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน ช่วงกลางถุ่มน้ำปิง.....	145
รูปที่ ก-2 Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนฝั่งซ้ายถุ่มน้ำปิง.....	149



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก-3	Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน ฝั่งขวาถ้ำน้ำปิง.....	151
รูปที่ ก-4	Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ช่วงกลางถ้ำน้ำปิง.....	152
รูปที่ ก-5	Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ฝั่งซ้ายถ้ำน้ำปิง.....	153
รูปที่ ก-6	Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ฝั่งขวาถ้ำน้ำปิง.....	154
รูปที่ ก-7	Double Mass Curve ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่าง ช่วงกลางถ้ำน้ำปิง.....	155
รูปที่ ง-1	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน ช่วงกลางถ้ำน้ำปิง.....	159
รูปที่ ง-2	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน ฝั่งซ้ายถ้ำน้ำปิง.....	162
รูปที่ ง-3	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบน ฝั่งขวาถ้ำน้ำปิง.....	163
รูปที่ ง-4	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ช่วงกลางถ้ำน้ำปิง.....	164
รูปที่ ง-5	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ฝั่งซ้ายถ้ำน้ำปิง.....	165
รูปที่ ง-6	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลาง ฝั่งขวาถ้ำน้ำปิง.....	166
รูปที่ ง-7	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่าง ช่วงกลางถ้ำน้ำปิง.....	167
รูปที่ ง-8	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนเมษายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนถุ่มน้ำปิง.....	173
รูปที่ ง-9	กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนเมษายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางถุ่มน้ำปิง.....	174

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ง-10 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนเมษายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	175
รูปที่ ง-11 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนพฤษภาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	176
รูปที่ ง-12 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนพฤษภาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	177
รูปที่ ง-13 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนพฤษภาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	178
รูปที่ ง-14 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนมิถุนายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	179
รูปที่ ง-15 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนมิถุนายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	180
รูปที่ ง-16 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนมิถุนายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	181
รูปที่ ง-17 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนกรกฎาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	182
รูปที่ ง-18 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนกรกฎาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	183
รูปที่ ง-19 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนกรกฎาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	184
รูปที่ ง-20 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนสิงหาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	185
รูปที่ ง-21 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนสิงหาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	186
รูปที่ ง-22 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนสิงหาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	187
รูปที่ ง-23 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนกันยายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	188

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ง-24 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนกันยายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	189
รูปที่ ง-25 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนกันยายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	190
รูปที่ ง-26 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนตุลาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	191
รูปที่ ง-27 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนตุลาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	192
รูปที่ ง-28 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนตุลาคม สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	193
รูปที่ ง-29 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนพฤศจิกายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนบนลุ่มน้ำปิง.....	194
รูปที่ ง-30 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนพฤศจิกายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนกลางลุ่มน้ำปิง.....	195
รูปที่ ง-31 กราฟ 3-Year 5-Year และ 10-Year Moving Average ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายเดือนพฤศจิกายน สถานีตัวแทนในพื้นที่ส่วนล่างลุ่มน้ำปิง.....	196
รูปที่ จ-1 กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนบน ช่วงกลางลุ่มน้ำปิง.....	198
รูปที่ จ-2 กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนบนฝั่งซ้ายลุ่มน้ำปิง.....	201
รูปที่ จ-3 กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนบนฝั่งขวาลุ่มน้ำปิง.....	202
รูปที่ จ-4 กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนกลาง ช่วงกลางลุ่มน้ำปิง.....	203
รูปที่ จ-5 กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนกลางฝั่งซ้ายลุ่มน้ำปิง.....	204
รูปที่ จ-6 กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนกลางฝั่งขวาลุ่มน้ำปิง.....	205

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ จ-7	กราฟสะสมเฉลี่ย และแนวโน้มเส้นตรง ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีสถานีตัวแทน ในพื้นที่ส่วนต่าง ช่วงกลางถ้ำน้ำปิง.....	206
รูปที่ ฉ-1	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ค.ค. สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ; Lag-Time จนจำนวนข้อมูลลดลงเหลือ $\frac{1}{2}$ ของทั้งหมด.....	209
รูปที่ ฉ-2	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ค.ค. สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ; Lag-Time จนครบจำนวนข้อมูลทั้งหมด.....	210
รูปที่ ฉ-3	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ค.ค. สถานี 327003 อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ; Lag-Time จนจำนวนข้อมูลลดลงเหลือ $\frac{1}{2}$ ของทั้งหมด.....	211
รูปที่ ฉ-4	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ค.ค. สถานี 327003 อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ; Lag-Time จนครบจำนวนข้อมูลทั้งหมด.....	212
รูปที่ ฉ-5	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ค.ค. สถานี 376201 อ.เมือง จ.ตาก ; Lag-Time จนจำนวนข้อมูลลดลงเหลือ $\frac{1}{2}$ ของทั้งหมด.....	213
รูปที่ ฉ-6	Correlogram ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ช่วงฤดูแล้ง ก.พ. เม.ย. พ.ย. และช่วงฤดูฝน ส.ค. ก.ย. ค.ค. สถานี 376201 อ.เมือง จ.ตาก ; Lag-Time จนครบจำนวนข้อมูลทั้งหมด.....	214
รูปที่ ซ-1	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลา โดยโปรแกรม Screen : ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่.....	217
รูปที่ ซ-2	กราฟ Cumulative Deviation from the Mean โดยโปรแกรม Screen : ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่.....	217
รูปที่ ซ-3	ภาพตัวอย่างการ Run โปรแกรม Screen เพื่อทดสอบแนวโน้ม.....	219

