

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XIII
สารบัญภาพ	XVI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	8
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	9
1.4 พื้นที่ศึกษา	9
1.4.1 สภาพภูมิประเทศ	10
1.4.2 ลักษณะและปริมาณฝน	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน	15
2.1.1 การติดตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล	15
2.1.2 การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนโดยการใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน	18
2.1.3 การติดตามกลุ่มฝนด้วยลักษณะการเปลี่ยนแปลง	19
2.2 มัลติเรโซลูชันวิศกส์อะไคแมนท์	20
2.3 เมฆและชนิดของเมฆ	24
2.3.1 เมฆตามลักษณะการปรากฏของเมฆ	25
2.3.1.1 เมฆระดับสูง	25
2.3.1.2 เมฆระดับกลาง	25
2.3.1.3 เมฆระดับต่ำ	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1.4 เมฆก่อตัวในแนวตั้ง	27
2.3.2 ชนิดของเมฆตามพฤติกรรมก่อเกิด	27
2.3.2.1 เมฆที่เกิดจากการพาความร้อน	27
2.3.2.2 เมฆที่เกิดจากการลอยตัวขึ้นทำให้เกิดแนวปะทะอากาศ	28
2.3.2.3 เมฆที่เกิดจากกระแสปั่นป่วน	29
2.4 หลักการทำงานของเรดาร์	29
2.5 การประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์	36
2.5.1 กระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์	36
2.5.2 วิธีหาสมการความสัมพันธ์ Z-R	37
2.5.2.1 Least-squares regression technique	38
2.5.2.2 Robust regression technique	38
2.5.2.3 A non-parametric technique	38
2.5.2.4 Neural network technique	38
2.6 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน	39
2.6.1 ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝน	39
2.6.2 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝน	41
2.6.2.1 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	41
2.6.2.2 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทาง	42
2.6.2.3 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนที่แปรเปลี่ยนตามเวลา	43
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการประมาณการปริมาณฝนจากเรดาร์	44
บทที่ 3 ข้อมูลและขั้นตอนการวิจัย	
3.1 ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์	60
3.2 ข้อมูลจากสถานีวัดความเข้มฝน	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	68
3.3.1 ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์	68
3.3.2 ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน	69
3.4 วิธีการศึกษา	71
3.4.1 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	72
3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแปลงค่าสะท้อนกลับ 3 มิติ เป็น 2 มิติ	72
3.4.3 การประยุกต์ใช้วิธี MVA	72
3.4.4 การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R	72
3.4.5 การประเมินความถูกต้องของปริมาณน้ำฝนโดยเรดาร์ที่คำนวณจาก สมการความสัมพันธ์ Z-R ต่าง ๆ เทียบกับข้อมูลฝนจากสถานี วัดน้ำฝน	73
3.4.6 การทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประมาณฝน เรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดต่างๆ	73
3.4.7 การปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับ ฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	74
3.4.8 การทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	75
3.4.9 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	75
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้ Multi-resolution Viscous Alignment	
4.1 การดำเนินการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์	76
4.2 ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์	76
4.2.1 Plan Position Indicator	77
4.2.2 Constant Altitude Plan Position Indicator	78
4.2.3 Range-Height Indicator	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ในการเพิ่มความถี่ข้อมูลฝนจากเรดาร์	80
4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA	81
4.3.2 วิธีการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์	83
4.4 การประยุกต์วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ. ช่วงเวลาต่างๆ	86
4.5 การประยุกต์ใช้ MVA กับกลุ่มเมฆฝนชนิดต่าง ๆ	91
4.5.1 ผลของการวิเคราะห์	93
4.6 สรุปผลการศึกษาการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์	97
บทที่ 5 ประยุกต์ใช้วิธี MVA ในขบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	
5.1 การประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์	99
5.2 ขั้นตอนการดำเนินการ	101
5.2.1 การสอบเทียบเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย	101
5.2.2 การหาค่าความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ที่เหมาะสม	102
5.3 ผลการศึกษา	105
5.3.1 ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์	105
5.3.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์จากเทคนิควิธี MVA ในการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	106
5.3.2.1 ผลการสอบเทียบ	106
5.3.2.2 ผลการทวนสอบ	108
5.4 สรุปผลการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	110
บทที่ 6 ผลกระทบของชนิดเมฆต่อการประมาณปริมาณฝนรายชั่วโมง	
6.1 ผลกระทบของชนิดของเมฆในการประมาณปริมาณฝน	112
6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	113
6.3 ผลกระทบของชนิดของเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์	114

