

การประยุกต์ใช้แบบจำลองเวฟเล็ตในการพยากรณ์พายุฝน

วัลลภ จิวหลง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
ตุลาคม 2555  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



# การประยุกต์ใช้แบบจำลองเวฟเล็ตในการพยากรณ์พายุฝน

วัลลภ จิวหลง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
ตุลาคม 2555  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายวัลลภ จิวหลง  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ.ดร.สทลภ หอมวุฒิวังศ์)

ประธานกรรมการ

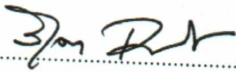
(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)



(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

กรรมการ

(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)



(ผศ.ดร.วิชุดา เสถียรนาม)

กรรมการ

(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)



(รศ.ดร.สงวน ปัทมธรรมกุล)

กรรมการ


(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



(รศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์



(รศ.ดร.ณฐนนท์ ตราชู)

ผู้รักษาการคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 เดือน ๓.๑. พ.ศ. 2555



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา เสถียรนาม กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหलग หอมวุฒิมังค์ ประธานกรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สงวน ปัทมธรรมกุล กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ช่วย ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ สุदारัตน์ คำปลิว และ ดร.ศราวุธ โพธิยา ที่ให้คำแนะนำปรึกษาด้าน วิชาการ ช่วยตรวจสอบผลการวิเคราะห์วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณหน่วยงานกรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ให้ความ อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการทำวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับคุณแม่พริ่ง - คุณ พ่อชัยศักดิ์ จิวหลง คุณแม่สินธุ์สมุทร-คุณพ่อสยาม ไชโยโย บิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเป็นที่รักและ เคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดี ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

วัลลภ จิวหลง



ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้แบบจำลองเวฟเล็ตในการพยากรณ์พายุฝน
ผู้วิจัย	นายวัลลภ จิวหลง
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
กรรมการควบคุม	รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา เสถียรนาม
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2555

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างสมการ Z-R relationship สำหรับการประเมินปริมาณฝนโดยใช้เทคนิค Wavelet filter ชนิด Haar wavelet เข้ามาพิจารณากรองข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์และข้อมูลปริมาณฝน นอกจากนี้ได้พัฒนาแบบจำลองฟัซซีเซตและสมการถดถอยสำหรับประเมินปริมาณฝนจากตัวแปรนำเข้า ด้านอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ รวมทั้งได้เสนอเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้การเลียนแบบวิถีทางพันธุศาสตร์ เข้ามาช่วยในการปรับเทียบ การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลราย 3 ชั่วโมงของสถานีอุตุนิยมวิทยา 5 สถานี คือ สถานีมหาสารคาม สถานีชัยภูมิ สถานีร้อยเอ็ด สถานีนครราชสีมา และสถานีบุรีรัมย์ ผลการวิจัยพบว่า สมการความสัมพันธ์ Z-R จากวิธี Conventional เท่ากับ  $Z = 265R^{1.186}$  ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.871 – 0.985 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ในช่วง 1.522 – 4.858 วิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter ได้สมการความสัมพันธ์ Z-R เท่ากับ  $Z_{WF} = 148R_{WF}^{1.293}$  ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.550 – 0.701 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง 5.764 – 7.823 ทั้งสองวิธีให้ความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนค่อนข้างสูง ฝนลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นมีสภาพใกล้เคียงกับฝนชนิด Tropical convective rain นอกจากนี้แบบจำลอง Fuzzy-GAs สามารถประเมินปริมาณฝนได้โดยใช้ตัวแปรนำเข้า 3 ค่า ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดอยู่ระหว่าง 0.877-0.938 ด้วยค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 3-3-3 สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้สมการถดถอยที่พบว่าเมื่อพิจารณาตัวแปรนำเข้า 3 ตัวดังกล่าว จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดอยู่ระหว่าง 0.807-0.885 ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs มีค่าสูงกว่าของสมการถดถอย และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแบบจำลอง Fuzzy-GAs มีค่าน้อยกว่าของสมการถดถอย นั่นคือแบบจำลอง Fuzzy-GAs มีความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนได้มากกว่าสมการถดถอย

**คำสำคัญ** : การกรองเวฟเล็ต ; ฟัซซี-เจเนติกอัลกอริทึม ; Z-R relationship ; การประเมินปริมาณฝน



**TITLE** Wavelet model for heavy storm rainfall forecasting  
**AUTHOR** Mr. Wallop Jiwlong  
**DEGREE** Doctor of Philosophy **MAJOR** Civil Engineering  
**ADVISORS** Assoc. Prof. Dr. Anongrit Kangrang Ph.D.  
 Asst. Prof. Dr. Wichuda Satiennam Ph.D.  
**UNIVERSITY** Mahasarakham University **DATE** 2012

### ABSTRACT

This paper constructed a Z-R relationship for computing rainfall by wavelet filter technique. Haar wavelet type were used for two input parameters filtration including rainfall and radar reflectivity. Genetic algorithm technique was applied to calibrate membership function condition of fuzzy sets model. The proposed model was applied to determine the rainfall of 5 rain gauge Meteorological stations in Thailand. The 3-hourly climatological data such as a temperature, relative humidity and radar reflectivity were used in this study.

Results shown that Z-R relationship for conventional method and wavelet filter technique are  $Z = 265R^{1.186}$  and  $Z_{WF} = 148R_{WF}^{1.29}$  respectively. Results were highly satisfactory for rainfall forecasting. The fuzzy-GAs model can be used to calculate the rainfall, given three parameters; temperature, relative humidity and radar reflectivity. Optimal number of Membership function is 3-3-3-3 and the coefficient of determination ( $R^2$ ) for each station ranged between 0.877 – 0.938, while the coefficient of determination ( $R^2$ ) for calculate rainfall by regression model at station Mahasarakham Chaipayum Roiet Nakornratchasima and Burirum were ranged 0.807 – 0.885. Therefore, the obtained rainfall of the Fuzzy-GAs model more closed to the rainfall than the multiple linear regression model. Furthermore, the results presented that the Genetic algorithm calibration provided the optimal condition of membership function.

**Key Words** : Wavelet filter ; Fuzzy-Genetic Algorithm ; Z-R Relationship ;  
 Rainfall forecasting



## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 คุณลักษณะของฝนและการตรวจวัด	6
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเรดาร์ตรวจอากาศ	16
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมการ Z-R	26
2.4 สมการความสัมพันธ์ของ Z-R ของฝนแบบ Convective และ stratiform	29
2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Z และ R	31
2.6 ทฤษฎีของฟัซซีเซต (Fuzzy set)	34
2.7 ทฤษฎีของเจเนติกแอลกอริทึม (Genetic algorithm, GA)	41
2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)	49
2.9 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)	58
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	64
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	69
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย	70
3.2 การตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย	71
3.3 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษา	75
3.4 การประเมินปริมาณฝนจากสมการ Z-R relationship	76
3.5 การประเมินปริมาณฝนจากสมการถดถอย (Multiple regression Method)	81
3.6 การประเมินปริมาณฝนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองฟัซซีเจเนติก (Fuzzy-GAs Model)	82
3.7 การปรับเทียบ (Calibration)	87
3.8 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Verification)	87
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	88
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรเข้าและตัวแปรออก	88
4.2 ผลการวิเคราะห์สมการ Z-R relationship	100
4.3 ผลการประเมินปริมาณฝนด้วยสมการถดถอย (Multiple Regression Model)	115



	หน้า
4.4 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสมการถดถอย	119
4.5 ผลการประยุกต์ใช้ Fuzzy-GA ในการหาค่าปริมาณฝน	126
4.6 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง Fuzzy-GAs	131
4.7 เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณฝนโดยแบบจำลอง Fuzzy-GAs และสมการถดถอย	137
บทที่ 5 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	143
5.1 สรุปผลการวิจัย	143
5.2 ข้อเสนอแนะ	145
เอกสารอ้างอิง	147
ภาคผนวก	152
ภาคผนวก ก ตัวอย่างชุดคำสั่งของ Fuzzy logic ใน MATLAB	153
ภาคผนวก ข ข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฝน	159
ภาคผนวก ค ตัวอย่างชุดคำสั่งของ Wavelet Filter และผลการวิเคราะห์ สัญญาณ Haar wavelet	200
ประวัติย่อผู้วิจัย	211





## สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	การจำแนกฝนที่เกิดจากเมฆสองกลุ่มด้วยค่าความเข้มจากเรดาร์ (dBz)	8
ตาราง 2.2	ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในการศึกษาของ Tokay and Short (1995)	8
ตาราง 2.3	ลักษณะและการใช้งานของเรดาร์ตรวจอากาศแต่ละประเภท	18
ตาราง 2.4	ข้อแตกต่างของเรดาร์สำรวจชั้นบรรยากาศและเรดาร์สำรวจอากาศ	21
ตาราง 2.5	ผลการศึกษากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและความเข้มฝน	24
ตาราง 2.6	สมการ Z-R ที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับพายุฝนที่เกิดในกรณีต่างๆ	30
ตาราง 2.7	แสดงลักษณะการ Crossover แบบต่าง ๆ กับ Binary encoding	45
ตาราง 3.1	เปรียบเทียบค่าทางสถิติของอุณหภูมิแต่ละสถานีที่ใช้ในการศึกษา	72
ตาราง 3.2	เปรียบเทียบค่าทางสถิติของความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานีที่ใช้ในการศึกษา	72
ตาราง 3.3	คุณลักษณะทั่วไปของเรดาร์ตรวจอากาศสถานีพิมาย	75
ตาราง 3.4	รายละเอียดเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกที่ใช้ในการศึกษา	76
ตาราง 3.5	รูปแบบของกฎการควบคุม (Rule-base) กรณี 3 ตัวแปรเข้า จำนวน 81 กฎ	86
ตาราง 4.1	เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาที่มีช่วงเวลาบันทึกข้อมูลสอดคล้องกับภาพเรดาร์	89
ตาราง 4.2	ตัวแปรทางสถิติสำหรับปริมาณฝนและค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์แต่ละสถานี	93
ตาราง 4.3	สมการ Z-R relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method	100
ตาราง 4.4	สมการ ZWF-RWF relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการประยุกต์ใช้ Wavelet filter	104
ตาราง 4.5	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการทดสอบ ประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้สมการ Z-R relationship ของแต่ละสถานี ที่คำนวณโดยเทคนิค Wavelet filter และ Conventional method	108
ตาราง 4.6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการทดสอบ ประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้สมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนลุ่มน้ำชีมูล ตอนบน	108
ตาราง 4.7	สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม	115
ตาราง 4.8	สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ	116
ตาราง 4.9	สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด	117
ตาราง 4.10	สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา	118
ตาราง 4.11	สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์	119



	หน้า
ตาราง 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและสัมประสิทธิ์การกำหนด( $R^2$ ) จากการวิเคราะห์ สมการถดถอยกับตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปร เพื่อการประยุกต์ใช้หาปริมาณฝน แต่ละสถานี	125
ตาราง 4.13 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด( $R^2$ ) แต่ละสถานี	125
ตาราง 4.14 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ เหมาะสมเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 387401 จังหวัด มหาสารคาม	127
ตาราง 4.15 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ เหมาะสมเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 403201 จังหวัด ชัยภูมิ	128
ตาราง 4.16 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ เหมาะสมเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 405201 จังหวัด ร้อยเอ็ด	129
ตาราง 4.17 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ เหมาะสมเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 431201 จังหวัด นครราชสีมา	130
ตาราง 4.18 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ เหมาะสมเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 436201 จังหวัด บุรีรัมย์	131
ตาราง 4.19 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) และ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด( $R^2$ ) ที่วิเคราะห์ ด้วยสมการถดถอย และด้วยวิธี Fuzz-GAs ของแต่ละสถานี	137



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 รูปแบบการเกิดฝนชนิด Convective rainfall	6
ภาพประกอบ 2.2 รูปแบบการเกิดฝนชนิด Stratiform rainfall	7
ภาพประกอบ 2.3 ทิศทางและช่วงเวลาการเกิดของลมมรสุม พายุจร และร่องมรสุมที่พัดเข้าสู่พื้นที่ลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูล	15
ภาพประกอบ 2.4 หลักการทำงานของเรดาร์	17
ภาพประกอบ 2.5 ระยะทางและบีมที่ใช้หาค่า power density	19
ภาพประกอบ 2.6 ค่า RCS ของวัตถุขึ้นอยู่กับรูปร่างและทิศทาง	20
ภาพประกอบ 2.7 การตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ชนิด CAPPI	25
ภาพประกอบ 2.8 ตัวอย่างภาพเรดาร์ชนิด CAPPI วันที่ 1 ส.ค. 2545 เวลา 08.50 น.	25
ภาพประกอบ 2.9 Traditional Matching Method (TMM)	31
ภาพประกอบ 2.10 Probability Matching Method (PMM)	32
ภาพประกอบ 2.11 Window Probability Matching Method (WPMM)	32
ภาพประกอบ 2.12 Window Correlation Matching Method (WCMM)	33
ภาพประกอบ 2.13 ความแตกต่างระหว่างตรรกะแบบ Boolean logic กับฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic)	35
ภาพประกอบ 2.14 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิ (ก) เซตแบบเดิม (Classical set) และ (ข) ฟัซซีเซต (Fuzzy set)	35
ภาพประกอบ 2.15 การดำเนินการ Union, Intersection, และ Complement ของฟัซซีเซต <u>A</u> , <u>B</u>	36
ภาพประกอบ 2.16 ลักษณะฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในแบบต่างๆ	38
ภาพประกอบ 2.17 การควบคุมการตัดสินใจแบบฟัซซีลอจิก	39
ภาพประกอบ 2.18 ตัวอย่างค่าความเป็นสมาชิก (Membership value) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการควบคุมการตัดสินใจแบบฟัซซีลอจิกปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ	40
ภาพประกอบ 2.19 โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม	42
ภาพประกอบ 2.20 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม	43
ภาพประกอบ 2.21 แสดงถึงสัดส่วนของค่าความเหมาะสม	44
ภาพประกอบ 2.22 แสดงการ Crossover	45
ภาพประกอบ 2.23 แสดงการ Crossover แบบขวางและแบบตั้งฉาก	45
ภาพประกอบ 2.24 แสดงการ Crossover กับข้อมูลที่เป็นรูปแบบ Permutation encoding	46
ภาพประกอบ 2.25 แสดงการ Mutation	46
ภาพประกอบ 2.26 แสดงการ Mutation กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation encoding	47
ภาพประกอบ 2.27 แสดงโอกาสเกิดการ Crossover	47
ภาพประกอบ 2.28 แสดงโอกาสเกิดการ Mutation	48



ภาพประกอบ 2.29	การกระจายของข้อมูลและเส้นกราฟถดถอย	49
ภาพประกอบ 2.30	สมการเส้นตรงของการถดถอย	50
ภาพประกอบ 2.31	สมการเส้นตรงของการถดถอยเมื่อ $b$ มีค่าแตกต่างกัน	51
ภาพประกอบ 2.32	ลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ดแบบต่างๆ	58
ภาพประกอบ 2.33	การวิเคราะห์สัญญาณด้วยฟังก์ชันเวฟเล็ด	59
ภาพประกอบ 2.34	คุณสมบัติการปรับสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ด	60
ภาพประกอบ 2.35	กระบวนการแปลงเวฟเล็ดในขั้นตอนที่ 1 และ 2	61
ภาพประกอบ 2.36	กระบวนการแปลงเวฟเล็ดในขั้นตอนที่ 3	61
ภาพประกอบ 2.37	กระบวนการแปลงเวฟเล็ดในขั้นตอนที่ 4	61
ภาพประกอบ 2.38	กระบวนการแปลงเวฟเล็ดในขั้นตอนที่ 5	62
ภาพประกอบ 2.39	การแยกสัญญาณด้วยตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณ	63
ภาพประกอบ 2.40	การแปลงกลับสัญญาณด้วยตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณ	63
ภาพประกอบ 2.41	การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยโดยใช้โครงสร้างต้นไม้แบบทวิภาค	64
ภาพประกอบ 3.1	กรอบแนวคิดแสดงขั้นตอนการศึกษาแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ปริมาณฝน	69
ภาพประกอบ 3.2	ตำแหน่งของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษา	70
ภาพประกอบ 3.3	การกระจายของข้อมูลอุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงที่ใช้ในการศึกษา	73
ภาพประกอบ 3.4	การกระจายของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ราย 3 ชั่วโมงที่ใช้ในการศึกษา	73
ภาพประกอบ 3.5	ตัวอย่างภาพเรดาร์ CAPPI ที่ไม่สมบูรณ์	74
ภาพประกอบ 3.6	ตัวอย่างภาพเรดาร์แบบ CAPPI สถานีเรดาร์พิมาย เหตุการณ์วันที่ 30 กรกฎาคม 2547 เวลา 23:36 น. ที่มีลักษณะสมบูรณ์	74
ภาพประกอบ 3.7	ขั้นตอนการประเมินปริมาณฝนจากสมการ Z-R relationship	79
ภาพประกอบ 3.8	ขั้นตอนการประเมินปริมาณฝนจากวิธีการ Fuzzy-GAs	82
ภาพประกอบ 3.9	ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลในอดีตสำหรับการแบ่งช่วงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	84
ภาพประกอบ 3.10	รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เปลี่ยนตามค่า $X_1$ - $X_{12}$	85
ภาพประกอบ 4.1	ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละสถานี	90
ภาพประกอบ 4.2	ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์แต่ละสถานี	92
ภาพประกอบ 4.3	ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของข้อมูลของปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด	94
ภาพประกอบ 4.4	ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับอุณหภูมิแต่ละสถานี	96
ภาพประกอบ 4.5	ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานี	97
ภาพประกอบ 4.6	เปรียบเทียบปริมาณฝนสะสมแต่ละสถานี (1 มิถุนายน – 31 สิงหาคม 2547)	100
ภาพประกอบ 4.7	สมการ Z-R relationship ของแต่ละสถานี จากการคำนวณโดยวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)	102



ภาพประกอบ 4.8	สมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี จากการคำนวณโดยวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)	103
ภาพประกอบ 4.9	ตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้หลักการ Wavelet กรองข้อมูลปริมาณฝนของสถานี 387401 มหาสารคาม	104
ภาพประกอบ 4.10	ตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้หลักการ Wavelet กรองข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของสถานี 387401 มหาสารคาม	105
ภาพประกอบ 4.11	สมการ $Z_{WF}$ - $R_{WF}$ relationship จากการประยุกต์ใช้ Wavelet Filter เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)	106
ภาพประกอบ 4.12	สมการ $Z_{WF}$ - $R_{WF}$ relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter	107
ภาพประกอบ 4.13	เปรียบเทียบสมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี ของวิธีแบบดั้งเดิม (Conventional Method) และวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter	107
ภาพประกอบ 4.14	เปรียบเทียบสมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี กับงานวิจัยของคนอื่น	109
ภาพประกอบ 4.15	ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 387401 มหาสารคาม	110
ภาพประกอบ 4.16	ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 387401 มหาสารคาม	110
ภาพประกอบ 4.17	ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 403201 ชัยภูมิ	111
ภาพประกอบ 4.18	ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 403201 ชัยภูมิ	111
ภาพประกอบ 4.19	ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	112
ภาพประกอบ 4.20	ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	112
ภาพประกอบ 4.21	ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 431201 นครราชสีมา	113
ภาพประกอบ 4.22	ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 431201 นครราชสีมา	113
ภาพประกอบ 4.23	ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีที่สถานี 436201 บุรีรัมย์	114







ภาพประกอบ 4.54 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model  
เปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 436201  
จังหวัดบุรีรัมย์





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลที่สำคัญและมีความจำเป็นในงานด้านอุตุนิยมวิทยา ตลอดจนงานวางแผนและพัฒนาทรัพยากรแหล่งน้ำ แม้ว่าความต้องการในรายละเอียดของข้อมูลน้ำฝนจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละแผนงานหรือโครงการ แต่จุดประสงค์ที่คล้ายกันส่วนใหญ่คือต้องการข้อมูลที่แสดงถึงปริมาณและการกระจายของฝน (Rainfall distribution) ในเชิงเวลาและพื้นที่มากกว่าที่จะต้องการข้อมูลน้ำฝนเฉพาะจุด ณ จุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น (Seed and Austin, 1990) การศึกษาเรื่องการพยากรณ์ปริมาณฝนได้มีการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข (Bustamante et al., 1999 ; Olson et al., 1995 ; 2004) และแบบจำลองทางกายภาพ (Georgakakos and Bras, 1984) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวยังไม่ประสบความสำเร็จในการพยากรณ์ฝน (Olson et al., 1995) เนื่องจากมีข้อจำกัดในการประเมินเงื่อนไขเริ่มต้นที่ถูกต้อง การกำหนดตัวแปรนำเข้าของแต่ละเหตุการณ์ รวมทั้งข้อจำกัดในเชิงพื้นที่ของการประเมิน (Ramirez et al., 2005) โดยทั่วไปในการประเมินปริมาณฝนโดยการสร้างแบบจำลองภูมิอากาศเชิงตัวเลขจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ค่อนข้างละเอียดและครอบคลุมพื้นที่ อย่างไรก็ตามเป็นการลำบากที่จะทำนายปริมาณฝนให้มีความถูกต้องแม่นยำเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องเวลาและพื้นที่ การกระจายของฝนในพื้นที่บริเวณกว้างหรือพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ ต้องการข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่เป็นตัวแทนที่ดีของน้ำฝนที่ตกจริงในพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นการตรวจวัดข้อมูลน้ำฝนด้วยถังวัดน้ำฝน ซึ่งมีจำนวนไม่หนาแน่นในพื้นที่ หรือบางจุดไม่สามารถติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนได้ อาจจะไม่ใช้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนที่ดีของปริมาณฝนที่ตกจริงในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว (Wilson et al., 1979 ; Beven and Hornberger, 1982) ปัจจุบันการนำเทคนิคการตรวจวัดข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) ได้เริ่มเข้ามาประยุกต์ใช้ในงานอุตุนิยมวิทยามากขึ้น (Conover, 1962 ; 1963) ; Hizer et al., 1963 ; Arkin, 1979 ; Hudlow and Patterson, 1979 ; Stou et al., 1979 ; Kidder and Imbernon, 1991) ในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้หลักการรับรู้ระยะไกลเกี่ยวกับศึกษาด้านอุตุนิยมวิทยาโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินอุณหภูมิมืดและข้อมูลเกี่ยวกับเมฆ ได้แก่ Auksorn (1985) ; Yusabye (1987) ; Vanichsermkul (1989) ; Veerasak and Aungsuratana (1996) ; Phumnak (2001) ; Preeyaphorn and Kobkiat (2004)

สำหรับการนำภาพเรดาร์ตรวจอากาศมาประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตุนิยมวิทยามีปรากฏให้เห็นหลายท่าน อาทิเช่น Joss and Waldvogel (1990) ; Rinehart (1991) ; Collier (1996) ; Krajewski and Smith (2002) เนื่องจากเรดาร์ตรวจวัดอากาศสามารถให้ข้อมูลรายละเอียดของฝนครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างที่อยู่ภายใต้รัศมีของเรดาร์และสามารถทำการตรวจวัดฝนได้อย่างต่อเนื่องในลักษณะข้อมูลแบบทันเวลา โดยข้อมูลตรวจวัดฝนจากเรดาร์สามารถนำมาใช้ได้ทันทีหลังจากที่พายุฝนเกิดขึ้นด้วยคุณลักษณะเด่นเช่นนี้ทำให้เรดาร์เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดปริมาณความชื้นฝน นอกจากนี้ข้อมูลที่วัดได้จากเรดาร์ยังมีศักยภาพเพียงพอที่จะถูกนำไปใช้ในการทำนายฝน 1 - 2 ชั่วโมงล่วงหน้า (Now casting) ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเตือนภัยน้ำท่วมได้



ในขณะที่สถานีวัดน้ำฝนเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้วัดน้ำฝนเฉพาะจุดที่ตกจริงบนพื้นดินที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน การทำนายปริมาณฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศโดยวิธีการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการสะท้อน (Radar reflectivity) และอัตราการตกของฝน (Z-R relationship) ได้มีการประยุกต์ใช้ในงานอุตุนิยมวิทยาต่างปรากฏในงานวิจัยของ Seed et al., (1996) ; Houze (1993 ; 1997) ; Yuter and Houze (1997) ; Joss and Waldvogel (1990) ; Rosenfeld et al., (1992 ; 1993) ; Atlas et al., (1999) ; Roger (1971) ; Battan (1973) ; Tokay and Short (1996) ; Amitai (2000) ; Chomchean et al., (2003 ; 2004 ; 2006)

การศึกษาเรื่องการใช้เรดาร์ในงานอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทยได้มีนักวิจัยหลายท่าน เช่น Siriluk and Thomas (2005) ได้นำเรดาร์มาใช้ในการทำนายฝนในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตอนเมืองช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2547 พบว่าการใช้ข้อมูลฝนย้อนหลังจากปัจจุบัน 120 นาทีจะทำให้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์ใกล้เคียงจากสถานีวัดน้ำฝนมากที่สุด ศิริลักษณ์ (2550) ได้หาความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์กับความเข้มฝนของเรดาร์ภาคีเจริญ โดยใช้โปรแกรม SCOUT ในการอ่านและแสดงภาพข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ ผลการศึกษาพบว่าค่าการสะท้อนกลับที่ได้น้อยกว่าที่เป็นจริงประมาณ 5 dBz อาจเนื่องจากเรดาร์ภาคีเจริญเป็นชนิด C-band Minimax ซึ่งมีขนาดเล็กและตรวจวัดฝนตกหนักได้น้อยกว่าเรดาร์ชนิด S-Band

สุตารัตน์ (2546 ; 2549) ได้ประเมินฝนในกลุ่มน้ำชี และลุ่มน้ำมูลตอนบน โดยใช้ภาพเรดาร์แบบ CAPPI ปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติ และอุณหภูมิยอดเมฆจากภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 รายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2543 - 2544 วิธีการที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย การตรวจสอบข้อมูลฝนเรดาร์โดยวิธี Simple scaling และ quality control การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของเรดาร์กับความเข้มฝน (Z-R) การเปรียบเทียบปริมาณฝนจากเรดาร์ อุณหภูมิยอดเมฆ และสถานีวัดน้ำฝนเชิงเวลาและพื้นที่ (temporal and spatial rainfall) การสร้าง radar-intensity coincident frequency และการประยุกต์ฝนเรดาร์รายชั่วโมงในแบบจำลองอุทกวิทยา Vflo<sup>TM</sup> และ HEC-HMS ผลการศึกษาพบว่า ค่าการสะท้อนของเรดาร์กับความเข้มฝน (Z-R) มีความสัมพันธ์เป็น  $Z=294 R^{1.33}$  ปริมาณฝนสะสมจากเรดาร์ (cumulative radar rainfall) มีค่าต่ำกว่า (under estimated) ปริมาณฝนสะสมจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติ แต่มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน ความแม่นยำของฝนเรดาร์ในการทำนายฝนตกมีค่า 70-80 % ปริมาณฝนจากเรดาร์มีความสัมพันธ์ในระดับนัยสำคัญที่ 0.95 กับปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่เวลาเหลื่อมกัน (lag) ประมาณ 2-3 ชั่วโมง และปริมาณฝนจากเรดาร์ให้ค่าชลภาพ (hydrograph) ใกล้เคียงกับชลภาพที่ได้จากการตรวจวัดในสนามและสอดคล้องกับชลภาพที่ประเมินจากฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน

Punpim และ Nuchanart (2008) ได้ศึกษาหาค่าที่เหมาะสมของสมการ Z-R สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้ค่า  $Z=74 R^{1.6}$  โดยใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของภาพเรดาร์สถานีอ้อมก้อย จังหวัดเชียงใหม่และข้อมูลฝนรายวันจำนวน 55 สถานีพบว่าได้สมการค่าการสะท้อนกับความเข้มฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สถานีอ้อมก้อยและการประเมินฝนครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าสำหรับการทำนายน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

งานวิจัยที่ศึกษาด้านอุตุนิยมวิทยาโดยใช้หลักการ Wavelet transform วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ เช่น งานวิจัยของ Lau and Weng, 1995 ; Massel, 2001 ; Teisseir et al., 2002 ; Haung, 2004 นอกจากนี้ Turgay and Ozgur (2007) ได้ประยุกต์ใช้หลักการเชื่อมต่อ



แบบจำลอง wavelet และ neuro-fuzzy สำหรับการทำนายฝน โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันมาทำการ decompose โดยการ ใช้ discrete wavelet transform และจะได้ค่าตัวแปรนำเข้าไปในแบบจำลอง neuro-fuzzy เพื่อการทำนายฝนผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝนรายวันที่ได้จากการแบบจำลอง wavelet-neuro-fuzzy จะให้ค่าที่น่าเชื่อถือได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยเฉพาะช่วงที่มีค่าฝนเป็นศูนย์และช่วงเดือนที่มีค่าปริมาณฝนตกสูงสุดของช่วงเวลาที่ทดสอบ ในประเทศไทย Tantanee et al., (2005) ได้การประยุกต์ใช้ Wavelet filter ร่วมกับ AR ในการทำนายปริมาณฝนรายเดือน โดยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่วัดได้จริงพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.50 – 0.79 ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำรายเดือนและรายปีได้

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจที่เรียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์มีการคิดที่ซับซ้อน มีการตัดสินใจโดยใช้ประสบการณ์ของตัวเองหรือแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหา ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่บอกถึง ความคลุมเครือ ความไม่แน่นอน (Uncertainty) และ ความขาดของข้อมูลบางส่วน ฟัซซีเซตเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการประมาณค่าตัวแปรที่สนใจจากปัจจัยตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความไม่แน่นอน โดยเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์

การศึกษาด้านฟัซซีเซตได้ถูกประยุกต์ใช้ในด้านแหล่งน้ำมากมาย เช่น Saruwatari and Yomota (1995: 163-167) ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตในการคาดการณ์ค่าความต้องการใช้น้ำชลประทานบนพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศญี่ปุ่น จากนั้น Shrestha, Duckstein และ Stakhiv (1996: 262-269) ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตในการจัดการอ่างเก็บน้ำหลายวัตถุประสงค์ ต่อมา Bahat et al., (2000: 137-145) ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตในการควบคุมความชื้นในดิน และ Anongrit Kangrang and Chavalit Chaleeraktragoon (2007: 2744-2749) ได้ประยุกต์ใช้ฟัซซีเซตในการหาประสิทธิภาพการชลประทานโดยใช้ตัวแปรเข้าคือ ปริมาณน้ำที่สามารถใช้ได้และพื้นที่ที่ต้องการเพาะปลูก จากการประยุกต์ใช้เทคนิคฟัซซีเซตในการแก้ปัญหาด้านแหล่งน้ำข้างต้นจะเห็นได้ว่า ทฤษฎีฟัซซีเซตมีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับตัวแปรอุทกวิทยาเพื่อแก้ปัญหาทางด้านแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบในแบบจำลองฟัซซี ยังต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้คำนวณหรือผู้ใช้งาน จึงทำให้ค่าที่ได้ยังไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมสูงสุด

เจเนติกแอลกอริทึม (Genetic algorithm, GA) เป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดแบบ Near optimization approach มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ (Evolution theory) เป็นวิธีการที่ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบ แบบซุ่มเป็นพื้นฐาน มีการแลกเปลี่ยนลักษณะบ่งชี้ของประชากรคำตอบแต่ละตัว จนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุด (Wardlaw and Sharif, 1999: 25-33) เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อน GA มีความแตกต่างจากวิธีการหาค่าความเหมาะสมอื่น ๆ ได้แก่ GA ดำเนินการหาคำตอบด้วยการแปลงรูปแบบของตัวแปรมิได้ใช้ตัวแปรของปัญหาที่ศึกษาโดยตรง เป็นผลให้สามารถหาคำตอบของตัวแปรทุกตัวในปัญหาได้พร้อม ๆ กัน เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากประชากรของคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้ ใช้สมการวัตถุประสงค์เป็นเพียงแนวทางและตัวชี้้นำเท่านั้น มิได้หาคำตอบจากสมการวัตถุประสงค์โดยตรง จึงเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีสมการวัตถุประสงค์ที่ยู่ยากซับซ้อน นอกจากนี้ยังเป็นการค้นหาคำตอบบนพื้นฐานของความน่าจะเป็น (Probabilistic) ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสในการค้นพบค่าที่ดีที่สุดมากขึ้น จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า GA เป็นการค้นหาคำตอบแบบซุ่มจนกระทั่งได้ค่าเหมาะสมสูงสุด



การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยจะเรียกตัวแปรที่สนใจศึกษาว่าตัวแปรตาม (Dependent variable หรือ Response variable) และเรียกตัวแปรอื่นที่แทนปัจจัยที่ทำให้ค่าของตัวแปรตามเปลี่ยนแปลงว่าตัวแปรอิสระ (Independent variable หรือ Predictor variable) โดยจะศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในรูปแบบฟังก์ชันความสัมพันธ์ เรียกรูปแบบความสัมพันธ์นี้ว่า รูปแบบการถดถอย (Regression model) โดยศึกษาว่าตัวแปรอิสระมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามมากน้อยเพียงใดหรือความผันแปรของตัวแปรตามขึ้นกับปัจจัยที่แทนด้วยตัวแปรอิสระใดบ้าง และมากน้อยเท่าใดและยังศึกษาถึงความเหมาะสมของรูปแบบการถดถอยที่กำหนด (Karem Chokmani et al., 2008: 383-396)

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยกรณีตัวแปรอิสระหนึ่งตัวเรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย (Simple regression analysis) และเรียกการวิเคราะห์การถดถอยกรณีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปรว่าการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุ (Multiple regression analysis) ซึ่งรูปแบบการถดถอยยังแยกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression model) และรูปแบบการถดถอยไม่เชิงเส้นตรง (Nonlinear regression model) รูปแบบเชิงเส้นตรงหมายถึงรูปแบบที่เขียนได้ในแบบเส้นตรงของพารามิเตอร์ (Linear in parameter) และรูปแบบไม่เชิงเส้นตรงหมายถึงรูปแบบที่เขียนไม่ได้ในแบบเส้นตรงของพารามิเตอร์ (Nonlinear in parameter)

การวิเคราะห์การถดถอยได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านแหล่งน้ำมากมาย เช่น Graham (2002: 60-73) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการถดถอยสำหรับหาความสัมพันธ์ของแนวทางการเกิดพายุฝนโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ต่อมา Pao-Shan Yu, Shien-Tsung Chen and I-Fan Chang (2006: 704-716) ได้ประยุกต์ใช้การถดถอยแบบเวกเตอร์เพื่อรองรับกับสถานการณ์น้ำท่วมฉับพัน ต่อมา Griffis and Stedinger (2007: 82-95) ได้ประยุกต์ใช้การถดถอยในการสร้างสมการสำหรับวิเคราะห์พื้นที่อุทกวิทยาแบบทั่วไปโดยมีขนาดเล็กลงๆ และ Karem Chokmani et al., (2008: 383-396) ได้ศึกษาผลกระทบของน้ำแข็งที่มีต่อเส้นทางไหลของลำน้ำโดยได้ทำการประเมินเปรียบเทียบกันระหว่างโครงข่ายใยประสาทเทียมกับสมการถดถอยแบบพหุ จากจุดเด่นของเทคนิคในความสะดวกสำหรับการสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระต่างๆ และตัวแปรตามที่สนใจ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ก็อีกข้อหนึ่งจึงเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยมาประเมินปริมาณฝนจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เรดาร์ในการประเมินค่าปริมาณฝนอย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่เป็นการประเมินค่าการสะท้อนของเรดาร์กับความเข้มฝนซึ่งใช้ข้อมูลฝนในอดีตที่มีการตรวจวัดไว้ แต่ยังไม่มีการนำค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์มาใช้เป็นตัวแปรร่วมในการประเมินน้ำฝน

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์โดยวิธี Buffer Probability Technique พร้อมทั้งประเมินปริมาณฝนจากการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของเรดาร์กับอัตราการตกของฝน (Z-R relationship) ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค wavelet filter และวิธี Conventional Method นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้เจเนติกแอลกอริทึมมาช่วยในการปรับเทียบในแบบจำลองฟิชเชอร์ในการประเมินปริมาณฝนโดยใช้ตัวแปรค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์และหาปริมาณฝนจากการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอย พร้อมทั้งปรับเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำฝน ตลอดจนการทดสอบประสิทธิภาพของ



แบบจำลองให้มีความแม่นยำต่อการนำไปใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองน้ำท่วมสำหรับการประเมินปริมาณน้ำหลากในพื้นที่ที่ศึกษาอันจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการลุ่มน้ำต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. วิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์โดยวิธี Buffer Probability Technique
2. สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของเรดาร์กับอัตราการตกของฝน (Z-R relationship) โดยวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet filter และวิธี Conventional Method
3. ประยุกต์ใช้เจเนติกแอลกอริทึมปรับเทียบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแบบจำลองฟuzzyเซตในการประเมินปริมาณฝนจากโครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ภายในรัศมีเรดาร์ตรวจอากาศพิมาย จังหวัดนครราชสีมา
4. เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณฝนที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอย (Multiple Regression Model) เทคนิคฟuzzyเจเนติกแอลกอริทึม (Fuzzy-GAs) กับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินปริมาณฝนให้มีความแม่นยำต่อการนำไปใช้งาน

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. การประยุกต์ใช้เทคนิคกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี Wavelet filter ครั้งนี้ได้เลือกใช้ wavelet แบบ Haar wavelet 1-D dimension เท่านั้น เพื่อทำการแยกองค์ประกอบสัญญาณ Detail ออกจากสัญญาณหลัก ส่วนสัญญาณ Approximation จะนำไปใช้งานในแบบจำลองต่อไป
2. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประยุกต์ใช้เจเนติกแอลกอริทึมมาช่วยในการปรับเทียบในแบบจำลองฟuzzyเซตในการประเมินปริมาณฝนโดยเลือกใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ชนิด CAPPI (The Constant Altitude Plan Position Indicator) ที่มีการจัดเก็บโดยสำนักฝนหลวงและการบินเกษตรจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศพิมาย อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา เป็นเรดาร์ชนิด S-Band มีรัศมีการวัดครอบคลุมเกือบทั่วทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 240 กิโลเมตร
3. การศึกษาเลือกใช้ข้อมูลอุทกวิทยาคือ อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และค่าปริมาณฝน ร่วมกับตัวแปรค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ เป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมาและบุรีรัมย์ เท่านั้น





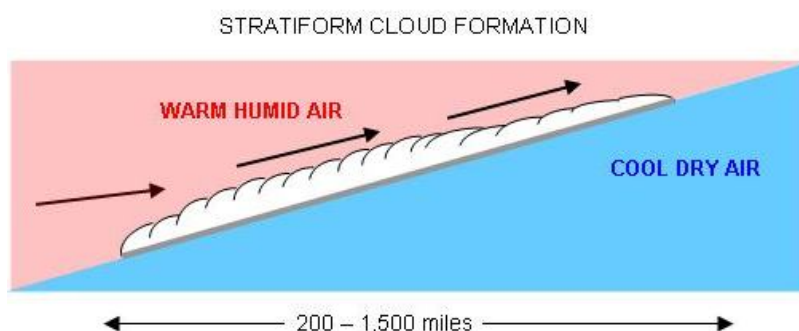
## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คุณลักษณะของฝนและการตรวจวัด

โดยทั่วไปแล้วชนิดของฝนแบ่งออกเป็น 2 แบบคือฝนชนิด Stratiform rainfall และ ฝนชนิด Convective rainfall ซึ่งฝนแบบ Stratiform rainfall เป็นฝนที่เกิดจากการเปลี่ยนผลึกน้ำแข็งและเกล็ดหิมะมาเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะมีอัตราการตกของน้ำฝนค่อนข้างต่ำอยู่ระหว่าง 10 – 20 มิลลิเมตร/ชั่วโมง มีความหนาของชั้นฝนคงที่และชั้นรอยต่อระหว่างหิมะกลายเป็นหยดน้ำหนาประมาณ 400 – 500 เมตร ซึ่งเป็นชั้นที่มีผลต่อการสะท้อนสัญญาณเรดาร์มาก ชั้นนี้เรียกว่า Bright band (Sassen, K. and Chen, T., 1995) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเยือกแข็ง (Russchenberg, H.W.J. and Ligthart, L.P., 1996) ประกอบด้วยอนุของเมฆฝนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 – 40 ไมโครเมตร จำนวนมาก ส่วนฝนชนิด Convective rainfall เกิดจากการชนกันของก้อนเมฆทำให้เมฆฝนเพิ่มปริมาณมากขึ้นและกลายเป็นหยดน้ำ อนุของเมฆฝนชนิดนี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 – 40 ไมโครเมตร (Szyrmer, W and Zawadzki, I., 1999 ; Barthazy, E., 1998)

ลักษณะการเกิดฝนแบบ Stratiform (ภาพประกอบ 2.1) และ Convective (ภาพประกอบ 2.2) จะเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งฝนแบบ Stratiform จะเกิดครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างในแนวราบ เนื่องจากเมฆฝนแบบดังกล่าวเป็นเมฆชั้นสูงอยู่สูงจากพื้นดินหลายกิโลเมตร อัตราการตกของฝนจะเบาบางแต่ระยะเวลาการตกของฝนจะนาน ส่วนฝนแบบ Convective มีลักษณะการตกขยายออกไปในแนวตั้งและแนวราบระยะทางเกือบ 10 กิโลเมตร หรืออาจมากกว่านั้น ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกหนักในช่วงเวลาสั้นๆ เมื่อรวมฝนทั้งสองแบบเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดฝนตกหนักในระยะเวลายาวนาน ดังนั้นการจำแนกเมฆฝนทั้งสองแบบต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพเรดาร์ตรวจอากาศ (ชัยวัฒน์, 2547)



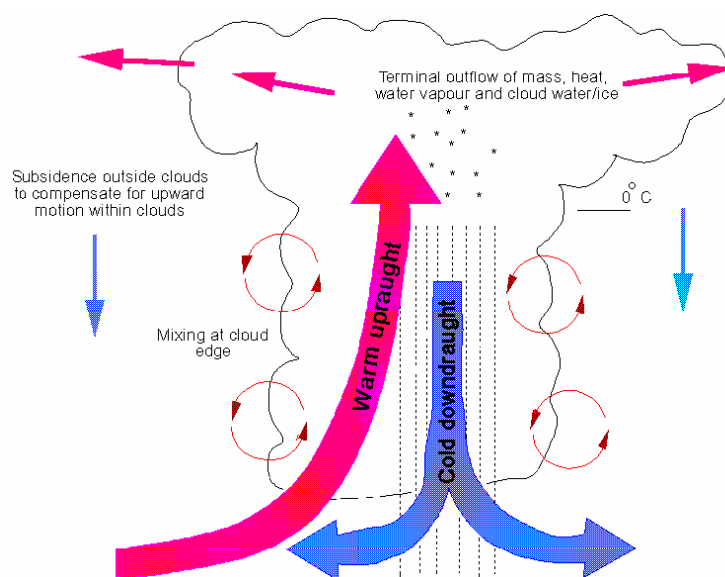
ภาพประกอบ 2.1 รูปแบบการเกิดฝนชนิด Stratiform rainfall

ที่มา : [http://www.weatherquestions.com/Cloud\\_formation\\_stratiform.jpg](http://www.weatherquestions.com/Cloud_formation_stratiform.jpg)

ลักษณะเฉพาะของเซลล์ฝน โดยทั่วไปพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณฝนตกจะลดลงเมื่ออัตราการตกของฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของเมฆฝนประมาณ 2 – 5 กิโลเมตร



ความสูงของโครงสร้างฝนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการแพร่กระจายคลื่นผ่านระยะทาง slant path เนื่องจากขอบเขตความสูงในแนวตั้งเป็นสิ่งสำคัญต่อการลดทอนของสัญญาณข้อมูลเรดาร์ แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของดัชนีการสะท้อน (Reflectivity) ของเซลล์ฝนเกือบจะคงที่จากผิวโลกไปถึงความสูงที่มีค่าดัชนีการสะท้อนสูงสุด เซลล์ฝนสามารถทำเป็นแบบจำลองของแท่งยูนิฟอร์ม (Uniform) ไปจนถึงความสูงของค่าดัชนีการสะท้อนสูงสุด ซึ่งความสูงนี้จะสมมติเป็นเกล็ดน้ำแข็ง เกล็ดหิมะหรือเกล็ดหิมะที่หลอมละลาย



ภาพประกอบ 2.2 รูปแบบการเกิดฝนชนิด Convective rainfall

ที่มา : <http://www.metoffice.gov.uk/research/nwp/numerical/physics/images/convection.gif>

ฝนชนิด Stratiform rainfall จะแสดงลักษณะเฉพาะของชั้นที่มีค่าการสะท้อนสูงสุด (Bright band) เมื่อยิงเรดาร์ทะลุผ่านเม็ดฝน ค่า Bright band จะประกอบด้วยเกล็ดหิมะที่แข็งและเกล็ดหิมะที่หลอมละลายที่สามารถสมมติว่ามีอยู่จริงเหนือชั้นฝนที่เป็นของเหลว ดังนั้นทั้งเซลล์ฝนชนิด Convective rainfall และชนิด Stratiform rainfall จะเกิดที่ความสูงของฝนสูงสุด ที่สามารถกำหนดด้วยการวัดดัชนีการสะท้อนของเรดาร์ ความสูงของฝนสูงสุดเป็นความสูงที่มีอุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียส

Wesson and Pregram (2006) ได้เสนอวิธีการปรับแก้ข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจากเรดาร์ตรวจอากาศโดยการจำแนกลักษณะเมฆฝนแบบ Convective และ Stratiform ซึ่งใช้ค่าการสะท้อนของเรดาร์เป็นเกณฑ์ในการจำแนกซึ่งแสดงในตาราง 2.1



ตาราง 2.1 การจำแนกฝนที่เกิดจากเมฆสองกลุ่มด้วยค่าความเข้มจากรเรดาร์ (dBz)

ช่วงค่าการสะท้อนกลับ (dBz)	ฝนจากชนิดเมฆ
Pixel $\leq$ 18 dBz	No rainfall : Pixel set to 0 dBz
18 dBz < Pixel < 35 dBz	Stratiform rain
Pixel $\geq$ 35 dBz	Convective rain

ที่มา : Wesson and Pegram (2006)

Tokay and Short (1995) ศึกษาและจำแนกชนิดเมฆ stratiform และ convective โดยพิจารณาจากลักษณะการกระจายตัวของขนาดเม็ดน้ำในก้อนเมฆ อัตราการตกของฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Z) โดยเม็ดน้ำในก้อนเมฆขนาดใหญ่ กลาง และเล็กจะมีลักษณะการกระจายตัวปะปนกัน อัตราการตกของฝนทั้งสองแบบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1 – 10 มม./ชม. ปริมาณฝนรวมที่ตกจากก้อนเมฆแบบ stratiform และ convective มีค่าเท่ากับ 74 % และ 26% ตามลำดับ แต่โดยทั่วไปแล้วสัดส่วนดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 68 % และ 32% ตามลำดับ โดยลักษณะการตกของฝนแบบ convective ช่วงแรกจะตกอย่างรุนแรงในเวลาสั้นๆ จากนั้นค่อยๆลดความรุนแรงลงเป็นฝนแบบ stratiform ที่ตกสม่ำเสมอเบาบางเป็นบริเวณกว้าง และเสนอให้แบ่งประเภทของแถบสีจากรค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เป็น 6 ประเภท ดังแสดงในตาราง 2.2 โดยแต่ละประเภทจะแสดงถึงความรุนแรงของฝนและขนาดเม็ดน้ำในก้อนเมฆที่แตกต่างกัน

ตาราง 2.2 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในการศึกษาของ Tokay and Short (1995)

Category	R (mm./hr.)	Spectra	$N_0$ (1/m <sup>3</sup> .mm) x10 <sup>3</sup>
Very light	R < 1	3009 (40%)	5.29
Light	1 $\leq$ R < 2	1246 (16%)	1.31
Moderate	2 $\leq$ R < 5	1715 (23%)	2.41
Heavy	5 $\leq$ R < 10	901 (12%)	8.01
Very heavy	10 $\leq$ R < 20	392 (5%)	3.32
Extream	R $\geq$ 20	342 (4%)	4.26

ที่มา : Tokay and Short (1995)

### 1. รูปร่างของเม็ดฝน

รูปร่างของเม็ดฝนที่ตก (shape of raindrop) จะมีลักษณะแบนหรือป้านและมีรูปร่างคล้ายไข่ไม่เป็นทรงกลม การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นน้อยกับเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2.6 มิลลิเมตร ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมรูปร่างของเม็ดฝนขนาดใหญ่ ได้แก่ แรงตึงผิว (surface tension) ความกดดันภายในเม็ดฝน (hydrostatic pressure) และความกดดันจากอากาศภายนอก (aerodynamic pressure) เม็ดฝนที่มีขนาดเล็กจะมีรูปร่างใกล้เคียงขนาดทรงกลม แต่เมื่อฝนมีอัตราการตกหนักแล้ว





ขนาดของเม็ดฝนจะโตขึ้นและรูปร่างจะผิดไปจากทรงกลม ซึ่งเกิดจากแรงต้านอากาศ และรูปร่างของเม็ดฝนขนาดใหญ่จะไม่คงที่แน่นอน จะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาจนกว่าจะแตกกระจายออกเป็นเม็ดเล็กๆ รูปทรงที่แท้จริงของเม็ดฝนที่เวลาขณะใดขณะหนึ่งจะเป็นการรวมกันระหว่างแรงตึงผิวและแรงต้านอากาศ สำหรับเม็ดฝนที่มีขนาดเล็กมาก (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 170 ไมโครเมตร) แรงตึงผิวจะมีค่ามากกว่าแรงต้านอากาศภายใต้สภาวะลมทั่วไป ขนาดเม็ดฝนเกือบจะเป็นทรงกลม (Spherical) แต่ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 170 และ 500 ไมโครเมตร ภาคตัดขวางของเม็ดฝนจะเป็นวงรี ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 500 และ 2,000 ไมโครเมตร ด้านบนจะมีลักษณะมน ส่วนด้านล่างจะมีลักษณะแบน ส่วนชนิดสุดท้ายบริเวณฐานของเม็ดฝนจะกลวงซึ่งเรียกรูปร่างแบบนี้ว่า Prupacher and Pitter จะสังเกตว่าเมื่ออ้างถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลมแล้ว จะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางที่มีปริมาตรเท่ากับขนาดเม็ดฝนที่เป็นทรงกลมเป็นตัวอ้างอิง

## 2. การกระจายขนาดเม็ดฝน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและการกระจายขนาดเม็ดฝน คือ

$$N_{(D)} = \frac{N'_{(D)}}{V_{(D)}} \quad (2.1)$$

โดยที่

- $N'_{(D)}$  คือ จำนวนเม็ดฝนต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อการเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยในเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ที่ภาคตัดขวางพื้นที่หนึ่งของอุปกรณ์วัด
- $V_{(D)}$  คือ ความเร็วลม
- $N_{(D)}$  คือ การกระจายขนาดเม็ดฝน (จำนวนของเม็ดฝนที่มีอยู่จริงระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง D และ D+dD ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร)

โดยทั่วไปแล้วการวัดการกระจายของเม็ดฝนจะวัดที่ระดับพื้นดิน ดังนั้นจึงกำหนดตัวห้อย  $g$  จะใช้สำหรับการวัดที่ระดับพื้นดิน ในการประมาณการกระจายขนาดเม็ดฝนที่ความสูง  $h$  จะมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$N_{h(D)} = N_{g(D)} \frac{V_{g(D)}}{V_{h(D)}} \quad (2.2)$$

โดยที่

- $N_{h(D)}, N_{g(D)}$  คือ การกระจายขนาดเม็ดฝนที่ความสูง  $h$  และที่ระดับพื้นดิน
- $V_{h(D)}, V_{g(D)}$  คือ ความเร็วลมที่ความสูง  $h$  และที่ระดับพื้นดิน

ในการวัดการกระจายของเม็ดฝนนั้น ซึ่งในครั้งแรกจะครอบคลุมขนาดเม็ดฝนแต่ก็ไม่ได้อธิบายผลการทดลองในทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการตกของฝนที่สูงขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝนมีขนาดปานกลาง ต่อมาการวัดของ Marshall and Palmer (Sassen, K. and Chen, T., 1995) ได้เสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบเอ็กโปเนนเชียล เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานดังนี้



$$N_{g(D)} = N_0 e^{-\lambda D} \quad (2.3)$$

โดยที่

$N_0$  และ  $\lambda$  คือ สัมประสิทธิ์ที่ถูกเลือกให้เหมาะสมกับการวัดการกระจาย  
ขนาดเม็ดฝน เทอม  $N_g$  และ  $N_0$  มีหน่วยเป็น  $\text{mm}^{-1} \text{m}^{-2}$

ในขณะที่  $\lambda$  มีหน่วยเป็น  $\text{mm}^{-1}$  เทอม  $N_0$  ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8,000 และ  $\lambda$  มีค่า  
เป็น  $4.1R^{-0.21}$  เมื่อ  $R$  คือ อัตราการตกของฝนมีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ผลลัพธ์ต่อมาแสดงให้เห็นว่า การกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียลสามารถอธิบายได้อย่าง  
สมเหตุสมผลกับข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดเม็ดฝนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.5 มิลลิเมตร  
ส่วนสัมประสิทธิ์ยังไม่มีที่เหมาะสม ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล  
ใหม่ โดยสมมติว่าเม็ดฝนมีขนาดเป็นทรงกลม คือ

$$N_{g(D)} = N_0 e^{-3.67 \frac{D}{D_0}} \quad (2.4)$$

ในการกระจายนี้ ค่าจำกัดที่สูงกว่า ( $D_{\max}$ ) และต่ำกว่า ( $D_{\min}$ ) บนขนาดเม็ดฝนถูกกำหนด  
เทอมของ  $D_0$  ถูกตั้งค่าไว้อย่างน้อย 4 เท่าของขนาด  $D_{\min}$  และไม่ใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของขนาด  $D_{\max}$  เพื่อ  
เป็นการแน่ใจว่าครึ่งหนึ่งของเม็ดฝนจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า  $D_0$  นั่นคือ  $D_0$  เป็นเส้นผ่าน  
ศูนย์กลางของเม็ดฝนปริมาตรปานกลาง สำหรับการกระจายของ Marshall and Palmer

$$D_0 = 0.89R^{0.21} \quad (2.5)$$

โดยทั่วไปเม็ดฝนจะไม่เป็นทรงกลม ดังนั้นจึงมีการกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีค่าเท่ากับ  
เม็ดฝนที่เป็นทรงกลม  $D_e$  นำไปแทนในสมการ 2.4 จะได้

$$N_{g(D)} = N_0 e^{-3.67 \frac{D_e}{D_0}} \quad (2.6)$$

ซึ่งสมการนี้คือ การกระจายขนาดเม็ดฝนของ Marshall and Palmer ถูกพบว่าสามารถ  
อธิบายได้ดีมากกับข้อมูลระยะยาว เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการคำนวณการเสียหายของการแพร่กระจาย  
คลื่น



### 3. การวัดปริมาณฝน (Measurement of Precipitation)

การวัดปริมาณน้ำฝน จะวัดในหน่วยความสูงของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่จำกัด โดยสมมติว่าไม่มีการระเหยหรือการไหลซึมออก เมื่อทราบขนาดพื้นที่ปากถังวัดน้ำฝน หน่วยที่ใช้วัดปริมาณฝนเป็น มิลลิเมตร การอ่านค่าปริมาณน้ำฝนต้องวัดให้ได้ใกล้เคียงถึง 0.20 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณฝน 10 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า แต่ถ้าปริมาณฝนมากกว่านี้ยอมให้ได้ค่าใกล้เคียง 2% ของปริมาณฝนทั้งหมด ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณฝนขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ขนาดและทิศทางของลม (Soden and Held, 2006; Meehl et al., 2007; Haerter and Berg, 2009) วิธีการติดตั้งเครื่องมือวัด ตลอดจนความสูงของสิ่งปกคลุมและสภาพแวดล้อม ค่าที่เปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่มาจากลม และส่วนใหญ่เป็นลมหวนรอบๆ ถังวัดน้ำฝน กระแสอากาศไหลขึ้นทำให้ได้ปริมาณฝนน้อยลง และกระแสอากาศไหลลงทำให้ได้ปริมาณฝนที่มากเกินไปจนความเป็นจริง สำหรับการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยนิยมติดตั้งบนพื้นดิน

### 4. อุปกรณ์วัดปริมาณฝน (Rain -gauges)

Castelli (1693) วิศวกรชาวอิตาลี ได้คิดค้นเครื่องวัดฝนขึ้นใช้งานโดยออกแบบง่าย ๆ ใช้แก้วทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว และลึก 9 นิ้ว ทดลองใช้ครั้งแรกที่ British isles โดยนำไปวางไว้บนหลังคา ต่อมาในปี 1859 G.J. SYMONS ได้ทำการพัฒนาเครื่องวัดฝนให้ดีขึ้นอีกโดยใช้วัสดุอย่างอื่นทดแทนแก้ว ซึ่งแตกเสียหายง่าย และออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรงมั่นคงขึ้นตลอดจนวิธีการติดตั้งให้เป็นมาตรฐาน ปัจจุบันเครื่องวัดฝนมีความก้าวหน้าและทันสมัยมากขึ้น สามารถอ่านได้แบบอัตโนมัติและทำการตรวจวัดได้ในระยะไกลๆ ได้ รูปร่างของถังวัดส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกระบอกซึ่งจะทำการวัดความสูงของน้ำฝน อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่มี 2 ชนิด คือแบบคานกระดก (Tipping Bucket type) มีขนาดของกระบอกรับน้ำ (Bucket) เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร เครื่องมือวัดปริมาณฝนแบบคานกระดกนี้ใช้วัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ซึ่งสามารถติดตั้งไว้ภายนอกอาคารได้ และทำการต่อด้วยสายเคเบิลเข้าไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณที่อยู่ภายในอาคาร กล่าวคือ เมื่อมีฝนตกปริมาณน้ำฝนจะตกลงสู่กรวยรับน้ำฝน ซึ่งมีรัศมีคงที่อยู่ค่าหนึ่ง ปริมาณน้ำฝนจะไหลลงสู่กระบอกเล็กๆ ที่ติดกันอยู่ 2 อัน โดยมีปากกระบอกที่ด้านตรงกันข้ามเพื่อสลักกับใส่น้ำและเทน้ำเมื่อข้างหนึ่งข้างใดเต็ม การกระดกของกระบอกรับน้ำจะมีเวลาในการทำงานที่แน่นอนประมาณ 0.2 วินาที ซึ่งปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนชนิดนี้เท่ากับ  $nV$  เมื่อ  $V$  เป็นปริมาตรของกระบอก และ  $n$  คือจำนวนครั้งที่น้ำฝนถูกเทออก (คือจำนวนพัลส์) ในขณะที่กระบอกเทน้ำออก แท่งแม่เหล็กที่ติดอยู่กับกระบอกจะเคลื่อนที่ไปกระตุ้นการทำงานของสวิทช์หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (reed switch) โดยการสวิทช์ของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า ด้วยชุดแปลงความถี่เป็นแรงดัน (F to V converter) จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องบันทึกสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นระดับแรงดันมาบันทึกที่เครื่องวัดสัญญาณ ดังนั้นจึงทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำฝน และอัตราการตกของฝน

### 5. พายุจร (พายุหมุนเขตร้อน)

ปรากฏการณ์ที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อรูปแบบฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูล ได้แก่ ลมมรสุมประจำฤดูและพายุจรต่างๆ (พายุหมุนเขตร้อน) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 สรุปได้ว่าช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่าน ช่วงเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน พายุจรพาดผ่าน ได้แก่ ดีเปรสชัน ไชนัน



และไต้ฝุ่น ซึ่งมีอิทธิพลต่อรูปแบบฝนมากที่สุดในพื้นที่ศึกษา ส่วนช่วงเดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์ มีอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน

องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization หรือ WMO) ได้แบ่งขั้นตอนของพายุจร (พายุหมุนเขตร้อน) ตามขนาดความรุนแรงของพายุเป็น 3 ชั้น ดังนี้

1. พายุดีเปรสชัน (Depression) ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางไม่เกิน 63 กม./ชม.
2. พายุโซนร้อน (Tropical Storm) ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลาง 63 กม./ชม. ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 118 กม./ชม.

3. พายุไต้ฝุ่น (Typhoon) ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลาง ตั้งแต่ 118 กม./ชม. ขึ้นไป

พายุดีเปรสชันที่ผ่านเข้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือทางด้านทิศตะวันออกเฉียงนั้นเป็นพายุที่มาจากทะเลจีนใต้หรือมหาสมุทรแปซิฟิก โดยในขั้นแรกจะอยู่ในลักษณะพายุไต้ฝุ่นหรือพายุโซนร้อนก่อน เมื่อเข้ามาถึงภูมิภาคนี้จะอ่อนกำลังลงเป็นพายุดีเปรสชัน เพราะมีภูเขาในเวียดนาม ลาวและกัมพูชา เป็นกำแพงกั้นความแรงของพายุให้ลดกำลังความรุนแรงลง อย่างไรก็ตามผลอันเกิดจากพายุนี้ยังมีอยู่มากในลักษณะของฝนตกหนัก แม้เป็นบริเวณกว้าง และมีลมแรงในเส้นทางที่พายุผ่าน

ฤดูกาลของพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนผ่านเข้ามาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม โดยผ่านเข้ามามากที่สุดในช่วงเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม เนื่องจากมีพายุก่อตัวจากทะเลจีนใต้และมหาสมุทรแปซิฟิกมากที่สุดในช่วงนี้ เส้นทางเดินโดยเฉลี่ยของพายุหมุนเขตร้อนที่เข้าสู่ประเทศไทยทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีดังนี้

1. เดือนมิถุนายน : พายุก่อตัวทางทะเลจีนใต้หรือมหาสมุทรแปซิฟิก ในเดือนนี้มีทิศทางเดินไม่แน่นอน เนื่องจากมีจำนวนพายุเข้ามาน้อยมาก และถ้ามีโอกาสเข้าสู่ประเทศไทยจะเข้าทางตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเลย หนองคาย นครพนม เป็นต้น

2. เดือนกรกฎาคม : พายุจะผ่านประเทศเวียดนามแล้วเข้าสู่ภาคเหนือตอนบนหรือภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนถ้าเป็นพายุที่ก่อตัวจากมหาสมุทรแปซิฟิก แต่ถ้าก่อตัวจากทะเลจีนใต้ส่วนมากจะเข้ามาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง

3. เดือนสิงหาคม : พายุจะผ่านภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยเฉพาะจังหวัดนครพนมมีโอกาสที่พายุผ่านเข้ามามากที่สุด

4. เดือนกันยายน : เป็นเดือนที่พายุผ่านเข้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากเดือนหนึ่ง โดยจะผ่านเข้าเกือบทุกจังหวัดที่อยู่ตามชายแดนของประเทศไทย ตั้งแต่ตอนบนถึงตอนล่างของภาค ได้แก่ จังหวัดเลย หนองคาย นครพนม มุกดาหาร อุบลราชธานี และสุรินทร์ แต่พื้นที่ที่มีโอกาสเข้ามาที่สุด ได้แก่ จังหวัดนครพนมและมุกดาหาร ส่วนมากจะเป็นพายุที่ก่อตัวจากทะเลจีนใต้

5. เดือนตุลาคม : เป็นเดือนที่มีพายุเข้าสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด โดยจะเข้าทางตอนล่างของภาคเป็นส่วนมาก เช่น จังหวัดสุรินทร์ อุบลราชธานี ถ้าพายุก่อตัวจากทะเลจีนใต้ หรืออาจจะผ่านเข้ามาที่จังหวัดนครพนมถ้าเป็นพายุที่ก่อตัวจากมหาสมุทรแปซิฟิก

6. เดือนพฤศจิกายน : เป็นเดือนที่โอกาสที่พายุหมุนเขตร้อนจะพัดผ่านเข้ามาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีน้อยมาก



## 6. พายุที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยในปี พ.ศ. 2554

ปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลทั้งโดยตรงและโดยอ้อมจากพายุที่เคลื่อนตัวมาจากทะเลจีนใต้ ทั้งหมด 5 ลูก ได้แก่ พายุโซนร้อนไหหม่า นกเตน ไท่ถาง เนสา และนาลแก โดยพื้นที่ภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหนักสุด โดยช่วงปลายเดือนมิถุนายน มีพายุโซนร้อนไหหม่า พัดถล่มพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำยมเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ถัดมาในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม น้ำในพื้นที่ภาคเหนือยังไม่ทันระบายได้หมด พายุบกเตน ได้พัดถล่มซ้ำพื้นที่เดิมอีก ทำให้ปริมาณน้ำยิ่งเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นได้มีพายุที่ส่งผลกระทบต่อต่อเนื่องอีกคือ พายุไต้ถาง ที่ส่งผลกระทบต่อภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณพื้นที่ริมแม่น้ำโขงในช่วงวันที่ 27-29 กันยายน 2554 ต่อมาคือ พายุเนสาดได้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยเนื่องจากพายุไต้ถาง บริเวณที่ได้รับผลกระทบยังคงเป็นพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและด้านตะวันออกของภาคเหนือ ส่วนพายุลูกสุดท้ายคือ พายุนาลแก ที่อิทธิพลของพายุส่งผลให้ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรงขึ้นและทำให้มีฝนมากในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงวันที่ 5-7 ตุลาคม 2554

### 6.1 พายุโซนร้อนไหหม่า

พายุโซนร้อนไหหม่า ในทะเลจีนใต้ตอนบนเคลื่อนขึ้นฝั่งประเทศเวียดนามตอนบน ในช่วงค่ำของวันที่ 24 มิถุนายน 2554 จากนั้นได้อ่อนกำลังลงเป็นพายุดีเปรสชัน และเคลื่อนตัวผ่านประเทศลาวพร้อมกับอ่อนกำลังลงอีกเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำก่อนเคลื่อนเข้าภาคเหนือของประเทศไทยบริเวณจังหวัดน่าน และสลายตัวไปในพื้นที่ของภาคเหนือเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2554 อิทธิพลของพายุลูกนี้ทำให้มีฝนตกหนาแน่นเป็นบริเวณกว้างในภาคเหนือ โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงราย พะเยา น่าน และตาก ปริมาณฝนตกหนักถึงหนักมากต่อเนื่องในช่วงวันที่ 25 - 26 มิถุนายน 2554 เกิดน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลาก และดินถล่ม สร้างความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง

### 6.2 พายุโซนร้อนนกเตน

พายุโซนร้อนนกเตน (NOCK-TEN) ที่มีแหล่งกำเนิดจากหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือด้านตะวันตกเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2554 และได้ทวีกำลังแรงขึ้นตามลำดับจนกระทั่งเป็นพายุโซนร้อนแล้วเคลื่อนผ่านเกาะลูซอนประเทศฟิลิปปินส์ ลงสู่ทะเลจีนใต้ตอนกลาง จากนั้นเคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกก่อนไปทางเหนือผ่านเกาะไหหลำ และอ่าวตังเกี๋ยขึ้นฝั่งบริเวณประเทศเวียดนามตอนบนในวันที่ 30 กรกฎาคม 2554 จากนั้นเคลื่อนตัวผ่านประเทศลาวพร้อมกับอ่อนกำลังเป็นพายุดีเปรสชันในวันที่ 31 กรกฎาคม 2554 ก่อนเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยบริเวณจังหวัดน่านในวันเดียวกัน แล้วอ่อนกำลังลงเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำ ปกคลุมภาคเหนือของประเทศไทยบริเวณจังหวัดแพร่ ลำปาง เชียงใหม่และแม่ฮ่องสอนในเวลาต่อมา

### 6.3 พายุไต้ฝุ่นเนสาด

วันที่ 28 กันยายน 2554 พายุไต้ฝุ่นเนสาด (NESAT) บริเวณทะเลจีนใต้ตอนกลาง มีศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด 17.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 116.5 องศาตะวันออก ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 120 กม./ชม. เคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกด้วยความเร็วประมาณ 22 กม./ชม. ต่อมาในวันที่ 29 กันยายน 2554 พายุนี้อยู่บริเวณทะเลจีนใต้ตอนบนมีศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด 19.8 องศาเหนือ ลองจิจูด 112.1 องศาตะวันออก หรือห่างจากเกาะไหหลำ ด้านตะวันออกประมาณ 100 กิโลเมตร มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 120 กม./ชม. และเคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกก่อนทางเหนือเล็กน้อย ด้วยความเร็วประมาณ 25 กม./ชม. ต่อมาในวันที่ 30 กันยายน 2554 พายุลูกนี้อยู่



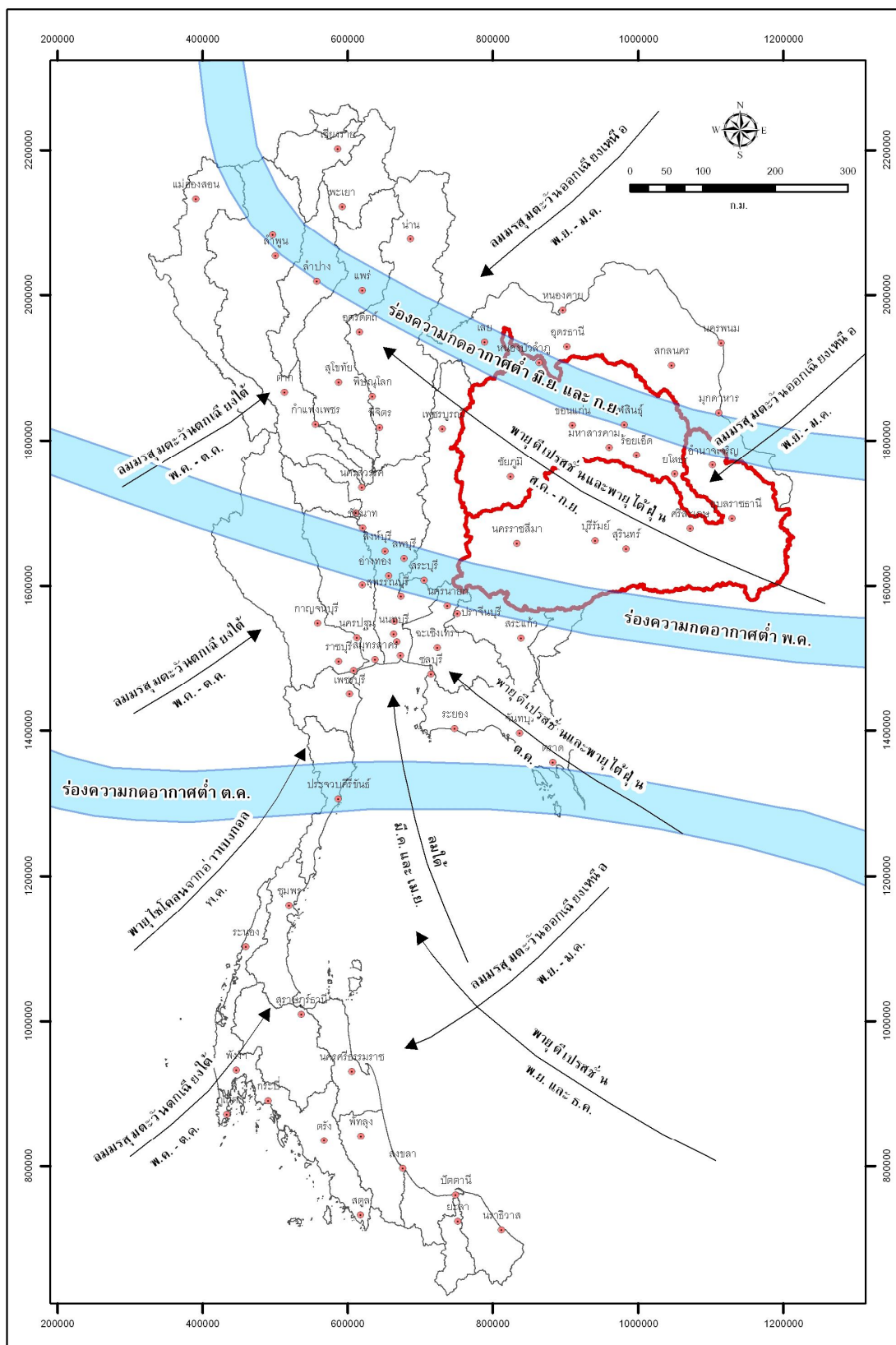
บริเวณอ่าวตังเกี๋ย มีศูนย์กลาง อยู่ห่างประมาณ 120 กิโลเมตร ทางตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงฮานอย ประเทศเวียดนาม หรือที่ละติจูด 21.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 107.3 องศาตะวันออก มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 95 กม./ชม. และเคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกค่อนทางเหนือเล็กน้อย ด้วยความเร็วประมาณ 18 กม./ชม. และในวันที่ 1 ตุลาคม 2554 พายุได้อ่อนกำลังลงเป็นพายุดีเปรสชัน โดยมีศูนย์กลางอยู่บริเวณกรุงฮานอย ประเทศเวียดนาม มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 55 กม./ชม. และเคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกค่อนทางเหนือ อย่างช้าๆ หลังจากนั้นได้อ่อนกำลังเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำในระยะต่อมา พายุลูกนี้ส่งผลทำให้ด้านตะวันออกของภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนมีฝนเพิ่มขึ้น และมีฝนตกหนักบางแห่ง บริเวณจังหวัดเชียงราย พะเยา แพร่ น่าน ลำปาง เลย หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร และนครพนม

#### 6.4 พายุไซร่อนนาลแก

วันที่ 3 ตุลาคม 2554 พายุไซร่อนนาลแก บริเวณทะเลจีนใต้ มีศูนย์กลางอยู่ห่างประมาณ 450 กิโลเมตร ทางตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะไหหลำ ประเทศจีน หรือที่ละติจูด 18.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 114.0 องศาตะวันออก มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 95 กม./ชม. เคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ด้วยความเร็วประมาณ 10 กม./ชม. ต่อมาในวันที่ 4 ตุลาคม 2554 พายุลูกนี้ยังคงอยู่ที่บริเวณทะเลจีนใต้ มีศูนย์กลางอยู่ห่างประมาณ 100 กิโลเมตร ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะไหหลำ ประเทศจีน หรือที่ ละติจูด 18.1 องศาเหนือ ลองจิจูด 111.1 องศาตะวันออก มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 95 กม./ชม. เคลื่อนตัวทางทิศตะวันตก ด้วยความเร็วประมาณ 10 กม./ชม. และในวันที่ 5 ตุลาคม 2554 พายุดีเปรสชัน นาลแก เคลื่อนตัวอยู่บริเวณอ่าวตังเกี๋ย มีศูนย์กลางอยู่ห่างประมาณ 150 กิโลเมตร ทางทิศตะวันออกของเมืองวิญ ประเทศเวียดนาม หรือที่ละติจูด 18.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 108.0 องศาตะวันออก มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางประมาณ 55 กม./ชม. และเคลื่อนตัวทางทิศตะวันตกอย่างช้าๆ หลังจากนั้นได้เคลื่อนขึ้นฝั่งประเทศเวียดนาม ตอนบนและอ่อนกำลังลงเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำในเวลาต่อมา







ภาพประกอบ 2.3 ทิศทางและช่วงเวลาการเกิดของลมมรสุม พายุจร และร่องมรสุม  
ที่พัดเข้าสู่พื้นที่ลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูล

## 2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเรดาร์ตรวจอากาศ

เรดาร์ (RADAR) ย่อมาจาก RAdio DeTection And RangIng เป็นการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ไมโครเวฟแล้วรับสัญญาณสะท้อนกลับจากวัตถุที่ต้องการตรวจหา จากการศึกษาพบว่าเรดาร์ตรวจอากาศสามารถใช้ตรวจวัดวัตถุที่เป็นเป้าหมายได้ทั้งทิศทางและระยะทางที่วัตถุที่เป็นเป้าหมายตั้งอยู่ (Battan,1973) หลักการทำงานของเรดาร์จะทำการส่งสัญญาณโดยอาศัยการส่งคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ไมโครเวฟซึ่งถือว่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายสู่บรรยากาศด้วยความเร็วแสง ( $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที) และมีผลกระทบต่อวัตถุที่อยู่ตามแนวเส้นทางเดินของเรดาร์ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบวัตถุใดๆ จะมีผลทำให้เกิดการกระจาย การเบี่ยงเบนและการหักเหของคลื่น ซึ่งจะนำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาระยะทางและความเร็วของวัตถุ นอกจากนี้ยังใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายที่ต้องการวัดซึ่งสัมพันธ์กับจุดอ้างอิงที่เราทราบค่า โดยการนำเอาคลื่นดังกล่าวมารวมกันเป็นบีมแล้วส่งผ่านสายอากาศของเรดาร์ ระบบเรดาร์มีจุดเด่นตรงที่สามารถวัดระยะทางได้อย่างรวดเร็วซึ่งไม่มีเทคนิควิธีการอื่นสามารถทำได้เท่าวิธีการนี้ ระบบเรดาร์สมัยใหม่ยังสามารถดึงเอาข้อมูลอย่างอื่นจากสัญญาณสะท้อนของวัตถุได้อีกด้วย

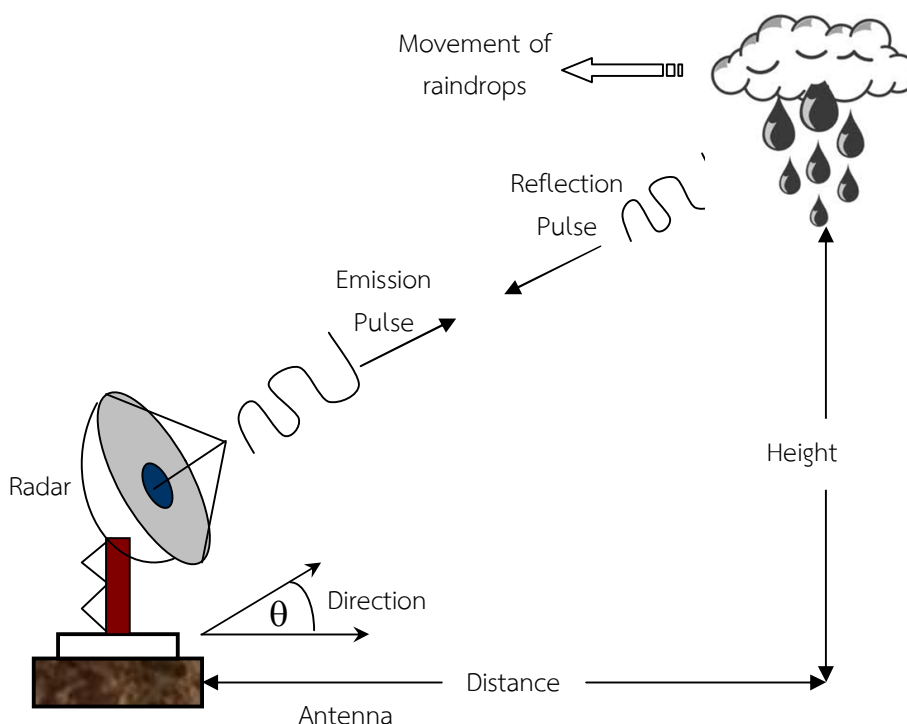
หลักการทำงานของเรดาร์โดยทั่วไปเริ่มจากอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณทำการผลิตคลื่นวิทยุความถี่สูง หรือคลื่นไมโครเวฟ ส่งไปยังสายอากาศส่งคลื่น โดยขนาด ลักษณะ และคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน การส่งคลื่นจะส่งไปในลักษณะของบีม (Beam) ซึ่งเปลี่ยนแปลงทิศทางตามการหมุน หรือการเคลื่อนที่ของสายอากาศ เพื่อให้คลื่นกระจายออกไปโดยรอบเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจหาวัตถุที่ต้องการวัด โดยคลื่นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง (ในกรณีที่ส่งผ่านอากาศ) เมื่อคลื่นตกกระทบวัตถุ จะเกิดการสะท้อนสัญญาณ และมีสัญญาณบางส่วนสะท้อนกลับมายังตัวจันรับสัญญาณเรดาร์ แล้วจึงจะส่งต่อไปยังอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณเพื่อจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนที่จะทำการขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ส่งเพื่อให้ได้ระดับของสัญญาณที่เหมาะสมก่อนนำไปวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลต่อไป ภาพประกอบ 2.4 แสดงหลักการทำงานของเรดาร์

เรดาร์ตรวจอากาศเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสภาพอากาศเช่น ปริมาณฝน ปริมาณน้ำในบรรยากาศ ตลอดจนตรวจวัดตำแหน่งศูนย์กลางของพายุหมุนเขตร้อนเมื่อศูนย์กลางของพายุเคลื่อนเข้ามาในรัศมีการวัดของเรดาร์ เรดาร์ตรวจอากาศมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะของความยาวคลื่น (Collier,1996) ดังแสดงในตาราง 2.3

ระบบการตรวจวัดเรดาร์จะใช้ช่วงความถี่ประมาณ 220 MHz ถึง 35GHz ดังแสดงแถบความถี่ที่เรดาร์ใช้งาน แต่ยังมีช่วงความถี่อื่นที่เรดาร์สามารถใช้งานได้ การใช้งานระบบเรดาร์ในแต่ละช่วงความถี่ โดยทั่วไปสรุปได้ดังนี้







ภาพประกอบ 2.4 หลักการทำงานของเรดาร์

HF ใช้กับเรดาร์นำวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวเส้นขอบฟ้า เช่น เครื่องบิน ขีปนาวุธและเรือ รวมถึงการวัดในระยะไกลๆ แต่จะให้ความชัดเจนของรายละเอียดน้อย เรียกว่า Over The Horizon radar (OTH) มักใช้วัดระยะทางในมหาสมุทร

VHF และ UHF ใช้วัดระยะไกลหรือจับการเคลื่อนที่ในระดับแนวเส้นสายตา (Line of sight) แต่ให้ความชัดเจนของรายละเอียดน้อยถึงปานกลาง ประสิทธิภาพการวัดไม่ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ

L – Band วัดการเคลื่อนที่ในระยะไกลและควบคุมการจราจร ประสิทธิภาพในการวัดใช้ได้ ในสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

S – Band วัดการเคลื่อนที่ในระยะไกล ประสิทธิภาพการวัดได้ในสภาพอากาศที่มีฝนตกหนักหรือมีหิมะ

C – Band วัดการเคลื่อนที่ในระยะไกล และตรวจหาวัตถุระยะไกลได้ดี ประสิทธิภาพการวัดใช้ได้ดีในสภาพอากาศที่มีฝนตกน้อยหรือปานกลาง

X – Band วัดการเคลื่อนที่ในระยะไกล สภาพอากาศแจ่มใสและจะลดประสิทธิภาพการวัดลงเมื่อมีฝนตก

Ku และ Ka– Band ตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ในระยะไกล ใช้ได้กับทุกสภาพอากาศ ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้ความชัดเจนทางรายละเอียดสูง

K – Band ใช้วัดการระเหยของน้ำ (ย่านความถี่นี้ใช้งานน้อยมาก)

V , W และ mm วัดได้ระยะไกลได้ดี เมื่อสภาพอากาศแจ่มใส ถ้ามีฝนตกจะถูกจำกัดระยะการวัด ใช้งานทางด้านทหารและการทดลองตลอดจนการสำรวจข้อมูลระยะไกล



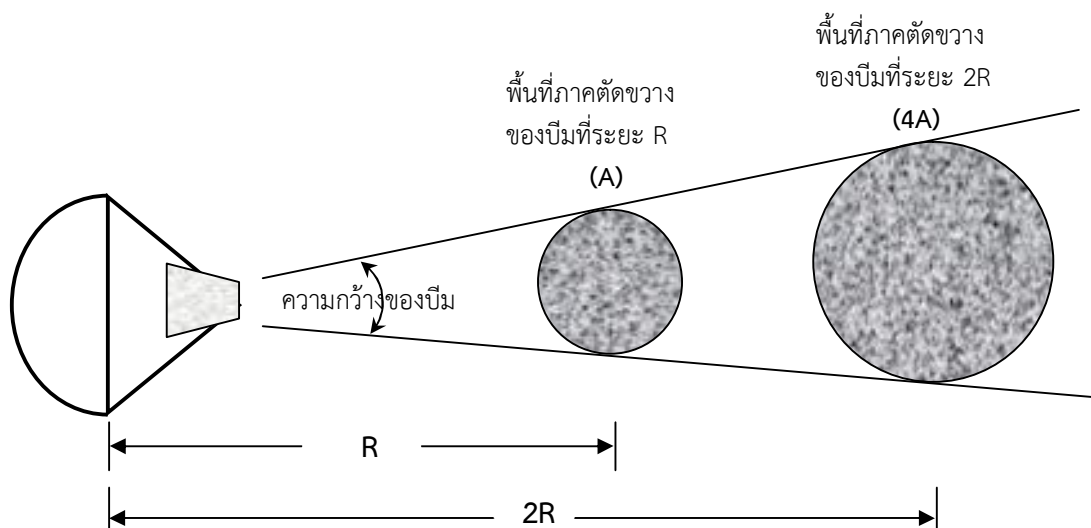
ตาราง 2.3 ลักษณะและการใช้งานของเรดาร์ตรวจอากาศแต่ละประเภท

Band	Characteristics		Application
	Wave length (cm.)	frequency (GHz)	
L	15-30	1-2	Mostly used for clear air turbulence studies
S	8-15	2-4	- Useful for and far range weather observation - Best suitable for tropical and subtropical region (Heavy Rain) - High Cost
C	4-8	4-8	- Best used for short range weather observation - Both application for small scale urban area and far-reaching measurement.
X	2.5-4	8-12	- According to the smaller wavelength, it is more sensitive to detect small particles, so it is used for cloud development studies - Best for light rain -Only used for short range weather observation - Low cost
K	0.75-1.2	1.7-2.5	-More sensitive than X band - Not widely used for weather observation because of its strong absorption line in water vapor

### 1. สมการเรดาร์

สมการเรดาร์เกี่ยวข้องกับระยะทางของเรดาร์ คุณลักษณะของเครื่องส่ง เครื่องรับ สายอากาศ วัตถุที่ต้องการวัดและสภาวะแวดล้อมอื่นๆซึ่งสมการเรดาร์ไม่เพียงแต่มีประโยชน์ในการกำหนดระยะทางที่ไกลที่สุดที่เรดาร์สามารถวัดได้ แต่ยังเป็นตัวช่วยให้เข้าใจระบบการทำงานของเรดาร์ และยังเป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบเรดาร์อีกด้วย สมการเรดาร์ที่สามารถพิจารณาในรูปอย่างง่าย ๆ ประกอบด้วยค่า Power density คือ ค่ากำลังงานที่ตกกระทบวัตถุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบ มีค่าเท่ากับกำลังงานที่เรดาร์ใช้ส่งคลื่นหารด้วยพื้นที่ของปริมในระยะทางตรงตำแหน่งที่วัตถุที่วัดอยู่ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5





ภาพประกอบ 2.5 ระยะทางและพื้นที่ใช้หาค่า power density

พื้นที่ของลำบีมที่ระยะทางใดๆ เป็นพื้นที่ของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางหารด้วยอัตราขยายของสายอากาศ ค่า power density เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{P}{A_F} = \frac{P_r}{4\pi R_T^2 G_T} \quad (2.1)$$

โดยที่

$\frac{P}{A_F}$  คือ Power density (วัตต์/ตร.ม.)

$R_T$  คือ ระยะทางจากเครื่องส่งไปยังเป้าหมาย (ม.)

$4\pi R_T^2$  คือ พื้นที่ผิวของทรงกลม รัศมี ( $R_T$ ) (ตร.ม.)

$G_T$  คือ แทนแกนของสายอากาศ

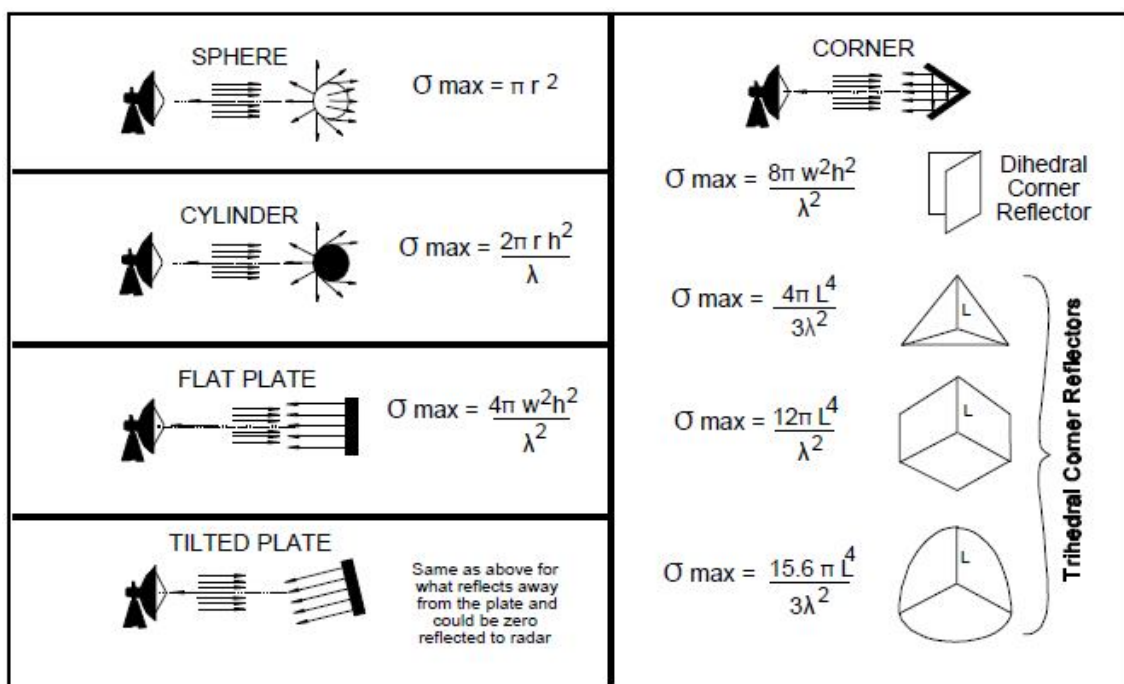
$P_r$  คือ กำลังงานที่ส่ง

ค่ากำลังงานที่สะท้อนจากวัตถุ (Target reflection) ในการแพร่กระจายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวกลางใดๆ (ถ้าตัวกลางเป็นบรรยากาศ ค่าอิมพีแดนซ์ ในบรรยากาศกรณี Free space มีค่าเท่ากับ 120) ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับโดยการเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นที่ส่งไปกระทบกับพื้นผิววัตถุ โดยลักษณะและทิศทางของคลื่นที่สะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุนั้นๆ เช่น ถ้าพื้นผิววัตถุเป็นทรงกลม จะเกิดการสะท้อนกลับในด้านเดียวกับคลื่นที่ตกกระทบ ทั้งนี้ทิศทางของการสะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางในการวางตัวของระนาบด้วย ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6 และจะเรียกส่วนของพลังงานที่คลื่นสะท้อนกลับในทิศทางของสายอากาศรับของเรดาร์ว่า การกระจายย้อนกลับ (Back scatter) ค่ากำลังงานที่สะท้อนจากวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ Power density และคุณสมบัติในการสะท้อนของวัตถุเรียกว่า ค่า Radar cross section (RCS) ของวัตถุ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



$$P_{Tgt} = \frac{P}{A_F} \sigma = \frac{P_T G_T}{4\pi R_T^2} \sigma \quad (2.2)$$

โดยที่  $P_{Tgt}$  คือ ประสิทธิภาพกำลังงานที่สะท้อนของวัตถุในทิศทางของเรดาร์ (วัตต์)  
 $\sigma$  คือ ค่า Radar cross section (RCS) ของวัตถุ (ตร.ม.)



