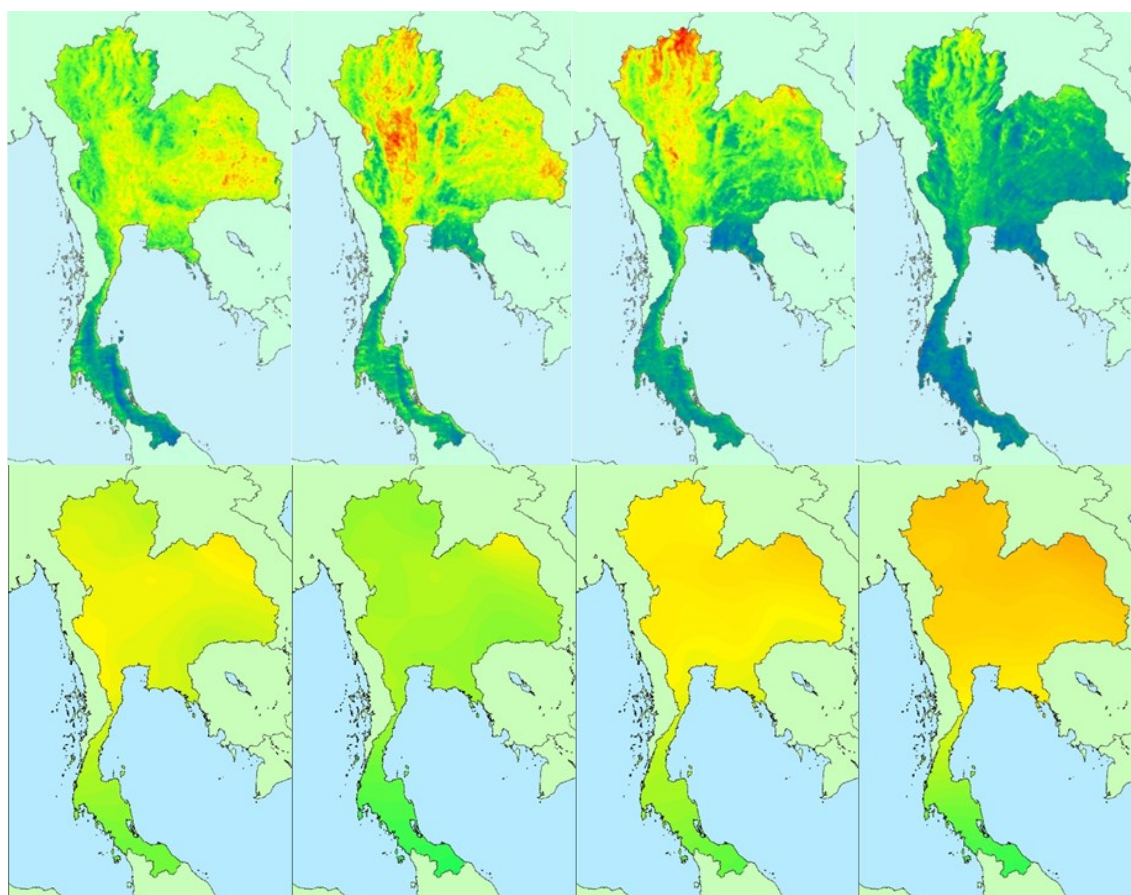




รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ
(การประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย)



คำนำ

โครงการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ (การประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย) นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศในลักษณะแผนที่ให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศ โดยได้มอบหมายให้ศูนย์วิศวกรรมสารสนเทศภูมิศาสตร์และนวัตกรรม เป็นที่ปรึกษาดำเนินงาน มีระยะเวลาโครงการรวม 240 วัน

รายงานการศึกษาดัชนีสมบูรณ์ เป็นรายงานผลการดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ เป็นส่วนหนึ่งของการส่งมอบงานงวดสุดท้ายของโครงการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ (การประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย) โดยมีเนื้อหาครอบคลุม การทบทวนวรรณกรรม วิธีการ ขั้นตอน และผลการดำเนินการศึกษาทั้งหมดของโครงการ ได้แก่ การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน ซึ่งผลการดำเนินงานครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศ และเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศของหน่วยงานส่วนกลางและหน่วยงานท้องถิ่น การแจ้งเตือนประชาชนได้ทันท่วงที และการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์แก่สาธารณชน

ศูนย์วิศวกรรมสารสนเทศภูมิศาสตร์และนวัตกรรม

สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พฤศจิกายน 2559

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1-2
1.3 เป้าหมาย.....	1-2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	1-2
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ.....	1-2
1.6 ขอบเขตการดำเนินงาน.....	1-2
1.7 การส่งมอบงาน.....	1-3
1.8 การจ่ายเงิน.....	1-3
1.9 กรรมสิทธิ์ของข้อมูลและเอกสาร.....	1-4
1.10 เนื้อหารายงานฉบับสมบูรณ์.....	1-4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	2-1
2.1.1 มลพิษทางอากาศ.....	2-1
2.1.2 ฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ.....	2-3
2.1.3 ก๊าซโอโซนระดับพื้นผิว.....	2-3
2.1.4 การตรวจติดตามชั้นบรรยากาศด้วยดาวเทียม.....	2-5
2.2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2-11
2.2.1 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามตรวจสอบปริมาณฝุ่นละออง (PM ₁₀).....	2-11
2.2.2 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามตรวจสอบปริมาณโอโซน (O ₃).....	2-15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การรวบรวม จัดเตรียม และปรับแก้ข้อมูล.....	3-1
3.1.1 ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ.....	3-2
3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จากองค์การนาซา.....	3-3
3.1.3 ข้อมูลที่นำมาจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง.....	3-13
3.1.4 ข้อมูลที่นำมาจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน.....	3-18
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	3-18
3.2.1 การหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่.....	3-18
3.2.2 การหาความสัมพันธ์เชิงเวลา.....	3-21
3.2.3 การหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ.....	3-22
3.3 การวิเคราะห์ ประมวลผล และการจัดทำแผนที่.....	3-26
3.3.1 ปริมาณฝุ่นละออง (PM ₁₀).....	3-26
3.3.2 ปริมาณโอโซน (O ₃).....	3-29
3.4 การจัดการด้านลิขสิทธิ์.....	3-30
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยรายเดือน.....	4-1
4.1.1 ข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลความลึกเชิงแสงจากอุปกรณ์ MOD04.....	4-1
4.1.2 ข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวจากอุปกรณ์ MOD09.....	4-1
4.1.3 ข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลความลึกเชิงแสงจากอุปกรณ์ MOD08.....	4-2
4.1.4 ข้อมูลโอโซนจากสถานีตรวจวัดและจากดาวเทียม OMI.....	4-2
4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลจากสถานีและช่วงเวลาที่กรมควบคุมมลพิษ กำหนด.....	4-5
4.2.1 ผลการหาความสัมพันธ์เชิงเวลาเพื่อปรับปรุงค่าความสัมพันธ์ของข้อมูล.....	4-5
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์เชิงปริมาณ.....	4-11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}).....	4-19
4.3.1 แผนที่แสดงปริมาณ optical depth ของฝุ่นละออง.....	4-19
4.3.2 แผนที่แสดงปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) เฉลี่ยทั่วประเทศไทย.....	4-21
4.3.3 แผนที่แสดงปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) สูงสุดทั่วประเทศไทย.....	4-27
4.4 ผลการจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3).....	4-29
4.4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลภาคพื้นดิน.....	4-30
4.4.2 การหาความสัมพันธ์ของปริมาณโอโซน.....	4-31
4.4.3 การตรวจสอบความถูกต้อง.....	4-34
4.4.4 การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวทั่วประเทศ.....	4-35
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานแผนการดำเนินงานในขั้นต่อไป	
5.1 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล.....	5-1
5.1.1 การหาความสัมพันธ์เชิงเวลา.....	5-1
5.1.2 การหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ.....	5-2
5.2 การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}).....	5-2
5.2.1 แผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) เฉลี่ยทั่วประเทศไทย.....	5-2
5.2.2 แผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) สูงสุดทั่วประเทศไทย.....	5-3
5.3 การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3).....	5-4
5.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	5-6
5.4.1 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและข้อมูลจากดาวเทียม.....	5-6
5.4.2 การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}).....	5-6
5.4.3 การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3).....	5-6

