สารบัญ

หน้า

สรุปผู้บริหาร i

Executive summary iii

บทคัดย่อภาษาไทย v

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ viii

กิตติกรรมประกาศ x

สารบัญ xi

สารบัญรูป xiii

สารบัญตาราง xxi

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

บทที่ 2 หลักการทางวิชาการ 3

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝุ่นละอองในบรรยากาศ 3

2.1.1 การจำแนกฝุ่นละออง 3

2.1.2 องค์ประกอบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ 3

2.1.3 ขนาดของฝุ่นละออง 4

2.1.4 การเกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ 6

2.1.5 กระบวนการเกิดฝุ่นละออง 6

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในช่วงเวลาที่อยู่ในบรรยากาศ 7

2.1.7 กระบวนการที่ฝุ่นละอองหายออกไปจากบรรยากาศ 9

2.1.8 การกระจายของฝุ่นละอองตามความสูงจากพื้นผิวโลก 11

2.1.9 ผลของฝุ่นละอองที่มีต่อแสง 11

2.1.10 การลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง 12

2.1.11 ฝุ่นละอองและทัศนวิสัย 18

2.1.12 การกระเจิงแสงของฝุ่นละออง 19

2.1.13 สัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงของฝุ่นละออง 23

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาฝุ่นละอองในบรรยากาศ 24

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและผล	28
3.1 การศึกษาฝุ่นละอองจากข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์	28
3.1.1 เครื่องมือและข้อมูล	28
3.1.2 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	31
3.1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	36
3.2 การหาสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมจากข้อมูลความเข้มรังสีตรง	62
3.2.1 การหาค่าความเข้มรังสีตรง	65
3.2.2 การหาค่าปริมาณ precipitable water	78
3.2.3 การหาปริมาณโอโซน	82
3.2.4 การทดสอบแบบจำลอง	88
3.2.5 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอม	90
3.3 การลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง	94
บทที่ 4 การหาความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากข้อมูลดาวเทียม	118
4.1 ดาวเทียม	118
4.2 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	125
4.3 การสร้างตารางสำหรับค้นหาค่าความลึกเชิงแสง (look up table, LUT)	129
4.4 การหาค่าความลึกเชิงแสงทั่วประเทศโดยใช้ LUT	132
4.5 ทดสอบการหาค่า AOD ด้วย LUT	136
4.6 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงจาก LUT	138
4.7 การวิเคราะห์เบื้องต้นผลของฝุ่นละอองต่อภูมิอากาศในประเทศไทย	162
บทที่ 5 สรุป	169
เอกสารอ้างอิง	171
ภาคผนวกที่ 1 การเผยแพร่ผลงาน	175

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะการแจกแจงขนาดของฝุ่นละอองชนิดต่างๆ (Dubovik et al., 2002) 6

รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาค NaCl ที่ความชื้นต่างๆ โดยเส้นทึบแสดงการเพิ่มขึ้นของขนาดของอนุภาคเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น และเส้นประแสดงการลดลงของขนาดของอนุภาคเมื่อความชื้นลดลง (Warneck, 1988) 9

รูปที่ 2.3 ความเร็วของการร่วงหล่นของฝุ่นละอองที่ค่ารัศมีต่างๆ (Smith et al., 1993) 10

รูปที่ 2.4 ปริมาณและชนิดของฝุ่นละออง ที่พบที่ระดับความสูงต่างๆ ของบรรยากาศ (N เป็นจำนวนของอนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) (Iqbal, 1983) 11

รูปที่ 2.5 ปรากฏการณ์ทินดอลล์ที่ทำให้มองเห็นแสงเป็นลำ เนื่องมาจากการกระเจิงแสงของฝุ่นละออง

รูปที่ 2.6 แสดงการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศของโลก 12

รูปที่ 2.7 การแปรค่าของ β ตามทัศนวิสัย ที่ค่า α (Iqbal, 1983) 14

รูปที่ 2.8 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของฝุ่นละออง ($\tau_{a\lambda}$) กับความยาวคลื่นที่ βm_a ค่าต่างๆ (กรณีที่ α = 1.3 และ 0.7) (Iqbal, 1983) 15

รูปที่ 2.9 เครื่อง sunphotometer (CIMEL, model 318) 16

รูปที่ 2.10 เครื่อง Multi-filter rotating shadow band radiometer (Yankee, model MFR-7) 17

รูปที่ 2.11 การกระเจิงแบบ Rayleigh และการกระเจิงแบบ Mie (Iqbal, 1983) 19

รูปที่ 2.12 การแปรค่าของ turbidity coefficient (B) ที่กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ (Exell,1978) 26