ภาพประกอบ 2.6 ค่า RCS ของวัตถุขึ้นอยู่กับรูปร่างและทิศทาง

ที่มา : [http://www.microwaves101.com/encyclopedia/navy%20handbook/4.11%20radar%20cross-section%20\(rcs\).pdf](http://www.microwaves101.com/encyclopedia/navy%20handbook/4.11%20radar%20cross-section%20(rcs).pdf)

จากภาพประกอบ 2.6 จะเห็นว่าในกรณีที่วัตถุเป็นทรงกลมซึ่งกระจายกำลังงานในทุกทิศทางทำให้คลื่นที่สะท้อนกลับไปยังเรดาร์มีเป็นส่วนน้อย ทำให้ค่า RCS น้อย ถ้าวัตถุเป็นระนาบและทิศทางตั้งตรงกับเรดาร์ค่ากำลังงานในการสะท้อนกลับจะสะท้อนได้หมด ทำให้มีค่า RCS มาก ในกรณีที่วัตถุเป็นระนาบแต่วางเอียงไปจากเรดาร์ ทำให้ค่ากำลังงานที่สะท้อนกลับ สะท้อนไปไกลจากเรดาร์จึงทำให้ค่า RCS น้อยที่สุด

Back scatter propagation เป็นค่าพลังงานที่สะท้อนกลับอันเนื่องมาจากการแพร่กระจายคลื่นของวัตถุด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่น

ค่า power density ของคลื่นที่มีการสะท้อนกลับไปยังเรดาร์หาได้จากอัตราส่วนของค่ากำลังงานที่สะท้อนจากวัตถุกับพื้นที่ผิวทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางจากวัตถุไปยังเรดาร์ (พิจารณากรณีใช้สายอากาศรับ-ส่งร่วมกัน เพราะวาระยะทางจากสายอากาศส่งไปยังวัตถุมีค่าเท่ากับระยะทางจากวัตถุไปยังสายอากาศรับ) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



$$\frac{P}{A_B} = \frac{P_T G_T}{4\pi R_T^2} \sigma \frac{1}{4\pi R_R^2} \quad (2.3)$$

โดยที่

$P/A_B$  เป็นความหนาแน่นของกำลังงานที่สะท้อนกลับจากวัตถุไปยัง  
 สายอากาศทางด้านรับ (Back scatter power density) (วัตต์/ตร.ม.)  
 $R_R$  เป็นระยะทางจากวัตถุไปยังสายอากาศทางด้านรับของเรดาร์ (เมตร)

ค่าอัตราการขยายของสายอากาศ (Antenna gain) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญทางด้าน  
 เครื่องส่ง ส่วนลักษณะพื้นที่ของวัตถุที่สามารถให้ค่าการสะท้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Effective area)  
 นั้นจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญทางด้านรับ ดังนั้นสายอากาศทุกชนิดต้องพิจารณาค่าทั้งสองนี้ไปพร้อมๆ  
 กัน เพื่อให้การส่งและรับมีประสิทธิภาพมากที่สุด อัตราการขยายของสายอากาศเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G = \frac{4\pi A_E}{\lambda^2} \quad (2.4)$$

โดยที่

$G$  เป็นอัตราการขยายของสายอากาศ  
 $A_E$  พื้นที่ประสิทธิภาพ (Effective area) (ตร.ม.)  
 $\lambda$  ความยาวคลื่น (ม.)

ระบบเรดาร์ที่ใช้วัดข้อมูลในบรรยากาศแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เรดาร์ชนิดสำรวจชั้น  
 บรรยากาศ (Atmospheric radar) ซึ่งจะวัดสัญญาณสะท้อนของอนุภาคในบรรยากาศในสภาวะอากาศ  
 ปกติคือท้องฟ้าแจ่มใส (Clear air echoes) และเรดาร์ชนิดสำรวจชั้นอากาศ (Weather radar) จะใช้  
 วัดปริมาณฝนเป็นหลัก สำหรับข้อแตกต่างของเรดาร์ทั้งสองระบบนี้ แสดงได้ดัง ตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ข้อแตกต่างของเรดาร์สำรวจชั้นบรรยากาศและเรดาร์สำรวจอากาศ

ปัจจัย	เรดาร์สำรวจชั้นบรรยากาศ	เรดาร์สำรวจอากาศ
ความถี่ที่ใช้ในการทำงาน	HF (3-30 MHz) VHF (30-300 MHz) UHF (300-3 GHz)	SHF (3-30 GHz)
ขนาดของจานสายอากาศ	ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 10 – 300 เมตร	ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 2-10 เมตร
พื้นที่ในการวัด	ครอบคลุมพื้นที่ในแนวตั้ง ทำ การวัดโดยใช้มุมแคบๆ เทียบกับ มุมในแนวตั้ง	ครอบคลุมพื้นที่ในแนวระนาบมากถึง หลายร้อยกิโลเมตร วัดด้วยการ สแกนสายอากาศด้วยมุมเงย (Elevation angle) น้อยๆ



## 2. การคำนวณหาค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Reflectivity)

การตรวจวัดฝนโดยเรดาร์ตรวจอากาศอุตุนิยมวิทยาทำได้โดยการวัดความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Pr) ที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณในรูปค่าสะท้อนกลับเรดาร์ (Z) เมื่อมีการกระทบกับหยดน้ำฝนที่อยู่ในอากาศ สำหรับค่าการสะท้อนกลับที่ตรวจวัดได้นี้ จะถูกแปลงเป็นปริมาณความเข้มฝนที่ตก (R) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์และอัตราการตกของฝน (Z-R relationship) ซึ่งหาได้จากการปรับเทียบ (Calibration) ค่าการสะท้อนกลับที่วัดได้จากเรดาร์กับความเข้มฝนที่วัดได้จริงจากเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนที่ติดตั้งบนภาคพื้นดิน สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์และอัตราการตกของฝนนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของฝนและการกระจายตัวของขนาดหยดน้ำฝนที่ตก

$$Pr = C \left( \frac{Z}{r^2} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ Pr = ค่าความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้รับจากเครื่องรับสัญญาณเรดาร์  
 C = ค่าคงที่ของเรดาร์ ขึ้นอยู่กับชนิดเรดาร์แต่ละสถานี  
 R = ระยะห่างระหว่างปริมาตรอากาศหนึ่งหน่วยที่บรรจุเม็ดฝนที่สำรวจกับสถานีเรดาร์

ค่าสะท้อนกลับเรดาร์ (Z) จะแสดงในหน่วย มม.<sup>6</sup>/ม<sup>3</sup> โดยขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเม็ดน้ำภายในปริมาตรบรรยากาศหนึ่งหน่วยที่สำรวจ โดยมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการ 2.6

$$Z = \frac{\sum D^6}{V} \quad (2.6)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน  
 V = ปริมาตรบรรยากาศที่สำรวจ

โดยทั่วไปค่าสะท้อนกลับเรดาร์ (Z) จะมีค่าแปรเปลี่ยนระหว่างตัวเลขหนึ่งถึงหกหลัก ดังนั้นจึงนิยมแสดงค่า Z ในหน่วยเดซิเบล ดังนี้

$$\text{dBz} = 10 \log_{10} Z \quad (2.7)$$

ซึ่งค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ สามารถแสดงผลเป็นชั้นสีต่างๆในภาพเรดาร์ โดยแสดงในหน่วยของเดซิเบล หรือ dBz

Marshall & Palmer (1948) เสนอความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของจำนวนเม็ดฝนต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดฝน ดังสมการ 2.8

$$N_D = N_0 e^{-\Lambda D} \quad (2.8)$$



เมื่อ  $D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน  
 $N_D$  = จำนวนเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง  $D$  และ  $D+\delta D$   
 ภายในปริมาตรหนึ่งหน่วย  
 $N_0$  = ค่าคงที่  
 $\Lambda = 41 R^{-0.21}$   
 $R$  = ความเข้มฝน (Rainfall intensity)

ดังนั้นข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์สามารถแสดงผลได้ในเทอมของ

$$Z = \int_0^{\infty} N_0 e^{-\Lambda D} D^6 dD \quad (2.9)$$

จากสมการต่างๆข้างต้นจะเห็นว่าจะสามารถคำนวณความเข้มฝนได้ ถ้าทราบปริมาตรจำนวนและความเร็วในการตกของฝนที่อยู่ในปริมาตรหนึ่งหน่วย ดังนั้น

$$R = \int_0^{\infty} N_0 e^{-\Lambda D} \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2}\right)^3 v(D) dD \quad (2.10)$$

เมื่อ  $v(D)$  = ความเร็วในการตกของฝน (Terminal velocity)

ความเร็วในการตกของฝนสภาพอากาศที่หยุดนิ่ง (still air) จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน ทำให้สามารถใช้สมการยกกำลัง (Power law) ในการคำนวณค่าความเร็วในการตกของฝนโดยประมาณได้ ดังนั้นสมการยกกำลังของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ( $Z$ ) และความเข้มฝน ( $R$ ) สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.11 ( Marshall and Palmer., 1948; Joss et.al.,1970 ; Battan., 1973)

$$Z = aR^b \quad (2.11)$$

การหาค่า  $a$  และ  $b$  ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ฟังก์ชัน ทำได้โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ในหน่วย มม.<sup>6</sup>/มม.<sup>3</sup> และอัตราการตกของฝนหน่วย มม./ชม. หรือได้มาจากการหาพารามิเตอร์ของการแพร่กระจายของเม็ดฝน (ศิริลักษณ์, 2550)

จากสมการ 2.9 และ สมการ 2.10 จะเห็นว่าค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ( $Z$ ) จะแปรผันตรงกับผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำยกกำลังหก ( $D^6$ ) ในขณะที่ความเข้มฝน ( $R$ ) จะแปรผันกับผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำยกกำลังสาม ( $D^3$ ) ดังนั้นกลุ่มเมฆฝนที่มีการกระจายตัวของ



เมื่อน้ำแตกต่างกัน อาจจะทำให้ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เหมือนกันแต่มีความเข้มฝนที่ต่างกัน (ศิริลักษณ์, 2551)

ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและความเข้มฝนของนักวิจัยอื่นๆ ที่เคยมีการศึกษาไว้แสดงตัวอย่างอยู่ในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและความเข้มฝน

Z-R relationship	Type of rainfall	reference
$Z = 250R^{1.2}$	Tropical rain	Rosenfeld et.al.(1973)
$Z = 140R^{1.5}$	Drizzle	Joss et. al.(1970)
$Z = 250R^{1.5}$	Widespread rain	Joss et. al.(1970)
$Z = 500R^{1.5}$	Thunderstorm rain	Joss et. al.(1970)
$Z = 200R^{1.6}$	Stratiform rain	Marshall and Palmer (1948)
$Z = 36R^{1.71}$	Orographic rain	Blanchard (1953)

### 3. ผลิตภัณฑ์ของภาพเรดาร์

#### 3.1 Plan Position Indicator (PPI)

เป็นภาพอุตุนิยมวิทยาที่แสดงความใกล้เคียงการตรวจวัดจริงด้วยเรดาร์ตรวจอากาศจากข้อมูล Volume scan ที่มุมยกของจานสายอากาศคงที่ การใช้ข้อมูลเรดาร์แบบ PPI จะมีปัญหาเรื่องความโค้งของผิวโลก (Earth curvatures) กล่าวคือความสูงของการตรวจวัดจะสูงจากพื้นดินมากขึ้นเรื่อยๆตามระยะห่างจากสถานีเรดาร์เนื่องจากความโค้งของโลก

#### 3.2 Constant Altitude Plan Position Indicator (CAPPI)

เป็นภาพอุตุนิยมวิทยาที่ผลิตจากข้อมูลเชิงปริมาตร ทำการตรวจวัดโดยใช้มุมยกของจานสายอากาศหลายๆมุม จะทำให้ได้ผลการตรวจวัดแม่นยำตามระดับความสูงที่กำหนด (ภาพประกอบ 2.7) เช่น CAPPI ที่ระยะ 2.5 กิโลเมตร หมายถึงข้อมูลที่ได้จากการตัดข้อมูลเชิงปริมาตรที่ระดับ 2.5 กิโลเมตร เป็นต้น นอกจากนี้การใช้ข้อมูลเรดาร์ CAPPI ยังช่วยลดปัญหา Ground clutter ซึ่งมักเกิดขึ้นกับข้อมูลเรดาร์ PPI ที่มุมยกต่ำๆ ตัวอย่างภาพเรดาร์แบบ CAPPI แสดงดังภาพประกอบ 2.8

#### 3.3 Echo Height (EHT)

เป็นภาพอุตุนิยมวิทยาที่ผลิตจากข้อมูลเชิงปริมาตร เป็น standard product ที่เป็นประโยชน์มาก สามารถแสดงภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่ให้ข้อมูลความสูง (Height) ของกลุ่มเมฆฝนได้ดี

#### 3.4 Vertical Integrated Liquid Water Content (VIL)

เป็นภาพอุตุนิยมวิทยาที่ผลิตจากข้อมูลเชิงปริมาตร เป็น standard product ที่เป็นประโยชน์มาก ซึ่งจะแสดงภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่ให้ข้อมูลปริมาณน้ำในก้อนเมฆ (Liquid Water Content : LWC) ทางแนวตั้ง (Vertical Integrated Liquid : VIL) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยประเมิน

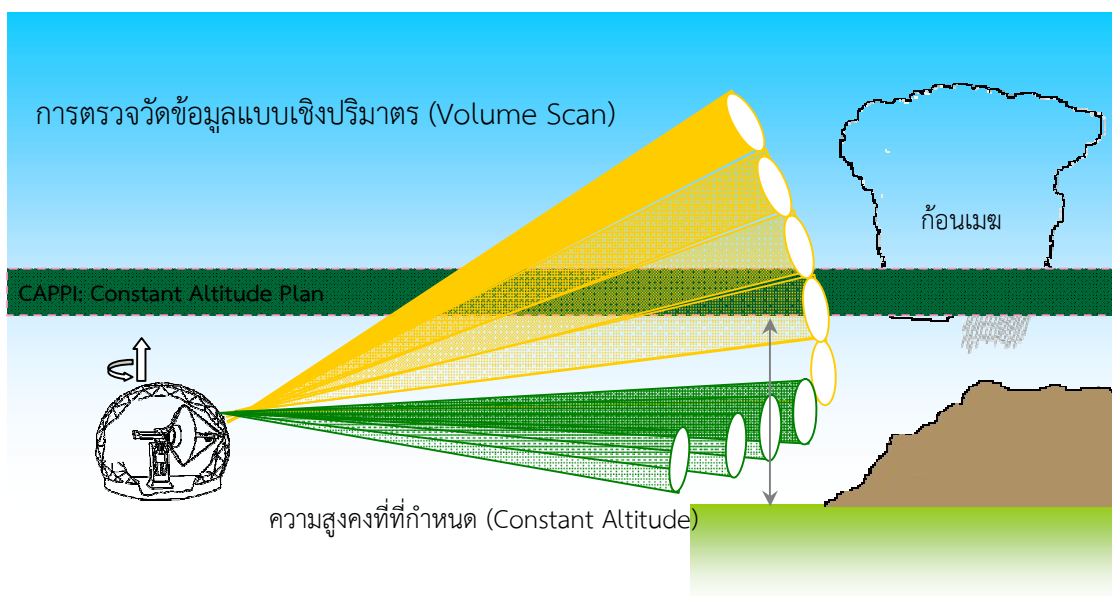




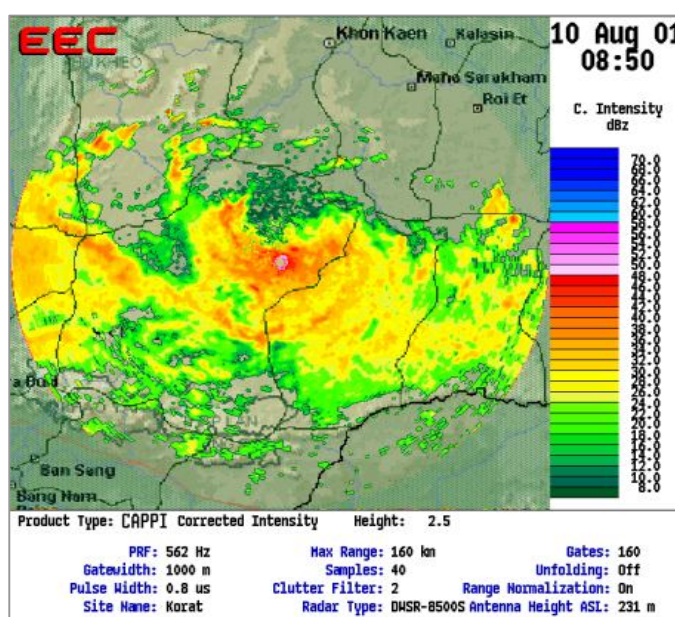
ปริมาณน้ำในก้อนเมฆจากสมการความสัมพันธ์ของผลตรวจวัดกลุ่มฝนเรดาร์ (Z) กับปริมาณน้ำในก้อนเมฆ (M) : Z-M relationship

### 3.5 Maximum Display (MAX)

เป็นภาพอุตุนิยมวิทยาที่ผลิตจากข้อมูลเชิงปริมาตร เป็น standard product ที่ เป็นประโยชน์มาก ซึ่งจะแสดงภาพทางอุตุนิยมวิทยาของข้อมูลโครงสร้าง 3 มิติของกลุ่มเมฆฝน โดยการ มองที่ละมิติคือมองมุมสูง มองทางทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก และมองจากทิศใต้ไปทิศเหนือ



ภาพประกอบ 2.7 การตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ชนิด CAPPI  
ที่มา : [http://km.opsmoac.go.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=43](http://km.opsmoac.go.th/ewt_dl_link.php?nid=43)



ภาพประกอบ 2.8 ตัวอย่างภาพเรดาร์ชนิด CAPPI วันที่ 1 ส.ค. 2545 เวลา 08.50 น.  
(ที่มา : สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, 2552)



## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมการ Z-R

Marshall และ Palmer (1948) ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ a และ b ผลการศึกษาพบว่าได้สมการเป็น  $Z = 200R^{1.6}$  ต่อมาสำนักงานบริการด้านภูมิอากาศแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำสมการของ Marshall and Palmer (1948) ไปใช้กับเรดาร์ WSR-57

Joss and Waldvogel (1989) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์และค่าความเข้มฝนที่วัดจากสถานีวัดน้ำฝน ผลการศึกษาพบว่าได้สมการความสัมพันธ์ Z-R 3 รูปแบบดังนี้

$$Z = 140R^{1.5} \text{ for drizzle}$$

$$Z = 250R^{1.5} \text{ for widespread rain}$$

$$Z = 500R^{1.5} \text{ for thunderstorm rain}$$

Willis และคณะ (1999) ศึกษาความสัมพันธ์  $Z=aR^b$  โดยใช้เรดาร์ WSR-88D ร่วมกับ Disdrometer และ Capacitive gauge ในการตรวจวัดฝนและคำนวณพารามิเตอร์ a และ b โดยวิธี Regression และ Probability Matching Method (PMM) ได้ผลการศึกษาดังนี้

วิธีสมการถดถอย (Regression)

กรณีที่ 1  $Z = 209R^{1.89}$  ค่า Z และ R วัดได้จาก Disdrometer

กรณีที่ 2  $Z = 222R^{14.2}$  ค่า Z วัดได้จาก Disdrometer และ R วัดได้จาก Capacity gauge

วิธี Probability Matching Method (PMM)

กรณีที่ 1  $Z = 318R^{1.17}$  ค่า Z วัดจากเรดาร์ และ R วัดได้จาก Disdrometer

กรณีที่ 2  $Z = 316R^{1.18}$  ค่า Z วัดจากเรดาร์ และ R วัดได้จาก Capacity gauge

Lee และคณะ. (2001) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Z-R ที่เมือง Busan ประเทศเกาหลีใต้ โดยใช้เรดาร์ DWSR-88C ร่วมกับ Disdrometer ในการตรวจวัดปริมาณฝนจากนั้นคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ a และ b โดยวิธี Linear regression ได้ค่าความสัมพันธ์  $Z = 200R^{1.6}$  และเสนอแนะว่าค่าดังกล่าวเหมาะสมที่จะใช้สำหรับฝนแบบ Stratiform

Moraes และคณะ (2002) ใช้เรดาร์ทำการศึกษาใน Eastern coast of Northeastern Brazil เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ Z-R ของฝนแบบ Stratiform และ ฝนแบบ Convective โดยใช้ Linear regression ผลการศึกษาพบว่าฝนแบบ Stratiform rainfall ค่าพารามิเตอร์ a อยู่ระหว่าง 134 - 269 และ ค่าพารามิเตอร์ b อยู่ระหว่าง 1.22 - 1.38 ฝนแบบ Convective rainfall ค่าพารามิเตอร์ a อยู่ระหว่าง 31 - 36 และ ค่าพารามิเตอร์ b อยู่ระหว่าง 1.40 - 1.90

วรารุจ (2545) ศึกษาปรับแก้ความถูกต้องในการวัดปริมาณฝนโดยเรดาร์ที่สถานีเรดาร์อมก๋อย โดยใช้อัตราการตกของฝน (R) เป็นตัวแปรอิสระและค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Z) เป็นตัวแปรตาม โดยใช้สมการ  $Z = 300R^{1.4}$  ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเรดาร์อมก๋อยกับปริมาณฝนที่วัดจากเครื่องวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปิงตอนบน และปรับแก้ด้วยค่าวัดปริมาณฝนจากเครื่องมือวัดน้ำฝนที่เป็นข้อมูลสถิติฝนในช่วงเวลาและพื้นที่เดียวกัน พบว่าวิธีการปรับแก้โดยใช้สมการถดถอยอย่างง่าย (simple



regression model) จะได้ผลดีที่สุด ผลการศึกษาสามารถนำมาปรับแก้ความถูกต้องของค่าพลังงานการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ตรวจสอบอากาศฝนหลวงที่สถานีอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ได้ดียิ่งขึ้น

ศิริลักษณ์ (2549) ได้ศึกษาหาปริมาณฝนจากเรดาร์โดยการแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นความเข้มฝน (R) โดยใช้สมการ Z-R นำมาเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน พบว่ายังมีความลำเอียงเนื่องจากความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดน้ำฝนทั้งสองชนิด จึงทำการปรับแก้โดยการนำค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ที่คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนจากเรดาร์ (G/R) ไปคูณกับฝนเรดาร์ที่ได้ครั้งแรกจากสมการ Z-R และทำการศึกษาผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้คำนวณค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ พบว่าการใช้ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ที่คำนวณได้โดยข้อมูลน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลแล้ว ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยตลอดเหตุการณ์ที่ได้จากเรดาร์หลังปรับแก้แล้วมีค่าลดลงถึง 12.61% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลที่ไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล

รัชนิวรรณ (2549) ทำการประเมินความสัมพันธ์ Z-R ของสถานีเรดาร์อมก๋อยพ พบว่าจากการวิเคราะห์โดยวิธี Probability Matching Method (PMM) ได้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมคือ  $Z = 300R^{1.42}$  ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9725 และจากการวิเคราะห์โดยวิธี Regression ได้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมคือ  $Z = 96R^{1.71}$  ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8607

รัชนิวรรณ (2549) ทำการปรับแก้ข้อมูลความเข้มฝนจากเรดาร์ด้วยค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย โดยทำการปรับแก้ข้อมูลเรดาร์แบบ Rain gauge – calibrated radar data ผลการศึกษาพบว่า การใช้สมการ  $Z = 84R^{1.75}$  มีความเหมาะสมกว่าสมการ  $Z = 300R^{1.42}$  ทั้งในกรณีวิเคราะห์แต่ละสถานีวัดน้ำฝนหรือของทุกสถานีรวมกัน

ศิริลักษณ์ (2550) นำเสนอวิธีการหาความสัมพันธ์ Z-R ของสถานีเรดาร์ภาคีเจริญ โดยใช้ข้อมูลพลังงานการสะท้อนกลับของเรดาร์แบบ PPI และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R แต่ละเหตุการณ์ฝน ผลการศึกษาพบว่าค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงประมาณ 5 dBz และสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของสถานีเรดาร์ภาคีเจริญ หลังจากบวกค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจวัดด้วยค่า 5 dBz คือ  $Z = 128R^{1.5}$  และการประเมินความเข้มฝนจากสถานีเรดาร์ภาคีเจริญโดยการใช้สมการ  $Z = 128R^{1.5}$  เพื่อแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มีการบวกเพิ่มด้วยค่า 5 dBz ทำให้ความเข้มฝนที่ได้จากเรดาร์มีความใกล้เคียงกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

Thanapon (2007) ทำการหาค่าความสัมพันธ์ Z-R ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แจ่มที่อยู่ในเขตฝนลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา โดยนำข้อมูลเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Window Correlation Matching Method (WCMM) และจากผลการวิเคราะห์พบว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมคือ  $Z = 18.05R^{1.45}$  และสรุปว่าการใช้วิธี WCMM ในการหาสมการความสัมพันธ์ Z-R จะช่วยในการประเมินปริมาณฝนได้ถูกต้องยิ่งขึ้น เนื่องจากวิธีดังกล่าวจะช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจาก collocation and timing error ระหว่างฝนที่วัดด้วยเรดาร์ซึ่งเป็นฝนที่อยู่ในอากาศกับฝนที่อยู่บนพื้นดินที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน



Pumpim (2008) ทำการศึกษาสมการความสัมพันธ์ Z-R ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยนำข้อมูลฝนเฉลี่ยจากเรดาร์อมก้อยและข้อมูลฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนรายวันมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear regression จากผลการวิเคราะห์ได้ค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมคือ  $Z = 74R^{1.6}$  ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่และยังเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะช่วยในการวางแผนป้องกันน้ำท่วมต่อไป

วิรัช (2551) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับขั้น (cascade model) ร่วมกับแนวทางการผสมข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ามาใช้ในการปรับปรุงข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวจะช่วยทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ในประเทศไทยต่อไป

ศิริลักษณ์ และคณะ (2552) ได้ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศโดยเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และศึกษาลักษณะเบื้องต้นทางเมฆฟิสิกส์และพลศาสตร์ของกลุ่มฝนชนิดต่างๆในบริเวณลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติ 50 สถานีภายในรัศมีเรดาร์ฝนหลวงพิมาย และข้อมูลภาพเรดาร์แบบ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร รัศมีการตรวจวัด 160 กิโลเมตร ของเหตุการณ์ฝนปี พ.ศ.2546-2548 จำนวน 54 เหตุการณ์ ซึ่งสามารถคัดแยกชนิดกลุ่มเมฆฝนออกเป็น 5 ชนิด ของกลุ่มเมฆฝนฤดูร้อนและฤดูฝน ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลภาพเรดาร์แบบ CAPPI สามารถนำมาใช้ศึกษาลักษณะทางกายภาพแนวราบของกลุ่มเมฆฝนแต่ละชนิดได้ และพบว่ากลุ่มเมฆฝนทั้ง 5 ชนิดมีลักษณะทางกายภาพแนวราบแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะการเกิดกลุ่มเมฆฝนแต่ละชนิด ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะเบื้องต้นทางเมฆฟิสิกส์และพลศาสตร์ของกลุ่มเมฆฝนซึ่งวิเคราะห์ได้จากการใช้ภาพเรดาร์ชนิด CAPPI ประกอบด้วยพื้นที่ฝนปกคลุม ความเร็วการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน วงจรชีวิตของกลุ่มฝน สัมประสิทธิ์การกระจายเชิงพื้นที่ของความชื้นฝน และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เฉลี่ย ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้นำไปใช้ในการกำหนดเกณฑ์การคัดแยกชนิดกลุ่มฝนโดยใช้ข้อมูลจากภาพเรดาร์ชนิด CAPPI เพื่อให้สามารถคัดแยกชนิดกลุ่มฝนได้อัตโนมัติ จากผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้เกณฑ์การคัดแยกกลุ่มเมฆฝนที่เสนอแนะกับเหตุการณ์ฝนอื่นๆที่ไม่ได้ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคัดแยกชนิดของกลุ่มฝนพบว่าการใช้เกณฑ์การคัดแยกชนิดเมฆฝนที่เสนอแนะสามารถคัดแยกชนิดกลุ่มเมฆฝนได้ถูกต้องประมาณ 83% เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำในกลุ่มเมฆฝนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้สมการ Z-R ของกลุ่มเมฆฝนชนิดต่างๆแตกต่างกัน

ในการศึกษารั้งนี้ยังได้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ของกลุ่มเมฆฝนชนิดต่างๆ โดยพิจารณาให้ค่าพารามิเตอร์ b มีค่าคงที่เท่ากับ 1.5 และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่ทำให้ผลรวมของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ระหว่างฝนที่ได้จากเรดาร์และสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกันมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งได้สมการความสัมพันธ์ Z-R สำหรับกลุ่มเมฆฝนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือดังนี้

กลุ่มเมฆฝนคิวมูลอนิมบัส	ฤดูฝน	$Z = 55.19R^{1.5}$
กลุ่มเมฆฝนคิวมูลัส	ฤดูฝน	$Z = 29.06R^{1.5}$
กลุ่มเมฆฝนนิมโบสเตรทัส	ฤดูฝน	$Z = 207.97R^{1.5}$
กลุ่มเมฆฝนคิวมูลอนิมบัส	ฤดูร้อน	$Z = 89.71R^{1.5}$



กลุ่มเมฆฝนคิวมูลัส	ฤดูร้อน $Z = 37.50R^{1.5}$
กลุ่มเมฆฝนรวมเฉลี่ย	ฤดูฝน $Z = 55.77R^{1.5}$
กลุ่มเมฆฝนรวมเฉลี่ย	ฤดูร้อน $Z = 69.13R^{1.5}$
กลุ่มเมฆฝนรวมเฉลี่ย	ทุกฤดู $Z = 56.50R^{1.5}$

ผลการศึกษาพบว่าการใช้สมการ Z-R ของกลุ่มเมฆฝนที่เสนอแนะทำให้ได้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์มีค่าใกล้เคียงกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่าการใช้สมการ Z-R ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ( $Z = 300R^{1.4}$ ) และสมการ  $Z = 200R^{1.6}$  (Marshall and Palmer, 1948) ในทุกกลุ่มของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาสมการ Z-R และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้สมการ Z-R นอกจากนี้ยังพบว่าความลำเอียงของปริมาณฝนจากสถานีเรดาร์พิมาย (อัตราส่วน G/R) มีค่าเปลี่ยนแปลงตามชนิดของกลุ่มเมฆฝน โดยในกรณีที่ใช้สมการ Z-R เฉลี่ย (climatological Z-R relationship) ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงพิมาย ( $Z = 56.5R^{1.5}$ ) จะทำให้อัตราส่วน G/R มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.3 ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฝนที่ได้จากเรดาร์สถานีพิมายมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน

สมการ Z-R ของกลุ่มฝนชนิดต่างๆที่เสนอแนะในข้างต้นได้นำมาใช้ประเมินฝนจากเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งพบว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวโมโลนิมบัสในฤดูฝนก่อให้เกิดปริมาณน้ำฝนและพื้นที่ฝนครอบคลุมมากที่สุด เหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวโมโลนิมบัสในฤดูร้อนจะก่อให้เกิดอัตราการตกของฝนมากที่สุด สำหรับเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนนิมโบสเตรทัสก่อให้เกิดปริมาณน้ำฝนและอัตราการตกของฝนน้อยที่สุด ซึ่งเมฆฝนดังกล่าวมักไม่ค่อยเกิดในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อปฏิบัติการฝนหลวงตลอดจนการใช้สมการ Z-R ที่เสนอแนะสำหรับกลุ่มเมฆฝนแต่ละชนิด เพื่อประเมินปริมาณฝนจากเรดาร์จะทำให้ได้ปริมาณฝนที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้สมการ  $Z = 300R^{1.4}$  และ  $Z = 200R^{1.6}$

## 2.4 สมการความสัมพันธ์ของ Z-R ของฝนแบบ Convective และ stratiform

พารามิเตอร์ a และ b ของสมการ Z-R จะแปรเปลี่ยนโดยขึ้นอยู่กับการกระจายขนาดของเม็ดฝนของพายุฝนแต่ละชนิด (stratiform และ convective) ซึ่งจะมีค่าการกระจายตัวของอนุภาคที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยจากลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และฤดูกาลในพื้นที่ต่างๆที่มีความแตกต่างกัน ทำให้รูปแบบของสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมต่อแถบพื้นที่ต่างๆจึงมีความแตกต่างกันไป (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2552)

Horton (1996) ได้เสนอสมการ Z-R ที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับพายุฝนที่เกิดในกรณีต่างๆดังแสดงในตาราง 2.4

Lee และ Kim (1996) ศึกษาตรวจวัดลักษณะและความรุนแรงพายุฝนแบบ convective ในพื้นที่คาบสมุทรเกาหลี พบว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมที่สุดคือ  $Z = 250R^{1.2}$

Edkilts (2005) ได้นำเสนอระบบการประเมินและทำนายสภาพอากาศ โดยใช้เรดาร์ตรวจอากาศของสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำการจำแนกสมการความสัมพันธ์ Z-R จำนวน 4 รูปแบบ คือ

Snow	$Z = 75R^2$
Convective	$Z = 300R^{1.4}$





$$\begin{aligned} \text{Stratiform} & \quad Z = 200R^{1.6} \\ \text{Tropical} & \quad Z = 230R^{1.25} \end{aligned}$$

Nicole และคณะ (2004) ทำการประเมินประสิทธิภาพของเรดาร์ตรวจอากาศโดยพิจารณาจากผลการตรวจวัด จากนั้นจึงทำการปรับแก้สมการความสัมพันธ์ Z-R ให้มีความเหมาะสมร่วมกับข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดปริมาณฝนภาคพื้นดิน โดยเลือกพื้นที่ศึกษาทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศส จากการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์ a และ b ลดลงจากเดิม โดยพารามิเตอร์ a เท่ากับ 280 – 320 พารามิเตอร์ b เท่ากับ 1.42 สำหรับฝนแบบ convective และ พารามิเตอร์ a เท่ากับ 216 พารามิเตอร์ b เท่ากับ 1.54 สำหรับฝนแบบ Mix synoptic condition

Cristina และ Moraes (2004) ศึกษาสมการความสัมพันธ์ Z-R ในแถบพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล โดยเลือกช่วงเวลาของข้อมูล 10 เดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึง เดือนกันยายน ซึ่งครอบคลุมช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน ผลการศึกษาพบว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R จะมีค่าแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิอากาศบริเวณพื้นที่และช่วงเวลาการเกิดพายุ สรุปได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{General relationship} & \quad Z = 175R^{1.29} \\ \text{Stratiform rainfall} & \quad Z = 167.8R^{1.26} \\ \text{Convective rainfall} & \quad Z = 65.46R^{1.69} \end{aligned}$$

ตาราง 2.6 สมการ Z-R ที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับพายุฝนที่เกิดในกรณีต่างๆ

ลักษณะความสัมพันธ์	ความเหมาะสมของการเลือกใช้	แนะนำการเลือกใช้
Marshall and Palmer ( $Z = 200R^{1.6}$ )	ฝนตกทั่วไปแบบ Stratiform	-
East-Cool Stratiform ( $Z = 130R^{2.0}$ )	ฝนตกแบบ stratiform ฤดูหนาว แถบทวีปซีก ตะวันออกเฉียง	ฝนตกแบบ Orographic แถบซีกตะวันออกเฉียง
West-Cool Stratiform ( $Z = 75R^{2.0}$ )	ฝนตกแบบ stratiform ฤดูหนาว แถบทวีปซีก ตะวันตก	ฝนตกแบบ Orographic แถบซีกตะวันตก
WSD-88D Convective ( $Z = 130R^{2.0}$ )	ฝนตกแบบ convective ฤดูร้อน	Other non-tropical convective
Rosenfeld-Tropical ( $Z = 250R^{1.2}$ )	ฝนตกแบบ convective ในแถบเมืองร้อน	

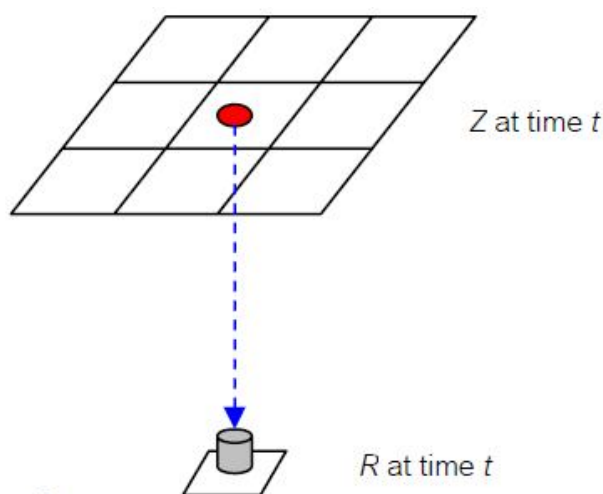
ที่มา : Holton (1996)



## 2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Z และ R

### 1. Traditional Matching Method (TMM)

วิธี TMM เป็นวิธีที่ทำการจับคู่ระหว่างค่า Z ที่อยู่เหนือในแนวตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและค่าฝนที่วัดจากสถานีนั้นที่เวลา t เดียวกัน โดยมีสมมุติฐานว่าฝนจะตกลงในแนวตั้งจากบรรยากาศสู่พื้นดิน และความเข้มของเรดาร์ที่วัดได้มีค่าเท่ากับที่ระดับที่วัดและที่ผิวพื้นดิน (Chlheriros and Zawadzki, 1987) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 Traditional Matching Method (TMM)

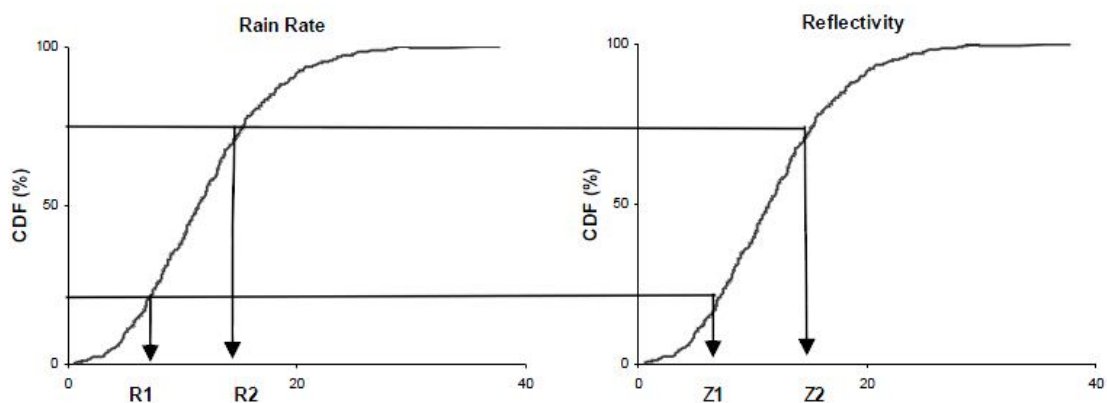
### 2. Probability Matching Method (PMM)

วิธี PMM เป็นวิธีการจับคู่ที่พยายามจะลดข้อผิดพลาดจากของขนาดข้อมูล เวลา และความคลาดเคลื่อนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยทำการจับคู่ค่า Z และ R ที่เกิดที่ความน่าจะเป็นเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้มีสมมุติฐานว่า ค่า Reflectivity ของเรดาร์จะเกิดที่ความน่าจะเป็นเดียวกับความเข้มของฝนที่วัดจากสถานีวัดน้ำฝน (Atlas et al., 1990; Rosenfeld et al., 1993) ดังนั้นการจับคู่ Z-R จะทำได้โดยอาศัย Cumulative Distribution Function (CDF) ของข้อมูล Reflectivity และ ข้อมูลฝน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.10 สมการ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของการจับคู่ตามสมมุติฐานของ PMM

$$\int_{R_i}^{\infty} P(R)dR = \int_{Z_i}^{\infty} P(Z)dZ \quad (2.12)$$

โดยที่  $P(R)$  คือ probability density function ของฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและ  $P(Z)$  คือค่า probability density function ของ radar reflectivity ในกรณีนี้ทำการจับคู่ด้วย Probability ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนด้านเวลาจึงได้ถูกกำจัดไปด้วย

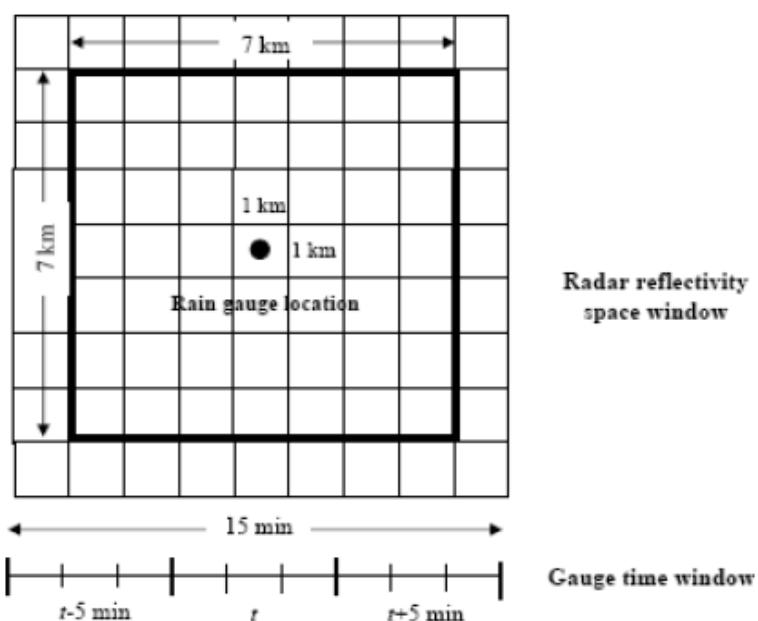




ภาพประกอบ 2.10 Probability Matching Method (PMM)

### 3. Window Probability Matching Method (WPMM)

วิธี WPMM ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถทำการจับคู่ด้วย Probability และยังมีขนาดของ population ที่มากพอในการวิเคราะห์ (Rosenfeld et al., 1994) WPMM สามารถอธิบายได้ด้วยดังแสดงในภาพประกอบ 2.11 โดยทำการสร้าง Time Window และ Space Window ขึ้นที่ตำแหน่งจุดที่ตั้งของสถานีวัดน้ำ ค่า R ได้จาก time window จุดกลางที่เวลา  $t$  ของการตรวจวัดด้วยเรดาร์ ส่วนค่า Z ได้จาก Space Window จุดกลางที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝน ทำให้ได้ค่ามากขึ้นและครอบคลุมความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตำแหน่งเนื่องจากลมและเวลาด้วย ค่า probability  $P(Z)$  และ  $P(R)$  หาจากค่าของ Z และ R จาก Time Window และ Space Window



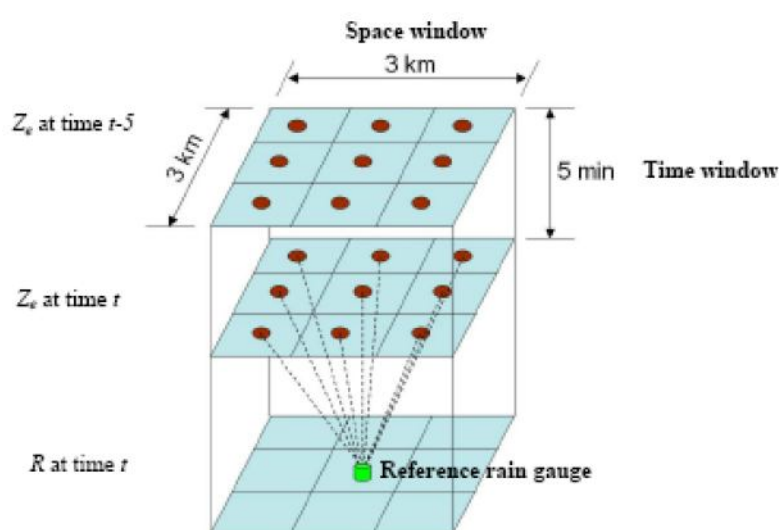
ภาพประกอบ 2.11 Window Probability Matching Method (WPMM)





#### 4. Window Correlation Matching Method (WCMM)

วิธี WCMM เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งและเวลา (Piman et al., 2007) ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากลมและความสูงของตำแหน่งวัดค่าของเรดาร์ วิธีนี้มีสมมติฐานที่ว่าโอกาสที่ฝนจะตกลงมาในแนวตั้งมีน้อยเนื่องจากอิทธิพลของลม และค่าที่วัดได้ของเรดาร์อยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่าพื้นดินทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเรื่องเวลาที่ฝนที่วัดได้จะลงมาถึงพื้นดิน วิธีนี้อาศัยหลักการขยายโอกาสที่ค่า Z จากวิธี TMM สามารถจับคู่กับค่า R ที่เหมาะสมที่สุด โดยการสร้าง Space Window และ Time Window (ภาพประกอบ 2.12) Space Window เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากลมและ Time Window เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากความสูงของตำแหน่งวัดค่าเรดาร์



ภาพประกอบ 2.12 Window Correlation Matching Method (WCMM)

การจับคู่ด้วยวิธี WCMM จะทำการตรวจสอบจับคู่ ค่า Z ที่ได้จาก Space Window และ Time Window กับค่า R จากสถานีวัดน้ำฝนตั้งรูป เพื่อหาคู่ที่เหมาะสมที่สุด คือมีค่า Correlation Coefficient (r) มากที่สุด ตามสมการ 2.13 และสมการ 2.14

$$r = \frac{\text{cov } ZR}{S_Z S_R} \quad (2.13)$$

$$\text{cov } ZR = \frac{\sum_{i=1}^n ((Z_i - \bar{Z}) \times (R_i - \bar{R}))}{(n-1)} \quad (2.14)$$

โดยที่  $Z_i, R_i$  คือค่า Z และ R จาก คู่ Z-R ที่ไม่เป็นศูนย์ คู่ที่ i,  
 n คือ จำนวนของ คู่ Z-R ที่ไม่เป็นศูนย์  
 $\bar{Z}$  และ  $\bar{R}$  คือ ค่าเฉลี่ยของ Z และ R  
 $S_Z$  และ  $S_R$  คือ the standard deviation ของค่า Z และ R

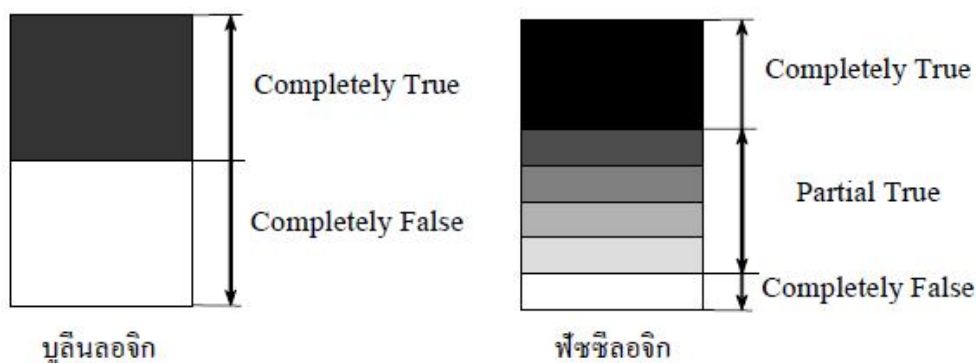


## 2.6 ทฤษฎีของฟัซซีเซต (Fuzzy set)

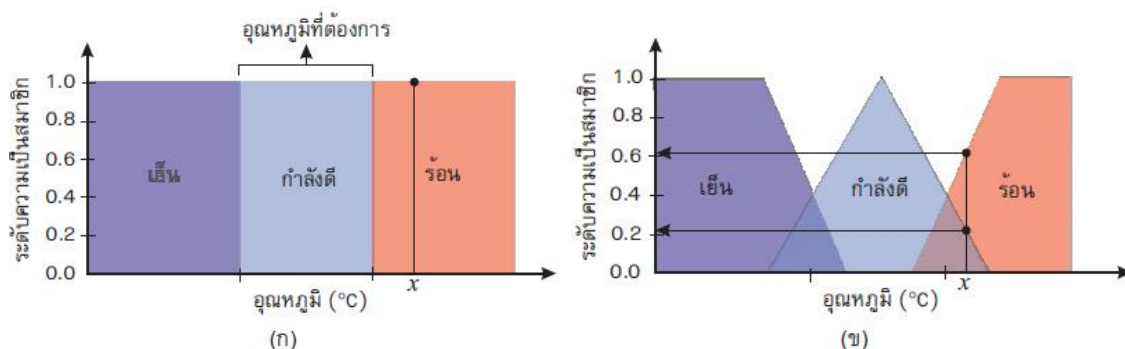
Fuzzy set เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่นวัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่งของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่าฟัซซีเซต (fuzzy set) จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซีเซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้นๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซีเซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่น ๆ อีกมากมาย ในยุคปัจจุบัน ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้การวิจัยมากขึ้น และฟัซซีลอจิกถูกนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น ในโครงการอวกาศ NASA และโครงการด้านการทหาร ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจบนภาวะที่ไม่แน่นอนและความไม่ชัดเจนของข้อมูล เป็นการเตรียมการสำหรับความไม่แน่ชัดของวัตถุประสงค์และยอมให้มีการยืดหยุ่นได้โดยใช้หลักเหตุผลที่เลียนแบบวิธีการคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกศาสตร์แบบเดิม (Boolean logic) คือเป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial true) หรือโทนเทา (Grays) โดยค่าของความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely true) กับเท็จ (Completely false) ส่วนในตรรกศาสตร์แบบเดิมจะมีค่าเป็นจริง กับเท็จ หรือ ขาว กับ ดำ เท่านั้น แสดงในภาพประกอบ 2.13

ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเซตที่สมาชิกในเซตมีค่าระดับความเป็นสมาชิกตั้งแต่ 0 ถึง 1 ส่วนในเซตแบบเดิม (Classical set) สมาชิกในเซตจะมีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้นในภาพประกอบ 2.14 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิห้องในช่วงของ เย็น สบาย และร้อน โดยเครื่องปรับอากาศจะทำงานตอบสนองในแต่ละช่วงอุณหภูมิไม่เท่ากัน ในกรณีที่อุณหภูมิเท่ากับ  $22^{\circ}\text{C}$  ในภาพประกอบ 2.14 (ก) จะเป็นสับเซตของอุณหภูมิในช่วงสบาย การควบคุมระบบปรับอากาศจะเปลี่ยนจากเย็นมาอยู่ที่โหมดสบายทันทีและในภาพประกอบ 2.14 (ข) จะเป็นสับฟัซซีเซตของอุณหภูมิทั้ง 2 ช่วงคือ เย็น และสบาย โดยค่าความเป็นสมาชิกในช่วงของเย็นจะมีมากกว่าในช่วงของสบาย การควบคุมระบบปรับอากาศยังคงครอบคลุมโหมดการทำงานในช่วงเย็นอยู่ ซึ่งทำให้ลดภาระในการทำงานของเครื่องปรับอากาศลงได้





ภาพประกอบ 2.13 ความแตกต่างระหว่างตรรกะแบบ Boolean logic กับฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic)  
ที่มา : พยุง มีสัจจ (2553)



ภาพประกอบ 2.14 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิ (ก) เซตแบบเดิม (Classical set) และ (ข) ฟัซซีเซต (Fuzzy set)

1. นิยามฟัซซีเซต

Jang, Sun and Mizutani (2000) ได้ให้นิยามของฟัซซีเซตและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกคือ

$$\underline{A} = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\} \tag{2.15}$$

เมื่อ  $\mu_A(x)$  = ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function, MF)  
 $x$  = ค่าความเป็นสมาชิก (Membership value) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1

2. การดำเนินการของฟัซซีเซต

Ross (1995) การดำเนินการของฟัซซีเซตจะคล้ายกับการของเซตแบบเดิม คือการดำเนินการ Union, Intersection และ Complement ดังภาพประกอบ 2.15 (ก) ถึง (ค) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

2.1 Union ของฟัซซีเซต อาจเรียกได้เป็น OR operation

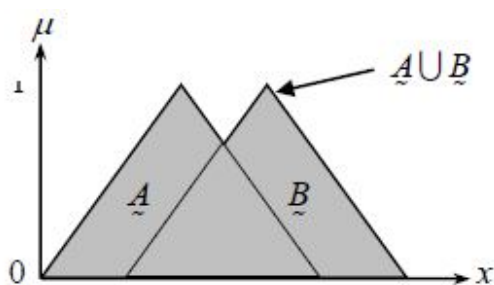
$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \vee \mu_{\underline{B}}(x) = \max(\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)) \quad (2.16)$$

2.2 Intersection ของฟัซซีเซต อาจเรียกได้เป็น AND operation

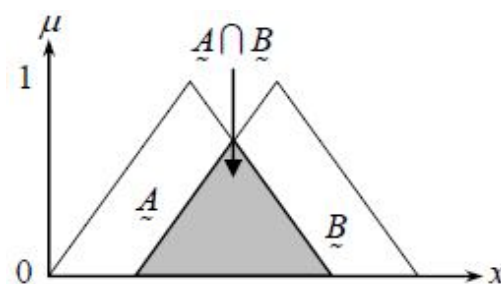
$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \wedge \mu_{\underline{B}}(x) = \min(\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)) \quad (2.17)$$

2.3 Complement ของฟัซซีเซต

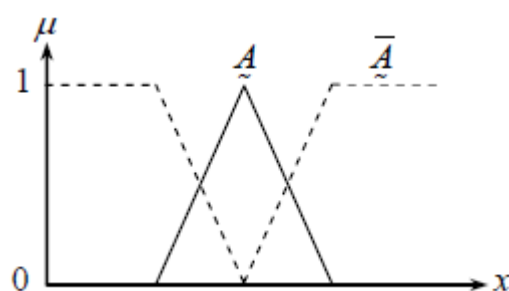
$$\mu_{\underline{A}^-}(x) = 1 - \mu_{\underline{A}}(x) \quad (2.18)$$



(ก) Union ของฟัซซีเซต  $\underline{A}, \underline{B}$



(ข) Intersection ของฟัซซีเซต  $\underline{A}, \underline{B}$



(ค) Complement ของฟัซซีเซต  $\underline{A}$

ภาพประกอบ 2.15 การดำเนินการ Union Intersection และ Complement ของฟัซซีเซต  $\underline{A}, \underline{B}$



### 3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือฟังก์ชันตามตัวแปรฟuzzy เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ใช้ โดยเป็นตัวแทนของความไม่ชัดเจนที่ปรากฏขึ้นซึ่งอาจเป็นเพราะความไม่แน่ชัด ความคลุมเครือ หรือความกำกวม ดังนั้นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจึงเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในฟuzzy ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟuzzy เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดในการแก้ปัญหา หรือการพัฒนาต่างๆ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะสมมาตรหรือไม่สมมาตรก็ได้ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ได้แก่

#### 3.1 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c\}$

$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2.19)$$

#### 3.2 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c, d\}$

$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2.20)$$

#### 3.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ  $\{m, \sigma\}$  ซึ่ง  $m$  หมายถึงค่าเฉลี่ย และ  $\sigma$  หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{gaussian}(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.21)$$



## 3.4 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ {a, b, c}

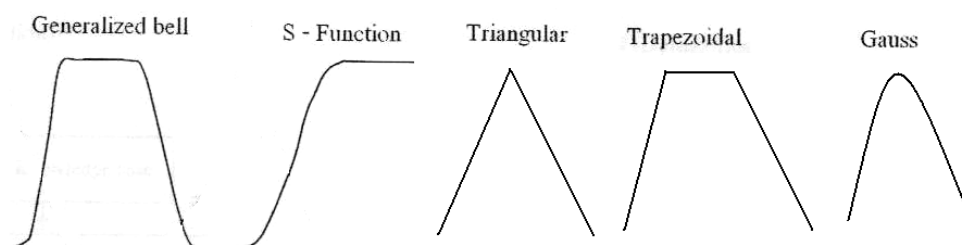
$$\text{bell-shaped}(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.22)$$

## 3.5 ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ {a, b}

$$S(x : a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2 & a \leq x < \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (2.23)$$

นอกจากนี้ยังมี ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function) ฟังก์ชันเชิงเส้นทางบวก (positive linear membership function) ฟังก์ชันเชิงเส้นทางลบ (negative linear membership function) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoidal membership function) เป็นต้น (ภาพประกอบ 2.16) ในการเลือกใช้ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกนั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาที่คือความเหมาะสม ความครอบคลุมของข้อมูลที่ใส่โดยสามารถซ้อนทับกันได้เพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบไม่เกิดการขาดช่วง ซึ่งอาจทำให้เกิดค่าความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นสามารถที่จะปรับเปลี่ยนแก้ไขได้ เพื่อที่จะทำให้เกิดความเหมาะสมที่สุดในการดำเนินการ (Panigrahi and Mujumda, 2000 : 89-109)

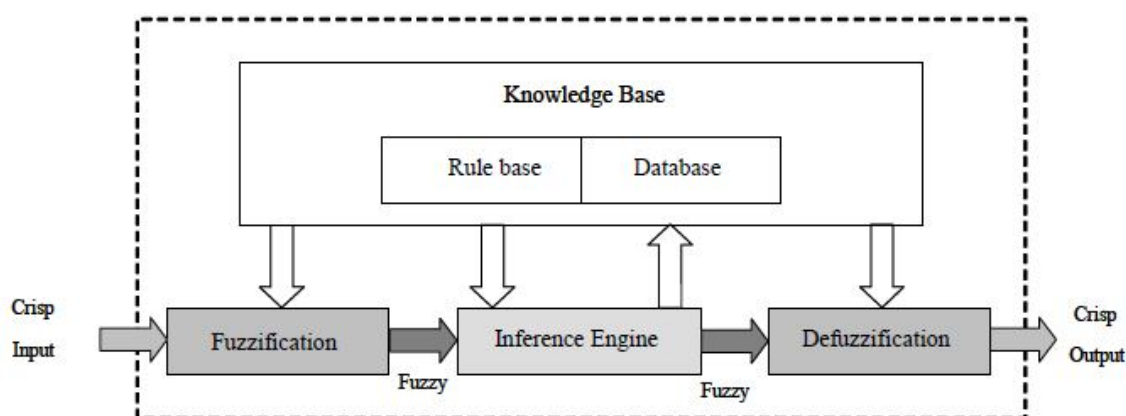


ภาพประกอบ 2.16 ลักษณะฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในแบบต่าง ๆ

แนวทางที่เป็นไปได้ในการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือฟังก์ชันตามตัวแปรฟัซซีอาจกำหนดได้ตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม สัญชาตญาณ หลักตรรกวิทยา ซึ่งในวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิก เช่น Intuition, Inference, Rank ordering, Angular fuzzy set, Artificial neural networks, Genetic algorithms, Inductive reasoning, Soft partitioning, Meta rule และ Fuzzy statistics

#### 4. กระบวนการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

กระบวนการควบคุมการตัดสินใจแบบฟัซซี แสดงภาพประกอบ 2.17 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) พื้นฐานการเรียนรู้ (Knowledge base) ที่นำมาใช้ในการตัดสินใจกฎพื้นฐาน (Rule-base) กระบวนการตัดสินใจ (Decision-making logic) และกระบวนการฟัซซีดีฟิเคชัน (Defuzzification)



ภาพประกอบ 2.17 การควบคุมการตัดสินใจแบบฟัซซีลอจิก

##### 4.1 กระบวนการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification)

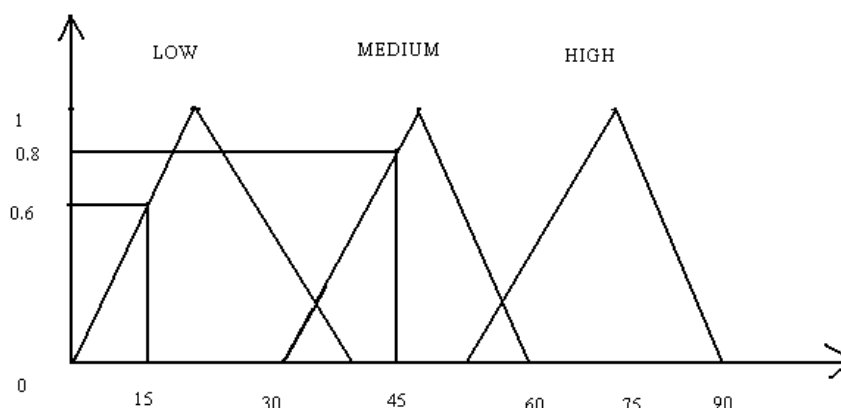
ฟัซซีฟิเคชัน เป็นกระบวนการในการสร้างปริมาณหรือจำนวนของตัวแปรที่ใช้ให้เป็นตัวแปรแบบฟัซซีโดยการนำเอาความไม่ชัดเจนมาพิจารณา เพื่อกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ใช้ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะแทนความไม่ชัดเจนที่ปรากฏขึ้น จากภาพประกอบ 2.18 จะเห็นว่าค่าความเป็นสมาชิก (Membership value) ของปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ 80 % เป็นสมาชิกของฟัซซีเซตทั้งในช่วง Medium และ High ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0.8 และ 0.6 ตามลำดับ

##### 4.2 พื้นฐานการเรียนรู้ (Knowledge based)

พื้นฐานการเรียนรู้จะนำไปใช้ในการแบ่งช่วง และกำหนดรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรฟัซซีในตัวแปรที่ใช้ (Input) และผลลัพธ์ (Output) ตลอดจนเงื่อนไขหรือกฎต่างๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจ (Jang, Sun and Mizutani. 2000)







ภาพประกอบ 2.18 ตัวอย่างค่าความเป็นสมาชิก (Membership value) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

#### 4.3 กฎพื้นฐาน (Rule-base)

ในสายงานของ Artificial intelligence ที่เป็นการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ของมนุษย์ไปยังวิธีการนั้นส่วนมากที่นิยมใช้ในการแสดงเหตุและผลมักอยู่ในรูปแบบของตัวแปรภาษา (Linguistic variables) โดยการผสมโครงสร้างของกฎซึ่งสามารถแสดงโดย

$$\text{IF Premise (antecedent), THEN Conclusion (consequent)} \quad (2.24)$$

สมการ 2.24 เป็นรูปแบบกฎพื้นฐาน (IF-THEN) ที่เป็นการอนุมานคือ ถ้าเรารู้ข้อเท็จจริง (ข้อเสนอ สิ่งที่เกิดขึ้นก่อน) เราสามารถอนุมานข้อเท็จจริงได้ (บทสรุป, ผลที่ตามมา) ระบบกฎพื้นฐานเป็นรูปแบบที่มีลักษณะเด่นที่ว่าเป็นระบบที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาได้ดี ซึ่งแหล่งที่มาของกฎการควบคุมอาจจะมาจากประสบการณ์ของมนุษย์ หรือมาจากแหล่งอื่นแต่ต้องมีความสอดคล้อง มีปฏิสัมพันธ์กัน และมีความสมบูรณ์ของกฎควบคุมพีซี

#### 4.4 การตัดสินใจ (Decision-making logic)

ในกระบวนการตัดสินใจจะมีการกำหนด Implication ของพีซี และใช้การดำเนินการเชื่อมต่อแบบ AND, OR จากนั้นใช้กระบวนการอนุมาน ซึ่งในกรณีที่มีกฎพื้นฐานมากกว่า 1 ข้อขึ้นไปในการอนุมานจำเป็นจะต้องรวมกฎเข้าด้วยกัน (Aggregation) จากนั้นใช้ดีพีซีพีเคชันในการหาค่า output ของระบบ Ross กล่าวว่าในการอนุมานแบ่งได้เป็น 4 กรณีคือ

4.4.1 Input ไปยังระบบเป็นค่า และใช้ Max-min เป็นวิธีการอนุมาน

4.4.2 Input ไปยังระบบเป็นพีซีเซตและใช้ Max-product เป็นวิธีการอนุมาน

4.4.3 Input ไปยังระบบเป็นพีซีเซตและใช้ Max-min เป็นวิธีการอนุมาน

4.4.4 Input ไปยังระบบเป็นพีซีเซตและใช้ Max-product เป็นวิธีการ

อนุมาน



## 5. กระบวนการดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification)

ดีฟัซซีฟิเคชันคือ กระบวนการที่เป็น Output ของฟัซซีโดยการแปลงผลการตัดสินใจแบบฟัซซีที่เป็นปริมาณที่ไม่แน่นอนให้เป็นตัวเลข ซึ่งการหาค่า Output ของฟัซซีเป็นกระบวนการที่สามารถใช้ Union logical ของ 2 ฟัซซีเซตหรือมากกว่า โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะกำหนดบนเอกภพของตัวแปร Output (Jairaj and Vedula, 2000: 457-472)

## 2.7 ทฤษฎีของเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm, GA)

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นกระบวนการวิวัฒนาการซึ่งได้รับการพัฒนาโดย J.H. Holland (1975) และเป็นกระบวนการหนึ่งสำหรับใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม คือ สามารถแก้ปัญหาในปริภูมิที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous search space) ได้และไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับอนุพันธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา แต่มีข้อเสีย คือ ต้องอาศัยการวนซ้ำคำนวณหลายๆ รอบจึงทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณนาน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ทำให้เจเนติกอัลกอริทึมได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ดังเห็นได้จากการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ทั้งอาจจะเป็นจุดต่ำสุด (Minimum point) หรือจุดสูงสุด (Maximum point)

สำหรับหลักการของวิธีการค้นหาแบบ Genetic algorithm คือสิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี ในการกำหนดว่าสิ่งมีชีวิตไหนมีลักษณะที่ดีหรือไม่ดีนั้นจะถูกกำหนดจาก Optimization theory ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ดีขึ้น ในส่วนที่มีลักษณะที่ไม่ดีจะไม่ถูกสนับสนุนหรือไม่นำส่วนนี้มาพิจารณา ดังนั้นในหลักการทำงานของ Genetic algorithm จึงถูกเสนอข้อมูลในรูปแบบโครโมโซม นั้นหมายความว่า คำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจะถูกนำมาแปลงเป็นโครโมโซม เพื่อนำโครโมโซมไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยจะใช้ Fitness function (ค่าความเหมาะสม) ที่มีความสอดคล้องกับ Objective function (วัตถุประสงค์) กำหนดให้แต่ละโครโมโซม และโครโมโซมเหล่านั้นจะถูกนำมาพิจารณาว่าโครโมโซมใดควรนำมาสืบสายพันธุ์ต่อไปหรือโครโมโซมใดไม่ควรนำมาสืบสายพันธุ์ และจากการหาคำตอบโดยใช้โครโมโซม ในแต่ละรุ่นจะมีการสุ่ม (Generations) คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา จึงทำให้ Genetic algorithm สามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้สมบูรณ์ และเหมาะสมที่สุด (Goldberg., 1989)

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบสุ่มเห็น (Stochastic search) ที่มีแนวความคิดในการคำนวณที่เลียนแบบมาจากการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยจะใช้หลักของการอยู่รอดของผู้ที่มีความแข็งแรงที่สุดซึ่งผู้ที่มีความแข็งแรงที่สุดจะได้รับการคัดเลือกเพื่อสืบพันธุ์ให้กำเนิดลูกที่มีความแข็งแรงต่อไป กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เพื่อสืบหาคูณลักษณะและพัฒนาให้เผ่าพันธุ์มีความแข็งแรงหรือมีความสามารถที่จะดำรงชีวิตอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมนั้นมากยิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกันหากเมื่อนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problem) โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสุ่มสร้างประชากรในกลุ่มขึ้น จากนั้นก็คำนวณค่าความแข็งแรง (Fitness) ของประชากรแต่ละตัวจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่ง

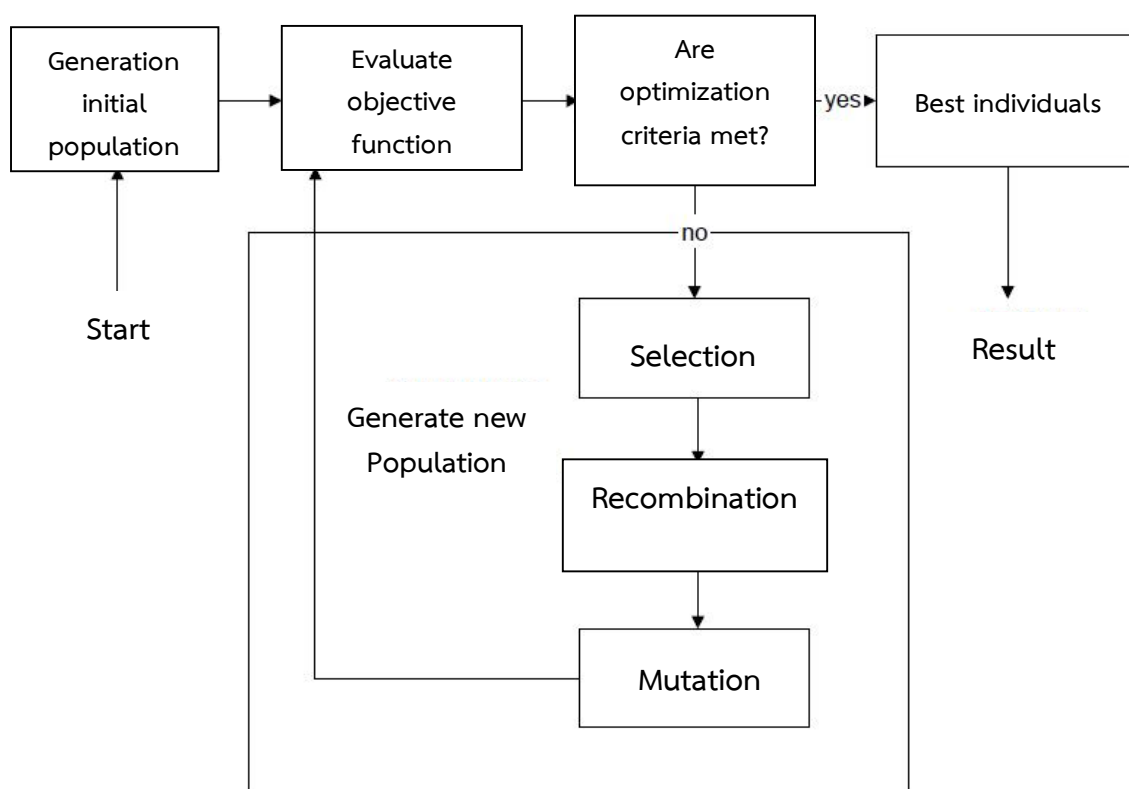


ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเปรียบเสมือนกับดัชนีที่ชี้บ่งชี้ถึงความสามารถในการดำรงชีวิตอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อม จากนั้นทำการเลือกสรรประชากรที่มีความแข็งแกร่งเพื่อนำมาให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป การให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ในกลุ่มจะเกิดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการคัดสรรมาแล้ว โดยอาศัยสมมติฐานที่ว่า เมื่อนำข้อมูลจากรุ่นพ่อรุ่นแม่ที่มีความแข็งแกร่งมาผสมกันแล้วย่อมมีโอกาสที่จะได้รุ่นลูกที่มีความแข็งแกร่งยิ่งขึ้น ซึ่งคล้ายกับการแลกเปลี่ยนรหัสทางพันธุกรรมของยีน (Gene) ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ จากนั้นนำประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นไปแทนที่ประชากรเดิมบางตัวหรือทุกตัวในกลุ่ม ทำขั้นตอนเหล่านี้ซ้ำไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้ผลตอบที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุด

เจนเนติกอัลกอริทึม สามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเลือกสรร (Selection)
2. การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination/Crossover)
3. การกลายพันธุ์หรือการผ่าเหล่า (Mutation)
4. การแทนที่ (Reinsertion)

ขั้นตอนการคำนวณสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2.19



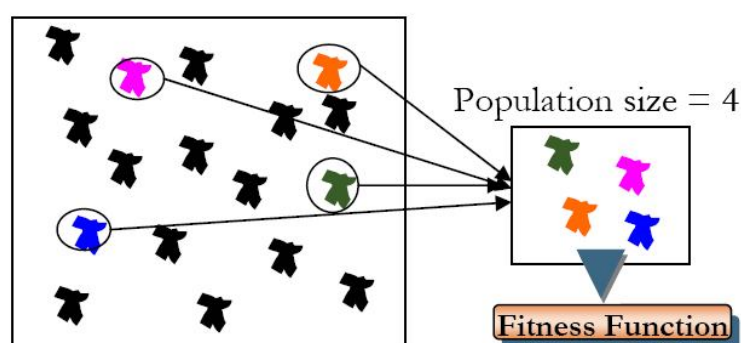
ภาพประกอบ 2.19 โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม



องค์ประกอบของ Genetic algorithm มีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. Chromosome encoding (รูปแบบโครโมโซม) คือ การถอดรหัสหรือการได้มาซึ่งโครโมโซม คือปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้ Genetic algorithm ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหาและในปัจจุบันปัญหามีมากมายจึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ เช่น Binary encoding Value encoding (Direct encoding) Permutation encoding Permutation encoding Tree encoding

2. Initial population (ประชากรต้นกำเนิด) เป็นการกระทำอันดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของ Genetic algorithm ประชากรที่เกิดจากการสุ่ม (Random) ดังภาพประกอบ 2.20 เพื่อนำประชากรเข้าไปในกระบวนการ ในการสุ่มจะต้องสุ่มให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้ โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม



ภาพประกอบ 2.20 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม

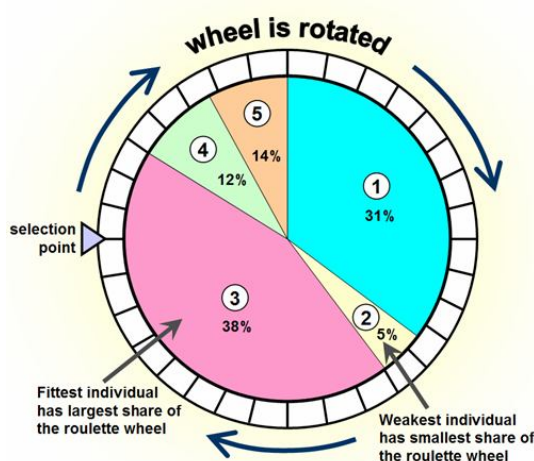
3. Fitness function (ค่าความเหมาะสม) โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่สมควร ดังนั้นจึงต้องมีการให้ค่าความเหมาะสมกับแต่ละโครโมโซมเพื่อนำค่าความเหมาะสมไปพิจารณา โดยใช้สมการหาค่าความเหมาะสมที่สอดคล้องกับปัญหา สรุปได้ว่า ค่าความเหมาะสม คือ ตัวที่ใช้ประเมินว่าแต่ละเส้นทางเลือก (Solution) นั้น มีความเหมาะสม หรือสามารถใช้แก้ปัญหาได้ดีเพียงใด

4. Genetic operator (การดำเนินการทางพันธุกรรม) กล่าวได้ว่า Genetic operator เป็นหัวใจสำคัญของ Genetic algorithm ซึ่งมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ มี 3 ส่วน ดังนี้ การคัดเลือก (Selection) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) (Goldberg. 1989)

4.1 Selection (การคัดเลือก) ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อที่จะนำมาเป็น Parent ในการสืบสายพันธุ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะอย่างไรให้เกิดจากการคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจเพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตามทฤษฎีของ Charles Darwin จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธุ์ เช่น การคัดเลือกแบบ roulette wheel, การคัดเลือกแบบ Ranking การคัดเลือกแบบ Tournament การคัดเลือกแบบ Elitist การคัดเลือกแบบ Steady-state และอื่น ๆ อีกมากมายหลายวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดี ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 3 แบบเท่านั้น คือ



4.1.1 การคัดเลือกแบบ Roulette wheel คือ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีกว่ามีโอกาสถูกเลือกมากกว่า อธิบายได้จากรูปต่อไปนี้ เมื่อแสดงถึงวงล้อเสี่ยงโชคที่โครโมโซมทั้งหมดอาศัยอยู่ ขนาดพื้นที่ของวงล้อเสี่ยงโชคคือสัดส่วนของค่าความเหมาะสมที่เหมาะสมของทุกโครโมโซม ค่าที่มากที่สุดคือส่วนที่ใหญ่ที่สุดตามตัว ภาพประกอบ 2.21 เมื่อมีการหมุนวงล้อ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกได้บ่อย



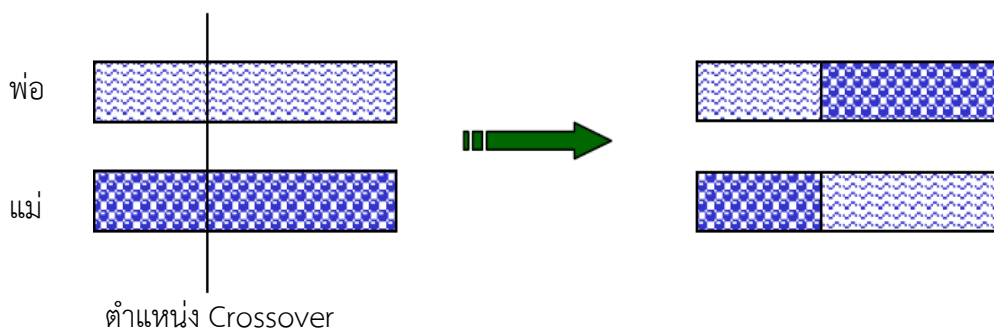
ภาพประกอบ 2.21 แสดงถึงสัดส่วนของค่าความเหมาะสม

4.1.2 การคัดเลือกแบบ Ranking คือ เลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยที่ไม่สนใจประชากรตัวอื่นเลย

4.1.3 การคัดเลือกแบบ Elitist เป็นแนวคิดที่ป้องกันการหาของเส้นทางที่ดีที่สุด หมายความว่ามีการคัดลอกโครโมโซมที่ดีที่สุดไว้ก่อน ส่วนประชากรส่วนที่เหลือที่จะต้องคัดเลือกจะใช้วิธีการเลือกแบบอื่นๆ

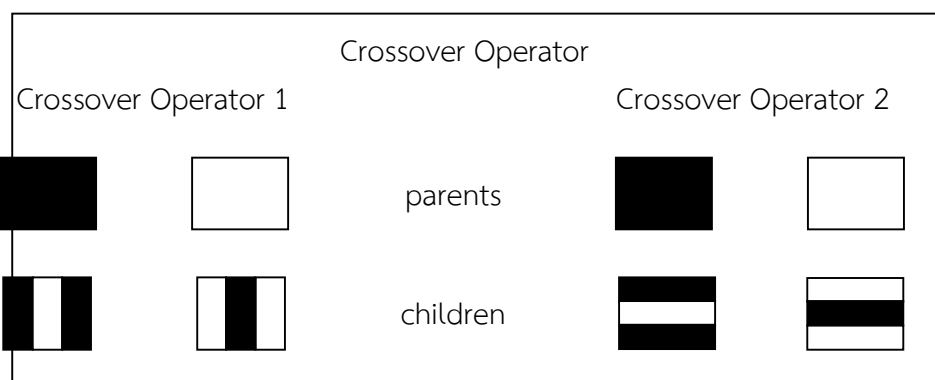
4.2 Crossover (การข้ามสายพันธุ์) เป็นกระบวนการที่สำคัญของ Genetic algorithm ซึ่งเมื่อเกิดการ Crossover เกิดขึ้นในทางพันธุศาสตร์แล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายขึ้น ซึ่งการ Crossover จะต้องอาศัยกระบวนการวิวัฒนาการที่เป็นเวลานาน แต่ในทำนองเดียวกันในทางการแก้ปัญหา แล้วจะทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบที่ได้ทำให้เราได้รับคำตอบที่หลากหลายจึงสามารถเลือกเอาคำตอบที่เหมาะสมกับความต้องการได้มากที่สุด ขั้นตอนในการ Crossover นำ 2 โครโมโซม (Parent) มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซม ใหม่ขึ้นมาจากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุดคือ สุ่มตำแหน่ง Crossover และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่ง Crossover ของพ่อ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่ง Crossover ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา (ภาพประกอบ 2.22) จากนั้นทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่ง Crossover ของแม่และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่ง Crossover ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมา (Goldberg., 1989)





ภาพประกอบ 2.22 แสดงการ Crossover

4.2.1 การ Crossover มี 2 แบบด้วยกัน คือ แบบขวาง (Horizontal) และแบบตั้งฉาก (Vertical) ดังรูป ในการ Crossover แบบขวางจะต้องมีการดำเนินการกับข้อมูลที่เป็น Array 2 มิติ เท่านั้น แต่ในกรณีการ Crossover แบบตั้งฉากจะสามารถทำได้กับข้อมูลทุกรูปแบบทั้งแบบมิติเดียว หรือ 2 มิติ (ภาพประกอบ 2.23)



ภาพประกอบ 2.23 แสดงการ Crossover แบบขวางและแบบตั้งฉาก

4.2.2 เทคนิคของการ Crossover ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้รูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ ตัวอย่างการ Crossover กับรูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ เช่น การ Crossover กับ Binary encoding ที่มีลักษณะการ Crossover หลายลักษณะดังตาราง 2.5

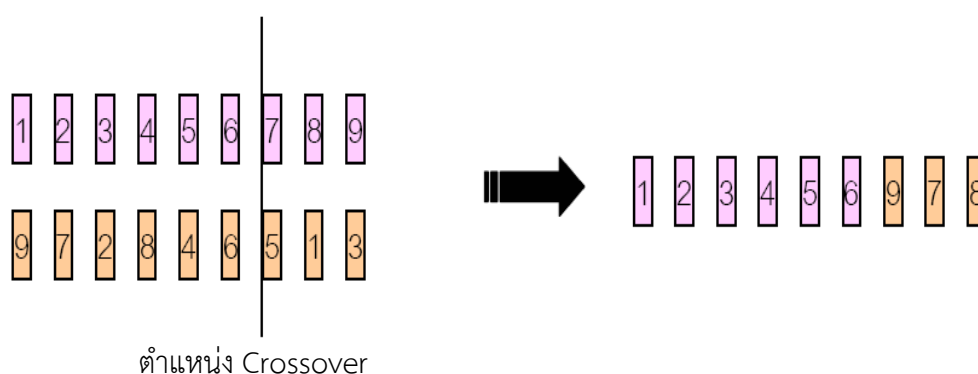
ตาราง 2.7 แสดงลักษณะการ Crossover แบบต่าง ๆ กับ Binary encoding

ลักษณะการ Crossover	พ่อ	แม่	ลูกที่ 1	ลูกที่ 2
Single point	11 0110010	00 1011111	111011111	000110010
Two point	11 011001 0	00 101111 1	111011110	000110011
Arithmetic	110110010	001011111	000010010 AND	111111111 OR

\* | คือ ตำแหน่ง Crossover

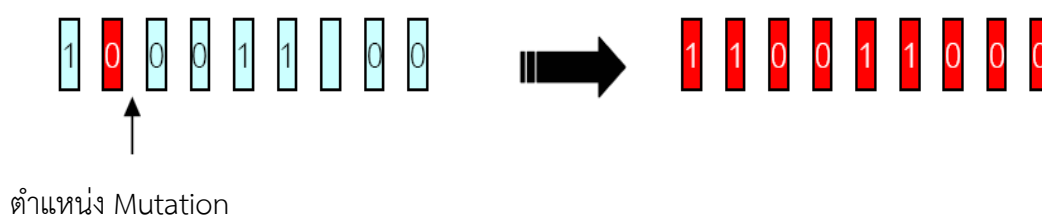
- Single point คือ สุ่มตำแหน่ง Crossover เพียง 1 ตำแหน่ง
- Two point คือ สุ่มตำแหน่ง Crossover เพียง 2 ตำแหน่ง
- Arithmetic คือ การใช้ Operator AND และ OR

4.2.3 การ Crossover กับ Permutation encoding คือ จะคัดลอกข้อมูลจากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่ง Crossover ของ Parent ตัวแรก และอ่านข้อมูลจาก Parent ตัวที่สองถ้าข้อมูลบางตัวที่ไม่เหมือนกับ Parent ตัวแรกก็จะเพิ่มเข้าไป (ภาพประกอบ 2.24)



ภาพประกอบ 2.24 แสดงการ Crossover กับข้อมูลที่เป็นรูปแบบ Permutation encoding

4.3 Mutation (การกลายพันธุ์) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการ crossover เสร็จสิ้น นั้นหมายความว่าได้รุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้ว จึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการ Mutation ในการ Mutation นั้นในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้เกิดลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น และทำให้เกิดวิวัฒนาการ สำหรับการแก้ปัญหาแล้วการที่เกิดผลลัพธ์ในลักษณะที่แตกต่างออกไปจากเดิม Mutation จะทำหน้าที่ป้องกันข้อผิดพลาดของวิธีการแก้ไขปัญหทั้งหมดในการเข้าไปในเฉพาะปัญหาที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหา ขั้นตอนในการ Mutation เมื่อได้ตำแหน่ง Mutation แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้นในตัวอย่างดำเนินการกับ Binary encoding จะมีการเปลี่ยนที่เป็นไปได้จาก 1 เป็น 0 หรือ จาก 0 เป็นหนึ่ง ดังภาพประกอบ 2.25

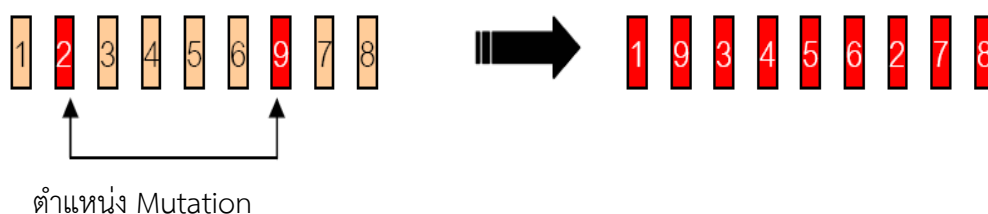


ภาพประกอบ 2.25 แสดงการ Mutation





4.3.1 การ Mutation สามารถเกิดได้มากกว่า 2 ตำแหน่งขึ้นอยู่กับค่าสุ่มที่อยู่ภายใต้ความน่าจะเป็นของการ Mutation เทคนิคของการ Mutation ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้รูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างของการ Mutation กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation encoding ที่ใช้กับปัญหาของ Travelling salesman (ภาพประกอบ 2.26)

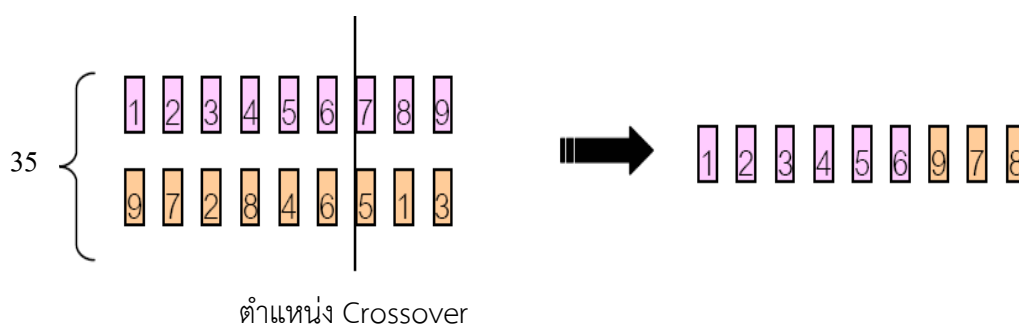


ภาพประกอบ 2.26 แสดงการ Mutation กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation encoding

4.3.2 ตำแหน่ง Mutation มี 2 ตำแหน่ง เพื่อที่จะสลับค่าระหว่าง 2 ตำแหน่งที่ได้มา แต่การ Mutation กับ Value encoding ที่เป็นจำนวนจริง อาจจะทำให้การเพิ่มค่าหรือลบค่าก็ได้

4.3.3 Parameter ที่สำคัญหรือเป็นพื้นฐานของ Genetic algorithm มี 3 ตัว คือ

1. Crossover probability คือ ความน่าจะเป็นของการ Crossover จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 - 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้พบว่าความน่าจะเป็นของการ Crossover ส่วนใหญ่อยู่ที่ 60% - 95% ถ้าหากไม่มีการ Crossover (0%) ผลที่ได้คือการทำสำเนาที่ถูกต้องจาก Parent แต่ถ้ามีการ Crossover เกิดขึ้นบ่อยจะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่หลากหลาย บางปัญหาอาจจะแก้ปัญหาค่าได้ในความน่าจะเป็นอยู่ที่ 85% - 95% ตัวอย่างการเกิดการ Crossover กำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover เป็น 85% ค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง 0-100 นั้นหมายความว่าหากสุ่มตัวเลขได้ค่าที่  $\leq 85$  ก็จะเกิดการ Crossover นอกจากนั้นจะไม่เกิดการ Crossover จากตัวอย่างสุ่มค่าได้ 35 จึงเกิดการ Crossover (ภาพประกอบ 2.27)