เอกสารอ้างอิง

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	3-2
3-2	ตัวแปรอินพุตในแบบจำลองส่งผ่านรังสี 6S.....	3-27
4-1	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าฝุ่นละอองและโอโซนที่ได้จากสถานีตรวจวัดกับ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือน.....	4-3
4-2	รายชื่อสถานีที่เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูลฝุ่นละออง.....	4-6
4-3	รายชื่อสถานีที่เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูลโอโซน.....	4-6
4-4	จำนวนภาพและเวลาในแต่ละวัน.....	4-7
4-5	ข้อมูล PM ₁₀ ณ เวลาเดียวกันกับข้อมูล AOD ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม.....	4-8
4-6	ข้อมูลโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและจากภาพถ่ายดาวเทียม ณ ช่วงเวลาเดียวกัน.....	4-10
4-7	Correlation Coefficient Interpretation.....	4-11
4-8	ผลการหาความสัมพันธ์ข้อมูลฝุ่นละออง.....	4-13
4-9	ผลการหาความสัมพันธ์ข้อมูลโอโซน.....	4-16
4-10	รายชื่อและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณฝุ่นละอองของกรมควบคุมมลพิษที่ใช้ ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูล optical depth ของฝุ่นละอองจาก ดาวเทียม.....	4-21
4-11	รายชื่อและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณโอโซนของกรมควบคุมมลพิษที่ใช้ใน การดำเนินงาน.....	4-29

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	มลพิษทางอากาศ.....	2-2
2-2	โอโซนผิวพื้นจากสถานี Montsouris (M) และ Pic du Midi (D).....	2-5
2-3	อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ.....	2-6
2-4	ภาพ Global ozone ซึ่งได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ OMI ติดตั้งบนดาวเทียม Aura เมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2016.....	2-9
2-5	แสดงปริมาณโอโซนจาก OMI.....	2-16
2-6	แสดงโทรโฟสเฟียร์โอโซนจาก OMI เหนือประเทศอินเดียและทวีปเอเชีย.....	2-16
3-1	แผนผังการดำเนินงานโครงการ.....	3-1
3-2	ตัวอย่างข้อมูลฝุ่นละอองปี พ.ศ. 2554.....	3-2
3-3	การกำหนดพิกัดตำแหน่งประเทศไทยข้อมูลค่าความลึกเชิงแสง (AOD).....	3-3
3-4	ข้อมูล Raster ค่าความลึกเชิงแสง (AOD) ประเทศไทย.....	3-4
3-5	แปลงข้อมูล Raster ให้เป็น Vector grid.....	3-4
3-6	Vector grid ประเทศไทย.....	3-5
3-7	ตัวอย่างแผนที่ค่าความลึกเชิงแสง (AOD).....	3-6
3-8	การดาวน์โหลดข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว.....	3-7
3-9	ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ hdf.....	3-7
3-10	ขั้นตอนการแปลงค่าพิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียม.....	3-8
3-11	ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมก่อน (1) และหลัง (2) การปรับแก้.....	3-9
3-12	ดาวน์โหลดข้อมูลโอโซน (O ₃) (MLS-Microwave Limb Sounder) 1.....	3-9
3-13	ดาวน์โหลดข้อมูลโอโซน (O ₃) (MLS-Microwave Limb Sounder) 2.....	3-10
3-14	ตัวอย่างข้อมูลโอโซน (O ₃) (MLS-Microwave Limb Sounder).....	3-10
3-15	ตัวอย่างแผนที่โอโซน (O ₃) – MLS.....	3-11
3-16	ข้อมูล optical depth.....	3-12
3-17	ภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2558.....	3-12
3-18	ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ในช่องสัญญาณ Visible ที่หาพิกัดแล้ว.....	3-14
3-19	ความสัมพันธ์ระหว่าง pseudo reflectivity กับค่าดิจิทัล 8-bit.....	3-14
3-20	ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมในช่องสัญญาณ infrared ที่ผ่านการหาพิกัดแล้ว.....	3-16

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า digital count กับอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลก.....	3-17
3-22	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนไม่เกิน 0.2.....	3-17
3-23	ภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการกำจัดเมฆ.....	3-18
3-24	ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลฝุ่นละออง (PM ₁₀) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและค่าความหนาแน่นเชิงแสง.....	3-19
3-25	ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลโอโซน (O ₃) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและข้อมูลโอโซน (O ₃) – MLS จากภาพถ่ายดาวเทียม.....	3-20
3-26	ปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์รายเดือน ที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 จังหวัดราชบุรี	3-20
3-27	กราฟสมการเชิงเส้นแบบจุดสองจุด (Two point form).....	3-21
3-28	กรอบการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ.....	3-22
3-29	การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย.....	3-24
3-30	ขั้นตอนการหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของตัวแบบ.....	3-26
3-31	แบบจำลองส่งผ่านรังสี.....	3-27
3-32	ไดอะแกรมแสดงกระบวนการคำนวณหา optical depth ของฝุ่นละออง.....	3-28
4-1	แผนที่แสดงค่า optical depth ของฝุ่นละอองทั่วประเทศไทย ที่คำนวณได้จากดาวเทียม MTSAT ในปี พ.ศ. 2554 – 2558.....	4-20
4-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีกรมอุตุนิยมวิทยา.....	4-22
4-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีบ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง.....	4-22
4-4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีมหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต.....	4-22
4-5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี.....	4-23
4-6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีสำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง.....	4-23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีศาลากลาง จังหวัดเชียงใหม่.....	4-23
4-8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีโรงไฟฟ้าย่อย ธนบุรี.....	4-24
4-9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM ₁₀ สถานีอุตุนิยมวิทยา แพร่.....	4-24
4-10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง optical depth ของฝุ่นละอองจากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณ PM ₁₀ ที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษ ในกรณีที่พิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของทุกสถานี.....	4-25
4-11	แผนที่แสดงปริมาณ PM ₁₀ ทั่วประเทศไทยที่คำนวณได้จากดาวเทียม MTSAT ในปี พ.ศ. 2554 – 2558.....	4-26
4-12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง optical depth ของฝุ่นละอองจากการ คำนวณ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณ PM ₁₀	4-27
4-13	แผนที่แสดงค่าปริมาณ PM ₁₀ สูงสุดในแต่ละเดือนปี พ.ศ. 2558 ที่คำนวณได้จาก ดาวเทียม MTSAT.....	4-28
4-14	ปริมาณโอโซนพื้นผิวรายเดือน ที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 จังหวัดราชบุรี	4-29
4-15	การเปรียบเทียบปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS/AURA และจาก ozonesonde.....	4-30
4-16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณ โอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (พ.ศ. 2554 - 2558).....	4-31
4-17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณ โอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว (พ.ศ. 2554 - 2556) ของ 10 สถานี.....	4-32
4-18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณ โอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนกุมภาพันธ์ถึง เดือนเมษายน.....	4-32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน.....	4-33
4-20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม.....	4-33
4-21	การเปรียบเทียบปริมาณโอโซนพื้นผิวที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (พ.ศ. 2557 - 2558) ของ 10 สถานี.....	4-35
4-22	ปริมาณโอโซนพื้นผิวจากแบบจำลองทั่วประเทศไทย ปี พ.ศ. 2554 – 2558.....	4-36
4-23	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินและปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์จากดาวเทียม AURA.....	4-38
4-24	ปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์สูงสุดที่ได้จากดาวเทียม AURA ทั่วประเทศ ปี พ.ศ. 2558.....	4-39
4-25	ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดที่ได้จากแบบจำลองทั่วประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558.....	4-40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ดำเนินการตรวจวัดมลพิษทางอากาศมาตั้งแต่ พ.ศ. 2526 ในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติจำนวน 61 สถานีครอบคลุมพื้นที่ 29 จังหวัด ถือเป็นภารกิจสำคัญของการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ เพื่อการเผยแพร่ต่อสาธารณะ การเตือนภัย และการวางแผนมาตรการจัดการคุณภาพอากาศ ในปี พ.ศ. 2558 พบว่า คุณภาพอากาศฝุ่นละออง (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) มีปริมาณมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะเมืองใหญ่ของภาคกลาง ตามด้วยภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และก๊าซโอโซนเกินค่ามาตรฐานในเกือบทุกพื้นที่ที่มีการตรวจวัด