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.4 การวิเคราะห์ชนิดของเมฆฝนกับช่วงเวลาที่ภาพข้อมูลเรดาร์ห่างกัน 2 ภาพ	115
6.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	115
6.4.1.1 เมฆฝนคิวมูลัส	115
6.4.1.2 เมฆฝนคิวมูโลนิมบัส	115
6.4.2 วิธีดำเนินการ	116
6.4.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม	117
6.4.3.1 เมฆฝนคิวมูลัส	117
6.4.3.2 เมฆฝนคิวมูโลนิมบัส	118
6.5 สรุปผลการศึกษาผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝน	120
บทที่ 7 การปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	
7.1 การปรับแก้ฝนบนฟ้าให้เทียบเท่ากับฝนบนพื้นดิน	122
7.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	123
7.3 ผลกระทบของการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์	123
7.3.1 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด	124
7.3.2 การปรับแก้ตามระยะทาง	126
7.3.3 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามเวลา	129
7.4 สรุปการปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	132
บทที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	
8.1 นโยบายการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์	134
8.2 การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในช่วงเวลาการตรวจวัดต่าง ๆ	135
8.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	135
8.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์	136
8.2.3 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม	138

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.2.3.1 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 40 นาที	139
8.2.3.2 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 30 นาที	140
8.2.3.3 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 20 นาที	141
8.2.3.4 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 10 นาที	143
8.3 สรุปผลการศึกษากการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	145
บทที่ 9 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
9.1 สรุปผลการศึกษา	147
9.1.1 ผลจากการศึกษาการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์	148
9.1.2 ผลจากการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	149
9.1.3 ผลการศึกษาลักษณะของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝน	149
9.1.4 ผลการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	150
9.1.5 ผลการศึกษากการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	151
9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป	151
9.3 คุณค่าทางวิชาการของวิทยานิพนธ์	152
บรรณานุกรม	153
ภาคผนวก ก Regression Model	
ภาคผนวก ข การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน	
ภาคผนวก ค โปรแกรมแปลงข้อมูลค่าสะท้อนกลับลงพิกัดจาก Radar Gauge ประวัติการศึกษา	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	11
สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 30 ปี (พ.ศ 2504-2533) ของ กรุงเทพมหานคร	
ตารางที่ 2.1	31
แถบคลื่น ความถี่และลักษณะการใช้งานของเรดาร์ชนิดต่าง ๆ	
ตารางที่ 3.1	60
คุณสมบัติของเรดาร์ภาคีเจริญ เป็นชนิด C-band Minimax	
ตารางที่ 3.2	65
ลักษณะของเหตุการณ์ฝน 41 เหตุการณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	
ตารางที่ 3.3	66
รายละเอียดตำแหน่งของสถานีวัดความเข้มฝนที่ใช้ในการศึกษา	
ตารางที่ 3.4	68
ตัวอย่างข้อมูลความเข้มฝนสะสมสถานีตรวจวัด ณ ศูนย์ควบคุมการป้องกัน น้ำท่วม กรุงเทพมหานคร วันที่ 3 เดือนเมษายน 2548	
ตารางที่ 4.1	87
ผลการวิเคราะห์หาค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้ MVA และค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์	
ตารางที่ 4.2	92
ลักษณะเหตุการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แยกตามชนิดของเมฆฝน	
ตารางที่ 4.3	93
เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากเทคนิค วิธี MVA และ สังเคราะห์ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสะท้อนกลับ	
ตารางที่ 5.1	105
แสดงการแบ่งกลุ่มในการสังเคราะห์ภาพใหม่	
ตารางที่ 5.2	106
เปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละความถี่ที่ใช้ในสังเคราะห์ข้อมูลค่า สะท้อนกลับของเรดาร์	
ตารางที่ 5.3	107
สมการ Z-R เฉลี่ยของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบจำนวน 28 เหตุการณ์	
ตารางที่ 5.4	109
เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างประมาณปริมาณฝนเรดาร์ และฝนจากสถานีวัด น้ำฝนของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ	
ตารางที่ 6.1	113
เกณฑ์วิธีการจำแนกกลุ่มเมฆฝนตามรูปแบบกลุ่มเมฆฝน	
ตารางที่ 6.2	114
เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์เริ่มตั้งแต่ 19 มีนาคม – 20 กันยายน 2550	
ตารางที่ 6.4	118
เปรียบเทียบ RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ	
ตารางที่ 6.5	119
ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเหตุการณ์เมฆคิวมูโลนิมบัส	