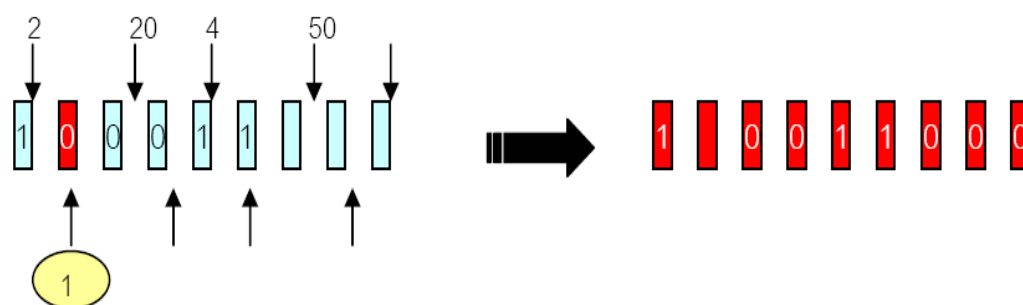
ภาพประกอบ 2.27 แสดงโอกาสเกิดการ Crossover

2. Mutation probability คือ ความน่าจะเป็นของการ Mutation จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 - 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้พบว่าความน่าจะเป็นของการ



Mutation ส่วนใหญ่อยู่ที่ 0% - 1% ต่อ 1 ตำแหน่งของโครโมโซมถ้าไม่มีการ Mutation นั้นหมายความว่าผลที่ได้เกิดจากการ Crossover เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าหากมีการ Mutation 100% จะทำให้โครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งการเกิด Mutation จะไม่เกิดบ่อยมากนักเพราะจะทำให้วิธีการแบบ Genetic algorithm เปลี่ยนไปเป็น Random search

ตัวอย่างการเกิด Mutation โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation เป็น 1% ค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง 0-100 นั้นหมายความว่า ณ ตำแหน่งนั้นหากสุ่มตัวเลขได้ค่าที่  $\leq 1$  ก็จะมีการเกิด Mutation จากตัวอย่างจะเห็นว่า ณ ตำแหน่งที่ 2 ของโครโมโซม มีการสุ่มที่มีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขจึงเกิด Mutation ส่วน ณ ตำแหน่งอื่นๆ ของโครโมโซมได้ค่าสุ่มที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจึงไม่เกิด Mutation ขึ้น (ภาพประกอบ 2.28)



ภาพประกอบ 2.28 แสดงโอกาสเกิดการ Mutation

จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น หรือ Population size ถ้ามีจำนวนมากจะทำให้ Genetic algorithm ประมวลผลได้ช้าลง การวิจัยจะแสดงให้เห็นว่ามีข้อจำกัดบางอย่างซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ การถอดรหัส

### 3. เงื่อนไขในการหยุดกระบวนการหาคำตอบ

ในการหยุดกระบวนการหาคำตอบของ Genetic algorithm เป็นไปได้หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

#### 3.1 เวลาในการคำนวณ (time)

โดยจะกำหนดเวลาที่ต้องการให้คำนวณ เช่น 10 นาที 30 นาที 60 นาที 2 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าคำตอบนั้นๆ ได้ค่าที่เหมาะสมแล้วหรือยัง

#### 3.2 จำนวนรอบในการกระทำซ้ำ (Iteration)

โดยทั่วไปในแบบจำลองจะถูกกำหนดให้คำนวณ 100 รอบ ซึ่งสามารถกำหนดได้หากเราทราบพฤติกรรมการเข้าสู่คำตอบของปัญหา

#### 3.3 จำนวนครั้งของการทดลอง (Number of Seeds หรือ Number of trials)

ขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในการทดลองแต่ละครั้งครั้งที่แล้วหรือไม่ หากทดลองไม่กี่ครั้ง คำตอบเป็นไปในแนวเดียวกันก็ไม่จำเป็นต้องทดลองหลายรอบ แต่หากทดลองแล้วเส้นคำตอบค่อนข้างจะแตกต่างกันเยอะ อาจต้องใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่มาก เพื่อให้ได้เส้นคำตอบที่ใกล้เคียงกัน

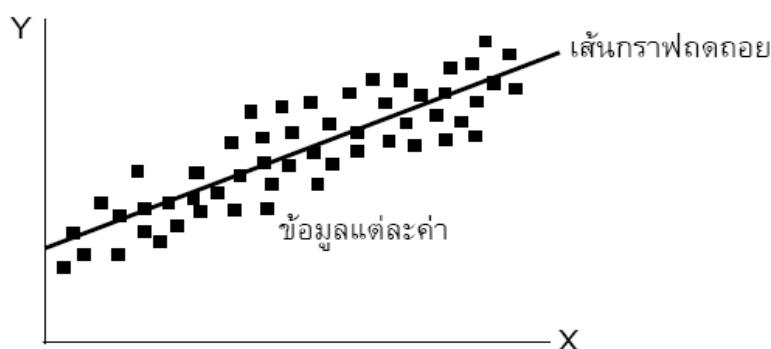


## 2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจ 2 ตัวแปรขึ้นไปซึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยจะเรียกตัวแปรที่สนใจศึกษาว่าตัวแปรตาม (Dependent variable หรือ Response variable) และเรียกตัวแปรอื่นที่แทนปัจจัยที่ทำให้ค่าของตัวแปรตามเปลี่ยนแปลงว่าตัวแปรอิสระ (Independent variable หรือ Predictor variable) โดยจะศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในรูปแบบฟังก์ชันความสัมพันธ์ เรียกรูปแบบความสัมพันธ์นี้ว่า รูปแบบการถดถอย (Regression model) ศึกษาว่าตัวแปรอิสระมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามมากน้อยเพียงใดหรือความผันแปรของตัวแปรตามขึ้นกับปัจจัยที่แทนด้วยตัวแปรอิสระใดบ้าง และมากน้อยเท่าใดและยังศึกษาถึงความเหมาะสมของรูปแบบการถดถอยที่กำหนด (ทรงศิริ แต่สมบัติ, 2548)

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยกรณีตัวแปรอิสระหนึ่งตัวเรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย (Simple regression analysis) และเรียกการวิเคราะห์การถดถอยกรณีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปรว่าการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุ (Multiple regression analysis) ซึ่งรูปแบบการถดถอยยังแยกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression model) และรูปแบบการถดถอยไม่เชิงเส้นตรง (Nonlinear regression model) รูปแบบเชิงเส้นตรงหมายถึงรูปแบบที่เขียนได้ในแบบเส้นตรงของพารามิเตอร์ (Linear in parameter) และรูปแบบไม่เชิงเส้นตรงหมายถึงรูปแบบที่เขียนไม่ได้ในแบบเส้นตรงของพารามิเตอร์ (Nonlinear in parameter) (ภาพประกอบ 2.29) (ชานินทร์ ศลป์จารุ, 2548)

1. การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (ในที่นี้ คือ ตัวแปร X และ Y) ที่มี ความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น (Linear) โดยมีสมการถดถอยก็คือ  $Y = \alpha + \beta X$  ในที่นี้ Y ก็คือ ค่าเฉลี่ยของ Y (ไม่ใช่ค่า Y แต่ละค่า) เนื่องจากในการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายนั้น ตัวแปร X จะถูกกำหนดค่าไว้ก่อน และค่า Y จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปร X เนื่องจากค่า X ค่าหนึ่งจะมีค่า Y ที่เป็นคู่ของค่า X หลาย ๆ ค่า และเมื่อนำค่า X และ Y ทั้งหมดไปพล็อตบนแกน X, Y แล้วลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดที่ปรากฏเส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเฉลี่ย ของตัวแปร X กับตัวแปร Y ซึ่งก็คือ เส้นกราฟถดถอย (Regression line) นั่นเอง (ทรงศิริ แต่สมบัติ, 2548)



ภาพประกอบ 2.29 การกระจายของข้อมูลและเส้นกราฟถดถอย

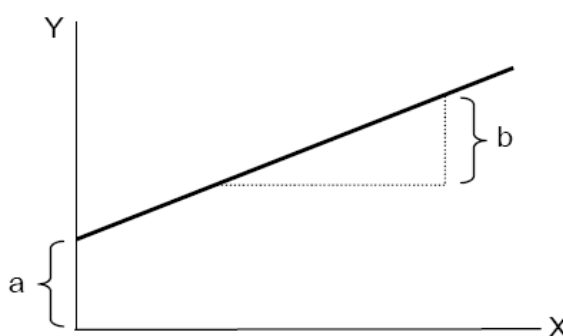


จากสมการเส้นตรง  $Y = \alpha + \beta X$  ซึ่ง  $\alpha$  และ  $\beta$  เป็น พารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จึงจะต้องประมาณค่า โดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่าง โดยที่วิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่า ของ  $\alpha$  และ  $\beta$  ก็คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (The least squares method) ซึ่งจะแทนค่า ของ  $\alpha$  และ  $\beta$  ด้วยค่า a และ b โดยที่ a ก็คือค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่เส้นกราฟตัดกับแกน Y ส่วน b เป็นความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลง เรียกส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ สมการถดถอยอย่างง่าย เขียนได้ดังนี้ (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2547)

$$Y = a + bX \quad (2.24)$$

- เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม (เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X)  
 X คือ ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น  
 a คือ ค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่ตัดกับแกน Y  
 b คือ ความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ

สามารถเขียนเป็นกราฟสมการเส้นตรงได้ดังนี้



ภาพประกอบ 2.30 สมการเส้นตรงของการถดถอย

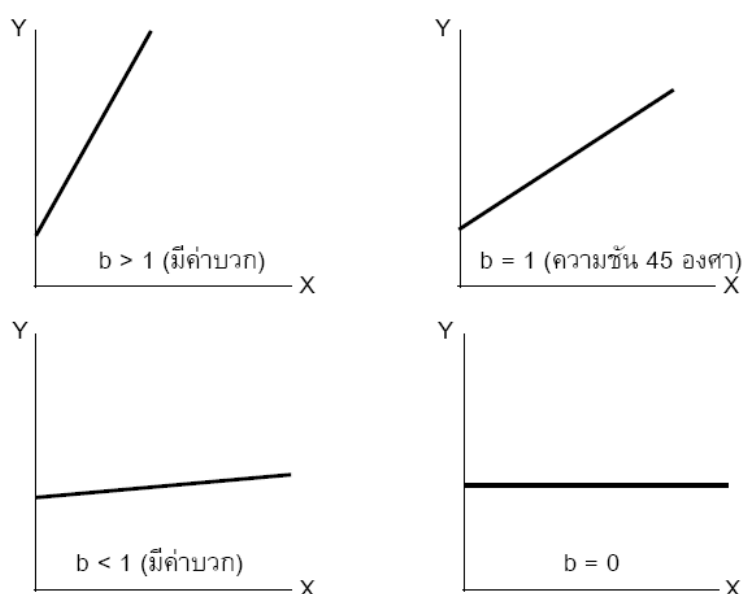
สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ เป็นค่าของ b ที่เป็นความชันของกราฟเส้นตรงที่เกิดจากสมการเชิงเส้น ถ้าทราบค่าของ b และค่าของ a ตามภาพประกอบ 2.30 แล้ว ก็จะสามารถพยากรณ์ค่าของตัวแปร Y ได้ซึ่งสรุปได้ดังนี้ (กัลยา วานิชย์ บัญชา. 2544)

1. ถ้า  $b > 0$  แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย
2. ถ้า  $b < 0$  แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y จะต่ำลง
3. ถ้า b มีค่าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย



4. ถ้า  $b = 0$  แสดงว่า  $X$  และ  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เส้น กราฟที่ได้ จะเป็นเส้นตรงค่าของ  $Y$  จะมีค่า เท่ากับค่า คงที่ ( $a$ )

5. ถ้า  $b = 1$  แสดงว่าความชันของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ 45 องศา ค่า  $X$  และ  $Y$  จะมีค่าเท่ากัน ในกรณีที่ค่าคงที่  $a$  เท่ากับศูนย์



ภาพประกอบ 2.31 สมการเส้นตรงของการถดถอยเมื่อ  $b$  มีค่าแตกต่างกัน

ลักษณะของเส้นกราฟถดถอยอย่างง่าย (ภาพประกอบ 2.31) มีดังนี้

1. ค่า  $a$  เป็นค่าคงที่ จะมีค่าเป็นบวก เมื่อเส้นกราฟตัดกับแกน  $Y$  เหนือเส้นแกน  $X$  ขึ้นไปหากเส้นกราฟตัดที่จุดกำเนิดหรือจุดกำเนิด  $(0,0)$  ค่า  $a$  จะมีค่าเป็นศูนย์ ณ จุดนี้ค่า  $Y$  จะขึ้นอยู่กับผลของค่า  $X$  กับสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่านั้น แต่ถ้าเส้นกราฟตัดกับแกน  $Y$  ต่ำกว่าเส้นแกน  $X$  ค่า  $a$  จะมีค่าเป็นลบ

2. ค่า  $b$  ที่เป็น ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็น ความชันของเส้นกราฟ เป็น ค่า ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟ เมื่อตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น ( $X$ ) เปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย จะทำให้ตัวแปร  $Y$  เปลี่ยนแปลงไป  $b$  หน่วย ถ้าเส้นกราฟมีความชันมาก การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร  $X$  จะทำให้ค่าของ  $Y$  เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าความชันมีค่าเท่ากับ 1 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร  $X$  จะส่งผลให้ค่าของ  $Y$  เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนที่เป็นสัดส่วนกับค่า  $X$  และถ้าความชันมีค่าต่ำ ๆ ( $b < 1$ ) จะทำให้ค่าของ  $Y$  เปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนน้อยกว่าค่าของ  $X$

3. ในกรณีที่  $a$  มีค่าเป็นศูนย์ และ  $b$  มีค่าเท่ากับ 1 เส้นกราฟจะผ่านจุดกำเนิด และ ความชันเป็น 45 องศา ซึ่งทำให้ค่าของ  $X$  และ  $Y$  มีค่าเท่ากัน

4. ถ้าเป็นกราฟชี้ไปทางควอดแรนท์ที่ 1 ( $Q_1$ ) ค่า  $b$  จะมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเส้นกราฟชี้ไปทาง ควอดแรนท์ที่ 2 ( $Q_2$ ) ค่า  $b$  จะมีค่าเป็นลบ



เงื่อนไขในการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย มีดังนี้

1. ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y) มีความสัมพันธ์กันในแบบเชิงเส้นตามสมการเส้นตรงก็คือ  $Y = \alpha + \beta X$

2. ตัวแปรตามต้องเป็นข้อมูลชนิด ต่อเนื่อง ในขณะที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นจะต้องเป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยสามารถกำหนดค่าได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า X จะทำให้ค่าของ Y ที่เกิดจากการสุ่ม เปลี่ยนแปลงไป

3. ความแปรปรวนของ Y สำหรับแต่ละค่าของ X ที่กำหนด จะต้องมามีค่าเท่ากัน คุณสมบัติข้อนี้ของการวิเคราะห์การถดถอย เรียกว่า Homoscedasticity

## 2. การวิเคราะห์การถดถอยจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y จากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น X ถ้าทราบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง ( $r = \text{Correlation Coefficient}$ ) จะสามารถวิเคราะห์การถดถอยเพื่อการพยากรณ์ได้โดยไม่ต้องอาศัยค่าคงที่ a และสัมประสิทธิ์การถดถอย b แต่อย่างใด แต่จำเป็นต้องทราบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทั้งสอง จึงจะสามารถหาค่าคะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตามได้จากสูตร ดังต่อไปนี้ (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2547)

$$Y = \bar{Y} \frac{S_Y}{S_X} (X - \bar{X}) \quad (2.25)$$

เมื่อ	Y	คือ	คะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม
	$\bar{X}$	คือ	มัธยฐานเลขคณิตของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น
	$\bar{Y}$	คือ	มัธยฐานเลขคณิตของตัวแปรตาม
	R	คือ	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัวแปร Y
	$S_X$	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น
	$S_Y$	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม

## 3. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (Standard error of the estimate)

ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y ที่เกิดจากการกำหนดค่าของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น X จากสมการถดถอยที่ได้ จะมีประโยชน์ ต่อ การพยากรณ์มากเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่รวบรวมมาว่ามีการกระจายกระจายไปจากเส้นกราฟหรือสมการถดถอยมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าของตัวแปรตาม Y แต่ละค่าแตกต่างกันไปจากเส้นกราฟถดถอยที่ประมาณขึ้นมา การพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y โดยใช้เส้นกราฟถดถอยก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนมาก แต่ถ้าค่าที่รวบรวมมาแต่ละค่าอยู่บนเส้นกราฟถดถอยหรืออยู่ใกล้ ๆ เส้นกราฟถดถอยมากเท่าใด การพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y โดยใช้เส้นกราฟถดถอยก็จะถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น (ทรงศิริ แต่สมบัติ, 2548)

ความแตกต่างระหว่างค่าของตัวแปรตาม Y ที่เกิดจากการพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการรวบรวม เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (Error หรือ Residual) ใช้ตัวย่อว่า e โดยที่  $e = Y - Y'$  ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้จะใช้เป็น ตัว พยากรณ์ค่าการกระจายของข้อ มูลรอบ ๆ เส้นกราฟถดถอย สำหรับสถิติที่ใช้วัด การกระจายของข้อมูลรอบ ๆ เส้น กราฟถดถอย เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการ



พยากรณ์ ใช้ตัวย่อว่า SEE หรือ  $SE_{est.Y}$  ซึ่งเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานชนิดหนึ่งที่เป็นค่าเบี่ยงเบนของคะแนนพยากรณ์จากคะแนนที่รวบรวมมาได้ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{N - k - 1}} \quad (2.26)$$

เมื่อ SEE คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์  
 $Y'$  คือ คะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม  
 $N$  คือ จำนวนสมาชิก  
 $k$  คือ จำนวนตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นในสมการถดถอย  
 $\sum (Y - Y')^2$  คือ ผลรวมกำลังสองของส่วนที่เหลือ (Sum squares of residuals) ซึ่งใช้ตัวย่อว่า SSR หรือ  $SS_{res}$

ในกรณีสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งมีจำนวนตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นเพียงตัวเดียว

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{N - 2}} \quad (2.27)$$

ถ้าแทนค่า ผลรวมกำลังสองของส่วนที่เหลือ (SSR) ลงในสูตรที่ผ่านมา จะได้สูตรสำหรับหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ได้ว่า

$$SEE = \sqrt{\frac{SSR}{N - 2}} \quad (2.28)$$

ในทางปฏิบัติข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อแทนค่าในสูตรจะมีเป็นจำนวนมาก สูตรดังกล่าวข้างต้นจึงไม่เหมาะกับการคำนวณ จึงได้มีการเปลี่ยนแปลงสูตรสำหรับหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ให้ง่ายขึ้น ดังนี้

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY}{N - 2}} \quad (2.29)$$

นอกจากนี้ ถ้าทราบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น  $X$  กับตัวแปรตาม  $Y$  ก็สามารถหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ได้จากสูตร ดังนี้

$$SEE = S_Y \sqrt{1 - r^2} \quad (2.30)$$

เมื่อ  $S_Y$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร  $Y$   
 $r$  คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $X$  กับตัวแปร  $Y$





#### 4. การอ้างอิงโดยใช้สัมประสิทธิ์การถดถอย

จากสมการถดถอย  $Y = a + bX$  เมื่อพิจารณาค่าของ  $b$  หรือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $X$  กับตัวแปร  $Y$  จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยกับค่าคงที่  $a$  ซึ่งสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยไปใช้อ้างอิงในการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความถดถอยได้ สรุปได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร  $Y$  จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร  $X$  ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละหน่วย นั่นคือ เมื่อตัวแปร  $X$  เปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย ทำให้ตัวแปร  $Y$  เปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ  $b$  หน่วย เช่น จากสมการถดถอยในตัวอย่างที่ผ่านมา  $Y = 15.95 + 5.60X$  เมื่อตัวแปร  $X$  เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่าของตัวแปร  $Y$  เปลี่ยนไปเท่ากับผลคูณของตัวแปร  $X$  กับสัมประสิทธิ์การถดถอย (5.60) บวกกับค่าคงที่ 15.95

2. ถ้าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าเท่ากับศูนย์ ( $b = 0$ ) แสดงว่าตัวแปร  $X$  กับตัวแปร  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามากกว่าศูนย์ ( $b > 0$ ) แสดงว่าตัวแปร  $X$  กับตัวแปร  $Y$  มีความสัมพันธ์กัน สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองโดยการทดสอบสมมติฐานจากค่าของสัมประสิทธิ์การถดถอยได้ โดยกำหนดให้

$$H_0 : \beta_0 = 0 \text{ (หมายความว่า ตัวแปร } X \text{ กับตัวแปร } Y \text{ ไม่มีความสัมพันธ์กัน)}$$

$$H_1 : \beta_0 \neq 0 \text{ (หมายความว่า ตัวแปร } X \text{ กับตัวแปร } Y \text{ มีความสัมพันธ์กัน)}$$

หลังจากนั้น จึงทำการทดสอบสมมติฐานโดยนำค่าที่ได้จากตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการพยากรณ์โดยใช้สถิติ  $t$ -test หรือ  $z$ -test ซึ่งการตัดสินใจว่าจะเชื่อตามสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) หรือ ถ้าค่า ที่คำนวณได้มีค่าเกินกว่าค่าที่ได้จากการเปิดตาราง แสดงว่าต้องปฏิเสธสมมติฐานเป็นกลาง ( $H_0$ ) และยอมรับสมมติฐานตรงข้าม ( $H_1$ ) ซึ่งก็คือ ตัวแปร  $X$  กับตัวแปร  $Y$  มีความสัมพันธ์กันนั่นเอง ในที่นี้ ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรทั้งสองเป็นเหตุเป็นผลต่อกัน ความสัมพันธ์กันที่เกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามากกว่า 0 หมายถึง การที่ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในลักษณะใดลักษณะหนึ่งเท่านั้น ไม่เพียงพอที่จะสามารถสรุปถึงความเป็นเหตุและผลระหว่างตัวแปรทั้งสองแต่อย่างใด (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2547)

#### 5. การทดสอบสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย

สำหรับการทดสอบสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย จะมีการทดสอบสมมติฐานอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ การทดสอบสมมติฐานค่าคงที่ เพื่อทดสอบว่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และ การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น เพื่อทดสอบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้ามกันหรือไม่ การทดสอบสมมติฐานค่าคงที่ มีขั้นตอนดังนี้

##### 1. กำหนดสมมติฐาน

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ (ค่าคงที่เท่ากับ ศูนย์ แสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง } X \text{ และ } Y)$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ (ค่าคงที่ไม่เป็น ศูนย์ แสดงว่า มีความสัมพันธ์ระหว่าง } X \text{ และ } Y)$$

##### 2. คำนวณหาค่า $t$ จากสูตร

$$t = \frac{a}{S_a} \quad (2.31)$$



เมื่อ  $a$  คือ ค่าโดยประมาณของ  $\beta_0$

$S_a$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $a$

SEE คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

$$\text{โดยที่ } S_a = \text{SEE} \sqrt{\frac{\sum X^2}{N \sum (X - \bar{X})^2}} \quad \text{หรือ} \quad S_a = \text{SEE} \sqrt{\frac{\sum X^2}{N(\sum X^2 - N\bar{X}^2)}}$$

3. เปิดตาราง  $t$  เพื่อหาค่าวิกฤตที่  $df_1$  ที่  $\alpha/2$  และ  $df_2$  ที่  $n-k-1$  (เมื่อ  $n =$  จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง และ  $k =$  จำนวนตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น)

4. เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าจากตาราง ถ้าพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าจากตาราง ก็จะใช้ปฏิเสธสมมติฐานเป็นกลาง ( $H_0$ ) และยอมรับสมมติฐานตรงข้าม ( $H_1$ ) สรุปผลตาม  $H_1$  ได้ว่า มีความสัมพันธ์ระหว่าง  $X$  และ  $Y$

การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น มีขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดสมมติฐาน มีอยู่ 2 กรณี ได้แก่

1.1 กรณีที่ความชันมากกว่าศูนย์ ( $b > 0$ )

$H_0: \beta_1 \leq 0$  ( $X$  และ  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน)

$H_1: \beta_1 > 0$  ( $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน)

1.2 กรณีที่ความชันน้อยกว่าศูนย์ ( $b < 0$ )

$H_0: \beta_1 \geq 0$  ( $X$  และ  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม)

$H_1: \beta_1 < 0$  ( $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม)

2. คำนวณหาค่า  $t$  จากสูตร

$$t = \frac{b}{S_b} \quad (2.32)$$

เมื่อ  $b$  คือ ค่าโดยประมาณของ  $\beta_1$

$S_b$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $b$

SEE คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

$$\text{โดยที่ } S_b = \frac{\text{SEE}}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2}} \quad \text{หรือ} \quad S_b = \frac{\text{SEE}}{\sqrt{(\sum X^2 - N\bar{X}^2)}}$$



3. เปิดตาราง t เพื่อหาค่าวิกฤติที่  $df_1$  ที่  $\alpha$  และ  $df$  ที่  $n-k-1$  (เมื่อ  $n =$  จำนวนกลุ่มตัวอย่าง และ  $k =$  จำนวนตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น)

4. เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าจากตาราง ซึ่งมีอยู่ 2 กรณีดังนี้

4.1 กรณีที่ความชันมากกว่าศูนย์ ( $b > 0$ )

ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าจากตาราง ( $t > t_{(\alpha, n-k-1)}$ ) ก็จะปฏิเสธสมมติฐานเป็นกลาง ( $H_0$ ) และยอมรับสมมติฐานตรงข้าม ( $H_1$ ) สรุปผลตาม  $H_1$  ได้ว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

4.2 กรณีที่ความชันน้อยกว่าศูนย์ ( $b < 0$ )

ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่าจากตาราง ( $-t > -t_{(\alpha, n-k-1)}$ ) ก็จะปฏิเสธสมมติฐานเป็นกลาง ( $H_0$ ) และยอมรับสมมติฐานตรงข้าม ( $H_1$ ) สรุปผลตาม  $H_1$  ได้ว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม

6. สัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of determination)

ในการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม สมการถดถอยที่ได้จะสามารถใช้พยากรณ์ค่าของตัวแปรตามได้ดีเพียงใต้นั้น ย่อมขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเป็นผลมาจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นมากน้อยเพียงใด สมการถดถอยที่ได้จะสามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีหรือไม่ ย่อมขึ้นอยู่กับค่า สัมประสิทธิ์การกำหนด ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ยกกำลังสอง ใช้ตัวย่อว่า  $R^2$  ดังนั้นสูตรที่ใช้ก็คือ

$$R^2 = \frac{(\sum XY - N\bar{X}\bar{Y})^2}{(\sum X^2 - N\bar{X}^2)(\sum Y^2 - N\bar{Y}^2)} \quad (2.33)$$

$$\text{หรือ } R^2 = \frac{(N\sum XY - (\sum X)(\sum Y))^2}{(N\sum X^2 - (\sum X)^2)(N\sum Y^2 - (\sum Y)^2)} \quad (2.34)$$

เมื่อ  $R^2$  คือ สัมประสิทธิ์การกำหนด มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

สัมประสิทธิ์การกำหนดยังมีค่าใกล้ 1.00 มากเท่าใด แสดงว่าสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้ามีค่าใกล้ 0 แสดงว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ไม่ดีหรือกล่าวโดยสรุปได้ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2547)



### 7. การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายที่ผ่านมา เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจำนวน 2 ตัว ประกอบด้วยตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (X) ที่ทำหน้าที่พยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม (Y) อย่างละหนึ่งตัวว่าจะมีค่าเท่าใดหรือ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยมีสมการถดถอยอย่างง่ายก็คือ  $Y = \alpha + \beta X$  แต่การวิเคราะห์การถดถอยพหุ จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น ที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป กับตัวแปรตาม 1 ตัว เช่น ต้องการพยากรณ์ผลการเรียนของนักศึกษาแผนกคอมพิวเตอร์(Y) โดยใช้ตัวพยากรณ์ 3 ตัว ประกอบด้วย ความสนใจของผู้เรียน ( $X_1$ ) ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน( $X_2$ ) และคุณภาพการสอนของผู้สอน ( $X_3$ ) เป็นต้น ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุนั้นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlation coefficient) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นจำนวนทั้ง 3 ตัวกับตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นใด (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546)

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุ จะต้องหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม (Y) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย และหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน รวมทั้งหาค่า สหสัมพันธ์พหุ (Multiple correlations) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุเส้นตรง (Multiple linear regression analysis) คือแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ( $Y_i$ ) กับตัวแปรอิสระ ( $X_i$ ) ที่มากกว่า 1 ตัวขึ้นไป ทั้งนี้การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple linear regression, MLR) นั้นจะมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression, SLR) เพราะในโลกแห่งความจริงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่กำลังศึกษาอยู่นั้น อาจจะมีสาเหตุหรือเป็นผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยหรือตัวแปรหลายๆ ตัวมาประกอบกัน ยกตัวอย่างเช่น การผลิตทางการเกษตร ผลผลิตของเกษตรกรนอกจากจะขึ้นอยู่กับการใช้ปุ๋ยแล้ว ยังอาจขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ให้กับพืชปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเวลาในการดูแลรักษาและอื่นๆ อีกหลายชนิด เป็นต้น (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546)

สำหรับแบบจำลองของสมการถดถอยแบบพหุเส้นตรงในรูปทั่วไป อาจแสดงได้ดังสมการ 2.34 และ 2.35 ตามลำดับ โดยสมการ 2.34 และ 2.35 เป็นแบบจำลองซึ่งมาจากข้อมูลประชากร (Population regression function, PRF) และข้อมูลตัวอย่าง (Sample regression function, SRF) ตามลำดับ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546)

$$Y_i = a + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_k X_{ik} + u_i \quad (2.35)$$

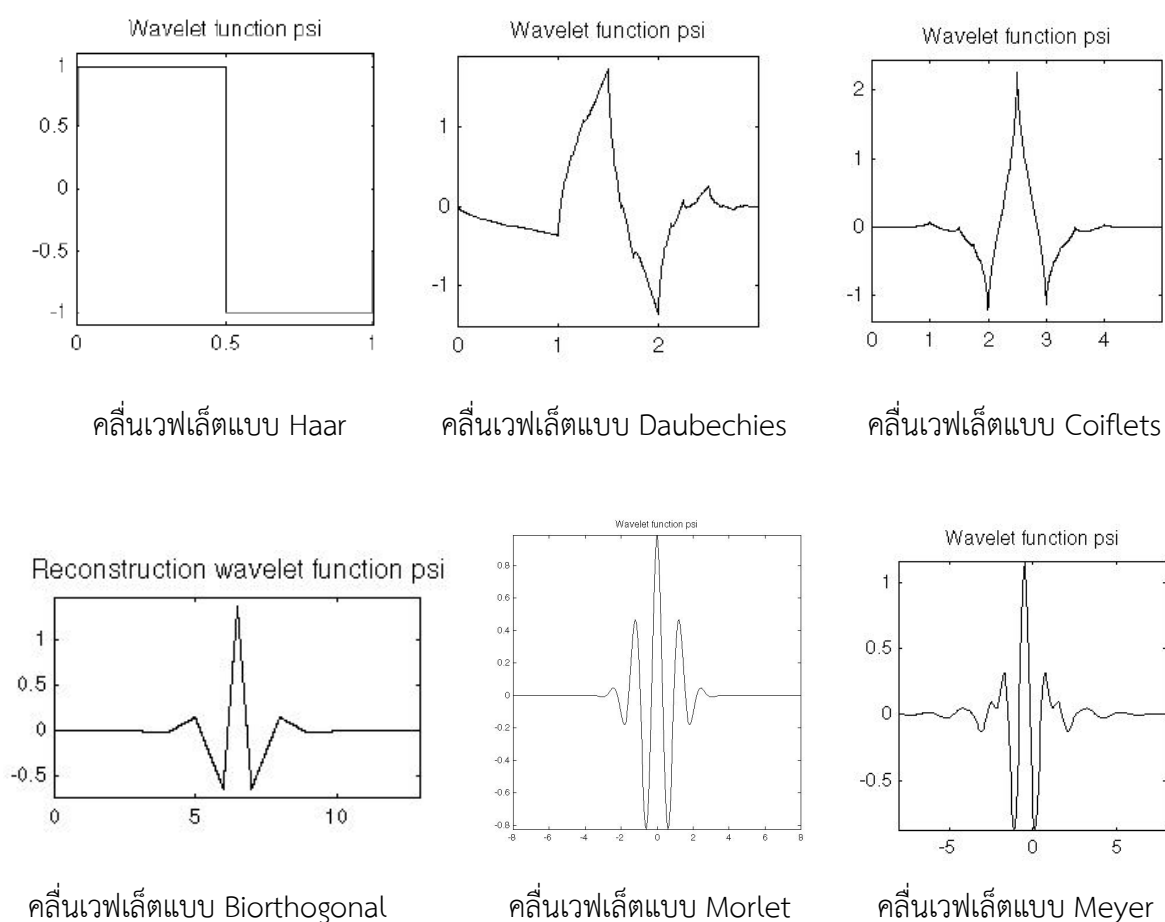
$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad (2.36)$$

โดยที่  $X_{ik}$  ก็คือค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรอิสระที่ k นั้นเอง (สมมติว่าในแบบจำลองมีตัวแปรอิสระอยู่จำนวนตั้งแต่ 1 ถึง k ตัว)



## 2.9 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณเฉพาะหลายๆสัญญาณมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะป็นรูปคลื่นเล็กๆที่เรียกว่า “เวฟเล็ต” ซึ่งจะป็นรูปคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว โดยรูปแบบสัญญาณของเวฟเล็ตนั้นจะมีรูปแบบต่างๆดังภาพประกอบ 2.32



ภาพประกอบ 2.32 ลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ตแบบต่างๆ

หลักของกระบวนการแปลงเวฟเล็ตนั้น มีการพัฒนาการมาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม แต่ได้มีการปรับรูปแบบให้มีความเหมาะสมกับงานที่เฉพาะทางมากขึ้น ซึ่งจะสามารถแก้ไขส่วนต่อของกระบวนการแปลงสัญญาณพื้นฐานแบบเก่าได้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกระบวนการแปลงสัญญาณพื้นฐานแบบเก่านั้น ในหัวข้อต่อไป จึงได้ทำการอธิบายความหมายและกระบวนการของการแปลงสัญญาณพื้นฐานแบบอื่นๆที่เกี่ยวข้องไว้ เพื่อให้ป็นพื้นฐานความเข้าใจในการนำไปใช้งานต่อไป



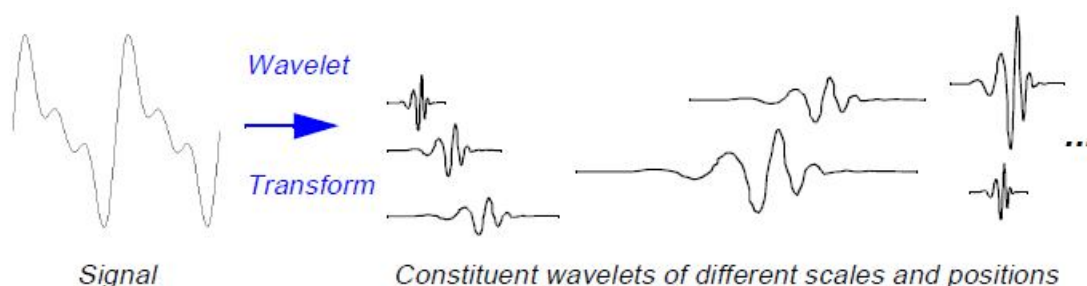
### 2.9.1 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณจะแสดงในรูปของผลรวมสัญญาณองค์ประกอบความถี่ต่ำ (Approximated Version) และองค์ประกอบความถี่สูง (Detailed Version) ในระดับต่างๆ โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตทำหน้าที่เป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบความถี่แต่ละระดับ ดังภาพประกอบ 2.33 ถึง 2.34 ดังนั้นในการอธิบายสัญญาณใดๆด้วยการแปลงเวฟเล็ตจึงทำได้โดยนำกลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างแบบฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นฟังก์ชันต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการปรับสเกล (Scale ; a) หรือการแสดงการยืดหรือหดตัวของเวฟเล็ตแม่นั่นเอง ส่วนการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting ; b ) จะเป็นการแสดงตำแหน่งบนแกนเวลา โดยจะสามารถเขียนสมการของเวฟเล็ตได้ ดังนี้

$$\varphi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.37)$$

เมื่อ  $\varphi_{a,b}(t)$  คือ ฟังก์ชันของเวฟเล็ตแม่ที่มีการปรับสเกล  
 a คือ พารามิเตอร์ของการปรับสเกล (Scaling)  
 b คือ พารามิเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

ซึ่งในสมการจะมีการปรับค่าเพื่อให้สัญญาณที่ได้หลังจากปรับสเกลแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ตแม่เสมอด้วย  $\frac{1}{\sqrt{a}}$



ภาพประกอบ 2.33 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยฟังก์ชันเวฟเล็ต

เมื่อนำสัญญาณใดๆ มาผ่านกระบวนการแปลงเวฟเล็ตก็เปรียบเหมือนการแตกสัญญาณนั้นให้ออกมาดังรูปของเวฟเล็ตแม่ที่การปรับสเกลและตำแหน่งที่แตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบของการแปลงเวฟเล็ต โดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform) และการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform )





ภาพประกอบ 2.34 คุณสมบัติการปรับสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ต

รูปแบบการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องนั้น มีลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณในทุกๆค่าของความถี่ ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบแทนการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องได้ดังสมการ 2.38

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.38)$$

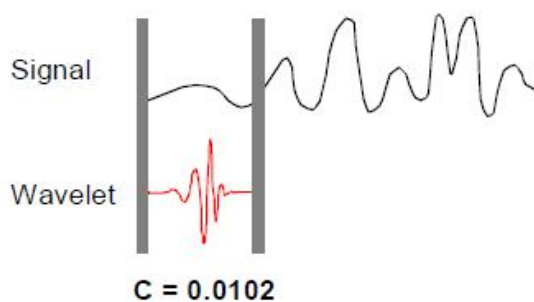
เมื่อ	$\varphi(t)$	คือ	สัญญาณที่ทำการแปลงเวฟเล็ต
	$f(t)$	คือ	เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet)
	$a$	คือ	พารามิเตอร์ของการปรับสเกล (Scaling)
	$b$	คือ	พารามิเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

ซึ่งพิจารณาเทอมของ  $\varphi(t)$  ซึ่งเป็นเทอมของเวฟเล็ตแม่ที่เทียบได้กับเทอมของฟังก์ชันหน้าต่างในการแปลงฟูริเยร์ช่วงเวลานั้นนั่นเอง แต่ในการแปลงเวฟเล็ตจะมีการเปลี่ยนคุณสมบัติด้วยการเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์  $a$  และ  $b$  ทำให้ในช่วงที่มีความถี่สูงจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่แคบและในช่วงที่มีความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาวิเคราะห์ที่กว้าง ซึ่งด้วยวิธีการดังกล่าวจะเป็นการลดข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์ช่วงเวลานั้นได้ โดยกระบวนการของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องนั้นได้แสดงขั้นตอนไว้ดังนี้

1. นำเวฟเล็ตแม่มาเปรียบเทียบกับส่วนแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณในสเกลแรก
2. คำนวณสัมประสิทธิ์ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวฟเล็ตแม่ ในสเกลแรกซึ่งค่าสัมประสิทธิ์นี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้รูปร่างของเวฟเล็ตแม่ด้วยโดยขั้นตอนที่ 1 และ 2 นั้นแสดงวิธีการได้ดังภาพประกอบ 2.35

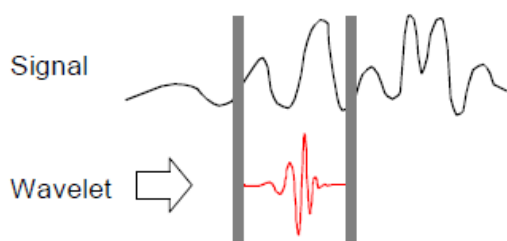






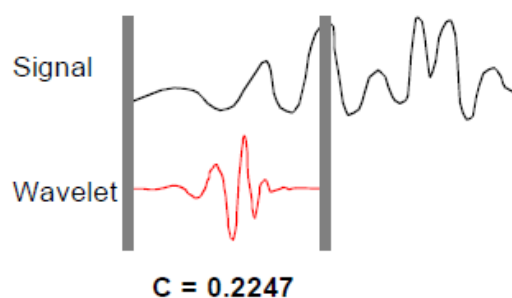
ภาพประกอบ 2.35 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตในขั้นตอนที่ 1 และ 2

3. เลื่อนตำแหน่งการวิเคราะห์ไปทางด้านขวาและทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 ซ้ำ จนกระทั่งครอบคลุมช่วงสัญญาณทั้งหมดในการปรับความละเอียดครั้งแรก ดังภาพประกอบ 2.36



ภาพประกอบ 2.36 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตในขั้นตอนที่ 3

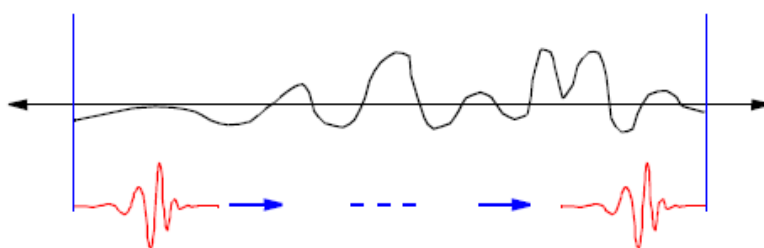
4. เปลี่ยนอัตราการปรับความละเอียด ดังภาพประกอบ 2.37 โดยทำการขยายสเกลและทำตามขั้นตอนที่ 1-3 อีกครั้ง



ภาพประกอบ 2.37 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตในขั้นตอนที่ 4

5. ทำตามขั้นตอนที่ 1-4 อีกครั้งจนครบทุกอัตราการปรับความละเอียด ดังภาพประกอบ 2.38





ภาพประกอบ 2.38 กระบวนการแปลงเวฟเลตในขั้นตอนที่ 5

จากขั้นตอนทั้งหมด ผลของการวิเคราะห์ที่ได้จะอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของแต่ละค่าการปรับสเกลและทุกตำแหน่งของการเลื่อนสัญญาณ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีคามแม่นยำทางด้านเวลาและความถี่ก็ตามกระบวนการในการวิเคราะห์ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างมากและข้อมูลของผลลัพธ์ที่ได้ก็มีความซับซ้อนเกินความจำเป็นซึ่งด้วยเหตุผลดังกล่าวการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น

### 2.9.2 การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยเป็นการแปลงเวฟเลตรูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะการวิเคราะห์ที่โดยพัฒนารูปแบบการปรับสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วงๆไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยการเวฟเลตแบบเต็มหน่วยนั้น จำเป็นต้องกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เพื่อความเข้าใจในกระบวนการมากขึ้น ดังนี้

1. การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis : MRA) การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด เป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่เลือกระดับความละเอียดได้โดยการนำสัญญาณเล็กๆที่ปรับค่าตามสเกล  $a$  ซึ่งมี  $b$  หลากๆตำแหน่งมารวมกัน เกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้ และเมื่อนำสัญญาณทั้งหมดมารวมกันแล้วจะทำให้ได้สัญญาณต้นแบบดั้งเดิมขึ้นมา

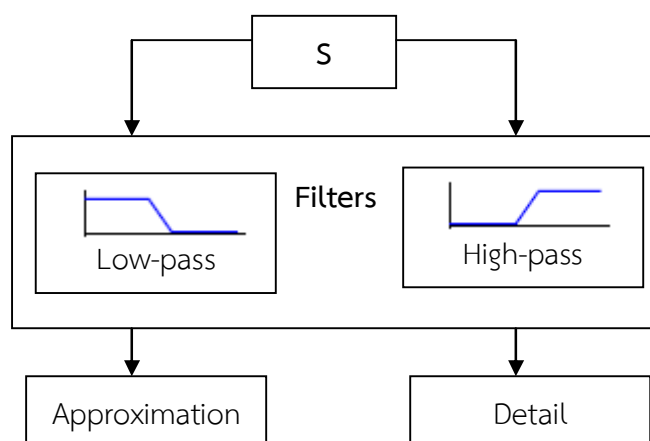
#### 2. การวิเคราะห์แบบตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis )

การวิเคราะห์ตัวกรองสัญญาณนั้น จะทำการแยกสัญญาณต้นแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีความถี่ต่ำกับส่วนที่มีความถี่สูง โดยจะใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) สำหรับแยกองค์ประกอบส่วนที่มีความถี่ต่ำ และใช้ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) สำหรับแยกองค์ประกอบความถี่สูง โดยสัญญาณที่ได้มานั้นจะผ่านอัตราสุ่มลง (Down Sampling) ด้วย 2 ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ลดลงครึ่งหนึ่ง ในการวิเคราะห์แต่ละขั้นโดยสรุปคือ เมื่อนำสัญญาณต้นแบบมาผ่านการวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยแล้ว จะทำให้สัญญาณต้นแบบถูกแยกองค์ประกอบด้วยตัวกรองความถี่สูงและตัวกรองความถี่ต่ำ ซึ่งจะแยกความถี่ได้ตามช่วงที่ต้องการ และผลที่ได้จะถูกลดอัตราสุ่มครึ่งหนึ่งทำให้ได้สัญญาณเป็นสองส่วน คือ

1. สัญญาณองค์ประกอบความถี่สูง ที่เรียกว่า “Detail”
2. สัญญาณองค์ประกอบความถี่ต่ำ ที่เรียกว่า “Approximation”

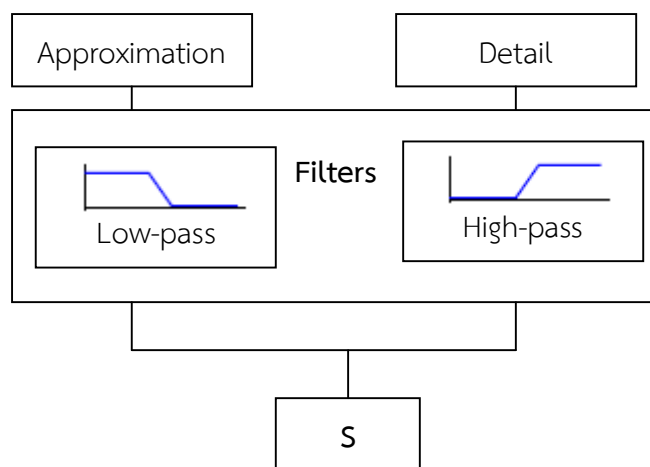
ดังภาพประกอบ 2.39





ภาพประกอบ 2.39 การแยกสัญญาณด้วยตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณ

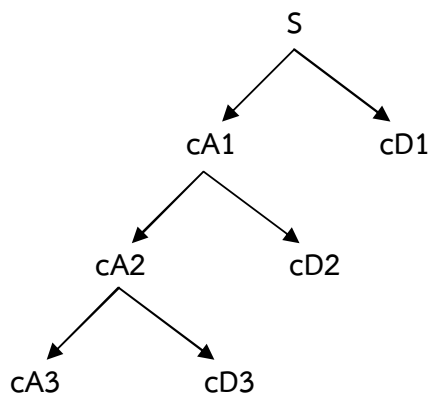
นอกจากนี้ ในโครงสร้างที่กลับกัน การวิเคราะห์แบบสร้างกลับสองช่องสัญญาณ (Reconstruction 2 Channel Synthesis Filter Bank) จะนำส่วนของสัญญาณความถี่สูงและความถี่ต่ำมารวมกันเป็นสัญญาณต้นแบบได้ ซึ่งกระบวนการนี้ว่าการสังเคราะห์สัญญาณ (Synthesis) โดยได้แสดงกระบวนการไว้ดังภาพประกอบ 2.40



ภาพประกอบ 2.40 การแปลงกลับสัญญาณด้วยตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณ

และเมื่อเอาตัวกรองแบบสองช่องสัญญาณมาเรียงต่อกันโดยใช้สัญญาณทางด้านความถี่ต่ำมาใช้ในการแยกองค์ประกอบอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตซ้ำในสัญญาณความถี่ต่ำนั้นสามารถเรียกโครงสร้างของการแปลงเวฟเล็ตลักษณะนี้ว่ามีโครงสร้างต้นไม้แบบทวิภาค (Dyadic Tree Structure) ซึ่งภาพประกอบ 2.41 ได้แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยโดยอาศัยโครงสร้างดังกล่าว





ภาพประกอบ 2.41 การแปลงเวฟเล็ตแบบเติมหน่วยโดยใช้โครงสร้างต้นไม้แบบทวิภาค

เมื่อกำหนดให้

- n cD คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูง (Detail Coefficients)
- n cA คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณองค์ประกอบความถี่ต่ำ (Approximation Coefficients)
- n คือ ค่าระดับความละเอียดซึ่งจะเป็นเลขจำนวนเต็ม ตั้งแต่  $1, 2, \dots, \infty$

ในงานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเติมหน่วยมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์แบบตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis) ของสัญญาณปริมาณฝนและสัญญาณค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ โดยใช้คลื่นเวฟเล็ตแบบ Haar ด้วยการแยกองค์ประกอบสัญญาณ Detail และ Approximation จากนั้นจะใช้ค่าสัญญาณ Approximation ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองแล้ว นำไปใช้งานต่อไป

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. การประยุกต์ใช้ฟuzzy

Shrestha, Duckstein และ Stakhiv (1996: 262-269) ได้ใช้ทฤษฎีฟuzzyเซตในการจัดการอ่างเก็บน้ำหลายวัตถุประสงค์ขึ้นในปี พ.ศ. 2539 เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรม การชลประทาน การควบคุมน้ำท่วม และการคมนาคมทางน้ำ โดยเปรียบเทียบกับ การปฏิบัติจริง โดยใช้หลักของ (IF-THEN) โดยใช้ข้อมูลพื้นที่หะสาปแทนคิลเลอร์ของรัฐโอคลาโฮมาซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา

Bahat และคณะ (2000: 137-145) ได้นำทฤษฎีฟuzzyเซตไปใช้ในการควบคุมความชื้นในดินเพื่อประโยชน์ในการควบคุมการให้น้ำชลประทานในปี พ.ศ. 2542 โดยใช้ความชื้นในดินและพื้นที่การเพาะปลูกโดยใช้ข้อมูลจากประเทศเม็กซิโก



Cazemier, Lagacheric และ Martin-Clouaire (2001: 113-132) ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟuzzyเซตในการประมาณค่าปริมาณน้ำที่ยอมให้พืชนำไปใช้ได้ ในปี พ.ศ. 2544 จากฐานข้อมูลดินที่ไม่แน่นอน โดยกำหนดตัวแปรฟuzzyเป็นเนื้อดินและคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน

Anongrit Kangrang และ Chavalit Chaleeraktragoon (2007: 2744-2749) ได้ประยุกต์ใช้ฟuzzyเซตในการหาประสิทธิภาพการชลประทานโดยใช้ตัวแปรเข้าคือ ปริมาณน้ำที่สามารถใช้ได้และพื้นที่ที่ต้องการเพาะปลูก ตัวแปรออก คือ ประสิทธิภาพการชลประทาน

อนุจิตร ภูมิพันธ์ (2552) ได้พัฒนาแบบจำลองฟuzzyเซตและการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับหาค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงจากตัวแปรอุทกวิทยาพื้นฐาน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม ซึ่งฟuzzyเซตนั้นเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการประมาณค่าตัวแปรที่สนใจจากปัจจัยตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความไม่แน่นอนและคลุมเครืออย่างเช่น ตัวแปรอุทกวิทยาเป็นต้น และได้เสนอเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้การเลียนแบบวิถีทางพันธุศาสตร์ เข้ามาช่วยในการปรับเทียบ ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยนั้นเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามโดยใช้หลักการทางด้านสถิติและใช้วิธีการทางด้านคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบ โดยตัวแปรต้นคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ส่วนตัวแปรตามคือ การคายระเหยของพืชอ้างอิง การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลรายวันของสถานีอุตุนิยมวิทยา 5 สถานี คือ สถานีนครสวรรค์ สถานีเชียงราย สถานีเชียงใหม่ สถานีพิษณุโลกและสถานีเพชรบูรณ์ ส่วนการคายระเหยจริงนั้นใช้สมการของ Penman-Monteith คำนวณ

ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลอง Fuzzy-GAs สามารถหาค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงได้โดยใช้ตัวแปรอุทกวิทยาพื้นฐานเท่านั้น คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของการคายระเหยของพืชอ้างอิงสูงสุด อยู่ระหว่าง 0.938-0.945 ด้วยค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (3-3-3) และเมื่อนำแบบจำลองที่เหมาะสมนี้ไปประเมินโดยเปรียบเทียบกับทั้งฤดูฝนและฤดูร้อนกับผลที่ได้จากสมการของ Penman-Monteith พบว่าค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันด้วยค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.100-0.116 มม./วัน

ผลการศึกษาของสมการถดถอยของการคายระเหยของพืชอ้างอิงในสถานีอุตุนิยมวิทยา 5 สถานี คือ สถานีนครสวรรค์ สถานีเชียงราย สถานีเชียงใหม่ สถานีพิษณุโลกและสถานีเพชรบูรณ์ พบว่าเมื่อพิจารณาตัวแปรต้นทั้ง 3 ตัว คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม สามารถอธิบายความแปรปรวนของการคายระเหยของพืชอ้างอิงสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.833-0.871 และเมื่อนำสมการที่ได้นี้ไปประเมินโดยเปรียบเทียบกับทั้งฤดูฝนและฤดูร้อนกับผลที่ได้จากสมการของ Penman-Monteith พบว่าค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันด้วยค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.215-0.737 มม./วัน ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นได้ว่าค่า  $R^2$  ของแบบจำลอง Fuzzy-GAs มีค่าสูงกว่าของสมการถดถอย และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแบบจำลอง Fuzzy-GAs มีค่าน้อยกว่าของสมการถดถอย

จะเห็นได้ว่าทฤษฎีของฟuzzyเซตนั้น เหมาะที่จะนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าปริมาณฝน เพราะฟuzzyเซตมีความสามารถในการประมาณค่าตัวแปรที่มีความคลุมเครือไม่ชัดเจนและยังสามารถประมาณค่าของตัวแปรที่มีอยู่จำกัดได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เพียงตัวแปรอุทกวิทยาพื้นฐานไม่กี่ตัวเท่านั้น



## 2. การประยุกต์ใช้สมการถดถอย

Graham (2002: 60-73) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการถดถอยสำหรับหาความสัมพันธ์ของแนวทางการเกิดพายุฝนโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน เวลา และความเร็วลม ซึ่งมีพื้นที่ในการศึกษา 600 ตารางกิโลเมตร ซึ่งอยู่ใกล้กับบอลตันในทางตะวันออกเฉียงเหนือของอังกฤษ

Pao-shan Yu, Shien-Tsung Chen และ I-Fan Chang (2006: 704-716) ได้ประยุกต์ใช้การถดถอยแบบเวกเตอร์เพื่อรองรับสถานการณ์น้ำท่วมฉับพัน โดยใช้ข้อมูล เวลา ชนิดของพายุฝนและปริมาณน้ำสูงสุด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำที่ Niu-Tou และ Lan-Yang Bridge

Griffis และ Stedinger (2007: 82-95) ได้ประยุกต์ใช้การถดถอยในการสร้างสมการสำหรับวิเคราะห์พื้นที่อุทกวิทยาแบบทั่วไปที่มีขนาดเล็ก ๆ สำหรับการพยากรณ์การเกิดน้ำท่วม โดยใช้ข้อมูลของ 162 สถานีวัดน้ำ จากทางตอนใต้ของคาโลลิน่า

Karem Chokmani และคณะ (2008: 383-396) ได้ศึกษาผลกระทบของน้ำแข็งที่มีต่อเส้นทางการไหลของลำน้ำโดยได้ทำการประเมินเปรียบเทียบกันระหว่างโครงข่ายใยประสาทเทียมกับสมการถดถอยแบบพหุโดยใช้ข้อมูล ระดับน้ำ ความลึกของหิมะ ความเร็วของการไหล และพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำโดยใช้ข้อมูลในประเทศแคนาดา

จะเห็นได้ว่าหลักการของการวิเคราะห์การถดถอยนั้น เหมาะที่จะนำมาสร้างสมการเพื่อใช้ในการประมาณค่าปริมาณฝนตก เพราะการวิเคราะห์การถดถอยมีความสามารถในการประมาณค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เพียงตัวแปรอุทกวิทยาพื้นฐานที่ทุกสถานีมีการเก็บข้อมูลอยู่แล้วร่วมกับข้อมูลพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์การถดถอยจึงเป็นหลักการที่มีความเหมาะสมอีกหลักการหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณฝนในงานวิจัยนี้อีกเช่นกัน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเอาทฤษฎีฟิสิกส์เซต-เจเนติกแอลกอริทึม และการวิเคราะห์การถดถอยมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าปริมาณฝนโดยใช้ตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์

## 3. การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)

Zadrazil และ Kozumplik (2000) เสนอวิธีการใช้การแปลงเวฟเลตเป็นลักษณะตัวกรอง Daubechies ในการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธี Median Thresholds Sziligi (2003) ได้เสนอวิธีการใช้การแปลงเวฟเลตเป็นการตรวจจับสัญญาณ QRS และ Neural-Network Adaptive เป็นตัวกรองในการกำจัดสัญญาณรบกวนสัญญาณคลื่นหัวใจ Xu (2005) เสนอวิธีการใช้การแตกสัญญาณโดยใช้เวฟเลตแพ็กเก็ต เพื่อทำการกำจัดสัญญาณฮาร์มอนิกรบกวน Romaniuk และ Chizyski (2002) ได้

กระบวนการในการกำจัดสัญญาณรบกวน โดยใช้การแปลงเวฟเลตได้ปรากฏในงานวิจัยของ Alesanco และคณะ (2003) โดยนำเสนอวิธีการปิดอัดและการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้การแปลงเวฟเลต โดยใช้วิธีการเลือกสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลตในการนำมาใช้งาน งานวิจัยของ Nikolaev และคณะ (2002) เป็นการเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้โดเมนเวฟเลต โดยลักษณะการกรองแบบวินเนอร์ งานวิจัยของ Agante and Marques (1999) เป็นการเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวน โดยใช้การแปลงเวฟเลตโดยวิธี soft-thresholding และ Ucar et al. (1998) เสนอวิธีการลดสัญญาณรบกวน โดยใช้การแปลงเวฟเลตแบบ Vetterli-Herley และ Daubechies เป็นต้น



วัชรพงศ์ ทองรัตแก้ว (2548) กล่าวถึงการสร้างเครื่องวัดเสียงต้นของหัวใจแล้ว ประมวลผลเสียงต้นของหัวใจโดยใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อแยกแยะระหว่างสัญญาณเสียงของหัวใจปกติและสัญญาณเสียงของหัวใจไม่ปกติได้ ตัวเครื่องวัดเสียงหัวใจ จะรับสัญญาณเสียงหัวใจโดยใช้ คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน แล้วผ่านวงจรซึ่งประกอบด้วย วงจรขยายสัญญาณ วงจรกรองความถี่สัญญาณความถี่สูงผ่าน และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน หลังจากสัญญาณผ่านวงจรดังกล่าวแล้วสัญญาณจะแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกไปผ่านวงจรขยายแล้วออกไปสู่ลำโพงเพื่อแสดงเสียงของหัวใจ สัญญาณอีกส่วนจะถูกส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่านเข้าทางการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตในโปรแกรม MATLAB โดยมีการใช้ Graphical User Interface ของโปรแกรม MATLAB ช่วยในการเชื่อมต่อกับผู้วิเคราะห์สัญญาณเสียงหัวใจที่วัดได้จะแสดงในรูปของกราฟ ซึ่งผู้วิเคราะห์สามารถเลือกช่วงของสัญญาณที่ต้องการไปวิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตต่อไปได้ โดยหลังจากการวิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตแล้วจะแสดงในรูปของกราฟที่สามารถแยกความแตกต่าง ระหว่างสัญญาณเสียงหัวใจปกติและสัญญาณเสียงหัวใจผิดปกติได้ นอกจากนี้ผู้วิเคราะห์สามารถเลือกช่วงของสัญญาณ ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย เวฟเล็ตมาหาค่าพลังงาน ซึ่งค่าพลังงานจะแสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานของเสียงปกติมีมากกว่าค่าพลังงานในเสียงหัวใจผิดปกติ

บุญล้ำ และคณะ (2550) ได้ศึกษาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ยังเป็นปัญหาหลักที่ทำให้ผลการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดพลาด งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อ 1) จำลองวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และ 2) ประยุกต์ใช้ตัวกรองที่ดีที่สุดบนฮาร์ดแวร์ DSP สำหรับวิธีการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบเทคนิคการกรองความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ 3 วิธี คือ ตัวกรองดิจิทัล ตัวกรองแบบปรับตัวได้ และตัวกรองแบบการแปลงเวฟเล็ต เพื่อเปรียบเทียบวิธีการกรองความถี่ที่ดีที่สุดโดยวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีอัตราส่วนสัญญาณหลักต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio: SNR) ผลการทดลองพบว่าตัวกรองดิจิทัลชนิด IIR notch filter แบบที่ 2 ได้ค่า SNR ดีสุดเท่ากับ 51.27 dB รองลงมาคือตัวกรองแบบปรับตัวได้ชนิด Kalman adaptive filter ได้ค่า SNR เท่ากับ 49.22 dB และการแปลงเวฟเล็ตชนิด Coiflet ได้ค่า SNR เท่ากับ 42 dB เมื่อได้ตัวกรองที่ดีที่สุดจากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab Simulink ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้กับฮาร์ดแวร์ DSP หมายเลข TMS320C31 ผลการวัดสัญญาณจากฮาร์ดแวร์ พบว่า สอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม สรุปได้ว่าตัวกรองแบบดิจิทัลชนิด IIR Notch Filter มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานในสถานการณ์จริง

สุชาวดี ตันตศักดิ์ (2550) ได้นำเสนอวิธีการสำหรับการตรวจจับฮาร์มอนิกในสัญญาณของระบบจำหน่ายด้วยซอฟต์แวร์แมทริกซ์ โดยในกระบวนการทำงานจะใช้การแปลงสัญญาณเวฟเล็ตเป็นตัวสกัดจุดเด่นในสัญญาณของฮาร์มอนิกแต่ละลำดับ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแต่ละระดับของการจำแนกองค์ประกอบหลายระดับความละเอียด เมื่อได้ข้อมูลของสัญญาณดังกล่าวแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวไปเป็นข้อมูลในการสอนซอฟต์แวร์แมทริกซ์เพื่อใช้ในการตรวจจับฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย ในการทดลองจะใช้สัญญาณที่จำลองขึ้นจากโปรแกรมและสัญญาณที่วัดได้จริงมาทดสอบกับอัลกอริทึมที่ทำการออกแบบไว้ โดยจะพบว่าวิธีการที่นำเสนอมานั้นสามารถใช้ในการตรวจจับฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายได้ดีโดยมีความถูกต้องในการตรวจจับฮาร์มอนิกในแบบจำลองที่ไม่มี





สัญญาณรบกวน มีค่าร้อยละ 96.22 และแบบมีสัญญาณรบกวน ร้อยละ 95.15 นอกจากนี้ยังมีความถูกต้องสูงในการตรวจจับสัญญาณฮาร์มอนิกในสัญญาณจริงอีกด้วย ทำให้วิธีการที่นำเสนอมานั้นสามารถนำไปพัฒนาศักยภาพของงานด้านการวิเคราะห์คุณภาพต่อไปได้ในอนาคต

เศรษฐพงษ์ ฮามคำไพ และคณะ (2550) นำเสนอการใช้เทคนิควิธีการประมวลสัญญาณสำหรับตรวจจับความเสียหายภายในชุดเฟืองเฉียงโดยทำการสร้างชุดเฟืองเฉียงเพื่อทำการทดลอง ในระดับความเสียหายสามระดับและวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตอบสนองในแต่ละระดับ โดยใช้เทคนิควิธีการประมวลสัญญาณสามวิธีการ คือ วิธีการสเปกตรัม, วิธีการแฮมส์ปตรัม และวิธีการเวฟเลต เพื่อตรวจจับความเสียหายภายในชุดเฟืองจากการวิเคราะห์สัญญาณสั่นสะเทือน จากนั้นเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ในแต่ละวิธีการ เพื่อแสดงถึงข้อดีและข้อเสีย พบว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสามวิธีการมีแนวโน้มเหมือนกัน กล่าวคือที่ระดับความเสียหายของฟันเฟืองเกินกว่า 50 % ความหนาของฟัน จะมีขนาดแอมพลิจูด, แกมมาจุดและแมกนิจูด ลดลง เมื่อวิเคราะห์ลึกลงไปในรายละเอียดพบว่า วิธีการสเปกตรัม ยังเป็นวิธีการที่สะดวกต่อการใช้งานและเป็นที่น่าสนใจแพร่หลาย หากแต่มีข้อจำกัด ก็คือมีความเหมาะสมกับการใช้วิเคราะห์สัญญาณคงตัวที่เท่านั้น นอกจากนี้อุปกรณ์เครื่องมือวัดสัญญาณสั่นสะเทือนในปัจจุบันสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปของสเปกตรัมได้โดยง่าย ส่วนวิธีการแฮมส์ปตรัมเป็นการเก็บรายละเอียดของวิธีการสเปกตรัมเพื่อแสดงให้ชัดเจนยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับการวัดที่ความเร็วรอบสูงและภาระเกิดขึ้นมากหากแต่เนื่องจากการทดลองนี้มีทอร์กน้อยจึงยากแก่การวิเคราะห์พิจารณา แต่ก็ยังสามารถแสดงถึงแกมมาจุดที่แตกต่างได้ สำหรับวิธีการแปลงเวฟเลตนั้นสามารถใช้ในการวิเคราะห์สภาพการเสียหายของชุดเฟืองในระดับต่างๆ ได้ดี รวมทั้งสามารถบ่งบอกตำแหน่งที่เสียหายของชุดเฟืองเฉียงได้อีกด้วย การที่จะวิเคราะห์เวฟเลตเพื่อบ่งบอกตำแหน่งเสียหายนั้นจะต้องใช้งานร่วมกับวิธีการที่บันทึกเวลาตำแหน่งรอบการวัด เช่น วิธีการวิเคราะห์สัญญาณเวลาเฉลี่ยเข้าจังหวะ (Time Synchronous average analysis, TSA.) แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ความสมบูรณ์ถูกต้องครบถ้วน การใช้การวิเคราะห์ทั้งสามวิธีการรวมกันจะสามารถวิเคราะห์ข้อเสียหายได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

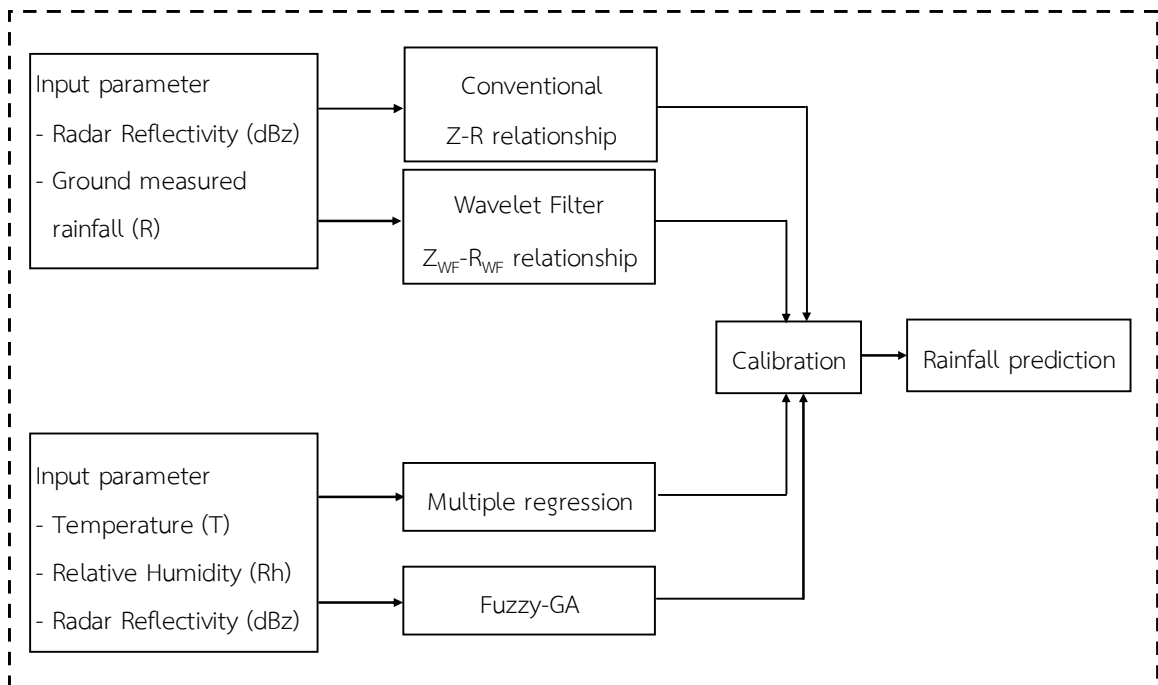


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยในครั้งนี้ได้นำหลักการกำจัดสัญญาณรบกวนของตัวแปรนำเข้าโดยใช้คลื่น Wavelet filter แบบ Haar wavelet มาใช้ในการประเมินปริมาณฝน ซึ่งตัวแปร 2 ตัวที่นำมากำจัดสัญญาณรบกวนสำหรับการใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองประเมินปริมาณฝนด้วยเทคนิค Wavelet คือ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) และค่าปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมงที่ตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำฝน แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์และอัตราการตกของฝน (Z-R relationship) เพื่อประเมินปริมาณฝนต่อไป

นอกจากนี้ในการประเมินปริมาณฝนอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้ในการศึกษาคือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองฟัซซีร่วมกับเจเนติกอัลกอริทึม และวิธีสมการถดถอย (Multiple regression) โดยใช้ตัวแปรจากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา 2 ตัวแปร ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และ อุณหภูมิ (Temperature) ร่วมกับตัวแปรค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity, dBz) เนื่องจากตัวแปรพื้นฐานเหล่านี้มีแนวโน้มที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฝนตกมากที่สุด (Gray, W. R. & Austin G. L., 2004; Rosenfeld et. al., 1993; Rosenfeld et.al., 1994; Atlas et.al., 1997) กรอบแนวคิดแสดงขั้นตอนการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 กรอบแนวคิดแสดงขั้นตอนการศึกษาแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ปริมาณฝน



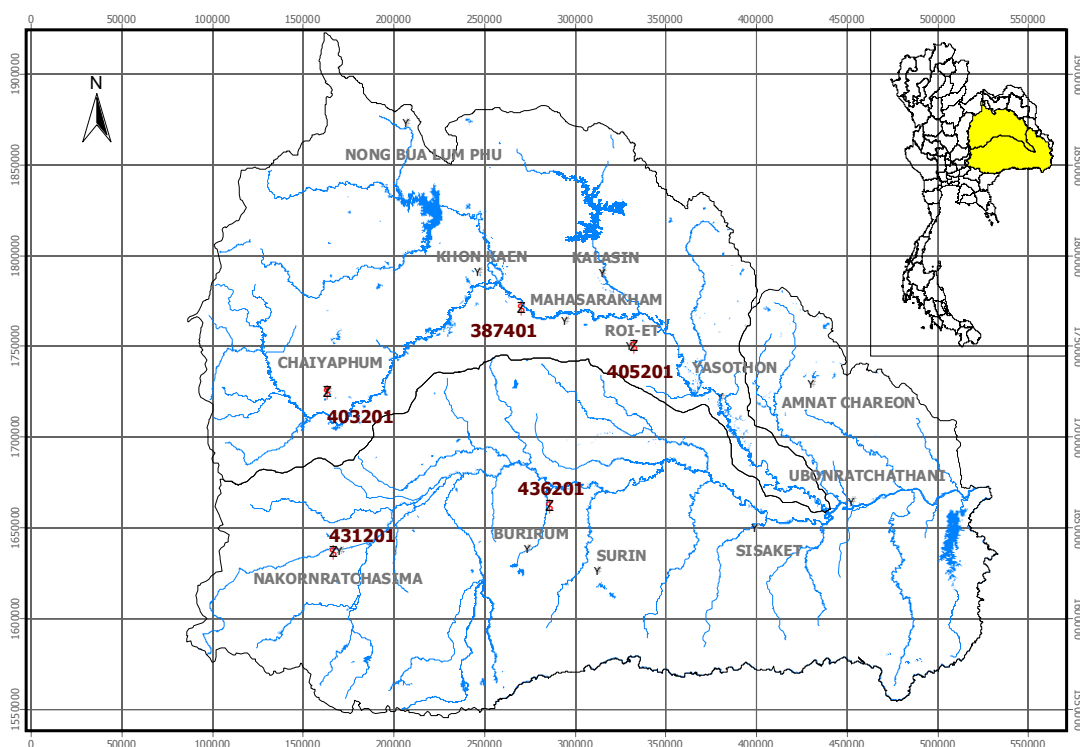
### 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย

#### 1. ข้อมูลตัวแปรด้านอุณหภูมิตั้งแต่ความชื้นสัมพัทธ์

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บโดยหน่วยงานกรมอุตุนิยมวิทยา จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และ บุรีรัมย์ ที่มีการบันทึกข้อมูลทุกๆ 3 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2547 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2547 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบ (Calibration) ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Validation) จะใช้ข้อมูลที่มีการบันทึกทุกๆ 3 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2554 ถึง วันที่ 31 ตุลาคม 2554

#### 2. ข้อมูลตัวแปรค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์

ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ได้จากการนำภาพเรดาร์ ไปเข้าสู่กระบวนการแปลงข้อมูลเชิงภาพไปเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข โดยใช้วิธีการ Buffer Probability Technique (BPT) ซึ่งภาพเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นภาพเรดาร์ชนิด CAPPI (The Constant Altitude Plan Position Indicator) ของสถานีเรดาร์พิมาย จังหวัดนครราชสีมา จัดเก็บและรวบรวมข้อมูลโดยสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร (Bureau of Royal Rainmaking and Agricultural Aviation) ที่มีการบันทึกต่อเนื่องราย 6 นาที มีรัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 5 สถานี ในลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูล (ตอนบนและตอนกลาง) ภาพประกอบ 3.2 แสดงตำแหน่งของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษา ทุกสถานีตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด



ภาพประกอบ 3.2 ตำแหน่งของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษา



## 3.2 การตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย

### 1. ข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature)

ข้อมูลอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา เป็นค่าอุณหภูมิตุ้มแห้งในหน่วยองศาเซลเซียส ที่บันทึกทุกๆ 3 ชั่วโมง โดยเครื่องมือเทอร์โมมิเตอร์แบบตุ้มแห้ง-ตุ้มเปียก จัดเก็บและรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา เมื่อนำค่าอุณหภูมิของแต่ละสถานีมาตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 27.48 – 28.49 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่สถานี 431201 นครราชสีมา เท่ากับ 37.60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่สถานี 403201 ชัยภูมิ เท่ากับ 22.10 องศาเซลเซียส ข้อมูลทุกสถานีมีลักษณะเบ้ไปทางขวา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลและค่าความเชื่อมั่นที่ 95% แต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน (ดูตาราง 3.1 และภาพประกอบ 3.3)

### 2. ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของไอน้ำในอากาศกับความจุไอน้ำที่อุณหภูมิที่กำหนด มีหน่วยเป็นร้อยละ เมื่ออากาศอิ่มตัวความชื้นสัมพัทธ์จะเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอยู่กับไอน้ำในอากาศและความจุไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์จึงเปลี่ยนแปลงได้สองกรณี คือกรณีที่หนึ่ง ความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากการกลายเป็นไอทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น กรณีที่สอง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลง ถ้าความชื้นจำเพาะคงที่ กรณีอุณหภูมิลดลงมีผลให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น กรณีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่มีการบันทึกทุกๆ 3 ชั่วโมง โดยเครื่องมือไฮโครมิเตอร์หรือไฮโกรมิเตอร์ จัดเก็บและรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา เมื่อนำค่าความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานีมาตรวจสอบค่าทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 73.36 – 81.39 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่สถานี 387401 มหาสารคาม เท่ากับ 100.00 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่สถานี 431201 นครราชสีมา เท่ากับ 41.00 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลทุกสถานีมีลักษณะเบ้ไปทางซ้าย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลและค่าความเชื่อมั่นที่ 95% แต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน (ดูตาราง 3.2 และภาพประกอบ 3.4)

### 3. ข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนจากภาพเรดาร์ (Radar reflectivity)

ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ได้จากกระบวนการแปลงข้อมูลเชิงภาพเรดาร์ไปเป็นข้อมูลเชิงดิจิทัล การศึกษาครั้งนี้ใช้ภาพเรดาร์แบบ CAPPI ของสถานีเรดาร์พิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยมีคุณลักษณะทั่วไปของเรดาร์ดังตาราง 3.3 การเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของภาพเรดาร์แบบ CAPPI จะใช้หลักการตรวจวัดปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและสะท้อนออกมาเป็นค่าพลังงานปรากฏแถบสีต่างๆในภาพเรดาร์ ในระหว่างการตรวจวัดอาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากระยะทางที่ห่างจากสถานีตรวจวัดมากๆ (Chumchean et al., 2004) และอาจมีปัญหาความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสูญเสียข้อมูล (Radial Anomaly) (Alberoni, P. P. et al., 2001) และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตรวจวัดสัญญาณที่เกิดจากกลุ่มฝนหรือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหาทางอิเล็กทรอนิกส์ในการจัดเก็บไฟล์ข้อมูล (Compliew and Kwanyuen, 2003) ตัวอย่างภาพเรดาร์ที่ไม่สมบูรณ์ แสดงดังภาพประกอบ 3.5

ภาพเรดาร์ที่สมบูรณ์ (ตัวอย่างแสดงในภาพประกอบ 3.6) จะนำมาหาค่า Radar Reflectivity (dBz) ที่ช่วงเวลาเดียวกันกับค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยา โดยนำเข้าไปในโปรแกรม Arc View GIS version



3.3 มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์เฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกันกับปริมาณฝนตกคือทุกๆ 3 ชั่วโมง ของแต่ละสถานี และใช้วิธีการ Buffer Probability Technique (BPT) คำนวณหาค่าพลังงานการสะท้อน โดยมีสมมติฐานว่า ปริมาณฝนที่ตกลงสู่ถึงวัดปริมาณน้ำฝนที่เวลาใดๆ ไม่ได้ตกในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยแรงลมทำให้ค่าพลังงานการสะท้อน (dBz) ที่คำนวณได้จากปริมาณฝนจากการตรวจวัด (R) เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ณ จุดใดๆจะคำนวณจากค่าเฉลี่ยภายในรัศมี 1 กิโลเมตร รอบสถานีวัดน้ำฝนเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ (Piman et al., 2007 ; Tantanee, 2008)

ตาราง 3.1 เปรียบเทียบค่าทางสถิติของอุณหภูมิแต่ละสถานีที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรสถิติ (อุณหภูมิ)	สถานี 387401 มหาสารคาม	สถานี 403201 ชัยภูมิ	สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	สถานี 431201 นครราชสีมา	สถานี 436201 บุรีรัมย์
ค่าเฉลี่ย	28.27	27.81	28.06	28.49	27.48
ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	0.10	0.11	0.10	0.12	0.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.79	2.86	2.68	3.14	2.73
ความแปรปรวน	7.81	8.18	7.20	9.85	7.44
ความเบ้	0.48	0.44	0.35	0.47	0.49
ค่าต่ำสุด	22.80	22.10	22.50	22.90	22.20
ค่าสูงสุด	36.20	35.70	35.50	37.60	35.20
ค่าความเชื่อมั่นที่ 95%	0.20	0.21	0.19	0.23	0.20

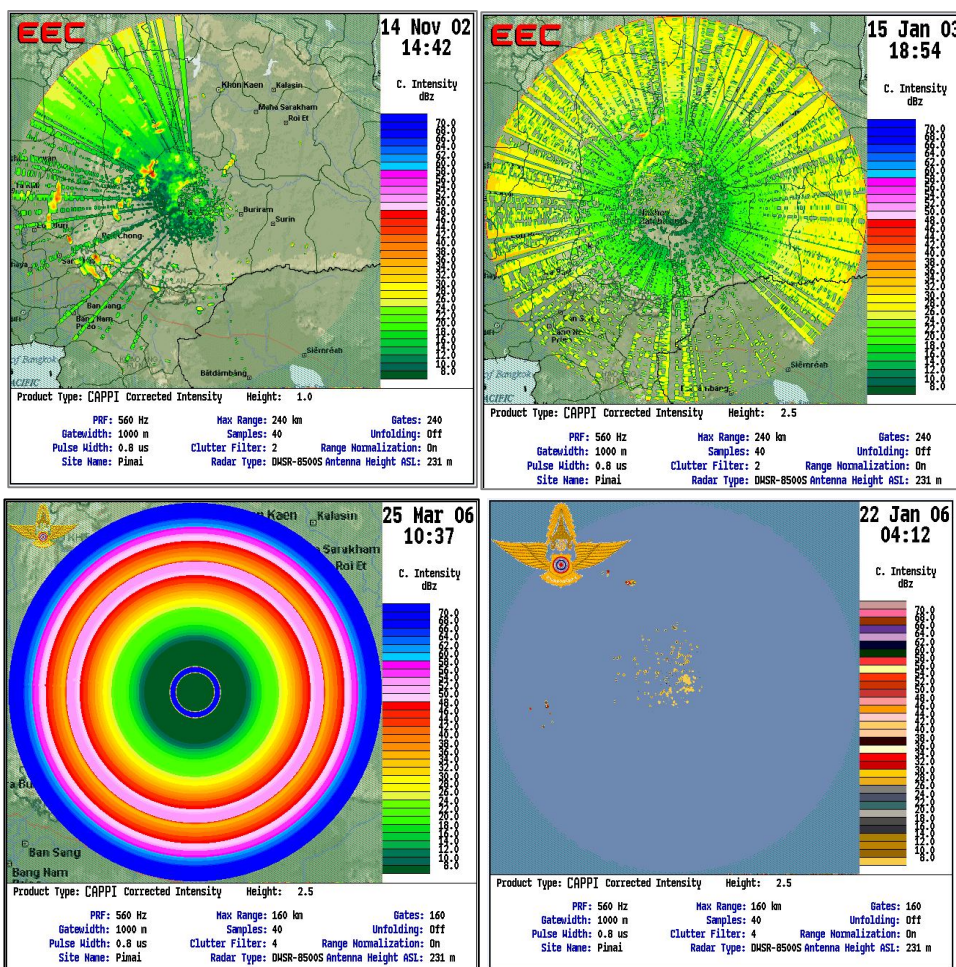
ตาราง 3.2 เปรียบเทียบค่าทางสถิติของความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานีที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรสถิติ (ความชื้นสัมพัทธ์)	สถานี 387401 มหาสารคาม	สถานี 403201 ชัยภูมิ	สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	สถานี 431201 นครราชสีมา	สถานี 436201 บุรีรัมย์
ค่าเฉลี่ย	79.01	78.64	78.41	73.36	81.39
ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	0.46	0.47	0.45	0.52	0.45
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	12.47	12.85	12.14	14.16	12.14
ความแปรปรวน	155.41	165.21	147.28	200.48	147.41
ความเบ้	-0.34	-0.43	-0.34	-0.25	-0.53
ค่าต่ำสุด	47.00	46.00	42.00	41.00	49.00
ค่าสูงสุด	100.00	98.00	98.00	97.00	99.00
ค่าความเชื่อมั่นที่ 95%	0.90	0.93	0.88	1.02	0.88

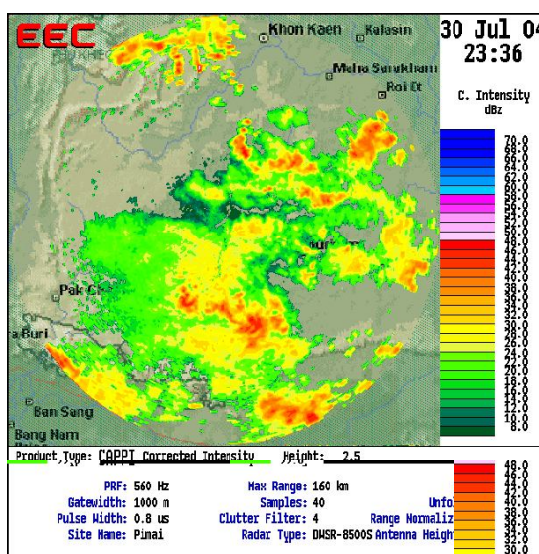








ภาพประกอบ 3.5 ตัวอย่างภาพเรดาร์แบบ CAPPI ที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์



ภาพประกอบ 3.6 ตัวอย่างภาพเรดาร์แบบ CAPPI สถานีเรดาร์พินาย เหตุการณ์วันที่ 30 กรกฎาคม 2547 เวลา 23:36 น.ที่มีลักษณะสมบูรณ์



ตาราง 3.3 คุณลักษณะทั่วไปของเรดาร์ตรวจอากาศสถานีพิมาย

รายละเอียดของเรดาร์	คุณลักษณะ
ชนิดเรดาร์	Doppler weather surveillance Radar model DWSR-8500 S , S band
ความยาวคลื่น (ซม.)	10.7
ความกว้างคลื่น (องศา)	1.2
ระยะห่างคลื่น (ไมโครวินาที)	0.8
ความละเอียดการบันทึกข้อมูล	1 องศา x 1 องศา x 1 กิโลเมตร
กำลังส่งสูงสุด (กิโลวัตต์)	850
รัศมีการตรวจวัดสูงสุด (กิโลเมตร)	480
มุมปฏิบัติการตรวจวัด	ปฏิบัติการ A : 0.8,1.7,2.5 ปฏิบัติการ B : 3.4,4.2,5.1,6.0,7.4,9.2,11.6,14.8,18.4,22.0

ที่มา : สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, 2547

### 3.3 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลเหตุการณ์พายุฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาของสถานีมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ เท่ากับ 16, 14, 19, 15 และ 24 เหตุการณ์ ตามลำดับ (ตาราง 3.4) โดยแบ่งลักษณะความรุนแรงของอัตราการตกของฝนดังนี้ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

- 1) ฝนตกเล็กน้อย อัตราการตกของฝน 0.10 – 5.00 มม./ชม.
- 2) ฝนตกปานกลาง อัตราการตกของฝน 5.10 – 25.00 มม./ชม.
- 3) ฝนตกหนัก อัตราการตกของฝน 25.10 – 50.00 มม./ชม.
- 4) ฝนตกหนักมาก อัตราการตกของฝนมากกว่า 50.10 มม./ชม. ขึ้นไป

ข้อมูลปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2547 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2547 ซึ่งใช้เป็นเหตุการณ์ปรับเทียบ (Calibration) ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง (Verification) จะใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2554 ถึง วันที่ 31 ตุลาคม 2554 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่เคยใช้ในการปรับเทียบมาก่อน เนื่องจากในเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลของพายุดีเปรสชัน "จันทู" เคลื่อนผ่านทางตะวันตกเฉียงเหนืออย่างช้าๆ เคลื่อนตัวพาดผ่านภาคตะวันออกเฉียงเหนือเข้าสู่พื้นที่ภาคเหนือ จนเกิดน้ำท่วมฉับพลันในเขตจังหวัดต่างๆทางภาคเหนือและเกิดฝนตกหนักบริเวณจังหวัดหนองคาย นครพนม สกลนคร กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร สุรินทร์ ศรีสะเกษ อำนาจเจริญ อุบลราชธานี น่าน แพร่ พิชณุโลก และเพชรบูรณ์

นอกจากนี้ในปี พ.ศ.2554 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลทั้งโดยตรงและโดยอ้อมจากพายุที่เคลื่อนตัวมาจากทะเลจีนใต้ จำนวน 5 ลูก ได้แก่ พายุโซนร้อนไหหม่า นกเตน ไท่ถาง เนสาด และนาแลก โดยพื้นที่ภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหนักที่สุด โดยช่วงปลายเดือนมิถุนายน มีพายุโซนร้อนไหหม่าพัดถล่มพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำยมเพิ่มขึ้นอย่างมาก



ถัดมาในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม น้ำในพื้นที่ภาคเหนือยังไม่ทันระบายได้หมด พายุบกเตนได้พัดถล่มซ้ำพื้นที่เดิมอีก ทำให้ปริมาณน้ำยิ่งเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นได้มีพายุที่ส่งผลกระทบต่ออย่างต่อเนื่องอีกคือ พายุไต้ฝุ่น ที่ส่งผลกระทบต่อภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณพื้นที่ริมแม่น้ำโขงโดยตรงในช่วงวันที่ 27-29 กันยายน 2554 ต่อมาคือ พายุเนสาดได้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยต่อเนื่องจากพายุไต้ฝุ่น บริเวณที่ได้รับผลกระทบยังคงเป็นพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและด้านตะวันออกของภาคเหนือ ส่วนพายุลูกสุดท้ายคือ พายุเณสาด ที่อิทธิพลของพายุส่งผลให้ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรงขึ้นและทำให้มีฝนมากในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก ช่วงวันที่ 5-7 ตุลาคม 2554

### 3.4 การประเมินปริมาณฝนจากสมการ Z-R relationship

วิธีการวิเคราะห์สมการ Z-R relationship ทำได้โดยการหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในสมการ ประกอบด้วยค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ และข้อมูลอัตราการตกของฝน โดยค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์หาได้จากกระบวนการแปลงภาพเรดาร์เป็นข้อมูลดิจิทัลด้วยเทคนิค Buffer Probability technique (BPT) ทำการสร้างรัศมี 1 กิโลเมตร (Buffer zone) รอบๆสถานีวัดน้ำฝนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากกระแสลมขณะตรวจวัดปริมาณฝน อ่านค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ และจับคู่กับปริมาณฝนที่ไม่เป็นศูนย์ (non zero pairs) เพื่อนำไปสร้างสมการ Z-R relationship โดยเทคนิค Probability Matching Method (PMM) ต่อไป ขั้นตอนการประเมินปริมาณฝนจากสมการ Z-R relationship แสดงในภาพประกอบ 3.7

ตาราง 3.4 รายละเอียดเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกที่ใช้ในการศึกษา