รูปที่ 3.1 ภาพเครื่อง sunphotometer ที่ติดตั้งที่จังหวัดเชียงใหม่ 29

รูปที่ 3.2 ภาพเครื่อง sunphotometer ที่ติดตั้งที่จังหวัดอุบลราชธานี 30

รูปที่ 3.3 ภาพเครื่อง sunphotometer ที่ติดตั้งที่จังหวัดนครปฐม 30

รูปที่ 3.4 ภาพเครื่อง sunphotometer ที่ติดตั้งที่จังหวัดสงขลา 31

รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln C_{n\lambda}$ กับ m_a ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ของสถานีอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2551 33

รูปที่ 3.6 การกระเจิงและดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยองค์ประกอบของบรรยากาศที่ความยาวคลื่นต่างๆ (Iqbal, 1983) 33

รูปที่ 3.7 การแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 nm ที่สถานีเชียงใหม่ 36

หน้า

รูปที่ 3.8 การแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 nm ที่สถานีอุบลราชธานี 36
รูปที่ 3.9 การแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 nm ที่สถานีนครปฐม 37
รูปที่ 3.10 การแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 nm ที่สถานีสงขลา 37
รูปที่ 3.11 การแปรค่า AOD รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของข้อมูลจากสถานีเชียงใหม่ 37
รูปที่ 3.12 การแปรค่า AOD รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของข้อมูลจากสถานีอุบลราชธานี 38
รูปที่ 3.13 การแปรค่า AOD รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของข้อมูลจากสถานีนครปฐม 38
รูปที่ 3.14 การแปรค่า AOD รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของข้อมูลจากสถานีสงขลา 38
รูปที่ 3.15 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมของสถานีเชียงใหม่ 39
รูปที่ 3.16 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมของสถานีอุบลราชธานี 40
รูปที่ 3.17 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมของสถานีนครปฐม 40
รูปที่ 3.18 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมของสถานีสงขลา 40
รูปที่ 3.19 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีเชียงใหม่ 41
รูปที่ 3.20 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีอุบลราชธานี 41
รูปที่ 3.21 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีนครปฐม 41
รูปที่ 3.22 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีสงขลา 42
รูปที่ 3.23 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมของสถานีเชียงใหม่ 43
รูปที่ 3.24 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมของสถานีอุบลราชธานี 43
รูปที่ 3.25 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมของสถานีนครปฐม 43

หน้า

รูปที่ 3.26 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมของสถานีสงขลา 44
รูปที่ 3.27 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีเชียงใหม่ 44
รูปที่ 3.28 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีอุบลราชธานี 44
รูปที่ 3.29 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีนครปฐม 45
รูปที่ 3.30 การแปรค่าของตัวเลขยกกำลังของอังสตรอมเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีสงขลา 45
รูปที่ 3.31 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองที่สถานีเชียงใหม่ 46
รูปที่ 3.32 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองที่สถานีอุบลราชธานี 46
รูปที่ 3.33 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองที่สถานีนครปฐม 46
รูปที่ 3.34 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองที่สถานีสงขลา 47
รูปที่ 3.35 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองเฉลี่ยต่อเดือนที่
สถานีเชียงใหม่ 47
รูปที่ 3.36 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองเฉลี่ยต่อเดือนที่
สถานีอุบลราชธานี 47
รูปที่ 3.37 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองเฉลี่ยต่อเดือนที่
สถานีนครปฐม 48
รูปที่ 3.38 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การกระเจิงของฝุ่นละอองเฉลี่ยต่อเดือนที่
สถานีสงขลา 48
รูปที่ 3.39 การแจกแจงของขนาดของฝุ่นละออง (dV/d ln (r)) ของสถานีเชียงใหม่
ในเดือนต่างๆ 50
รูปที่ 3.40 การแจกแจงของขนาดของฝุ่นละออง (dV/d ln (r)) ของสถานีอุบลราชธานี
ในเดือนต่างๆ 53
รูปที่ 3.41 การแจกแจงของขนาดของฝุ่นละออง (dV/d ln (r)) ของสถานีนครปฐม
ในเดือนต่างๆ 56
รูปที่ 3.42 การแจกแจงของขนาดของฝุ่นละออง (dV/d ln (r)) ของสถานีสงขลา
ในเดือนต่างๆ 59
รูปที่ 3.43 แผนภูมิแสดงการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมา
ยังพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ 62
รูปที่ 3.44 ลักษณะข้อมูลที่ผิดปกติ ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบ 67