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข-4	กราฟแสดงผลการทดสอบแนวโน้ม โดยโปรแกรม Screen ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายปี สถานี 327501 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ : พื้นที่ส่วนบน ; การทดสอบแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน และ 4 ส่วน.....	221
รูปที่ ข-5	กราฟแสดงผลการทดสอบแนวโน้ม โดยโปรแกรม Screen ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายปี สถานี 327003 อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ : พื้นที่ส่วนกลาง ; การทดสอบแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน และ 4 ส่วน.....	226
รูปที่ ข-6	กราฟแสดงผลการทดสอบแนวโน้ม โดยโปรแกรม Screen ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายปี สถานี 376201 อ.เมือง จ.ตาก : พื้นที่ส่วนล่าง ; การทดสอบแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน และ 4 ส่วน.....	231
รูปที่ ข-7	ภาพตัวอย่างการ Run โปรแกรม Screen เพื่อทดสอบความมั่นคง (Stability) ของค่าความแปรปรวน และค่าเฉลี่ย โดย F-Test และ t-Test.....	244
รูปที่ ข-8	กราฟ Serial Correlation ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี สถานีตัวแทนในแต่ละส่วน พื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	246
รูปที่ ข-9	กราฟ Serial Correlation ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนสิงหาคม สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	247
รูปที่ ข-10	กราฟ Serial Correlation ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนกันยายน สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	248
รูปที่ ข-11	กราฟ Serial Correlation ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนตุลาคม สถานีตัวแทน ในแต่ละส่วนพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิง.....	249
รูปที่ ฉ-1	แผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (มิลลิเมตร).....	256

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สัญลักษณ์ และสมการพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษา

$$N = \text{จำนวนข้อมูล (ปี)}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย, } (\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (1)$$

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, } (s_x) = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

โดย  $x_i$  คือ ประชากร หรือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตร) ในกราฟอนุกรมเวลา

การถดถอยเชิงเส้นตรง โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method)

$y$  คือ ตัวแปรทางอุทกวิทยา

$x$  คือ ตัวแปรเวลา

$N$  = จำนวนข้อมูล (ปี)

$$\text{สมการเส้นตรง } y = a + bx \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (5)$$

ค่าเฉลี่ย,

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (6)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้วัดค่าความเหมาะสมของสมการที่สร้างขึ้น,

$$r^2 = \left( \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \right)^2 = \frac{\left[ N \left( \sum_{i=1}^N x_i y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) \left( \sum_{i=1}^N y_i \right) \right]^2}{\left[ \sqrt{N \left( \sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \cdot \sqrt{N \left( \sum_{i=1}^N y_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)^2} \right]^2} \quad (8)$$



ค่าความแปรปรวนร่วม,

$$s_{xy} = \text{cov}(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (9)$$

ค่าความแปรปรวน,

$$s_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (11)$$

ความแปรปรวนของส่วนที่เนื่องมาจากความคลาดเคลื่อน,

$$s_{oy}^2 = (1-r^2) \cdot s_y^2 \quad (12)$$

สำหรับเส้นดัดรอยตัวอย่าง  $y$  ต่อ  $x$  ;

ความคลาดเคลื่อน  $e_{y_i} = y_i - \hat{y}_i$

โดย  $y_i$  ได้จากข้อมูลตัวอย่าง และ  $\hat{y}_i$  ได้จากเส้นสมการดัดรอย

ดังนั้น  $s_{oy}^2 \leq s_y^2$

ความแปรปรวนโดยเป็นค่าประมาณแบบเที่ยงตรง (Unbiased Estimates),

$$s_x^2 = \frac{N}{N-1} \cdot s_x^2 \quad (13)$$

ค่าคาดหวังของค่าประมาณ  $a$  ของพารามิเตอร์  $\alpha$  คือ

$$Ea = \alpha + v(\alpha)$$

ถ้า  $v(\alpha)$  เท่ากับ ศูนย์ แล้ว ค่าที่คาดหวัง  $Ea = \alpha$

$v$  ได้แก่ ค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom)

การคำนวณค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร (Autocorrelation)

$x_i(t)$  = ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่เวลา  $t$  (มิลลิเมตร)

$x_i(t+\tau)$  = ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่เวลา  $(t+\tau)$  (มิลลิเมตร)

โดย  $\tau$  คือ Lag Time

$N$  = จำนวนข้อมูล (ปี)

ค่าเฉลี่ย,

$$\overline{x(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i(t)}{N} \quad (14)$$

$$\overline{x(t+\tau)} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i(t+\tau)}{N} \quad (15)$$

ค่าความแปรปรวน,

$$\text{var}(x(t)) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i(t) - \overline{x(t)})^2}{N} \tag{16}$$

$$\text{var}(x(t+\tau)) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i(t+\tau) - \overline{x(t+\tau)})^2}{N} \tag{17}$$

ค่าความแปรปรวนร่วม,

$$\text{cov}(x(t), x(t+\tau)) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i(t) - \overline{x(t)})(x_i(t+\tau) - \overline{x(t+\tau)})}{N} \tag{18}$$

ค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร,

$$r(\tau) = \frac{\text{cov}(x(t), x(t+\tau))}{[\text{var}(x(t)) \cdot \text{var}(x(t+\tau))]^{0.5}} \tag{19}$$

โดย  $0 \leq \tau \leq N$  ถ้า  $\tau = 0 : \text{cov}(x(t), x(t+\tau)) = \text{var}(x(t))$