เหตุการณ์	สถานี 387401 มหาสารคาม				ช่วงเวลาฝนตก (ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)	อัตราการตก (มม./ชม.)	ขนาดความรุนแรงของฝนตก
	วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา				
1	31 พ.ค. 47	22:00:00	1 มิ.ย. 47	1:00:00	3	31.40	10.47	ฝนตกปานกลาง
2	13 มิ.ย. 47	22:00:00	15 มิ.ย. 47	16:00:00	43	118.40	2.75	ฝนตกเล็กน้อย
3	16 มิ.ย. 47	16:00:00	16 มิ.ย. 47	22:00:00	6	21.10	3.52	ฝนตกเล็กน้อย
4	4 ก.ค. 47	16:00:00	4 ก.ค. 47	22:00:00	6	10.90	1.82	ฝนตกเล็กน้อย
5	9 ก.ค. 47	22:00:00	10 ก.ค. 47	7:00:00	9	10.30	1.14	ฝนตกเล็กน้อย
6	13 ก.ค. 47	13:00:00	13 ก.ค. 47	22:00:00	9	18.10	2.01	ฝนตกเล็กน้อย
7	14 ก.ค. 47	19:00:00	15 ก.ค. 47	10:00:00	15	32.10	2.14	ฝนตกเล็กน้อย
8	20 ก.ค. 47	22:00:00	21 ก.ค. 47	4:00:00	6	59.00	9.83	ฝนตกปานกลาง
9	22 ก.ค. 47	16:00:00	23 ก.ค. 47	7:00:00	15	19.90	1.33	ฝนตกเล็กน้อย
10	25 ก.ค. 47	22:00:00	26 ก.ค. 47	7:00:00	12	16.70	1.39	ฝนตกเล็กน้อย
11	26 ก.ค. 47	16:00:00	27 ก.ค. 47	19:00:00	27	43.30	1.60	ฝนตกเล็กน้อย
12	28 ก.ค. 47	13:00:00	28 ก.ค. 47	19:00:00	6	34.80	5.80	ฝนตกปานกลาง
13	7 ส.ค. 47	22:00:00	8 ส.ค. 47	7:00:00	9	54.30	6.03	ฝนตกปานกลาง
14	19 ส.ค. 47	16:00:00	20 ส.ค. 47	7:00:00	15	52.20	3.48	ฝนตกเล็กน้อย
15	23 ส.ค. 47	16:00:00	24 ส.ค. 47	1:00:00	9	52.00	5.78	ฝนตกปานกลาง
16	28 ส.ค. 47	16:00:00	28 ส.ค. 47	22:00:00	6	13.50	2.25	ฝนตกเล็กน้อย



ตาราง 3.4 (ต่อ)

สถานี		403201 ชัยภูมิ				ช่วงเวลาฝนตก (ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)	อัตราการตก (มม./ชม.)	ขนาดความรุนแรง ของฝนตก
เหตุการณ์	วันเวลาที่ฝนตก								
	วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา					
1	2 มิ.ย. 47	7:00:00	2 มิ.ย. 47	10:00:00	6	11.10	1.85	ฝนตกเล็กน้อย	
2	7 มิ.ย. 47	22:00:00	8 มิ.ย. 47	4:00:00	6	37.90	6.32	ฝนตกปานกลาง	
3	10 มิ.ย. 47	19:00:00	10 มิ.ย. 47	22:00:00	6	10.00	1.67	ฝนตกเล็กน้อย	
4	11 มิ.ย. 47	16:00:00	11 มิ.ย. 47	22:00:00	6	30.00	5.00	ฝนตกเล็กน้อย	
5	14 มิ.ย. 47	7:00:00	15 มิ.ย. 47	13:00:00	30	76.30	2.54	ฝนตกเล็กน้อย	
6	15 มิ.ย. 47	19:00:00	16 มิ.ย. 47	19:00:00	24	11.80	0.49	ฝนตกเล็กน้อย	
7	28 มิ.ย. 47	19:00:00	28 มิ.ย. 47	22:00:00	6	9.40	1.57	ฝนตกเล็กน้อย	
8	21 ก.ค. 47	22:00:00	22 ก.ค. 47	7:00:00	9	16.50	1.83	ฝนตกเล็กน้อย	
9	23 ก.ค. 47	22:00:00	24 ก.ค. 47	7:00:00	9	9.40	1.04	ฝนตกเล็กน้อย	
10	26 ก.ค. 47	22:00:00	27 ก.ค. 47	13:00:00	15	14.10	0.94	ฝนตกเล็กน้อย	
11	30 ก.ค. 47	22:00:00	31 ก.ค. 47	7:00:00	9	11.20	1.24	ฝนตกเล็กน้อย	
12	31 ก.ค. 47	22:00:00	1 ส.ค. 47	4:00:00	6	38.90	6.48	ฝนตกปานกลาง	
13	1 ส.ค. 47	22:00:00	2 ส.ค. 47	7:00:00	9	12.70	1.41	ฝนตกเล็กน้อย	
14	20 ส.ค. 47	16:00:00	20 ส.ค. 47	19:00:00	3	16.70	5.57	ฝนตกปานกลาง	

สถานี		405201 ร้อยเอ็ด				ช่วงเวลาฝนตก (ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)	อัตราการตก (มม./ชม.)	ขนาดความรุนแรง ของฝนตก
เหตุการณ์	วันเวลาที่ฝนตก								
	วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา					
1	8 มิ.ย. 47	4:00:00	8 มิ.ย. 47	7:00:00	3	29.10	9.70	ฝนตกปานกลาง	
2	12 มิ.ย. 47	19:00:00	14 มิ.ย. 47	7:00:00	36	124.40	3.46	ฝนตกเล็กน้อย	
3	15 มิ.ย. 47	13:00:00	15 มิ.ย. 47	22:00:00	9	27.30	3.03	ฝนตกเล็กน้อย	
4	4 ก.ค. 47	13:00:00	4 ก.ค. 47	19:00:00	6	38.40	6.40	ฝนตกปานกลาง	
5	5 ก.ค. 47	13:00:00	5 ก.ค. 47	22:00:00	9	113.10	12.57	ฝนตกปานกลาง	
6	10 ก.ค. 47	19:00:00	11 ก.ค. 47	7:00:00	12	56.00	4.67	ฝนตกเล็กน้อย	
7	15 ก.ค. 47	4:00:00	15 ก.ค. 47	7:00:00	3	12.50	4.17	ฝนตกเล็กน้อย	
8	18 ก.ค. 47	13:00:00	18 ก.ค. 47	22:00:00	9	18.40	2.04	ฝนตกเล็กน้อย	
9	22 ก.ค. 47	19:00:00	24 ก.ค. 47	1:00:00	30	35.00	1.17	ฝนตกเล็กน้อย	
10	24 ก.ค. 47	19:00:00	25 ก.ค. 47	7:00:00	12	30.70	2.56	ฝนตกเล็กน้อย	
11	26 ก.ค. 47	16:00:00	27 ก.ค. 47	16:00:00	24	181.20	7.55	ฝนตกปานกลาง	
12	29 ก.ค. 47	13:00:00	29 ก.ค. 47	19:00:00	6	15.60	2.60	ฝนตกเล็กน้อย	
13	1 ส.ค. 47	22:00:00	2 ส.ค. 47	4:00:00	6	12.60	2.10	ฝนตกเล็กน้อย	
14	8 ส.ค. 47	1:00:00	8 ส.ค. 47	7:00:00	6	79.20	13.20	ฝนตกปานกลาง	
15	9 ส.ค. 47	1:00:00	9 ส.ค. 47	4:00:00	3	14.80	4.93	ฝนตกเล็กน้อย	
16	9 ส.ค. 47	19:00:00	10 ส.ค. 47	7:00:00	12	63.90	5.33	ฝนตกปานกลาง	
17	17 ส.ค. 47	19:00:00	18 ส.ค. 47	1:00:00	6	13.60	2.27	ฝนตกเล็กน้อย	
18	18 ส.ค. 47	19:00:00	19 ส.ค. 47	4:00:00	9	20.30	2.26	ฝนตกเล็กน้อย	
19	19 ส.ค. 47	16:00:00	20 ส.ค. 47	4:00:00	12	43.50	3.63	ฝนตกเล็กน้อย	

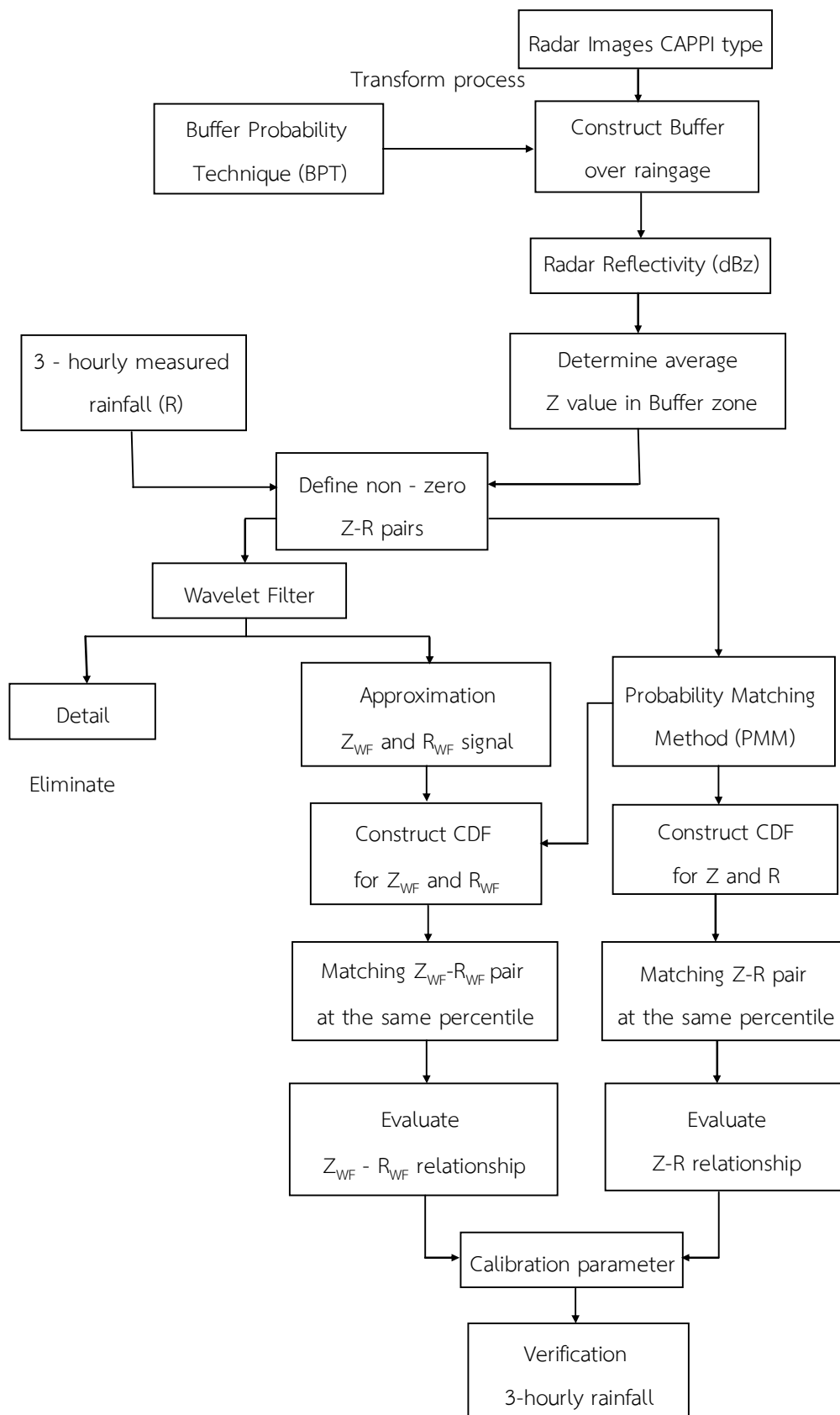


ตาราง 3.4 (ต่อ)

สถานี 431201 นครราชสีมา								
เหตุการณ์	วันเวลาที่ฝนตก				ช่วงเวลาฝนตก (ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)	อัตราการตก (มม./ชม.)	ขนาดความรุนแรง ของฝนตก
	วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา				
1	7 มิ.ย. 47	13:00:00	7 มิ.ย. 47	19:00:00	6	24.90	4.15	ฝนตกเล็กน้อย
2	9 มิ.ย. 47	22:00:00	10 มิ.ย. 47	7:00:00	9	15.60	1.73	ฝนตกเล็กน้อย
3	11 มิ.ย. 47	16:00:00	12 มิ.ย. 47	7:00:00	15	16.20	1.08	ฝนตกเล็กน้อย
4	13 มิ.ย. 47	13:00:00	15 มิ.ย. 47	4:00:00	39	86.80	2.23	ฝนตกเล็กน้อย
5	16 มิ.ย. 47	13:00:00	16 มิ.ย. 47	22:00:00	9	14.10	1.57	ฝนตกเล็กน้อย
6	8 ก.ค. 47	16:00:00	8 ก.ค. 47	22:00:00	6	18.50	3.08	ฝนตกเล็กน้อย
7	13 ก.ค. 47	13:00:00	13 ก.ค. 47	16:00:00	3	13.00	4.33	ฝนตกเล็กน้อย
8	16 ก.ค. 47	16:00:00	16 ก.ค. 47	19:00:00	3	27.00	9.00	ฝนตกปานกลาง
9	22 ก.ค. 47	22:00:00	23 ก.ค. 47	10:00:00	12	16.20	1.35	ฝนตกเล็กน้อย
10	26 ก.ค. 47	22:00:00	27 ก.ค. 47	16:00:00	18	10.10	0.56	ฝนตกเล็กน้อย
11	30 ก.ค. 47	19:00:00	31 ก.ค. 47	7:00:00	12	6.60	0.55	ฝนตกเล็กน้อย
12	31 ก.ค. 47	19:00:00	1 ส.ค. 47	7:00:00	12	30.10	2.51	ฝนตกเล็กน้อย
13	1 ส.ค. 47	13:00:00	2 ส.ค. 47	7:00:00	18	41.90	2.33	ฝนตกเล็กน้อย
14	2 ส.ค. 47	19:00:00	3 ส.ค. 47	4:00:00	9	20.90	2.32	ฝนตกเล็กน้อย
15	7 ส.ค. 47	16:00:00	7 ส.ค. 47	19:00:00	3	9.70	3.23	ฝนตกเล็กน้อย

สถานี 436201 บุรีรัมย์								
เหตุการณ์	วันเวลาที่ฝนตก				ช่วงเวลาฝนตก (ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)	อัตราการตก (มม./ชม.)	ขนาดความรุนแรง ของฝนตก
	วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา				
1	8 มิ.ย. 47	19:00:00	9 มิ.ย. 47	1:00:00	6	36.50	6.08	ฝนตกปานกลาง
2	11 มิ.ย. 47	16:00:00	11 มิ.ย. 47	19:00:00	3	11.80	3.93	ฝนตกเล็กน้อย
3	13 มิ.ย. 47	19:00:00	14 มิ.ย. 47	19:00:00	24	124.80	5.20	ฝนตกปานกลาง
4	16 มิ.ย. 47	13:00:00	17 มิ.ย. 47	1:00:00	12	21.10	1.76	ฝนตกเล็กน้อย
5	20 มิ.ย. 47	13:00:00	20 มิ.ย. 47	22:00:00	9	15.50	1.72	ฝนตกเล็กน้อย
6	28 มิ.ย. 47	22:00:00	29 มิ.ย. 47	1:00:00	3	17.20	5.73	ฝนตกปานกลาง
7	30 มิ.ย. 47	22:00:00	1 ก.ค. 47	1:00:00	3	11.90	3.97	ฝนตกเล็กน้อย
8	5 ก.ค. 47	16:00:00	5 ก.ค. 47	22:00:00	6	16.00	2.67	ฝนตกเล็กน้อย
9	10 ก.ค. 47	19:00:00	11 ก.ค. 47	7:00:00	12	35.50	2.96	ฝนตกเล็กน้อย
10	11 ก.ค. 47	22:00:00	12 ก.ค. 47	4:00:00	6	29.60	4.93	ฝนตกเล็กน้อย
11	13 ก.ค. 47	16:00:00	13 ก.ค. 47	22:00:00	6	25.70	4.28	ฝนตกเล็กน้อย
12	15 ก.ค. 47	1:00:00	15 ก.ค. 47	7:00:00	6	14.40	2.40	ฝนตกเล็กน้อย
13	17 ก.ค. 47	19:00:00	18 ก.ค. 47	4:00:00	9	53.90	5.99	ฝนตกปานกลาง
14	21 ก.ค. 47	22:00:00	22 ก.ค. 47	7:00:00	9	115.10	12.79	ฝนตกปานกลาง
15	23 ก.ค. 47	13:00:00	23 ก.ค. 47	22:00:00	9	17.80	1.98	ฝนตกเล็กน้อย
16	26 ก.ค. 47	16:00:00	27 ก.ค. 47	16:00:00	24	26.90	1.12	ฝนตกเล็กน้อย
17	30 ก.ค. 47	16:00:00	31 ก.ค. 47	4:00:00	12	25.80	2.15	ฝนตกเล็กน้อย
18	2 ส.ค. 47	19:00:00	3 ส.ค. 47	4:00:00	9	51.80	5.76	ฝนตกปานกลาง
19	3 ส.ค. 47	16:00:00	3 ส.ค. 47	19:00:00	3	13.30	4.43	ฝนตกเล็กน้อย
20	6 ส.ค. 47	16:00:00	6 ส.ค. 47	22:00:00	6	22.40	3.73	ฝนตกเล็กน้อย
21	7 ส.ค. 47	19:00:00	8 ส.ค. 47	10:00:00	15	20.80	1.39	ฝนตกเล็กน้อย
22	8 ส.ค. 47	16:00:00	8 ส.ค. 47	22:00:00	6	36.20	6.03	ฝนตกปานกลาง
23	9 ส.ค. 47	1:00:00	9 ส.ค. 47	4:00:00	3	52.20	17.40	ฝนตกปานกลาง
24	19 ส.ค. 47	1:00:00	19 ส.ค. 47	7:00:00	6	20.90	3.48	ฝนตกเล็กน้อย





ภาพประกอบ 3.7 ขั้นตอนการประเมินปริมาณฝนจากสมการ Z-R relationship



วิธีการสร้างสมการ Z-R relationship ในการศึกษาจะใช้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแบบดั้งเดิม หรือ Conventional Method และ วิธีการ Wavelet Filter ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

### 1. วิธีการแบบดั้งเดิม หรือ Conventional Method

1.1 หาอัตราการตกของฝน (R) ในหน่วย มม./ชม. จากค่าปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน

1.2 เรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก ประกอบด้วยข้อมูลอัตราการตกของฝนและค่าพลังงานการสะท้อน (dBz) ที่ได้จากขั้นตอนการประยุกต์ใช้เทคนิค BPT

1.3 หาค่าความถี่สะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ของชุดข้อมูลจากสมการ  $CDF = 100 \times (1/n)$  โดยที่ค่า n คือจำนวนข้อมูล

1.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง CDF และค่าพลังงานการสะท้อน (dBz)

1.5 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง CDF และอัตราการตกของฝน (R)

1.6 อ่านค่าพลังงานการสะท้อน (dBz) และ อัตราการตกของฝน (R) ที่เวลาเดียวกัน แปลงค่าพลังงานการสะท้อน (dBz) ไปเป็นค่าจากสมการ 3.1 ดังนี้

$$Z \text{ (dBz)} = 10 \log_{10} Z \text{ (mm}^6/\text{mm}^3) \quad (3.1)$$

โดยที่ Z (dBz) คือ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Decibels of Reflectivity)

Z คือ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์กำหนดเป็นผลรวมของหน่วยปริมาตรของค้ายกกำลังหกของเส้นผ่าศูนย์กลางวัตถุเป้าหมาย (Conversion Reflectivity)

1.7 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานสะท้อนของเรดาร์ (Z) และอัตราการตกของฝน (Rain rate, R) ทำการปรับเส้นโค้ง (curve fitting) จะได้สมการ Z-R relationship ที่มีค่าคงที่ a และ b

1.8 ทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองในขั้นตอนการ verification จะนำค่าคงที่ a และ b ในสมการ Z-R relationship ที่ได้ไปหาค่า Z และ R เมื่อทราบค่า dBz ของข้อมูลปี 2554 ของแต่ละสถานี เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณฝนต่อไป

### 2. วิธีการ Wavelet Filter

นำค่าพลังงานการสะท้อน (dBz) และปริมาณฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ไปกำจัดสัญญาณรบกวน โดยการแยกองค์ประกอบด้วยเทคนิคเวฟเล็ตแบบ Haar wavelet จะได้ค่า Approximation และ Detail ของสัญญาณ  $\text{dBz}_{WF}$  และ  $R_{WF}$

สัญญาณ Detail กำจัดออกไป (Eliminate) เนื่องจากเป็นสัญญาณรบกวนเนื่องจากฤดูกาล (seasonal effect) สำหรับปริมาณฝนที่ตรวจวัด และสัญญาณรบกวนเนื่องจากการปัจจัยทางเทคนิคการตรวจวัดของเรดาร์ นำค่า Approximation ของสัญญาณ  $\text{dBz}_{WF}$  และ  $R_{WF}$  ที่ได้ไปหาอัตราการตกของฝน (R) ในหน่วย มม./ชม. ตามวิธีการในข้อที่ 1.1 ถึงข้อที่ 1.8 ของวิธีการแบบดั้งเดิม จะได้สมการ  $Z_{WF}-R_{WF}$  relationship เพื่อการประเมินปริมาณฝนต่อไป



### 3.5 การประเมินปริมาณฝนจากสมการถดถอย (Multiple regression Method)

การวิเคราะห์สมการถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจ 3 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรอุณหภูมิ (temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Reflectivity) ซึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยจะเรียกตัวแปรที่สนใจนี้ว่าตัวแปรตาม (Dependent variable) และเรียกตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก (Rainfall) ที่แทนปัจจัยที่ทำให้ค่าของตัวแปรตามเปลี่ยนแปลงว่าตัวแปรอิสระ (Independent variable) โดยจะศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในรูปแบบฟังก์ชันความสัมพันธ์การถดถอย ในการวิเคราะห์การถดถอยนั้นจะมีทั้งในรูปแบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น หากพบว่าความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นให้ใช้การวิเคราะห์ความถดถอยแบบเชิงเส้น แต่ถ้าหากพบว่าความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้นให้วิเคราะห์ความถดถอยแบบไม่เชิงเส้น เมื่อนำข้อมูลมาทำการพล็อตกราฟแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจายกันเป็นกลุ่ม เมื่อทำการ Take natural log จะได้ความสัมพันธ์กันในแบบเชิงเส้น

การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นจะมีสมการดังนี้ คือ

$$\text{Rain} = A + B (\text{Temp}) \quad (3.2)$$

$$\text{Rain} = A + B (\text{Rh}) \quad (3.3)$$

$$\text{Rain} = A + B (\text{dBz}) \quad (3.4)$$

$$\text{Rain} = A + B (\text{Temp}) + C (\text{Rh}) \quad (3.5)$$

$$\text{Rain} = A + B (\text{Rh}) + C (\text{dBz}) \quad (3.6)$$

$$\text{Rain} = A + B (\text{Temp}) + C (\text{dBz}) \quad (3.7)$$

$$\text{Rain} = A + B (\text{Temp}) + C (\text{Rh}) + D (\text{dBz}) \quad (3.8)$$

โดยที่	Rain	คือ ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)
	Temp	คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
	Rh	คือ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
	dBz	คือ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)

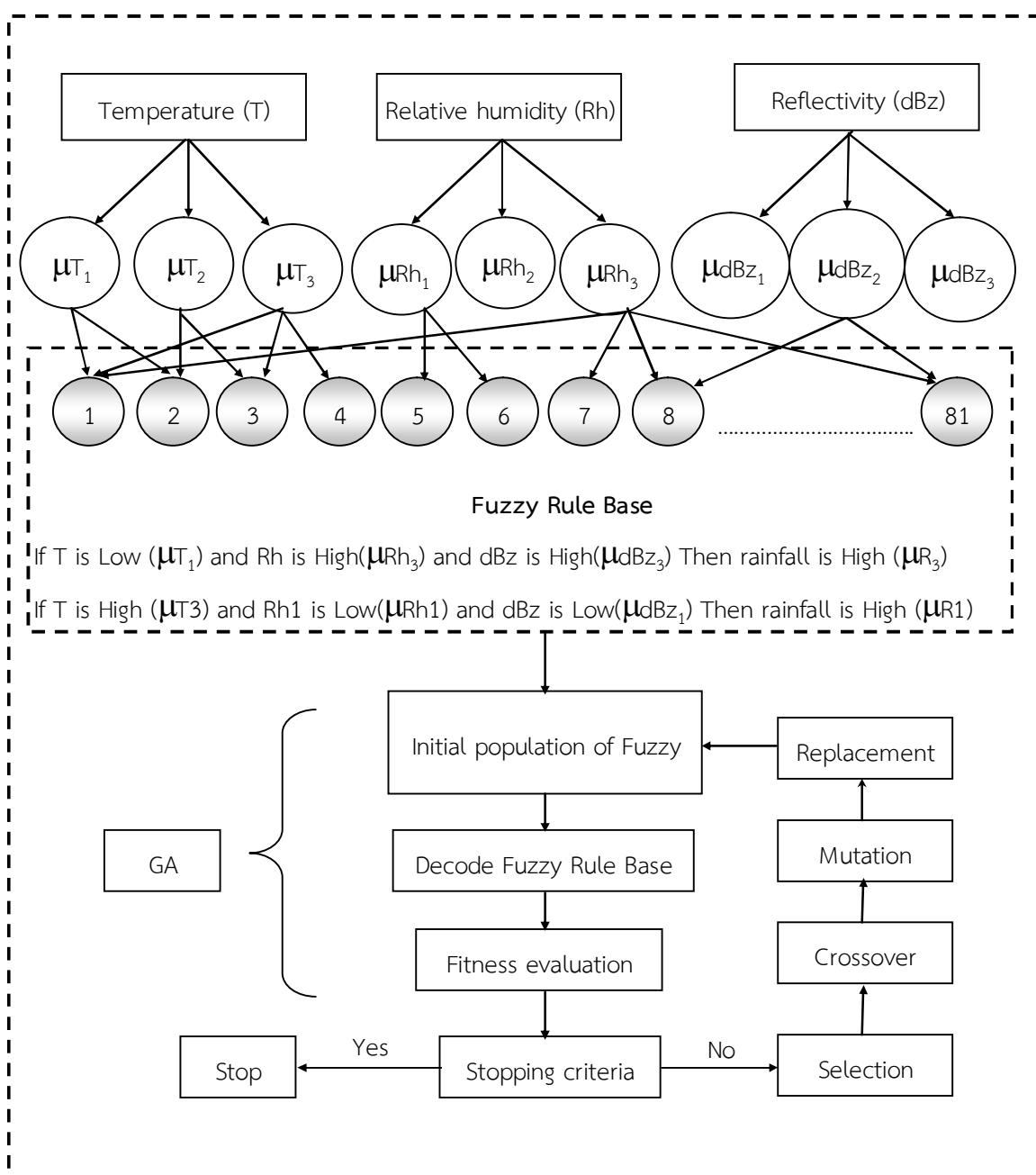
ในขั้นตอนการปรับเทียบพารามิเตอร์ (Calibration) จะใช้ข้อมูลตัวแปรนำเข้าปี พ.ศ.2547 มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวแปร 2 ตัวแปร 3 ตัวแปร กับตัวแปรอิสระ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ A, B, C และ D ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) สูงสุด หลังจากนั้นจะนำสมการเชิงเส้นแต่ละสมการไปทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2554 สำหรับการประเมินปริมาณฝนต่อไป





### 3.6 การประเมินปริมาณฝนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองฟuzzy-เจเนติก (Fuzzy-GAs Model)

ขั้นตอนของการประยุกต์ใช้ฟuzzyเซต คือ การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก การสร้างกฎการควบคุมของตัวแปรเข้าคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ และการหาตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก การปรับเทียบ และการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับค่าปริมาณฝนตรวจวัด รายละเอียดขั้นตอนของการประยุกต์ใช้เทคนิคฟuzzy-เจเนติกอัลกอริทึมเพื่อการประเมินปริมาณฝนแสดงดังภาพประกอบ 3.8 อธิบายได้ดังนี้



ภาพประกอบ 3.8 ขั้นตอนการประเมินปริมาณฝนจากวิธีการ Fuzzy-GAs

## 1. การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function, MF)

ในการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะดำเนินการดังนี้

1.1 จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะเลือกพิจารณาจากการกระจายตัวของข้อมูลในอดีตระหว่างปริมาณฝนตกและอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ซึ่งในการแบ่งช่วงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูล (ภาพประกอบ 3.9) จะพิจารณาดังนี้

1.1.1 การแบ่งช่วงอุณหภูมิ จากการสังเกตการกระจายตัวของข้อมูลจะเห็นว่าอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 20 – 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการแบ่งช่วงจะแบ่งในแกน X ในช่วง 20 – 40 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงในฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะใช้เงื่อนไขอัลกอริทึมช่วยในการแบ่งช่วงเพื่อให้ได้ช่วงที่เหมาะสมที่สุด

1.1.2 การแบ่งช่วงความชื้นสัมพัทธ์ จากการสังเกตการกระจายตัวของข้อมูลจะเห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 40 – 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการแบ่งช่วงจะแบ่งในแกน X ในช่วง 40 – 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงในฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะใช้เงื่อนไขอัลกอริทึมช่วยในการแบ่งช่วงเพื่อให้ได้ช่วงที่เหมาะสมที่สุด

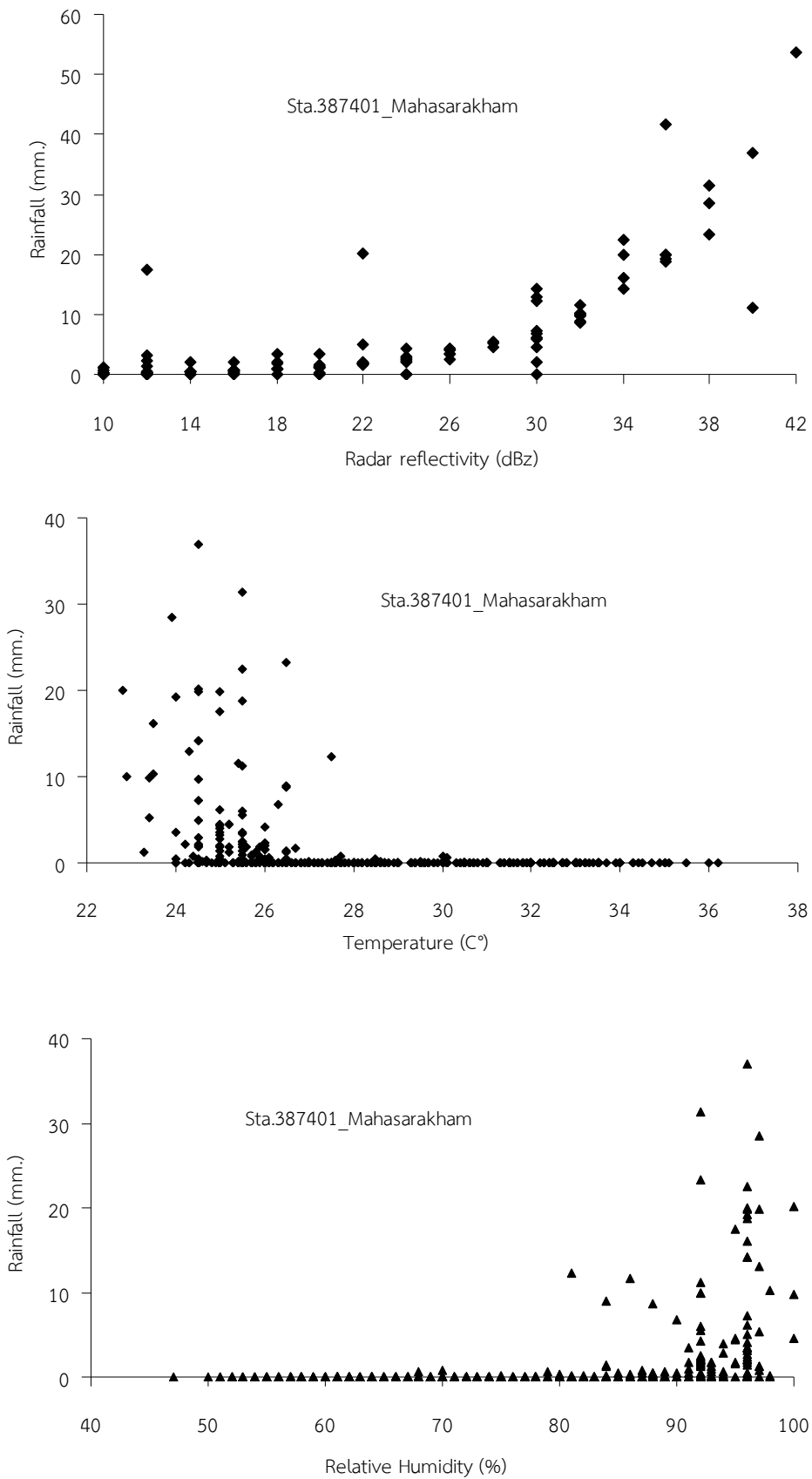
1.1.3 การแบ่งช่วงค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ จากการสังเกตการกระจายตัวของข้อมูลจะเห็นว่าค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ มีค่าระหว่าง 10 – 50 dBz ดังนั้นในการแบ่งช่วงจะแบ่งในแกน X ในช่วง 10 – 50 dBz ส่วนช่วงในฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะใช้เงื่อนไขอัลกอริทึมช่วยในการแบ่งช่วงเพื่อให้ได้ช่วงที่เหมาะสมที่สุด

1.2 การกำหนดรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะพิจารณาจากประสบการณ์และความเหมาะสมของข้อมูลในอดีต (Shrestha, Duckstein and Stakhiv, 1996: 262-269) ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function) และรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มจะใช้เป็นรูปเดียวกันหมด และกำหนดให้มีลักษณะสมมาตรกันเพราะจะทำให้การคำนวณและการปรับแก้ง่าย (Jang, Sun and Mizutani, 2000)

## 2. การสร้างกฎการควบคุม (Rule Base)

การสร้างกฎควบคุม หมายถึง การสร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้าแต่ละตัวและตัวแปรออก จากหลักการ IF Premise (antecedent), THEN Conclusion (consequent) เป็นรูปแบบกฎพื้นฐาน (IF-THEN) ที่เป็นการอนุมานคือ ถ้าเรารู้ข้อเท็จจริง (ข้อเสนอ, สิ่งที่เกิดขึ้นก่อน) เราสามารถอนุมานข้อเท็จจริงได้ (บทสรุป, ผลที่ตามมา) ระบบกฎพื้นฐานเป็นรูปแบบที่มีลักษณะเด่นที่ว่าเป็นระบบที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาได้ดี ซึ่งแหล่งที่มาของกฎการควบคุมอาจจะมาจากประสบการณ์ของมนุษย์ หรือมาจากแหล่งอื่นแต่ต้องมีความสอดคล้อง มีปฏิสัมพันธ์กัน และมีความสมบูรณ์ของกฎควบคุมฟัซซี และใช้การดำเนินการ (Operator) เชื่อมต่อแบบ AND, OR จากนั้นใช้กระบวนการอนุมาน ซึ่งในกรณีที่มีกฎพื้นฐานมากกว่า 1 ข้อขึ้นไป ในการอนุมานจำเป็นจะต้องรวมกฎเข้าด้วยกัน (Aggregation) จากนั้นก็ใช้กระบวนการหาตัวแปรออกของระบบ (Ross, 1995)





ภาพประกอบ 3.9 ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลในอดีตสำหรับการแบ่งช่วงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



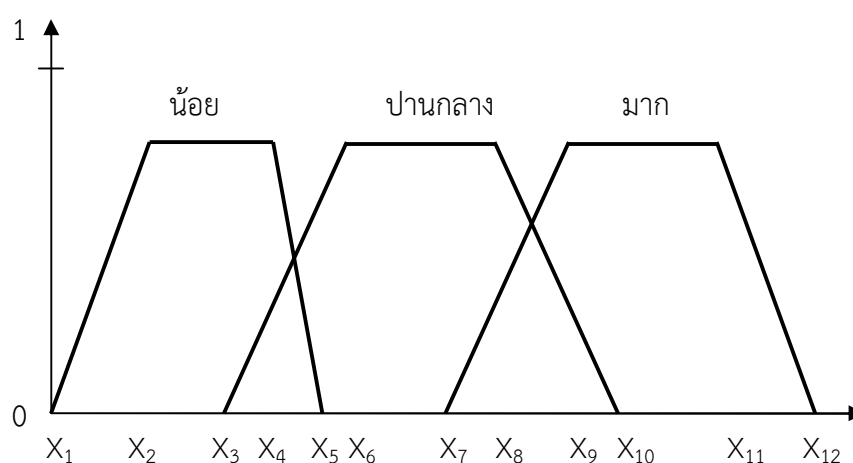
จากเส้นแนวโน้มของปริมาณฝนตกกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ที่แสดงในภาพประกอบ 3.9 จะเห็นว่าปริมาณฝนตกจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์สูงขึ้น ซึ่งมีความแปรผันตรงต่อกัน ค่าอุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดปริมาณฝนตกมากกว่าค่าอุณหภูมิสูง ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดปริมาณฝนตกมากกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ตาราง 3.5 แสดงตัวอย่างกฎการควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ในการหาค่าปริมาณฝนตก โดยสร้างจากข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าตัวแปรเข้าแต่ละตัวจะเชื่อมต่อกันด้วยตัวดำเนินการ AND ทุกกรณี

### 3. การหาตัวแปรออก

ในการหาตัวแปรออกใช้หลักการ Defuzzification กล่าวคือ การแปลงตัวแปรฟัซซีกลับมาเป็นตัวแปรแบบธรรมดา โดยใช้เทคนิค Centroid method เพราะมีความสะดวกต่อการใช้งานในโปรแกรมสำเร็จรูป

### 4. การประยุกต์ GA มาปรับเทียบในแบบจำลองฟัซซีเซต

การที่จะนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าปริมาณฝนตกจำเป็นต้องมีการปรับเทียบ(Calibration)ก่อน หลักการปรับเทียบพารามิเตอร์จะทำการเปลี่ยนรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหรือเปลี่ยนความชันของเส้นกราฟแต่ละเส้น จะส่งผลต่อค่าของตัวแปรออกหรือปริมาณฝนเปลี่ยนไป ซึ่งค่า  $X_1$  ถึง  $X_{12}$  ในภาพประกอบ 3.10 จะเป็นตัวกำหนดความชันของเส้นกราฟและรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก แต่อย่างไรก็ตามในการปรับเทียบในแบบจำลองของฟัซซีด้วยวิธีนี้มีความลำบากมากและยังต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ใช้งาน จึงทำให้ค่าที่ได้ยังไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมสูงสุด (Phumphan et al., 2008) ดังนั้นเจเนติกแอลกอริทึมเป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดแบบ Near optimization approach มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ เป็นวิธีการที่ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบ แบบกลุ่มเป็นพื้นฐาน มีการแลกเปลี่ยนลักษณะบ่งชี้ของประชากร คำตอบแต่ละตัว จนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุดเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อน



ภาพประกอบ 3.10 รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เปลี่ยนตามค่า  $X_1$ - $X_{12}$



ตาราง 3.5 รูปแบบของกฎการควบคุม (Rule-base) กรณี 3 ตัวแปรเข้า จำนวน 81 กฎ

เงื่อนไข	อุณหภูมิ	ตัวเชื่อม	ความชื้นสัมพัทธ์	ตัวเชื่อม	ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์	ตัวเชื่อม	ปริมาณฝนตกที่ตรวจวัด
IF	น้อย	AND	น้อย	AND	น้อย	THEN	น้อย
			ปานกลาง		ปานกลาง		ปานกลาง
			มาก		ปานกลาง		น้อย
IF	ปานกลาง	AND	น้อย	AND	น้อย	THEN	ปานกลาง
			ปานกลาง		ปานกลาง		มาก
			มาก		ปานกลาง		มาก
IF	มาก	AND	น้อย	AND	น้อย	THEN	ปานกลาง
			ปานกลาง		ปานกลาง		มาก
			มาก		ปานกลาง		ปานกลาง



### 3.7 การปรับเทียบ (Calibration)

1. ข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบคือข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอายุ 3 ชั่วโมงปี พ.ศ.2547 (ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2547 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2547) ได้แก่ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณฝนจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และ บุรีรัมย์ และข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ของสถานีเรดาร์พิมาย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจัดเก็บโดยสำนักฝนหลวง และการบินเกษตรที่มีรัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 5 สถานี
2. เลือกจำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มากที่สุด (เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด) ซึ่งจะพิจารณาจากปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำฝน ดังสมการต่อไปนี้

$$R^2 = \frac{(\sum Rm_i Ra_i - m \overline{Rm_i} \overline{Ra_i})^2}{(\sum Rm_i^2 - m \overline{Rm_i}^2)(\sum Ra_i^2 - m \overline{Ra_i}^2)} \quad (3.9)$$

เมื่อ  $Rm$  คือ ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองพีซีเซต (Rainfall from model)  
 $Ra$  คือ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด (Rainfall from observed)

3. ทำการปรับปรุงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยวิธีการของเจเนติกแอลกอริทึม ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยเลื่อนกราฟ เข้า-ออก ซึ่งจะทำให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนรูปร่างไป แล้วจะส่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เปลี่ยนแปลงเข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด จะทำให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของคำตอบ และจะนำไปทดสอบความแม่นยำในขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองต่อไป

### 3.8 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Verification)

การประเมินประสิทธิภาพจะเลือกประเมินกับข้อมูลชุดที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการปรับเทียบ ได้แก่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ.2554 (ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2554 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2554) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และ บุรีรัมย์ ซึ่งผลการประเมินค่าปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง (Model rainfall) จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of Estimate, S.E.E) ที่เบี่ยงเบนจากค่าปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด (Observed rainfall) ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of Estimate, S.E.E) มีความเบี่ยงเบนน้อยประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้ก็จะสูง



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำหลักการประเมินปริมาณฝนจากสมการ Z-R relationship ที่มี การประยุกต์ใช้หลักการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยเทคนิค Wavelet Filter ร่วมกับวิธีการประเมิน Z-R แบบดั้งเดิม (Conventional Method) ทั้งนี้มีตัวแปรนำเข้า 2 ตัวแปรคือค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity, dBz) และตัวแปรปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำฝน นอกจากนี้ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการพีซีเซต-เจเนติกอัลกอริทึมและสมการถดถอยสำหรับประเมินปริมาณฝน โดยใช้ตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปร ประกอบด้วยค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ในการปรับเทียบ (Calibration) ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บและบันทึกภายใน 3 ชั่วโมง ช่วงข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2547 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2547 ส่วนข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์แบบ CAPPI ได้จากการประมวลผลภาพเรดาร์ที่สถานีเรดาร์พิมาย จังหวัดนครราชสีมา รัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 5 สถานี และใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2554 มาทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Verification)

ผลการศึกษาและการอภิปรายผลที่นำเสนอในบทนี้ ประกอบด้วย ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรเข้ากับตัวแปรออก ผลการวิเคราะห์สมการ Z-R relationship จากวิธีแบบดั้งเดิม (Conventional Method) และจากการประยุกต์ใช้หลักการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิค Wavelet Filter นอกจากนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินปริมาณฝนจากการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอย (Multiple regression model) และจากการประยุกต์ใช้ Fuzzy-GAs รวมทั้งการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองแต่ละวิธีด้วย

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรเข้าและตัวแปรออก

##### 1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์กับปริมาณฝน

การวิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ได้จากการนำภาพเรดาร์ชนิด CAPPI ของสถานีเรดาร์พิมาย จังหวัดนครราชสีมา รัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ครอบคลุมสถานีวัดน้ำฝน 5 สถานี โดยเลือกภาพเรดาร์ที่มีเหตุการณ์ช่วงเวลานับที่ข้อมูลเดียวกันกับเวลาการตกของฝนจำนวน 51 เหตุการณ์ (ตาราง 4.1) ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2547 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2547 จำนวนภาพเรดาร์ทั้งหมด ที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบความสมบูรณ์ข้อมูลแล้ว 6,630 ภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) ของสถานี 387401 มหาสารคาม สถานี403201ชัยภูมิ สถานี405201ร้อยเอ็ด สถานี431201นครราชสีมา และ สถานี 436201บุรีรัมย์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 10-46 dBz, 10-50 dBz, 10-46 dBz, 10-44 dBz และ 10-42 dBz ตามลำดับ จากค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) แต่ละสถานีนำไปสร้างความสัมพันธ์กับค่าปริมาณฝนแสดงได้ดังภาพประกอบ 4.1 ส่วนฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ที่ได้จากการวิเคราะห์และฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของ



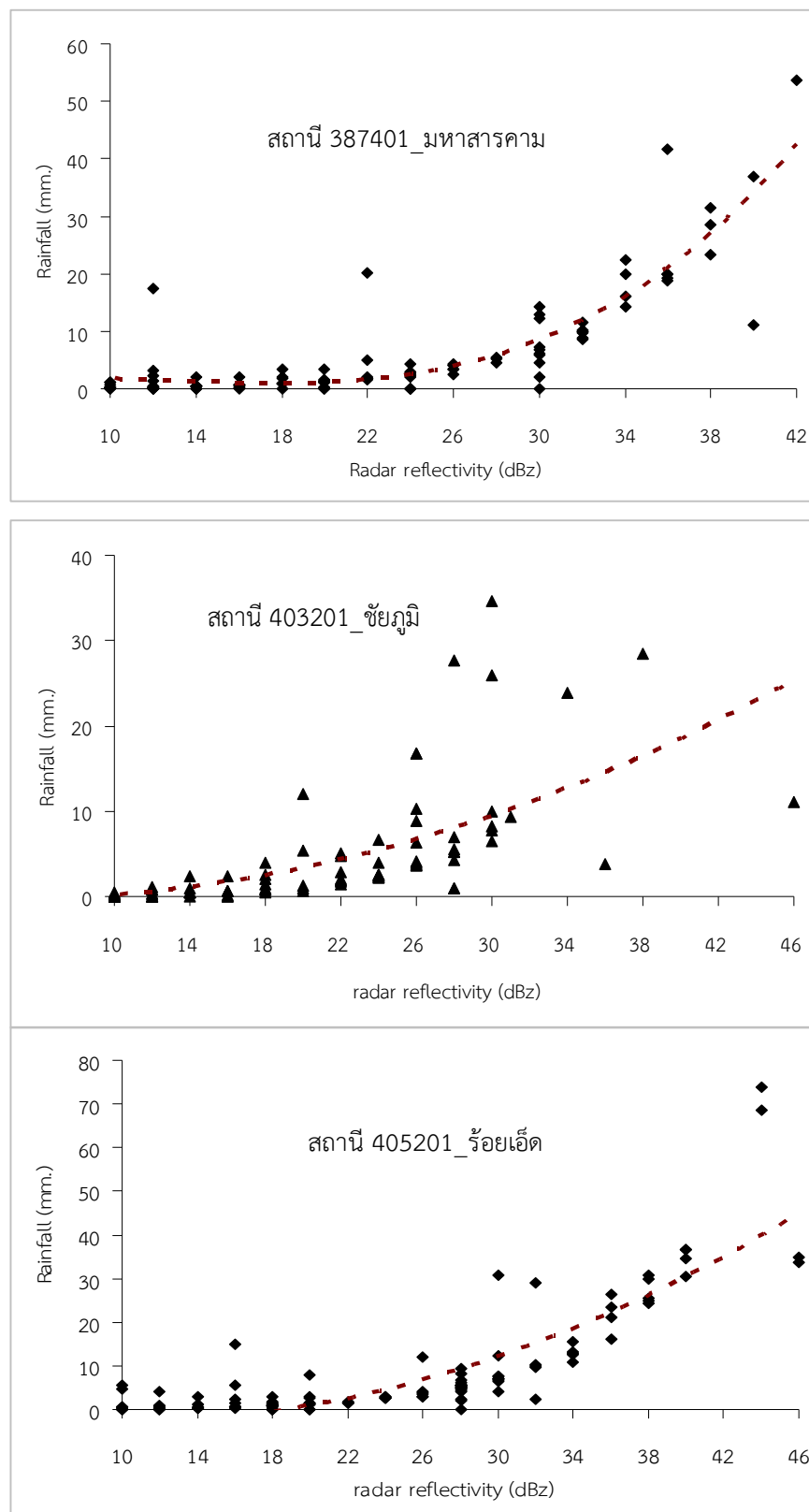


ข้อมูลปริมาณฝนแต่ละสถานีแสดงดังภาพประกอบ 4.2 และภาพประกอบ 4.3 ตามลำดับ ตัวแปรทางสถิติสำหรับปริมาณฝนและค่าพลังงานการสะท้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ แสดงดังตาราง 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนตกและพลังงานการสะท้อนของเรดาร์มากที่สุด ได้แก่สถานี405201ร้อยเอ็ด และสถานี436201บุรีรัมย์ มีค่าเท่ากับ 8.90 มม., 7.77 มม. สำหรับข้อมูลปริมาณฝน และ 25.02 dBz, 23.38 dBz สำหรับข้อมูลพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ตามลำดับ

ตาราง 4.1 เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาที่มีช่วงเวลานับที่ข้อมูลสอดคล้องกับภาพเรดาร์

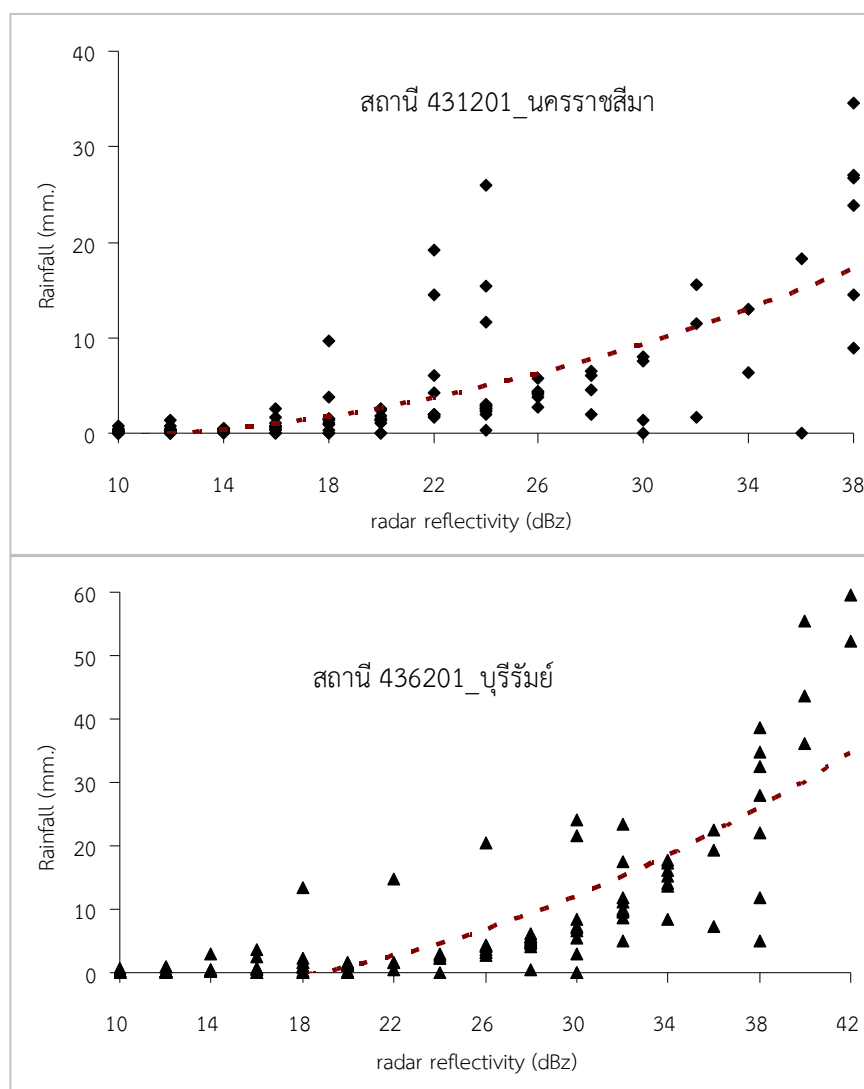
เหตุการณ์ ที่	วันเวลาฝนตกที่สอดคล้องภาพเรดาร์				เวลาฝนตก (ชม.)	เหตุการณ์ ที่	วันเวลาฝนตกที่สอดคล้องภาพเรดาร์				เวลาฝนตก (ชม.)
	วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา			วันที่เริ่ม	เวลา	วันที่สิ้นสุด	เวลา	
1	31 พ.ค. 47	22:00:00	1 มิ.ย. 47	1:00:00	3	28	20 ก.ค. 47	22:00:00	21 ก.ค. 47	4:00:00	6
2	2 มิ.ย. 47	7:00:00	2 มิ.ย. 47	10:00:00	6	29	21 ก.ค. 47	22:00:00	22 ก.ค. 47	7:00:00	9
3	7 มิ.ย. 47	13:00:00	8 มิ.ย. 47	4:00:00	9	30	22 ก.ค. 47	16:00:00	24 ก.ค. 47	1:00:00	33
4	8 มิ.ย. 47	4:00:00	9 มิ.ย. 47	1:00:00	21	31	23 ก.ค. 47	13:00:00	24 ก.ค. 47	7:00:00	18
5	9 มิ.ย. 47	22:00:00	10 มิ.ย. 47	7:00:00	9	32	24 ก.ค. 47	19:00:00	25 ก.ค. 47	7:00:00	12
6	10 มิ.ย. 47	19:00:00	10 มิ.ย. 47	22:00:00	6	33	25 ก.ค. 47	22:00:00	26 ก.ค. 47	7:00:00	12
7	11 มิ.ย. 47	16:00:00	12 มิ.ย. 47	7:00:00	15	34	26 ก.ค. 47	16:00:00	27 ก.ค. 47	19:00:00	27
8	12 มิ.ย. 47	19:00:00	14 มิ.ย. 47	7:00:00	36	35	28 ก.ค. 47	13:00:00	28 ก.ค. 47	19:00:00	6
9	13 มิ.ย. 47	13:00:00	15 มิ.ย. 47	16:00:00	51	36	29 ก.ค. 47	13:00:00	29 ก.ค. 47	19:00:00	6
10	14 มิ.ย. 47	7:00:00	15 มิ.ย. 47	13:00:00	30	37	30 ก.ค. 47	16:00:00	31 ก.ค. 47	7:00:00	15
11	15 มิ.ย. 47	19:00:00	16 มิ.ย. 47	19:00:00	24	38	31 ก.ค. 47	19:00:00	1 ส.ค. 47	7:00:00	12
12	16 มิ.ย. 47	13:00:00	17 มิ.ย. 47	1:00:00	12	39	1 ส.ค. 47	13:00:00	2 ส.ค. 47	7:00:00	18
13	20 มิ.ย. 47	13:00:00	20 มิ.ย. 47	22:00:00	9	40	2 ส.ค. 47	19:00:00	3 ส.ค. 47	4:00:00	9
14	28 มิ.ย. 47	19:00:00	29 มิ.ย. 47	1:00:00	6	41	3 ส.ค. 47	16:00:00	3 ส.ค. 47	19:00:00	3
15	30 มิ.ย. 47	22:00:00	1 ก.ค. 47	1:00:00	3	42	6 ส.ค. 47	16:00:00	6 ส.ค. 47	22:00:00	6
16	4 ก.ค. 47	13:00:00	4 ก.ค. 47	22:00:00	9	43	7 ส.ค. 47	19:00:00	8 ส.ค. 47	10:00:00	15
17	5 ก.ค. 47	13:00:00	5 ก.ค. 47	22:00:00	9	44	8 ส.ค. 47	1:00:00	8 ส.ค. 47	22:00:00	21
18	8 ก.ค. 47	16:00:00	8 ก.ค. 47	22:00:00	6	45	9 ส.ค. 47	1:00:00	10 ส.ค. 47	7:00:00	30
19	9 ก.ค. 47	22:00:00	10 ก.ค. 47	7:00:00	9	46	17 ส.ค. 47	19:00:00	18 ส.ค. 47	1:00:00	6
20	10 ก.ค. 47	19:00:00	11 ก.ค. 47	7:00:00	12	47	18 ส.ค. 47	19:00:00	19 ส.ค. 47	4:00:00	9
21	11 ก.ค. 47	22:00:00	12 ก.ค. 47	4:00:00	6	48	19 ส.ค. 47	1:00:00	20 ส.ค. 47	7:00:00	30
22	13 ก.ค. 47	13:00:00	13 ก.ค. 47	22:00:00	9	49	20 ส.ค. 47	16:00:00	20 ส.ค. 47	19:00:00	3
23	14 ก.ค. 47	19:00:00	15 ก.ค. 47	10:00:00	15	50	23 ส.ค. 47	16:00:00	24 ส.ค. 47	1:00:00	9
24	15 ก.ค. 47	1:00:00	15 ก.ค. 47	7:00:00	6	51	28 ส.ค. 47	16:00:00	28 ส.ค. 47	22:00:00	6
25	16 ก.ค. 47	16:00:00	16 ก.ค. 47	19:00:00	3	รวม					342
26	17 ก.ค. 47	19:00:00	18 ก.ค. 47	4:00:00	9	จำนวนภาพเรดาร์ = 663x10 = 6,630 ภาพ					
27	18 ก.ค. 47	13:00:00	18 ก.ค. 47	22:00:00	9						





ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละสถานี



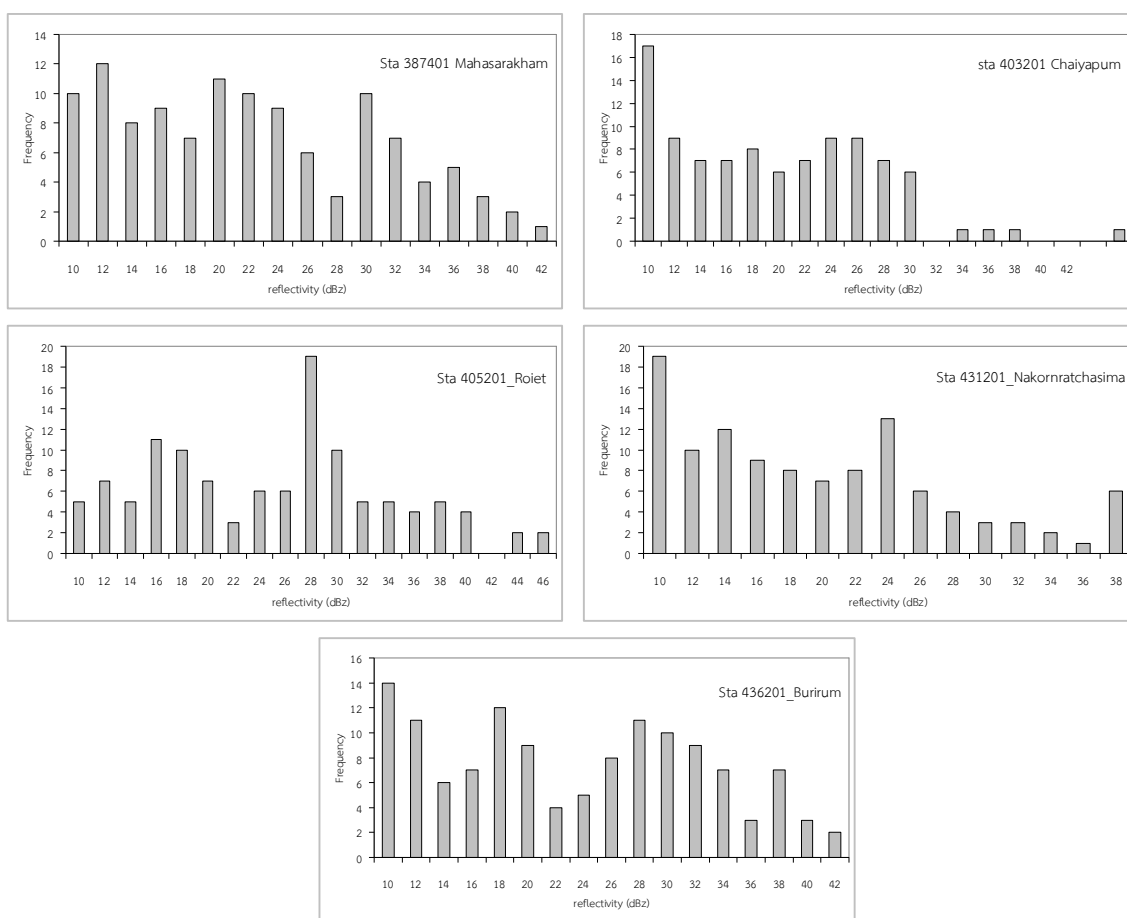


ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละสถานี (ต่อ)

## 2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับปริมาณฝน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณฝนของสถานี 387401 มหาสารคาม สถานี 403201ชัยภูมิ สถานี 405201ร้อยเอ็ด สถานี 431201นครราชสีมา และสถานี 436201บุรีรัมย์ แสดงดังภาพประกอบ 4.4 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของทุกสถานีที่เหมาะสมต่อการเกิดฝนมีค่าอยู่ระหว่าง 22.0 – 29.5 องศาเซลเซียส นั่นคืออุณหภูมิแปรผกผันกับปริมาณฝนที่ตก ค่าอุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มในการเกิดฝนมากกว่าค่าอุณหภูมิสูง



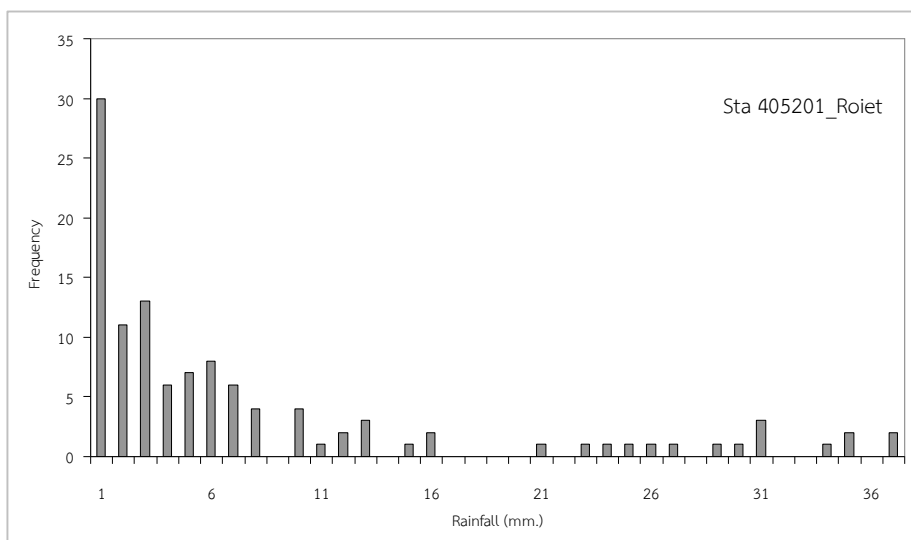
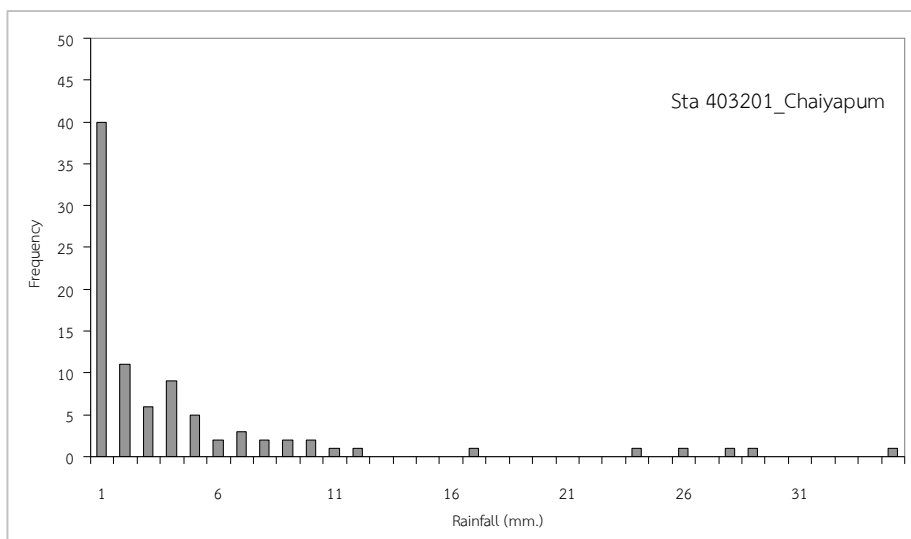
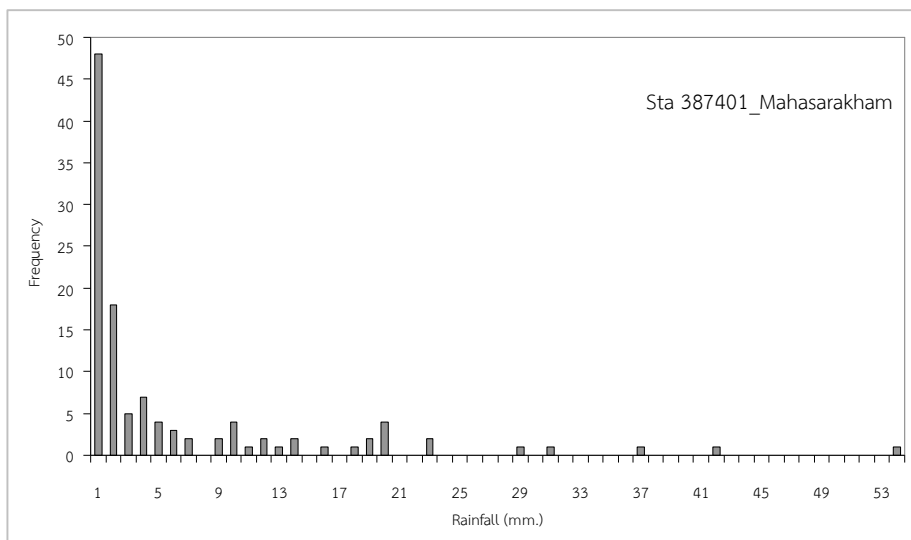


ภาพประกอบ 4.2 ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์แต่ละสถานี

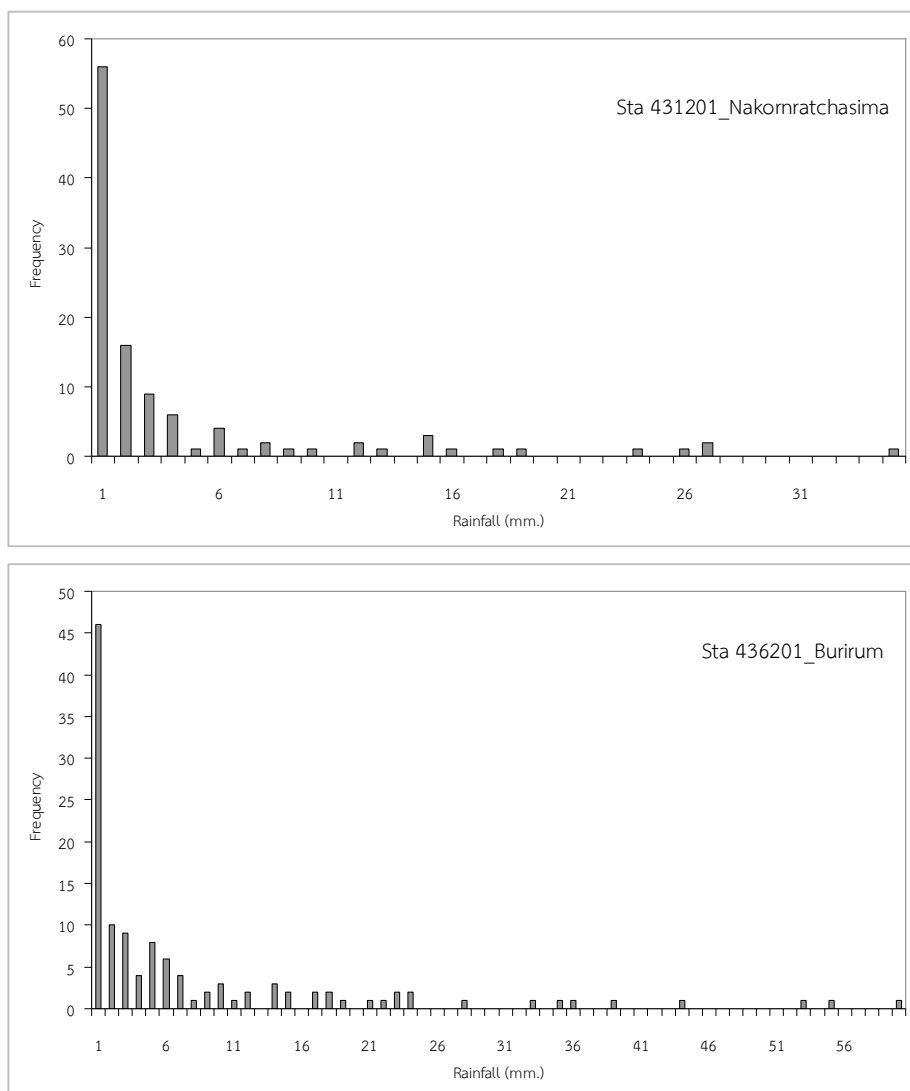
ตาราง 4.2 ตัวแปรทางสถิติสำหรับปริมาณฝนและค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์แต่ละสถานี

ตัวแปรสถิติ	สถานี 387401 มหาสารคาม	สถานี 403201 ชัยภูมิ	สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	สถานี 431201 นครราชสีมา	สถานี 436201 บุรีรัมย์
ปริมาณฝน					
ค่าเฉลี่ย	5.95	4.29	8.90	3.99	7.77
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.29	6.69	12.71	6.66	11.90
ความเบ้	2.62	2.83	2.70	2.56	2.41
ค่าความเชื่อมั่นที่ 95%	1.72	1.40	2.34	1.25	2.14
ค่าพลังงานการสะท้อนเรดาร์					
ค่าเฉลี่ย	22.21	19.76	25.02	19.64	23.38
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.60	7.76	9.05	8.07	9.30
ความเบ้	0.34	0.55	0.21	0.66	0.13
ค่าความเชื่อมั่นที่ 95%	1.57	1.56	1.66	1.52	1.63





ภาพประกอบ 4.3 ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด



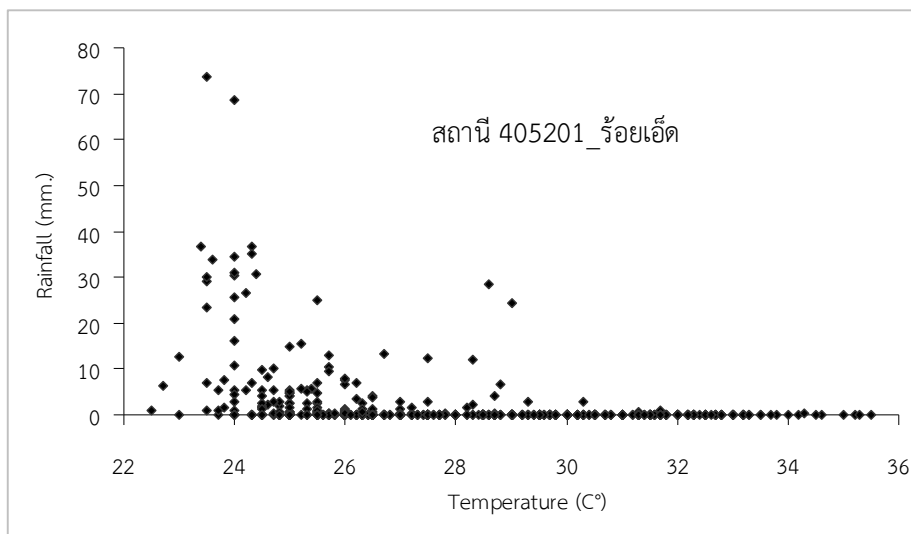
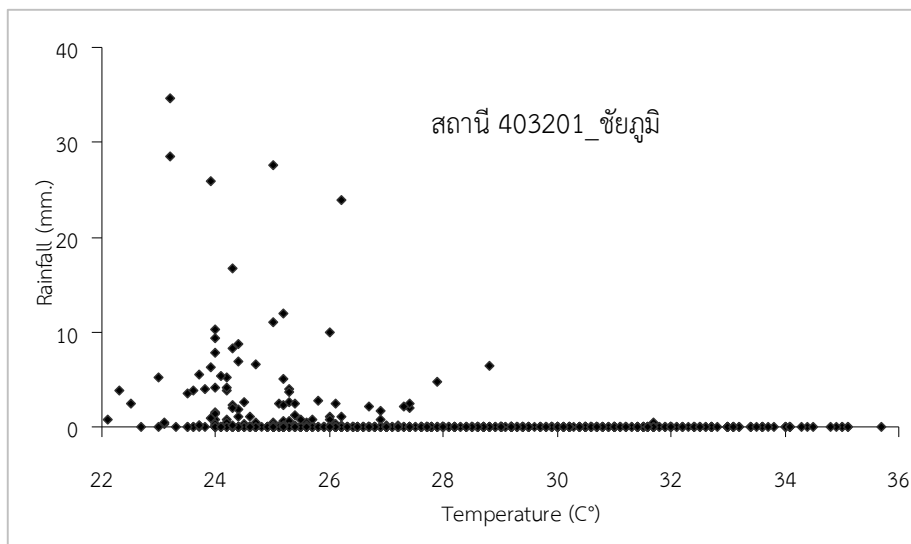
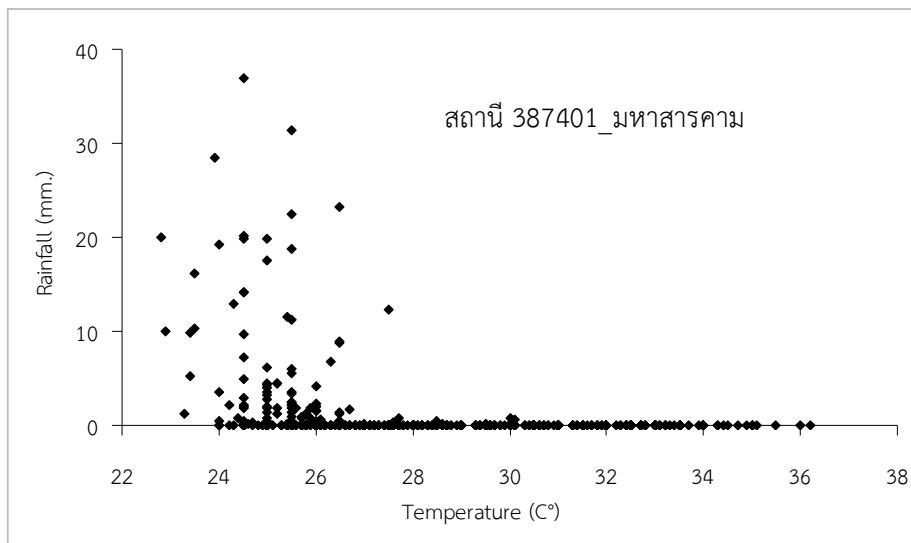
ภาพประกอบ 4.3 ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด (ต่อ)

### 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณฝน

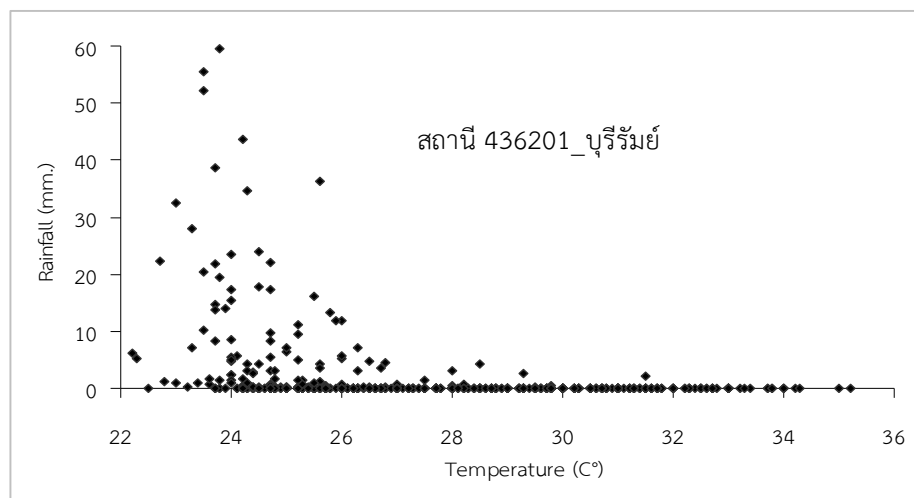
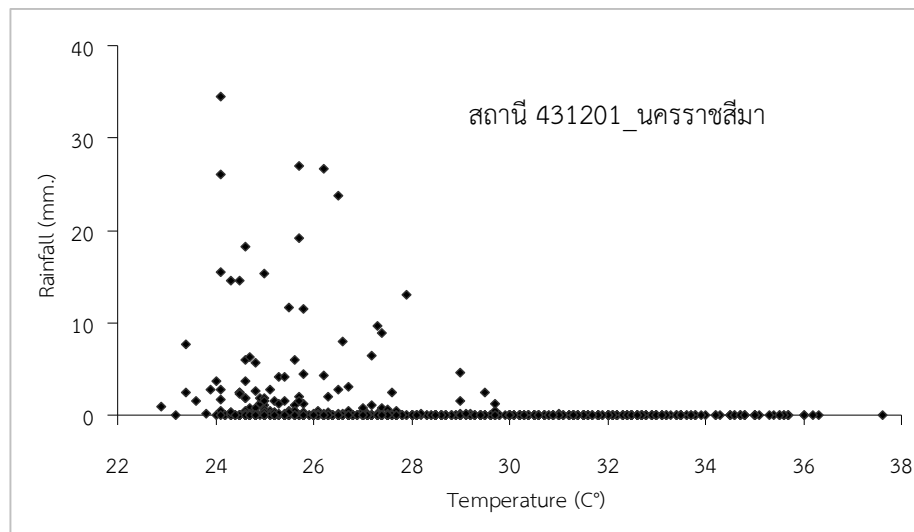
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณฝนที่สถานี 387401 มหาสารคาม สถานี 403201 ชัยภูมิ สถานี 405201 ร้อยเอ็ด สถานี 431201 นครราชสีมา และสถานี 436201 บุรีรัมย์ แสดงดังภาพประกอบ 4.5 พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของแต่ละสถานีที่เหมาะสมต่อการเกิดฝนมีค่าอยู่ในช่วง 81 – 100, 85 – 98, 71 – 97, 83 – 97 และ 89 – 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นั่นคือค่าความชื้นสัมพัทธ์แปรผันตรงกับการเกิดฝนตก ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงมีแนวโน้มในการเกิดฝนมากกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ



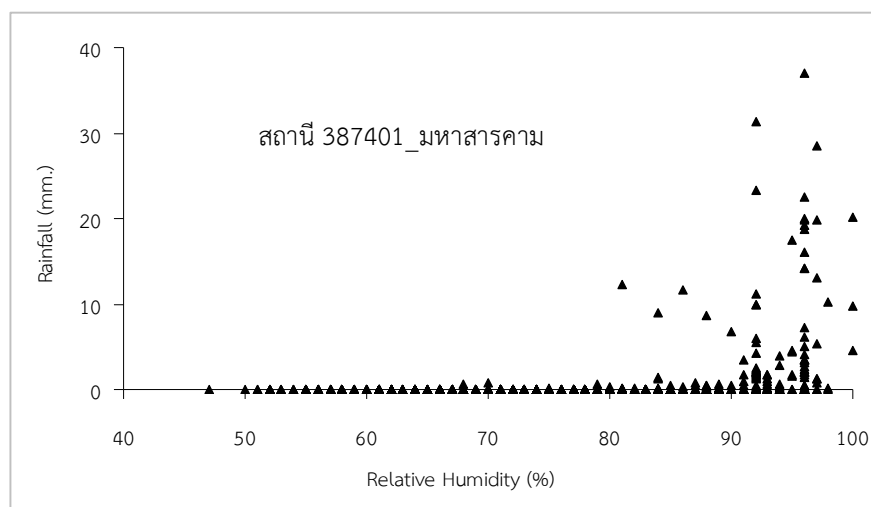




ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับอุณหภูมิแต่ละสถานี

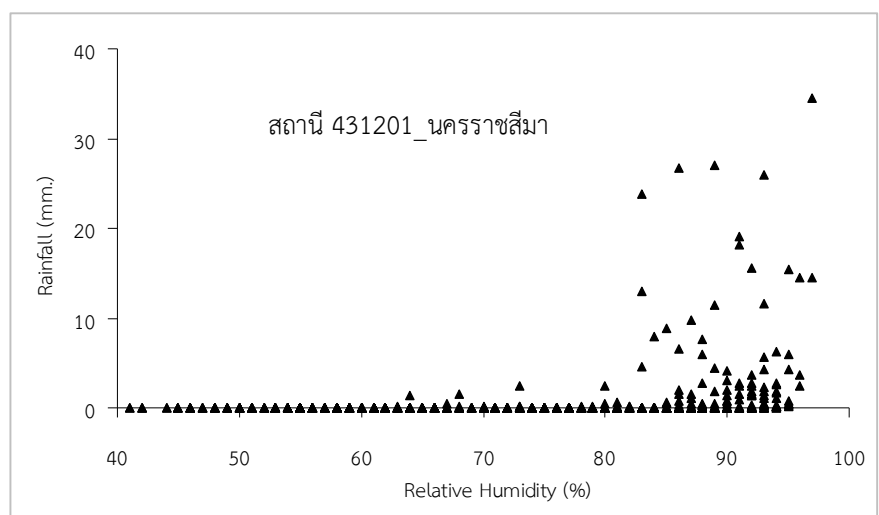
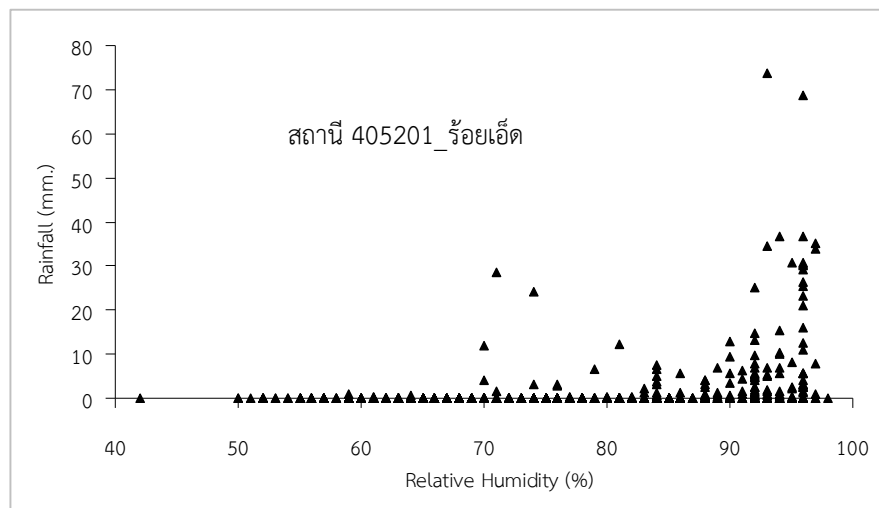
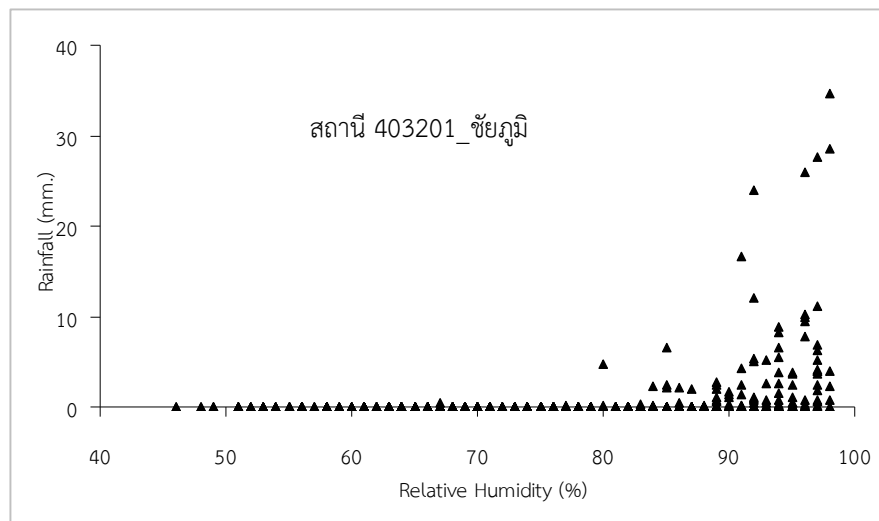


ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับอุณหภูมิแต่ละสถานี (ต่อ)



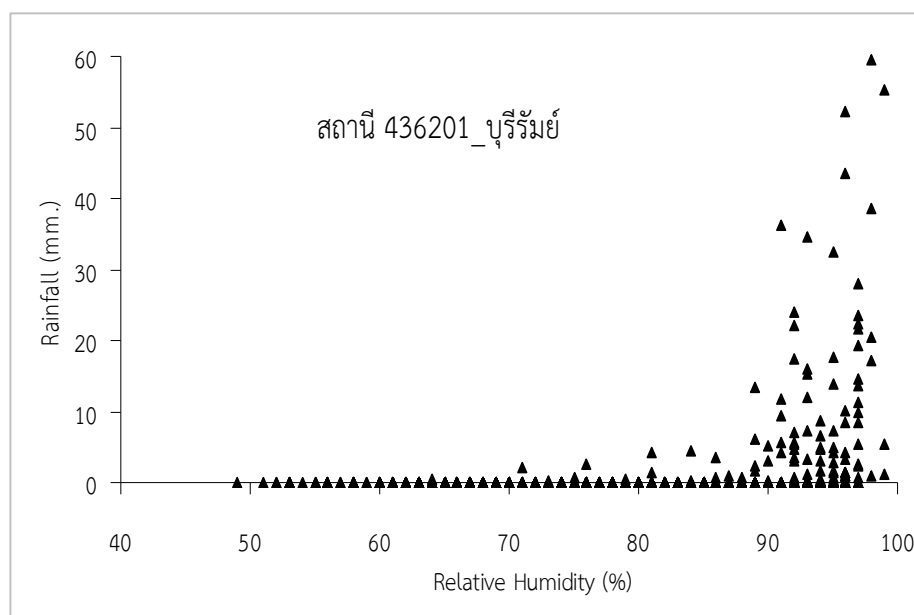
ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานี





ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานี (ต่อ)

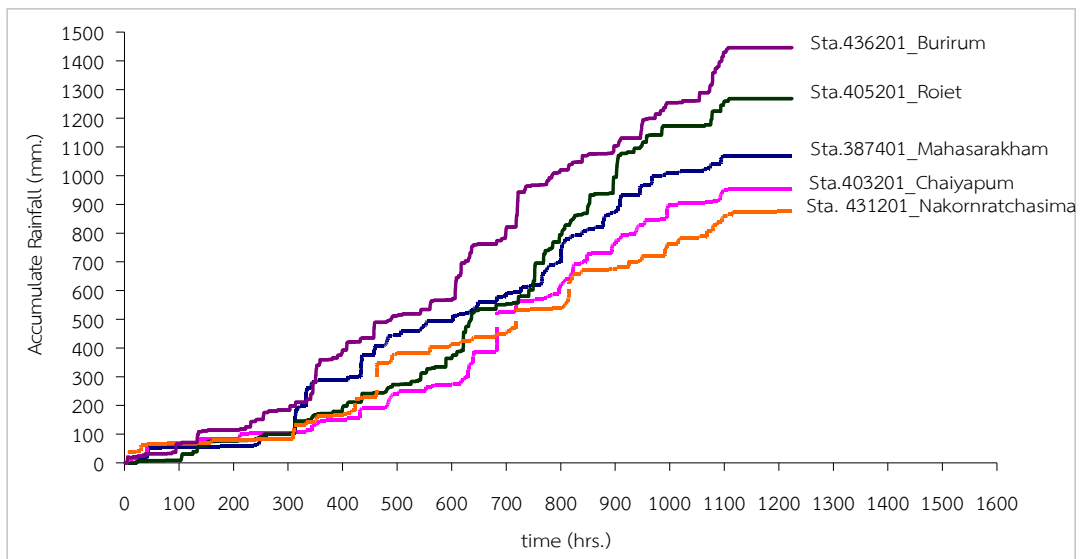




ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับความชื้นสัมพัทธ์แต่ละสถานี (ต่อ)

4. เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดแต่ละสถานี เมื่อนำค่าปริมาณฝนสะสมของปี พ.ศ.2547 ที่ใช้ในการศึกษาแต่ละสถานีไปสร้าง ความสัมพันธ์พบว่าปริมาณฝนสะสมที่สถานี 436201 บุรีรัมย์ มีค่าสูงสุด เท่ากับ 1,447 มิลลิเมตร รองลงมาที่สถานี 405201ร้อยเอ็ด สถานี 387401มหาสารคาม สถานี 403201ชัยภูมิ และสถานี 431201นครราชสีมา เท่ากับ 1,268 1,070 953 และ 876 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 4.6 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดบุรีรัมย์พบว่าตั้งอยู่ในแนวอิทธิพลของพายุ ดีเปรสชัน "จันทู" เมื่อปี พ.ศ.2547 เคลื่อนผ่านทำให้เกิดปริมาณฝนตกหนักทั่วพื้นที่ ทำให้มีปริมาณฝน สะสมสูงกว่าทุกสถานี





ภาพประกอบ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณฝนสะสมแต่ละสถานี (1 มิถุนายน – 31 สิงหาคม 2547)

## 4.2 ผลการวิเคราะห์สมการ Z-R relationship

### 1. วิธีดั้งเดิม (Conventional Method)

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์  $a$  และ  $b$  ในสมการ Z-R relationship จะทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์กับอัตราการตกของฝนแต่ละสถานี อยู่ในรูปสมการ  $Z = aR^b$  โดยผลการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์  $a$  อยู่ระหว่าง 218.5 – 376.0 พารามิเตอร์  $b$  อยู่ระหว่าง 1.025 – 1.491 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าสูงทุกสถานี ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.834 – 0.985 รายละเอียดสรุปได้ดังตาราง 4.3 และภาพประกอบ 4.7