หน้า

รูปที่ 3.45 เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ของสถานีเชียงใหม่ (ก) เครื่องวัดรังสีรวม (ข) เครื่องวัดรังสีกระจาย (ค) เครื่องวัดรังสีตรง 69
รูปที่ 3.46 เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ของสถานีอุบลราชธานี (ก) เครื่องวัดรังสีรวมและรังสีกระจาย (ข) เครื่องวัดรังสีตรง 70
รูปที่ 3.47 เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ของสถานีนครปฐม (ก) เครื่องวัดรังสีรวม (ข) เครื่องวัดรังสีกระจาย (ค) เครื่องวัดรังสีตรง 71
รูปที่ 3.48 เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ของสถานีสงขลา (ก) เครื่องวัดรังสีรวม (ข) เครื่องวัดรังสีกระจาย (ค) เครื่องวัดรังสีตรง 72
รูปที่ 3.49 การเปรียบเทียบข้อมูลรังสีตรงที่คำนวณได้จากรังสีรวมและรังสีกระจาย ($I_{B,global-diffuse}$) กับรังสีตรงที่วัดได้จากเครื่องวัดรังสีตรง ($I_{B,pyrheliometer}$) ของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา 73
รูปที่ 3.50 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีตรงรายวันเฉลี่ยต่อเดือนปี 1995-2008 ของสถานีเชียงใหม่ 75
รูปที่ 3.51 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีตรงรายวันเฉลี่ยต่อเดือนปี 1995-2008 ของสถานีอุบลราชธานี 75
รูปที่ 3.52 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีตรงรายวันเฉลี่ยต่อเดือนปี 1995-2008 ของสถานีนครปฐม 76
รูปที่ 3.53 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีตรงรายวันเฉลี่ยต่อเดือนปี 1995-2008 ของสถานีสงขลา 76
รูปที่ 3.54 ตัวอย่างลักษณะการแปรค่าของรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) 77
รูปที่ 3.55 sky view ที่สถานีนครปฐม 78
รูปที่ 3.56 ตัวอย่างภาพท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆ ซึ่งได้จาก sky view 78
รูปที่ 3.57 การเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่คำนวณได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน ($W_{upper\ air}$) กับค่าที่ได้จาก sunphotometer ($W_{sunphotometer}$) 80
รูปที่ 3.58 การแปรค่าของ precipitable water ที่สถานีเชียงใหม่ 81
รูปที่ 3.59 การแปรค่าของ precipitable water ที่สถานีกรุงเทพฯ 81
รูปที่ 3.60 การแปรค่าของ precipitable water ที่สถานีอุบลราชธานี 81
รูปที่ 3.61 การแปรค่าของ precipitable water ที่สถานีสงขลา 82

หน้า

รูปที่ 3.62 แสดงสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของโอโซน 82
รูปที่ 3.63 แสดงลักษณะดาวเทียม Earth Probe 83
รูปที่ 3.64 แสดงดาวเทียม A-Train ขององค์การ NASA 84
รูปที่ 3.65 แสดงปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม EP/TOMS 85
รูปที่ 3.66 แสดงปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม OMI 85
รูปที่ 3.67 การเปรียบเทียบปริมาณโอโซนซึ่งวัดจาก TOMS และที่วัดจาก Brewer spectrophotometer 86
รูปที่ 3.68 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซนของสถานีเชียงใหม่ 87
รูปที่ 3.69 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซนของสถานีอุบลราชธานี 87
รูปที่ 3.70 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซนของสถานีนครปฐม 87
รูปที่ 3.71 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซนของสถานีสงขลา 88
รูปที่ 3.72 แสดงเครื่อง sunphotometer ของสถานีนครปฐม 89
รูปที่ 3.73 การเปรียบเทียบค่า β ที่ได้จากแบบจำลองและจากการวัดด้วย sunphotometer 89
รูปที่ 3.74 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ทั้ง 4 สถานี 93
รูปที่ 3.75 แผนภูมิแสดงวิธีการคำนวณการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง 95
รูปที่ 3.76 ตัวอย่างกราฟรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆวันที่ 15 มกราคม 2008 ของสถานีเพชรบูรณ์ 96
รูปที่ 3.77 แสดงที่ตั้งเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ทั้ง 38 แห่ง 96
รูปที่ 3.78 การเปรียบเทียบค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง (H_{model}) กับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องไพราโนมิเตอร์ (H_{meas}) ของสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) 100
รูปที่ 3.79 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง (D_{aer}) ที่สถานีวัดของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) 107
รูปที่ 4.1 ลักษณะของดาวเทียม GMS4 118
รูปที่ 4.2 ระบบการบันทึกภาพของอุปกรณ์ VISSR 119
รูปที่ 4.3 ลักษณะข้อมูลจากดาวเทียม GMS4 120
รูปที่ 4.4 ลักษณะดาวเทียม GMS5 121