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 6.6	เปรียบเทียบ RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมูโลนิมบัสสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ	120
ตารางที่ 7.1	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วย G/R ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	125
ตารางที่ 7.2	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้โดยใช้ G/R แบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	125
ตารางที่ 7.3	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้ตามระยะทาง (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	128
ตารางที่ 7.4	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้ตามระยะทาง (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	129
ตารางที่ 7.5	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	130
ตารางที่ 7.6	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	131
ตารางที่ 7.7	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้แฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ทั้ง 3 วิธี (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	132
ตารางที่ 7.8	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้แฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ทั้ง 3 วิธี (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	132
ตารางที่ 8.1	รายละเอียดเหตุการณ์ฝนทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์	135
ตารางที่ 8.2	ช่วงเวลาในการตรวจวัด และ ช่วงเวลาที่ใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ภาพใหม่	136

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 8.3	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	139
ตารางที่ 8.4	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	140
ตารางที่ 8.5	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 30 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	141
ตารางที่ 8.6	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 30 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	141
ตารางที่ 8.7	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	142
ตารางที่ 8.8	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	142
ตารางที่ 8.9	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 10 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	143
ตารางที่ 8.10	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	144
ตารางที่ 8.11	RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อ มูลค่าสะท้อนกลับที่ความถี่ต่าง ๆ (กรณีสอบเทียบ)	145
ตารางที่ 8.12	RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่ความถี่ต่าง ๆ (กรณีทวนสอบ)	145

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	6
ภาพที่ 1.2	8
ภาพที่ 1.3	10
ภาพที่ 1.4	12
ภาพที่ 2.1	17
ภาพที่ 2.2	17
ภาพที่ 2.3	21
ภาพที่ 2.4	24
ภาพที่ 2.5	25
ภาพที่ 2.6	26
ภาพที่ 2.7	26
ภาพที่ 2.8	27
ภาพที่ 2.9	28
ภาพที่ 2.10	28
ภาพที่ 2.11	29
ภาพที่ 2.12	30
ภาพที่ 2.13	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.14	การหาความสูงของเป้าหมายในการกวาดของเรดาร์ 32
ภาพที่ 2.15	ข้อมูลที่เรดาร์ตรวจวัด ณ มุมต่าง ๆ กัน 33
ภาพที่ 2.16	ค่าการกระจายฝนในหนึ่งพิกเซลของเรดาร์ 40
ภาพที่ 2.17	ผิวของโลกเป็นลักษณะเส้นโค้ง 42
ภาพที่ 2.18	ลักษณะของลำคลื่นพลังงานเรดาร์เมื่อดำเนินการตรวจวัด 42
ภาพที่ 3.1	ข้อมูลโพลาร์พิกัด ($13, 23^\circ$) 61
ภาพที่ 3.2	ภาพ PPI แสดงข้อมูลวันที่ 23 มิถุนายน 2548 เวลา 19.00 น. 62
ภาพที่ 3.3	พื้นที่ของกรุงเทพมหานครแสดงตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์ภาชีเจริญและสถานีวัด ความเข้มฝน 64
ภาพที่ 3.4	ข้อมูลภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ วันที่ 12 กรกฎาคม 2548 (ก) ข้อมูลภาพ ณ เวลา 12.40 น. (ข) ข้อมูลภาพ ณ เวลา 13.50 น. 69
ภาพที่ 3.5	การตรวจสอบความถูกต้องของสถานีวัดน้ำฝน (I) RE18 และ (II) RE19 โดยวิธี Double mass curve 70
ภาพที่ 3.6	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย 71
ภาพที่ 4.1	ลักษณะการตรวจวัดแบบ PPI 77
ภาพที่ 4.2	ภาพ PPI แสดงค่าสะท้อนกลับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของพายุ 78
ภาพที่ 4.3	ค่าสะท้อนกลับของข้อมูลแสดงแบบ CAPPI ที่ระยะความสูง 1.5 กิโลเมตร ของ เรดาร์ Montreal 79
ภาพที่ 4.4	เรดาร์กวาดจับเป้าหมายด้วยมุมคงที่ 79
ภาพที่ 4.5	ภาพหน้าตัดขวางของ convective rain สร้างใหม่เป็น RHI โดยใช้ข้อมูล PPI จากเรดาร์ NEXRAD 80