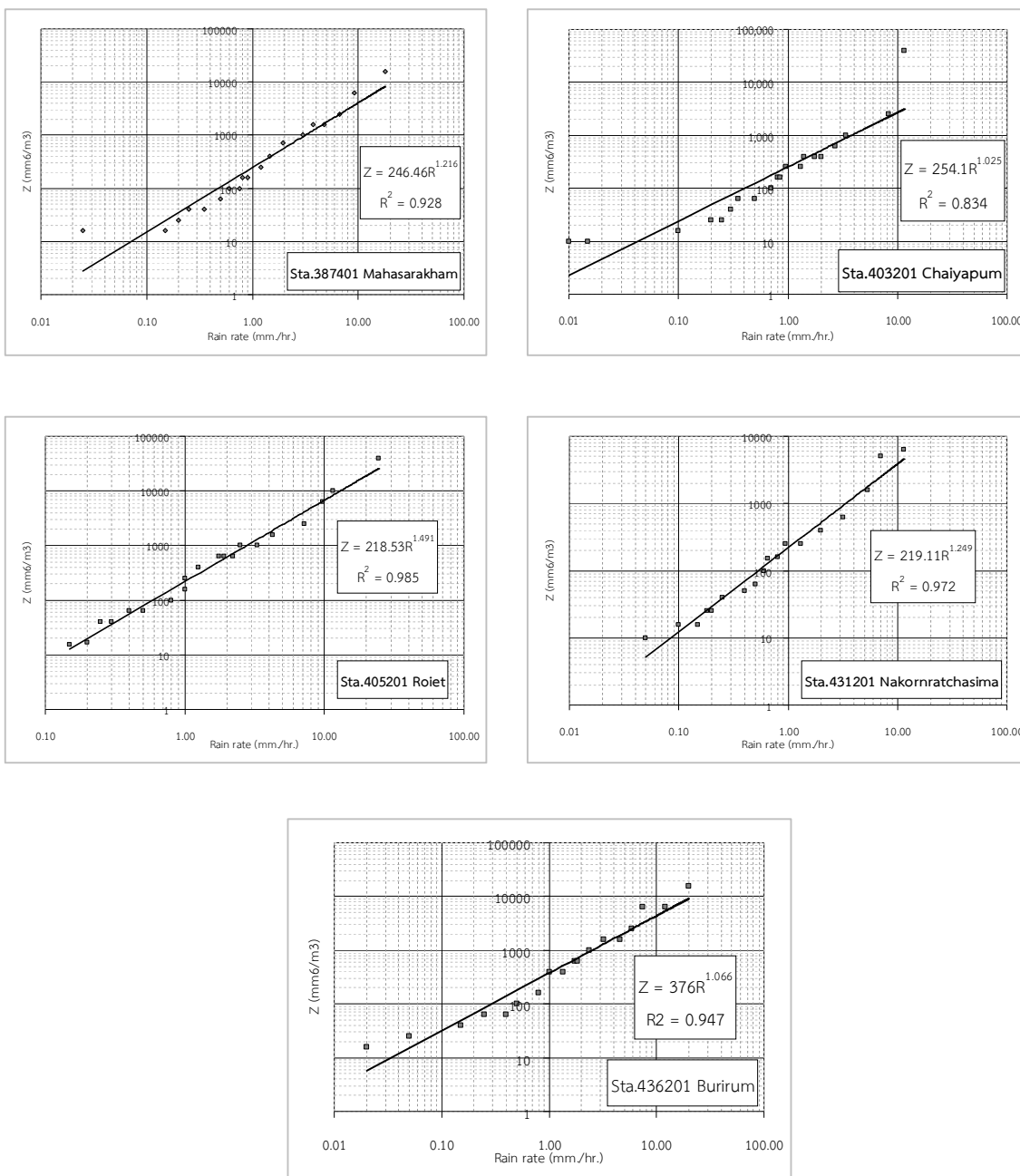
ตาราง 4.3 สมการ Z-R relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method

สถานี	สมการ Z-R relationship	สัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ )
สถานี 387401 มหาสารคาม	$Z = 246.46R^{1.216}$	0.928
สถานี 403201 ชัยภูมิ	$Z = 254.1R^{1.0253}$	0.834
สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	$Z = 218.53R^{1.4909}$	0.985
สถานี 431201 นครราชสีมา	$Z = 219.11R^{1.2491}$	0.972
สถานี 436201 บุรีรัมย์	$Z = 376R^{1.066}$	0.947



สมการ Z-R relationship ของแต่ละสถานีดังกล่าวข้างต้นจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่อไป เมื่อนำค่าความสัมพันธ์ของค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์และปริมาณฝนทั้ง 5 สถานีไปวิเคราะห์หาสมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ สมการตัวแทนคือ  $Z = 265R^{1.186}$  ดังภาพประกอบ 4.8 แสดงว่าฝนลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นมีสภาพใกล้เคียงกับฝนชนิด Tropical Convective rain ที่มีค่า  $Z = 250 R^{1.20}$  (Rosenfeld et al.,1993) และจากการศึกษาของ Compliew et al.(2004) สมการ Z-R บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและมูลตอนบน พบว่ามีค่าเท่ากับ  $Z = 293 R^{1.33}$

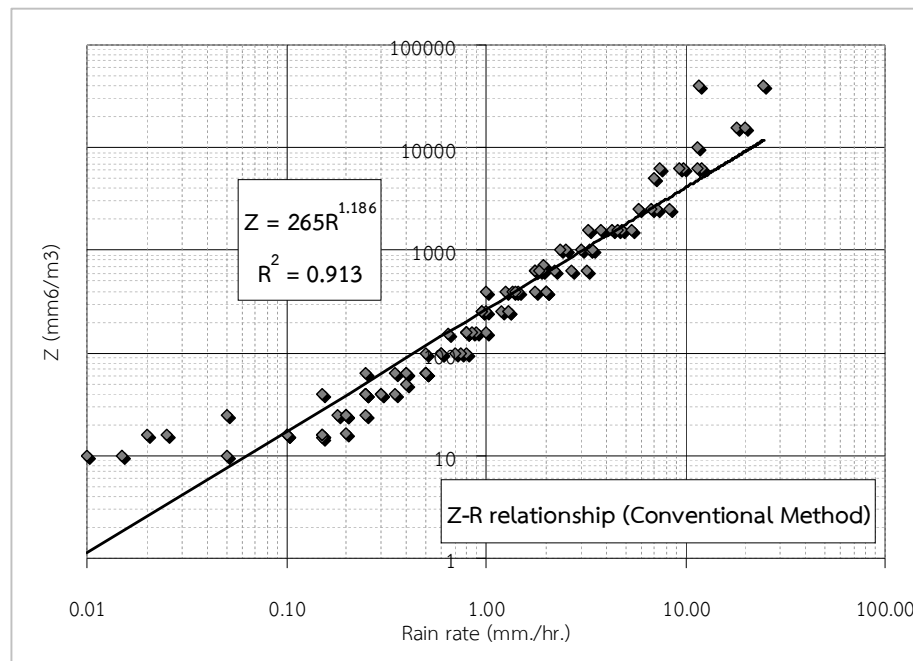




ภาพประกอบ 4.7 สมการ Z-R relationship ของแต่ละสถานี จากการคำนวณโดยวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)







ภาพประกอบ 4.8 สมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี จากการคำนวณ โดยวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)

## 2. วิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet filter

สัญญาณข้อมูลเดิม (Original signal) ของตัวแปรด้านค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ และข้อมูลปริมาณฝน ได้นำมาใช้ในการแยกองค์ประกอบสัญญาณในรูป Approximation (a) และ Detail (d) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบสัญญาณที่สถานี 387401 มหาสารคาม แสดงดัง ภาพประกอบ 4.9 และ 4.10 โดยค่าสัญญาณรบกวนคือ Detail จะถูกกำจัดออกจากสัญญาณข้อมูลเดิม ส่วนสัญญาณ Approximation จะเป็นสัญญาณที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์สมการ Z-R relationship ต่อไป ผลการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์และข้อมูล ปริมาณฝน โดยใช้เวฟเล็ตแบบ Haar wavelet 1-D dimension แสดงในภาคผนวก ค

จากผลการประยุกต์ใช้หลักการกรองสัญญาณรบกวนของข้อมูลตัวแปรด้านค่าพลังงานการ สะท้อนของเรดาร์และข้อมูลปริมาณฝน ได้ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการ สะท้อนของเรดาร์กับอัตราการตกของฝนแต่ละสถานี อยู่ในรูปสมการ  $Z_{WF} = aR_{WF}^b$  โดยค่าพารามิเตอร์ a อยู่ระหว่าง 132.82 – 156.02 พารามิเตอร์ b อยู่ระหว่าง 1.183 – 1.558 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าสูงทุกสถานี ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.951 – 0.987

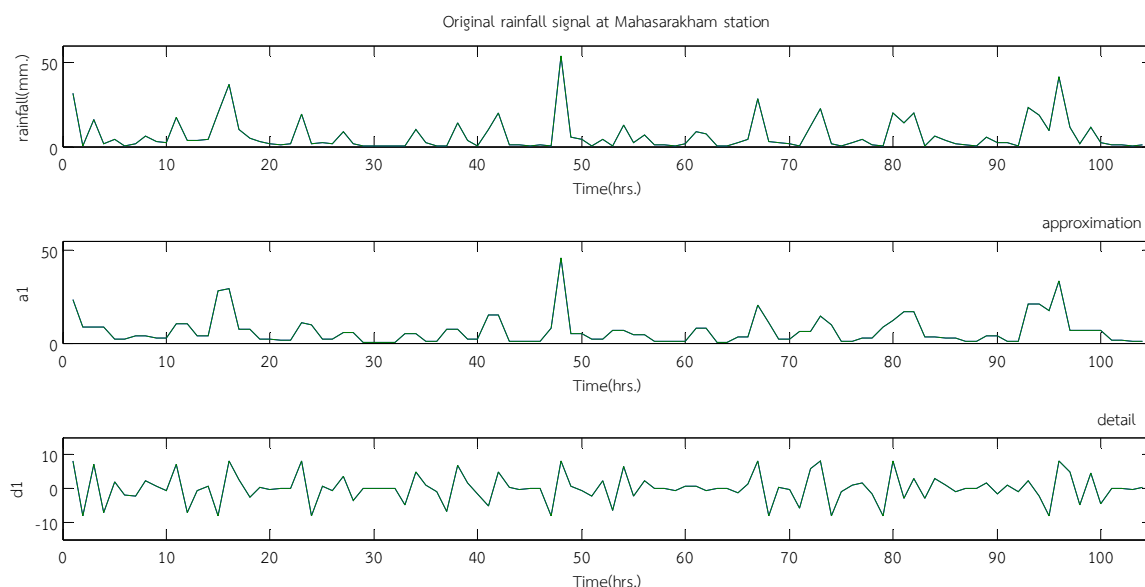
จะสังเกตว่าค่าพารามิเตอร์ a ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet filter ลดลงจาก วิธีการแบบดั้งเดิม 37.40 – 58.50 % ส่วนค่าพารามิเตอร์ b เพิ่มขึ้น 0.44 – 16.50% รายละเอียดสรุป ได้ดังตาราง 4.4 และภาพประกอบ 4.11

ตาราง 4.4 สมการ  $Z_{WF}$ - $R_{WF}$  relationship ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet filter



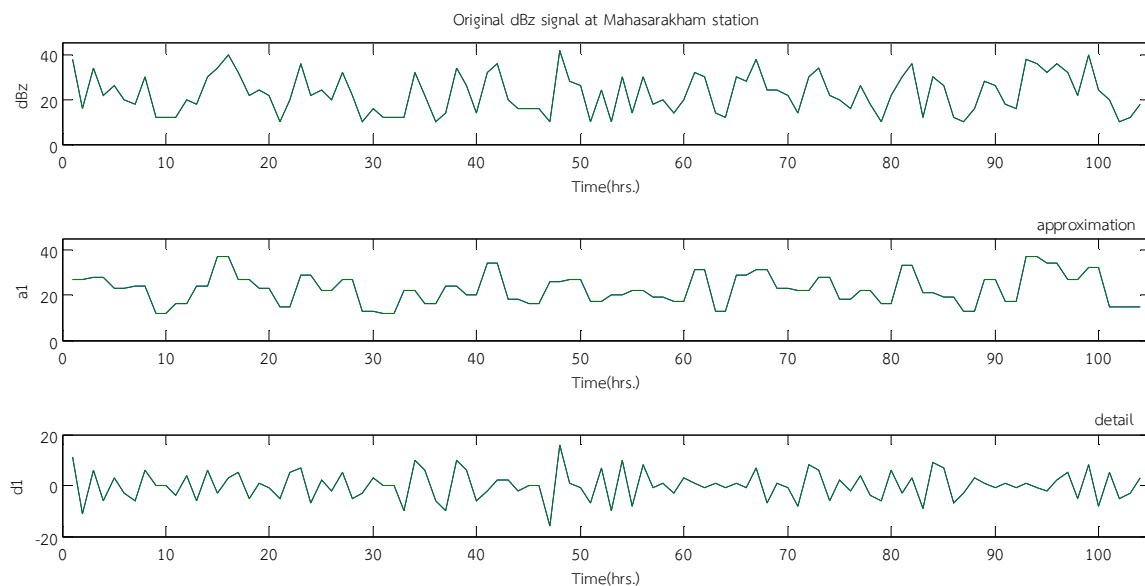
สถานี	สมการ $Z_{WF}$ - $R_{WF}$ relationship	สัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ )
สถานี 387401 มหาสารคาม	$Z_{WF} = 139.46R_{WF}^{1.3484}$	0.987
สถานี 403201 ชัยภูมิ	$Z_{WF} = 135.77R_{WF}^{1.1827}$	0.951
สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	$Z_{WF} = 132.82R_{WF}^{1.558}$	0.982
สถานี 431201 นครราชสีมา	$Z_{WF} = 137.19R_{WF}^{1.2546}$	0.987
สถานี 436201 บุรีรัมย์	$Z_{WF} = 156.02R_{WF}^{1.2768}$	0.974

สมการ  $Z_{WF}$ - $R_{WF}$  relationship ของแต่ละสถานีดังกล่าวข้างต้นจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองในขั้นตอนการ verification โดยจะนำค่าคงที่ a และ b ในสมการ  $Z_{WF}$ - $R_{WF}$  relationship ที่ได้ไปหาค่า  $Z_{WF}$  และ  $R_{WF}$  เมื่อทราบค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ( $dBZ_{WF}$ ) ของข้อมูลปี 2554 ในแต่ละสถานี เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณฝนต่อไป จากการนำค่าความสัมพันธ์ของค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์และปริมาณฝนทั้ง 5 สถานีที่ผ่านการกรองสัญญาณด้วยเทคนิค Wavelet filter แล้ว ไปวิเคราะห์หา  $Z_{WF}$ - $R_{WF}$  relationship ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ สมการตัวแทนคือ  $Z_{WF} = 148R_{WF}^{1.293}$  ดังภาพประกอบ 4.12



ภาพประกอบ 4.9 ตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter กรองข้อมูลปริมาณฝนของสถานี 387401มหาสารคาม





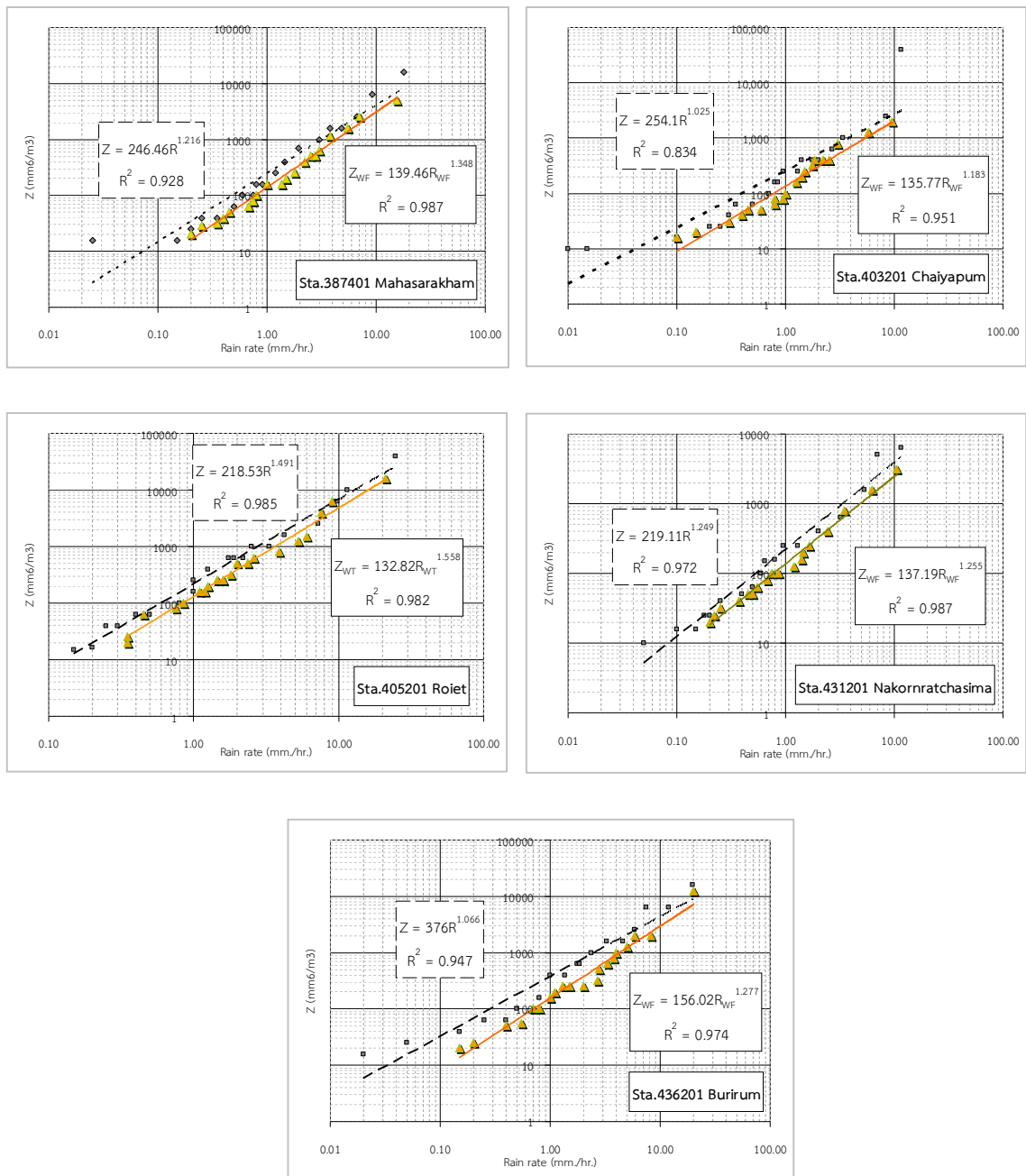
ภาพประกอบ 4.10 ตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter กรองข้อมูลค่าพลังงานการสะท้อนของสถานี 387401 มหาสารคาม

เมื่อเปรียบเทียบสมการ Z-R relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conventional Method และ จากการประยุกต์ใช้หลักการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิค Wavelet Filter ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือสมการ Z-R relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conventional Method มีสมการเป็น  $Z = 265R^{1.186}$  และ สมการ  $Z_{WF} = R_{WF}^{1.293}$  ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Wavelet Filter มีสมการเป็น  $Z_{WF} = 148R_{WF}^{1.293}$  แสดงดังภาพประกอบ 4.13

จากผลการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์ a ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet filter ลดลงจากวิธีการแบบดั้งเดิม 44.15 % ส่วนค่าพารามิเตอร์ b เพิ่มขึ้น 8.28% อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ a และ b ที่เปลี่ยนแปลงนี้ยังอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับลักษณะของการเกิดฝนแบบ Tropical Convective rain ตามการจำแนกของ Rosenfeld et al.,1993 และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Compliew et al.(2004)

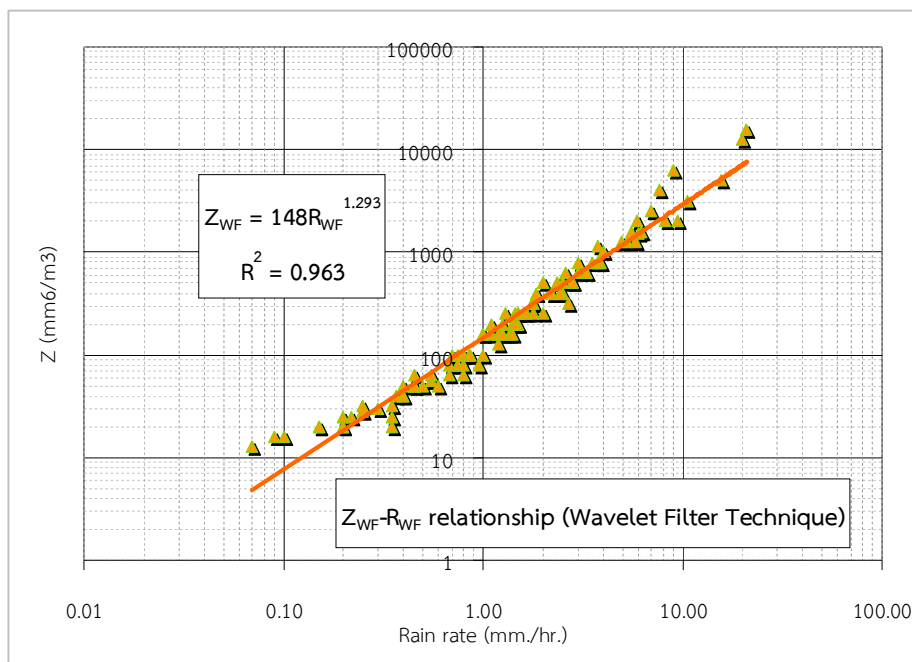
การเปรียบเทียบสมการ  $Z = 265R^{1.186}$  ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conventional Method กับงานวิจัยของคนอื่น พบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน แสดงดังภาพประกอบ 4.14



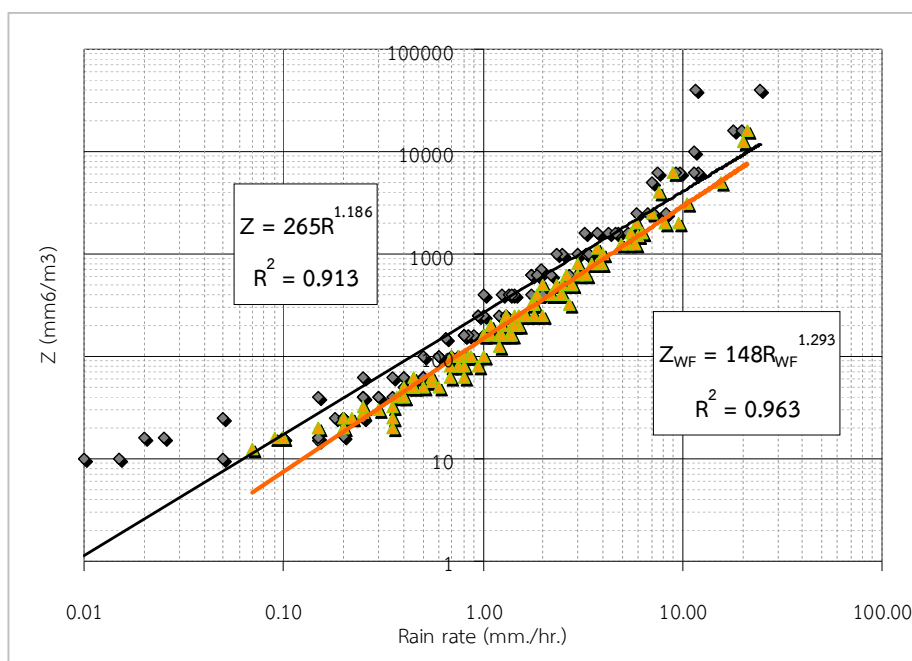


ภาพประกอบ 4.11 สมการ  $Z_{WF}$ - $R_{WF}$  relationship ของแต่ละสถานี จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม (Conventional Method)





ภาพประกอบ 4.12 สมการ  $Z_{WF}-R_{WF}$  relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter



ภาพประกอบ 4.13 เปรียบเทียบสมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี ของวิธีแบบดั้งเดิม (Conventional Method) และวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter

ตาราง 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้สมการ Z-R relationship ของแต่ละสถานี

สถานี	Conventional method			Wavelet filter technique		
	Z-R relationship	จากการ verification		Z <sub>WF</sub> -R <sub>WF</sub> relationship	จากการ verification	
	จากการ calibration	correlation (r)	S.E.E.	จากการ calibration	correlation (r)	S.E.E.
สถานี 387401 มหาสารคาม	$Z = 246.46R^{1.216}$	0.959	2.926	$Z_{WF} = 139.46R_{WF}^{1.3484}$	0.654	7.823
สถานี 403201 ชัยภูมิ	$Z = 254.1R^{1.0253}$	0.871	4.858	$Z_{WF} = 135.77R_{WF}^{1.1827}$	0.641	7.575
สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	$Z = 218.53R^{1.4909}$	0.985	1.522	$Z_{WF} = 132.82R_{WF}^{1.558}$	0.548	7.463
สถานี 431201 นครราชสีมา	$Z = 219.11R^{1.2491}$	0.978	1.944	$Z_{WF} = 137.19R_{WF}^{1.2546}$	0.748	6.220
สถานี 436201 บุรีรัมย์	$Z = 376R^{1.066}$	0.977	1.723	$Z_{WF} = 156.02R_{WF}^{1.2768}$	0.701	5.764

จากตาราง 4.5 พบว่าตัวแปรของสมการ Z-R ที่ได้จากวิธี Conventional method มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณฝนค่อนข้างสูง โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.871 – 0.985 ส่วนตัวแปรในสมการ Z-R ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณฝนค่อนข้างสูงเช่นกัน โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.550 – 0.701

นอกจากนี้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการใช้สมการ Z-R ที่ได้จากวิธี Conventional method มีค่าอยู่ในช่วง 1.522 – 4.858 ในขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการใช้สมการ Z-R ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter มีค่าอยู่ในช่วง 5.764 – 7.823 เปลี่ยนแปลงจากเดิมอยู่ในช่วง 38.0 – 73.6%

ตาราง 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้สมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนลุ่มน้ำชีมูลตอนบน

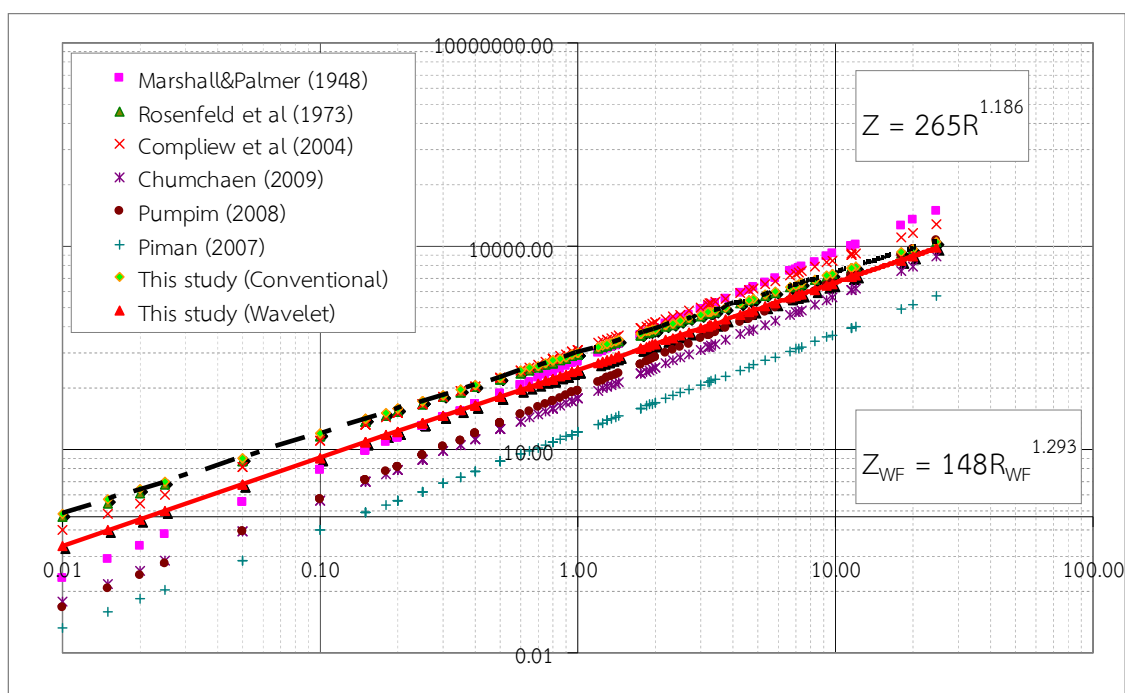
สถานี	Conventional $Z = 265R^{1.186}$		Wavelet filter $Z_{WF} = 148R_{WF}^{1.293}$	
	correlation (r)	S.E.E.	correlation (r)	S.E.E.
สถานี 387401 มหาสารคาม	0.959	2.938	0.648	7.878
สถานี 403201 ชัยภูมิ	0.860	5.032	0.634	7.628
สถานี 405201 ร้อยเอ็ด	0.979	1.828	0.526	7.583
สถานี 431201 นครราชสีมา	0.977	2.002	0.751	6.191
สถานี 436201 บุรีรัมย์	0.984	1.415	0.701	5.756

เมื่อใช้สมการ Z-R สำหรับตัวแทนลุ่มน้ำชีมูลตอนบนมาทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองพบว่า การประเมินปริมาณฝนโดยวิธีดั้งเดิม (Conventional method) มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณ



ฝนค่อนข้างสูง โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.860 – 0.984 มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่าง 1.415 – 5.032 ส่วนการประเมินปริมาณฝนโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter พบว่ามีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณฝนค่อนข้างสูงเช่นกัน โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.526 – 0.751 มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่าง 5.756 – 7.878 เปลี่ยนแปลงจากเดิมอยู่ในช่วง 36.0 – 75.4%

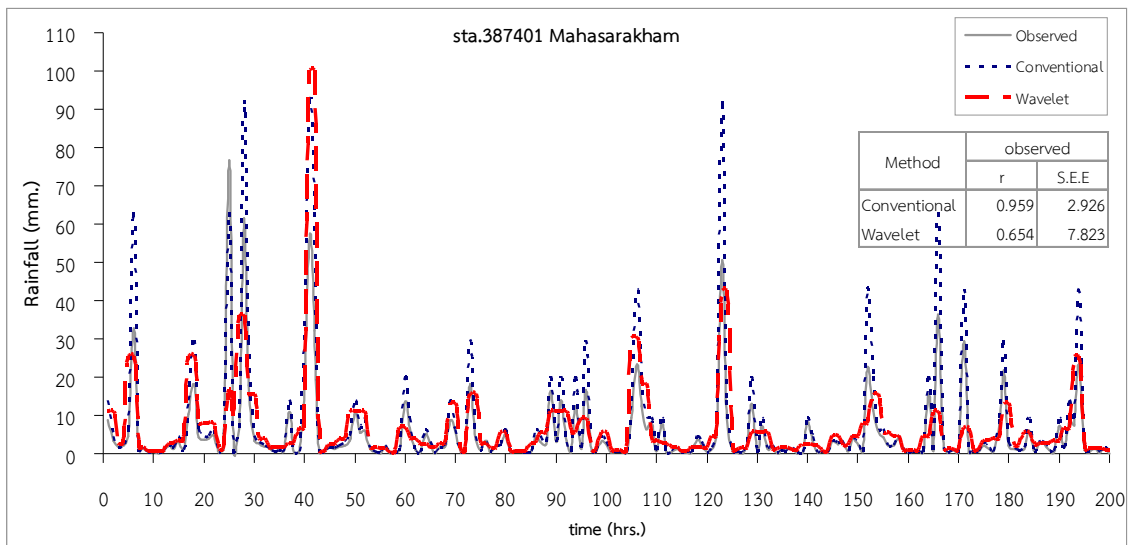
ปริมาณฝนแต่ละช่วงเวลาและปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีการดั้งเดิม (Conventional Method) และจากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter ในแต่ละสถานีแสดงดังภาพประกอบ 4.15 ถึง ภาพประกอบ 4.24



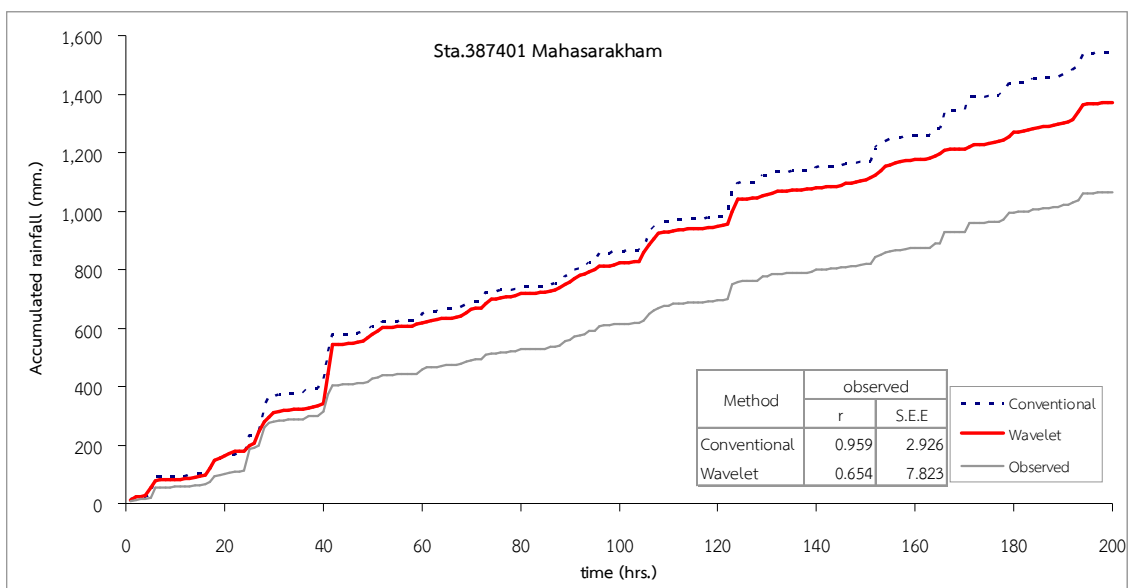
ภาพประกอบ 4.14 เปรียบเทียบสมการ Z-R relationship ที่เป็นตัวแทนของทั้ง 5 สถานี กับงานวิจัยของคนอื่น





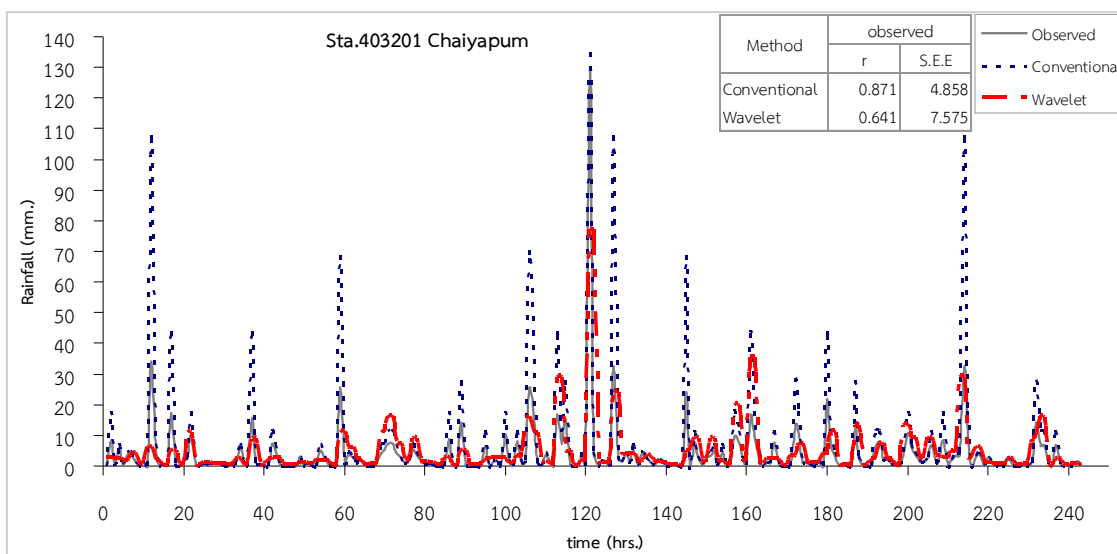


ภาพประกอบ 4.15 ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 387401 มหาสารคาม

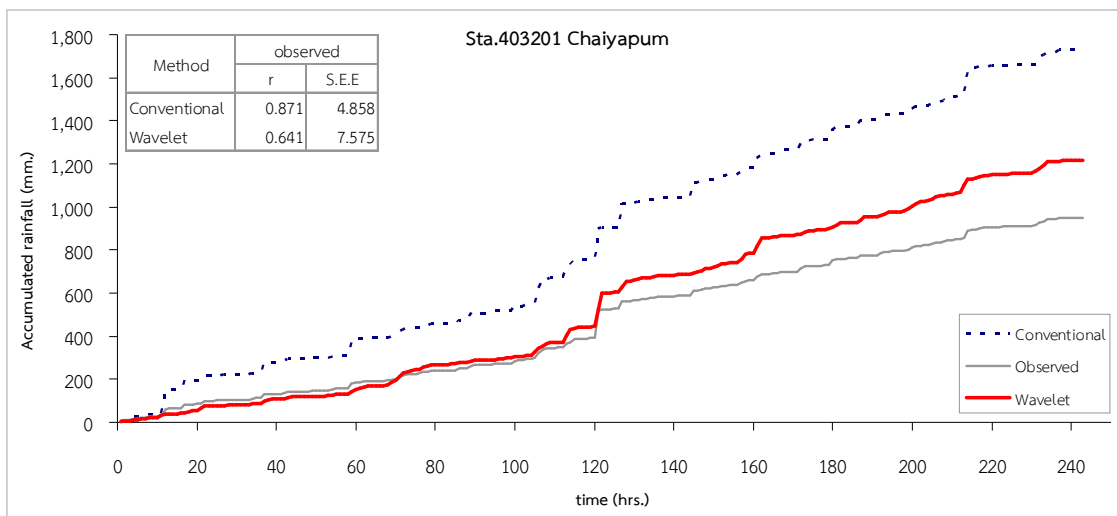


ภาพประกอบ 4.16 ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 387401 มหาสารคาม



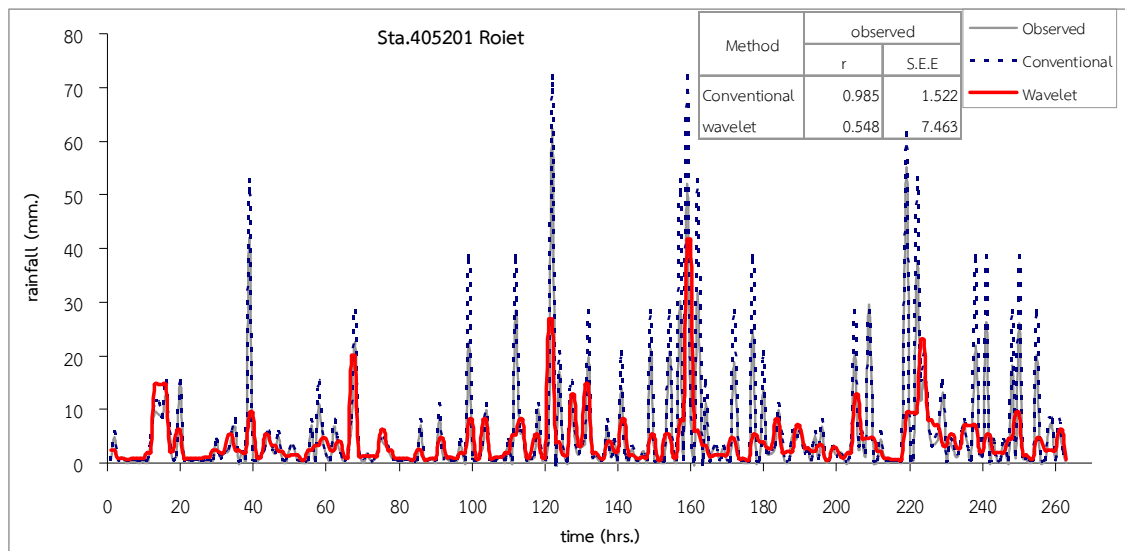


ภาพประกอบ 4.17 ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 403201 ชัยภูมิ

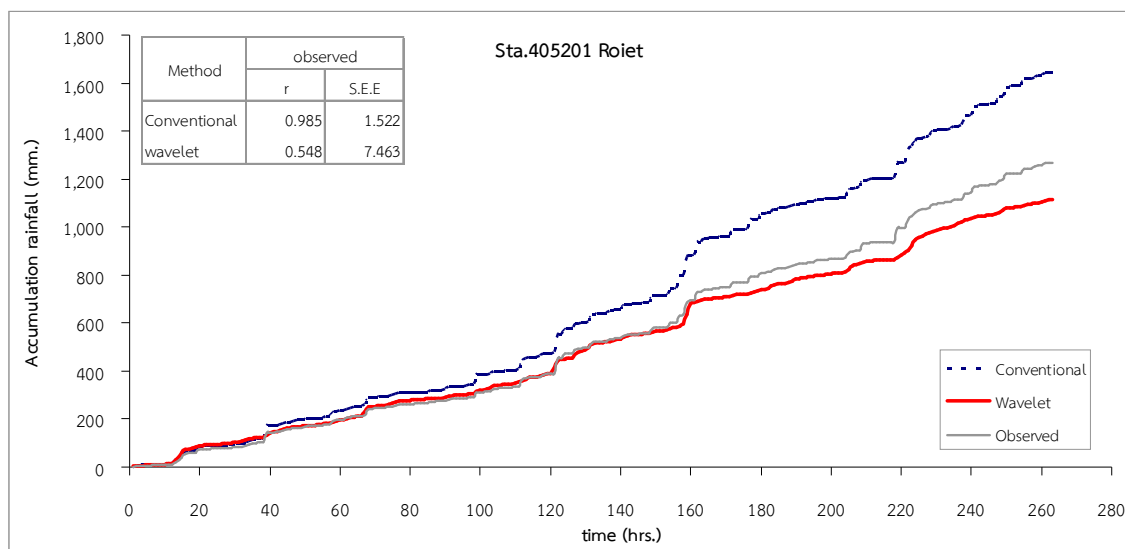


ภาพประกอบ 4.18 ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 403201 ชัยภูมิ



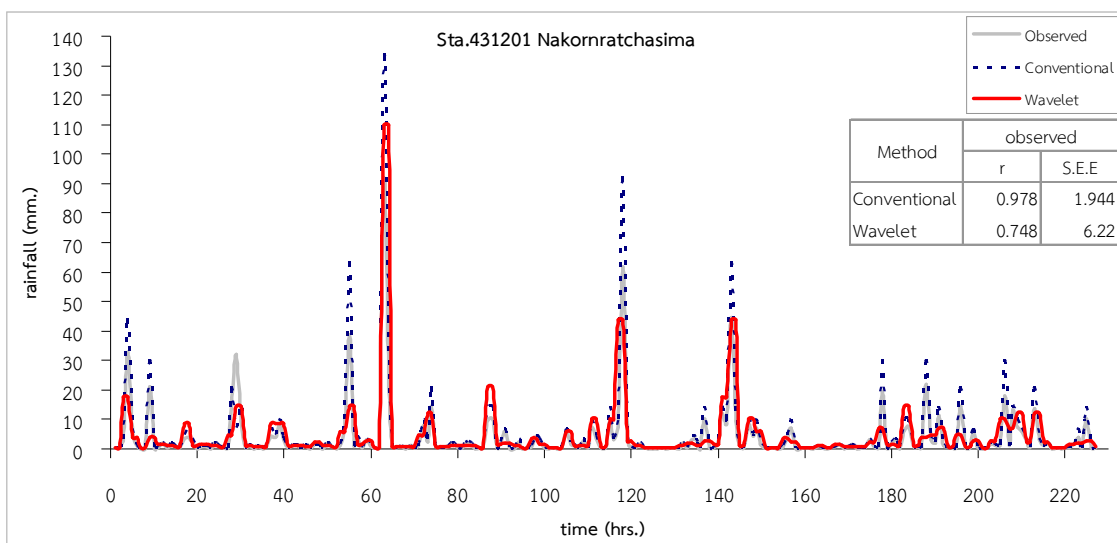


ภาพประกอบ 4.19 ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 405201 ร้อยเอ็ด

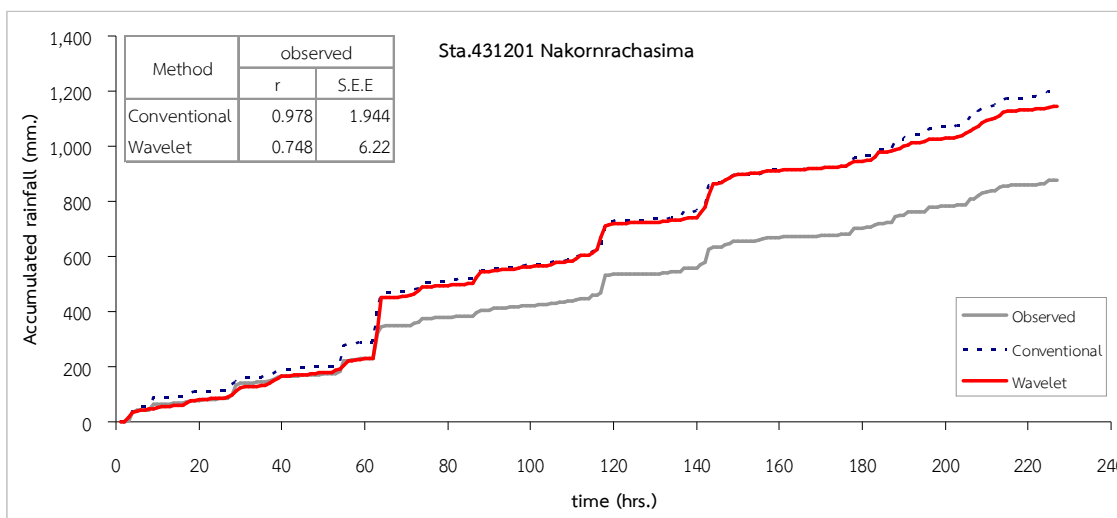


ภาพประกอบ 4.20 ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 405201 ร้อยเอ็ด



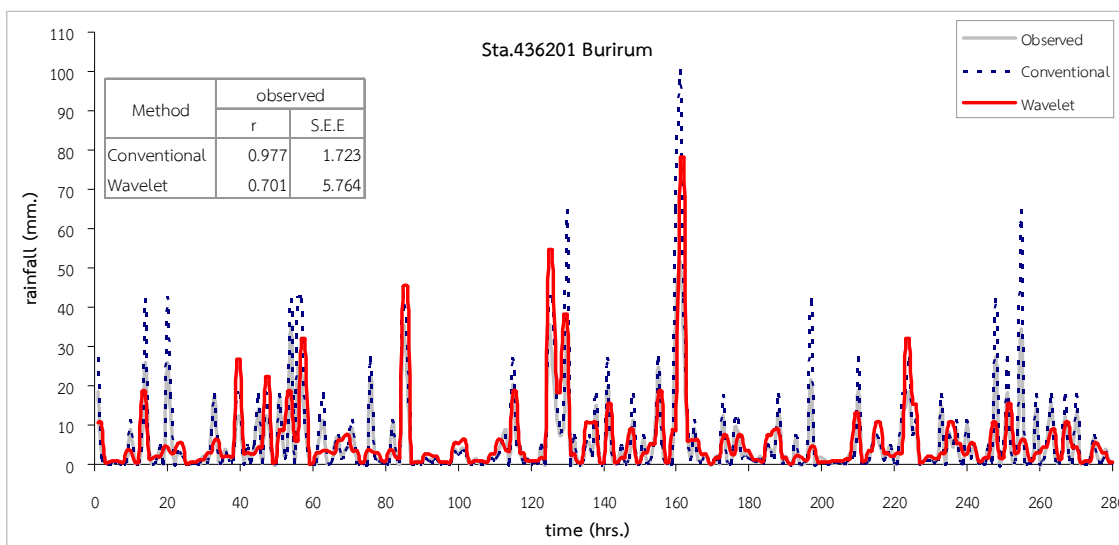


ภาพประกอบ 4.21 ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 431201 นครราชสีมา

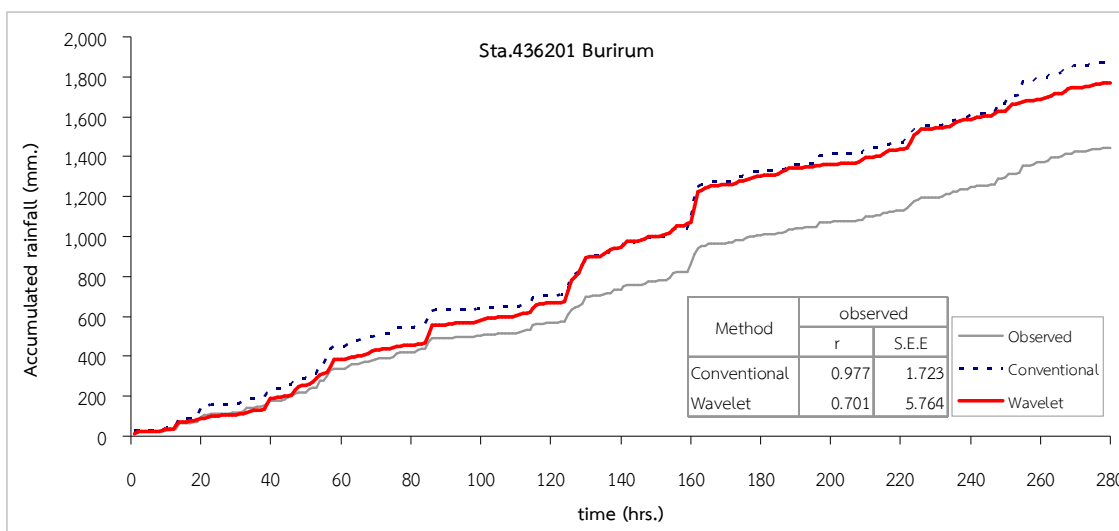


ภาพประกอบ 4.22 ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 431201 นครราชสีมา





ภาพประกอบ 4.23 ปริมาณฝนจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 436201 บุรีรัมย์



ภาพประกอบ 4.24 ปริมาณฝนสะสมจากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Conventional Method และ Wavelet Filter technique ที่สถานี 436201 บุรีรัมย์



### 4.3 ผลการประเมินปริมาณฝนด้วยสมการถดถอย (Multiple Regression Model)

การประยุกต์ใช้สมการถดถอยได้นำตัวแปรเข้า 3 ตัวคืออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ใช้คำนวณหาปริมาณฝนของสถานีมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมาและบุรีรัมย์ โดยใช้ข้อมูลราย 3 ชั่วโมง (1 มิถุนายน 2547 - 31 สิงหาคม 2547) มาเปรียบเทียบและใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2554 ( 1 มิถุนายน 2554 – 31 ตุลาคม 2554) มาประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง ผลการศึกษาของแต่ละสถานี แสดงดังตาราง 4.7 ถึง ตาราง 4.11 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 1. สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อการประเมินปริมาณฝนของสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคามแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีพิจารณาตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว จากตาราง 4.24 จะเห็นได้ว่ากรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว สมการที่ให้ความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนมากที่สุดคือสมการที่เลือกใช้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) มาพิจารณา ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.743 หมายความว่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ 74.3 % กรณีตัวแปรเข้า 2 ตัว สมการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือสมการที่พิจารณาตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดคือ 0.808 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้สูงถึง 80.8 % กรณีตัวแปรเข้า 3 ตัว ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.882 แสดงว่าอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) เป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากที่สุดถึง 88.2% และใช้คำนวณหาปริมาณฝนได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าค่อนข้างใกล้ 1.000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่พิจารณาตัวแปรเข้า 3 ตัว สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากกว่าตัวแปรเข้า 2 ตัว และ 1 ตัว

ตาราง 4.7 สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝน ของสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

กรณี	ตัวแปรอิสระ	สมการถดถอย	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	Rain = 63.887 – 2.170T	0.310
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -42.301 + 0.552Rh	0.604
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -0.275 + 0.337dBz	0.743
2	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = 22.335 – 1.387T - 0.234Rh	0.407
	อุณหภูมิ (T) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	Rain = -1.226 + 0.937 dBz - 0.559 T	0.769
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -29.481 + 0.152 Rh + 0.938 dBz	0.808
3	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -19.254 – 0.220T - 0.103Rh + 0.935dBz	0.882



## 2. สถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อการประเมินปริมาณฝนของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีพิจารณาตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว จากตาราง 4.8 จะเห็นได้ว่ากรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว สมการที่ให้ความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนมากที่สุดคือสมการที่เลือกใช้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) มาพิจารณา ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.769 หมายความว่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ 76.9 % กรณีตัวแปรเข้า 2 ตัว สมการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือสมการที่พิจารณาตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดคือ 0.813 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้สูงถึง 81.3 % กรณีตัวแปรเข้า 3 ตัว ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.844 แสดงว่าอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) เป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากที่สุดถึง 84.4% และใช้คำนวณหาค่าปริมาณฝนได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าค่อนข้างใกล้ 1.000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่พิจารณาตัวแปรเข้า 3 ตัว สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากกว่าตัวแปรเข้า 2 ตัว และ 1 ตัว

ตาราง 4.8 สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

กรณี	ตัวแปรอิสระ	สมการถดถอย	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	Rain = 38.249 - 1.302T	0.259
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -34.856 + 0.439Rh	0.450
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -7.813 + 0.589dBz	0.769
2	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -28.626 - 0.143T + 0.410Rh	0.591
	อุณหภูมิ (T) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	Rain = 6.861 + 0.562 dBz - 0.560 T	0.674
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -20.514 + 0.148 Rh + 0.548 dBz	0.813
3	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -4.090 - 0.374T + 0.071Rh + 0.551dBz	0.844

## 3. สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อการประเมินปริมาณฝนของสถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ดแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีพิจารณาตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว จากตาราง 4.9 จะเห็นได้ว่ากรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว สมการที่ให้ความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนมากที่สุดคือสมการที่เลือกใช้ค่า





พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) มาพิจารณา ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.701 หมายความว่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ 70.1 % กรณีตัวแปรเข้า 2 ตัว สมการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือสมการที่พิจารณาตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดคือ 0.780 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ 78.0 % กรณีตัวแปรเข้า 3 ตัว ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.807 แสดงว่าอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) เป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากที่สุดถึง 80.7% และใช้คำนวณหาค่าปริมาณฝนได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าค่อนข้างใกล้ 1.000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่พิจารณาตัวแปรเข้า 3 ตัว สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากกว่าตัวแปรเข้า 2 ตัว และ 1 ตัว

ตาราง 4.9 สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

กรณี	ตัวแปรอิสระ	สมการถดถอย	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	Rain = 20.256 - 0.670T	0.387
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -9.162 + 0.135Rh	0.472
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -0.349 + 0.433dBz	0.701
2	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = 25.125 - 0.774T - 0.025Rh	0.486
	อุณหภูมิ (T) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	Rain = -1.665 + 0.439 dBz + 0.046 T	0.688
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = 1.010 - 0.018 Rh + 0.442 dBz	0.780
3	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = 9.296 - 0.189T - 0.056Rh + 0.440dBz	0.807

#### 4. สถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อการประเมินปริมาณฝนของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมาแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีพิจารณาตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว จากตาราง 4.10 จะเห็นได้ว่าการที่ตัวแปรเข้า 1 ตัว สมการที่ให้ค่าความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนมากที่สุดคือสมการที่เลือกใช้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) มาพิจารณา ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.764 หมายความว่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้สูงถึง 76.4 % กรณีตัวแปรเข้า 2 ตัว สมการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือสมการที่พิจารณาตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดคือ 0.795 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ถึง 79.5 % กรณีตัวแปรเข้า 3 ตัว ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด



( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.885 แสดงว่าอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) เป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากที่สุดถึง 88.5% และใช้คำนวณหาค่าปริมาณฝนได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าค่อนข้างใกล้ 1.000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่พิจารณาตัวแปรเข้า 3 ตัว สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากกว่าตัวแปร 2 ตัว และ 1 ตัว

ตาราง 4.10 สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

กรณี	ตัวแปรอิสระ	สมการถดถอย	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	Rain = 25.686 - 0.787T	0.336
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -12.728 + 0.206 Rh	0.450
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -8.650 + 0.619 dBz	0.764
2	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -21.611 + 0.201T + 0.248 Rh	0.343
	อุณหภูมิ (T) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	Rain = 3.772 + 0.604 dBz - 0.465 T	0.604
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -18.521 + 0.118 Rh + 0.600 dBz	0.795
3	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -19.768 + 0.028T + 0.124Rh + 0.599dBz	0.885

#### 5. สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อการประเมินปริมาณฝนของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์แบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีพิจารณาตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว จากตาราง 4.11 จะเห็นได้ว่ากรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว สมการที่ให้ความแม่นยำในการประเมินปริมาณฝนมากที่สุดคือสมการที่เลือกใช้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) มาพิจารณา ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.731 หมายความว่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ 73.1 % กรณีตัวแปรเข้า 2 ตัว สมการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือสมการที่พิจารณาตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดคือ 0.750 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้ 75.0 % กรณีตัวแปรเข้า 3 ตัว ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.828 แสดงว่าอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) เป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากที่สุดถึง 82.8% และใช้คำนวณหาค่าปริมาณฝนได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าค่อนข้างใกล้ 1.000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่พิจารณาตัวแปรเข้า 3 ตัว สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากกว่าตัวแปร 2 ตัว และ 1 ตัว



ตาราง 4.11 สมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

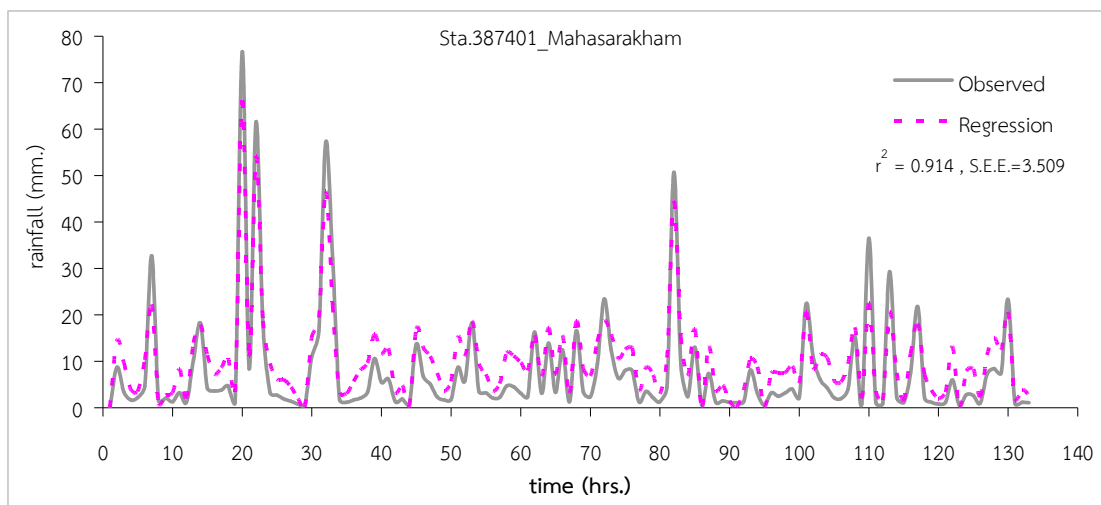
กรณี	ตัวแปรอิสระ	สมการถดถอย	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	Rain = 93.271 - 3.305T	0.239
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = -62.669 + 0.796 Rh	0.427
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -20.575 + 1.156 dBz	0.731
2	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	Rain = 34.139 - 2.188T + 0.339 Rh	0.340
	อุณหภูมิ (T) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	Rain = 14.505 + 1.075 dBz - 1.316 T	0.698
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -49.882 + 0.340 Rh + 1.080 dBz	0.750
3	อุณหภูมิ(T) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	Rain = -23.265 - 0.604T + 0.218Rh + 1.070dBz	0.828

จากตาราง 4.7 ถึง ตาราง 4.11 จะเห็นได้ว่าสมการถดถอยที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุด คือ กรณีตัวแปรเข้า 3 ตัว เหมือนกันทุกสถานี ดังนั้นสรุปได้ว่าตัวแปรอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดปริมาณฝนได้มากที่สุดและใช้คำนวณหาค่าปริมาณฝนได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าค่อนข้างใกล้ 1.000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัด อย่างไรก็ตามเพื่อความเชื่อมั่นในแบบจำลองที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องประเมินประสิทธิภาพก่อน

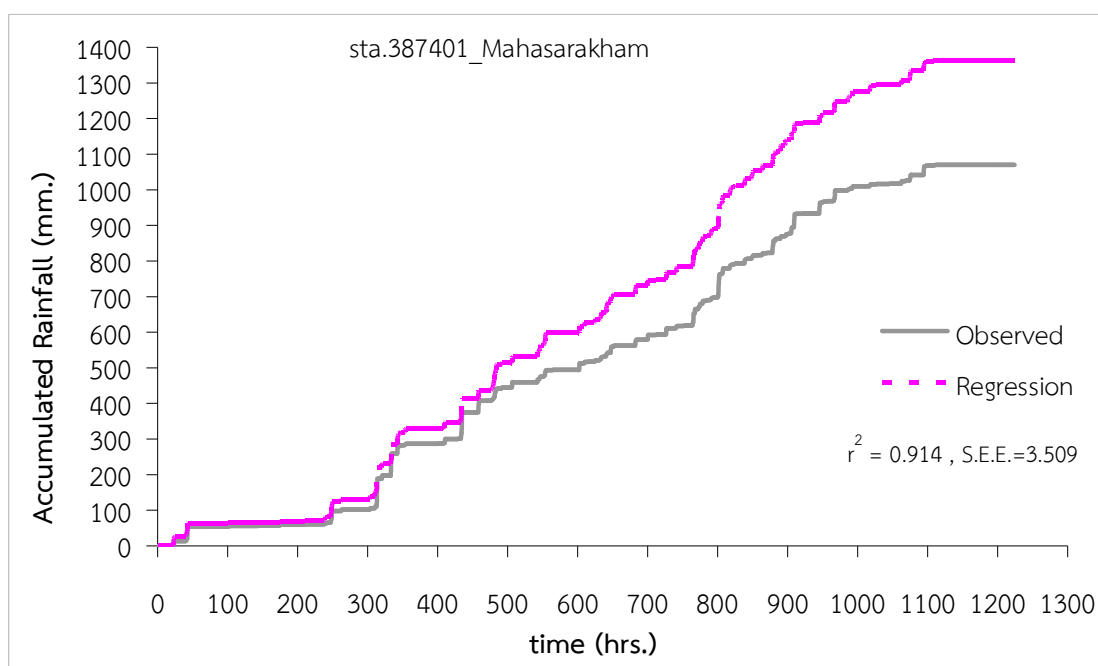
#### 4.4 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสมการถดถอย

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสมการถดถอยกับค่าปริมาณฝนจากการตรวจวัด ทำได้โดยการนำสมการถดถอยที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดของการพิจารณาตัวแปรเข้า 1 ตัว 2 ตัว และ 3 ตัว มาประเมินปริมาณฝนโดยใช้ข้อมูล ปี พ.ศ. 2554 (1 มิถุนายน 2554 - 31 ตุลาคม 2554) ซึ่งเป็นข้อมูลชุดใหม่ที่ไม่ได้ถูกนำไปทำการวิเคราะห์การถดถอย ผลของการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองจะเห็นว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดกับปริมาณฝนที่ได้จากสมการถดถอยมีค่าใกล้เคียงกันทุกสถานี (ภาพประกอบ 4.25 ถึง 4.34) ซึ่งจะแสดงเฉพาะกรณีตัวแปรเข้า 3 ตัวแปร (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของสถานีจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ เท่ากับ 0.914 0.908 0.801 0.860 และ 0.730 ตามลำดับ ให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 3.509 3.617 3.972 4.037 และ 4.800 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่าส่วนใหญ่ปริมาณฝนที่ได้จากการประเมินโดยสมการถดถอยจะมีค่าค่อนข้างสูงกว่าค่าปริมาณฝนจากการตรวจวัดทุกสถานี แสดงว่าการวิเคราะห์สมการถดถอยนั้นสามารถนำไปประเมินปริมาณฝนได้



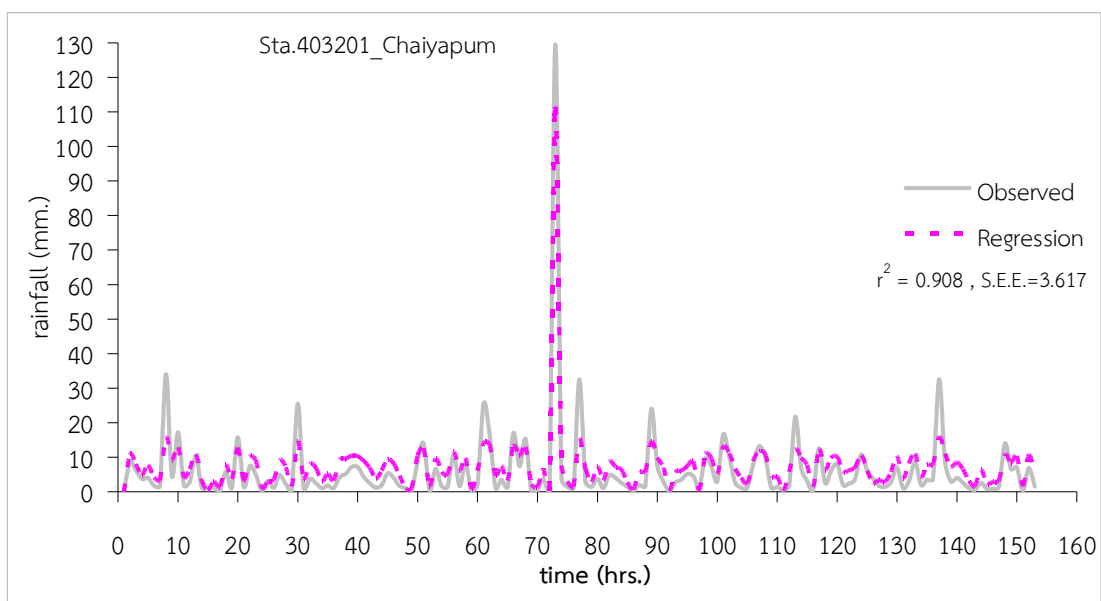


ภาพประกอบ 4.25 ปริมาณฝนที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

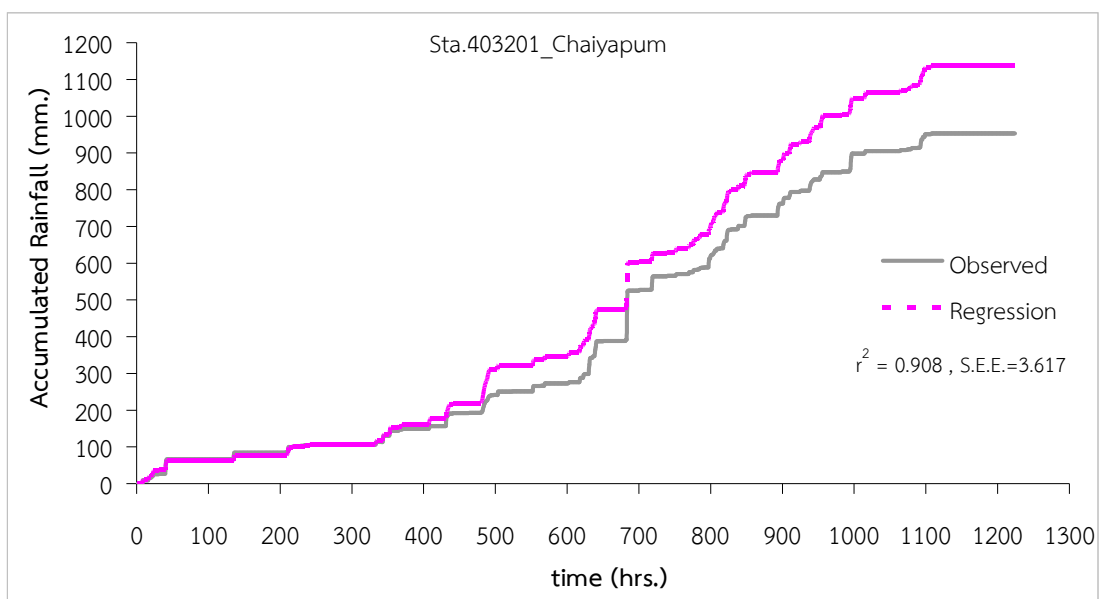


ภาพประกอบ 4.26 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม



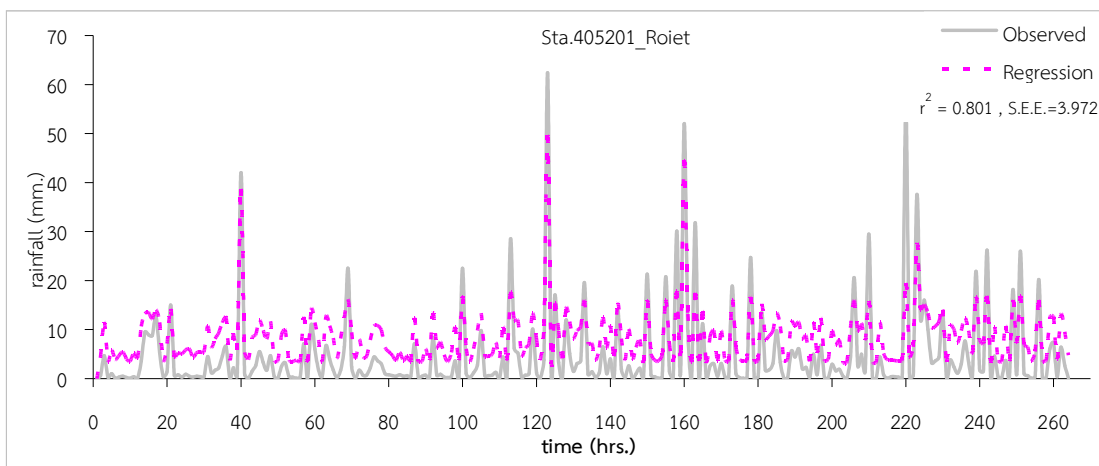


ภาพประกอบ 4.27 ปริมาณฝนที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี403201 จังหวัดชัยภูมิ

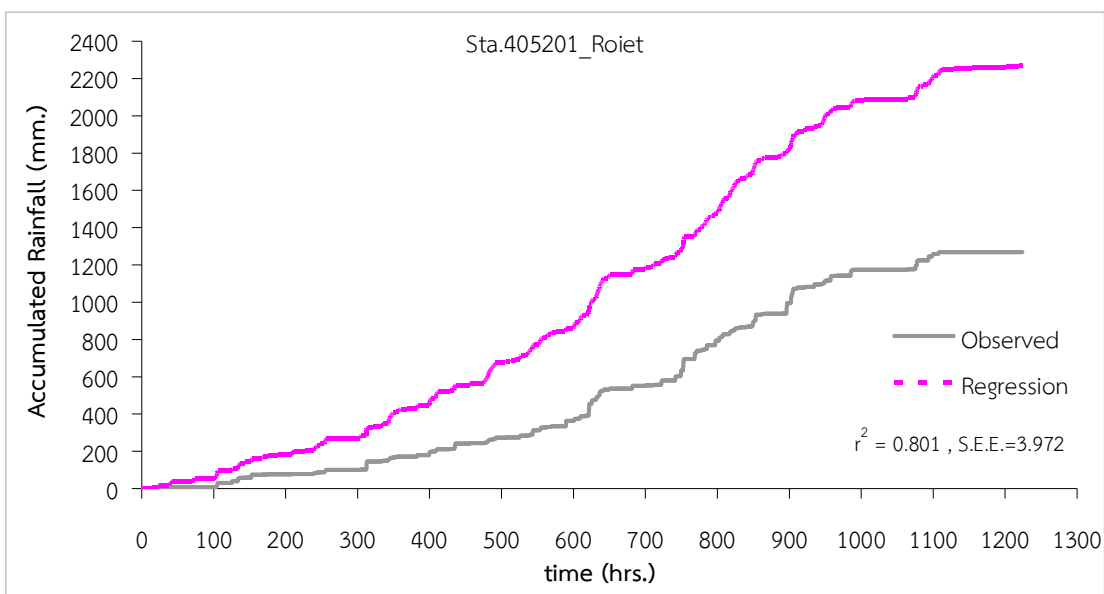


ภาพประกอบ 4.28 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี403201 จังหวัดชัยภูมิ



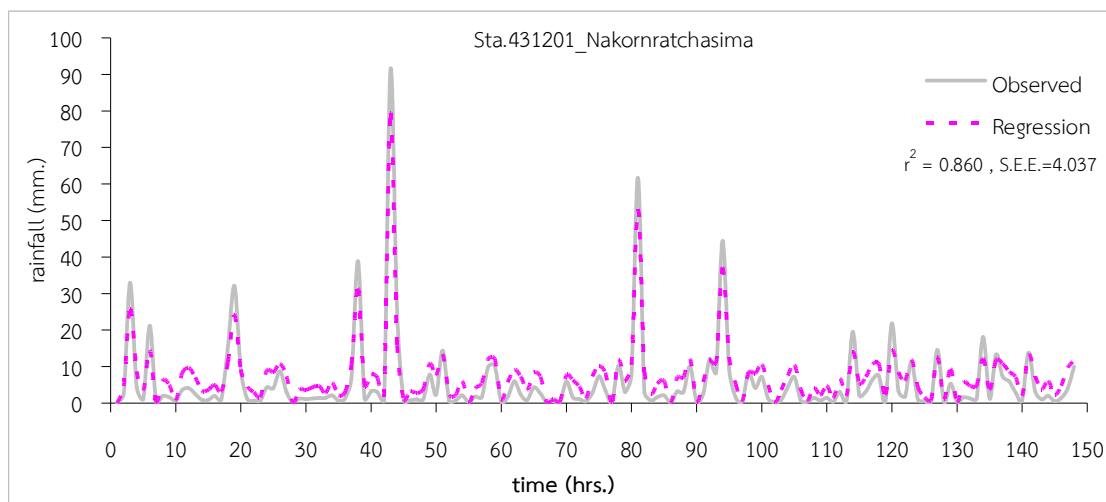


ภาพประกอบ 4.29 ปริมาณฝนที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

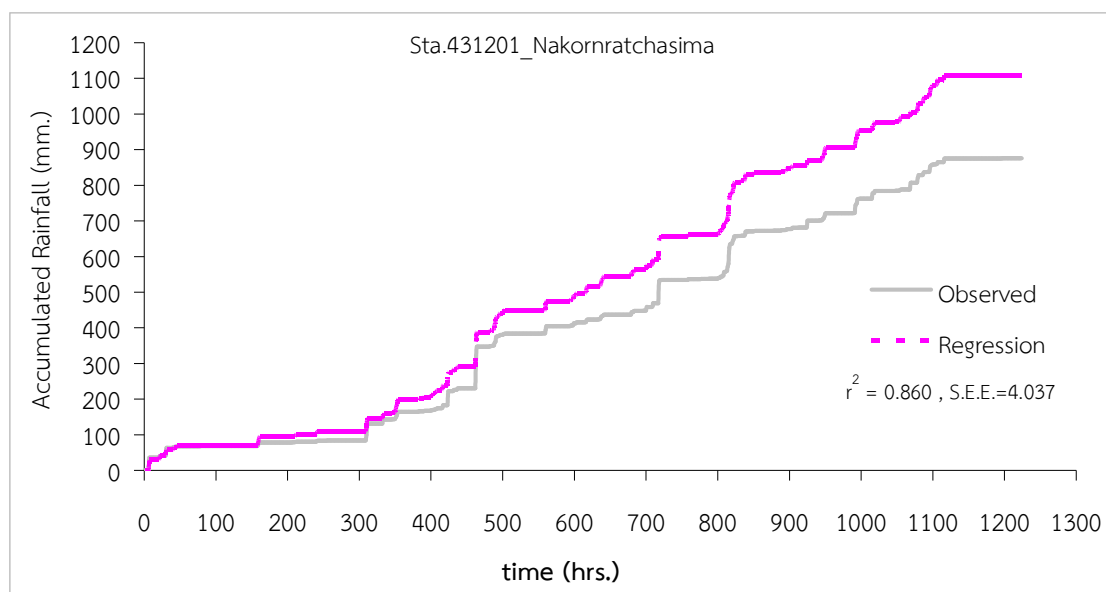


ภาพประกอบ 4.30 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด



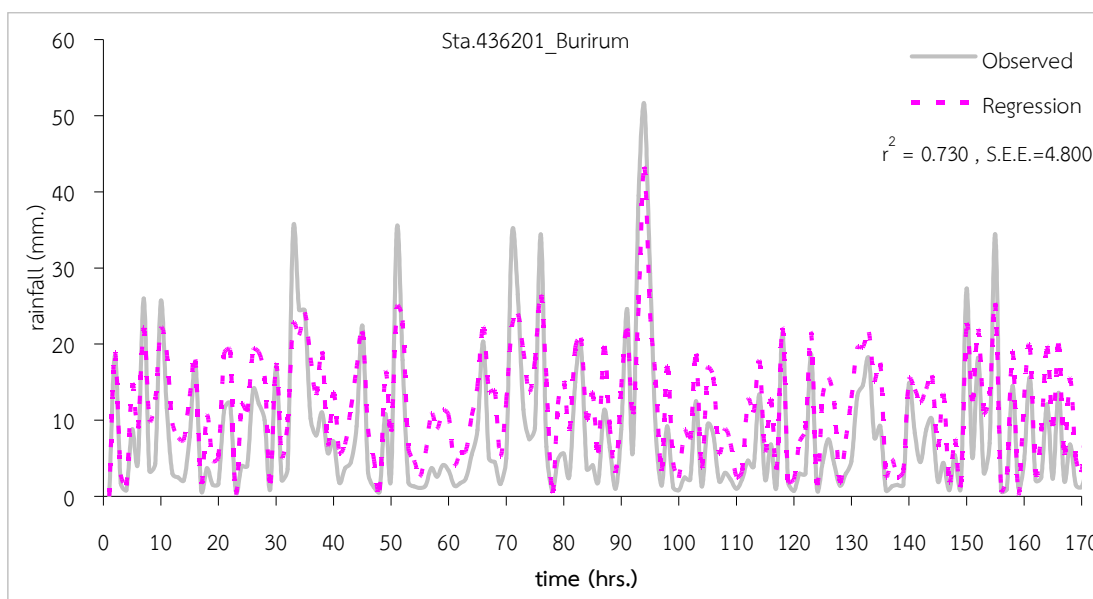


ภาพประกอบ 4.31 ปริมาณฝนที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

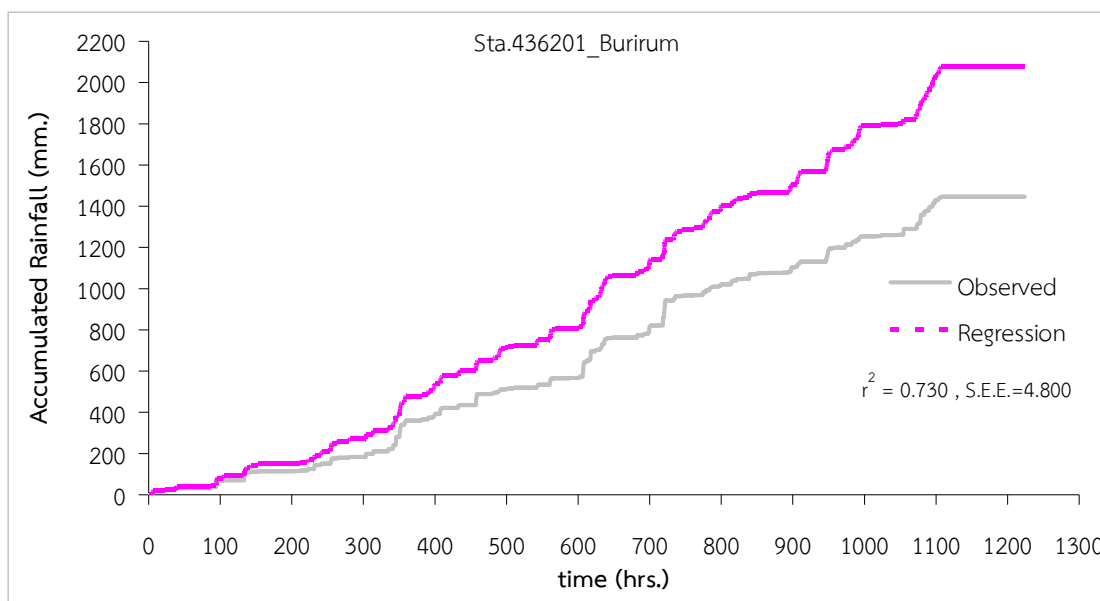


ภาพประกอบ 4.32 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา





ภาพประกอบ 4.33 ปริมาณฝนที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์



ภาพประกอบ 4.34 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสมการถดถอยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

ตาราง 4.12 แสดงสมการแบบตัวแปรอิสระ 3 ตัวและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของปริมาณฝนที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของทุกสถานี จากตารางจะเห็นได้ว่าสมการและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) แต่ละสถานีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการที่จะนำสมการเหล่านี้มาใช้จำเป็นต้องนำไปประเมินประสิทธิภาพก่อน



ตาราง 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) จากการวิเคราะห์สมการถดถอยกับตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปร เพื่อการประยุกต์ใช้หาปริมาณฝนแต่ละสถานี

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	สมการคำนวณปริมาณฝน	$R^2$
387401	มหาสารคาม	Rain = -19.254 - 0.220T - 0.103Rh + 0.935dBz	0.882
403201	ชัยภูมิ	Rain = -4.090 - 0.374T + 0.071Rh + 0.551dBz	0.844
405201	ร้อยเอ็ด	Rain = 9.296 - 0.189T - 0.056Rh + 0.440dBz	0.807
431201	นครราชสีมา	Rain = -19.768 + 0.028T + 0.124Rh + 0.599dBz	0.885
436201	บุรีรัมย์	Rain = -23.265 - 0.604T + 0.218Rh + 1.070dBz	0.828

ตาราง 4.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) ของการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของทุกสถานี จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าใกล้เคียงกัน (อยู่ในช่วง 0.730 - 0.914) โดยสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคามให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.914 ส่วนที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) น้อยที่สุด เท่ากับ 0.730 แต่ทุกสถานีให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1.00 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินปริมาณฝนได้

ตาราง 4.13 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) และ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของแต่ละสถานี

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	Coefficient of determination ( $R^2$ )	Standard Error of Estimate (S.E.E)
387401	มหาสารคาม	0.914	3.503
403201	ชัยภูมิ	0.908	3.617
405201	ร้อยเอ็ด	0.801	3.972
431201	นครราชสีมา	0.860	4.037
436201	บุรีรัมย์	0.730	4.800

เมื่อนำไปประเมินค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) ของแต่ละสถานี พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) อยู่ในช่วง 3.503 - 4.800 ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ โดยสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคามให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) น้อยที่สุด เท่ากับ 3.503 ส่วนที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์ ให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) มากที่สุด เท่ากับ 4.800 แต่อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานนี้บ่งบอกถึงค่าปริมาณฝนที่คำนวณได้จะกระจายอยู่ตามค่าปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงที่ยอมรับได้



#### 4.5 ผลการประยุกต์ใช้ Fuzzy-GA ในการหาค่าปริมาณฝน

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง Fuzzy-GAs ที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณฝนของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์โดยใช้ข้อมูลราย 3 ชั่วโมงในการเปรียบเทียบ (1 มิถุนายน 2547 – 31 สิงหาคม 2547) และใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2554 (1 มิถุนายน 2554 – 31 ตุลาคม 2554) มาทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 1. สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

ตาราง 4.14 แสดงจำนวนกลุ่มและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับประเมินปริมาณฝนของสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 คือ ตัวแปรเข้า 1 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.873 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้าคือ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่มและตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรณีนี้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดฝนมากที่สุด

กรณีที่ 2 คือ ตัวแปรเข้า 2 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 2-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 2 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.870 ในกรณีที่ 2 นี้ค่าตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดฝนได้อีกตัวแปรหนึ่งคืออุณหภูมิ (T) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) รองลงมา มีค่าเท่ากับ 0.869 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 2-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คืออุณหภูมิ (T) 2 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม)

กรณีที่ 3 คือตัวแปรเข้า 3 ตัว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.877 ซึ่งจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ อุณหภูมิ(T) 3 กลุ่ม ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) จากผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.877 ที่ได้เมื่อใช้ตัวแปรเข้า 3 ตัว ชี้ให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนตกจากแบบจำลอง Fuzzy-GAs ได้ แต่จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่อไป



ตาราง 4.14 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 387401จังหวัดมหาสารคาม

กรณี	ตัวแปรอิสระ	จำนวนกลุ่มที่เหมาะสม	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	2-3	0.410
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	3-3	0.404
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3	0.873
2	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-2-3	0.407
	อุณหภูมิ (T) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	2-3-3	0.869
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) - พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	2-3-3	0.870
3	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) –พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3-3	0.877

## 2. สถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

ตาราง 4.15 แสดงจำนวนกลุ่มและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs เพื่อการหาปริมาณฝนของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ แบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 คือ ตัวแปรเข้า 1 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.870 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้าคือ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่มและตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรณีนี้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดฝนได้มากที่สุด

กรณีที่ 2 คือ ตัวแปรเข้า 2 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 2-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 2 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.878 ในกรณีที่ 2 นี้ค่าตัวแปรที่สามารถอธิบายการเกิดฝนได้อีกตัวแปรหนึ่งคืออุณหภูมิ (T) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) รองลงมา 0.876 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 2-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คืออุณหภูมิ (T) 2 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม)

กรณีที่ 3 ตัวแปรเข้า 3 ตัว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.895 ซึ่งจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ อุณหภูมิ(T) 3 กลุ่ม ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) จากผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.895 ที่ได้เมื่อใช้ตัวแปรเข้า 3 ตัว ชี้ให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้ น่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนตกจากแบบจำลอง Fuzzy-GAs ได้ แต่จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่อไป



ตาราง 4.15 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

กรณี	ตัวแปรอิสระ	จำนวนกลุ่มที่เหมาะสม	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	2-3	0.561
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	3-3	0.604
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3	0.870
2	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-2-3	0.591
	อุณหภูมิ (T) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	2-3-3	0.876
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	2-3-3	0.878
	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3-3	0.895

### 3. สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

ตาราง 4.16 แสดงจำนวนกลุ่มและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs เพื่อการหาปริมาณฝนของสถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด แบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ตัวแปรเข้า 1 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.805 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้าคือ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่มและตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรณีนี้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดฝนได้มากที่สุด

กรณีที่ 2 ตัวแปรเข้า 2 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.890

กรณีที่ 3 ตัวแปรเข้า 3 ตัว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.912 ซึ่งจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ อุณหภูมิ(T) 3 กลุ่ม ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) จากผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.912 ที่ได้เมื่อใช้ตัวแปรเข้า 3 ตัว ซึ่งให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนตกจากแบบจำลอง Fuzzy-GAs ได้ แต่จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่อไป



ตาราง 4.16 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 405201จังหวัดร้อยเอ็ด

กรณี	ตัวแปรอิสระ	จำนวนกลุ่มที่เหมาะสม	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	2-3	0.550
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-3	0.524
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3	0.805
2	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-2-3	0.585
	อุณหภูมิ (T) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	2-3-3	0.818
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3	0.890
3	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3-3	0.912

#### 4. สถานี 431201 นครราชสีมา

ตาราง 4.17 แสดงจำนวนกลุ่มและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs เพื่อการหาปริมาณฝนของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา แบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว 2 ตัว และ 3 ตัว สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ตัวแปรเข้า 1 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.840 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้าคือ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่มและตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรณีนี้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดฝนได้มากที่สุด

กรณีที่ 2 ตัวแปรเข้า 2 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-2-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 2 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.872

กรณีที่ 3 ตัวแปรเข้า 3 ตัว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.904 ซึ่งจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้าคือ อุณหภูมิ(T) 3 กลุ่ม ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) จากผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.904 ที่ได้เมื่อใช้ตัวแปรเข้า 3 ตัว ชี้ให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนตกจากแบบจำลอง Fuzzy-GAs ได้ แต่จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่อไป



ตาราง 4.17 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

กรณี	ตัวแปรอิสระ	จำนวนกลุ่มที่เหมาะสม	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	2-3	0.423
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-3	0.321
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3	0.840
2	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-2-2	0.420
	อุณหภูมิ (T) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	2-3-2	0.775
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-2-3	0.872
3	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3-3	0.904

#### 5. สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

ตาราง 4.18 แสดงจำนวนกลุ่มและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs เพื่อการหาปริมาณฝนของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์ แบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีตัวแปรเข้า 1 ตัว ตัวแปรเข้า 2 ตัว และตัวแปรเข้า 3 ตัว สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ตัวแปรเข้า 1 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.855 มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้าคือ พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่มและตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรณีนี้ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) สามารถอธิบายการเกิดฝนได้มากที่สุด

กรณีที่ 2 ตัวแปรเข้า 2 ตัว มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝนตก 3 กลุ่ม) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.865

กรณีที่ 3 ตัวแปรเข้า 3 ตัว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.938 ซึ่งจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3-3-3-3 (จำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเข้า คือ อุณหภูมิ(T) 3 กลุ่ม ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) 3 กลุ่ม พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz) 3 กลุ่ม และตัวแปรออกคือปริมาณฝน 3 กลุ่ม) จากผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.938 ที่ได้เมื่อใช้ตัวแปรเข้า 3 ตัว ชี้ให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนตกจากแบบจำลอง Fuzzy-GAs ได้ แต่จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่อไป



ตาราง 4.18 จำนวนกลุ่มและสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs สำหรับหาปริมาณฝนของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

กรณี	ตัวแปรอิสระ	จำนวนกลุ่มที่เหมาะสม	$R^2$
1	อุณหภูมิ (T)	2-3	0.524
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	3-3	0.384
	พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3	0.855
2	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)	2-2-3	0.502
	อุณหภูมิ (T) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์(dBz)	2-3-2	0.709
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3	0.865
3	อุณหภูมิ(T) – ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) – พลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (dBz)	3-3-3-3	0.938

จากตาราง 4.14 ถึง 4.18 จะเห็นได้ว่า จำนวนกลุ่มและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง Fuzzy-GAs ที่สร้างขึ้นเมื่อประยุกต์ใช้หาค่าปริมาณฝนของทั้ง 5 สถานีมีผลลัพธ์ที่มีลักษณะแนวโน้มเหมือนกัน และมีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรเหมือนกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลอง Fuzzy-GAs ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณค่าปริมาณฝนได้กับทุกพื้นที่