หน้า

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม GMS5 121
รูปที่ 4.6 ลักษณะของดาวเทียม GOES9 122
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างข้อมูลจากดาวเทียม GOES9 123
รูปที่ 4.8 ลักษณะของดาวเทียม MTSAT-1R 123
รูปที่ 4.9 การบันทึกภาพของดาวเทียม MTSAT-1R 124
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างข้อมูลจากดาวเทียม MTSAT-1R 124
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายดาวเทียมใน satellite projection 126
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายดาวเทียมใน cylindrical projection 126
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการหาพิกัดแล้ว 127
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายดาวเทียมที่แปลงเป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศ และพื้นผิวโลก 128
รูปที่ 4.15 การแจกแจงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (ρ_{EA}) ที่ใช้แยกพิกเซลที่มีเมฆกับที่ปราศจากเมฆ 129
รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศตามแบบจำลอง 6S 130
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดง input และ output ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง 6S 130
รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงการคำนวณเพื่อสร้างตารางสำหรับค้นหาค่าตัวแปรความลึกเชิงแสง 131
รูปที่ 4.19 ตัวอย่างแผนที่ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก วันที่ 15 เดือนธันวาคม ค.ศ. 2006 132
รูปที่ 4.20 แผนที่แสดงการกระจายของปริมาณโอโซนจากดาวเทียม AURA/OMI เดือนมกราคม ค.ศ. 1990 133
รูปที่ 4.21 เครือข่ายสถานีอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แวดล้อมและทัศนวิสัย 134
รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการกระจายตามพื้นที่ของไอน้ำในบรรยากาศของเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1990 135
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการกระจายของค่าทัศนวิสัยทั่วประเทศในเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 2005 135
รูปที่ 4.24 แผนภูมิแสดงการใช้ LUT ในการหาค่า AOD 137
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงที่ได้จาก LUT (AOD_{LUT}) และที่ได้จากการวัดด้วย sunphotometer (AOD_{meas}) 138
รูปที่ 4.26 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1990 139

หน้า

รูปที่ 4.27 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1991 140
รูปที่ 4.28 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1992 141
รูปที่ 4.29 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1993 142
รูปที่ 4.30 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1994 143
รูปที่ 4.31 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1995 144
รูปที่ 4.32 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1996 145
รูปที่ 4.33 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1997 146
รูปที่ 4.34 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1998 147
รูปที่ 4.35 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 1999 148
รูปที่ 4.36 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2000 149
รูปที่ 4.37 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2001 150
รูปที่ 4.38 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2002 151
รูปที่ 4.39 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2003 152
รูปที่ 4.40 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2004 153
รูปที่ 4.41 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2005 154
รูปที่ 4.42 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2006 155
รูปที่ 4.43 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2007 156
รูปที่ 4.44 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2008 157
รูปที่ 4.45 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยรายเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2009 158
รูปที่ 4.46 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยระยะยาวของเดือนต่างๆ 159
รูปที่ 4.47 แผนที่แสดงค่า AOD เฉลี่ยระยะยาวตลอดปี 160
รูปที่ 4.48 ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS แสดงจุดที่มีการเผาไหม้ในช่วงเกิดเหตุการณ์ควันไฟปกคลุมเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 7 มีนาคม ค.ศ. 2010 161
รูปที่ 4.49 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกเชิงแสง (AOD) ในภาคเหนือ 163
รูปที่ 4.50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกเชิงแสง (AOD) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 163
รูปที่ 4.51 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกเชิงแสง (AOD) ในภาคกลาง 163
รูปที่ 4.52 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกเชิงแสง (AOD) ในภาคใต้ 164
รูปที่ 4.53 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยต่อปีที่สถานีเชียงใหม่ 165

หน้า

รูปที่ 4.54 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยต่อปีที่สถานีอุบลราชธานี 165
รูปที่ 4.55 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยต่อปีที่สถานีนครปฐม 165
รูปที่ 4.56 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยต่อปีที่สถานีสงขลา 166
รูปที่ 4.57 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนที่สถานีเชียงใหม่ 167
รูปที่ 4.58 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนที่สถานีอุบลราชธานี 167
รูปที่ 4.59 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนที่สถานีนครปฐม 167
รูปที่ 4.60 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนที่สถานีสงขลา 168

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนผสมขององค์ประกอบที่รวมกันเป็นฝุ่นละอองชนิดต่างๆ 4

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการแจกแจงขนาดของฝุ่นละอองแบบต่างๆ 5

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของ Angstrom ในสภาพบรรยากาศต่างๆ 14

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่าง SSA ของฝุ่นละอองชนิดต่างๆ 24

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องมือวัดและข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ 29

ตารางที่ 3.2 แสดงตำแหน่ง ที่ตั้งของสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ และระยะเวลาของข้อมูลที่นำมาใช้ในการหาค่า β 74

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีเชียงใหม่ 91

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีอุบลราชธานี 91

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีนครปฐม 92

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีสงขลา 92

ตารางที่ 3.7 แสดงรายชื่อ และที่ตั้งของสถานีวัด และ เดือน ปี ที่ทำการติดตั้งเครื่องวัดของเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 97

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาของข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 125