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.6	ผลการทดสอบหาสนามความเร็วด้วยวิธี MVA ภาพ (I) และภาพ (II) เป็นข้อมูลนำเข้า (III) เป็นสนามความเร็วจริงและ(IV) เป็นสนามความเร็วที่คำนวณได้จาก MVA	82
ภาพที่ 4.7	ผลการเคลื่อนที่ของมวลฝนสังเคราะห์ด้วยสนามความเร็วจากวิธี (I),(II)เป็นข้อมูลมวลฝนนำเข้า ณ เวลาที่ 1 และ 2 ,(III) สนามความเร็วที่คำนวณได้จาก MVA	83
ภาพที่ 4.8	จุด (x,y) หาได้จากการประมาณค่า จากจุด (x_0,y_0) และ (x_1,y_1)	84
ภาพที่ 4.9	การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์โดยใช้วิธี MVA และวิธี SLI	85
ภาพที่ 4.10	ารเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE =8.56 dBZ) และวิธี SLI (RMSE= 11.69 dBZ) ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:11 น.โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 20 นาที	88
ภาพที่ 4.11	การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE = 11.81 dBZ) และวิธี SLI (14.74 dBZ)ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:21 น.โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 40 นาที	88
ภาพที่ 4.12	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์(ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	89
ภาพที่ 4.13	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที)ทุก ๆ 10 นาที	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.14	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที	91
ภาพที่ 4.15	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จากกลุ่มเมฆคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	94
ภาพที่ 4.16	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จากกลุ่มเมฆคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	94
ภาพที่ 4.17	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที	95
ภาพที่ 4.18	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที	96
ภาพที่ 4.19	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	96

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.20	แจกแจงความถี่ของ RMSE ระหว่างค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าสะท้อนที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ณ นาฬิกาที่ 10 จากข้อมูลภาพ 2 ภาพห่างกัน 40 นาที สำหรับกลุ่มเมฆคิวมูลัส	97
ภาพที่ 5.1	ผังแสดงขั้นตอนการหาสนามความเร็วของ MVA เพื่อใช้ในการสร้างภาพใหม่	104
ภาพที่ 5.2	กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (กรณีทวนสอบ)	110
ภาพที่ 6.1	ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส; (I) คือ ลักษณะเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส; (II) คือ ภาพเหตุการณ์ฝนวันที่ 16 กรกฎาคม 2550	116
ภาพที่ 6.2	ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส; (I) ลักษณะเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส (II) คือ ภาพเหตุการณ์ฝนวันที่ 19 มีนาคม 2550	116
ภาพที่ 7.1	ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ตามระยะทางจากสถานีเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ	127
ภาพที่ 8.1	ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ได้จากการตรวจวัด ; (I) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 20 นาที, (II) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 30 นาที, (III) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 40 นาที	137
ภาพที่ 8.2	ภาพที่สังเคราะห์ใหม่จากวิธี MVA ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ; (I) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที, (II) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 30 นาที, (III) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 40 นาที	138