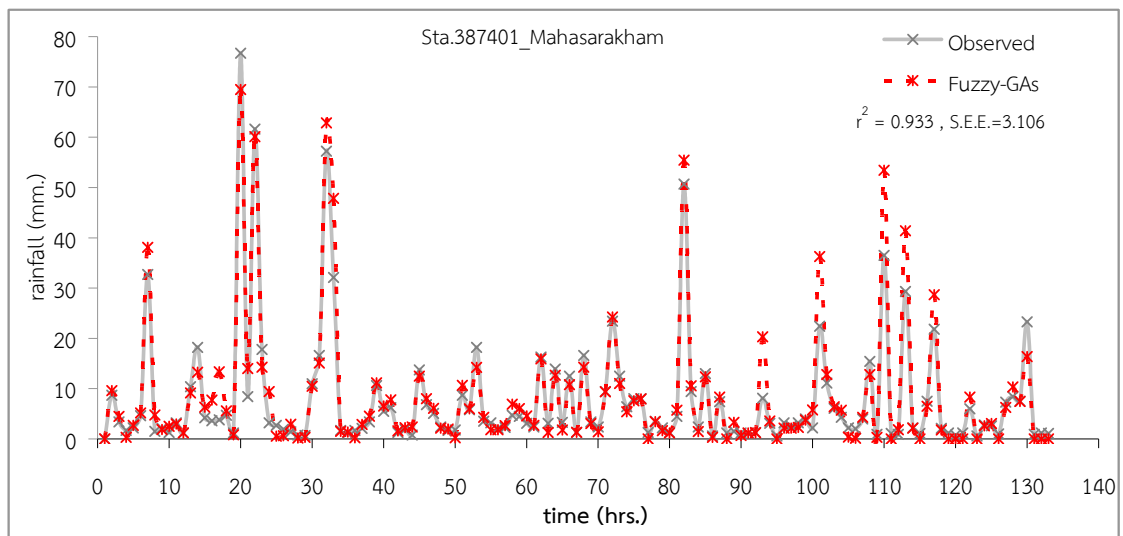
#### 4.6 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง Fuzzy-GAs

ทำได้โดยการนำแบบจำลอง Fuzzy-GAs ที่มีจำนวนกลุ่มของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็น 3-3-3-3 สำหรับกรณีพิจารณาตัวแปรเข้า 3 ตัวแปร มาทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณฝนจากการตรวจวัด และใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2554 ของสถานีจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

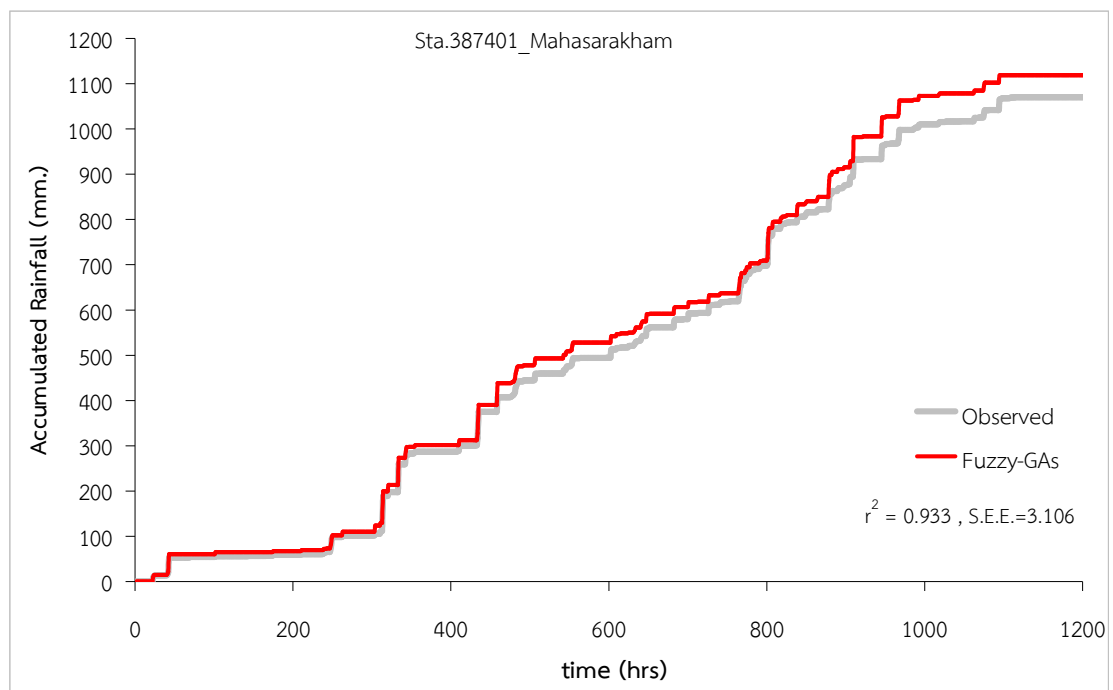
ภาพประกอบ 4.35 ถึง 4.44 แสดงค่าปริมาณฝนจากการตรวจวัดและค่าปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs ของแต่ละสถานีรวมทั้งค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่าง 2 วิธีข้างต้น ซึ่งจะแสดงเฉพาะกรณีที่ 3 คือตัวแปรเข้า 3 ตัวแปร เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ได้มีค่าสูงที่สุด จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs นั้นจะมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดอยู่เล็กน้อย ยกเว้นที่สถานีจังหวัดชัยภูมิสถานีเดียวที่มีค่าปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs สูงกว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดอยู่เล็กน้อย







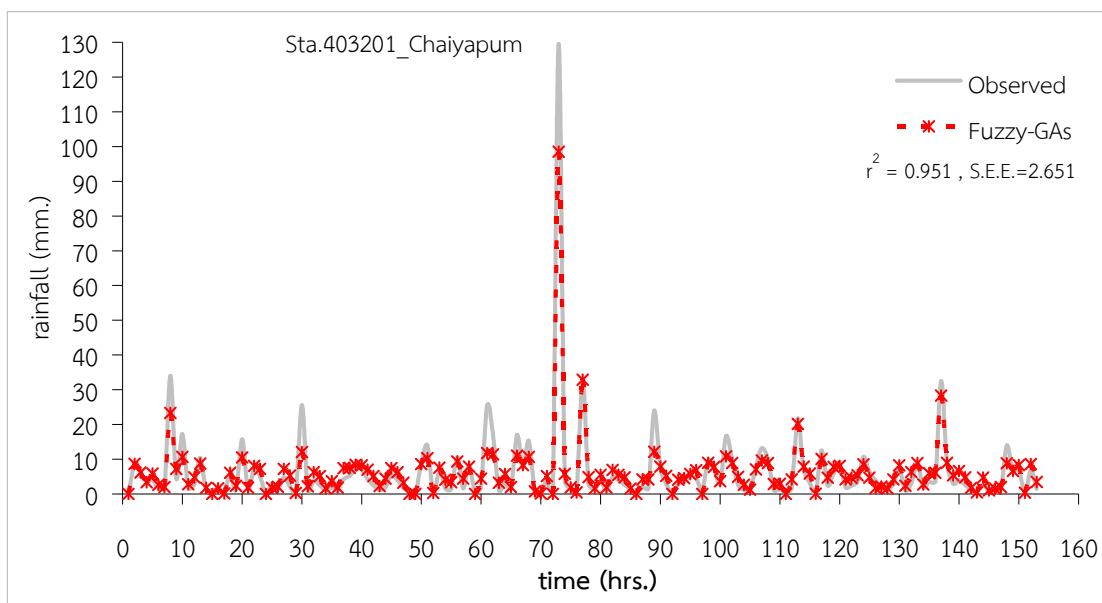
ภาพประกอบ 4.35 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม



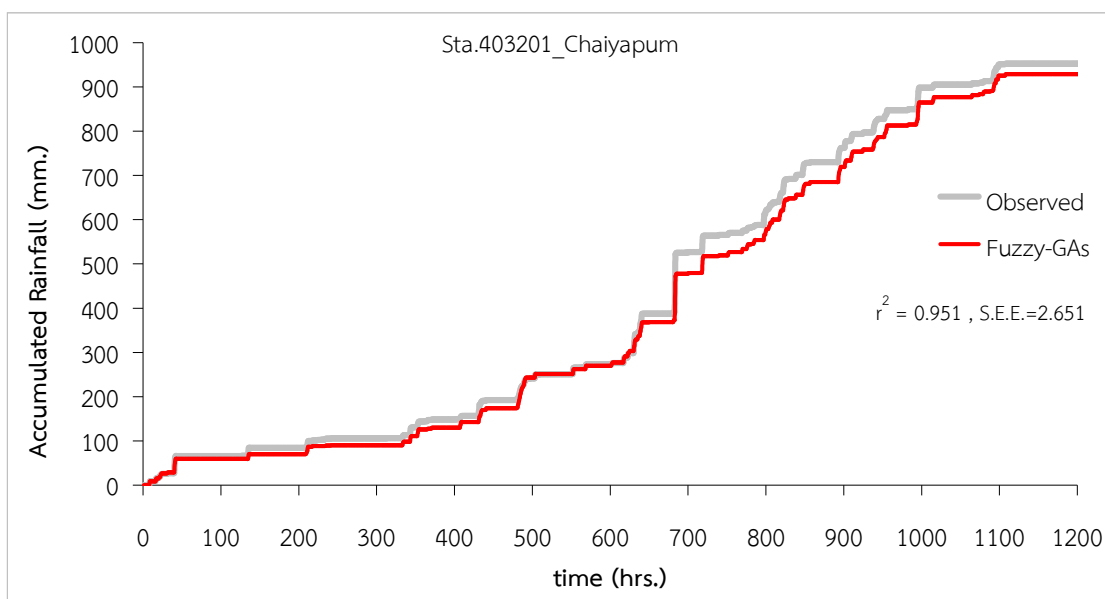
ภาพประกอบ 4.36 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม





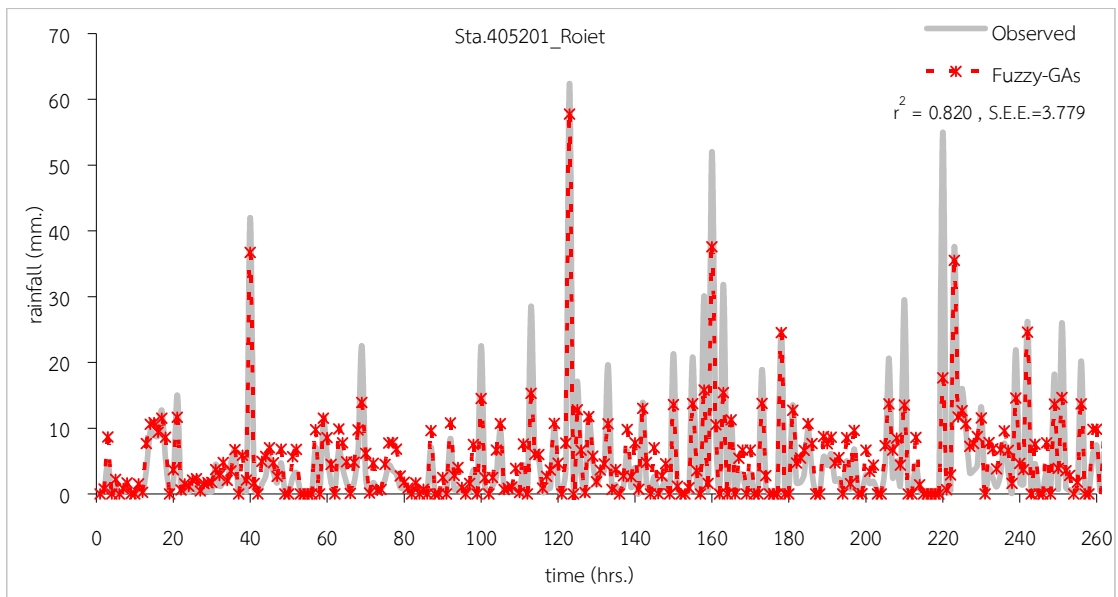


ภาพประกอบ 4.37 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

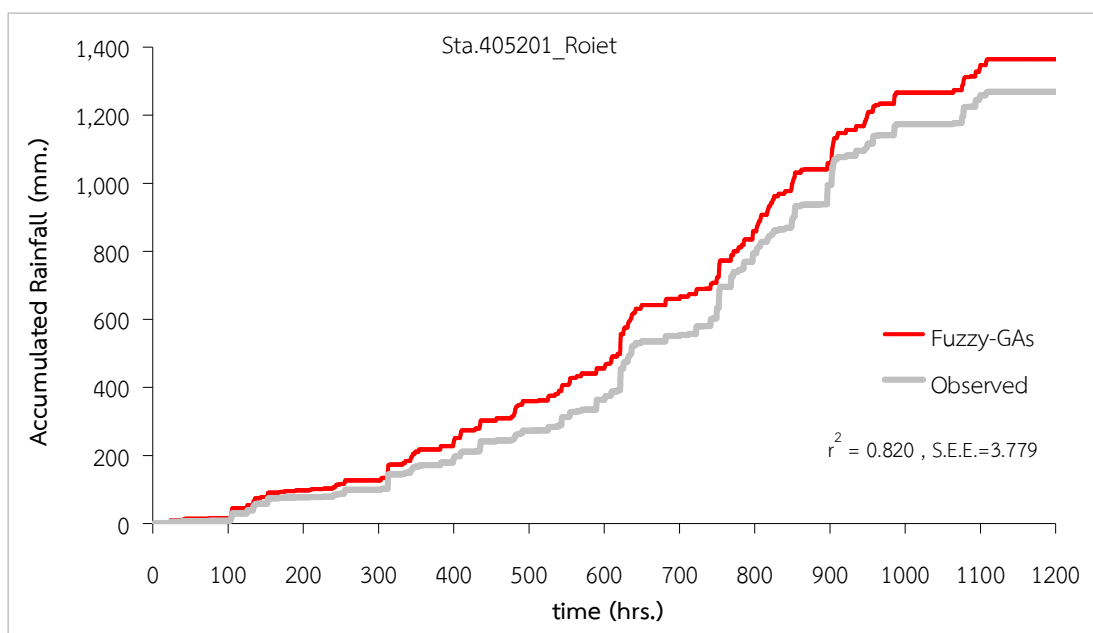


ภาพประกอบ 4.38 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ



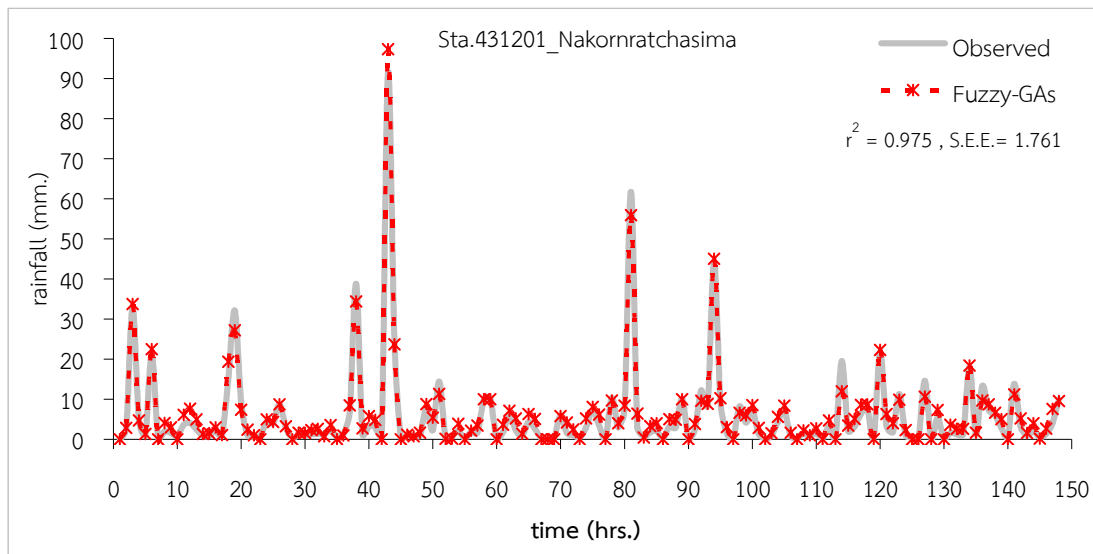


ภาพประกอบ 4.39 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

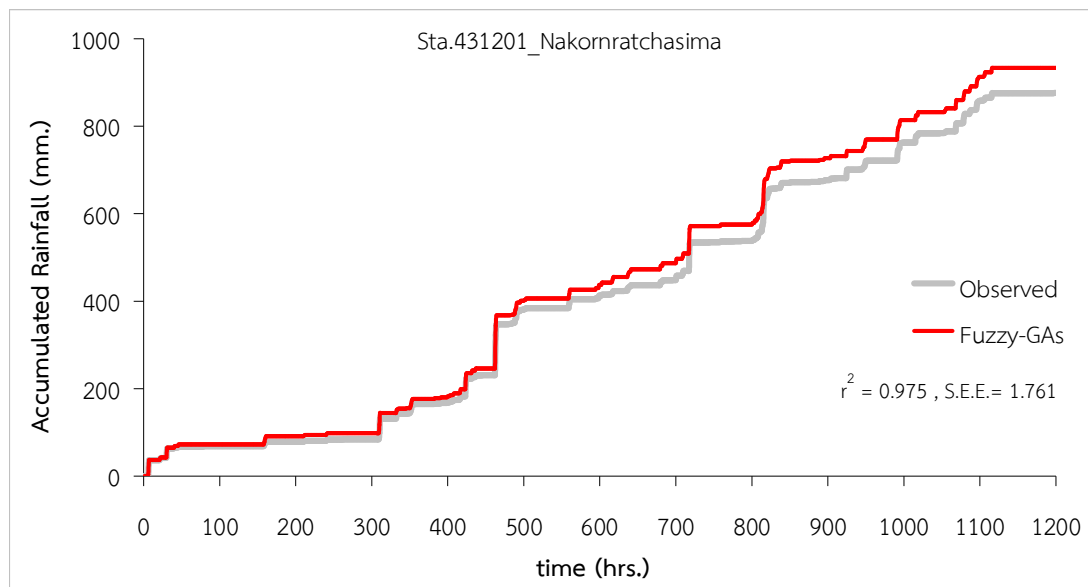


ภาพประกอบ 4.40 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด



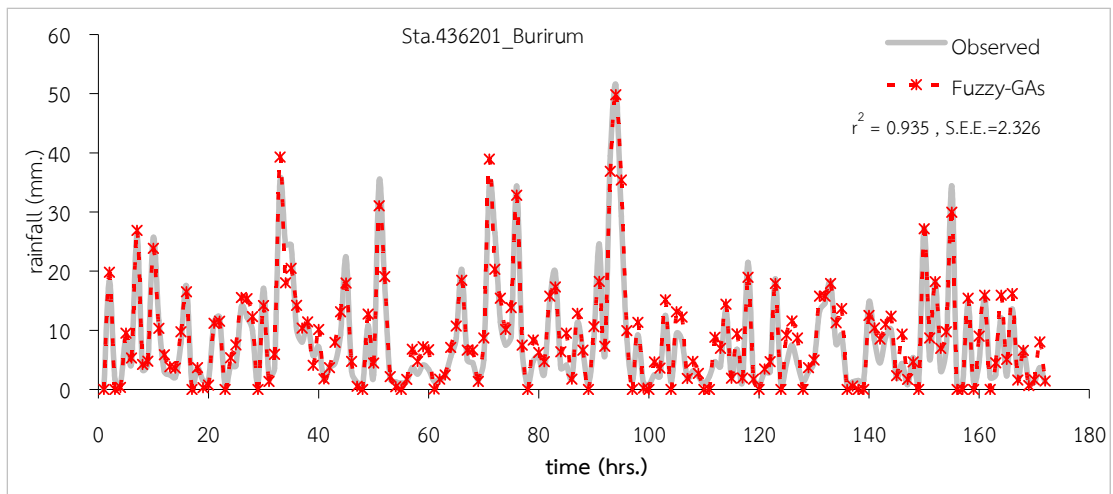


ภาพประกอบ 4.41 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี431201จังหวัดนครราชสีมา

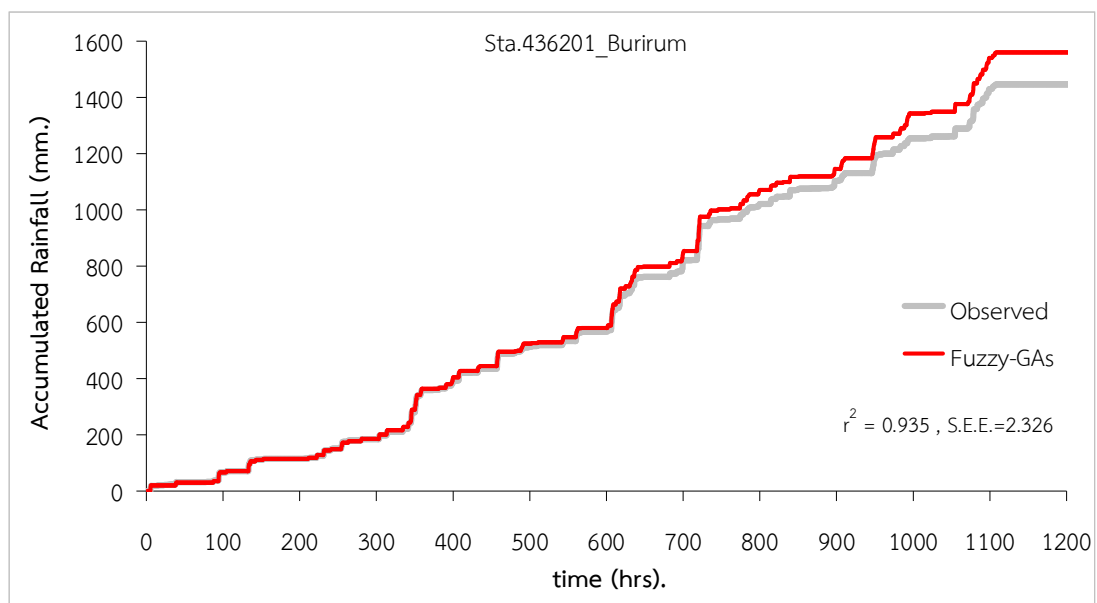


ภาพประกอบ 4.42 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี431201จังหวัดนครราชสีมา





ภาพประกอบ 4.43 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี436201 จังหวัดบุรีรัมย์



ภาพประกอบ 4.44 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี436201 จังหวัดบุรีรัมย์



#### 4.7 เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณฝนโดยแบบจำลอง Fuzzy-GAs และสมการถดถอย

เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณฝนแต่ละวิธีได้ผลดังแสดงในตาราง 4.19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) ของการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย และด้วยวิธี Fuzz-GAs เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณฝนของทุกสถานี จากตารางจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าใกล้เคียงกัน (อยู่ในช่วง 0.730 - 0.914 สำหรับวิธีสมการถดถอย และ 0.820 - 0.975 สำหรับวิธี Fuzzy-GAs) โดยวิธีสมการถดถอยที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคามให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุด เท่ากับ 0.914 ส่วนที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) น้อยที่สุด เท่ากับ 0.730 ส่วนวิธี Fuzzy-GAs ที่สถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมาให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุด เท่ากับ 0.975 ส่วนที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) น้อยที่สุด เท่ากับ 0.820 แต่ทุกสถานีให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่ดี

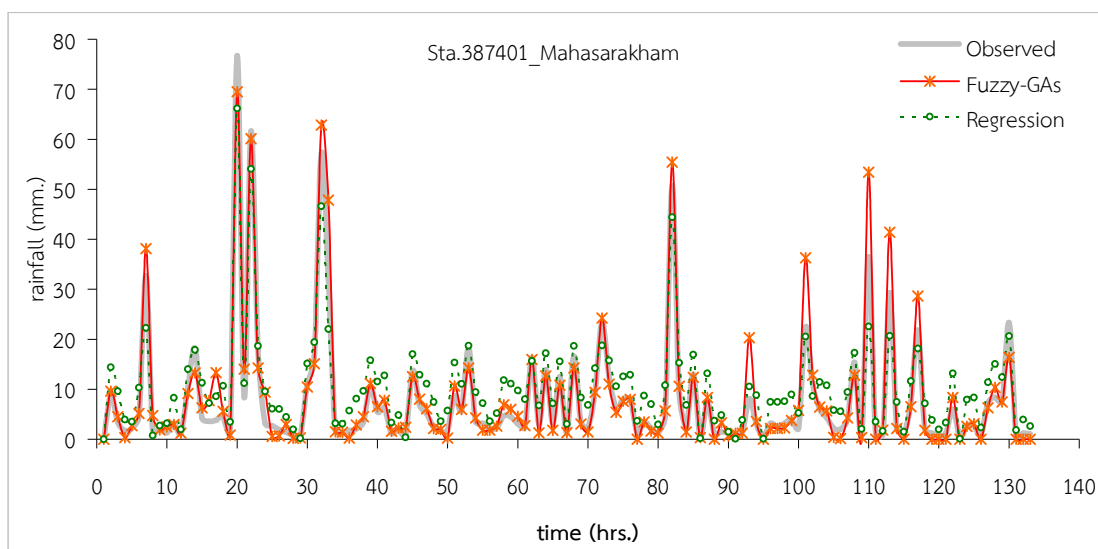
เมื่อนำไปประเมินค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) ของแต่ละสถานี พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) อยู่ในช่วง 3.503 - 4.800 สำหรับวิธีสมการถดถอย และ 1.761 - 3.779 สำหรับวิธี Fuzzy-GAs ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างต่ำทั้งสองวิธี โดยวิธีสมการถดถอยที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคามให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) น้อยที่สุด เท่ากับ 3.503 ส่วนที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์ ให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) มากที่สุด เท่ากับ 4.800 ส่วนวิธี Fuzzy-GAs ที่สถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมาให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) น้อยที่สุด เท่ากับ 1.761 ส่วนที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด ให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) มากที่สุด เท่ากับ 3.779 (ภาพประกอบ 4.45 ถึง 4.54 )

แต่อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานนี้บ่งบอกถึงค่าปริมาณฝนที่คำนวณได้มีความสอดคล้องกับปริมาณฝนจากการตรวจวัดในช่วงที่ยอมรับได้

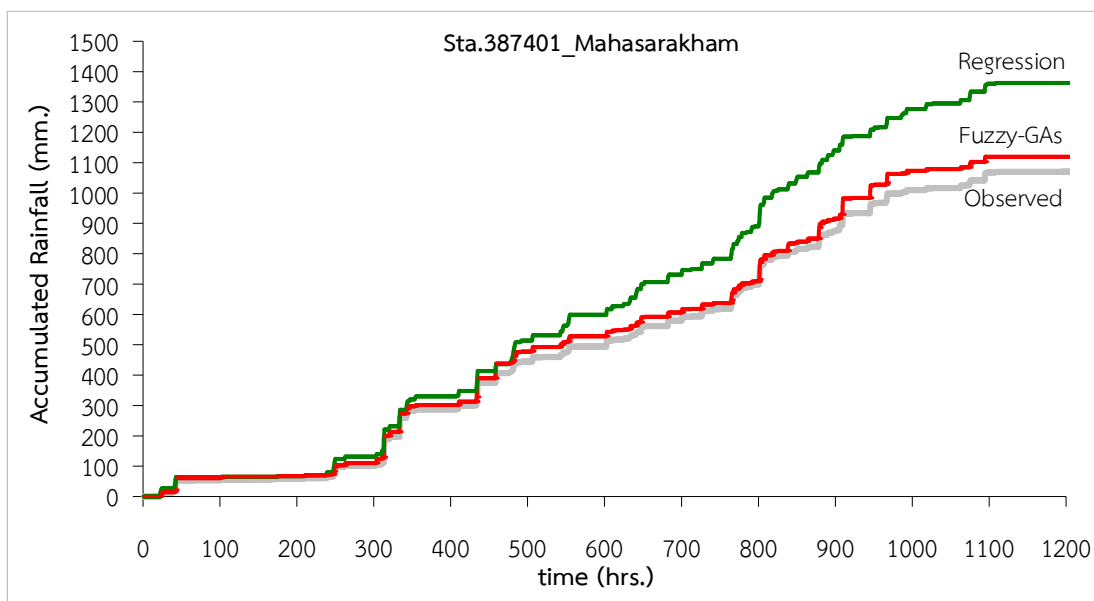
ตาราง 4.19 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.E.) และ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ที่วิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย และด้วยวิธี Fuzz-GAs ของแต่ละสถานี

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	Regression Model		Fuzzy-GAs Model	
		$R^2$	Standard Error of Estimate (S.E.E)	$R^2$	Standard Error of Estimate (S.E.E)
387401	มหาสารคาม	0.914	3.503	0.933	3.106
403201	ชัยภูมิ	0.908	3.617	0.951	2.651
405201	ร้อยเอ็ด	0.801	3.972	0.820	3.779
431201	นครราชสีมา	0.860	4.037	0.975	1.761
436201	บุรีรัมย์	0.730	4.800	0.935	2.326



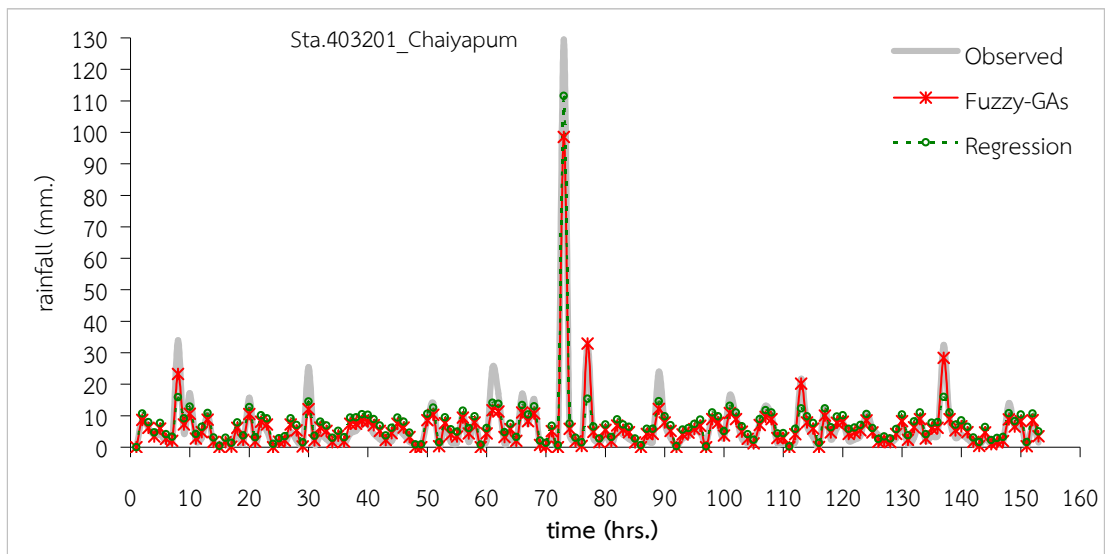


ภาพประกอบ 4.45 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบกับ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี387401 จังหวัดมหาสารคาม

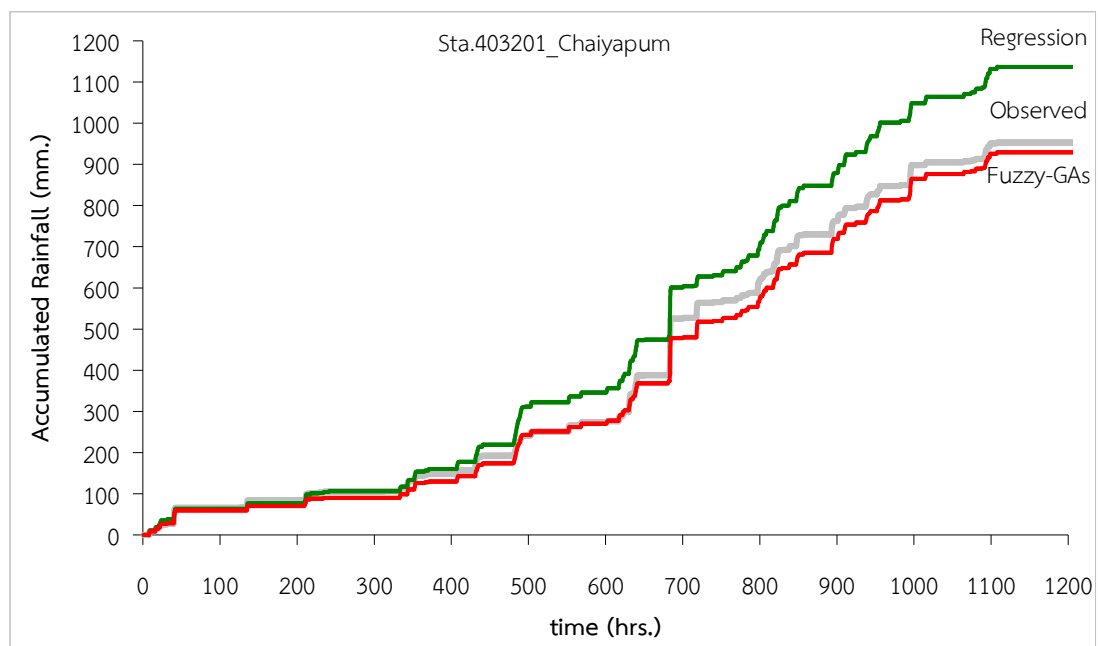


ภาพประกอบ 4.46 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบ กับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี387401 จังหวัดมหาสารคาม



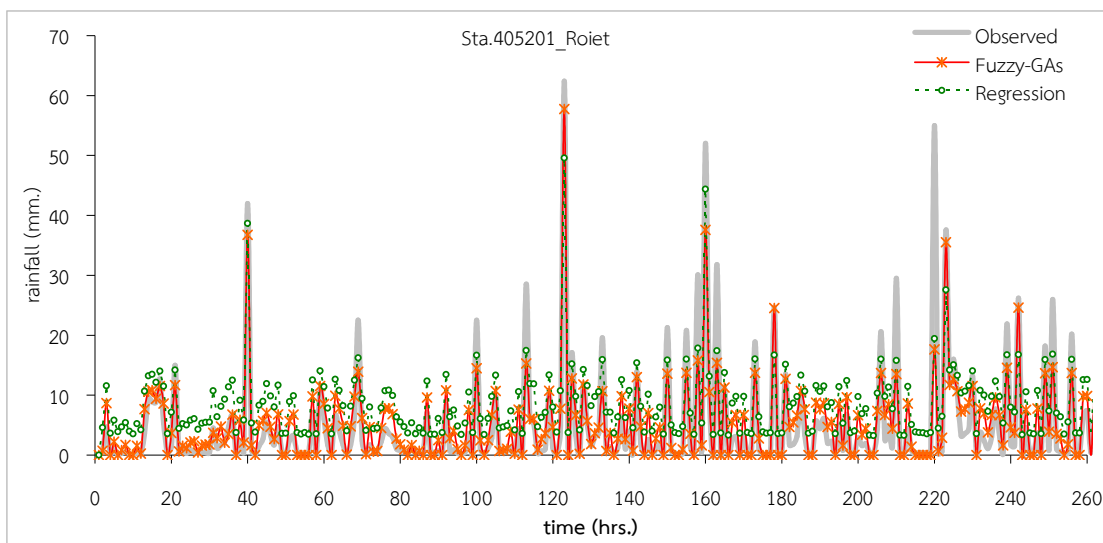


ภาพประกอบ 4.47 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบกับ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี403201 จังหวัดชัยภูมิ

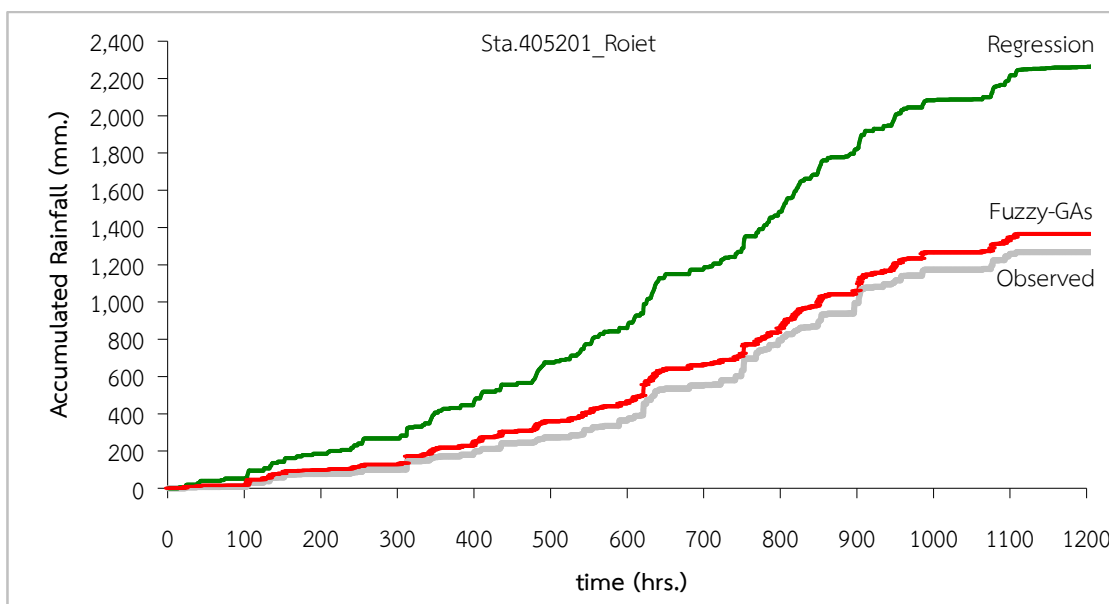


ภาพประกอบ 4.48 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบ กับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี403201 จังหวัดชัยภูมิ





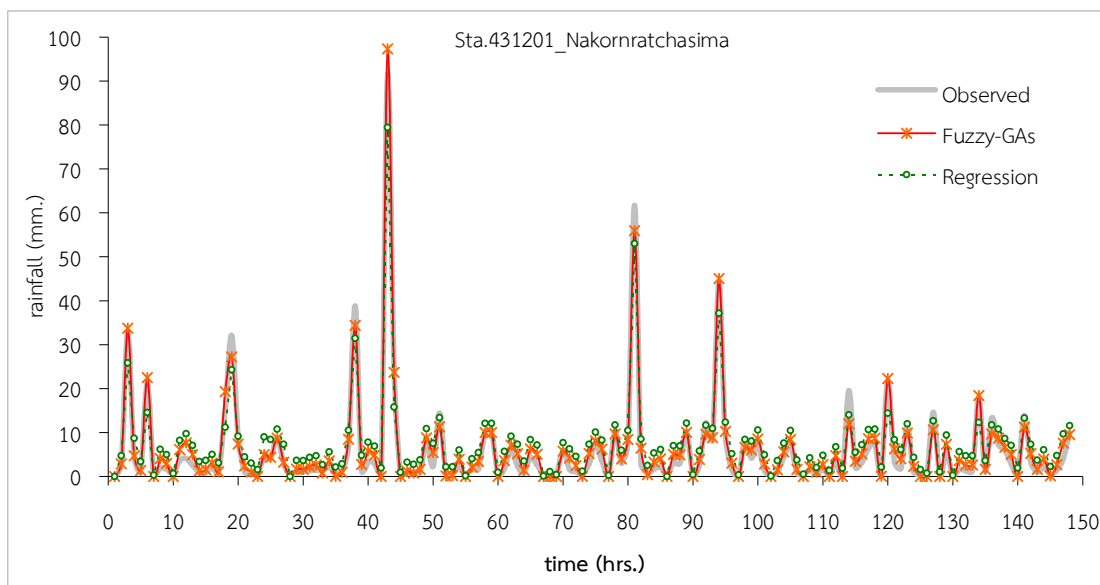
ภาพประกอบ 4.49 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบกับ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี405201 จังหวัดร้อยเอ็ด



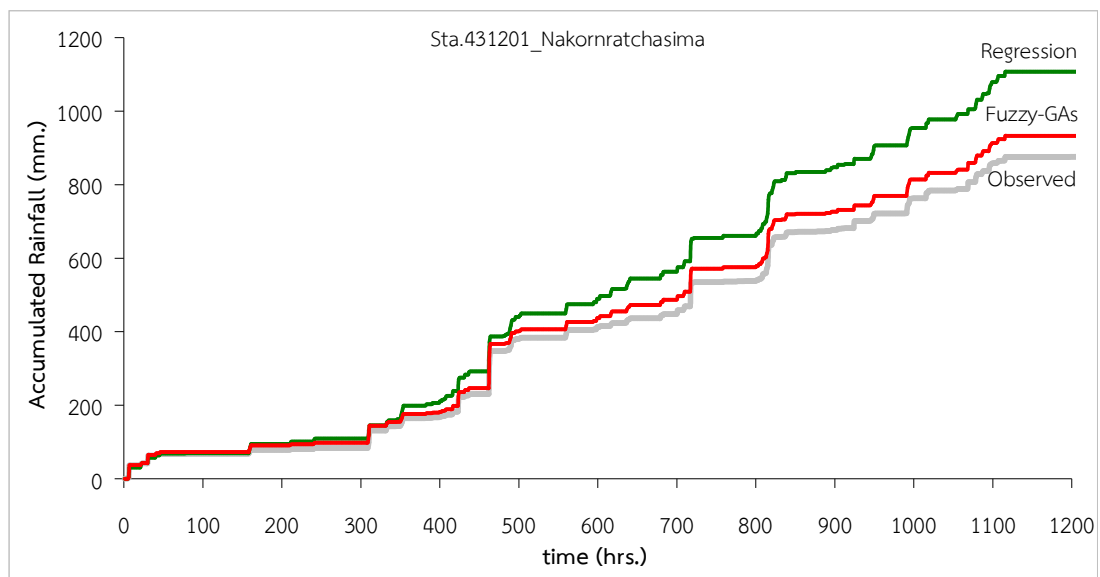
ภาพประกอบ 4.50 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบ กับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี405201 จังหวัดร้อยเอ็ด





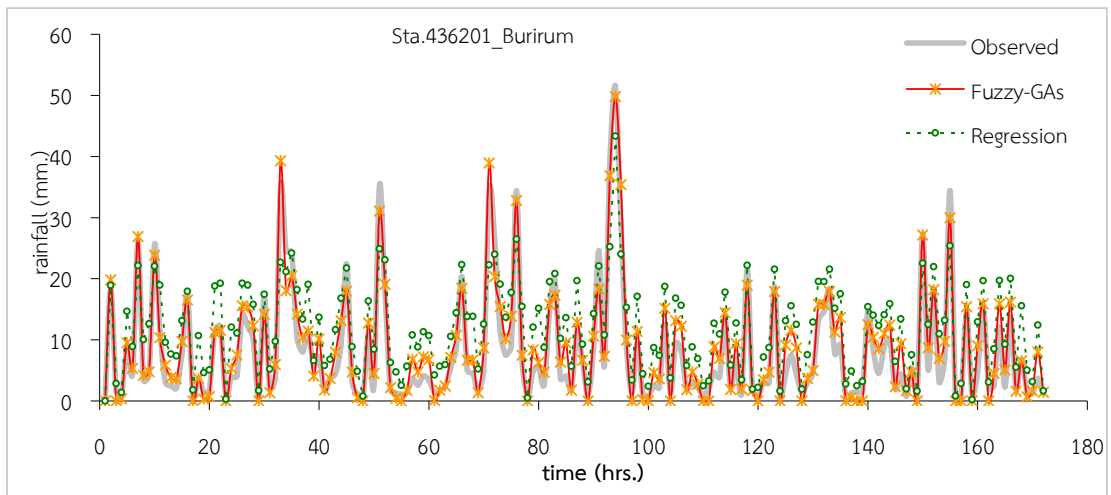


ภาพประกอบ 4.51 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบกับ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี431201 จังหวัดนครราชสีมา

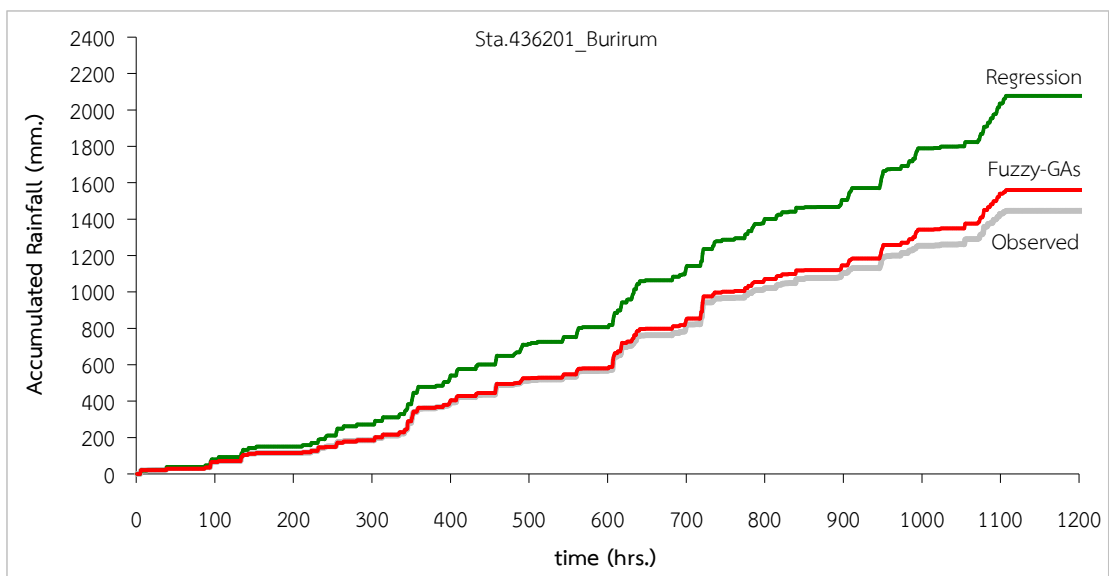


ภาพประกอบ 4.52 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบ กับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี431201 จังหวัดนครราชสีมา





ภาพประกอบ 4.53 ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง Fuzzy-GAs และ Regression model เทียบกับ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี436201 จังหวัดบุรีรัมย์



ภาพประกอบ 4.54 ปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสมการถดถอยและแบบจำลอง Fuzzy-GAs เทียบกับ ปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวัดปริมาณฝน สามารถวัดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงคือวิธีการใช้เครื่องมือวัดน้ำฝนในการตรวจวัด และทางอ้อมคือวิธีการประเมินจากข้อมูลอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดฝนตก ในบางพื้นที่ที่ขาดแคลนเครื่องมือตรวจวัดและมีความยากในการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนโดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นภูเขา และจากจุดเด่นของทฤษฎีฟuzzyเซตที่สามารถหาคำตอบของปัญหาได้จากตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพียงบางตัวเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงจะนำเอาคุณลักษณะเด่นของเรดาร์ตรวจอากาศที่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำในบรรยากาศเชิงพื้นที่และแสดงผลในรูปค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์เข้ามาร่วมพิจารณาในการประเมินปริมาณฝนด้วย โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ทั้งวิธีการคำนวณแบบดั้งเดิม (Conventional Method) และจากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet filter แบบ Haar wavelet 1-D dimension เข้ามาสร้างสมการความสัมพันธ์  $Z_{WF}-R_{WF}$  relationship เพื่อการประเมินปริมาณฝนเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ นอกจากนี้ได้มีการนำทฤษฎีฟuzzyเซตและจุดเด่นของเจเนติกอัลกอริทึมที่เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติและเป็นเทคนิคที่ใช้มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มาประเมินค่าปริมาณฝนด้วย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมงของตัวแปรอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนค่าพลังงานการสะท้อนจากภาพเรดาร์ได้จากเทคนิคการประมวลผลเชิงภาพในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีเหตุการณ์ฝนระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2547 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2547 ของสถานีจังหวัดมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ สำหรับการปรับเทียบ (Calibration) และใช้ข้อมูลปี 2554 ช่วงวันที่ 1 มิถุนายน 2554 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2554 ซึ่งเป็นเหตุการณ์มหาอุทกภัยครั้งใหญ่ในประเทศไทย สำหรับการสอบเทียบ (Validation) ผลการศึกษาได้สรุปดังต่อไปนี้

#### 1. สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์

ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) โดยวิธี Buffer Probability Technique ของสถานี387401มหาสารคาม สถานี403201ชัยภูมิ สถานี405201ร้อยเอ็ด สถานี431201นครราชสีมา และสถานี436201บุรีรัมย์ พบว่ามีค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์อยู่ในช่วง 10-46 dBz, 10-50 dBz, 10-46 dBz, 10-44 dBz และ 10-42 dBz ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยแต่ละสถานีเท่ากับ 22.21 dBz, 19.76 dBz, 25.02 dBz, 19.64 dBz และ 23.38 dBz ตามลำดับ

#### 2. สรุปผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์กับอัตราการตกของฝน (Z-R relationship)

สมการ Z-R relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conventional Method และ จากการประยุกต์ใช้หลักการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิค Wavelet Filter ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือสมการ Z-R relationship ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conventional Method มีสมการเป็น  $Z = 265R^{1.186}$



และ สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Wavelet Filter มีสมการเป็น  $Z_{WF} = 148R_{WF}^{1.293}$  ซึ่งฝนลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นมีสภาพใกล้เคียงกับฝนชนิด Tropical Convective rain ที่มีค่า  $Z = 250 R^{1.20}$  (Rosenfeld et al., 1993) และจากการศึกษาของ Compliew et al., (2004) สมการ Z-R บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและมูลตอนบนพบว่ามีค่าเท่ากับ  $Z = 293 R^{1.33}$

ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าตัวแปรของสมการ Z-R ที่ได้จากวิธี Conventional method มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณฝนค่อนข้างสูง โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วงระหว่าง 87.1 – 98.5 % ส่วนตัวแปรในสมการ Z-R ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณฝนค่อนข้างสูงเช่นกัน โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วงระหว่าง 55 - 70 % นอกจากนี้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการใช้สมการ Z-R ที่ได้จากวิธี Conventional method มีค่าอยู่ในช่วง 1.522 – 4.858 ในขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการใช้สมการ Z-R ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค Wavelet Filter มีค่าอยู่ในช่วง 5.764 – 7.823

### 3. สรุปผลการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย

#### 3.1 แบบจำลองสมการถดถอยที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย

สามารถหาค่าปริมาณฝนได้ เมื่อทราบข้อมูลตัวแปรเพียง 1 ตัว คือ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของการเปรียบเทียบเป็น 0.743 0.769 0.701 0.764 และ 0.731 ของสถานี มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ

3.2 สำหรับตัวแปรนำเข้า 2 ตัว ที่เหมาะสม คือ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของการเปรียบเทียบเป็น 0.808 0.813 0.780 0.795 และ 0.750 ของสถานี มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากรณีพิจารณาเพียง 1 ตัวแปร

3.3 สำหรับกรณีตัวแปรนำเข้าทั้ง 3 ตัว (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนเรดาร์) เหมาะที่จะใช้หาค่าปริมาณฝนด้วยสมการการถดถอยโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงสุดเท่ากับ 0.882 0.844 0.807 0.885 และ 0.828 ของสถานี มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ มีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สามารถประเมินปริมาณฝนได้ใกล้เคียงกับการตรวจวัดมากที่สุดคือ 3-3-3

3.4 สมการที่พิจารณาตัวแปรนำเข้าทั้ง 3 ตัว คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าพลังงานการสะท้อนเรดาร์นั้นเมื่อนำมาประเมินโดยใช้ข้อมูลของ 5 สถานี พบว่าให้ค่าปริมาณฝนที่ใกล้เคียงกับปริมาณฝนจากการตรวจวัดทุกสถานี ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error of the estimate, SEE) ของสถานีมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ นั้น มีค่าประมาณ 3.509 3.617 3.972 4.037 และ 4.800 ตามลำดับ

### 4. สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Fuzzy-GAs

4.1 แบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิค Fuzzy-GAs สามารถหาค่าปริมาณฝนได้ เมื่อทราบข้อมูลตัวแปรเพียง 1 ตัว คือ ค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของการเปรียบเทียบเป็น 0.873 0.870 0.805 0.840 และ 0.855 ของสถานี มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ



4.2 สำหรับตัวแปรนำเข้า 2 ตัว ที่เหมาะสม คือ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนของเรดาร์ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของการปรับเทียบเป็น 0.870 0.878 0.890 0.872 และ 0.865 ของสถานี มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากรณีพิจารณาเพียง 1 ตัวแปร

4.3 สำหรับกรณีตัวแปรนำเข้าทั้ง 3 ตัว (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าพลังงานการสะท้อนเรดาร์) เหมาะที่จะใช้ในการหาค่าปริมาณฝนด้วยเทคนิค Fuzzy-GAs ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) สูงที่สุดเท่ากับ 0.877 0.895 0.912 0.904 และ 0.938 ของสถานี มหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ โดยมีจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สามารถประเมินปริมาณฝนได้ใกล้เคียงกับการตรวจวัดมากที่สุดคือ 3-3-3

4.4 การใช้เทคนิค GA เข้ามาช่วยในการปรับเทียบแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองมีการประมวลผลที่รวดเร็วและได้ค่าที่เหมาะสม ซึ่งจะสังเกตได้จากค่าปริมาณฝนที่ประเมินจากเทคนิค Fuzzy-GAs มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่ตรวจวัด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.877-0.938 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1.00

4.5 แบบจำลองที่พิจารณาตัวแปรนำเข้าทั้ง 3 ตัว คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าพลังงานการสะท้อนเรดาร์นั้นเมื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดทั้ง 5 สถานี พบว่าให้ค่าปริมาณฝนใกล้เคียงกันทุกสถานี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error of the estimate, SEE) ของสถานีมหาสารคาม ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และบุรีรัมย์ เท่ากับ 3.106 2.651 3.779 1.761 และ 2.236 ตามลำดับ

5. เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Fuzzy-GAs และ สมการการถดถอย จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณฝนที่ได้จากทั้ง 2 วิธี พบว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง Fuzzy-GAs มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่า ปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณโดยสมการการถดถอย ทุกสถานี

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในอนาคตมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.1 ใช้ค่าพลังงานการสะท้อนจากโครงข่ายเรดาร์ตรวจอากาศหลายสถานีที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาให้มากกว่านี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณฝน

5.2 ควรศึกษาการเลื่อนของเวลาการตกของฝนเชิงพื้นที่ (time lag) เพื่อประเมินพฤติกรรมการตกของฝน

5.3 ในการปรับเทียบข้อมูลอาจมีการปรับเทียบหลายๆเหตุการณ์และหลายๆ สถานีมากกว่านี้เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและสามารถประเมินปริมาณฝนได้ครอบคลุมทั่วประเทศ

5.4 พิจารณาใช้เทคนิคในการสร้างกฎพื้นฐานของ Fuzzy model ร่วมกับเทคนิคอื่นๆที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เช่น Artificial neural network (ANN) , Hybrid Model , Wavelet model เป็นต้น



5.5 ควรมีการศึกษาการประเมินฝนในช่วงเวลาการตกสั้นๆ เพื่อประเมินปริมาณน้ำหลาก  
ฉบับพลันในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม หรือการออกแบบระบบระบายน้ำ



เอกสารอ้างอิง



## เอกสารอ้างอิง

- ทรงศิริ แต่สมบัติ. (2548). *การวิเคราะห์การถดถอย*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนุกิจตร ภูมิพันธ์. (2552). *การประมาณค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Allen, R.G. and others. (1998). "Crop Evapotranspiration : Guidelines for Computing Crop Water Requirements," *Irrigation and Drainage Paper*. 56: 301.
- Atlas, D., Rosenfeld, D.& Jameson, M.R. (1997). *Evaluation of Radar Rainfall measurements: Steps and Mis-Steps*. Weather Radar Technology for water Resources Management. IRTCUD/University of San Paulo, Brazil and IHP-UNESCO.
- Anongrit Kangrang and Chavalit Chaleeraktragoon. (2007). "An Estimation of Irrigation Efficiency of Limited Water Resource Area," *Journal of Applied Science*. 7: 2744-2749.
- Alberoni, P. P., Anderson, T., Mezzasalma, P., Michelson, D. B., and anni, S. (2001).: Use of the vertical reflectivity profile for identification of anomalous propagation, *Meteorological Applications*, 8, 257-66.
- Anujit Phumphan and Anongrit Kangrang. (2008). A Fuzzy-GAs for Estimating Evaporation. *Proceedings of Technology and Innovation for Sustainable Development Conference TISD 2008*, Faculty of Engineering, Khon Kaen.
- Austin, P. M. (1987) *Relationship between measured radar reflectivity and surface rainfall*. Monthly eather Review 115, 1053-1071.
- Anon. 2001b. (2001). *Report on climate change bodes ill for near future*. Reprinted from Observer News Service by the Nation.
- Bahat, M. and others. (2000). "A Fuzzy Irrigation Controller System," *Engineering Applications of Arificial Intelligence*. 13: 137-145.
- Cazemier, D.R., P. Lagacheric and R. Martin-Clouaire. (2001). "Estimating Available Water Capacity from Imprecise Information Contained in Soil Databases," *Geoderma*. 103: 113-132.
- Chow, V.T. (1988). *Applied Hydrology*. USA: McGraw-Hill Inc.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. (1977). "Crop Water Requirements," *Irrigation and Drainage Paper*. 24: 179.
- E. Barthazy. (1998). *Microphysical Properties of the Melting Layer*. PhD dissertation Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland. No. 12687.





- Graham, J.G. (2002). "A Correlation-regression Method for Tracking Rainstorms Using Rain-gauge Data," *Journal of Hydrology*. 261: 60-73.
- Griffis, V.W. and J.R. Stedinger. (2007). "The Use of GLS Regression in Regional Hydrologic Analyses," *Journal of Hydrology*. 344: 82-95.
- Gray, W. R. & Austin G. L. (2004). " Radar rainfall estimation in the New zealand context." *Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar*. Melbourne, Australia. 4-10 February 2004.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*. London: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Gray, W. R. & Austin G. L. (1993). "Rainfall estimation by radar for the Otaki Catchment: The PERA pilot study." *Journal of Hydrology* 31(1).
- Haerter, J. O., and P. Berg. (2009). *Unexpected rise in extreme precipitation caused by a shift in rain type?*, *Nat. Geosci.*, 2, 372–373, doi: 10.1038/ngeo523.  
University, Thailand.
- H.W.J. Russchenberg, and L.P. Ligthart. (1996). Backscattering by and Propagation Through the Melting Layer of Precipitation: A New Polarimetric Model, *IEEE Trans.Geosc. and Remote Sensing*, 34, no.1, 3-14.
- Jairaj, P. G. and S. Vedula. (2000). "Multireservoir System Optimization Using Fuzzy Mathematical Programming," *Water Resources Management*. 14(6): 457-472,
- Jang, S. R., C. T. Sun and E. Mizutani. (2000). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. USA: Prentice-Hall Inc.
- K. Sassen, and T. Chen. The lidar dark band: An oddity of the radar bright band analogy, *Geoph. Res. Lett.*, 22,no 24, 3505-3508, 1995.
- Karem Chokmani and others. (2008). "Comparison of Ice-affected Streamflow Estimates Computed Using Artificial Neural Networks and Multiple Regression Techniques," *Journal of Hydrology*. 349: 383-396.
- Martin, W., K. Robert and E. Ron. (1997). *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Marshall, J. S. & Hitschfeld W. (1953). "Interpretation of fluctuating echo from randomly distributed scatterers. Part 1." *Can. J. Phys* 31: 962-994.
- Meehl, G., et al. (2007), *Global climate projections, in Climate Change 007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to he Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate hange, edited by S. Solomon et al., pp. 747–845, Cambridge Univ.Press, Cambridge, U. K.
- Panigrahi, D. P. and P. P. Mujumda. (2000). "Research Operation Modeling with Fuzzy Logic," *Water Resources Management*. 14: 89-109,



- Pao-Shan Yu, Shien-Tsung Chen and I-Fan Chang. (2006). "Support Vector Regression for Real-time Flood Stage Forecasting," *Journal of Hydrology*. 328: 704-716.
- Piman, T., Babel, M. S., Gupta, A. D. and Weesakul, S. (2007). Development of a Window Correlation Matching Method for Improved Radar Rainfall Estimation, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1361-1372.
- Rosenfeld, D., Wolff, D.B. & Amitai, E. (1994) The Window Probability Matching Method for Rainfall Measurement with Radar. *J. Appl. Met.* 33, 682-693.
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B. & Atlas, D. (1993) General Probability Matched Relations between Radar Reflectivity and Rain Rate. *J. App. Met.* 32, 50-72.
- Ross, T. J. (1995). *Fuzzy Logic with Engineering Application*. USA: McGraw-Hill Inc.
- Saruwatari, N. and A. Yomota. (1995). "Forecasting System of Irrigation Water on Paddy Field by Fuzzy Theory," *Agricultural Water Management*. 28: 163-167
- Shrestha, B.P., L. Duckstein and E.Z. Stakhiv. (1996). "Fuzzy Rule Based Modeling of Reservoir Operation," *Journal of Water Resources Planning and Management*. 122(4) : 262-269.
- Seed, A. W., Nicol, J., Austin, G. L., Stow, C. D. & Bradley, S. G. (1996) The impact of radar and raingauge sampling errors when calibrating a weather radar. *Meteorol. Appl.* 3, 43-52.
- Steiner, M. & Smith, J. (2002) Use of three-dimensional reflectivity structure for Automated detection and removal of nonprecipitating echoes in radar data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19, 673-686.
- S. Tantanee, S. Prakarnrat, P. Polsan and U. Weesakul (2008). Estimation of rainfall-radar reflectivity relationship using buffer probability technique (BPT), *Proceeding 4th IASME / WSEAS International Conference on Energy, Environmental, Ecosystems and Sustainable evelopment ( EEESD'08)*, pp 460-466.
- Soden, B. J., and I. M. Held (2006), An assessment of climate feedbacks in coupled ocean-atmosphere models, *J. Clim.*, 19, 3354–3360, oi: 10.1175/JCLI3799.1.
- Thornwaite, C. W. (1994). "Report of the Committee on Transpiration and Evaporation," *Transactions of the American Geophysics Union*. 25(4): 683-693,
- Udomchoke, V. and P. Aungsuratana. (1995). The Prediction on Flood Induced Rainfall from meteorological Satellite Data. *Proceedings The Second International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME Pattaya, Thailand. Japan National Committee for GAME and National Research Council of Thailand*. 598p.
- W. Szyrmer, and I. Zawadzki. (1999). Modelling of the Melting Layer. Part I: Dynamics and Microphysics. *J. Atmos.Sci.*, 56, pp. 3573-3592,



- Wardlaw, R. and M. Sharif. "Evaluation of Genetic Algorithms for Optimal Reservoir System Operation," (1999). *Journal of Water Resources Planning and Management*. 125(1): 25-33
- Zadeh, L.A. and J. (1992). Kacprzyk *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*. New York : John Wiley & Sons Inc.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ตัวอย่างชุดคำสั่งของ Fuzzy ใน MATLAB



## ตัวอย่างชุดคำสั่ง Fuzzy ของสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

31/7/2555 10:59 น. C:\PhD\Paper\_July2012\Matlab\_120712\July2012\MHSK.m

```
function r_square = Rain(x)
a=newfis('Rain');
a=addvar(a,'input','Temperature',[20 40]);
a=addmf(a,'input',1,'low','trapmf',[20 24 26 28]);
a=addmf(a,'input',1,'medium','trapmf',[24 26 28 30]);
a=addmf(a,'input',1,'high','trapmf',[28 30 35 40]);
a=addvar(a,'input','Humidity',[40 100]);
a=addmf(a,'input',2,'Dry','trapmf',[40 50 60 75]);
a=addmf(a,'input',2,'medium','trapmf',[60 70 80 90]);
a=addmf(a,'input',2,'wet','trapmf',[80 85 95 100]);
a=addvar(a,'input','Reflectivity',[0 45]);
a=addmf(a,'input',3,'low','trapmf',[0 10 20 25]);
a=addmf(a,'input',3,'medium','trapmf',[15 25 30 45]);
a=addmf(a,'input',3,'very','trapmf',[20 25 35 50]);
a=addvar(a,'output','Rainfall',[0 55]);
a=addmf(a,'output',1,'low','trapmf',[0 10 15 20]);
a=addmf(a,'output',1,'medium','trapmf',[15 20 25 30]);
a=addmf(a,'output',1,'very','trapmf',[25 35 40 55]);
rulelist = load('RuleBase_Rain.txt');
a=addrule(a,rulelist);
data = load('MHSK_Fuzzy.txt');
Temperature = data(:,2);
Humidity = data(:,3);
Reflectivity = data(:,4);
Rain_Model = evalfis([Temperature Humidity Reflectivity],a);
fprintf('Rain_Model Mahasarakham = %0.5f\n',Rain_Model);
% fprintf('X = %0.5f\n',x);

Rain_data = data(:,5); % Rain Data
y_bar = mean(Rain_data);
y_del = Rain_data-y_bar;
y_del_square = y_del.^2;
x_bar = mean(Rain_Model);
x_del = Rain_Model-x_bar;
x_del_square = x_del.^2;
r = sum(y_del .* x_del)/sqrt(sum(x_del_square).* sum(y_del_square));
r_square = r^2
```



## ตัวอย่างชุดคำสั่ง Fuzzy ของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

31/7/2555 10:55 น. C:\PhD\Paper\_July2012\Matlab\_120712\July2012\CHYPM.m

```
function r_square = Rain(x)
a=newfis('Rain');
a=addvar(a,'input','Temperature',[20 40]);
a=addmf(a,'input',1,'low','trapmf',[20 24 26 28]);
a=addmf(a,'input',1,'medium','trapmf',[24 26 28 30]);
a=addmf(a,'input',1,'high','trapmf',[28 30 35 40]);
a=addvar(a,'input','Humidity',[40 100]);
a=addmf(a,'input',2,'Dry','trapmf',[40 50 60 75]);
a=addmf(a,'input',2,'medium','trapmf',[60 70 80 90]);
a=addmf(a,'input',2,'wet','trapmf',[80 85 95 100]);
a=addvar(a,'input','Reflectivity',[0 50]);
a=addmf(a,'input',3,'low','trapmf',[0 10 20 25]);
a=addmf(a,'input',3,'medium','trapmf',[15 25 30 35]);
a=addmf(a,'input',3,'very','trapmf',[20 25 35 50]);
a=addvar(a,'output','Rainfall',[0 40]);
a=addmf(a,'output',1,'low','trapmf',[0 10 15 20]);
a=addmf(a,'output',1,'medium','trapmf',[15 20 25 30]);
a=addmf(a,'output',1,'very','trapmf',[20 25 30 40]);
rulelist = load('RuleBase_Rain.txt');
a=addrule(a,rulelist);
data = load('CHYPM_Fuzzy.txt');
Temperature = data(:,2);
Humidity = data(:,3);
Reflectivity = data(:,4);
Rain_Model = evalfis([Temperature Humidity Reflectivity],a);
fprintf('Rain_Model Chaiyapum = %0.5f\n',Rain_Model);
% fprintf('X = %0.5f\n',x);

Rain_data = data(:,5); % Rain Data
y_bar = mean(Rain_data);
y_del = Rain_data-y_bar;
y_del_square = y_del.^2;
x_bar = mean(Rain_Model);
x_del = Rain_Model-x_bar;
x_del_square = x_del.^2;
r = sum(y_del .* x_del)/sqrt(sum(x_del_square).* sum(y_del_square));
r_square = r^2
```





## ตัวอย่างชุดคำสั่ง Fuzzy ของสถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

31/7/2555 9:49 น. C:\PhD\Paper\_July2012\Matlab\_120712\July2012\RET.m

```
function r_square = Rain(x)
a=newfis('Rain');
a=addvar(a,'input','Temperature',[20 40]);
a=addmf(a,'input',1,'low','trapmf',[20 24 26 28]);
a=addmf(a,'input',1,'medium','trapmf',[24 26 28 30]);
a=addmf(a,'input',1,'high','trapmf',[28 30 35 40]);
a=addvar(a,'input','Humidity',[40 100]);
a=addmf(a,'input',2,'Dry','trapmf',[40 50 60 75]);
a=addmf(a,'input',2,'medium','trapmf',[60 70 80 90]);
a=addmf(a,'input',2,'wet','trapmf',[80 85 95 100]);
a=addvar(a,'input','Reflectivity',[0 50]);
a=addmf(a,'input',3,'low','trapmf',[0 10 20 25]);
a=addmf(a,'input',3,'medium','trapmf',[15 25 30 35]);
a=addmf(a,'input',3,'very','trapmf',[20 25 35 50]);
a=addvar(a,'output','Rainfall',[0 80]);
a=addmf(a,'output',1,'low','trapmf',[0 20 30 45]);
a=addmf(a,'output',1,'medium','trapmf',[25 35 45 60]);
a=addmf(a,'output',1,'very','trapmf',[40 60 70 80]);
rulelist = load('RuleBase_Rain.txt');
a=addrule(a,rulelist);
data = load('Roiet_Fuzzy.txt');
Temperature = data(:,2);
Humidity = data(:,3);
Reflectivity = data(:,4);
Rain_Model = evalfis([Temperature Humidity Reflectivity],a);
fprintf('Rain_Model Roiet = %0.5f\n',Rain_Model);
% fprintf('X = %0.5f\n',x);

Rain_data = data(:,5); % Rain Data
y_bar = mean(Rain_data);
y_del = Rain_data-y_bar;
y_del_square = y_del.^2;
x_bar = mean(Rain_Model);
x_del = Rain_Model-x_bar;
x_del_square = x_del.^2;
r = sum(y_del .* x_del)/sqrt(sum(x_del_square).* sum(y_del_square));
r_square = r^2
```





## ตัวอย่างชุดคำสั่ง Fuzzy ของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

31/7/2555 10:57 น. C:\PhD\Paper\_July2012\Matlab\_120712\July2012\KORAT.m

```
function r_square = Rain(x)
a=newfis('Rain');
a=addvar(a,'input','Temperature',[20 40]);
a=addmf(a,'input',1,'low','trapmf',[20 24 26 28]);
a=addmf(a,'input',1,'medium','trapmf',[24 26 28 30]);
a=addmf(a,'input',1,'high','trapmf',[28 30 35 40]);
a=addvar(a,'input','Humidity',[40 100]);
a=addmf(a,'input',2,'Dry','trapmf',[40 50 60 75]);
a=addmf(a,'input',2,'medium','trapmf',[60 70 80 90]);
a=addmf(a,'input',2,'wet','trapmf',[80 85 95 100]);
a=addvar(a,'input','Reflectivity',[0 40]);
a=addmf(a,'input',3,'low','trapmf',[0 10 15 20]);
a=addmf(a,'input',3,'medium','trapmf',[15 20 25 30]);
a=addmf(a,'input',3,'very','trapmf',[25 30 35 40]);
a=addvar(a,'output','Rainfall',[0 40]);
a=addmf(a,'output',1,'low','trapmf',[0 10 15 20]);
a=addmf(a,'output',1,'medium','trapmf',[15 20 25 30]);
a=addmf(a,'output',1,'very','trapmf',[25 30 35 40]);
rulelist = load('RuleBase_Rain.txt');
a=addrule(a,rulelist);
data = load('KORAT_Fuzzy.txt');
Temperature = data(:,2);
Humidity = data(:,3);
Reflectivity = data(:,4);
Rain_Model = evalfis([Temperature Humidity Reflectivity],a);
fprintf('Rain_Model Nakornratchasima = %0.5f\n',Rain_Model);
% fprintf('X = %0.5f\n',x);

Rain_data = data(:,5); % Rain Data
y_bar = mean(Rain_data);
y_del = Rain_data-y_bar;
y_del_square = y_del.^2;
x_bar = mean(Rain_Model);
x_del = Rain_Model-x_bar;
x_del_square = x_del.^2;
r = sum(y_del .* x_del)/sqrt(sum(x_del_square) .* sum(y_del_square));
r_square = r^2
```



## ตัวอย่างชุดคำสั่ง Fuzzy ของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

31/7/2555 10:58 น. C:\PhD\Paper\_July2012\Matlab\_120712\July2012\BRR.m

```
function r_square = Rain(x)
a=newfis('Rain');
a=addvar(a,'input','Temperature',[20 40]);
a=addmf(a,'input',1,'low','trapmf',[20 24 26 28]);
a=addmf(a,'input',1,'medium','trapmf',[24 26 28 30]);
a=addmf(a,'input',1,'high','trapmf',[28 30 35 40]);
a=addvar(a,'input','Humidity',[45 100]);
a=addmf(a,'input',2,'Dry','trapmf',[45 50 60 75]);
a=addmf(a,'input',2,'medium','trapmf',[60 70 80 90]);
a=addmf(a,'input',2,'wet','trapmf',[80 85 95 100]);
a=addvar(a,'input','Reflectivity',[0 45]);
a=addmf(a,'input',3,'low','trapmf',[0 10 15 20]);
a=addmf(a,'input',3,'medium','trapmf',[15 20 25 30]);
a=addmf(a,'input',3,'very','trapmf',[25 30 35 45]);
a=addvar(a,'output','Rainfall',[0 60]);
a=addmf(a,'output',1,'low','trapmf',[0 15 20 25]);
a=addmf(a,'output',1,'medium','trapmf',[20 25 30 45]);
a=addmf(a,'output',1,'very','trapmf',[40 45 55 60]);
rulelist = load('RuleBase_Rain.txt');
a=addrule(a,rulelist);
data = load('BURIRUM_Fuzzy.txt');
Temperature = data(:,2);
Humidity = data(:,3);
Reflectivity = data(:,4);
Rain_Model = evalfis([Temperature Humidity Reflectivity],a);
fprintf('Rain_Model Burirum = %0.5f\n',Rain_Model);
% fprintf('X = %0.5f\n',x);

Rain_data = data(:,5); % Rain Data
y_bar = mean(Rain_data);
y_del = Rain_data-y_bar;
y_del_square = y_del.^2;
x_bar = mean(Rain_Model);
x_del = Rain_Model-x_bar;
x_del_square = x_del.^2;
r = sum(y_del .* x_del)/sqrt(sum(x_del_square) .* sum(y_del_square));
r_square = r^2
```



ภาคผนวก ข  
ข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฝน



ชุดข้อมูลนำเข้าที่สถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

Sta. 387401						Sta. 387401					
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
1/6/2004	1:00:00	38	25.5	92	31.4		10:00:00	0	30.1	74	0.0
	4:00:00	0	24.5	92	0.0		13:00:00	0	32.0	62	0.0
	7:00:00	0	27.3	70	0.0		16:00:00	0	30.5	69	0.0
	10:00:00	0	29.5	71	0.0		19:00:00	16	25.5	88	0.5
	13:00:00	0	32.7	66	0.0		22:00:00	0	25.5	91	0.0
	16:00:00	0	33.2	60	0.0	8/6/2004	1:00:00	0	25.6	93	0.0
	19:00:00	20	30.0	72	0.0		4:00:00	0	25.5	96	0.0
22:00:00	0	27.5	81	0.0	7:00:00		34	23.5	96	16.1	
2/6/2004	1:00:00	0	26.0	93	0.0		10:00:00	22	26.0	92	1.6
	4:00:00	0	25.5	96	0.0		13:00:00	0	31.5	63	0.0
	7:00:00	0	26.9	90	0.0		16:00:00	0	32.5	64	0.0
	10:00:00	0	32.0	67	0.0		19:00:00	0	28.5	81	0.0
	13:00:00	24	32.7	65	0.0		22:00:00	0	27.0	92	0.0
	16:00:00	0	32.4	64	0.0	9/6/2004	1:00:00	0	26.0	92	0.0
	19:00:00	0	31.0	69	0.0		4:00:00	0	25.5	92	0.0
22:00:00	0	28.5	83	0.0	7:00:00		26	25.0	94	4.0	
3/6/2004	1:00:00	0	26.7	94	0.0		10:00:00	0	29.5	74	0.0
	4:00:00	0	26.0	96	0.0		13:00:00	0	31.0	67	0.0
	7:00:00	0	27.0	92	0.0		16:00:00	0	31.8	60	0.0
	10:00:00	0	32.0	70	0.0		19:00:00	0	29.5	71	0.0
	13:00:00	0	34.0	59	0.0		22:00:00	0	27.4	84	0.0
	16:00:00	0	35.0	52	0.0	10/6/2004	1:00:00	0	27.5	86	0.0
	19:00:00	0	32.0	67	0.0		4:00:00	0	26.5	88	0.0
22:00:00	0	29.5	78	0.0	7:00:00		0	26.0	92	0.0	
4/6/2004	1:00:00	0	28.0	85	0.0		10:00:00	0	27.5	88	0.0
	4:00:00	0	26.5	88	0.0		13:00:00	20	30.0	75	0.2
	7:00:00	14	27.5	85	0.0		16:00:00	0	33.0	61	0.0
	10:00:00	0	32.0	70	0.0		19:00:00	0	30.5	72	0.0
	13:00:00	0	35.5	57	0.0		22:00:00	0	27.5	85	0.0
	16:00:00	24	33.2	64	0.0	11/6/2004	1:00:00	0	26.5	88	0.0
	19:00:00	0	32.0	67	0.0		4:00:00	0	26.0	88	0.0
22:00:00	0	29.0	76	0.0	7:00:00		18	25.9	93	1.8	
5/6/2004	1:00:00	0	27.5	81	0.0		10:00:00	0	28.5	81	0.0
	4:00:00	0	26.7	87	0.0		13:00:00	0	30.1	73	0.0
	7:00:00	0	26.8	86	0.0		16:00:00	0	32.4	59	0.0
	10:00:00	0	31.3	70	0.0		19:00:00	16	27.6	84	0.0
	13:00:00	0	34.3	58	0.0		22:00:00	0	26.8	89	0.0
	16:00:00	0	34.5	57	0.0	12/6/2004	1:00:00	0	27.0	91	0.0
	19:00:00	0	30.8	71	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
22:00:00	0	28.4	86	0.0	7:00:00		0	26.0	88	0.0	
6/6/2004	1:00:00	0	27.6	92	0.0		10:00:00	0	31.5	57	0.0
	4:00:00	0	28.0	90	0.0		13:00:00	0	33.5	53	0.0
	7:00:00	0	28.0	81	0.0		16:00:00	0	34.0	51	0.0
	10:00:00	0	34.0	65	0.0		19:00:00	0	31.5	66	0.0
	13:00:00	0	36.0	55	0.0		22:00:00	0	27.5	77	0.0
	16:00:00	0	35.0	55	0.0	13/6/2004	1:00:00	0	26.5	80	0.0
	19:00:00	0	30.0	82	0.0		4:00:00	0	26.0	84	0.0
22:00:00	0	28.5	81	0.0	7:00:00		0	27.6	83	0.0	
7/6/2004	1:00:00	0	27.5	81	0.0		10:00:00	0	30.8	61	0.0
	4:00:00	0	26.5	84	0.0		13:00:00	0	29.8	64	0.0
	7:00:00	0	25.8	85	0.0		16:00:00	0	29.7	64	0.0



Sta. 387401					Sta. 387401						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	19:00:00	0	27.6	84	0.0		4:00:00	0	26.0	88	0.0
	22:00:00	0	27.0	84	0.0		7:00:00	0	25.5	86	0.0
14/6/2004	1:00:00	30	25.0	96	6.2		10:00:00	0	28.5	74	0.0
	4:00:00	12	25.0	96	3.2		13:00:00	0	30.0	70	0.8
	7:00:00	12	24.2	92	2.2		16:00:00	0	32.5	61	0.0
	10:00:00	12	25.0	95	17.5		19:00:00	0	29.4	69	0.0
	13:00:00	20	25.5	96	3.4		22:00:00	0	26.6	77	0.0
	16:00:00	18	25.5	91	3.5	21/6/2004	1:00:00	0	25.7	82	0.0
	19:00:00	30	25.2	95	4.5		4:00:00	0	24.9	88	0.0
	22:00:00	34	24.5	97	19.9		7:00:00	0	25.5	88	0.0
15/6/2004	1:00:00	40	24.5	96	37.0		10:00:00	0	31.0	69	0.0
	4:00:00	32	23.5	98	10.3		13:00:00	0	33.0	61	0.0
	7:00:00	22	24.5	96	5.0		16:00:00	0	32.5	61	0.0
	10:00:00	24	25.0	96	2.7		19:00:00	0	30.5	66	0.0
	13:00:00	22	25.5	92	1.8		22:00:00	0	28.5	74	0.0
	16:00:00	10	26.5	84	1.2	22/6/2004	1:00:00	0	28.0	77	0.0
	19:00:00	0	26.5	88	0.0		4:00:00	0	26.5	84	0.0
	22:00:00	20	25.5	92	1.4		7:00:00	0	26.1	83	0.0
16/6/2004	1:00:00	0	25.5	92	0.0		10:00:00	0	30.5	62	0.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	32.0	58	0.0
	7:00:00	0	24.5	92	0.1		16:00:00	0	31.5	61	0.0
	10:00:00	0	27.3	81	0.0		19:00:00	0	29.6	71	0.0
	13:00:00	0	29.7	72	0.0		22:00:00	0	27.0	77	0.0
	16:00:00	0	29.6	73	0.0	23/6/2004	1:00:00	0	26.4	80	0.0
	19:00:00	36	24.0	96	19.2		4:00:00	0	26.0	76	0.0
	22:00:00	22	24.5	92	1.9		7:00:00	0	26.0	80	0.0
17/6/2004	1:00:00	0	24.5	90	0.0		10:00:00	0	28.0	70	0.0
	4:00:00	0	24.5	96	0.0		13:00:00	0	30.5	62	0.0
	7:00:00	0	25.5	92	0.0		16:00:00	0	31.0	57	0.0
	10:00:00	0	28.0	77	0.0		19:00:00	20	26.5	84	1.4
	13:00:00	0	30.0	68	0.0		22:00:00	0	26.0	84	0.0
	16:00:00	0	30.5	66	0.0	24/6/2004	1:00:00	0	25.5	88	0.0
	19:00:00	24	25.5	92	2.4		4:00:00	0	25.0	92	0.0
	22:00:00	0	26.5	80	0.0		7:00:00	0	26.0	76	0.0
18/6/2004	1:00:00	0	25.5	88	0.0		10:00:00	0	29.7	63	0.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	32.3	56	0.0
	7:00:00	0	25.4	85	0.0		16:00:00	0	32.0	55	0.0
	10:00:00	0	29.5	66	0.0		19:00:00	0	30.0	61	0.0
	13:00:00	0	30.6	63	0.0		22:00:00	0	28.2	72	0.0
	16:00:00	0	31.5	61	0.0	25/6/2004	1:00:00	0	27.0	73	0.0
	19:00:00	0	29.4	71	0.0		4:00:00	0	25.5	80	0.0
	22:00:00	0	27.7	83	0.0		7:00:00	0	26.5	80	0.0
19/6/2004	1:00:00	0	26.6	83	0.0		10:00:00	0	30.0	65	0.0
	4:00:00	0	25.5	80	0.0		13:00:00	0	34.0	54	0.0
	7:00:00	0	25.5	84	0.0		16:00:00	0	33.5	56	0.0
	10:00:00	0	30.5	66	0.0		19:00:00	0	30.5	66	0.0
	13:00:00	0	31.5	66	0.0		22:00:00	0	28.5	74	0.0
	16:00:00	0	32.5	61	0.0	26/6/2004	1:00:00	0	27.5	78	0.0
	19:00:00	0	30.5	72	0.0		4:00:00	0	26.5	83	0.0
	22:00:00	0	28.5	81	0.0		7:00:00	0	26.8	76	0.0
20/6/2004	1:00:00	0	27.0	84	0.0		10:00:00	0	31.0	64	0.0



Sta. 387401					Sta. 387401						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	13:00:00	0	32.5	58	0.0		22:00:00	0	30.5	72	0.0
	16:00:00	0	33.0	57	0.0	3/7/2004	1:00:00	14	28.2	83	0.0
	19:00:00	0	30.5	66	0.0		4:00:00	0	28.0	78	0.0
	22:00:00	0	28.5	74	0.0		7:00:00	0	27.5	81	0.0
27/6/2004	1:00:00	0	27.6	77	0.0		10:00:00	0	27.7	75	0.0
	4:00:00	0	26.5	80	0.0		13:00:00	0	32.7	58	0.0
	7:00:00	0	27.3	79	0.0		16:00:00	0	34.9	50	0.0
	10:00:00	0	28.6	74	0.0		19:00:00	0	31.5	69	0.0
	13:00:00	0	31.9	62	0.0		22:00:00	0	27.5	76	0.0
	16:00:00	0	32.4	59	0.0	4/7/2004	1:00:00	0	27.6	83	0.0
	19:00:00	0	29.6	68	0.0		4:00:00	0	27.1	84	0.0
	22:00:00	0	28.4	75	0.0		7:00:00	0	27.8	85	0.0
28/6/2004	1:00:00	0	27.5	76	0.0		10:00:00	0	32.5	64	0.0
	4:00:00	0	26.5	80	0.0		13:00:00	0	35.0	52	0.0
	7:00:00	0	26.0	80	0.0		16:00:00	32	26.5	84	8.9
	10:00:00	0	28.7	66	0.0		19:00:00	22	25.6	95	1.8
	13:00:00	0	30.7	60	0.0		22:00:00	10	25.7	94	0.2
	16:00:00	0	30.5	62	0.0	5/7/2004	1:00:00	0	25.5	94	0.0
	19:00:00	0	28.7	73	0.0		4:00:00	0	25.4	94	0.0
	22:00:00	0	28.0	79	0.0		7:00:00	0	26.0	92	0.0
29/6/2004	1:00:00	0	27.0	81	0.0		10:00:00	0	31.5	73	0.0
	4:00:00	0	25.5	88	0.0		13:00:00	0	32.0	70	0.0
	7:00:00	0	25.6	89	0.0		16:00:00	0	28.5	71	0.0
	10:00:00	0	30.5	64	0.0		19:00:00	30	26.0	96	0.0
	13:00:00	0	31.0	66	0.0		22:00:00	0	25.0	96	0.0
	16:00:00	0	33.0	57	0.0	6/7/2004	1:00:00	0	25.5	92	0.0
	19:00:00	0	30.0	68	0.0		4:00:00	0	25.0	92	0.0
	22:00:00	0	28.5	74	0.0		7:00:00	0	25.0	96	0.0
30/6/2004	1:00:00	0	27.0	84	0.0		10:00:00	0	29.5	78	0.0
	4:00:00	0	26.5	80	0.0		13:00:00	0	33.0	64	0.0
	7:00:00	0	27.2	77	0.0		16:00:00	0	31.7	62	0.0
	10:00:00	0	32.0	59	0.0		19:00:00	0	29.6	78	0.0
	13:00:00	0	33.7	55	0.0		22:00:00	0	26.8	86	0.0
	16:00:00	0	33.9	54	0.0	7/7/2004	1:00:00	0	25.8	89	0.0
	19:00:00	0	31.0	66	0.0		4:00:00	0	25.0	90	0.0
	22:00:00	0	28.6	77	0.0		7:00:00	0	26.0	88	0.0
1/7/2004	1:00:00	0	27.8	77	0.0		10:00:00	0	30.5	72	0.0
	4:00:00	0	27.0	84	0.0		13:00:00	0	34.0	56	0.0
	7:00:00	0	27.9	82	0.0		16:00:00	0	29.0	71	0.0
	10:00:00	0	32.0	64	0.0		19:00:00	16	28.5	86	0.3
	13:00:00	0	32.8	59	0.0		22:00:00	12	27.0	84	0.2
	16:00:00	0	36.2	47	0.0	8/7/2004	1:00:00	0	26.0	84	0.0
	19:00:00	0	31.4	72	0.0		4:00:00	0	25.5	88	0.0
	22:00:00	0	29.4	82	0.0		7:00:00	0	25.4	90	0.0
2/7/2004	1:00:00	0	28.2	83	0.0		10:00:00	0	32.8	62	0.0
	4:00:00	0	27.5	81	0.0		13:00:00	0	33.2	55	0.0
	7:00:00	0	27.7	79	0.0		16:00:00	0	33.5	56	0.0
	10:00:00	0	32.4	61	0.0		19:00:00	0	31.0	68	0.0
	13:00:00	0	35.1	52	0.0		22:00:00	0	27.3	71	0.0
	16:00:00	0	34.7	53	0.0	9/7/2004	1:00:00	0	26.0	82	0.0
	19:00:00	0	30.7	71	0.0		4:00:00	0	25.5	85	0.0



Sta. 387401					Sta. 387401						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	7:00:00	0	26.3	82	0.0		16:00:00	0	29.8	73	0.0
	10:00:00	0	31.5	63	0.0		19:00:00	0	29.3	80	0.0
	13:00:00	0	33.5	53	0.0		22:00:00	0	25.0	94	0.0
	16:00:00	0	33.5	51	0.0	16/7/2004	1:00:00	0	26.5	92	0.0
	19:00:00	0	30.5	66	0.0		4:00:00	0	25.8	93	0.0
	22:00:00	0	28.5	74	0.0		7:00:00	0	26.1	96	0.0
10/7/2004	1:00:00	12	25.0	88	0.2		10:00:00	0	30.5	73	0.0
	4:00:00	12	24.5	92	0.2		13:00:00	0	33.2	57	0.0
	7:00:00	32	23.4	92	9.9		16:00:00	0	34.3	54	0.0
	10:00:00	0	26.9	81	0.0		19:00:00	0	31.5	73	0.0
	13:00:00	0	30.4	67	0.0		22:00:00	0	27.5	81	0.0
	16:00:00	0	32.2	60	0.0	17/7/2004	1:00:00	0	26.0	88	0.0
	19:00:00	0	27.6	72	0.0		4:00:00	0	25.0	92	0.0
	22:00:00	22	26.0	92	2.0		7:00:00	0	26.0	88	0.0
11/7/2004	1:00:00	10	25.4	89	0.1		10:00:00	0	32.0	61	0.0
	4:00:00	14	24.0	91	0.5		13:00:00	0	32.3	62	0.0
	7:00:00	0	24.2	92	0.0		16:00:00	0	33.5	62	0.0
	10:00:00	0	27.0	81	0.0		19:00:00	0	30.3	72	0.0
	13:00:00	0	28.5	78	0.0		22:00:00	0	29.3	81	0.0
	16:00:00	0	29.0	74	0.0	18/7/2004	1:00:00	0	27.5	85	0.0
	19:00:00	0	28.0	85	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	0	27.5	85	0.0		7:00:00	0	25.7	86	0.0
12/7/2004	1:00:00	0	26.0	92	0.0		10:00:00	0	30.5	66	0.0
	4:00:00	0	25.5	92	0.0		13:00:00	0	33.0	58	0.0
	7:00:00	0	24.3	87	0.0		16:00:00	0	34.4	52	0.0
	10:00:00	0	27.5	75	0.0		19:00:00	0	28.7	70	0.0
	13:00:00	0	30.5	62	0.0		22:00:00	16	26.1	89	0.6
	16:00:00	0	30.3	64	0.0	19/7/2004	1:00:00	16	25.9	93	0.7
	19:00:00	0	28.9	68	0.0		4:00:00	10	25.9	93	0.2
	22:00:00	0	27.1	77	0.0		7:00:00	0	26.2	84	0.0
13/7/2004	1:00:00	0	26.2	83	0.0		10:00:00	0	29.5	70	0.0
	4:00:00	0	25.7	87	0.0		13:00:00	0	32.7	58	0.0
	7:00:00	0	26.0	86	0.0		16:00:00	0	33.0	58	0.0
	10:00:00	0	30.0	65	0.0		19:00:00	0	28.7	75	0.0
	13:00:00	0	32.0	58	0.0		22:00:00	0	28.5	78	0.0
	16:00:00	34	24.5	96	14.2	20/7/2004	1:00:00	0	27.5	81	0.0
	19:00:00	26	25.0	96	3.5		4:00:00	0	26.8	78	0.0
	22:00:00	14	25.0	92	0.4		7:00:00	0	26.0	82	0.0
14/7/2004	1:00:00	0	25.0	92	0.0		10:00:00	0	28.5	74	0.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	28.1	88	0.0
	7:00:00	0	24.7	97	0.0		16:00:00	0	33.4	59	0.0
	10:00:00	0	28.1	75	0.0		19:00:00	0	30.7	68	0.0
	13:00:00	0	31.3	61	0.0		22:00:00	18	28.8	79	0.0
	16:00:00	0	33.1	52	0.0	21/7/2004	1:00:00	42	23.4	97	53.7
	19:00:00	0	29.0	80	0.0		4:00:00	28	23.4	97	5.3
	22:00:00	0	27.6	88	0.2		7:00:00	0	24.0	96	0.0
15/7/2004	1:00:00	32	22.9	92	10.0		10:00:00	0	28.7	80	0.0
	4:00:00	36	22.8	96	20.0		13:00:00	0	31.0	72	0.0
	7:00:00	20	23.3	97	1.2		16:00:00	0	32.0	67	0.0
	10:00:00	16	25.0	94	0.7		19:00:00	0	27.5	81	0.0
	13:00:00	0	29.5	75	0.0		22:00:00	0	27.0	84	0.0