ทั้งนี้ ข้อมูลผลการตรวจวัดเป็นตัวแทนของพื้นที่ได้ในรัศมีตั้งแต่ประมาณ 2-3 เมตร ไปจนถึง 50 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะแหล่งกำเนิดและชนิดของสารมลพิษ ดังนั้น พื้นที่นอกรัศมีการตรวจวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอีก 48 จังหวัดที่ยังไม่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ จึงยังไม่ทราบสถานการณ์คุณภาพอากาศ และไม่สามารถวางแผนมาตรการจัดการคุณภาพอากาศได้อย่างครอบคลุม

ในปัจจุบัน เทคนิคการตรวจวัดมลพิษทางอากาศระยะไกลโดยภาพถ่ายดาวเทียม ได้มีการพัฒนาให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น สามารถนำแผนที่ความละเอียดต่ำ มาใช้ร่วมกับข้อมูลอื่นประกอบเพื่อทำให้มีความละเอียดและน่าเชื่อถือทางวิชาการมากขึ้น เช่น ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ แผนที่การใช้ที่ดิน ผลของแบบจำลองคณิตศาสตร์การแพร่กระจายทางอากาศ เป็นต้น

ดังนั้น การประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย ให้ครอบคลุมทุกพื้นที่จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ภารกิจการติดตามตรวจสอบและการจัดการคุณภาพอากาศมีความถูกต้องสมบูรณ์รวมทั้งเป็นการพัฒนาระบบการติดตามตรวจสอบ และระบบการรายงานคุณภาพอากาศของประเทศไทย ให้มีความทันสมัยและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด

ศูนย์วิศวกรรมสารสนเทศภูมิศาสตร์และนวัตกรรมและคณะนักวิจัย จึงเล็งเห็นความสำคัญในการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ โดยใช้เทคโนโลยีทางระบบภูมิสารสนเทศและโมเดลทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการดำเนินงาน เพื่อให้กรมควบคุมมลพิษสามารถนำไปใช้ในการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศ ในลักษณะแผนที่ ให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศ

1.3 เป้าหมาย

1.3.1 พื้นที่เป้าหมาย : ประเทศไทย

1.3.2 มลพิษเป้าหมาย : ฝุ่นละออง และก๊าซโอโซน

1.3.3 แผนที่ความละเอียดอย่างน้อย 5 กิโลเมตร สำหรับฝุ่นละออง และ 10 กิโลเมตรสำหรับก๊าซโอโซน แสดงสีตามระดับความเข้มข้นสอดคล้องกับดัชนีคุณภาพอากาศ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศ ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย เพื่อการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศของหน่วยงานส่วนกลางและหน่วยงานท้องถิ่น และการแจ้งเตือนประชาชนได้ทันทั่วทั้ง

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินงาน 240 วัน นับจากวันเริ่มปฏิบัติงานตามสัญญา

1.6 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.6.1 ที่ปรึกษาจะต้องจัดประชุมเพื่อรายงานความก้าวหน้าการดำเนินงานให้กรมควบคุมมลพิษทราบอย่างน้อย 2 เดือนต่อครั้ง นับตั้งแต่วันที่เริ่มปฏิบัติงานตามสัญญา และจัดทำบันทึกช่วยจำทุกครั้งที่มีการประชุม

1.6.2 วางแผนการศึกษาวิจัย และดำเนินการตามแผนงานที่ได้รับความเห็นชอบจากการควบคุมมลพิษแล้ว โดยครอบคลุมการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวม วิเคราะห์และปรับค่าข้อมูล เพื่อจัดทำแผนที่สถานการณ์คุณภาพอากาศ จากข้อมูลประกอบ เช่น

- ภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับการตรวจวัดมลพิษระยะไกล
- ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ และข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ
- ผลการประเมินมลพิษโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

หรือข้อมูลอื่น ๆ ตามหลักวิชาการ

1.6.3 จัดทำแผนที่สถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย ความละเอียดแผนที่อย่างน้อย 5 กิโลเมตร สำหรับฝุ่นละออง และ 10 กิโลเมตร สำหรับก๊าซโอโซน แสดงสีตามระดับความเข้มข้นสอดคล้องกับ

ดัชนีคุณภาพอากาศ แสดงค่าสูงสุดของแต่ละเดือน สำหรับปีที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด และแสดงค่าเฉลี่ย 3-5 ปี
ย้อนหลังสำหรับแต่ละเดือน

1.6.4 จัดพิมพ์รายงานฉบับสมบูรณ์และรายงานฉบับย่อสำหรับผู้บริหาร โดยในรายงานจะต้อง
ประกอบด้วย การทบทวนวรรณกรรม เนื้องานของโครงการ และข้อเสนอแนะแนวทางการดำเนินงานต่อไป
ตามที่ได้รับความคิดเห็นชอบจากกรมควบคุมมลพิษแล้ว

1.6.5 หลังจากการศึกษาเสร็จสิ้น หาก คพ.มีการจัดการประชุมสัมมนาเพื่อนำเสนอผลการศึกษา ที่
ปรึกษาจะต้องเข้าร่วมเป็นวิทยากรในการประชุมสัมมนาดังกล่าว

1.7 การส่งมอบงาน

งวดงาน	งานที่ต้องเสนอ/ส่งมอบ	จำนวน	วันส่งมอบ (จำนวนวันนับ จากวันลงนาม ในสัญญา)
1	แผนการดำเนินงาน (Gantt chart) ของทั้งโครงการและแผนการ บริหารทรัพยากรบุคคลและงบประมาณ	3 เล่ม	10 วัน
2	แผนการศึกษาวิจัย	3 เล่ม	30 วัน
3	รายงานผลการศึกษาวิจัยครั้งแรกของการดำเนินงาน	3 เล่ม	120 วัน
4	รายงานผลการศึกษาวิจัยครั้งหลังของการดำเนินงาน	3 เล่ม	230 วัน
5	จัดพิมพ์รายงานโครงการฉบับสมบูรณ์ จัดพิมพ์รายงานโครงการฉบับย่อสำหรับผู้บริหาร	5 เล่ม 5 เล่ม	240 วัน

1.8 การจ่ายเงิน

การจ่ายเงินให้เป็นไปตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ. 2535 และฉบับแก้ไข
เพิ่มเติม โดยแบ่งจ่ายเงินออกเป็น 3 งวด ดังนี้

งวดที่ 1 ร้อยละ 20 ของวงเงินค่าจ้าง เมื่อที่ปรึกษาได้รับความเห็นชอบต่อผลงานงวดที่ 2

งวดที่ 2 ร้อยละ 40 ของวงเงินค่าจ้าง เมื่อที่ปรึกษาได้รับความเห็นชอบต่อผลงานงวดที่ 3

งวดที่ 3 ร้อยละ 40 ของวงเงินค่าจ้าง เมื่อที่ปรึกษาได้รับความเห็นชอบต่อผลงานงวดที่ 5

กรณีที่ผู้รับจ้างล่าช้ากว่ากำหนด ผู้รับจ้างต้องจ่ายค่าปรับให้กรมควบคุมมลพิษเป็นรายวันในอัตราร้อยละ 0.1 (ศูนย์จุดหนึ่งเปอร์เซ็นต์)

1.9 กรรมสิทธิ์ของข้อมูลและเอกสาร

ลิขสิทธิ์ในเอกสาร ข้อมูล และซอฟต์แวร์ ตลอดจนกรรมสิทธิ์ คู่มือ หรือเอกสารต่าง ๆ ทั้งหมด ให้ตกเป็นของกรมควบคุมมลพิษ ทั้งนี้ที่ทำการส่งมอบ ในกรณีที่บุคคลภายนอกกล่าวอ้างหรือใช้สิทธิเรียกร้องใด ๆ ว่ามีการละเมิดลิขสิทธิ์ หรือสิทธิบัตรเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และหรือซอฟต์แวร์ที่เสนอ ผู้รับจ้างต้องดำเนินการตั้งปวงเพื่อให้การกล่าวอ้างหรือการเรียกร้องดังกล่าวระงับสิ้นไปโดยเร็ว