Sta. 387401						Sta. 387401						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	
22/7/2004	1:00:00	26	25.0	92	4.3		10:00:00	0	29.5	71	0.0	
	4:00:00	0	24.5	92	0.0		13:00:00	0	31.3	67	0.0	
	7:00:00	0	24.7	94	0.3		16:00:00	30	27.5	81	12.3	
	10:00:00	0	27.6	80	0.3		19:00:00	34	25.5	96	22.5	
	13:00:00	0	30.5	70	0.0		22:00:00	0	25.0	92	0.0	
	16:00:00	0	30.6	71	0.0		29/7/2004	1:00:00	0	25.0	96	0.0
	19:00:00	10	25.9	89	0.2			4:00:00	0	25.0	98	0.0
	22:00:00	24	25.2	95	4.4			7:00:00	0	26.0	92	0.0
23/7/2004	1:00:00	10	24.5	96	0.2	10:00:00		0	30.0	75	0.0	
	4:00:00	30	24.3	97	13.0	13:00:00	0	32.5	67	0.0		
	7:00:00	14	24.5	96	2.1	16:00:00	0	30.5	79	0.0		
	10:00:00	0	27.0	81	0.0	19:00:00	0	28.5	89	0.0		
	13:00:00	0	31.3	67	0.0	22:00:00	0	27.5	92	0.0		
	16:00:00	30	26.3	90	6.8	30/7/2004	1:00:00	0	27.0	92	0.0	
	19:00:00	18	25.5	93	0.9		4:00:00	0	26.0	92	0.0	
	22:00:00	20	25.2	97	1.2		7:00:00	0	26.2	87	0.0	
24/7/2004	1:00:00	0	25.0	96	0.0		10:00:00	0	28.6	81	0.1	
	4:00:00	0	24.5	96	0.2	13:00:00	0	31.5	69	0.0		
	7:00:00	0	24.5	92	0.0	16:00:00	0	31.8	66	0.0		
	10:00:00	0	27.5	79	0.0	19:00:00	0	28.2	81	0.0		
	13:00:00	0	27.7	80	0.0	22:00:00	22	25.2	91	1.8		
	16:00:00	0	30.5	68	0.0	31/7/2004	1:00:00	20	25.4	93	0.2	
	19:00:00	14	26.5	87	0.5		4:00:00	0	25.0	96	0.0	
	22:00:00	20	26.0	95	1.5		7:00:00	0	25.3	89	0.0	
25/7/2004	1:00:00	0	26.0	96	0.2		10:00:00	0	27.0	87	0.0	
	4:00:00	0	24.5	93	0.0	13:00:00	0	30.0	72	0.0		
	7:00:00	0	25.0	96	0.0	16:00:00	0	31.0	66	0.0		
	10:00:00	0	29.5	71	0.0	19:00:00	0	28.3	80	0.0		
	13:00:00	0	31.0	66	0.0	22:00:00	0	26.7	87	0.0		
	16:00:00	0	31.5	63	0.0	1/8/2004	1:00:00	0	26.1	92	0.0	
	19:00:00	0	29.3	76	0.0		4:00:00	0	25.7	94	0.0	
	22:00:00	0	28.0	85	0.0		7:00:00	0	25.9	95	0.0	
26/7/2004	1:00:00	32	26.5	88	8.7		10:00:00	0	28.5	74	0.0	
	4:00:00	30	24.5	96	7.2	13:00:00	0	29.5	78	0.0		
	7:00:00	0	24.4	97	0.8	16:00:00	0	29.5	78	0.0		
	10:00:00	0	28.0	81	0.0	19:00:00	0	28.0	88	0.0		
	13:00:00	0	30.5	72	0.0	22:00:00	0	27.0	92	0.0		
	16:00:00	0	31.0	69	0.0	2/8/2004	1:00:00	16	24.5	96	2.0	
	19:00:00	14	28.5	85	0.5		4:00:00	0	24.0	96	0.0	
	22:00:00	12	26.5	88	0.5		7:00:00	0	24.5	96	0.5	
27/7/2004	1:00:00	30	25.5	92	2.1		10:00:00	0	27.1	84	0.0	
	4:00:00	28	25.0	100	4.5	13:00:00	0	29.9	72	0.0		
	7:00:00	38	23.9	97	28.5	16:00:00	0	31.6	63	0.0		
	10:00:00	24	24.5	94	2.9	19:00:00	0	29.5	75	0.0		
	13:00:00	24	25.5	92	2.1	22:00:00	0	27.6	90	0.0		
	16:00:00	22	26.7	93	1.7	3/8/2004	1:00:00	0	25.8	89	0.0	
	19:00:00	14	26.0	96	0.5		4:00:00	0	25.3	92	0.0	
	22:00:00	0	25.3	95	0.0		7:00:00	0	25.5	92	0.0	
28/7/2004	1:00:00	0	25.5	96	0.0		10:00:00	0	29.5	68	0.0	
	4:00:00	0	25.1	91	0.0	13:00:00	0	30.6	65	0.0		
	7:00:00	0	25.4	89	0.0	16:00:00	0	31.5	60	0.0		





Sta. 387401					Sta. 387401						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
4/8/2004	19:00:00	0	29.5	75	0.0	11/8/2004	4:00:00	26	24.0	96	3.5
	22:00:00	0	27.7	89	0.0		7:00:00	12	25.0	96	1.4
	1:00:00	0	26.7	92	0.0		10:00:00	0	27.0	84	0.0
	4:00:00	0	26.5	88	0.0		13:00:00	0	29.6	74	0.0
	7:00:00	0	26.0	84	0.0		16:00:00	0	32.0	64	0.0
	10:00:00	0	28.5	74	0.0		19:00:00	0	27.5	81	0.0
	13:00:00	0	29.5	71	0.0		22:00:00	0	25.5	92	0.0
	16:00:00	0	32.0	58	0.0		1:00:00	0	25.0	92	0.0
5/8/2004	19:00:00	0	28.5	78	0.0	4:00:00	0	24.5	96	0.0	
	22:00:00	26	26.0	96	4.1	7:00:00	0	24.5	91	0.0	
	1:00:00	0	26.5	88	0.0	10:00:00	0	29.5	71	0.0	
	4:00:00	0	26.0	92	0.0	13:00:00	0	32.5	60	0.0	
	7:00:00	0	25.7	87	0.0	16:00:00	0	33.0	56	0.0	
	10:00:00	0	30.1	68	0.0	19:00:00	0	29.7	73	0.0	
	13:00:00	0	32.4	61	0.0	22:00:00	0	27.4	77	0.0	
	16:00:00	0	32.7	58	0.0	12/8/2004	1:00:00	0	27.1	80	0.0
6/8/2004	19:00:00	18	25.7	87	0.8	4:00:00	0	26.5	80	0.0	
	22:00:00	0	26.0	86	0.0	7:00:00	0	26.0	84	0.0	
	1:00:00	0	25.7	85	0.0	10:00:00	0	29.0	68	0.0	
	4:00:00	0	24.8	89	0.0	13:00:00	0	32.5	60	0.0	
	7:00:00	0	25.0	88	0.0	16:00:00	0	32.5	61	0.0	
	10:00:00	0	29.0	71	0.0	19:00:00	0	29.6	73	0.0	
	13:00:00	0	31.9	64	0.0	22:00:00	10	27.7	79	0.7	
	16:00:00	0	32.0	62	0.0	13/8/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
7/8/2004	19:00:00	0	29.5	75	0.0	4:00:00	0	26.0	84	0.0	
	22:00:00	0	28.5	81	0.0	7:00:00	0	26.0	84	0.0	
	1:00:00	12	27.5	85	0.0	10:00:00	0	30.1	68	0.0	
	4:00:00	12	26.0	92	0.0	13:00:00	0	32.5	61	0.0	
	7:00:00	10	26.0	88	0.3	16:00:00	0	32.8	61	0.0	
	10:00:00	0	28.5	74	0.0	19:00:00	16	30.1	68	0.6	
	13:00:00	0	31.0	69	0.0	22:00:00	0	28.3	71	0.0	
	16:00:00	0	31.5	67	0.0	14/8/2004	1:00:00	0	26.6	80	0.0
8/8/2004	19:00:00	0	29.5	71	0.0	4:00:00	0	26.0	76	0.0	
	22:00:00	0	27.5	81	0.0	7:00:00	0	25.5	84	0.0	
	1:00:00	22	24.5	100	20.2	10:00:00	0	29.0	65	0.0	
	4:00:00	30	24.5	96	14.2	13:00:00	0	32.5	55	0.0	
	7:00:00	36	25.0	96	19.9	16:00:00	0	32.0	55	0.0	
	10:00:00	0	28.7	78	0.0	19:00:00	0	29.0	71	0.0	
	13:00:00	0	29.6	73	0.0	22:00:00	0	28.5	71	0.0	
	16:00:00	0	30.5	70	0.0	15/8/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
9/8/2004	19:00:00	0	29.3	82	0.0	4:00:00	0	26.0	84	0.0	
	22:00:00	0	28.0	86	0.0	7:00:00	0	26.3	76	0.0	
	1:00:00	12	26.0	88	0.3	10:00:00	0	28.5	67	0.0	
	4:00:00	0	25.4	89	0.0	13:00:00	0	29.5	64	0.0	
	7:00:00	0	25.5	92	0.0	16:00:00	0	28.7	66	0.0	
	10:00:00	0	29.0	74	0.0	19:00:00	0	28.0	69	0.0	
	13:00:00	0	31.5	66	0.0	22:00:00	0	25.0	92	0.0	
	16:00:00	0	32.5	61	0.0	16/8/2004	1:00:00	0	25.5	88	0.0
10/8/2004	19:00:00	10	28.8	79	0.0	4:00:00	0	25.5	88	0.0	
	22:00:00	0	27.0	88	0.0	7:00:00	0	25.4	90	0.0	
	1:00:00	30	25.5	92	6.0	10:00:00	0	29.5	68	0.0	



Sta. 387401					Sta. 387401						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
17/8/2004	13:00:00	0	31.0	66	0.0	23/8/2004	22:00:00	0	27.5	92	0.0
	16:00:00	0	31.0	60	0.0		1:00:00	0	27.0	92	0.0
	19:00:00	0	29.0	78	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	0	28.5	81	0.0		7:00:00	0	26.0	94	0.0
	1:00:00	0	27.5	85	0.0		10:00:00	0	30.9	70	0.0
	4:00:00	0	27.0	84	0.0		13:00:00	0	33.0	61	0.0
	7:00:00	0	26.3	85	0.0		16:00:00	0	33.5	65	0.0
	10:00:00	0	29.0	75	0.0		19:00:00	36	26.5	95	41.6
	13:00:00	0	31.7	63	0.0		22:00:00	32	25.4	86	11.6
	16:00:00	0	31.0	68	0.0		24/8/2004	1:00:00	22	25.0	96
19:00:00	20	29.5	75	0.0	4:00:00	0		25.4	97	0.0	
22:00:00	24	26.3	92	0.0	7:00:00	0		26.0	96	0.0	
1:00:00	0	26.2	94	0.0	10:00:00	0		30.0	75	0.0	
18/8/2004	4:00:00	0	26.0	96	0.0	13:00:00	0	32.0	67	0.0	
	7:00:00	0	26.8	88	0.0	16:00:00	0	33.5	62	0.0	
	10:00:00	0	31.8	66	0.0	19:00:00	12	29.0	81	0.0	
	13:00:00	0	33.0	62	0.0	22:00:00	0	28.0	92	0.0	
	16:00:00	0	32.5	64	0.0	25/8/2004	1:00:00	0	27.0	92	0.0
	19:00:00	0	29.0	78	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	28	25.5	92	5.5		7:00:00	0	27.0	92	0.0
	1:00:00	26	25.5	92	2.5		10:00:00	0	32.0	67	0.0
	19/8/2004	4:00:00	18	25.0	96	2.0	13:00:00	0	33.5	65	0.0
		7:00:00	0	26.0	96	0.0	16:00:00	0	33.5	65	0.0
10:00:00		0	28.5	81	0.0	19:00:00	0	31.5	69	0.0	
13:00:00		0	32.5	64	0.0	22:00:00	0	29.5	75	0.0	
16:00:00		0	33.0	61	0.0	26/8/2004	1:00:00	0	28.5	78	0.0
19:00:00		16	29.5	82	0.2		4:00:00	0	27.5	85	0.0
22:00:00		38	26.5	92	23.3		7:00:00	0	27.5	85	0.0
1:00:00		36	25.5	96	18.8		10:00:00	0	31.0	71	0.0
20/8/2004		4:00:00	32	24.5	100	9.7	13:00:00	0	31.8	68	0.0
		7:00:00	0	24.6	98	0.2	16:00:00	0	33.3	58	0.0
	10:00:00	0	26.5	91	0.0	19:00:00	0	30.4	73	0.0	
	13:00:00	0	30.1	77	0.0	22:00:00	0	29.3	79	0.0	
	16:00:00	0	31.4	70	0.0	27/8/2004	1:00:00	0	28.4	79	0.0
	19:00:00	0	29.5	80	0.0		4:00:00	0	27.5	81	0.0
	22:00:00	0	27.0	92	0.0		7:00:00	0	27.5	81	0.0
	1:00:00	0	26.0	92	0.0		10:00:00	0	31.0	71	0.0
	21/8/2004	4:00:00	0	25.5	93	0.0	13:00:00	0	33.1	56	0.0
		7:00:00	0	26.0	93	0.0	16:00:00	0	33.5	56	0.0
10:00:00		0	28.7	83	0.0	19:00:00	0	30.6	71	0.0	
13:00:00		0	31.7	68	0.0	22:00:00	0	29.3	69	0.0	
16:00:00		0	32.7	63	0.0	28/8/2004	1:00:00	0	28.0	77	0.0
19:00:00		0	30.0	77	0.0		4:00:00	0	28.0	77	0.0
22:00:00		0	27.1	91	0.0		7:00:00	0	27.5	83	0.0
1:00:00		0	26.0	92	0.0		10:00:00	0	31.0	69	0.0
22/8/2004		4:00:00	0	26.0	92	0.0	13:00:00	0	32.0	67	0.0
		7:00:00	0	25.8	91	0.0	16:00:00	0	32.5	64	0.0
	10:00:00	0	28.5	85	0.0	19:00:00	40	25.5	92	11.2	
	13:00:00	0	30.0	78	0.0	22:00:00	24	26.0	96	2.3	
	16:00:00	0	30.5	75	0.0	29/8/2004	1:00:00	0	26.0	96	0.0
	19:00:00	0	29.0	89	0.0		4:00:00	0	25.5	92	0.0



Sta. 387401		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	25.9	90	0.5
	10:00:00	0	27.7	83	0.0
	13:00:00	0	28.6	81	0.0
	16:00:00	0	29.7	77	0.0
	19:00:00	0	28.0	88	0.0
	22:00:00	0	27.2	83	0.0
30/8/2004	1:00:00	0	27.2	83	0.0
	4:00:00	20	25.8	93	1.2
	7:00:00	10	25.8	92	1.2
	10:00:00	0	28.3	78	0.0
	13:00:00	0	30.5	72	0.0
	16:00:00	0	30.0	72	0.0
	19:00:00	0	28.0	77	0.0
	22:00:00	0	27.5	92	0.0
31/8/2004	1:00:00	12	26.5	92	0.3
	4:00:00	0	26.0	92	0.0
	7:00:00	18	25.7	91	0.9
	10:00:00	0	29.5	75	0.0
	13:00:00	0	33.0	64	0.0
	16:00:00	0	33.0	61	0.0
	19:00:00	0	28.0	81	0.0
	22:00:00	0	27.0	92	0.0



ชุดข้อมูลนำเข้าที่สถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
1/6/2004	1:00:00	18	22.3	98	3.9	8/6/2004	10:00:00	0	29.0	74	0.0
	4:00:00	12	22.1	98	0.8		13:00:00	0	31.6	71	0.0
	7:00:00	0	22.7	98	0.0		16:00:00	0	31.3	72	0.0
	10:00:00	0	26.5	84	0.0		19:00:00	0	29.0	85	0.0
	13:00:00	0	31.2	68	0.0		22:00:00	0	27.0	89	0.0
	16:00:00	0	32.7	61	0.0		1:00:00	20	25.2	92	12.0
	19:00:00	12	31.2	66	0.0		4:00:00	30	23.9	96	25.9
2/6/2004	1:00:00	10	26.8	86	0.0	7:00:00	0	24.1	96	0.0	
	4:00:00	16	26.0	92	0.0	10:00:00	0	28.7	77	0.0	
	7:00:00	10	26.0	92	0.0	13:00:00	0	31.5	64	0.0	
	10:00:00	46	25.0	97	11.1	16:00:00	0	28.5	79	0.0	
	13:00:00	0	29.2	77	0.0	19:00:00	0	27.9	84	0.0	
	16:00:00	0	31.7	65	0.0	22:00:00	0	27.2	92	0.0	
	19:00:00	0	29.5	80	0.0	9/6/2004	1:00:00	0	26.7	94	0.0
22:00:00	12	27.1	87	0.0	4:00:00		0	25.9	94	0.0	
3/6/2004	1:00:00	10	26.0	91	0.0		7:00:00	0	26.2	91	0.0
	4:00:00	10	25.0	96	0.0		10:00:00	0	27.6	84	0.0
	7:00:00	10	25.2	97	0.0		13:00:00	22	27.9	80	4.7
	10:00:00	0	30.1	75	0.0		16:00:00	0	28.4	82	0.0
	13:00:00	0	33.1	64	0.0		19:00:00	20	26.9	93	0.7
	16:00:00	0	34.4	55	0.0	22:00:00	10	26.2	94	0.1	
	19:00:00	0	31.4	70	0.0	10/6/2004	1:00:00	0	25.8	95	0.0
22:00:00	12	28.6	78	0.0	4:00:00		28	24.4	97	6.9	
4/6/2004	1:00:00	10	26.6	84	0.0		7:00:00	0	24.7	97	0.0
	4:00:00	0	25.5	92	0.0		10:00:00	0	26.4	90	0.0
	7:00:00	14	26.0	89	0.0		13:00:00	0	28.1	77	0.0
	10:00:00	0	31.6	66	0.0		16:00:00	0	30.0	73	0.0
	13:00:00	0	33.8	59	0.0		19:00:00	0	29.0	81	0.0
	16:00:00	0	33.6	58	0.0	22:00:00	30	26.0	96	10.0	
	19:00:00	0	30.1	70	0.0	11/6/2004	1:00:00	0	25.5	95	0.0
22:00:00	0	27.3	86	0.0	4:00:00		0	25.5	96	0.0	
5/6/2004	1:00:00	12	26.2	90	0.0		7:00:00	0	25.6	97	0.2
	4:00:00	0	25.5	93	0.0		10:00:00	0	27.8	85	0.0
	7:00:00	0	26.0	89	0.0		13:00:00	0	31.0	74	0.0
	10:00:00	0	31.5	64	0.0		16:00:00	0	31.7	69	0.0
	13:00:00	0	35.0	54	0.0		19:00:00	16	27.4	85	2.4
	16:00:00	0	35.0	56	0.0	22:00:00	28	25.0	97	27.6	
	19:00:00	0	32.2	64	0.0	12/6/2004	1:00:00	0	25.0	96	0.0
22:00:00	0	29.0	83	0.0	4:00:00		0	25.5	96	0.0	
6/6/2004	1:00:00	0	27.8	85	0.0		7:00:00	0	25.5	94	0.0
	4:00:00	0	26.8	90	0.0		10:00:00	0	28.7	76	0.0
	7:00:00	0	26.9	86	0.0		13:00:00	0	31.8	64	0.0
	10:00:00	0	31.7	66	0.0		16:00:00	0	32.7	58	0.0
	13:00:00	0	34.9	58	0.0		19:00:00	0	31.6	66	0.0
	16:00:00	0	35.7	55	0.0	22:00:00	0	28.8	78	0.0	
	19:00:00	18	27.4	87	2.0	13/6/2004	1:00:00	0	27.6	84	0.0
22:00:00	12	26.2	90	1.1	4:00:00		0	26.7	90	0.0	
7/6/2004	1:00:00	0	25.5	92	0.0		7:00:00	0	27.6	82	0.0
	4:00:00	0	25.0	95	0.0		10:00:00	0	31.1	62	0.0
	7:00:00	0	25.6	94	0.0		13:00:00	0	30.0	72	0.0
							16:00:00	0	29.5	76	0.0



Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	19:00:00	0	29.6	77	0.0		4:00:00	0	24.9	92	0.0
	22:00:00	0	27.5	85	0.0		7:00:00	0	25.0	92	0.0
14/6/2004	1:00:00	18	25.6	92	0.5		10:00:00	0	27.2	84	0.0
	4:00:00	20	24.6	95	1.0		13:00:00	0	29.9	75	0.0
	7:00:00	0	25.0	97	0.0		16:00:00	0	30.5	72	0.0
	10:00:00	28	26.0	89	1.0		19:00:00	14	24.2	86	0.5
	13:00:00	34	26.2	92	23.9		22:00:00	0	24.6	87	0.0
	16:00:00	20	26.1	95	2.5	21/6/2004	1:00:00	0	24.5	95	0.0
	19:00:00	0	25.6	95	0.2		4:00:00	0	24.7	95	0.0
	22:00:00	24	25.3	97	4.0		7:00:00	0	25.4	93	0.0
15/6/2004	1:00:00	38	23.2	98	28.5		10:00:00	0	29.2	76	0.0
	4:00:00	12	24.2	97	0.8		13:00:00	0	32.5	64	0.0
	7:00:00	10	24.0	96	0.2		16:00:00	0	33.0	62	0.0
	10:00:00	26	24.0	96	10.2		19:00:00	0	27.7	81	0.0
	13:00:00	22	25.2	92	5.0		22:00:00	0	26.1	89	0.0
	16:00:00	0	26.3	90	0.0	22/6/2004	1:00:00	0	25.2	90	0.0
	19:00:00	0	26.4	90	0.0		4:00:00	0	25.3	93	0.0
	22:00:00	18	26.0	96	0.8		7:00:00	0	25.2	90	0.0
16/6/2004	1:00:00	16	25.2	97	0.6		10:00:00	0	27.8	80	0.0
	4:00:00	22	24.4	97	1.9		13:00:00	0	30.0	72	0.0
	7:00:00	24	24.3	98	2.3		16:00:00	0	31.7	70	0.0
	10:00:00	0	25.8	91	0.0		19:00:00	24	25.3	93	2.6
	13:00:00	0	29.0	74	0.0		22:00:00	0	25.4	90	0.0
	16:00:00	24	25.1	97	2.5	23/6/2004	1:00:00	14	25.0	93	0.4
	19:00:00	26	25.3	97	3.7		4:00:00	12	24.5	94	0.3
	22:00:00	0	24.7	92	0.0		7:00:00	0	24.4	93	0.0
17/6/2004	1:00:00	0	24.0	95	0.0		10:00:00	0	27.0	79	0.0
	4:00:00	0	24.0	91	0.0		13:00:00	0	30.7	64	0.0
	7:00:00	0	24.4	90	0.0		16:00:00	0	30.6	67	0.0
	10:00:00	0	27.0	81	0.0		19:00:00	0	28.6	76	0.0
	13:00:00	0	28.1	81	0.0		22:00:00	20	25.4	90	1.3
	16:00:00	0	29.0	78	0.0	24/6/2004	1:00:00	0	25.0	88	0.0
	19:00:00	0	27.7	79	0.0		4:00:00	0	24.5	89	0.0
	22:00:00	0	26.0	89	0.0		7:00:00	0	24.5	89	0.0
18/6/2004	1:00:00	0	25.5	91	0.0		10:00:00	0	28.0	74	0.0
	4:00:00	0	24.4	92	0.0		13:00:00	0	30.6	68	0.0
	7:00:00	0	24.3	93	0.0		16:00:00	0	32.0	61	0.0
	10:00:00	0	28.4	73	0.0		19:00:00	0	29.2	75	0.0
	13:00:00	0	30.4	70	0.0		22:00:00	0	26.4	83	0.0
	16:00:00	0	32.0	64	0.0	25/6/2004	1:00:00	0	25.7	88	0.0
	19:00:00	0	28.8	79	0.0		4:00:00	0	25.2	88	0.0
	22:00:00	0	25.7	89	0.0		7:00:00	0	24.9	88	0.0
19/6/2004	1:00:00	0	25.6	87	0.0		10:00:00	0	29.9	70	0.0
	4:00:00	0	24.0	86	0.0		13:00:00	0	31.9	65	0.0
	7:00:00	0	24.3	85	0.0		16:00:00	0	32.4	66	0.0
	10:00:00	0	29.0	74	0.0		19:00:00	0	29.7	76	0.0
	13:00:00	0	30.8	73	0.0		22:00:00	0	28.2	83	0.0
	16:00:00	0	31.5	69	0.0	26/6/2004	1:00:00	0	27.4	84	0.0
	19:00:00	0	29.3	76	0.0		4:00:00	0	25.9	86	0.0
	22:00:00	16	26.1	88	0.2		7:00:00	0	25.0	89	0.0
20/6/2004	1:00:00	0	25.3	93	0.0		10:00:00	0	29.2	71	0.0



Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	13:00:00	0	32.0	64	0.0		22:00:00	0	29.4	76	0.0
	16:00:00	14	31.7	67	0.5	3/7/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
	19:00:00	24	27.3	86	2.2		4:00:00	0	26.0	86	0.0
	22:00:00	0	27.4	88	0.0		7:00:00	0	26.0	86	0.0
27/6/2004	1:00:00	0	26.4	94	0.0		10:00:00	0	30.5	65	0.0
	4:00:00	0	25.6	89	0.0		13:00:00	0	33.1	58	0.0
	7:00:00	10	25.0	95	0.2		16:00:00	0	34.1	53	0.0
	10:00:00	0	27.2	84	0.0		19:00:00	0	31.5	60	0.0
	13:00:00	0	29.4	76	0.0		22:00:00	0	29.2	73	0.0
	16:00:00	0	30.2	73	0.0	4/7/2004	1:00:00	0	27.2	83	0.0
	19:00:00	0	28.8	79	0.0		4:00:00	0	26.9	85	0.0
	22:00:00	0	27.2	84	0.0		7:00:00	0	26.8	85	0.0
28/6/2004	1:00:00	0	26.2	86	0.0		10:00:00	0	30.2	68	0.0
	4:00:00	0	24.6	91	0.0		13:00:00	0	32.4	63	0.0
	7:00:00	0	24.7	88	0.0		16:00:00	0	32.4	61	0.0
	10:00:00	0	27.2	79	0.0		19:00:00	0	29.4	66	0.0
	13:00:00	0	28.9	73	0.0		22:00:00	0	28.3	77	0.0
	16:00:00	0	31.0	67	0.0	5/7/2004	1:00:00	0	27.6	84	0.0
	19:00:00	0	29.4	75	0.0		4:00:00	0	26.6	90	0.0
	22:00:00	31	24.0	96	9.4		7:00:00	0	27.0	90	0.0
29/6/2004	1:00:00	0	24.0	97	0.0		10:00:00	0	30.3	71	0.0
	4:00:00	0	24.1	98	0.0		13:00:00	0	33.1	56	0.0
	7:00:00	0	24.7	95	0.0		16:00:00	0	31.0	62	0.0
	10:00:00	0	28.0	80	0.0		19:00:00	16	28.0	67	0.0
	13:00:00	0	29.8	73	0.0		22:00:00	0	27.1	82	0.0
	16:00:00	0	31.5	71	0.0	6/7/2004	1:00:00	0	26.1	86	0.0
	19:00:00	0	29.4	77	0.0		4:00:00	0	25.1	92	0.0
	22:00:00	0	27.3	87	0.0		7:00:00	0	25.2	93	0.0
30/6/2004	1:00:00	0	25.1	91	0.0		10:00:00	0	29.1	76	0.0
	4:00:00	0	25.0	95	0.0		13:00:00	0	30.8	65	0.0
	7:00:00	0	25.0	93	0.0		16:00:00	0	30.8	65	0.0
	10:00:00	0	28.2	79	0.0		19:00:00	0	29.2	73	0.0
	13:00:00	0	30.5	66	0.0		22:00:00	0	28.1	84	0.0
	16:00:00	0	32.7	54	0.0	7/7/2004	1:00:00	0	27.2	88	0.0
	19:00:00	0	30.5	66	0.0		4:00:00	0	26.5	92	0.0
	22:00:00	0	28.5	78	0.0		7:00:00	0	26.3	94	0.0
1/7/2004	1:00:00	0	27.2	81	0.0		10:00:00	0	29.5	75	0.0
	4:00:00	0	26.0	88	0.0		13:00:00	0	33.4	55	0.0
	7:00:00	0	26.1	89	0.0		16:00:00	0	35.1	49	0.0
	10:00:00	0	29.9	70	0.0		19:00:00	24	25.2	84	2.3
	13:00:00	0	33.0	61	0.0		22:00:00	16	25.3	89	0.6
	16:00:00	0	34.3	51	0.0	8/7/2004	1:00:00	0	25.2	86	0.0
	19:00:00	0	31.3	64	0.0		4:00:00	0	24.2	91	0.0
	22:00:00	0	29.2	77	0.0		7:00:00	0	24.4	92	0.0
2/7/2004	1:00:00	0	27.8	80	0.0		10:00:00	0	29.4	67	0.0
	4:00:00	0	26.2	83	0.0		13:00:00	0	32.3	56	0.0
	7:00:00	0	26.7	82	0.0		16:00:00	0	33.6	49	0.0
	10:00:00	0	30.6	64	0.0		19:00:00	0	29.0	65	0.0
	13:00:00	0	33.2	53	0.0		22:00:00	0	27.1	84	0.0
	16:00:00	0	34.0	51	0.0	9/7/2004	1:00:00	0	26.2	83	0.0
	19:00:00	0	31.7	61	0.0		4:00:00	0	25.0	79	0.0



Sta. 403201						Sta. 403201					
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
10/7/2004	7:00:00	0	24.9	83	0.0	16/7/2004	16:00:00	0	32.1	61	0.0
	10:00:00	0	29.3	69	0.0		19:00:00	0	31.0	56	0.0
	13:00:00	0	32.0	61	0.0		22:00:00	0	27.8	82	0.0
	16:00:00	0	32.7	52	0.0		1:00:00	0	27.3	84	0.0
	19:00:00	0	30.5	63	0.0		4:00:00	0	26.5	88	0.0
	22:00:00	0	26.3	72	0.0		7:00:00	0	26.0	90	0.0
	1:00:00	0	25.0	79	0.0		10:00:00	0	30.7	60	0.0
	4:00:00	10	23.1	90	0.3		13:00:00	0	34.1	51	0.0
	7:00:00	0	23.7	92	0.0		16:00:00	0	30.6	60	0.0
	10:00:00	0	28.0	75	0.0		19:00:00	0	26.9	78	0.0
11/7/2004	13:00:00	0	31.1	62	0.0	17/7/2004	22:00:00	0	26.8	82	0.0
	16:00:00	0	31.4	55	0.0		1:00:00	0	25.5	91	0.0
	19:00:00	0	29.9	65	0.0		4:00:00	0	24.5	93	0.0
	22:00:00	0	26.1	76	0.0		7:00:00	0	25.0	92	0.0
	1:00:00	0	25.0	84	0.0		10:00:00	0	30.8	66	0.0
	4:00:00	0	24.9	88	0.0		13:00:00	0	35.1	49	0.0
	7:00:00	0	24.6	88	0.0		16:00:00	0	33.2	57	0.0
	10:00:00	0	27.0	77	0.0		19:00:00	0	30.7	63	0.0
	13:00:00	0	29.2	67	0.0		22:00:00	0	28.9	72	0.0
	16:00:00	0	28.7	65	0.0		18/7/2004	1:00:00	0	26.5	78
19:00:00	12	26.1	83	0.3	4:00:00	0		25.0	88	0.0	
22:00:00	0	25.4	87	0.0	7:00:00	0		25.3	84	0.0	
1:00:00	28	23.0	93	5.2	10:00:00	0		28.9	68	0.0	
4:00:00	0	23.0	95	0.0	13:00:00	0		33.0	52	0.0	
7:00:00	14	23.1	95	0.4	16:00:00	0		33.0	52	0.0	
10:00:00	0	25.7	83	0.0	19:00:00	0		30.0	65	0.0	
13:00:00	0	29.2	68	0.0	22:00:00	0		28.6	75	0.0	
16:00:00	0	30.5	59	0.0	19/7/2004	1:00:00		0	26.7	83	0.0
19:00:00	0	27.9	70	0.0		4:00:00		0	25.4	86	0.0
22:00:00	0	26.6	80	0.0		7:00:00	0	24.9	81	0.0	
1:00:00	10	25.7	84	0.2		10:00:00	0	30.0	63	0.0	
4:00:00	14	25.4	89	2.4		13:00:00	0	33.4	51	0.0	
7:00:00	10	25.4	89	0.1		16:00:00	0	34.0	46	0.0	
10:00:00	0	29.0	69	0.0		19:00:00	0	30.1	65	0.0	
13:00:00	0	31.2	57	0.0		22:00:00	0	28.4	74	0.0	
16:00:00	0	32.7	53	0.0		20/7/2004	1:00:00	0	26.6	77	0.0
19:00:00	0	29.7	66	0.0			4:00:00	0	25.9	82	0.0
22:00:00	0	27.7	76	0.0	7:00:00		0	25.1	86	0.0	
1:00:00	0	26.0	84	0.0	10:00:00		0	30.2	63	0.0	
4:00:00	0	25.1	87	0.0	13:00:00		0	34.5	48	0.0	
7:00:00	0	25.1	87	0.0	16:00:00		0	34.8	46	0.0	
10:00:00	0	28.3	66	0.0	19:00:00		0	31.4	61	0.0	
13:00:00	0	32.6	53	0.0	22:00:00		0	29.3	71	0.0	
16:00:00	0	34.0	48	0.0	21/7/2004		1:00:00	0	28.1	79	0.0
19:00:00	0	30.9	58	0.0			4:00:00	0	27.4	74	0.0
22:00:00	0	28.6	67	0.0		7:00:00	0	26.9	78	0.0	
1:00:00	0	26.7	84	0.0		10:00:00	0	28.5	71	0.0	
4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	30.5	64	0.0	
7:00:00	0	25.0	95	0.0		16:00:00	0	31.1	64	0.0	
10:00:00	0	27.8	82	0.0		19:00:00	0	29.0	73	0.0	
13:00:00	0	30.6	68	0.0		22:00:00	0	27.8	80	0.0	



Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	
22/7/2004	1:00:00	22	25.8	89	2.8		10:00:00	0	28.6	70	0.0	
	4:00:00	30	24.3	94	8.2		13:00:00	0	31.0	63	0.0	
	7:00:00	28	23.7	94	5.5		16:00:00	0	31.5	61	0.0	
	10:00:00	0	25.5	85	0.0		19:00:00	0	28.7	72	0.0	
	13:00:00	0	29.7	67	0.0		22:00:00	0	26.7	83	0.0	
	16:00:00	0	30.9	57	0.0		29/7/2004	1:00:00	0	25.6	89	0.0
	19:00:00	0	28.2	73	0.0			4:00:00	0	24.0	91	0.0
	22:00:00	0	27.2	80	0.0			7:00:00	0	24.1	91	0.0
23/7/2004	1:00:00	0	24.3	89	0.0	10:00:00		0	27.4	77	0.0	
	4:00:00	0	23.5	95	0.0	13:00:00	0	31.7	60	0.0		
	7:00:00	0	23.6	95	0.0	16:00:00	0	32.1	60	0.0		
	10:00:00	0	28.0	74	0.0	19:00:00	0	28.8	71	0.0		
	13:00:00	0	30.5	61	0.0	22:00:00	0	27.0	83	0.0		
	16:00:00	0	32.4	56	0.0	30/7/2004	1:00:00	0	26.1	86	0.0	
	19:00:00	0	29.9	66	0.0		4:00:00	0	25.2	88	0.0	
	22:00:00	0	27.9	81	0.0		7:00:00	0	24.8	89	0.0	
24/7/2004	1:00:00	22	24.3	89	2.0		10:00:00	0	28.7	74	0.0	
	4:00:00	26	23.5	95	3.6	13:00:00	0	31.6	63	0.0		
	7:00:00	26	23.6	95	3.8	16:00:00	0	31.5	63	0.0		
	10:00:00	0	26.0	88	0.0	19:00:00	0	29.0	74	0.0		
	13:00:00	0	30.5	61	0.0	22:00:00	0	28.0	81	0.0		
	16:00:00	0	32.4	56	0.0	31/7/2004	1:00:00	24	26.7	85	2.2	
	19:00:00	0	29.9	66	0.0		4:00:00	36	24.2	94	3.8	
	22:00:00	0	27.9	81	0.0		7:00:00	28	24.2	97	5.2	
25/7/2004	1:00:00	26	24.4	94	8.8		10:00:00	0	27.4	77	0.0	
	4:00:00	0	24.0	94	0.7	13:00:00	0	30.2	67	0.0		
	7:00:00	0	24.1	96	0.0	16:00:00	0	32.2	62	0.0		
	10:00:00	0	26.2	86	0.0	19:00:00	0	29.0	74	0.0		
	13:00:00	0	28.8	73	0.0	22:00:00	0	26.6	87	0.0		
	16:00:00	0	30.7	61	0.0	1/8/2004	1:00:00	28	24.0	91	4.2	
	19:00:00	0	28.0	75	0.0		4:00:00	30	23.2	98	34.7	
	22:00:00	0	26.4	81	0.0		7:00:00	0	24.7	94	0.0	
26/7/2004	1:00:00	0	25.0	81	0.0		10:00:00	0	28.0	78	0.0	
	4:00:00	0	24.6	83	0.0	13:00:00	0	31.0	66	0.0		
	7:00:00	0	24.7	89	0.0	16:00:00	0	32.0	61	0.0		
	10:00:00	0	27.0	80	0.0	19:00:00	0	27.2	81	0.0		
	13:00:00	0	30.4	67	0.0	22:00:00	0	26.4	87	0.0		
	16:00:00	0	28.7	81	0.0	2/8/2004	1:00:00	18	25.7	92	0.8	
	19:00:00	0	28.2	73	0.0		4:00:00	30	24.0	96	7.8	
	22:00:00	0	25.4	89	0.0		7:00:00	26	24.2	97	4.1	
27/7/2004	1:00:00	18	24.4	92	1.0		10:00:00	0	26.0	87	0.0	
	4:00:00	26	23.9	97	6.3	13:00:00	0	29.2	68	0.0		
	7:00:00	26	23.8	97	4.0	16:00:00	0	31.0	63	0.0		
	10:00:00	24	24.5	94	2.6	19:00:00	0	28.6	72	0.0		
	13:00:00	0	27.2	80	0.2	22:00:00	0	26.6	85	0.0		
	16:00:00	0	28.0	74	0.0	3/8/2004	1:00:00	0	26.0	82	0.0	
	19:00:00	0	26.8	79	0.0		4:00:00	0	24.3	92	0.0	
	22:00:00	0	26.0	88	0.0		7:00:00	0	24.2	92	0.0	
28/7/2004	1:00:00	0	25.0	88	0.0		10:00:00	0	28.0	73	0.0	
	4:00:00	0	24.6	89	0.0	13:00:00	0	31.2	61	0.0		
	7:00:00	0	24.4	88	0.0	16:00:00	0	29.9	69	0.0		





Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	19:00:00	0	28.5	68	0.0		4:00:00	0	24.0	93	0.0
	22:00:00	0	26.2	83	0.0		7:00:00	0	24.2	95	0.0
4/8/2004	1:00:00	0	25.2	87	0.0		10:00:00	0	27.0	77	0.1
	4:00:00	0	24.6	90	0.0		13:00:00	0	30.5	66	0.0
	7:00:00	0	25.0	88	0.0		16:00:00	0	30.7	61	0.0
	10:00:00	0	26.8	78	0.0		19:00:00	0	28.7	70	0.0
	13:00:00	0	29.5	68	0.0		22:00:00	0	26.0	88	0.0
	16:00:00	0	31.0	62	0.0	11/8/2004	1:00:00	0	24.0	85	0.0
	19:00:00	0	27.7	75	0.0		4:00:00	0	23.5	91	0.0
	22:00:00	0	26.3	82	0.0		7:00:00	0	23.8	91	0.0
5/8/2004	1:00:00	0	25.0	91	0.0		10:00:00	0	29.2	67	0.0
	4:00:00	0	25.0	89	0.0		13:00:00	0	30.5	58	0.0
	7:00:00	0	25.0	92	0.0		16:00:00	0	31.0	53	0.0
	10:00:00	0	29.5	68	0.0		19:00:00	0	28.7	70	0.0
	13:00:00	0	32.0	58	0.0		22:00:00	0	27.4	79	0.0
	16:00:00	0	32.7	56	0.0	12/8/2004	1:00:00	0	25.0	80	0.0
	19:00:00	0	29.9	67	0.0		4:00:00	18	22.5	91	2.5
	22:00:00	0	26.4	77	0.0		7:00:00	0	23.3	92	0.0
6/8/2004	1:00:00	22	24.0	94	1.5		10:00:00	0	27.4	73	0.0
	4:00:00	0	23.6	91	0.0		13:00:00	0	29.5	66	0.0
	7:00:00	0	24.0	91	0.0		16:00:00	0	29.8	66	0.0
	10:00:00	0	28.2	73	0.0		19:00:00	0	28.0	73	0.0
	13:00:00	0	30.7	63	0.0		22:00:00	0	27.0	75	0.0
	16:00:00	0	31.8	60	0.0	13/8/2004	1:00:00	0	25.6	85	0.0
	19:00:00	0	29.4	71	0.0		4:00:00	0	24.6	87	0.0
	22:00:00	0	27.7	79	0.0		7:00:00	0	24.6	87	0.0
7/8/2004	1:00:00	0	25.9	82	0.0		10:00:00	0	30.0	62	0.0
	4:00:00	0	25.0	88	0.0		13:00:00	0	32.6	55	0.0
	7:00:00	0	25.4	86	0.0		16:00:00	0	32.0	58	0.0
	10:00:00	0	28.2	73	0.0		19:00:00	0	28.4	69	0.0
	13:00:00	0	31.0	63	0.0		22:00:00	0	26.1	80	0.0
	16:00:00	0	31.0	66	0.0	14/8/2004	1:00:00	0	25.4	82	0.0
	19:00:00	0	29.7	70	0.0		4:00:00	0	24.6	89	0.0
	22:00:00	0	27.6	80	0.0		7:00:00	0	24.1	89	0.0
8/8/2004	1:00:00	0	26.2	86	0.0		10:00:00	0	28.5	63	0.0
	4:00:00	0	25.3	88	0.0		13:00:00	0	31.9	54	0.0
	7:00:00	0	25.2	88	0.0		16:00:00	0	30.7	62	0.0
	10:00:00	0	28.2	75	0.0		19:00:00	0	28.6	67	0.0
	13:00:00	0	30.1	65	0.0		22:00:00	0	27.2	73	0.0
	16:00:00	0	30.9	63	0.0	15/8/2004	1:00:00	0	26.1	79	0.0
	19:00:00	0	29.1	75	0.0		4:00:00	0	25.3	76	0.0
	22:00:00	0	27.0	83	0.0		7:00:00	0	25.0	80	0.0
9/8/2004	1:00:00	18	24.0	91	1.4		10:00:00	0	27.2	69	0.0
	4:00:00	10	24.0	96	0.3		13:00:00	0	30.6	59	0.0
	7:00:00	0	24.3	94	0.0		16:00:00	0	29.4	69	0.0
	10:00:00	0	27.5	78	0.0		19:00:00	24	24.7	94	6.6
	13:00:00	0	30.0	65	0.0		22:00:00	0	24.7	94	0.0
	16:00:00	0	31.0	67	0.0	16/8/2004	1:00:00	10	24.7	95	0.5
	19:00:00	0	28.6	76	0.0		4:00:00	10	23.7	91	0.1
	22:00:00	0	24.4	88	0.0		7:00:00	0	23.7	91	0.2
10/8/2004	1:00:00	14	23.9	92	0.9		10:00:00	0	27.7	74	0.0



Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	13:00:00	0	30.2	67	0.0		22:00:00	0	27.2	88	0.0
	16:00:00	0	31.9	58	0.0	23/8/2004	1:00:00	0	26.7	91	0.0
	19:00:00	0	29.2	70	0.0		4:00:00	0	25.9	92	0.0
	22:00:00	0	27.6	80	0.0		7:00:00	0	25.5	91	0.0
17/8/2004	1:00:00	0	26.0	84	0.0		10:00:00	0	29.8	68	0.0
	4:00:00	0	25.0	88	0.0		13:00:00	0	33.6	58	0.0
	7:00:00	0	24.7	91	0.0		16:00:00	30	28.8	85	6.5
	10:00:00	0	29.0	69	0.0		19:00:00	0	28.0	85	0.0
	13:00:00	0	31.7	56	0.0		22:00:00	0	27.7	91	0.0
	16:00:00	0	31.4	59	0.0	24/8/2004	1:00:00	0	26.7	88	0.0
	19:00:00	0	29.3	70	0.0		4:00:00	0	25.1	83	0.0
	22:00:00	0	27.6	82	0.0		7:00:00	0	25.0	88	0.0
18/8/2004	1:00:00	0	26.7	86	0.0		10:00:00	0	29.2	74	0.0
	4:00:00	0	25.7	85	0.0		13:00:00	0	31.4	66	0.0
	7:00:00	0	25.0	92	0.0		16:00:00	0	31.6	66	0.0
	10:00:00	0	29.7	67	0.0		19:00:00	0	29.2	71	0.0
	13:00:00	0	31.4	61	0.0		22:00:00	0	27.4	82	0.0
	16:00:00	0	33.4	51	0.0	25/8/2004	1:00:00	0	26.1	90	0.0
	19:00:00	0	29.3	74	0.0		4:00:00	0	25.5	92	0.0
	22:00:00	0	27.7	82	0.0		7:00:00	0	25.7	93	0.0
19/8/2004	1:00:00	0	26.1	85	0.0		10:00:00	0	30.6	69	0.0
	4:00:00	0	25.2	85	0.0		13:00:00	0	33.6	53	0.0
	7:00:00	0	25.2	90	0.0		16:00:00	0	34.1	54	0.0
	10:00:00	0	29.2	70	0.0		19:00:00	0	30.4	66	0.0
	13:00:00	0	32.0	61	0.0		22:00:00	0	28.6	76	0.0
	16:00:00	0	31.1	64	0.0	26/8/2004	1:00:00	0	27.8	83	0.0
	19:00:00	0	29.2	70	0.0		4:00:00	0	26.7	87	0.0
	22:00:00	0	27.7	79	0.0		7:00:00	0	26.7	87	0.0
20/8/2004	1:00:00	0	25.6	87	0.0		10:00:00	0	30.8	64	0.0
	4:00:00	0	24.6	90	0.0		13:00:00	0	33.0	56	0.0
	7:00:00	10	24.3	93	0.1		16:00:00	0	33.0	56	0.0
	10:00:00	0	27.4	76	0.0		19:00:00	0	30.4	67	0.0
	13:00:00	0	31.2	62	0.0		22:00:00	0	29.2	70	0.0
	16:00:00	0	32.5	58	0.0	27/8/2004	1:00:00	0	27.6	79	0.0
	19:00:00	26	24.3	91	16.7		4:00:00	0	26.4	84	0.0
	22:00:00	0	25.5	94	0.0		7:00:00	0	26.0	88	0.0
21/8/2004	1:00:00	0	25.0	96	0.0		10:00:00	0	30.0	66	0.0
	4:00:00	0	24.7	94	0.0		13:00:00	0	32.5	58	0.0
	7:00:00	0	25.0	95	0.0		16:00:00	0	33.5	51	0.0
	10:00:00	0	28.7	80	0.0		19:00:00	0	30.7	64	0.0
	13:00:00	0	32.2	67	0.0		22:00:00	0	29.8	68	0.0
	16:00:00	0	30.0	67	0.0	28/8/2004	1:00:00	0	27.7	79	0.0
	19:00:00	0	27.6	80	0.0		4:00:00	0	26.3	89	0.0
	22:00:00	0	26.8	89	0.0		7:00:00	0	26.1	88	0.0
22/8/2004	1:00:00	0	26.3	93	0.0		10:00:00	0	30.2	69	0.0
	4:00:00	0	24.9	92	0.0		13:00:00	0	33.1	56	0.0
	7:00:00	0	25.0	94	0.0		16:00:00	0	34.1	52	0.0
	10:00:00	0	29.0	77	0.0		19:00:00	22	26.9	90	1.7
	13:00:00	0	31.6	66	0.0		22:00:00	20	24.1	92	5.4
	16:00:00	0	32.0	63	0.0	29/8/2004	1:00:00	0	24.6	92	0.0
	19:00:00	10	28.5	80	0.0		4:00:00	0	25.0	92	0.0



Sta. 403201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	25.2	94	0.1
	10:00:00	0	28.5	78	0.0
	13:00:00	0	30.2	68	0.0
	16:00:00	0	30.4	71	0.0
	19:00:00	16	25.5	89	0.7
	22:00:00	0	25.6	93	0.0
30/8/2004	1:00:00	0	25.8	95	0.0
	4:00:00	0	25.4	93	0.0
	7:00:00	0	25.2	93	0.0
	10:00:00	0	27.9	80	0.0
	13:00:00	0	30.2	65	0.0
	16:00:00	0	30.2	69	0.0
	19:00:00	0	28.0	82	0.0
	22:00:00	0	27.0	87	0.0
31/8/2004	1:00:00	0	26.5	90	0.0
	4:00:00	0	25.9	89	0.0
	7:00:00	0	26.0	89	0.0
	10:00:00	0	30.0	68	0.0
	13:00:00	0	32.8	56	0.0
	16:00:00	0	33.7	54	0.0
	19:00:00	0	30.1	69	0.0
	22:00:00	0	28.4	80	0.0



## ชุดข้อมูลนำเข้าที่สถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

Sta. 405201						Sta. 405201					
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
1/6/2004	1:00:00	28	22.7	91	6.3		10:00:00	0	27.0	78	0.0
	4:00:00	18	22.5	91	1.0		13:00:00	0	31.5	60	0.0
	7:00:00	0	23.0	96	0.0		16:00:00	20	33.2	57	0.0
	10:00:00	0	28.7	75	0.0		19:00:00	0	30.5	69	0.0
	13:00:00	0	31.7	62	0.0		22:00:00	0	27.7	77	0.0
	16:00:00	0	32.0	61	0.0	8/6/2004	1:00:00	0	27.5	82	0.0
	19:00:00	0	29.0	78	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	0	27.0	88	0.0		7:00:00	32	23.5	96	29.1
					10:00:00		0	26.3	90	0.0	
2/6/2004	1:00:00	0	26.5	88	0.0		13:00:00	0	29.0	78	0.0
	4:00:00	0	25.5	88	0.0		16:00:00	10	31.3	64	0.5
	7:00:00	0	25.5	90	0.0		19:00:00	0	27.5	85	0.0
	10:00:00	0	31.5	66	0.0		22:00:00	0	26.5	92	0.0
	13:00:00	0	33.0	60	0.0	9/6/2004	1:00:00	0	26.5	92	0.0
	16:00:00	0	34.0	55	0.0		4:00:00	28	24.5	92	5.3
	19:00:00	0	31.4	60	0.0		7:00:00	0	24.7	96	0.0
	22:00:00	0	29.0	78	0.0		10:00:00	0	28.0	80	0.0
3/6/2004	1:00:00	0	27.0	83	0.0		13:00:00	0	30.3	70	0.0
	4:00:00	0	26.0	89	0.0		16:00:00	0	31.3	67	0.0
	7:00:00	0	26.5	90	0.0		19:00:00	0	29.7	76	0.0
	10:00:00	0	32.2	64	0.0		22:00:00	0	27.8	82	0.0
	13:00:00	0	34.2	52	0.0	10/6/2004	1:00:00	0	27.4	84	0.0
	16:00:00	0	35.2	42	0.0		4:00:00	16	26.0	92	0.6
	19:00:00	0	32.0	61	0.0		7:00:00	0	25.5	92	0.0
	22:00:00	0	30.2	72	0.0		10:00:00	28	25.3	93	5.4
4/6/2004	1:00:00	0	28.5	78	0.0		13:00:00	0	29.5	71	0.0
	4:00:00	0	26.8	81	0.0		16:00:00	0	31.0	66	0.0
	7:00:00	0	26.0	92	0.0		19:00:00	0	28.5	81	0.0
	10:00:00	30	28.8	79	6.7		22:00:00	0	26.5	84	0.0
	13:00:00	0	32.8	65	0.0	11/6/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
	16:00:00	0	30.0	68	0.0		4:00:00	16	26.0	84	0.6
	19:00:00	0	29.0	78	0.0		7:00:00	0	25.3	95	2.5
	22:00:00	0	26.5	84	0.0		10:00:00	0	27.8	82	0.2
5/6/2004	1:00:00	0	26.0	90	0.0		13:00:00	0	30.5	67	0.0
	4:00:00	0	25.7	90	0.0		16:00:00	12	32.5	62	0.0
	7:00:00	0	25.7	86	0.0		19:00:00	0	27.5	85	0.0
	10:00:00	0	31.3	69	0.0		22:00:00	0	27.2	84	0.0
	13:00:00	0	32.7	64	0.0	12/6/2004	1:00:00	20	26.0	89	1.3
	16:00:00	0	35.3	52	0.0		4:00:00	0	25.7	89	0.0
	19:00:00	0	31.8	68	0.0		7:00:00	0	25.0	88	0.0
	22:00:00	0	29.5	78	0.0		10:00:00	0	29.8	66	0.0
6/6/2004	1:00:00	0	28.5	79	0.0		13:00:00	0	31.7	59	1.0
	4:00:00	0	27.5	83	0.0		16:00:00	0	32.5	54	0.0
	7:00:00	0	27.5	85	0.0		19:00:00	0	30.0	65	0.0
	10:00:00	0	31.5	69	0.0		22:00:00	38	29.0	74	24.3
	13:00:00	0	33.5	63	0.0	13/6/2004	1:00:00	30	26.0	84	7.5
	16:00:00	0	35.5	52	0.0		4:00:00	24	25.5	88	2.5
	19:00:00	0	30.0	72	0.0		7:00:00	28	25.4	86	5.6
	22:00:00	0	28.5	74	0.0		10:00:00	24	27.5	76	3.0
7/6/2004	1:00:00	0	27.5	77	0.0		13:00:00	0	28.7	70	4.2
	4:00:00	0	26.5	77	0.0		16:00:00	0	28.6	71	28.5
	7:00:00	0	25.7	85	0.0						



Sta. 405201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 405201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	19:00:00	20	28.2	71	1.6		4:00:00	0	26.0	79	0.0
	22:00:00	32	24.7	94	10.0		7:00:00	0	25.8	82	0.0
14/6/2004	1:00:00	30	24.4	95	30.7		10:00:00	0	30.0	67	0.0
	4:00:00	28	24.0	96	5.5		13:00:00	0	31.7	61	0.0
	7:00:00	18	24.0	97	1.0		16:00:00	0	32.8	59	0.0
	10:00:00	0	24.7	97	0.0		19:00:00	0	29.3	75	0.0
	13:00:00	20	25.7	94	0.0		22:00:00	0	27.0	75	0.0
	16:00:00	28	24.3	96	0.0	21/6/2004	1:00:00	0	25.7	81	0.0
	19:00:00	0	24.8	93	0.0		4:00:00	0	25.2	90	0.0
	22:00:00	32	24.6	95	2.3		7:00:00	0	25.5	92	0.0
15/6/2004	1:00:00	0	24.3	96	0.0		10:00:00	0	30.0	65	0.0
	4:00:00	10	24.5	96	0.0		13:00:00	0	32.5	58	0.0
	7:00:00	0	24.5	96	0.0		16:00:00	0	33.2	52	0.0
	10:00:00	0	25.5	92	0.0		19:00:00	0	31.0	63	0.0
	13:00:00	0	27.5	81	0.0		22:00:00	0	30.0	65	0.0
	16:00:00	26	28.3	70	12.0	22/6/2004	1:00:00	0	27.5	70	0.0
	19:00:00	30	27.5	81	12.3		4:00:00	0	26.5	73	0.0
	22:00:00	26	25.5	88	3.0		7:00:00	0	26.2	80	0.0
16/6/2004	1:00:00	0	25.5	84	0.0		10:00:00	0	29.7	65	0.0
	4:00:00	0	25.3	85	0.0		13:00:00	0	32.0	57	0.0
	7:00:00	0	25.0	88	0.6		16:00:00	0	32.3	55	0.0
	10:00:00	0	27.8	75	0.0		19:00:00	0	30.4	63	0.0
	13:00:00	0	29.7	70	0.0		22:00:00	0	29.0	69	0.0
	16:00:00	24	26.3	92	2.5	23/6/2004	1:00:00	0	26.7	78	0.0
	19:00:00	30	24.3	93	7.0		4:00:00	0	26.5	75	0.0
	22:00:00	18	24.3	92	0.0		7:00:00	0	26.5	75	0.0
17/6/2004	1:00:00	0	24.5	94	0.0		10:00:00	0	29.5	65	0.0
	4:00:00	0	24.5	96	0.0		13:00:00	0	30.5	59	0.0
	7:00:00	0	24.8	92	0.0		16:00:00	0	32.0	53	0.0
	10:00:00	0	27.5	77	0.0		19:00:00	0	28.8	69	0.0
	13:00:00	0	29.5	68	0.0		22:00:00	0	26.5	77	0.3
	16:00:00	10	28.7	76	0.0	24/6/2004	1:00:00	0	27.0	79	0.0
	19:00:00	12	24.8	92	0.0		4:00:00	0	26.2	75	0.0
	22:00:00	0	25.0	88	0.0		7:00:00	16	25.0	84	0.7
18/6/2004	1:00:00	0	25.0	90	0.0		10:00:00	0	29.8	60	0.0
	4:00:00	0	24.8	92	0.0		13:00:00	0	32.5	52	0.0
	7:00:00	0	25.0	88	0.0		16:00:00	0	33.0	50	0.0
	10:00:00	0	28.5	71	0.0		19:00:00	0	30.5	56	0.0
	13:00:00	0	30.8	61	0.0		22:00:00	0	28.5	71	0.0
	16:00:00	0	31.7	57	0.0	25/6/2004	1:00:00	0	27.5	74	0.0
	19:00:00	0	29.7	68	0.0		4:00:00	0	26.5	77	0.0
	22:00:00	0	27.5	81	0.0		7:00:00	0	26.0	76	0.0
19/6/2004	1:00:00	0	26.0	84	0.0		10:00:00	0	30.5	61	0.0
	4:00:00	0	25.5	88	0.0		13:00:00	0	33.0	55	0.0
	7:00:00	0	25.6	84	0.0		16:00:00	0	32.2	64	0.0
	10:00:00	0	28.7	68	0.0		19:00:00	0	31.3	61	0.0
	13:00:00	0	31.6	64	0.0		22:00:00	0	29.5	69	0.0
	16:00:00	0	32.8	57	0.0	26/6/2004	1:00:00	0	28.0	74	0.0
	19:00:00	0	29.8	68	0.0		4:00:00	0	27.2	77	0.0
	22:00:00	0	28.0	80	0.0		7:00:00	0	26.8	76	0.0
20/6/2004	1:00:00	0	26.7	81	0.0		10:00:00	0	30.5	61	0.0



Sta. 405201					Sta. 405201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	13:00:00	0	32.7	54	0.0		22:00:00	20	27.0	84	1.2
	16:00:00	0	32.5	55	0.0	3/7/2004	1:00:00	14	27.0	88	0.4
	19:00:00	0	30.7	65	0.0		4:00:00	0	26.4	90	0.0
	22:00:00	0	28.5	76	0.0		7:00:00	0	26.5	92	0.0
27/6/2004	1:00:00	0	27.5	82	0.0		10:00:00	0	25.7	75	0.0
	4:00:00	0	27.0	84	0.0		13:00:00	0	31.0	63	0.0
	7:00:00	0	26.5	84	0.0		16:00:00	0	31.5	60	0.0
	10:00:00	0	28.7	70	0.0		19:00:00	0	30.0	72	0.0
	13:00:00	0	31.5	64	0.0		22:00:00	18	26.5	80	0.0
	16:00:00	0	31.8	56	0.0	4/7/2004	1:00:00	28	25.5	92	6.8
	19:00:00	0	30.2	67	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	0	29.0	74	0.0		7:00:00	0	26.3	95	0.0
28/6/2004	1:00:00	0	27.0	81	0.0		10:00:00	0	30.7	72	0.0
	4:00:00	0	26.0	88	0.0		13:00:00	0	34.6	56	0.0
	7:00:00	0	26.0	84	0.0		16:00:00	40	23.4	94	36.7
	10:00:00	0	28.3	69	0.0		19:00:00	22	24.5	94	1.7
	13:00:00	0	31.5	55	0.0		22:00:00	0	25.0	94	0.0
	16:00:00	0	31.5	57	0.0	5/7/2004	1:00:00	0	25.0	96	0.0
	19:00:00	0	29.8	63	0.0		4:00:00	0	25.0	93	0.0
	22:00:00	0	28.5	71	0.0		7:00:00	0	25.0	95	0.3
29/6/2004	1:00:00	0	27.0	77	0.0		10:00:00	0	29.8	80	0.0
	4:00:00	0	26.0	82	0.0		13:00:00	0	33.0	65	0.0
	7:00:00	0	26.0	82	0.0		16:00:00	44	24.0	96	68.7
	10:00:00	0	29.0	71	0.0		19:00:00	40	24.3	96	36.7
	13:00:00	0	32.2	57	0.0		22:00:00	30	23.8	97	7.7
	16:00:00	0	32.3	56	0.0	6/7/2004	1:00:00	0	23.7	97	0.0
	19:00:00	0	31.2	59	0.0		4:00:00	0	24.0	98	0.0
	22:00:00	0	29.2	68	0.0		7:00:00	0	24.0	96	0.0
30/6/2004	1:00:00	0	27.7	77	0.0		10:00:00	0	28.5	81	0.0
	4:00:00	0	27.0	77	0.0		13:00:00	0	31.8	65	0.0
	7:00:00	0	26.5	84	0.0		16:00:00	0	32.0	64	0.0
	10:00:00	0	30.7	61	0.0		19:00:00	0	26.0	86	0.0
	13:00:00	0	33.8	50	0.0		22:00:00	14	25.3	83	1.3
	16:00:00	0	33.5	51	0.0	7/7/2004	1:00:00	0	25.0	92	0.0
	19:00:00	0	32.0	58	0.0		4:00:00	0	25.0	92	0.0
	22:00:00	0	29.5	68	0.0		7:00:00	0	25.6	92	0.0
1/7/2004	1:00:00	0	28.5	74	0.0		10:00:00	0	28.6	81	0.0
	4:00:00	0	27.0	84	0.0		13:00:00	0	32.3	63	0.0
	7:00:00	0	27.0	84	0.0		16:00:00	0	33.0	56	0.0
	10:00:00	0	31.5	63	0.0		19:00:00	0	31.7	66	0.0
	13:00:00	0	33.2	57	0.0		22:00:00	30	23.5	89	7.0
	16:00:00	0	29.7	79	0.0	8/7/2004	1:00:00	0	24.3	92	0.0
	19:00:00	0	31.0	71	0.0		4:00:00	0	24.5	92	0.0
	22:00:00	0	29.2	75	0.0		7:00:00	0	25.0	94	0.5
2/7/2004	1:00:00	0	28.0	85	0.0		10:00:00	0	29.4	69	0.0
	4:00:00	0	27.2	85	0.0		13:00:00	0	32.2	61	0.0
	7:00:00	0	27.3	85	0.0		16:00:00	0	32.8	62	0.0
	10:00:00	0	32.4	59	0.0		19:00:00	0	31.0	69	0.0
	13:00:00	0	35.0	52	0.0		22:00:00	0	29.0	70	0.0
	16:00:00	0	34.3	61	0.4	9/7/2004	1:00:00	0	27.0	81	0.0
	19:00:00	0	33.0	56	0.0		4:00:00	0	26.4	81	0.0



Sta. 405201					Sta. 405201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	7:00:00	0	25.8	85	0.0		16:00:00	0	31.0	63	0.0
	10:00:00	0	29.3	73	0.0		19:00:00	0	29.0	78	0.0
	13:00:00	0	31.5	63	0.0		22:00:00	0	27.5	82	0.0
	16:00:00	0	32.3	59	0.0	16/7/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
	19:00:00	0	30.5	66	0.0		4:00:00	0	26.0	84	0.0
	22:00:00	0	29.0	78	0.0		7:00:00	0	26.5	88	0.0
10/7/2004	1:00:00	0	25.0	80	0.0		10:00:00	0	30.5	72	0.0
	4:00:00	28	24.0	91	4.3		13:00:00	0	32.2	60	0.0
	7:00:00	18	23.5	93	1.0		16:00:00	0	32.7	55	0.0
	10:00:00	0	26.7	78	0.0		19:00:00	0	31.5	64	0.0
	13:00:00	0	29.5	67	0.0		22:00:00	0	28.8	74	0.0
	16:00:00	0	31.8	59	0.0	17/7/2004	1:00:00	0	27.5	81	0.0
	19:00:00	0	30.0	70	0.0		4:00:00	0	26.2	87	0.0
	22:00:00	26	25.0	92	4.0		7:00:00	0	26.0	88	0.0
11/7/2004	1:00:00	36	24.0	96	21.0		10:00:00	0	30.7	69	0.0
	4:00:00	38	23.5	96	30.0		13:00:00	0	33.3	57	0.0
	7:00:00	18	23.7	94	1.0		16:00:00	0	34.5	52	0.0
	10:00:00	0	27.0	81	0.0		19:00:00	0	30.0	64	0.0
	13:00:00	0	28.5	76	0.0		22:00:00	0	28.7	75	0.0
	16:00:00	0	29.4	71	0.0	18/7/2004	1:00:00	0	27.0	78	0.0
	19:00:00	0	28.5	74	0.0		4:00:00	0	25.8	84	0.0
	22:00:00	0	27.5	79	0.0		7:00:00	0	25.5	88	0.0
12/7/2004	1:00:00	26	26.2	90	3.4		10:00:00	0	29.3	71	0.0
	4:00:00	22	23.8	96	1.5		13:00:00	0	32.5	58	0.0
	7:00:00	0	24.0	91	0.0		16:00:00	24	30.3	76	2.7
	10:00:00	0	27.5	74	0.0		19:00:00	28	26.5	88	4.2
	13:00:00	0	29.8	66	0.0		22:00:00	32	24.5	92	9.7
	16:00:00	0	30.0	65	0.0	19/7/2004	1:00:00	0	25.5	80	0.0
	19:00:00	0	28.5	71	0.0		4:00:00	22	25.5	92	1.6
	22:00:00	0	27.5	81	0.0		7:00:00	12	25.7	94	0.2
13/7/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0		10:00:00	0	28.5	79	0.0
	4:00:00	0	26.0	84	0.0		13:00:00	0	31.3	67	0.0
	7:00:00	0	26.3	91	0.0		16:00:00	0	32.0	62	0.0
	10:00:00	0	29.0	76	0.0		19:00:00	0	30.2	74	0.0
	13:00:00	0	32.2	57	0.0		22:00:00	0	28.5	78	0.0
	16:00:00	0	31.5	61	0.0	20/7/2004	1:00:00	0	27.5	85	0.0
	19:00:00	0	26.0	82	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	18	24.8	93	1.8		7:00:00	0	26.5	83	0.0
14/7/2004	1:00:00	0	24.0	93	0.0		10:00:00	0	29.7	67	0.0
	4:00:00	0	24.5	93	0.0		13:00:00	0	31.8	64	0.0
	7:00:00	14	25.0	95	0.4		16:00:00	0	32.2	64	0.0
	10:00:00	0	27.4	84	0.0		19:00:00	0	29.5	73	0.0
	13:00:00	0	29.7	69	0.0		22:00:00	0	28.5	78	0.0
	16:00:00	0	30.3	73	0.0	21/7/2004	1:00:00	0	28.0	82	0.0
	19:00:00	0	28.5	77	0.0		4:00:00	12	24.7	89	0.3
	22:00:00	0	27.0	84	0.0		7:00:00	0	24.8	89	0.0
15/7/2004	1:00:00	0	26.0	89	0.0		10:00:00	0	27.5	83	0.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	30.3	70	0.0
	7:00:00	34	23.0	96	12.5		16:00:00	30	26.0	84	6.5
	10:00:00	0	26.3	86	0.0		19:00:00	12	26.0	89	1.0
	13:00:00	0	30.0	72	0.0		22:00:00	10	25.5	92	0.7



Sta. 405201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 405201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	
22/7/2004	1:00:00	0	25.5	92	0.0		10:00:00	0	27.5	83	0.0	
	4:00:00	20	25.0	92	2.5		13:00:00	0	29.5	73	0.0	
	7:00:00	0	24.3	95	0.0		16:00:00	0	26.7	83	0.0	
	10:00:00	0	26.3	86	0.0		19:00:00	0	26.5	92	0.0	
	13:00:00	0	28.5	76	0.0		22:00:00	0	25.6	90	0.0	
	16:00:00	0	30.7	63	0.0		29/7/2004	1:00:00	0	26.0	92	0.0
	19:00:00	0	26.7	87	0.0			4:00:00	0	26.1	88	0.0
23/7/2004	22:00:00	28	24.6	95	8.3	7:00:00	0	26.0	88	1.0		
	1:00:00	28	24.5	92	2.0	10:00:00	0	30.0	74	0.0		
	4:00:00	10	23.7	96	5.5	13:00:00	0	31.3	68	0.0		
	7:00:00	16	24.2	96	5.5	16:00:00	28	28.3	83	2.3		
	10:00:00	0	25.7	90	0.3	19:00:00	34	26.7	92	13.3		
	13:00:00	0	28.7	80	0.2	22:00:00	0	26.7	94	0.0		
	16:00:00	28	25.2	90	5.6	30/7/2004	1:00:00	0	26.5	96	0.0	
19:00:00	28	25.3	93	5.0	4:00:00		0	25.7	92	0.0		
22:00:00	10	25.5	92	0.2	7:00:00		0	26.0	88	0.0		
24/7/2004	1:00:00	16	24.5	96	2.4	10:00:00	0	28.7	80	0.0		
	4:00:00	0	24.5	96	0.0	13:00:00	0	30.0	75	0.0		
	7:00:00	0	25.0	96	0.0	16:00:00	0	30.3	73	0.0		
	10:00:00	0	27.7	82	0.0	19:00:00	0	28.7	80	0.0		
	13:00:00	0	30.3	67	0.0	22:00:00	0	27.0	81	0.0		
	16:00:00	0	29.0	74	0.0	31/7/2004	1:00:00	28	25.0	92	5.5	
	19:00:00	0	29.0	74	0.0		4:00:00	0	25.0	92	0.0	
22:00:00	16	25.5	88	0.7	7:00:00		0	24.5	96	0.0		
25/7/2004	1:00:00	12	25.5	92	1.0	10:00:00	0	27.6	80	0.0		
	4:00:00	24	25.0	96	2.5	13:00:00	0	29.7	72	0.0		
	7:00:00	36	24.2	96	26.5	16:00:00	0	30.2	72	0.0		
	10:00:00	0	26.7	84	0.0	19:00:00	0	28.8	79	0.0		
	13:00:00	0	28.0	81	0.0	22:00:00	0	27.7	83	0.0		
	16:00:00	20	29.3	74	3.0	1/8/2004	1:00:00	0	27.0	89	0.0	
	19:00:00	0	29.2	81	0.0		4:00:00	0	26.4	91	0.0	
22:00:00	0	28.0	87	0.0	7:00:00		0	26.0	94	0.0		
26/7/2004	1:00:00	28	25.0	84	4.9	10:00:00	0	29.0	78	0.0		
	4:00:00	26	24.0	96	3.0	13:00:00	0	30.0	72	0.0		
	7:00:00	12	24.5	96	4.0	16:00:00	0	29.3	82	0.0		
	10:00:00	0	27.0	84	0.0	19:00:00	0	28.4	86	0.0		
	13:00:00	0	29.0	77	0.0	22:00:00	18	26.5	82	0.0		
	16:00:00	0	29.6	75	0.0	2/8/2004	1:00:00	20	26.0	92	8.0	
	19:00:00	38	25.5	92	25.0		4:00:00	10	25.0	92	4.6	
22:00:00	32	25.7	94	10.3	7:00:00		0	25.0	92	0.0		
27/7/2004	1:00:00	46	24.3	97	35.0	10:00:00	0	27.0	84	0.0		
	4:00:00	38	24.0	96	25.5	13:00:00	0	30.0	68	0.0		
	7:00:00	40	24.0	96	30.5	16:00:00	0	30.3	70	0.0		
	10:00:00	36	23.5	96	23.3	19:00:00	0	29.5	75	0.0		
	13:00:00	38	24.0	96	30.9	22:00:00	0	28.5	81	0.0		
	16:00:00	16	24.8	93	0.7	3/8/2004	1:00:00	0	27.0	84	0.0	
	19:00:00	0	25.0	92	0.0		4:00:00	0	26.0	84	0.0	
22:00:00	0	25.0	92	0.0	7:00:00		0	25.7	91	0.0		
28/7/2004	1:00:00	0	25.0	92	0.0	10:00:00	0	28.0	77	0.0		
	4:00:00	0	25.0	96	0.0	13:00:00	0	30.5	64	0.0		
	7:00:00	0	24.8	93	0.0	16:00:00	0	32.0	61	0.0		





Sta. 405201					Sta. 405201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	19:00:00	0	30.2	67	0.0		4:00:00	34	24.0	96	10.9
	22:00:00	0	27.7	79	0.0		7:00:00	24	24.8	96	3.0
4/8/2004	1:00:00	0	27.0	86	0.0		10:00:00	0	27.7	78	0.0
	4:00:00	0	26.5	82	0.0		13:00:00	0	29.5	70	0.0
	7:00:00	0	26.2	81	0.0		16:00:00	0	31.5	64	0.0
	10:00:00	0	28.5	71	0.0		19:00:00	0	29.8	73	0.0
	13:00:00	0	30.0	66	0.0		22:00:00	0	28.0	77	0.0
	16:00:00	0	30.8	64	0.0	11/8/2004	1:00:00	0	26.5	80	0.0
	19:00:00	0	29.0	74	0.0		4:00:00	0	25.5	85	0.0
	22:00:00	28	25.7	90	9.5		7:00:00	0	25.0	88	0.0
5/8/2004	1:00:00	16	26.0	88	0.5		10:00:00	0	29.7	67	0.0
	4:00:00	0	26.0	86	0.0		13:00:00	0	31.0	64	0.0
	7:00:00	0	26.0	86	0.0		16:00:00	0	32.3	59	0.0
	10:00:00	0	29.7	70	0.0		19:00:00	0	30.5	69	0.0
	13:00:00	0	31.7	62	0.0		22:00:00	0	29.0	68	0.0
	16:00:00	0	32.5	60	0.0	12/8/2004	1:00:00	0	28.0	77	0.0
	19:00:00	30	25.0	88	4.0		4:00:00	0	27.0	81	0.0
	22:00:00	14	26.5	88	0.7		7:00:00	0	25.6	77	0.0
6/8/2004	1:00:00	0	26.0	89	0.0		10:00:00	0	29.5	66	0.0
	4:00:00	0	25.5	88	0.0		13:00:00	0	31.5	61	0.0
	7:00:00	0	25.0	88	0.0		16:00:00	0	31.6	63	0.0
	10:00:00	0	28.6	76	0.0		19:00:00	0	29.8	68	0.0
	13:00:00	0	30.7	65	0.0		22:00:00	0	28.5	72	0.0
	16:00:00	0	32.0	62	0.0	13/8/2004	1:00:00	0	27.7	70	0.0
	19:00:00	0	30.2	70	0.0		4:00:00	0	27.0	78	0.0
	22:00:00	0	28.7	78	0.0		7:00:00	0	26.3	82	0.0
7/8/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0		10:00:00	0	29.2	70	0.0
	4:00:00	0	26.3	86	0.0		13:00:00	0	31.5	60	0.0
	7:00:00	18	26.3	92	1.2		16:00:00	0	33.2	59	0.0
	10:00:00	0	28.7	75	0.0		19:00:00	26	26.5	84	3.8
	13:00:00	0	32.0	61	0.0		22:00:00	12	27.2	89	0.3
	16:00:00	0	31.7	62	0.0	14/8/2004	1:00:00	0	26.5	88	0.0
	19:00:00	0	30.4	69	0.0		4:00:00	0	26.7	79	0.0
	22:00:00	0	29.3	81	0.0		7:00:00	0	26.0	80	0.0
8/8/2004	1:00:00	0	27.0	86	0.0		10:00:00	0	29.0	65	0.0
	4:00:00	44	23.5	93	73.7		13:00:00	0	31.0	60	0.0
	7:00:00	28	24.7	94	5.5		16:00:00	0	31.5	57	0.0
	10:00:00	0	26.3	90	0.0		19:00:00	0	29.5	68	0.0
	13:00:00	0	29.0	76	0.0		22:00:00	0	28.5	71	0.0
	16:00:00	0	29.0	76	0.0	15/8/2004	1:00:00	0	27.5	74	0.0
	19:00:00	0	29.0	78	0.0		4:00:00	0	27.0	77	0.0
	22:00:00	0	27.0	84	0.0		7:00:00	0	26.5	75	0.0
9/8/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0		10:00:00	0	29.2	65	0.0
	4:00:00	16	25.0	92	14.8		13:00:00	0	30.0	61	0.0
	7:00:00	0	25.0	92	0.0		16:00:00	0	28.6	67	0.0
	10:00:00	0	27.0	81	0.0		19:00:00	0	27.2	77	0.0
	13:00:00	0	30.0	72	0.0		22:00:00	0	26.2	80	0.0
	16:00:00	0	31.2	64	0.0	16/8/2004	1:00:00	0	25.3	91	0.0
	19:00:00	0	29.7	73	0.0		4:00:00	16	25.0	93	1.6
	22:00:00	34	25.2	94	15.5		7:00:00	0	25.5	93	0.0
10/8/2004	1:00:00	40	24.0	93	34.5		10:00:00	0	29.7	66	0.0



Sta. 405201					Sta. 405201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	13:00:00	0	31.4	63	0.0		22:00:00	0	27.5	90	0.0
	16:00:00	0	31.0	63	0.0	23/8/2004	1:00:00	0	27.0	92	0.0
	19:00:00	0	30.0	70	0.0		4:00:00	0	26.2	95	0.0
	22:00:00	0	28.6	82	0.0		7:00:00	0	26.5	92	0.0
17/8/2004	1:00:00	14	27.0	84	3.0		10:00:00	0	29.5	76	0.0
	4:00:00	0	26.0	88	0.0		13:00:00	0	32.3	63	0.0
	7:00:00	0	26.0	88	0.0		16:00:00	0	32.5	64	0.0
	10:00:00	0	29.8	70	0.0		19:00:00	0	26.5	80	0.0
	13:00:00	0	32.3	61	0.0		22:00:00	28	25.5	92	4.7
	16:00:00	0	30.5	66	0.0	24/8/2004	1:00:00	28	25.0	92	5.0
	19:00:00	0	29.0	81	0.0		4:00:00	0	25.0	92	0.0
	22:00:00	34	25.7	90	13.0		7:00:00	0	25.5	96	0.0
18/8/2004	1:00:00	18	26.0	92	0.6		10:00:00	0	30.5	72	0.0
	4:00:00	0	26.0	84	0.0		13:00:00	0	32.3	65	0.0
	7:00:00	0	26.7	94	0.0		16:00:00	0	32.7	61	0.0
	10:00:00	0	30.0	76	0.0		19:00:00	0	31.3	70	0.0
	13:00:00	0	32.3	62	0.0		22:00:00	0	29.5	84	0.0
	16:00:00	0	32.7	63	0.0	25/8/2004	1:00:00	0	28.5	79	0.0
	19:00:00	0	30.8	70	0.0		4:00:00	0	27.2	86	0.0
	22:00:00	20	26.5	86	1.4		7:00:00	0	27.3	87	0.0
19/8/2004	1:00:00	36	24.0	96	16.0		10:00:00	0	31.3	69	0.0
	4:00:00	18	24.7	96	2.9		13:00:00	0	32.6	62	0.0
	7:00:00	0	25.3	95	0.0		16:00:00	0	33.2	59	0.0
	10:00:00	0	27.0	87	0.0		19:00:00	0	31.3	70	0.0
	13:00:00	0	30.2	70	0.0		22:00:00	0	29.5	75	0.0
	16:00:00	0	31.6	68	0.0	26/8/2004	1:00:00	0	27.5	85	0.0
	19:00:00	18	27.2	91	1.5		4:00:00	0	28.3	80	0.0
	22:00:00	30	26.2	94	7.0		7:00:00	0	28.0	77	0.0
20/8/2004	1:00:00	46	23.6	97	33.8		10:00:00	0	30.5	69	0.0
	4:00:00	18	24.5	96	1.2		13:00:00	0	32.8	59	0.0
	7:00:00	0	24.5	96	0.0		16:00:00	0	33.7	56	0.0
	10:00:00	0	26.0	88	0.0		19:00:00	0	31.5	66	0.0
	13:00:00	0	28.0	81	0.0		22:00:00	0	30.0	80	0.0
	16:00:00	0	29.8	73	0.0	27/8/2004	1:00:00	0	29.0	74	0.0
	19:00:00	0	28.5	85	0.0		4:00:00	0	28.0	81	0.0
	22:00:00	0	27.5	88	0.0		7:00:00	0	27.2	83	0.0
21/8/2004	1:00:00	0	27.0	88	0.0		10:00:00	0	31.0	66	0.0
	4:00:00	0	26.0	88	0.0		13:00:00	0	33.0	59	0.0
	7:00:00	0	25.8	92	0.3		16:00:00	0	33.2	53	0.0
	10:00:00	0	28.0	83	0.0		19:00:00	0	31.8	66	0.0
	13:00:00	0	30.0	73	0.0		22:00:00	0	29.6	77	0.0
	16:00:00	0	31.6	64	0.0	28/8/2004	1:00:00	0	28.5	78	0.0
	19:00:00	0	30.5	73	0.0		4:00:00	0	27.5	81	0.0
	22:00:00	0	29.0	84	0.0		7:00:00	0	27.0	84	0.0
22/8/2004	1:00:00	0	27.0	84	0.0		10:00:00	0	30.7	68	0.0
	4:00:00	0	26.0	92	0.0		13:00:00	0	32.0	58	0.0
	7:00:00	0	26.5	92	0.0		16:00:00	0	33.3	57	0.0
	10:00:00	0	28.5	83	0.0		19:00:00	0	31.4	71	0.0
	13:00:00	0	28.6	78	0.0		22:00:00	0	29.5	75	0.0
	16:00:00	0	29.6	78	0.0	29/8/2004	1:00:00	16	26.0	84	0.2
	19:00:00	0	28.5	84	0.0		4:00:00	0	26.1	85	0.0



Sta. 405201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	26.5	88	0.0
	10:00:00	0	29.0	74	0.0
	13:00:00	0	30.5	69	0.0
	16:00:00	0	30.0	72	0.0
	19:00:00	0	28.7	80	0.0
	22:00:00	0	28.0	85	0.0
30/8/2004	1:00:00	0	27.5	85	0.0
	4:00:00	0	27.0	84	0.0
	7:00:00	0	26.5	88	0.0
	10:00:00	0	28.2	82	0.0
	13:00:00	0	28.2	83	0.0
	16:00:00	0	28.0	85	0.0
	19:00:00	0	27.6	86	0.0
	22:00:00	0	27.3	90	0.0
31/8/2004	1:00:00	0	26.7	92	0.0
	4:00:00	0	26.3	90	0.0
	7:00:00	12	26.3	90	0.7
	10:00:00	0	29.4	75	0.0
	13:00:00	0	31.7	66	0.0
	16:00:00	0	32.2	63	0.0
	19:00:00	0	30.0	78	0.0
	22:00:00	0	29.0	81	0.0



ชุดข้อมูลนำเข้าที่สถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	
1/6/2004	1:00:00	16	23.4	91	2.5		10:00:00	0	30.3	65	0.0	
	4:00:00	12	24.1	93	0.5		13:00:00	18	32.0	63	0.0	
	7:00:00	10	24.3	95	0.3		16:00:00	38	26.5	83	23.8	
	10:00:00	0	30.2	72	0.0		19:00:00	20	27.2	87	1.1	
	13:00:00	0	33.5	50	0.0		22:00:00	0	26.2	90	0.0	
	16:00:00	0	35.1	46	0.0		8/6/2004	1:00:00	0	25.4	89	0.0
	19:00:00	14	31.0	63	0.2			4:00:00	0	24.8	93	0.0
2/6/2004	22:00:00	10	29.1	70	0.0	7:00:00	0	26.5	82	0.0		
	1:00:00	10	27.2	84	0.0	10:00:00	0	28.6	76	0.0		
	4:00:00	0	26.7	87	0.0	13:00:00	0	32.5	58	0.0		
	7:00:00	0	26.2	86	0.0	16:00:00	0	32.5	59	0.0		
	10:00:00	0	31.8	60	0.0	19:00:00	0	29.0	73	0.0		
	13:00:00	0	34.8	47	0.0	22:00:00	14	27.0	87	0.4		
	16:00:00	0	32.0	58	0.0	9/6/2004	1:00:00	0	26.6	88	0.0	
19:00:00	0	28.2	72	0.0	4:00:00		0	26.0	89	0.0		
22:00:00	0	27.2	79	0.0	7:00:00		0	26.1	89	0.0		
3/6/2004	1:00:00	10	26.0	85	0.0	10:00:00	12	29.4	75	0.0		
	4:00:00	10	25.6	86	0.0	13:00:00	0	31.0	66	0.0		
	7:00:00	10	26.1	86	0.0	16:00:00	12	28.9	71	0.0		
	10:00:00	0	32.5	57	0.0	19:00:00	14	26.1	90	0.5		
	13:00:00	0	35.0	48	0.0	22:00:00	0	26.0	92	0.0		
	16:00:00	0	36.0	44	0.0	10/6/2004	1:00:00	16	25.0	94	1.0	
	19:00:00	36	28.7	73	0.0		4:00:00	38	24.5	97	14.5	
22:00:00	30	28.0	74	0.0	7:00:00		10	24.7	94	0.1		
4/6/2004	1:00:00	12	27.0	80	0.0	10:00:00	0	29.0	76	0.0		
	4:00:00	0	26.0	84	0.0	13:00:00	0	31.6	61	0.0		
	7:00:00	0	25.8	85	0.0	16:00:00	0	31.5	66	0.0		
	10:00:00	0	32.2	57	0.0	19:00:00	0	27.7	84	0.0		
	13:00:00	0	34.7	48	0.0	22:00:00	0	26.5	83	0.0		
	16:00:00	20	33.0	58	0.0	11/6/2004	1:00:00	0	25.8	85	0.0	
	19:00:00	32	25.2	86	1.6		4:00:00	0	25.2	88	0.0	
22:00:00	0	26.0	85	0.0	7:00:00		0	25.5	88	0.0		
5/6/2004	1:00:00	0	26.4	84	0.0	10:00:00	0	29.5	69	0.0		
	4:00:00	0	25.8	85	0.0	13:00:00	0	32.0	61	0.0		
	7:00:00	0	26.2	90	0.0	16:00:00	0	32.5	57	0.0		
	10:00:00	0	32.0	61	0.0	19:00:00	26	24.8	93	5.7		
	13:00:00	0	35.6	42	0.0	22:00:00	18	24.9	93	1.3		
	16:00:00	0	36.3	42	0.0	12/6/2004	1:00:00	10	24.7	95	0.7	
	19:00:00	0	31.8	56	0.0		4:00:00	20	24.5	96	2.5	
22:00:00	0	28.8	66	0.0	7:00:00		28	24.6	95	6.0		
6/6/2004	1:00:00	0	27.5	74	0.0	10:00:00	0	25.4	93	0.0		
	4:00:00	0	27.0	79	0.0	13:00:00	0	30.2	69	0.0		
	7:00:00	0	26.9	83	0.0	16:00:00	0	32.4	56	0.0		
	10:00:00	0	34.5	51	0.0	19:00:00	0	31.2	58	0.0		
	13:00:00	0	36.2	46	0.0	22:00:00	0	28.8	77	0.0		
	16:00:00	20	37.6	41	0.0	13/6/2004	1:00:00	16	27.2	87	0.0	
	19:00:00	0	29.4	71	0.0		4:00:00	0	26.1	89	0.0	
22:00:00	0	28.5	75	0.0	7:00:00		0	26.2	89	0.0		
7/6/2004	1:00:00	0	27.4	85	0.0		10:00:00	0	28.9	77	0.0	
4:00:00	0	26.5	88	0.0	13:00:00	0	30.5	66	0.0			
7:00:00	0	26.7	84	0.0	16:00:00	38	27.4	85	8.9			