1.10 รายงานฉบับสมบูรณ์

เนื้อหารายงานฉบับสมบูรณ์ ประกอบด้วย บทนำ การทบทวนวรรณกรรม วิธีการดำเนินงานวิจัย ผลการดำเนินงาน สรุปผลการดำเนินงาน และปัญหาและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมจะกล่าวถึงหลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะฝุ่นละอองและก๊าซโอโซน โดยมีรายละเอียดตามหัวข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีการเจือปนของสารพิษในปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่าง ๆ เช่น อาคารบ้านเรือน โบราณสถาน โบราณวัตถุ ภาชนะเครื่องใช้ เครื่องจักรกลที่เป็นโลหะ ยานพาหนะต่าง ๆ ให้เกิดความสกปรก และเกิดการกัดกร่อนผุพังทรุดโทรมอาจใช้การไม่ได้ อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า ก๊าซธรรมชาติอากาศเสียที่เกิดขึ้น โดยธรรมชาติเป็นอันตรายต่อมนุษย์ น้อยมาก เพราะแหล่งกำเนิดอยู่ไกลและปริมาณที่เข้าสู่สภาพแวดล้อมของมนุษย์และสัตว์มีน้อย กรณีที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากท่อไอเสีย ของรถยนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมจากขบวนการผลิตจากกิจกรรมด้านการเกษตรจากการระเหย ของก๊าซบางชนิด ซึ่งเกิดจากขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น [1]

มลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เห็นชัดเจนทั้งในเขตชุมชนขนาดใหญ่ และพื้นที่พัฒนาที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของกิจกรรมอุตสาหกรรม การคมนาคม การจราจร และการก่อสร้าง รวมทั้งพื้นที่ที่เป็นที่ตั้งโรงไฟฟ้า สารมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักและเกินมาตรฐาน ซึ่งจะยังคงเป็นปัญหาในอนาคตที่สำคัญนั้น ได้แก่ ฝุ่นละอองและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยเฉพาะฝุ่นละอองในแหล่งชุมชนที่มีการจราจรคับคั่ง จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 3-5 เท่า ส่วนสารมลพิษอื่น ๆ ได้แก่ สารตะกั่ว ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ปัจจุบันยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

สารมลพิษทางอากาศเหล่านี้จะระบายออกจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในเขตชุมชน ทั้งจากยานพาหนะ การก่อสร้าง อาคารบ้านเรือน การก่อสร้างปรับปรุงถนนและผิวจราจร ตลอดจนโรงอุตสาหกรรมและสถานประกอบการต่าง ๆ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-1 ซึ่งสารมลพิษเหล่านี้ นอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยตรงแล้ว ยังก่อให้เกิดภาวะการต่าง ๆ แก่โลกด้วย คือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของโลก การทำลายชั้นโอโซน เป็นต้น [2]



รูปที่ 2-1 มลพิษทางอากาศ

ปัญหามลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม มีทั้งปัญหาที่ก่อมลภาวะอยู่ภายในโรงงานเอง และที่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกโรงงาน โดยบรรดามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกมีหลายชนิด ได้แก่ ปัญหาเรื่องฝุ่นเขม่า คว้นดำ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นได้กับอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อทำความร้อน หรือผลิตไอน้ำ ส่วนปัญหาเรื่องฝุ่นละอองนั้นมีสาเหตุสำคัญมาจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่ต้องมีการบดย่อยวัตถุดิบหรือต้องจัดการกับวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงละเอียดเช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์หรืออุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง [3]

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ได้ติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ โดยในปี 2558 มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติจำนวน 61 สถานี ใน 29 จังหวัด ทำการตรวจวัดและรายงานผลการตรวจวัดสารมลพิษหลักทางอากาศ 5 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ก๊าซโอโซน (O₃) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และฝุ่นละออง (PM₁₀ และ PM_{2.5}) และค่าทางอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ สำหรับฝุ่นละออง PM_{2.5} เริ่มมีการตรวจวัดตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นมา มีเครื่องมือตรวจวัด ณ 12 สถานี ใน 10 จังหวัด ซึ่งคุณภาพอากาศในภาพรวม ปี 2558 ดีขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา โดยฝุ่นละออง PM₁₀ เฉลี่ยทั้งประเทศลดลงจากปี 2557 ร้อยละ 2 ฝุ่นละออง PM_{2.5} เฉลี่ยลดลงร้อยละ 3 ก๊าซโอโซน ลดลงร้อยละ 5 สารอินทรีย์ระเหยง่าย ในเขตพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง มีค่าเฉลี่ยในพื้นที่ลดลงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามยังพบมลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ โดยฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานรายปี ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี พื้นที่ริมถนนในกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นครสวรรค์ และแม่ฮ่องสอน สำหรับก๊าซโอโซนเกินค่ามาตรฐานมากที่สุดในจังหวัดสมุทรปราการรองลงมาคือจังหวัดชลบุรี กรุงเทพมหานคร น่าน ราชบุรี และพระนครศรีอยุธยา [4]

และเพื่อให้การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศครอบคลุมพื้นที่ทุกจังหวัดในประเทศไทย การดำเนินงานโครงการนี้จะทำการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ และมุ่งเน้นที่ฝุ่นละอองและก๊าซโอโซน โดยใช้เทคโนโลยีทางระบบภูมิสารสนเทศและโมเดลทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการดำเนินงาน เพื่อให้กรมควบคุมมลพิษสามารถนำไปใช้ในการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพต่อไป

2.1.2 ฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ

ฝุ่นละออง (Particulate Matter หรือ PM) ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด แบ่งประเภทตามขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผม [4] ฝุ่นละอองส่งผลกระทบต่อมนุษย์มากกว่ามลพิษทางอากาศประเภทอื่น ส่วนประกอบหลักของฝุ่นละออง ได้แก่ ซัลเฟต ไนเตรต แอมโมเนีย โซเดียมคลอไรด์ ผงฝุ่นเขม่าดำ ฝุ่นแร่ และน้ำ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมที่ซับซ้อนของอนุภาคแข็งและของเหลวของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งลอยอยู่ในอากาศ [5] ฝุ่นละอองมีที่มาจากธรรมชาติ เช่น ละอองดิน ฝุ่นทราย ที่ปลิวขึ้นมาจากพื้นดินเนื่องจากลมพัด เขม่าควันจากไฟป่า ละอองเกลือจากน้ำทะเล และฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ฝุ่นจากการก่อสร้าง ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งบนท้องถนน เขม่าจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์และรถยนต์ ฝุ่นควันจากปล่องระบายควันจากเตาเผาศพ เตาเผาขยะ โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในที่โล่ง เป็นต้น

อันตรายจากฝุ่นละอองที่ลอยเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจขึ้นอยู่กับขนาด ปริมาณ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางชีวภาพ ฝุ่นละอองเมื่อลอยเข้าสู่ทางเดินหายใจสะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ ในระบบทางเดินหายใจขึ้นอยู่กับขนาด ฝุ่นหยาบจะถูกกรองโดยขนจมูกและตกอยู่บริเวณทางเดินหายใจส่วนต้น ส่วนฝุ่นละเอียดและฝุ่นละเอียดขนาดเล็กมากในลมหายใจก็จะผ่านเข้าสู่หลอดลมใหญ่ หลอดลมฝอยและลงลึกถึงถุงลมปอดและถ้าหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไปในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากตามไปด้วย ประชากรกลุ่มเสี่ยงที่อาจจะได้รับอันตรายจากการสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศ ได้แก่ กลุ่มผู้ป่วยโรคปอดโรคหัวใจ ผู้สูงอายุ และเด็ก [6]

2.1.3 ก๊าซโอโซนระดับพื้นผิว

โอโซนในความเข้าใจโดยทั่วไปนั้นจะแบ่งเป็น 2 ความหมาย

ความหมายที่ 1 เป็นโอโซนตามธรรมชาติในบรรยากาศสูง ๆ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไม่เป็นพิษ

ความหมายที่ 2 เป็นโอโซนที่เป็นพิษในอากาศที่เราหายใจระดับล่างจัดว่าเป็นโอโซนประเภทไม่ดีซึ่งจะมีผลกระทบ โดยตรงต่อมนุษย์

โอโซนที่มีระดับสูงกว่าพื้นดินมากกว่า 40 กิโลเมตรขึ้นไปจะเป็น **โอโซนที่ดี** ส่วนโอโซนที่มีระดับสูงกว่าพื้นดินไม่เกิน 2 กิโลเมตรจะเป็น **โอโซนที่ไม่ดี** สิ่งที่ทำให้เกิดโอโซนในระดับต่ำได้แก่ ควันท่อรถยนต์ เป็นต้น

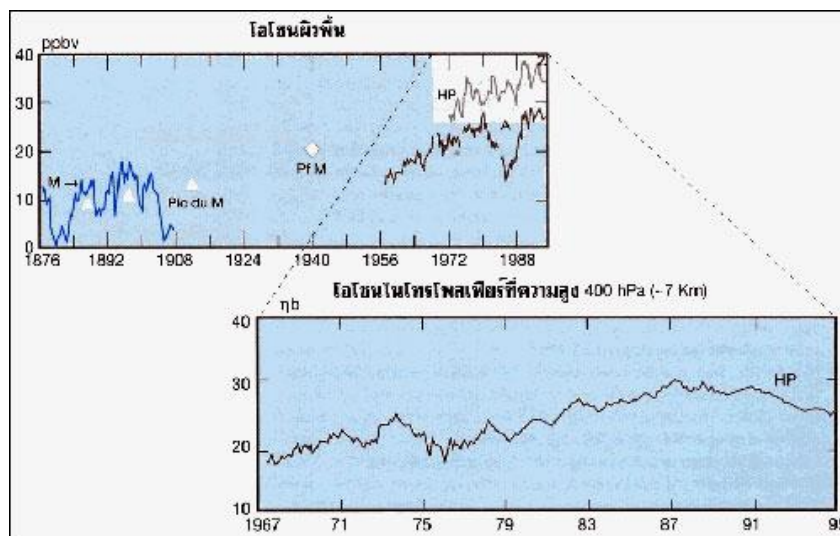
โอโซนระดับพื้นดิน ในความหมายที่ 2 หมายถึง โอโซนระดับพื้นดินซึ่งจัดว่าเป็นโอโซนประเภทไม่ดี นอกจากอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยมีแสงสว่างเป็นตัวเร่งแล้ว ยังอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น แสงแดดที่มากเกินไป การขนส่ง หรือกระบวนการผลิตจากแหล่งอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อผลิตโอโซน

ผลเสียของโอโซน โอโซนในระดับความเข้มข้น 0.25 ppm ขึ้นไปก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อตา จมูก และจะทำลายเนื้อเยื่อปอด เกิดความระคายเคืองเมื่อหายใจเข้าไป ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้ตายได้ ดังนั้นการนำมาใช้ควรระมัดระวัง เพื่อให้เกิดความปลอดภัย [7]

การเพิ่มขึ้นของโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ ยังส่งผลให้โลกร้อนขึ้น ส่วนหมอกควันนั้นจะส่งผลให้การมองเห็นของเราผ่านบรรยากาศที่มีหมอกควันนั้นลดลง มลพิษทางอากาศยังส่งผลกระทบในด้านทัศนวิสัยด้วย ซึ่งสามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพอากาศได้ด้วยเมื่อแสงตกกระทบโมเลกุลของสารมลพิษในอากาศ เช่น ซัลเฟต ไนเตรต สารอินทรีย์คาร์บอน เขม่า ฝุ่นละออง หรือก๊าซต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับด้วยอนุภาคของมลพิษ ในขณะที่บางส่วนจะถูกกระเจิงออกไปในทิศทางต่าง ๆ ก่อนที่จะถูกส่งกลับมายังสายตาของมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การมองเห็นลดลง ดังนั้นสารมลพิษยิ่งมาก การถูกดูดซับและการกระเจิงของแสงก็มากขึ้น ทำให้เกิดความมืดมัวมากขึ้น ซึ่งความมืดมัวทำให้ไม่สามารถมองเห็นสี ลักษณะหรือรูปลักษณะของสิ่งที่เรามองนั้นได้อย่างชัดเจน นอกจากนั้นความชื้นยังเป็นปัจจัยผลักดันที่ทำให้เกิดปัญหานี้ได้มากขึ้น เนื่องจากอนุภาคบางชนิด เช่น ซัลเฟต จะดึงดูดน้ำแล้วขยายอนุภาคให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้แสงกระเจิงได้มากขึ้น [8]

ในขณะที่โอโซนในสตราโตสเฟียร์กำลังลดลง โอโซนในโทรโพสเฟียร์กำลังเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 10 ต่อ 10 ปี ในซีกโลกเหนือ โอโซนที่เพิ่มขึ้นตรวจพบในบริเวณไฟไหม้ในทุ่งหญ้าสะวันนา (Savannah) ในเซอีรอน การที่โอโซนเพิ่มขึ้นในบริเวณโทรโพสเฟียร์ เพราะมีรังสีดวงอาทิตย์กระทบกับมลพิษบางชนิด โดยเฉพาะออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ซึ่งเกิดจากการปลดปล่อยบริเวณพื้นผิว โอเสียเครื่องบินและรถยนต์ รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของสารกระตุ้นหรือสารเริ่มต้นของปฏิกิริยา (Precursors) เช่น มีเทน (CH₄) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คิดเป็น 2 เท่าตัว เทียบกับเมื่อร้อยปีที่ผ่านมา หรือบางแห่งโอโซนเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 1 ต่อปี นับจากปลายศตวรรษที่ 19 รวมทั้งการตรวจวัดโอโซนเชิงเคมีที่ Montsouris (Paris) และเครือข่าย ที่ใช้วิธีของ Schonbein (ผู้ค้นพบโอโซน) การตรวจวัดเป็นครั้งแรกจากเครื่องบินในต้นทศวรรษที่ 1940 และติดตามต่อเนื่องมาใน Pic du Midi ประเทศฝรั่งเศส และเยอรมันนีตอนใต้ ไม่กี่สิบปีที่ผ่านมามีบริเวณเหนือผิวน้ำในโทรโพสเฟียร์ตอนกลางและตอนบนพบโอโซนเพิ่มขึ้นมากเช่นกัน ตัวอย่างโอโซนผิวน้ำจากสถานี Montsouris (M) และ Pic du Midi (D) สำหรับ 50 ปีหลังของศตวรรษที่ 19 น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของปลายศตวรรษที่ 20 ซึ่งวัดที่สถานี

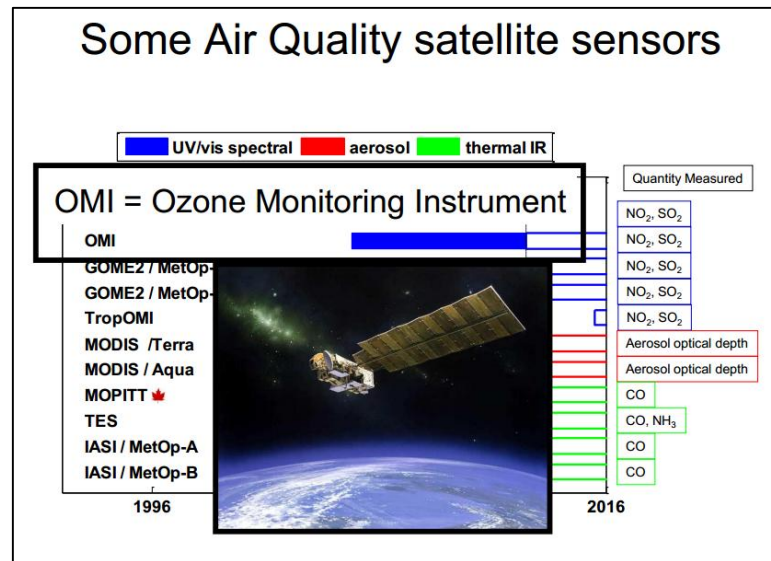
Hohenpeissenberg (HP) Arkona (A) Zugspitze (Z) และ Pic du Midi (D) แสดงให้เห็นชัดว่าโอโซนในโทรโพสเฟียร์เพิ่มขึ้นในซีกโลกเหนือที่ความกด 400 hPa (ประมาณ 7.2 กม.) ดังรูปที่ 2-2 แต่อย่างไรก็ตามโอโซนที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่สามารถชดเชยโอโซนที่ลดลงในสตราโตสเฟียร์ได้ โอโซนที่เพิ่มขึ้นบริเวณผิวพื้นมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เช่น การแสบตา ระคายเคืองต่อหลอดลม นอกจากนั้นพบว่าโอโซนทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ ได้อย่างง่ายดายด้วยการออกซิไดซ์ โอโซนใกล้ผิวพื้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหมอกที่เกิดขึ้น ในวันที่อากาศร้อนอบอ้าว ปรากฏจากเมฆในเมืองใหญ่ทั่วโลก [9]