Sta. 431201					Sta. 431201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	19:00:00	30	25.3	90	1.3		4:00:00	0	25.3	84	0.0
	22:00:00	34	24.7	94	6.3		7:00:00	0	25.7	86	0.0
14/6/2004	1:00:00	22	24.3	96	14.5		10:00:00	0	30.5	69	0.0
	4:00:00	38	24.1	97	34.5		13:00:00	0	32.4	59	0.0
	7:00:00	18	24.0	96	3.7		16:00:00	0	31.5	64	0.0
	10:00:00	24	25.0	95	15.4		19:00:00	0	28.5	75	0.0
	13:00:00	10	26.7	88	0.5		22:00:00	0	27.0	84	0.0
	16:00:00	12	27.4	86	0.8	21/6/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
	19:00:00	10	26.5	89	0.2		4:00:00	0	25.7	86	0.0
	22:00:00	14	25.5	89	0.4		7:00:00	0	26.3	83	0.0
15/6/2004	1:00:00	12	25.2	92	0.2		10:00:00	0	31.8	63	0.0
	4:00:00	10	25.0	92	0.1		13:00:00	0	33.7	50	0.0
	7:00:00	0	24.7	92	0.0		16:00:00	0	34.0	50	0.0
	10:00:00	0	28.9	70	0.0		19:00:00	0	30.9	63	0.0
	13:00:00	0	29.8	66	0.0		22:00:00	0	28.5	73	0.0
	16:00:00	0	29.3	71	0.0	22/6/2004	1:00:00	0	27.4	75	0.0
	19:00:00	0	26.8	82	0.0		4:00:00	0	25.8	82	0.0
	22:00:00	0	26.2	85	0.0		7:00:00	10	26.5	78	0.0
16/6/2004	1:00:00	0	24.8	86	0.0		10:00:00	0	30.9	58	0.0
	4:00:00	0	24.6	91	0.0		13:00:00	0	33.0	53	0.0
	7:00:00	0	25.0	89	0.0		16:00:00	0	32.7	55	0.0
	10:00:00	0	30.2	67	0.0		19:00:00	18	27.1	71	0.0
	13:00:00	0	31.4	63	0.0		22:00:00	26	25.3	90	4.1
	16:00:00	32	25.8	89	11.5	23/6/2004	1:00:00	0	26.3	77	0.0
	19:00:00	24	24.5	92	2.4		4:00:00	0	26.2	77	0.0
	22:00:00	10	23.8	94	0.2		7:00:00	0	26.5	73	0.0
17/6/2004	1:00:00	0	24.2	92	0.0		10:00:00	0	28.7	68	0.0
	4:00:00	0	24.4	89	0.0		13:00:00	0	32.4	55	0.0
	7:00:00	0	25.0	87	0.0		16:00:00	0	32.8	53	0.0
	10:00:00	0	28.1	72	0.0		19:00:00	0	29.5	66	0.0
	13:00:00	12	30.4	69	0.0		22:00:00	0	27.7	70	0.0
	16:00:00	0	27.8	75	0.0	24/6/2004	1:00:00	0	27.0	66	0.0
	19:00:00	0	27.1	76	0.0		4:00:00	0	26.7	68	0.0
	22:00:00	0	25.8	82	0.0		7:00:00	0	26.5	71	0.0
18/6/2004	1:00:00	0	24.7	87	0.0		10:00:00	0	29.6	61	0.0
	4:00:00	0	24.3	87	0.0		13:00:00	0	31.8	53	0.0
	7:00:00	0	24.8	87	0.0		16:00:00	0	32.7	53	0.0
	10:00:00	0	30.6	65	0.0		19:00:00	0	29.8	61	0.0
	13:00:00	14	30.6	66	0.0		22:00:00	0	27.5	74	0.0
	16:00:00	30	26.6	84	8.0	25/6/2004	1:00:00	0	26.0	76	0.0
	19:00:00	0	28.0	73	0.0		4:00:00	0	25.0	80	0.0
	22:00:00	0	26.0	84	0.0		7:00:00	0	26.5	73	0.0
19/6/2004	1:00:00	0	25.4	76	0.0		10:00:00	0	31.8	56	0.0
	4:00:00	0	24.2	84	0.0		13:00:00	0	32.9	53	0.0
	7:00:00	0	24.6	83	0.0		16:00:00	0	31.8	58	0.0
	10:00:00	0	30.8	67	0.0		19:00:00	0	30.0	67	0.0
	13:00:00	0	32.8	56	0.0		22:00:00	0	27.8	75	0.0
	16:00:00	0	31.5	64	0.0	26/6/2004	1:00:00	0	26.3	81	0.0
	19:00:00	0	27.5	68	0.0		4:00:00	0	26.1	79	0.0
	22:00:00	0	26.6	75	0.0		7:00:00	0	26.0	74	0.0
20/6/2004	1:00:00	0	26.0	79	0.0		10:00:00	0	31.4	55	0.0



Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	13:00:00	0	33.6	48	0.0		22:00:00	0	30.4	65	0.0
	16:00:00	0	33.0	53	0.0	3/7/2004	1:00:00	0	28.3	78	0.0
	19:00:00	0	31.0	62	0.0		4:00:00	0	27.4	77	0.0
	22:00:00	0	27.8	78	0.0		7:00:00	0	27.2	79	0.0
27/6/2004	1:00:00	0	27.0	82	0.0		10:00:00	0	32.6	58	0.0
	4:00:00	0	26.4	85	0.0		13:00:00	0	35.0	49	0.0
	7:00:00	0	26.5	77	0.0		16:00:00	0	35.7	46	0.0
	10:00:00	0	31.5	60	0.0		19:00:00	28	29.0	83	4.6
	13:00:00	0	32.4	55	0.0		22:00:00	14	27.7	85	0.4
	16:00:00	0	32.3	53	0.0	4/7/2004	1:00:00	0	27.2	86	0.0
	19:00:00	0	30.5	61	0.0		4:00:00	0	26.8	86	0.0
	22:00:00	0	27.6	73	0.0		7:00:00	0	27.0	82	0.0
28/6/2004	1:00:00	0	25.8	79	0.0		10:00:00	0	32.5	58	0.0
	4:00:00	0	24.7	82	0.0		13:00:00	0	34.7	49	0.0
	7:00:00	0	25.8	78	0.0		16:00:00	0	35.4	47	0.0
	10:00:00	0	31.8	54	0.0		19:00:00	0	32.6	59	0.0
	13:00:00	0	31.3	55	0.0		22:00:00	0	30.4	73	0.0
	16:00:00	0	30.7	61	0.0	5/7/2004	1:00:00	0	29.0	74	0.0
	19:00:00	0	30.2	65	0.0		4:00:00	0	27.7	81	0.0
	22:00:00	26	25.8	89	4.4		7:00:00	0	27.4	82	0.0
29/6/2004	1:00:00	0	25.4	90	0.0		10:00:00	0	32.0	61	0.0
	4:00:00	0	24.6	91	0.0		13:00:00	0	34.5	53	0.0
	7:00:00	0	25.1	88	0.0		16:00:00	16	27.5	81	0.6
	10:00:00	0	30.1	63	0.0		19:00:00	0	28.0	80	0.0
	13:00:00	0	32.9	53	0.0		22:00:00	0	26.4	86	0.0
	16:00:00	0	31.4	59	0.0	6/7/2004	1:00:00	0	25.9	89	0.0
	19:00:00	0	30.7	61	0.0		4:00:00	0	25.5	92	0.0
	22:00:00	0	28.6	72	0.0		7:00:00	0	26.0	89	0.0
30/6/2004	1:00:00	0	27.2	80	0.0		10:00:00	0	32.8	59	0.0
	4:00:00	0	26.0	84	0.0		13:00:00	0	33.8	57	0.0
	7:00:00	0	26.2	82	0.0		16:00:00	24	27.6	80	2.5
	10:00:00	0	32.2	57	0.0		19:00:00	0	27.2	82	0.0
	13:00:00	0	34.3	48	0.0		22:00:00	0	27.0	84	0.0
	16:00:00	0	34.8	45	0.0	7/7/2004	1:00:00	0	26.4	89	0.0
	19:00:00	0	32.4	53	0.0		4:00:00	0	25.4	89	0.0
	22:00:00	0	29.2	70	0.0		7:00:00	0	26.1	85	0.0
1/7/2004	1:00:00	0	27.7	79	0.0		10:00:00	0	32.1	62	0.0
	4:00:00	0	26.9	84	0.0		13:00:00	0	33.2	58	0.0
	7:00:00	0	27.2	80	0.0		16:00:00	0	29.7	62	0.0
	10:00:00	0	32.2	58	0.0		19:00:00	0	27.5	76	0.0
	13:00:00	0	34.2	54	0.0		22:00:00	22	25.7	86	2.0
	16:00:00	0	35.7	48	0.0	8/7/2004	1:00:00	0	25.1	90	0.0
	19:00:00	0	32.3	55	0.0		4:00:00	0	24.5	90	0.0
	22:00:00	0	29.3	70	0.0		7:00:00	0	25.0	90	0.0
2/7/2004	1:00:00	0	28.0	80	0.0		10:00:00	0	30.0	66	0.0
	4:00:00	0	27.0	79	0.0		13:00:00	0	33.0	58	0.0
	7:00:00	0	26.8	78	0.0		16:00:00	0	30.0	59	0.0
	10:00:00	0	32.6	55	0.0		19:00:00	36	24.6	91	18.2
	13:00:00	0	35.0	49	0.0		22:00:00	12	24.8	92	0.3
	16:00:00	0	35.7	42	0.0	9/7/2004	1:00:00	0	24.7	92	0.0
	19:00:00	0	32.8	56	0.0		4:00:00	0	24.3	94	0.0



Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	25.0	89	0.0		16:00:00	0	32.2	60	0.0
	10:00:00	0	30.2	64	0.0		19:00:00	0	29.6	71	0.0
	13:00:00	0	33.1	54	0.0		22:00:00	0	28.0	81	0.0
	16:00:00	0	33.1	53	0.0	16/7/2004	1:00:00	0	27.0	81	0.0
	19:00:00	0	29.6	70	0.0		4:00:00	0	26.1	83	0.0
	22:00:00	0	28.1	77	0.0		7:00:00	0	26.0	84	0.0
10/7/2004	1:00:00	22	23.6	91	1.6		10:00:00	0	32.1	55	0.0
	4:00:00	18	22.9	91	0.9		13:00:00	0	34.5	47	0.0
	7:00:00	0	23.2	92	0.0		16:00:00	0	36.0	41	0.0
	10:00:00	0	29.7	66	0.0		19:00:00	38	25.7	89	27.0
	13:00:00	0	32.7	55	0.0		22:00:00	0	25.7	90	0.0
	16:00:00	0	33.8	53	0.0	17/7/2004	1:00:00	0	25.3	92	0.0
	19:00:00	10	27.3	79	0.2		4:00:00	0	25.0	92	0.0
	22:00:00	24	25.1	91	2.8		7:00:00	0	25.2	91	0.0
11/7/2004	1:00:00	20	24.9	92	1.3		10:00:00	0	31.3	64	0.0
	4:00:00	0	24.4	92	0.0		13:00:00	0	34.2	52	0.0
	7:00:00	0	24.6	94	0.0		16:00:00	0	32.2	57	0.0
	10:00:00	0	28.5	73	0.0		19:00:00	0	30.1	68	0.0
	13:00:00	0	30.6	58	0.0		22:00:00	0	28.5	75	0.0
	16:00:00	0	32.1	55	0.0	18/7/2004	1:00:00	0	26.6	75	0.0
	19:00:00	0	29.4	75	0.0		4:00:00	0	25.4	83	0.0
	22:00:00	0	27.4	74	0.0		7:00:00	0	26.1	80	0.0
12/7/2004	1:00:00	0	24.8	81	0.0		10:00:00	0	30.7	60	0.0
	4:00:00	0	24.6	86	0.0		13:00:00	0	33.5	51	0.0
	7:00:00	0	24.7	89	0.0		16:00:00	0	33.6	52	0.0
	10:00:00	0	28.3	66	0.0		19:00:00	0	31.7	59	0.0
	13:00:00	0	31.2	56	0.0		22:00:00	0	29.5	71	0.0
	16:00:00	0	31.7	54	0.0	19/7/2004	1:00:00	30	23.4	88	7.6
	19:00:00	0	29.2	67	0.0		4:00:00	24	24.5	93	2.3
	22:00:00	0	27.3	78	0.0		7:00:00	0	25.2	93	0.0
13/7/2004	1:00:00	0	26.2	83	0.0		10:00:00	0	31.2	64	0.0
	4:00:00	0	25.5	85	0.0		13:00:00	0	33.0	56	0.0
	7:00:00	0	25.8	86	0.0		16:00:00	0	33.5	59	0.0
	10:00:00	0	30.9	62	0.0		19:00:00	0	30.5	60	0.0
	13:00:00	0	32.2	60	0.0		22:00:00	0	28.0	70	0.0
	16:00:00	34	27.9	83	13.0	20/7/2004	1:00:00	0	26.8	75	0.0
	19:00:00	12	26.6	82	0.1		4:00:00	0	25.6	79	0.0
	22:00:00	0	25.5	88	0.0		7:00:00	0	25.7	80	0.0
14/7/2004	1:00:00	0	25.3	89	0.0		10:00:00	0	29.3	66	0.0
	4:00:00	0	25.0	88	0.0		13:00:00	0	32.5	56	0.0
	7:00:00	0	25.0	90	0.0		16:00:00	0	33.5	56	0.0
	10:00:00	0	30.1	65	0.0		19:00:00	0	31.8	62	0.0
	13:00:00	0	32.9	51	0.0		22:00:00	0	28.5	74	0.0
	16:00:00	0	34.6	45	0.0	21/7/2004	1:00:00	0	27.5	76	0.0
	19:00:00	0	32.0	55	0.0		4:00:00	0	27.0	81	0.0
	22:00:00	10	28.6	72	0.0		7:00:00	0	26.5	81	0.0
15/7/2004	1:00:00	20	25.8	92	1.3		10:00:00	0	29.4	64	0.0
	4:00:00	18	25.6	93	1.0		13:00:00	0	31.5	57	0.0
	7:00:00	10	25.6	92	0.1		16:00:00	0	32.8	54	0.0
	10:00:00	0	27.8	75	0.0		19:00:00	0	29.6	65	0.0
	13:00:00	0	30.3	70	0.0		22:00:00	0	26.8	79	0.0



Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	
22/7/2004	1:00:00	0	25.4	91	0.2		10:00:00	0	28.6	71	0.0	
	4:00:00	18	25.4	92	1.5		13:00:00	0	30.3	60	0.0	
	7:00:00	20	24.6	92	1.8		16:00:00	0	31.8	55	0.0	
	10:00:00	0	27.4	76	0.0		19:00:00	0	29.1	64	0.0	
	13:00:00	0	30.0	61	0.0		22:00:00	0	27.0	77	0.0	
	16:00:00	0	30.4	62	0.0		29/7/2004	1:00:00	0	26.4	77	0.0
	19:00:00	0	28.5	71	0.0			4:00:00	0	24.3	83	0.0
	22:00:00	0	27.6	77	0.0			7:00:00	0	25.0	81	0.0
23/7/2004	1:00:00	32	24.1	92	15.5	10:00:00		0	28.5	72	0.0	
	4:00:00	14	24.6	95	0.5	13:00:00	0	31.9	51	0.0		
	7:00:00	10	24.6	94	0.1	16:00:00	0	33.5	50	0.0		
	10:00:00	10	27.5	78	0.1	19:00:00	0	30.2	65	0.0		
	13:00:00	0	30.4	60	0.0	22:00:00	0	28.1	71	0.0		
	16:00:00	0	31.5	60	0.0	30/7/2004	1:00:00	0	26.4	81	0.0	
	19:00:00	22	25.6	88	6.0		4:00:00	0	25.0	87	0.0	
	22:00:00	0	25.5	92	0.2		7:00:00	0	24.8	86	0.0	
24/7/2004	1:00:00	0	25.4	90	0.0		10:00:00	0	30.0	65	0.0	
	4:00:00	0	24.2	87	0.0	13:00:00	0	32.6	53	0.0		
	7:00:00	0	24.5	86	0.0	16:00:00	0	33.0	54	0.0		
	10:00:00	0	29.5	65	0.0	19:00:00	0	30.5	66	0.0		
	13:00:00	0	31.1	60	0.0	22:00:00	14	28.2	81	0.1		
	16:00:00	0	32.3	55	0.0	31/7/2004	1:00:00	26	26.2	95	4.3	
	19:00:00	0	30.2	65	0.0		4:00:00	28	25.0	94	1.9	
	22:00:00	0	27.4	81	0.0		7:00:00	12	25.2	94	0.3	
25/7/2004	1:00:00	0	25.2	86	0.0		10:00:00	0	28.8	77	0.0	
	4:00:00	0	24.5	86	0.0	13:00:00	0	31.0	63	0.0		
	7:00:00	0	24.5	88	0.0	16:00:00	0	31.6	63	0.0		
	10:00:00	0	28.5	73	0.0	19:00:00	0	27.4	77	0.0		
	13:00:00	0	32.2	58	0.0	22:00:00	14	26.3	86	0.3		
	16:00:00	0	32.2	57	0.0	1/8/2004	1:00:00	26	24.6	92	3.7	
	19:00:00	0	29.6	65	0.0		4:00:00	24	24.1	93	26.0	
	22:00:00	16	25.0	85	0.6		7:00:00	10	24.3	94	0.1	
26/7/2004	1:00:00	0	25.0	88	0.0		10:00:00	0	29.2	75	0.0	
	4:00:00	0	25.0	90	0.0	13:00:00	0	31.2	64	0.0		
	7:00:00	0	25.4	84	0.0	16:00:00	38	26.2	86	26.7		
	10:00:00	0	28.1	72	0.0	19:00:00	24	25.5	93	11.6		
	13:00:00	0	31.2	61	0.0	22:00:00	14	25.6	95	0.5		
	16:00:00	0	32.2	56	0.0	2/8/2004	1:00:00	14	25.1	93	0.4	
	19:00:00	0	29.7	63	0.0		4:00:00	24	24.8	94	2.6	
	22:00:00	0	27.7	77	0.0		7:00:00	10	25.1	95	0.1	
27/7/2004	1:00:00	10	26.2	82	0.2		10:00:00	0	27.2	74	0.0	
	4:00:00	24	25.0	88	0.3	13:00:00	0	31.0	62	0.0		
	7:00:00	26	23.9	92	2.7	16:00:00	0	31.6	60	0.0		
	10:00:00	22	24.9	89	1.8	19:00:00	0	27.5	83	0.0		
	13:00:00	24	26.7	90	3.0	22:00:00	22	25.7	91	19.1		
	16:00:00	0	29.2	73	0.1	3/8/2004	1:00:00	10	24.3	90	0.1	
	19:00:00	0	27.9	76	0.0		4:00:00	0	24.1	94	1.7	
	22:00:00	24	26.3	90	2.0		7:00:00	0	24.5	93	0.0	
28/7/2004	1:00:00	0	25.0	92	0.0		10:00:00	0	29.7	66	0.0	
	4:00:00	0	24.2	90	0.0	13:00:00	0	30.5	64	0.0		
	7:00:00	0	24.0	91	0.0	16:00:00	20	29.5	73	2.4		





Sta. 431201					Sta. 431201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	19:00:00	24	26.5	88	2.8		4:00:00	0	24.7	89	0.0
	22:00:00	0	25.2	88	0.0		7:00:00	0	24.7	88	0.0
4/8/2004	1:00:00	0	24.8	89	0.0		10:00:00	10	27.1	73	0.1
	4:00:00	0	24.5	89	0.0		13:00:00	0	30.6	63	0.0
	7:00:00	0	24.9	89	0.0		16:00:00	0	32.1	55	0.0
	10:00:00	0	29.0	68	0.0		19:00:00	0	29.6	64	0.0
	13:00:00	0	32.0	57	0.0		22:00:00	0	25.6	79	0.0
	16:00:00	0	32.1	53	0.0	11/8/2004	1:00:00	0	25.1	83	0.0
	19:00:00	0	29.0	60	0.0		4:00:00	0	24.4	87	0.0
	22:00:00	0	26.5	77	0.0		7:00:00	0	24.1	86	0.0
5/8/2004	1:00:00	0	25.5	86	0.0		10:00:00	0	30.2	63	0.0
	4:00:00	0	25.2	86	0.0		13:00:00	0	31.5	56	0.0
	7:00:00	0	25.7	84	0.0		16:00:00	0	31.3	58	0.0
	10:00:00	0	30.9	60	0.0		19:00:00	0	29.0	65	0.0
	13:00:00	0	32.9	54	0.0		22:00:00	0	27.4	72	0.0
	16:00:00	0	32.5	54	0.0	12/8/2004	1:00:00	0	26.1	81	0.0
	19:00:00	0	30.9	60	0.0		4:00:00	0	24.8	84	0.0
	22:00:00	0	25.6	78	0.0		7:00:00	0	24.6	91	0.0
6/8/2004	1:00:00	0	24.8	85	0.0		10:00:00	0	30.1	63	0.0
	4:00:00	0	24.5	92	0.0		13:00:00	0	32.0	53	0.0
	7:00:00	0	24.3	85	0.0		16:00:00	16	29.0	68	1.6
	10:00:00	0	29.2	67	0.0		19:00:00	0	29.0	70	0.1
	13:00:00	0	32.3	55	0.0		22:00:00	0	27.7	70	0.0
	16:00:00	0	31.5	60	0.0	13/8/2004	1:00:00	0	26.7	72	0.0
	19:00:00	0	29.4	69	0.0		4:00:00	0	25.9	76	0.0
	22:00:00	0	27.6	74	0.0		7:00:00	0	25.6	78	0.0
7/8/2004	1:00:00	0	26.8	78	0.0		10:00:00	0	30.0	62	0.0
	4:00:00	0	25.5	84	0.0		13:00:00	0	32.9	51	0.0
	7:00:00	0	25.5	85	0.0		16:00:00	0	33.2	49	0.0
	10:00:00	0	29.9	61	0.0		19:00:00	0	30.0	61	0.0
	13:00:00	0	33.4	56	0.0		22:00:00	0	27.5	75	0.0
	16:00:00	0	33.8	54	0.0	14/8/2004	1:00:00	0	26.0	79	0.0
	19:00:00	18	27.3	87	9.7		4:00:00	0	25.0	80	0.0
	22:00:00	0	26.7	91	0.0		7:00:00	0	25.3	76	0.0
8/8/2004	1:00:00	18	25.8	88	0.3		10:00:00	0	30.7	58	0.0
	4:00:00	22	25.4	93	4.2		13:00:00	0	32.7	51	0.0
	7:00:00	10	24.7	94	0.2		16:00:00	0	31.8	54	0.0
	10:00:00	0	28.0	77	0.0		19:00:00	0	29.5	64	0.0
	13:00:00	0	31.8	59	0.0		22:00:00	0	27.8	72	0.0
	16:00:00	0	31.0	63	0.0	15/8/2004	1:00:00	0	26.5	84	0.0
	19:00:00	0	30.2	65	0.0		4:00:00	0	25.8	79	0.0
	22:00:00	0	27.1	73	0.0		7:00:00	0	26.0	69	0.0
9/8/2004	1:00:00	16	24.8	90	0.7		10:00:00	0	29.0	63	0.0
	4:00:00	24	24.1	94	2.7		13:00:00	0	31.3	55	0.0
	7:00:00	12	24.3	93	0.3		16:00:00	0	31.8	51	0.0
	10:00:00	0	27.9	73	0.0		19:00:00	0	29.0	62	0.0
	13:00:00	0	31.0	62	0.0		22:00:00	0	27.5	70	0.0
	16:00:00	0	31.6	60	0.0	16/8/2004	1:00:00	0	26.2	72	0.0
	19:00:00	14	29.7	67	0.4		4:00:00	0	25.8	74	0.0
	22:00:00	16	25.6	80	0.5		7:00:00	0	25.6	78	0.0
10/8/2004	1:00:00	12	25.0	88	0.3		10:00:00	0	31.3	56	0.0



Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	13:00:00	0	33.4	50	0.0		22:00:00	0	28.0	81	0.0
	16:00:00	0	32.6	53	0.0	23/8/2004	1:00:00	0	27.1	84	0.0
	19:00:00	12	29.7	64	1.3		4:00:00	0	26.2	87	0.0
	22:00:00	0	28.7	72	0.0		7:00:00	0	26.6	83	0.0
17/8/2004	1:00:00	0	27.5	72	0.0		10:00:00	0	31.4	58	0.0
	4:00:00	0	26.1	79	0.0		13:00:00	0	33.4	54	0.0
	7:00:00	0	26.5	79	0.0		16:00:00	0	33.2	55	0.0
	10:00:00	0	30.5	59	0.0		19:00:00	28	27.2	86	6.5
	13:00:00	0	33.1	52	0.0		22:00:00	16	27.0	90	0.7
	16:00:00	0	33.5	50	0.0	24/8/2004	1:00:00	0	26.5	88	0.0
	19:00:00	0	30.5	64	0.0		4:00:00	0	25.2	90	0.0
	22:00:00	0	28.4	73	0.0		7:00:00	0	25.4	92	0.0
18/8/2004	1:00:00	16	27.1	80	0.0		10:00:00	0	31.9	62	0.0
	4:00:00	0	26.4	80	0.0		13:00:00	0	33.0	56	0.0
	7:00:00	0	26.3	79	0.0		16:00:00	0	34.6	50	0.0
	10:00:00	0	31.2	59	0.0		19:00:00	0	31.1	65	0.0
	13:00:00	0	33.9	50	0.0		22:00:00	0	28.7	76	0.0
	16:00:00	0	33.3	52	0.0	25/8/2004	1:00:00	0	27.3	79	0.0
	19:00:00	0	30.7	65	0.0		4:00:00	0	26.1	84	0.0
	22:00:00	0	27.5	72	0.0		7:00:00	0	26.0	86	0.0
19/8/2004	1:00:00	20	25.0	92	1.5		10:00:00	0	31.8	60	0.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	34.7	49	0.0
	7:00:00	12	25.2	93	0.3		16:00:00	0	35.3	46	0.0
	10:00:00	0	29.3	73	0.0		19:00:00	0	31.6	60	0.0
	13:00:00	0	31.1	62	0.0		22:00:00	0	28.7	76	0.0
	16:00:00	0	31.8	57	0.0	26/8/2004	1:00:00	0	27.5	83	0.0
	19:00:00	0	29.7	67	0.0		4:00:00	0	26.7	83	0.0
	22:00:00	0	27.1	81	0.0		7:00:00	0	26.8	84	0.0
20/8/2004	1:00:00	0	26.0	87	0.1		10:00:00	0	32.4	57	0.0
	4:00:00	22	24.6	93	1.9		13:00:00	0	35.0	48	0.0
	7:00:00	0	24.7	92	0.0		16:00:00	0	33.5	50	0.0
	10:00:00	0	28.6	76	0.0		19:00:00	0	31.3	60	0.0
	13:00:00	0	32.3	60	0.0		22:00:00	0	29.4	70	0.0
	16:00:00	10	29.1	68	0.2	27/8/2004	1:00:00	0	28.1	75	0.0
	19:00:00	0	27.4	79	0.0		4:00:00	0	27.3	75	0.0
	22:00:00	14	26.1	89	0.1		7:00:00	0	27.0	74	0.0
21/8/2004	1:00:00	16	25.5	93	0.3		10:00:00	0	30.6	60	0.0
	4:00:00	10	25.3	93	0.1		13:00:00	0	35.0	47	0.0
	7:00:00	0	24.8	90	0.0		16:00:00	0	33.5	51	0.0
	10:00:00	0	30.5	64	0.0		19:00:00	0	31.5	59	0.0
	13:00:00	0	32.7	55	0.0		22:00:00	0	28.6	72	0.0
	16:00:00	0	32.5	64	0.0	28/8/2004	1:00:00	0	27.3	79	0.0
	19:00:00	0	28.5	73	0.0		4:00:00	0	26.5	84	0.0
	22:00:00	0	27.6	82	0.0		7:00:00	0	26.9	81	0.0
22/8/2004	1:00:00	18	25.7	87	1.5		10:00:00	0	33.1	54	0.0
	4:00:00	0	25.2	90	0.0		13:00:00	0	35.5	45	0.0
	7:00:00	0	25.4	91	0.0		16:00:00	0	35.6	46	0.0
	10:00:00	0	30.0	66	0.0		19:00:00	0	32.5	55	0.0
	13:00:00	0	32.0	59	0.0		22:00:00	0	27.3	79	0.0
	16:00:00	0	32.7	55	0.0	29/8/2004	1:00:00	0	27.5	77	0.0
	19:00:00	0	30.5	69	0.0		4:00:00	0	27.1	78	0.0



Sta. 431201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	27.0	78	0.0
	10:00:00	0	31.4	59	0.0
	13:00:00	0	31.7	60	0.0
	16:00:00	0	30.8	62	0.0
	19:00:00	0	30.0	68	0.0
	22:00:00	0	28.4	76	0.0
30/8/2004	1:00:00	0	27.4	80	0.0
	4:00:00	0	26.3	84	0.0
	7:00:00	0	26.7	81	0.0
	10:00:00	0	30.3	63	0.0
	13:00:00	0	32.6	54	0.0
	16:00:00	0	33.7	52	0.0
	19:00:00	0	31.0	61	0.0
	22:00:00	0	27.7	74	0.0
31/8/2004	1:00:00	0	26.7	76	0.0
	4:00:00	0	26.5	82	0.0
	7:00:00	0	26.2	85	0.0
	10:00:00	0	31.3	60	0.0
	13:00:00	0	34.8	45	0.0
	16:00:00	0	35.5	44	0.0
	19:00:00	0	30.9	63	0.0
	22:00:00	0	28.5	78	0.0



## ชุดข้อมูลนำเข้าที่สถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
1/6/2004	1:00:00	28	22.2	89	6.2		10:00:00	0	28.8	77	0.0
	4:00:00	0	22.5	94	0.0		13:00:00	10	27.0	78	0.0
	7:00:00	0	23.8	91	0.0		16:00:00	0	30.3	65	0.0
	10:00:00	0	27.7	72	0.0		19:00:00	0	28.7	78	0.0
	13:00:00	0	31.2	66	0.0		22:00:00	0	26.7	84	0.0
	16:00:00	0	32.5	57	0.0	8/6/2004	1:00:00	0	26.3	90	0.0
	19:00:00	0	30.3	70	0.0		4:00:00	0	25.4	90	0.0
2/6/2004	22:00:00	0	27.7	79	0.0		7:00:00	0	25.0	92	0.0
	1:00:00	0	26.8	84	0.0		10:00:00	0	27.7	79	0.0
	4:00:00	0	25.7	89	0.0		13:00:00	0	30.5	67	0.0
	7:00:00	0	26.1	91	0.0		16:00:00	0	30.5	66	0.0
	10:00:00	0	31.0	67	0.0		19:00:00	0	29.2	77	0.0
	13:00:00	0	33.0	56	0.0		22:00:00	40	25.6	91	36.2
	16:00:00	0	32.7	61	0.0	9/6/2004	1:00:00	18	24.8	95	0.3
19:00:00	0	30.7	71	0.0	4:00:00		0	24.7	96	0.0	
3/6/2004	22:00:00	0	27.3	84	0.0		7:00:00	0	25.0	96	0.0
	1:00:00	0	26.0	89	0.0		10:00:00	38	25.2	94	5.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	10	29.5	73	0.2
	7:00:00	0	26.0	88	0.0		16:00:00	0	30.5	69	0.0
	10:00:00	0	30.5	69	0.0		19:00:00	0	28.4	80	0.0
	13:00:00	0	33.7	56	0.0		22:00:00	0	26.2	92	0.0
	16:00:00	0	33.0	58	0.0	10/6/2004	1:00:00	28	25.7	92	0.5
19:00:00	0	30.2	75	0.0	4:00:00		0	24.1	95	0.0	
4/6/2004	22:00:00	0	28.4	73	0.0		7:00:00	0	24.5	96	0.0
	1:00:00	0	26.0	86	0.0		10:00:00	0	27.3	82	0.0
	4:00:00	0	25.5	88	0.0		13:00:00	0	30.2	69	0.0
	7:00:00	20	25.3	95	1.5		16:00:00	30	28.6	76	0.0
	10:00:00	24	29.3	76	2.7		19:00:00	14	25.3	93	0.2
	13:00:00	0	32.3	63	0.0		22:00:00	0	25.0	94	0.0
	16:00:00	0	33.8	56	0.0	11/6/2004	1:00:00	0	24.7	94	0.0
19:00:00	0	30.0	74	0.0	4:00:00		0	24.4	95	0.0	
5/6/2004	22:00:00	32	26.0	90	5.1		7:00:00	0	24.7	94	0.0
	1:00:00	12	25.3	95	0.0		10:00:00	0	28.5	77	0.0
	4:00:00	0	24.7	94	0.0		13:00:00	0	30.7	69	0.0
	7:00:00	0	25.6	93	0.0		16:00:00	0	31.7	60	0.0
	10:00:00	0	31.4	64	0.0		19:00:00	38	26.0	91	11.8
	13:00:00	0	34.0	53	0.0		22:00:00	0	25.0	93	0.0
	16:00:00	0	35.2	49	0.0	12/6/2004	1:00:00	0	24.1	95	0.0
19:00:00	0	31.5	63	0.0	4:00:00		20	24.5	96	0.0	
6/6/2004	22:00:00	0	28.5	80	0.0		7:00:00	0	25.0	96	0.0
	1:00:00	0	27.3	87	0.0		10:00:00	0	28.5	76	0.0
	4:00:00	0	27.0	88	0.0		13:00:00	0	31.0	63	0.0
	7:00:00	0	26.6	90	0.0		16:00:00	0	32.5	55	0.0
	10:00:00	0	31.5	63	0.0		19:00:00	0	30.5	66	0.0
	13:00:00	0	34.2	57	0.0		22:00:00	0	27.2	83	0.0
	16:00:00	0	35.0	53	0.0	13/6/2004	1:00:00	20	27.0	82	0.0
19:00:00	30	27.5	74	0.0	4:00:00		0	26.0	84	0.0	
7/6/2004	22:00:00	0	26.5	80	0.0		7:00:00	0	25.7	85	0.0
	1:00:00	0	26.2	86	0.0		10:00:00	0	28.3	74	0.0
	4:00:00	0	25.5	92	0.0		13:00:00	28	26.8	84	4.5
	7:00:00	0	25.8	91	0.0		16:00:00	0	28.2	78	0.0



Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	19:00:00	0	27.8	79	0.0		4:00:00	0	25.0	89	0.0
	22:00:00	30	24.7	92	5.5		7:00:00	0	25.2	90	0.0
14/6/2004	1:00:00	38	23.7	98	38.6		10:00:00	0	28.7	78	0.0
	4:00:00	22	23.7	97	14.7		13:00:00	0	30.8	69	0.0
	7:00:00	26	23.5	98	20.5		16:00:00	32	25.2	91	9.5
	10:00:00	30	23.7	97	21.7		19:00:00	28	24.1	91	5.6
	13:00:00	32	24.0	97	23.5		22:00:00	16	24.2	95	0.4
	16:00:00	10	25.0	93	0.2	21/6/2004	1:00:00	0	24.7	95	0.0
	19:00:00	10	24.5	96	0.1		4:00:00	0	24.8	93	0.0
	22:00:00	0	25.0	94	0.0		7:00:00	0	25.3	93	0.0
15/6/2004	1:00:00	0	25.0	89	0.0		10:00:00	0	29.5	76	0.0
	4:00:00	0	24.5	96	0.0		13:00:00	0	32.0	58	0.0
	7:00:00	12	24.4	95	0.3		16:00:00	0	33.0	53	0.0
	10:00:00	0	26.2	88	0.0		19:00:00	0	30.3	65	0.0
	13:00:00	0	29.0	78	0.0		22:00:00	0	28.2	78	0.0
	16:00:00	22	28.0	79	0.5	22/6/2004	1:00:00	0	25.8	89	0.0
	19:00:00	0	25.0	92	0.0		4:00:00	0	25.8	89	0.0
	22:00:00	20	24.8	92	0.2		7:00:00	0	26.3	85	0.0
16/6/2004	1:00:00	0	24.8	89	0.0		10:00:00	0	28.8	68	0.0
	4:00:00	0	24.2	90	0.0		13:00:00	0	30.8	61	0.0
	7:00:00	0	24.5	91	0.0		16:00:00	0	31.2	63	0.0
	10:00:00	0	29.0	74	0.0		19:00:00	0	29.8	65	0.0
	13:00:00	0	30.0	68	0.0		22:00:00	18	24.7	88	0.8
	16:00:00	20	27.5	81	1.4	23/6/2004	1:00:00	0	25.2	88	0.0
	19:00:00	34	24.0	93	15.3		4:00:00	0	26.0	79	0.0
	22:00:00	26	24.5	96	4.3		7:00:00	0	25.5	88	0.0
17/6/2004	1:00:00	10	24.4	92	0.1		10:00:00	0	28.0	67	0.0
	4:00:00	0	24.2	93	0.0		13:00:00	0	30.5	67	0.0
	7:00:00	0	24.7	90	0.0		16:00:00	0	31.1	56	0.0
	10:00:00	0	27.0	82	0.0		19:00:00	0	29.0	74	0.0
	13:00:00	0	29.5	73	0.0		22:00:00	0	27.0	82	0.0
	16:00:00	22	24.8	89	1.7	24/6/2004	1:00:00	0	26.5	77	0.0
	19:00:00	0	25.2	88	0.0		4:00:00	24	24.0	89	2.3
	22:00:00	0	25.2	88	0.0		7:00:00	0	24.7	88	0.0
18/6/2004	1:00:00	0	24.8	88	0.0		10:00:00	0	29.3	60	0.0
	4:00:00	0	24.3	91	0.0		13:00:00	0	31.3	53	0.0
	7:00:00	0	24.2	90	0.0		16:00:00	0	31.5	54	0.0
	10:00:00	0	28.5	76	0.0		19:00:00	0	30.0	65	0.0
	13:00:00	0	31.0	63	0.0		22:00:00	0	27.5	74	0.0
	16:00:00	0	29.0	71	0.0	25/6/2004	1:00:00	0	26.5	80	0.0
	19:00:00	0	26.5	77	0.0		4:00:00	0	25.0	85	0.0
	22:00:00	0	25.5	88	0.0		7:00:00	0	25.5	90	0.0
19/6/2004	1:00:00	0	25.2	86	0.0		10:00:00	0	29.8	63	0.0
	4:00:00	0	24.5	84	0.0		13:00:00	0	32.3	55	0.0
	7:00:00	0	24.4	83	0.0		16:00:00	0	32.0	56	0.0
	10:00:00	0	28.8	72	0.0		19:00:00	14	29.8	64	0.4
	13:00:00	0	31.0	69	0.0		22:00:00	0	27.7	82	0.0
	16:00:00	16	28.2	75	0.6	26/6/2004	1:00:00	0	26.7	80	0.0
	19:00:00	30	26.3	92	7.1		4:00:00	0	25.3	87	0.0
	22:00:00	0	25.3	84	0.0		7:00:00	0	25.5	85	0.0
20/6/2004	1:00:00	0	25.2	88	0.0		10:00:00	0	29.5	62	0.0



Sta. 436201					Sta. 436201						
Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)	Date	Time	Reflectivity (dBz)	Temperature (C°)	Humidity (%)	Rainfall Obs.(mm.)
	13:00:00	0	31.6	58	0.0		22:00:00	0	27.1	80	0.0
	16:00:00	0	32.0	61	0.0	3/7/2004	1:00:00	0	26.2	87	0.0
	19:00:00	0	29.5	75	0.0		4:00:00	0	25.7	92	0.0
	22:00:00	0	27.8	81	0.0		7:00:00	0	26.0	92	0.0
27/6/2004	1:00:00	0	27.0	78	0.0		10:00:00	0	30.2	69	0.0
	4:00:00	0	26.0	84	0.0		13:00:00	0	32.3	62	0.0
	7:00:00	0	26.2	83	0.0		16:00:00	0	33.0	62	0.0
	10:00:00	0	29.5	68	0.0		19:00:00	0	30.0	70	0.0
	13:00:00	0	31.4	61	0.0		22:00:00	0	26.5	83	0.0
	16:00:00	0	32.5	52	0.0	4/7/2004	1:00:00	0	26.0	87	0.0
	19:00:00	0	30.2	62	0.0		4:00:00	0	26.0	89	0.0
	22:00:00	0	26.5	84	0.0		7:00:00	0	26.3	91	0.0
28/6/2004	1:00:00	0	26.5	83	0.0		10:00:00	0	30.7	68	0.0
	4:00:00	0	25.5	82	0.0		13:00:00	0	34.0	58	0.0
	7:00:00	0	25.0	88	0.0		16:00:00	0	32.0	65	0.0
	10:00:00	0	29.5	66	0.0		19:00:00	24	26.3	92	3.0
	13:00:00	0	31.8	58	0.0		22:00:00	10	26.5	94	0.2
	16:00:00	0	30.7	55	0.0	5/7/2004	1:00:00	0	25.5	90	0.0
	19:00:00	0	29.0	71	0.0		4:00:00	0	25.6	93	0.0
	22:00:00	0	27.5	81	0.0		7:00:00	0	26.5	93	0.0
29/6/2004	1:00:00	34	24.0	98	17.2		10:00:00	0	30.6	75	0.0
	4:00:00	0	24.2	97	0.0		13:00:00	0	33.0	61	0.0
	7:00:00	0	24.7	97	0.0		16:00:00	0	33.4	60	0.0
	10:00:00	0	29.0	72	0.0		19:00:00	34	23.7	97	13.7
	13:00:00	0	31.3	64	0.0		22:00:00	24	24.0	97	2.3
	16:00:00	0	31.8	60	0.0	6/7/2004	1:00:00	0	24.5	96	0.0
	19:00:00	0	29.7	76	0.0		4:00:00	0	24.5	96	0.0
	22:00:00	0	27.7	78	0.0		7:00:00	0	24.8	97	0.0
30/6/2004	1:00:00	0	27.0	83	0.0		10:00:00	0	29.3	76	0.0
	4:00:00	0	26.0	86	0.0		13:00:00	0	32.3	67	0.0
	7:00:00	0	26.0	89	0.0		16:00:00	18	26.5	69	0.0
	10:00:00	0	30.0	68	0.0		19:00:00	16	24.5	92	0.0
	13:00:00	0	32.6	53	0.0		22:00:00	0	24.3	94	0.1
	16:00:00	0	33.7	51	0.0	7/7/2004	1:00:00	0	24.3	96	0.0
	19:00:00	0	30.9	70	0.0		4:00:00	0	24.4	97	0.0
	22:00:00	0	27.7	83	0.0		7:00:00	0	24.9	95	0.2
1/7/2004	1:00:00	32	25.9	93	11.9		10:00:00	0	29.6	75	0.0
	4:00:00	0	25.2	93	0.0		13:00:00	0	32.4	62	0.0
	7:00:00	0	26.5	90	0.0		16:00:00	0	32.7	61	0.0
	10:00:00	0	30.3	69	0.0		19:00:00	0	29.8	76	0.0
	13:00:00	0	33.0	60	0.0		22:00:00	0	26.5	84	0.0
	16:00:00	0	33.8	56	0.0	8/7/2004	1:00:00	10	24.7	90	0.2
	19:00:00	0	29.3	76	0.0		4:00:00	0	23.7	92	0.0
	22:00:00	0	27.7	83	0.0		7:00:00	0	24.8	93	0.0
2/7/2004	1:00:00	0	27.2	88	0.0		10:00:00	0	28.7	74	0.0
	4:00:00	0	26.3	92	0.0		13:00:00	0	31.7	63	0.0
	7:00:00	0	26.6	91	0.0		16:00:00	0	32.7	63	0.0
	10:00:00	0	30.7	68	0.0		19:00:00	0	29.3	71	0.0
	13:00:00	0	32.5	62	0.0		22:00:00	0	25.5	85	0.0
	16:00:00	0	34.3	52	0.0	9/7/2004	1:00:00	0	25.7	88	0.0
	19:00:00	0	31.5	71	0.0		4:00:00	0	25.2	92	0.0

Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	25.3	92	0.0		16:00:00	0	31.0	68	0.0
	10:00:00	0	30.0	73	0.0		19:00:00	12	28.0	85	0.0
	13:00:00	0	32.2	63	0.0		22:00:00	0	26.5	88	0.0
	16:00:00	0	31.0	68	0.0	16/7/2004	1:00:00	0	25.7	93	0.0
	19:00:00	0	29.0	74	0.0		4:00:00	0	25.7	94	0.0
	22:00:00	0	26.3	83	0.0		7:00:00	0	26.2	94	0.0
10/7/2004	1:00:00	0	25.3	85	0.0		10:00:00	0	30.3	72	0.0
	4:00:00	18	23.0	87	1.0		13:00:00	0	32.7	58	0.0
	7:00:00	10	23.2	96	0.2		16:00:00	0	33.0	58	0.0
	10:00:00	0	27.3	75	0.0		19:00:00	0	29.8	76	0.0
	13:00:00	0	29.8	66	0.0		22:00:00	0	27.0	77	0.0
	16:00:00	0	31.4	64	0.0	17/7/2004	1:00:00	0	25.5	84	0.0
	19:00:00	0	29.8	71	0.0		4:00:00	0	24.8	92	0.0
	22:00:00	38	23.3	97	28.0		7:00:00	0	25.5	93	0.0
11/7/2004	1:00:00	28	22.3	99	5.3		10:00:00	0	30.0	68	0.0
	4:00:00	20	22.8	99	1.2		13:00:00	0	33.2	60	0.0
	7:00:00	18	23.4	98	1.0		16:00:00	0	34.0	56	0.0
	10:00:00	0	26.0	89	0.0		19:00:00	0	30.2	67	0.0
	13:00:00	0	28.8	71	0.0		22:00:00	34	25.5	93	16.1
	16:00:00	0	29.3	69	0.0	18/7/2004	1:00:00	38	23.0	95	32.4
	19:00:00	28	26.5	92	4.7		4:00:00	28	24.0	97	5.4
	22:00:00	0	26.2	94	0.0		7:00:00	0	24.7	95	0.0
12/7/2004	1:00:00	36	22.7	97	22.4		10:00:00	0	29.0	74	0.0
	4:00:00	30	23.3	95	7.2		13:00:00	0	31.3	64	0.0
	7:00:00	0	23.7	96	0.0		16:00:00	0	31.3	63	0.0
	10:00:00	0	28.0	80	0.0		19:00:00	0	29.0	81	0.0
	13:00:00	0	29.8	65	0.0		22:00:00	0	26.6	83	0.0
	16:00:00	0	30.2	65	0.0	19/7/2004	1:00:00	0	25.3	86	0.0
	19:00:00	10	27.0	86	0.6		4:00:00	0	25.5	89	0.0
	22:00:00	0	25.7	90	0.0		7:00:00	0	25.0	86	0.0
13/7/2004	1:00:00	0	25.2	93	0.0		10:00:00	0	29.7	75	0.0
	4:00:00	0	25.0	94	0.0		13:00:00	0	31.0	66	0.0
	7:00:00	0	25.0	92	0.0		16:00:00	0	31.8	60	0.0
	10:00:00	0	29.5	75	0.0		19:00:00	0	28.7	76	0.0
	13:00:00	0	31.5	63	0.0		22:00:00	0	27.5	83	0.0
	16:00:00	0	31.6	63	0.0	20/7/2004	1:00:00	0	27.2	84	0.0
	19:00:00	30	24.5	92	24.0		4:00:00	0	26.3	90	0.0
	22:00:00	18	24.2	94	1.7		7:00:00	0	25.6	87	0.0
14/7/2004	1:00:00	0	24.5	96	0.0		10:00:00	0	28.1	73	0.0
	4:00:00	0	24.6	97	0.0		13:00:00	0	29.7	70	0.0
	7:00:00	0	25.4	93	0.0		16:00:00	0	30.6	69	0.0
	10:00:00	0	29.2	77	0.0		19:00:00	0	28.9	79	0.0
	13:00:00	0	31.5	61	0.0		22:00:00	0	28.0	82	0.0
	16:00:00	0	31.6	69	0.0	21/7/2004	1:00:00	0	25.7	88	0.0
	19:00:00	0	28.0	79	0.0		4:00:00	0	25.2	93	0.0
	22:00:00	0	27.5	85	0.0		7:00:00	0	26.0	92	0.0
15/7/2004	1:00:00	0	26.7	90	0.0		10:00:00	0	29.0	78	0.0
	4:00:00	26	24.3	95	4.3		13:00:00	0	30.8	67	0.0
	7:00:00	32	23.5	96	10.1		16:00:00	0	31.0	68	0.0
	10:00:00	0	28.0	77	0.0		19:00:00	0	28.0	81	0.0
	13:00:00	0	30.0	72	0.0		22:00:00	0	25.5	90	0.0



Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
22/7/2004	1:00:00	40	23.5	99	55.4	29/7/2004	10:00:00	0	27.7	77	0.0
	4:00:00	42	23.8	98	59.5		13:00:00	0	29.7	69	0.0
	7:00:00	0	24.2	96	0.2		16:00:00	0	31.0	65	0.0
	10:00:00	0	26.2	89	0.0		19:00:00	0	28.0	80	0.0
	13:00:00	0	29.3	74	0.0		22:00:00	0	26.3	87	0.0
	16:00:00	0	29.7	68	0.0		1:00:00	0	25.7	86	0.0
	19:00:00	0	27.7	85	0.0		4:00:00	0	25.2	88	0.0
23/7/2004	22:00:00	0	26.7	92	0.0	7:00:00	0	25.0	84	0.0	
	1:00:00	20	25.6	93	1.2	10:00:00	0	28.7	71	0.0	
	4:00:00	28	24.0	94	4.8	13:00:00	0	30.8	65	0.0	
	7:00:00	0	24.5	95	0.3	16:00:00	0	31.7	59	0.0	
	10:00:00	0	26.0	92	0.0	19:00:00	0	28.6	81	0.0	
	13:00:00	0	29.7	72	0.0	22:00:00	0	26.5	90	0.0	
	16:00:00	32	24.7	92	17.4	30/7/2004	1:00:00	0	26.5	89	0.0
19:00:00	12	25.2	94	0.3	4:00:00		0	25.7	88	0.0	
22:00:00	10	24.7	94	0.1	7:00:00		0	25.4	89	0.0	
24/7/2004	1:00:00	0	24.8	92	0.0		10:00:00	0	27.5	79	0.0
	4:00:00	0	24.7	94	0.0		13:00:00	0	30.0	72	0.0
	7:00:00	0	24.7	96	0.0		16:00:00	0	32.0	64	0.0
	10:00:00	0	28.5	69	0.0		19:00:00	26	25.6	91	4.2
	13:00:00	0	30.5	64	0.0	22:00:00	20	24.0	96	1.4	
	16:00:00	28	28.5	81	4.2	31/7/2004	1:00:00	36	23.8	97	19.4
	19:00:00	28	26.0	92	5.6		4:00:00	18	23.6	97	0.8
22:00:00	0	25.5	92	0.0	7:00:00		0	23.8	97	0.0	
25/7/2004	1:00:00	0	25.5	92	0.0		10:00:00	0	27.0	84	0.0
	4:00:00	0	25.0	88	0.0		13:00:00	0	30.0	73	0.0
	7:00:00	0	24.5	92	0.0		16:00:00	0	29.3	78	0.0
	10:00:00	0	27.5	81	0.0		19:00:00	0	26.3	88	0.0
	13:00:00	0	29.6	72	0.0	22:00:00	0	26.4	93	0.0	
	16:00:00	0	31.0	66	0.0	1/8/2004	1:00:00	0	25.7	93	0.0
	19:00:00	0	28.5	81	0.0		4:00:00	0	25.3	95	0.0
22:00:00	0	26.7	84	0.0	7:00:00		0	25.0	94	0.0	
26/7/2004	1:00:00	0	25.7	79	0.0		10:00:00	0	28.4	82	0.0
	4:00:00	0	24.9	86	0.0		13:00:00	0	30.0	74	0.0
	7:00:00	0	25.0	90	0.0		16:00:00	0	31.0	70	0.0
	10:00:00	0	26.8	81	0.0		19:00:00	26	26.7	86	3.6
	13:00:00	0	29.7	72	0.0	22:00:00	0	25.0	92	0.0	
	16:00:00	0	28.8	70	0.0	2/8/2004	1:00:00	22	23.6	95	1.6
	19:00:00	12	26.8	84	0.2		4:00:00	0	24.2	96	0.0
22:00:00	16	25.3	92	0.1	7:00:00		0	24.8	96	0.0	
27/7/2004	1:00:00	30	25.0	94	6.5		10:00:00	0	27.7	82	0.0
	4:00:00	26	24.4	95	2.8		13:00:00	0	29.7	72	0.0
	7:00:00	28	24.0	95	5.0		16:00:00	0	30.7	66	0.0
	10:00:00	32	24.0	94	8.6		19:00:00	0	28.5	83	0.0
	13:00:00	26	24.3	93	3.2	22:00:00	36	25.0	93	7.2	
	16:00:00	14	24.7	94	0.5	3/8/2004	1:00:00	40	24.2	96	43.6
	19:00:00	0	24.7	94	0.0		4:00:00	12	24.3	96	1.0
22:00:00	0	25.0	96	0.0	7:00:00		0	24.6	95	0.0	
28/7/2004	1:00:00	0	25.0	96	0.0		10:00:00	0	28.0	79	0.0
	4:00:00	0	25.0	96	0.0		13:00:00	0	30.3	70	0.0
	7:00:00	0	24.3	96	0.0		16:00:00	0	30.6	70	0.0





Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	19:00:00	18	25.8	89	13.3		4:00:00	18	23.8	96	1.5
	22:00:00	0	25.5	92	0.0		7:00:00	12	24.0	96	0.9
4/8/2004	1:00:00	0	25.2	94	0.0		10:00:00	0	26.2	88	0.0
	4:00:00	0	24.8	88	0.0		13:00:00	0	28.5	72	0.0
	7:00:00	0	25.0	93	0.0		16:00:00	0	30.7	68	0.0
	10:00:00	0	27.7	76	0.0		19:00:00	0	28.0	75	0.0
	13:00:00	0	30.0	68	0.0		22:00:00	0	26.1	91	0.0
	16:00:00	0	29.5	74	0.0	11/8/2004	1:00:00	0	24.4	91	0.0
	19:00:00	0	28.5	84	0.0		4:00:00	0	23.9	92	0.0
	22:00:00	0	26.8	78	0.0		7:00:00	0	24.4	88	0.0
5/8/2004	1:00:00	0	25.6	92	0.0		10:00:00	0	29.0	70	0.0
	4:00:00	0	24.7	90	0.0		13:00:00	0	30.0	65	0.0
	7:00:00	0	24.8	92	0.0		16:00:00	0	31.2	61	0.0
	10:00:00	0	29.2	70	0.0		19:00:00	0	28.5	74	0.0
	13:00:00	0	31.0	64	0.0		22:00:00	0	27.3	78	0.0
	16:00:00	0	32.3	58	0.0	12/8/2004	1:00:00	0	26.5	80	0.0
	19:00:00	0	28.8	78	0.0		4:00:00	0	25.0	87	0.0
	22:00:00	32	24.7	97	9.8		7:00:00	0	24.8	85	0.0
6/8/2004	1:00:00	0	23.7	96	0.0		10:00:00	0	27.5	79	0.0
	4:00:00	0	24.2	90	0.0		13:00:00	0	29.2	72	0.0
	7:00:00	0	24.4	92	0.0		16:00:00	0	29.3	75	0.0
	10:00:00	0	27.4	78	0.0		19:00:00	0	28.2	76	0.0
	13:00:00	0	30.0	67	0.0		22:00:00	0	27.2	81	0.0
	16:00:00	0	31.0	64	0.0	13/8/2004	1:00:00	0	26.7	87	0.0
	19:00:00	38	24.7	92	22.1		4:00:00	0	25.7	81	0.0
	22:00:00	12	24.8	93	0.3		7:00:00	0	25.6	79	0.0
7/8/2004	1:00:00	0	24.9	92	0.0		10:00:00	0	29.2	70	0.0
	4:00:00	0	25.0	92	0.0		13:00:00	0	30.2	70	0.0
	7:00:00	0	25.0	92	0.0		16:00:00	0	31.7	61	0.0
	10:00:00	0	28.8	76	0.0		19:00:00	0	28.9	71	0.0
	13:00:00	0	31.5	63	0.0		22:00:00	0	27.7	79	0.0
	16:00:00	0	30.5	67	0.0	14/8/2004	1:00:00	0	26.9	82	0.0
	19:00:00	0	28.2	85	0.0		4:00:00	0	25.5	80	0.0
	22:00:00	16	25.6	92	3.6		7:00:00	0	25.3	81	0.0
8/8/2004	1:00:00	10	25.6	93	0.1		10:00:00	0	28.0	70	0.0
	4:00:00	34	23.9	95	14.0		13:00:00	0	30.0	67	0.0
	7:00:00	16	24.4	97	2.5		16:00:00	0	29.6	64	0.0
	10:00:00	16	26.0	92	0.6		19:00:00	0	28.0	76	0.0
	13:00:00	0	29.5	75	0.0		22:00:00	0	26.6	80	0.0
	16:00:00	0	30.0	75	0.0	15/8/2004	1:00:00	0	25.6	85	0.0
	19:00:00	38	24.3	93	34.7		4:00:00	0	25.5	76	0.0
	22:00:00	20	25.2	96	1.5		7:00:00	0	24.8	87	0.0
9/8/2004	1:00:00	0	24.7	97	0.0		10:00:00	0	28.3	67	0.0
	4:00:00	42	23.5	96	52.2		13:00:00	0	30.3	65	0.0
	7:00:00	0	24.2	96	0.0		16:00:00	0	26.3	88	0.0
	10:00:00	0	27.8	80	0.0		19:00:00	14	25.5	93	0.2
	13:00:00	0	29.2	72	0.0		22:00:00	0	25.2	94	0.2
	16:00:00	0	31.2	67	0.0	16/8/2004	1:00:00	0	25.2	96	0.0
	19:00:00	0	27.7	78	0.0		4:00:00	0	24.2	92	0.0
	22:00:00	30	24.7	94	3.0		7:00:00	12	24.4	93	0.3
10/8/2004	1:00:00	34	23.7	96	8.4		10:00:00	0	29.0	71	0.0



Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall	Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)	Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	13:00:00	0	31.2	65	0.0		22:00:00	0	27.0	92	0.0
	16:00:00	0	31.0	65	0.0	23/8/2004	1:00:00	30	24.7	97	8.4
	19:00:00	0	28.4	81	0.0		4:00:00	0	24.5	96	0.1
	22:00:00	0	26.1	89	0.0		7:00:00	0	25.6	96	0.0
17/8/2004	1:00:00	14	25.0	94	0.2		10:00:00	0	30.0	74	0.0
	4:00:00	0	24.8	95	0.0		13:00:00	0	32.6	66	0.0
	7:00:00	0	25.2	93	0.0		16:00:00	24	28.0	77	0.0
	10:00:00	0	28.2	76	0.0		19:00:00	0	29.5	79	0.0
	13:00:00	0	31.5	65	0.0		22:00:00	10	25.7	92	0.2
	16:00:00	0	31.7	60	0.0	24/8/2004	1:00:00	0	25.7	94	0.0
	19:00:00	0	28.7	80	0.0		4:00:00	0	25.9	93	0.0
	22:00:00	0	26.6	89	0.0		7:00:00	0	26.1	96	0.0
18/8/2004	1:00:00	0	27.0	92	0.0		10:00:00	0	30.6	74	0.0
	4:00:00	0	26.2	93	0.0		13:00:00	0	31.6	66	0.0
	7:00:00	0	26.6	91	0.0		16:00:00	0	33.0	62	0.0
	10:00:00	0	29.6	70	0.0		19:00:00	0	29.8	82	0.0
	13:00:00	0	31.6	63	0.0		22:00:00	0	27.7	90	0.0
	16:00:00	0	32.5	60	0.0	25/8/2004	1:00:00	0	27.3	90	0.0
	19:00:00	0	29.6	78	0.0		4:00:00	0	26.4	94	0.0
	22:00:00	0	27.0	82	0.0		7:00:00	0	26.3	91	0.0
19/8/2004	1:00:00	0	26.6	89	0.0		10:00:00	0	30.0	73	0.0
	4:00:00	34	24.5	95	17.7		13:00:00	0	32.0	62	0.0
	7:00:00	26	24.8	96	3.2		16:00:00	0	33.3	63	0.0
	10:00:00	0	26.7	88	0.0		19:00:00	0	30.5	80	0.0
	13:00:00	0	29.0	76	0.0		22:00:00	0	28.6	83	0.0
	16:00:00	0	29.3	81	0.0	26/8/2004	1:00:00	0	27.5	85	0.0
	19:00:00	0	27.7	88	0.0		4:00:00	0	26.7	87	0.0
	22:00:00	0	26.2	89	0.0		7:00:00	0	26.6	89	0.0
20/8/2004	1:00:00	0	25.2	92	0.0		10:00:00	0	30.7	66	0.0
	4:00:00	0	25.0	93	0.0		13:00:00	0	32.8	61	0.0
	7:00:00	0	25.0	93	0.0		16:00:00	18	31.5	71	2.2
	10:00:00	0	27.0	84	0.0		19:00:00	10	27.7	88	0.0
	13:00:00	0	29.5	75	0.0		22:00:00	0	27.7	87	0.0
	16:00:00	0	30.2	70	0.0	27/8/2004	1:00:00	0	27.4	82	0.0
	19:00:00	0	28.0	86	0.0		4:00:00	0	26.2	86	0.0
	22:00:00	0	25.5	92	0.0		7:00:00	0	26.1	91	0.0
21/8/2004	1:00:00	0	25.0	92	0.0		10:00:00	0	30.5	66	0.0
	4:00:00	0	24.5	94	0.0		13:00:00	0	31.3	64	0.0
	7:00:00	0	24.7	96	0.0		16:00:00	0	32.7	63	0.0
	10:00:00	0	29.3	77	0.0		19:00:00	0	29.8	74	0.0
	13:00:00	0	31.5	71	0.0		22:00:00	0	27.7	82	0.0
	16:00:00	12	29.7	75	0.0	28/8/2004	1:00:00	0	26.6	86	0.0
	19:00:00	18	29.4	81	0.0		4:00:00	0	26.0	92	0.0
	22:00:00	32	25.2	97	11.2		7:00:00	0	26.0	92	0.0
22/8/2004	1:00:00	18	25.3	95	0.8		10:00:00	0	31.0	68	0.0
	4:00:00	0	25.0	96	0.0		13:00:00	0	33.0	59	0.0
	7:00:00	0	25.5	96	1.0		16:00:00	0	33.0	67	0.0
	10:00:00	0	27.5	88	0.0		19:00:00	14	28.0	90	3.0
	13:00:00	0	30.0	76	0.0		22:00:00	0	27.5	88	0.0
	16:00:00	0	29.8	76	0.0	29/8/2004	1:00:00	0	26.0	84	0.0
	19:00:00	0	28.0	88	0.0		4:00:00	0	26.0	89	0.0



Sta. 436201		Reflectivity	Temperature	Humidity	Rainfall
Date	Time	(dBz)	(C°)	(%)	Obs.(mm.)
	7:00:00	0	26.0	92	0.0
	10:00:00	0	28.7	78	0.0
	13:00:00	0	30.0	72	0.0
	16:00:00	0	29.3	78	0.0
	19:00:00	0	28.0	85	0.0
	22:00:00	0	27.0	89	0.0
30/8/2004	1:00:00	0	26.2	93	0.0
	4:00:00	0	25.7	90	0.0
	7:00:00	0	25.7	92	0.0
	10:00:00	0	27.5	83	0.0
	13:00:00	0	29.0	77	0.0
	16:00:00	0	29.3	81	0.0
	19:00:00	0	27.2	91	0.1
	22:00:00	12	26.4	94	0.3
31/8/2004	1:00:00	0	26.0	90	0.0
	4:00:00	10	25.4	94	0.2
	7:00:00	0	25.4	94	0.0
	10:00:00	0	30.0	75	0.0
	13:00:00	0	31.7	68	0.0
	16:00:00	0	32.2	65	0.0
	19:00:00	0	28.1	77	0.0
	22:00:00	0	26.5	88	0.0



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างชุดคำสั่งของ Wavelet Filter และผลการวิเคราะห์สัญญาณ Haar wavelet



## ชุดคำสั่ง Wavelet Filter ของสถานี 387401 จังหวัดมหาสารคาม

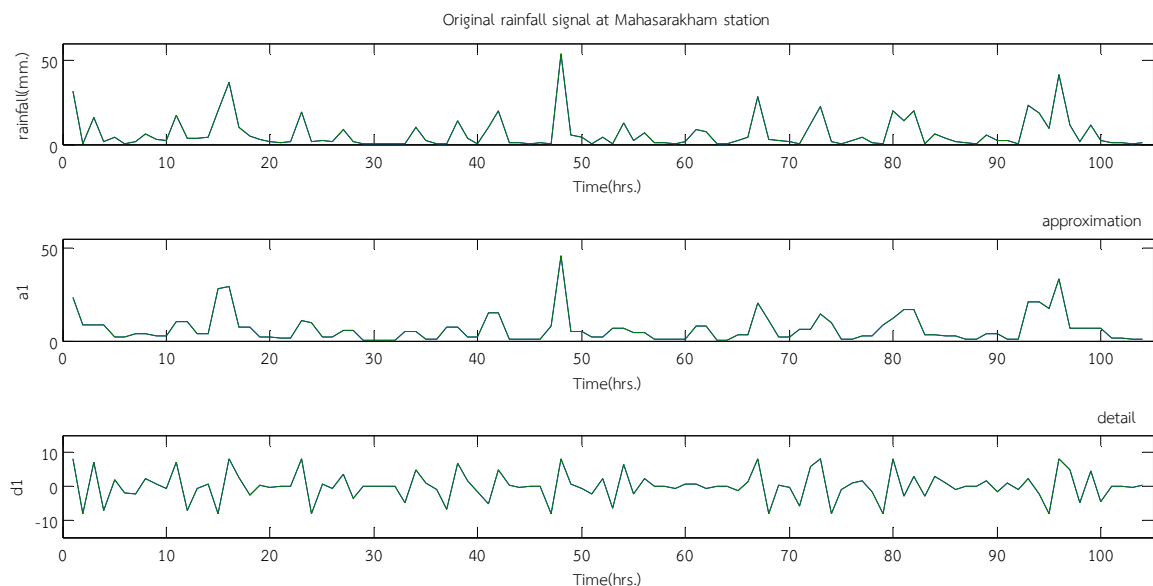
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\mhs_k_rain_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencmp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencmp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 105 0 60])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('rainfall(mm.)')
title('Original rainfall signal at Mahasarakham station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 105 0 55])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 105 -15 15])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\mhs_k_rain_output_2004.xls',Approximation)

```

### Rainfall signal by Haar Wavelet



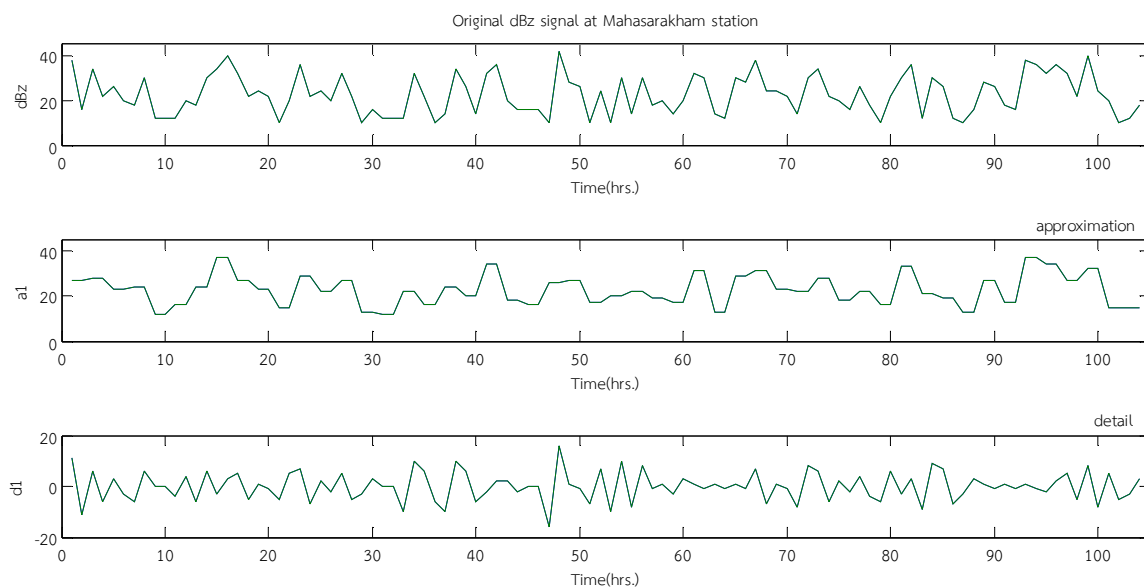
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\mhs_k_dbz_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencmp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencmp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 105 0 45])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('dBz')
title('Original dBz signal at Mahasarakham station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 105 0 45])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 105 -20 20])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\mhs_k_dbz_output_2004.xls',Approximation)

```

### dBz signal by Haar Wavelet



## ชุดคำสั่ง Wavelet Filter ของสถานี 403201 จังหวัดชัยภูมิ

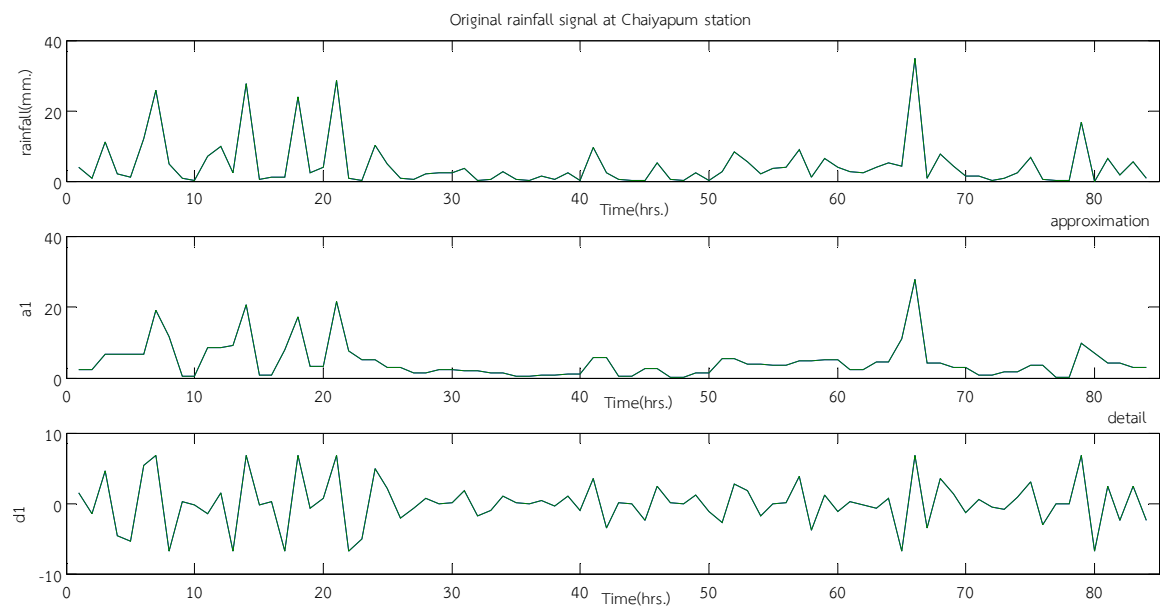
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\chaiyapum_rain_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencomp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencomp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 85 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('rainfall(mm.)')
title('Original rainfall signal at Chaiyapum station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 85 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 85 -10 10])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\chaiyapum_rain_output_2004.xls',Approximation)

```

### Rainfall signal by Haar Wavelet



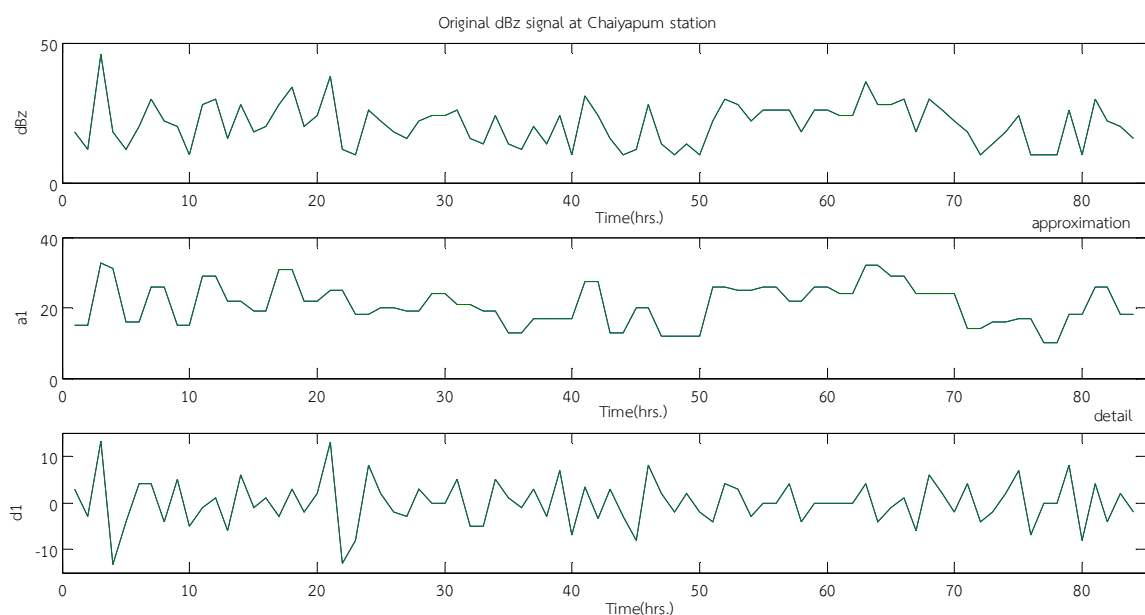
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\chaiyapum_dBz_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencomp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencomp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 85 0 50])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('dBz')
title('Original dBz signal at Chaiyapum station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 85 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 85 -15 15])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\chaiyapum_dBz_output_2004.xls',Approximation)

```

### dBz signal by Haar Wavelet



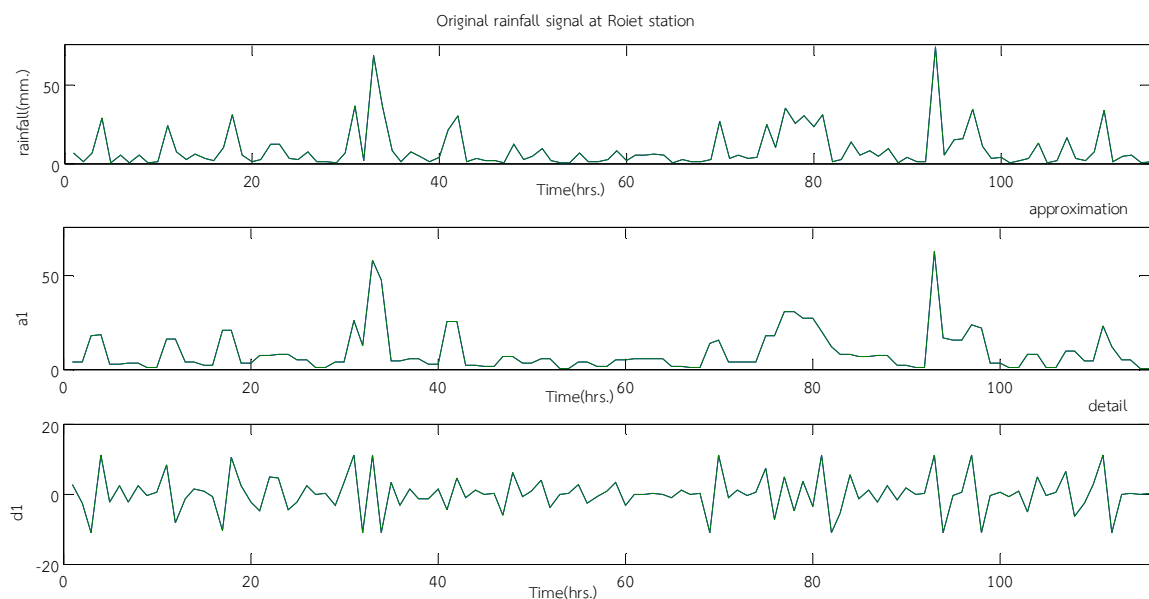


## ชุดคำสั่ง Wavelet Filter ของสถานี 405201 จังหวัดร้อยเอ็ด

### ชุดคำสั่ง

```
clear all
clc
Data = xlsread('c:\roiet_rain_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencomp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencomp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 116 0 75])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('rainfall(mm.)')
title('Original rainfall signal at Roiet station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 116 0 75])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 116 -20 20])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\roiet_rain_output_2004.xls',Approximation)
```

### Rainfall signal by Haar Wavelet



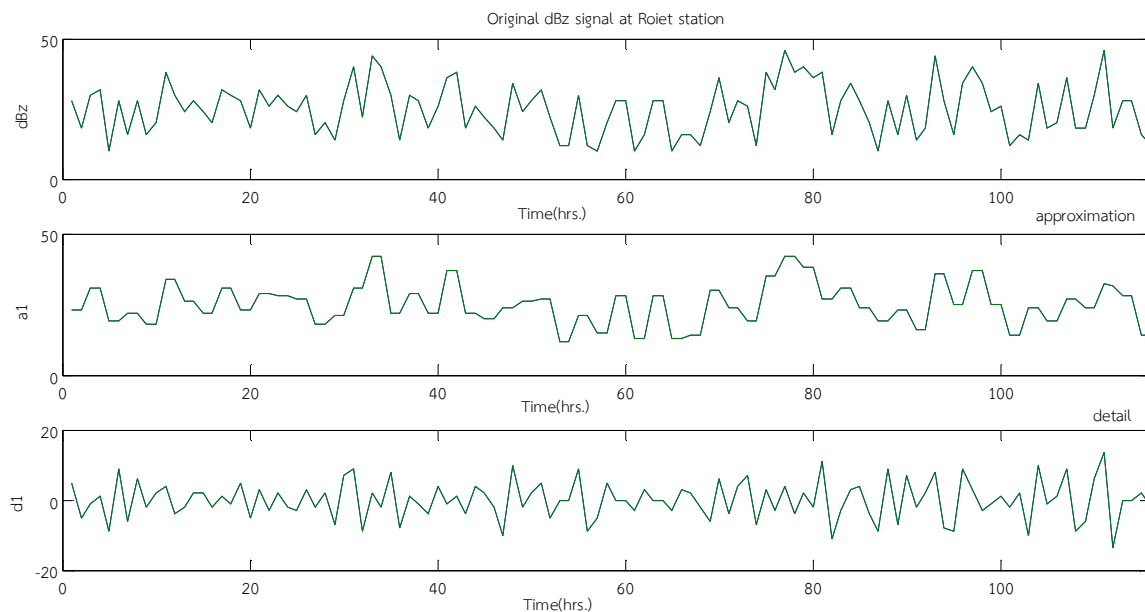
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\roiet_dbz_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencmp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencmp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 116 0 50])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('dBz')
title('Original dBz signal at Roiet station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 116 0 50])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 116 -20 20])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\roiet_dbz_output_2004.xls',Approximation)

```

### dBz signal by Haar Wavelet

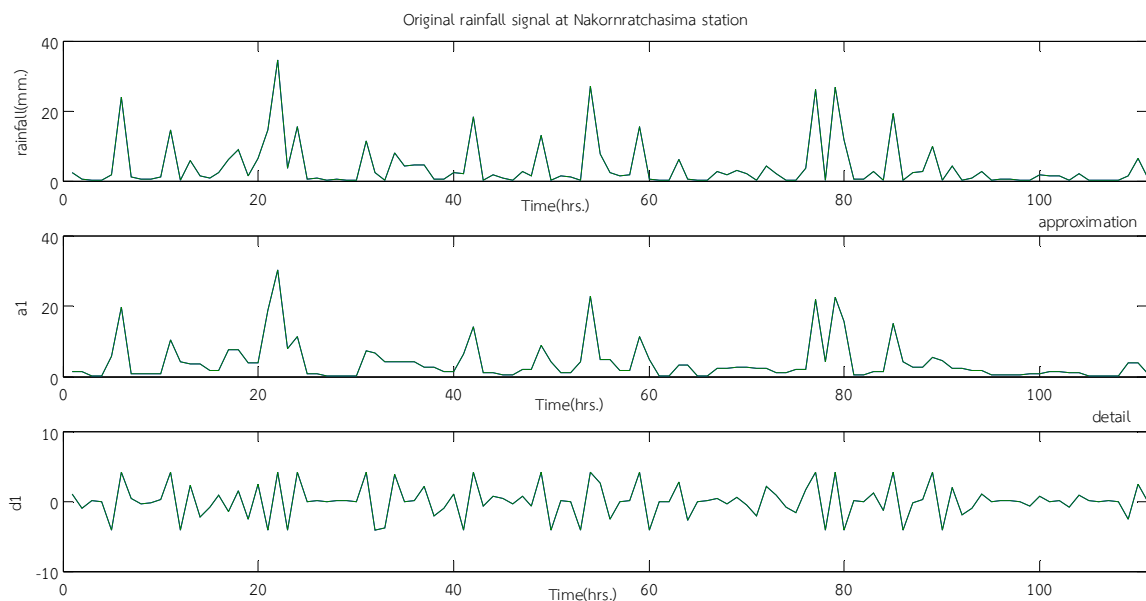


## ชุดคำสั่ง Wavelet Filter ของสถานี 431201 จังหวัดนครราชสีมา

### ชุดคำสั่ง

```
clear all
clc
Data = xlsread('c:\korat_rain_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencmp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencmp('gbl',C,L,'Haar',1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 111 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('rainfall(mm.)')
title('Original rainfall signal at Nakornratchasima station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 111 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 111 -10 10])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\korat_rain_output_2004.xls',Approximation)
```

### Rainfall signal by Haar Wavelet



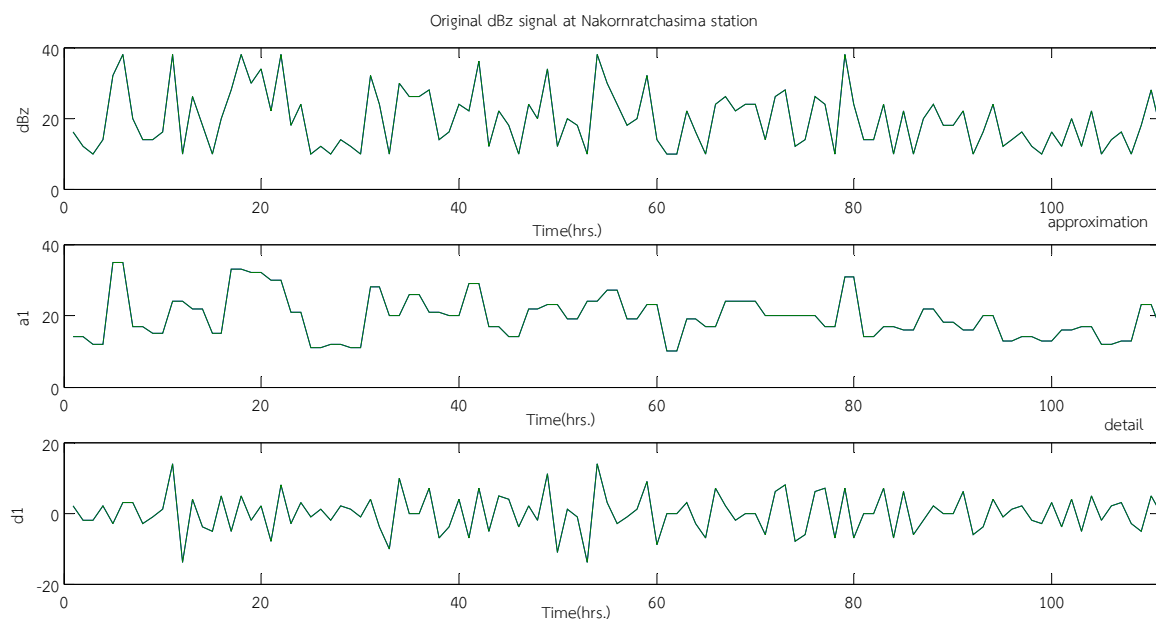
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\korat_dbz_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencmp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencmp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 111 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('dBz')
title('Original dBz signal at Nakornratchasima station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 111 0 40])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 111 -20 20])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\korat_dbz_output_2004.xls',Approximation)

```

### dBz signal by Haar Wavelet



## ชุดคำสั่ง Wavelet Filter ของสถานี 436201 จังหวัดบุรีรัมย์

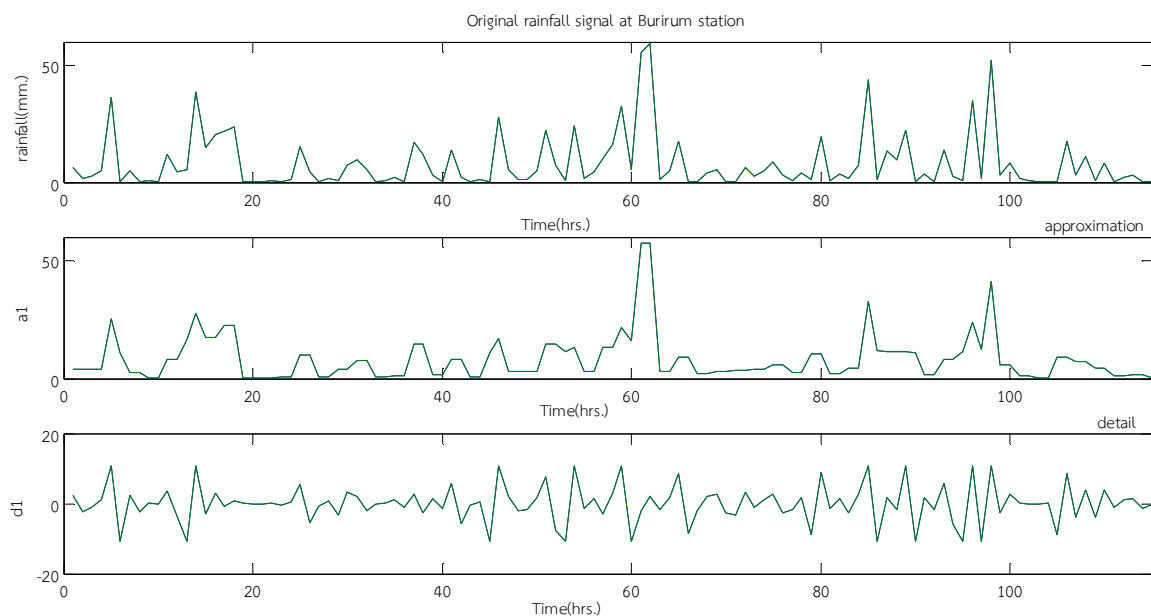
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\burirum_rain_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencmp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencmp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 115 0 60])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('rainfall(mm.)')
title('Original rainfall signal at Burirum station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 115 0 60])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 115 -20 20])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\burirum_rain_output_2004.xls',Approximation)

```

### rainfall signal by Haar Wavelet



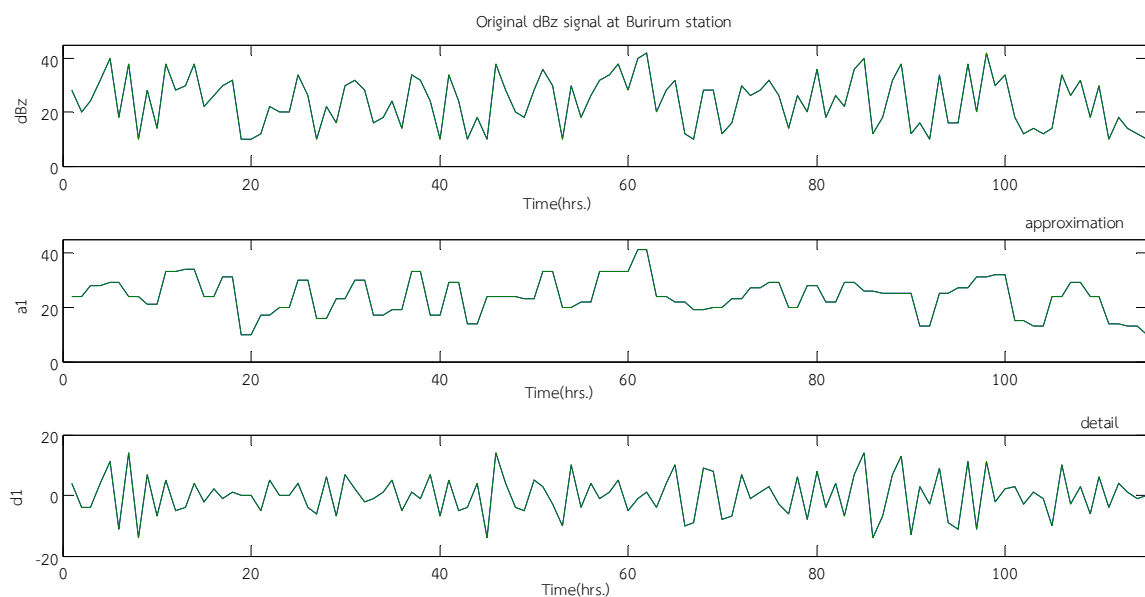
### ชุดคำสั่ง

```

clear all
clc
Data = xlsread('c:\burirum_dbz_input_2004.xls')
[n,m]=size(Data);
Time = 1:1:n;
Time = Time';
sig = Data(:,2);
[C,L] = wavedec(sig,1,'Haar');
[thr,sorh,keepapp]= ddencomp('den','wv',sig);
Approximation = abs(wdencomp('gbl',C,L,'Haar', 1,thr,sorh,keepapp));
Detail = sig-Approximation;
subplot(3,1,1);
plot(Time,sig,Time,sig)
axis([0 115 0 45])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('dBz')
title('Original dBz signal at Burirum station')
subplot(3,1,2);
plot(Time,Approximation,Time,Approximation)
axis([0 115 0 45])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('a1')
title('approximation')
subplot(3,1,3);
plot(Time,Detail,Time,Detail)
axis([0 115 -20 20])
xlabel('Time(hrs.)')
ylabel('d1')
title('detail')
SUCCESS = XLSWRITE('C:\burirum_dbz_output_2004.xls',Approximation)

```

### dBz signal by Haar Wavelet



ประวัติย่อผู้วิจัย



## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายวัลลภ จิวหลง
วันเกิด	วันที่ 11 เดือน ตุลาคม พ.ศ.2515
สถานที่เกิด	อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2530 มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนโพนทองพัฒนวิद्या อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2533 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสุวรรณภูมิพิทยไพศาล อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2539 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2544 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรแหล่งน้ำ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2555 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรสำรวจ ออกแบบและควบคุมคุณภาพ บริษัท เพาเวอร์พลัส คอนซัลแตนท์ จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำห้วยหลวง-หนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 90/419 หมู่ 9 หมู่บ้านพุทธธานี ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลกระทุ่มล้ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73220 E-mail address ; Jiwlong@hotmail.com