รูปที่ 2-2 โอโซนผิวพื้นจากสถานี Montsouris (M) และ Pic du Midi (D) [9]

2.1.4 การตรวจติดตามชั้นบรรยากาศด้วยดาวเทียม

การติดตามตรวจสอบชั้นบรรยากาศด้วยดาวเทียม มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์หลายชนิดที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยติดตั้งบนดาวเทียม เพื่อใช้ในการตรวจสอบมวลสารต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2-3 ในที่นี้จะกล่าวถึงการตรวจฝุ่นละออง และก๊าซโอโซน โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2-3 อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

(Satellite remote sensing of pollution with application to the Arctic. [10])

1) การตรวจติดตามฝุ่นละอองโดยภาพถ่ายดาวเทียม

ในช่วงทศวรรษที่ 1930 เป็นต้นมา ได้มีการนำเทคนิคการใช้ข้อมูลดาวเทียมมาช่วยในการศึกษา ค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก เช่น ในประเทศออสเตรเลีย Dr.Nunez แห่งมหาวิทยาลัย Tasmania ได้พัฒนาการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีผลงานตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษ 1970 ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ในงานวิจัย Dr.Nunez ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GMS ทำการศึกษา ค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในบริเวณเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ บางส่วนของประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และภาคเหนือของประเทศไทย ตามโครงการ Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) ในโครงการดังกล่าว Dr.Nunez ได้พัฒนาแบบจำลองเชิง พิสิกส์ซึ่งใช้ค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ในเขตร้อนได้ดี จากการวิจัยพบว่าฝุ่นละอองในอากาศจะดูดกลืนและ กระเจิงรังสีดวงอาทิตย์โดยฝุ่นละอองบริเวณกรุงเทพมหานคร มีผลทำให้รังสีดวงอาทิตย์ลดลง 19% (Nunez, 1993 อ้างโดย เสริม, 2553 [11])

ตั้งแต่ปี 2000 เป็นต้นมา องค์การนาซา (NASA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดตั้งเครือข่าย เครื่อง sunphotometer ทั่วโลก และเรียกเครือข่ายดังกล่าวว่า AERONET (Aerosol Robotic Network) ซึ่ง ปัจจุบันมีสถานีทั้งหมด 655 แห่ง โดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสง (optical properties) ปริมาณและ ชนิด รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นทั่วโลก โดย MODIS (MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS)) เป็นเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม TERRA/AQUA มีแถบสเปกตรัมถึง 36 แถบสเปกตรัม ใช้ใน การสำรวจโลกทั้งระดับใน regional scale และ global scale แบบ multi-temporal series ในการศึกษา ทางด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยด้านดิน มหาสมุทร และชั้นบรรยากาศ

ภาพถ่ายในระบบ MODIS มีความกว้าง หรือ Swath ประมาณ 2,330 กิโลเมตร และสามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ภายใน 2 วัน ข้อมูลที่ได้รับประกอบด้วย 36 ช่วงคลื่น ระหว่าง 0.4 -14 mm. โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันไปในแต่ละช่วงคลื่น โดยช่วงคลื่นที่ 1-2 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ 250 เมตร ช่วงคลื่น 3-7 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตร และช่วงคลื่น 8-36 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1,000 เมตร โดยข้อมูลนั้นมีหลายประเภท ซึ่งการดำเนินงานครั้งนี้เลือกใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากผลิตภัณฑ์ MOD04 และ ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) จากผลิตภัณฑ์ MOD09

MOD04 – ให้ข้อมูลค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในบรรยากาศ (Aerosol Optical Depth: AOD) ซึ่ง AOD เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับการดูดกลืนแสง และการกระจายแสงอาทิตย์อันเนื่องมาจากละอองลอยที่มีขนาดหลากหลายตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ซึ่งจะมีการกระจายแสงแบบเรย์เล่ เหมือนโมเลกุลของแก๊ส แต่ละอองในบรรยากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคแสงที่มองเห็นได้บางชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้ดีและกระจายแสงได้ไม่รอบทิศ เช่น ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล ละอองเถ้าจากการระเบิดของภูเขาไฟ ควันจากโรงงานอุตสาหกรรม ละอองซัลเฟตจากทะเล สารระเหยออร์แกนิกจากป่าเขตร้อน เป็นต้น โดยข้อมูลละอองลอยในอากาศซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทวีป และมหาสมุทร ซึ่งละอองลอยมีตั้งแต่ขนาดละเอียด (มลพิษในอากาศ) ไปจนถึงขนาดหยาบ และถูกนำมาใช้ในการศึกษาการแพร่กระจายของละอองลอย และฝุ่นละอองอย่างแพร่หลาย

MOD09 - ให้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว ซึ่งค่าสะท้อนพื้นผิวมีความสัมพันธ์กับรูปแบบของละอองลอย โดยค่าการสะท้อนพื้นผิวของแต่ละแบนด์ ทำการวัดที่ระดับพื้นผิวโลกซึ่งจะไม่มีค่าการกระเจิงและการดูดซับในชั้นบรรยากาศรวมอยู่ MOD09 ถูกออกแบบมาโดยเจาะจงที่การสะท้อนพื้นผิวดิน มีเป้าหมายเพื่อลบอิทธิพลของก๊าซต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ และค่าผกผันของละอองลอย โดยอัลกอริทึมของ MOD09 นี้รับมาจากข้อมูล aerosol ในกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลในบรรยากาศชั้นล่าง ส่วนค่าการสะท้อนได้รับค่าการแผ่รังสีจากบรรยากาศชั้นบน

อัลกอริทึมทั้ง MOD04 และ MOD09 ใช้เทคนิคอัตราส่วนช่วงคลื่น เพื่อให้ได้ค่าการสะท้อนพื้นผิวในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ทั้ง MOD04 และ MOD09 จะให้ค่า AOD ใน 3 แบนด์ โดย MOD04 รับค่า AOD ในแบนด์ 0.49 μm และ 0.66 μm และยังหาค่าสำหรับแบนด์ 0.55 μm ซึ่งเป็นแบนด์ที่ใช้มากในหลาย ๆ โมเดลในชั้นบรรยากาศ และถูกใช้บ่อยในการทำโมเดลด้านภูมิอากาศ โดยอัลกอริทึมนี้ใช้ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนบนการสะท้อนพื้นผิวในช่วงอินฟราเรดใกล้ เพื่ออนุมานการสะท้อนพื้นผิวสำหรับช่วงความยาวคลื่นสีฟ้าและสีแดง ซึ่งนำไปสู่การคำนวณค่า AOD และคุณสมบัติละอองลอย โดยข้อมูลทั้ง 2 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง และดาวเทียมโคจรผ่านประเทศไทยทุกวัน

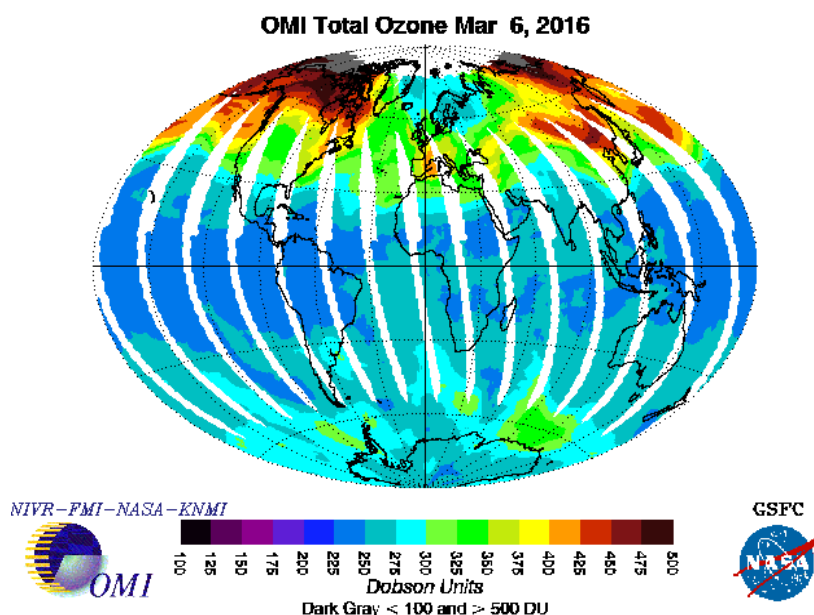
2) การตรวจติดตามก๊าซโอโซนโดยภาพถ่ายดาวเทียม

การสำรวจโอโซนในชั้นบรรยากาศด้วยดาวเทียม เริ่มขึ้นอย่างจริงจังในปี 1978 เมื่อสหรัฐฯได้ส่งดาวเทียม Nimbus-7 เพื่อการสำรวจโอโซนและส่วนประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องในชั้นบรรยากาศ ประกอบด้วยอุปกรณ์รับรู้สามชนิด คือ Stratospheric Aerosol Measurement II (SAM II), Solar Backscatter Ultraviolet (SBUV) และที่สำคัญที่สุด Total Ozone Monitoring System (TOMS)

สหรัฐฯ ได้ส่งดาวเทียมเพื่อสังเกตโอโซนตั้งแต่ปี 1978 แต่ไม่มีรายงานการลดลงของโอโซนที่ทั่วโลกได้จนกระทั่งปี 1985 ข้อมูลชั้นบรรยากาศบริเวณแอนตาร์กติกาในช่วงเดือนที่วัดค่าได้ต่ำสุดที่ได้รับมานั้นถูกตัดทิ้งไป เนื่องจากค่าที่วัดได้มีค่าต่ำมากจนถูกพิจารณาว่าเป็นความผิดพลาดของอุปกรณ์รับรู้ หลังจากที่มีข่าวการลดลงของโอโซนอย่างรุนแรงจากวงการวิทยาศาสตร์ในปี 1985 ข้อมูลเก่า ๆ จากอุปกรณ์รับรู้ TOMS ทั้งหมดถูกนำมาใช้ใหม่โดยศูนย์การบินอวกาศกอดดาร์ด (Goddard Space Flight Center, GSFC) องค์การนาซา (NASA) ตั้งแต่นั้น TOMS จึงกลายเป็นอุปกรณ์รับรู้ที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์และการตรวจติดตามมหันตภัยในชั้นบรรยากาศหลัง Nimbus-7 ในปี 1978 เป็นต้นมา TOMS ถูกนำไปติดตั้งกับดาวเทียมของรัสเซีย Meteor-3 (สิงหาคม ปี 1991 - พฤศจิกายน ปี 1994) Adeos ของญี่ปุ่น (กรกฎาคม ปี 1996 - มิถุนายน ปี 1997) และล่าสุด Earth Probe ของสหรัฐฯ (กรกฎาคม ปี 1996 - ธันวาคม ปี 2005) ทำให้อุปกรณ์รับรู้ TOMS เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ข้อมูลถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณโอโซนบ่อยครั้งและต่อเนื่องที่สุด

ข้อมูลจาก TOMS สิ้นสุดลงในปลายปี 2005 อุปกรณ์รับรู้อีกหลายหลายชนิดได้รับการพัฒนาด้วยเทคโนโลยีสูงขึ้นเพื่อการวัดปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศแทนที่ TOMS หนึ่งในนั้นคือ Ozone Monitoring Instrument (OMI) ติดตั้งบนดาวเทียม Aura ซึ่งเป็นดาวเทียมที่มีภารกิจในการสำรวจชั้นบรรยากาศเป็นการเฉพาะ ถูกยิงเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม ปี 2004

นอกจากการวัดปริมาณโอโซนในบรรยากาศแล้ว OMI ได้รับการออกแบบมาให้สามารถวัดส่วนประกอบอื่น ๆ ในบรรยากาศด้วย เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โบรมีนออกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ และสารแขวนลอยที่ทำลายชั้นโอโซน และก่อให้เกิดโอโซนระดับพื้นดิน [12] แสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ภาพ Global ozone ซึ่งได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ OMI ติดตั้งบนดาวเทียม Aura เมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2016 [13]

EOS-AURA OMI

เครื่องมือตรวจวัด OMI (Ozone Monitoring Instrument) ติดตั้งบนดาวเทียม AURA สามารถแยกความแตกต่างของประเภทละอองลอย เช่น ควัน ฝุ่น และซัลเฟต และการตรวจวัดความดันและการปกคลุมของเมฆ ซึ่งนำมาสู่การได้มาของข้อมูลโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ โดยทำการเก็บข้อมูลโอโซนต่อจากอุปกรณ์ TOMS และข้อมูลพารามิเตอร์อื่น ๆ ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ ozone chemistry และสภาพอากาศ โดยเครื่องมือนี้มีการทำงานร่วมกันกับเครื่องมืออื่น ๆ บนของดาวเทียม AURA

OMI ใช้ในการจัดทำภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูง เพื่อสังเกตการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็นและในรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสามารถนำมาปรับปรุงเพิ่มความถูกต้อง และเพิ่มความแม่นยำของปริมาณโอโซนรวม อุปกรณ์นี้ได้รับการสนับสนุนจาก NIVR (Netherlands's Agency for Aerospace Programs) ในการทำงานร่วมกันกับ FMI (Finnish Meteorological Institute) คู่พาร์ทเนอร์ของ EOS Aura

OMI เป็นเครื่องมือหลักบนดาวเทียม EOS-AURA ใช้สำหรับตรวจสอบเพื่อนำข้อมูลชั้นโอโซนกลับมาและตอบสนองขั้นตอนการแพร่กระจายของสารเคมี เช่น CFCs โดยมีการตรวจสอบมลพิษและก๊าซต่าง ๆ ดังนี้

1) ตรวจวัดปัจจัยที่ทำให้เกิดมลพิษ เช่น O_3 , NO_2 , SO_2 , และ aerosol โดย EPA (US Environmental Protection Agency) ได้กำหนดให้ปัจจัยเหล่านี้ในชั้นบรรยากาศเป็นภัยคุกคามอย่าง

ร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ และผลผลิตทางการเกษตร การตรวจวัดปัจจัยเหล่านี้ทำขึ้นในความละเอียดระดับเมือง

2) ติดตามมลพิษที่เกิดจากอุตสาหกรรม และการเผาไหม้ชีวมวล นอกจากนี้ยังตรวจพบแก๊สภูเขาไฟและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการปะทุของภูเขาไฟที่มีความเร็วสูงถึงอย่างน้อย 100 ครั้ง มากกว่า TOMS การตรวจวัดเหล่านี้มีความสำคัญต่อความปลอดภัยของเครื่องบิน

3) ตรวจวัด ozone profiles ในรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งให้บริการฟรีเช่นเดียวกับการตรวจวัดจาก TES และ เครื่องมือ HIRDLS (ในช่วงรังสีอินฟราเรด) และเครื่องมือ MLS (ในคลื่นไมโครเวฟ)

4) ตรวจวัดโบรมีนโมโนออกไซด์ (BrO) ฟอรัมาลีน (formaldehyde) และคลอรีนไดออกไซด์ (OCLO) ซึ่งมีบทบาททางเคมีในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์

5) ตรวจวัดปริมาณโอโซนรวม ไนโตรเจนออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ และตรวจวัดฝุ่นละออง คว้น และละอองลอยอื่น ๆ ในชั้นบรรยากาศที่ต่ำลง

โดยวงโคจรของดาวเทียม EOS Aura จะผ่านที่เส้นศูนย์สูตรเวลาประมาณ 13:40 - 13:50 น. ซึ่งจะผ่านบริเวณประเทศไทยในช่วงบ่าย

สรุป

OMI เป็นเครื่องวัดความเข้มของแสง มีการบันทึกภาพในแนวดิ่งและได้ภาพในแนวกว้าง ให้ข้อมูลสิ่งปกคลุมโลกรายวัน ตรวจวัดองค์ประกอบที่สำคัญของคุณภาพอากาศ เช่น NO_2 , SO_2 , BrO, OCLO, และลักษณะของละอองลอย OMI จัดเตรียมข้อมูลแผนที่ของผลิตภัณฑ์ทางมลพิษจากระดับเมืองไปสู่ระดับภูมิภาค [14]

โทรโพสเฟียร์โอโซนคอลัมน์ถูกผลิตขึ้นโดยการลบข้อมูลสตราโตสเฟียร์โอโซนคอลัมน์ที่ได้จากเครื่องมือ MLS (Microwave Limb Sounding) บนดาวเทียม Aura จากข้อมูลโอโซนคอลัมน์รวมจาก OMI โดยเทคนิคการกำจัดเมฆซึ่งถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องมือ TOMS และมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ลดลง ถูกใช้กำจัดอคติระหว่าง MLS และ OMI และถูกนำมาตรวจสอบผลลัพธ์

เบื้องต้นโอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์ที่พบถูกแสดงอย่างสมบูรณ์และแสดงการเพิ่มขึ้นของโอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์เหนือประเทศออสเตรเลียและแอดแลนติกตอนใต้ การเผาไหม้เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักสำหรับการเพิ่มขึ้นของโอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์ ซึ่งไม่ใช่เรื่องแปลกที่มีการเพิ่มขึ้นของโอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ 10-15 DU ซึ่งสาเหตุยังคงมาจากการเผาไหม้เพียงอย่างเดียว ส่วนสาเหตุอื่น ๆ มาจากมลพิษจากอุตสาหกรรมในการเพิ่มไนโตรเจนออกไซด์ และการใส่ข้อมูลในชั้นสตราโตสเฟียร์สามารถนำมาปรับปรุงโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ [15]

2.2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามตรวจสอบปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10})

Remer และคณะ (2005) [16] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ MODIS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม EOS-TERRA และ AQUA พบว่า เซ็นเซอร์ MODIS สามารถตรวจจับความหนาแน่นของอนุภาคในบรรยากาศ (AOT: aerosol optical thickness) และพารามิเตอร์ขนาดของสารแขวนลอยเหนือพื้นดินและมหาสมุทร ข้อมูลที่ได้จากเหนือพื้นดินประกอบด้วย ความหนาแน่นของอนุภาคในบรรยากาศอยู่ในความยาวคลื่นที่ 3 ที่ตามองเห็น การวัดสัดส่วนของความหนาแน่นของสารแขวนลอยสุ่มปกติ และพารามิเตอร์ที่ได้หลายตัวรวมถึงค่าสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์บนบรรยากาศชั้นแอสโมสเฟียร์บริเวณเหนือมหาสมุทร ความหนาแน่นของสารแขวนลอยจะพบในช่วงคลื่นที่ 7 ($0.47-2.13 \mu m$) นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณขนาดของสารแขวนลอยจะรวมถึงรัศมีที่มีประสิทธิภาพของสารแขวนลอยและปริมาณสัดส่วนของความหนาแน่นของสารแขวนลอยสเปกตรัมดังกล่าวประกอบด้วย สารแขวนลอย มวลความเข้มข้น และจำนวนการควบแน่นของเมฆ

สเปกตรัมของความหนาแน่นของสารแขวนลอยและรัศมีที่มีประสิทธิภาพของสารแขวนลอยเหนือมหาสมุทรถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบข้อมูลระยะ 2 ปีกับ Aerosol Robotic Network (AERONET) ซึ่งได้มาจากสถานีตรวจวัดจำนวน 132 สถานี โดยเปรียบเทียบข้อมูลจำนวน 8,000 จุด ที่ได้จากเซ็นเซอร์ MODIS ร่วมกับการตรวจวัดจาก AERONET การวัดยืนยันว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จาก MODIS ตกอยู่ใน $\Delta \tau = \pm 0.03 \pm 0.05 \tau$ บริเวณเหนือมหาสมุทร และ $\Delta \tau = \pm 0.05 \pm 0.15 \tau$ บริเวณเหนือพื้นดิน และข้อมูลจำนวน 271 จุดจาก MODIS ร่วมกับการตรวจวัดจาก AERONET บริเวณมหาสมุทรและชายฝั่ง อธิบายได้ว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลรัศมีของ MODIS ตกอยู่ใน $\Delta r (eff) = \pm 0.11 \mu m$ ซึ่งความถูกต้องของ MODIS อธิบายได้ว่าข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ MODIS สามารถนำไปใช้ในการหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับสารแขวนลอยซึ่งมีผลต่อสภาพภูมิอากาศของโลก

Ahmad และ Hashim (2002) [17] ได้ศึกษาหาปริมาณมลพิษทางอากาศในประเทศมาเลเซีย ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และ โอโซน (O_3) ด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากสถานีภาคพื้นดินกับค่าการสะท้อนของดาวเทียม NOAA-14 AVHRR แบนด์ 1 และ แบนด์ 2 โดยใช้สมการถดถอย 8 แบบ ได้แก่ linear, logarithmic, quadratic, cubic, power, S-curve, exponential, และ multiple linear ซึ่งพบว่า การหาปริมาณ PM_{10} , SO_2 , NO_2 ใช้สมการถดถอยแบบ cubic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 33, 18 และ 11 ตามลำดับ ส่วนการหาปริมาณ CO ใช้สมการถดถอยแบบ Power ให้ค่า RMSE เท่ากับ 13 และการหาปริมาณ O_3 ใช้สมการถดถอยแบบ Quadratic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 10 แล้วจึงนำเสนอสมการที่ได้ร่วมกับเทคนิคทาง

ภูมิสารสนเทศสร้างแผนที่ปริมาณมลพิษในอากาศเพื่อให้สามารถประเมินปริมาณมลพิษในอากาศในบริเวณกว้างได้ โดยการตรวจสอบข้อมูลใช้สมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (AQI_{\text{calculated}} - AQI_{\text{measured}})^2} \quad (1)$$

Nuno Grosso, Francisco Ferreira และ Sandra Mesquita (2001) [18] ศึกษาเกี่ยวกับการจัดทำแผนที่ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณเมือง Lisbon โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของชั้นบรรยากาศที่ได้รับจากดาวเทียมเซ็นเซอร์ MODIS Level 1B และปริมาณ PM₁₀ ที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน โดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสมการเชิงเส้น และทำแผนที่ปริมาณ PM₁₀ ด้วยการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ซึ่งการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลนั้นใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 1 ที่มีความยาวคลื่น 620 – 670 นาโนเมตร และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ของวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2544 และวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2544 ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่า $R^2 = 0.77$ และทำแผนที่ปริมาณ PM₁₀ ในอากาศด้วยการประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธี Ordinary Kriging

Estelles และคณะ (2003) อ้างโดย ตรีนุช (2554) [19] ทำการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่เมือง Valencia ที่ความยาวคลื่น 500 nm ของฤดูร้อนและฤดูหนาว พบว่าฤดูหนาวมีค่าความลึกเชิงแสงต่ำที่สุดในเดือนมกราคม คือ 0.1 และมีค่าสูงในฤดูร้อนเท่ากับ 0.4-0.5 ในเดือนมิถุนายน ขณะเดียวกันได้ทำการหาค่า wavelength exponent (α) โดยในเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 1.2 และในเดือนมิถุนายนมีค่า 0.8

J.-C. Pere, และคณะ (2007) [20] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการที่จะตรวจวัดสภาพมลพิษในอากาศด้วยดาวเทียม บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาด้านมลภาวะบริเวณหนึ่งของยุโรป เนื่องจากเป็นแหล่งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในการศึกษาได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงที่ได้รับจากเครื่องมือวัด AEROSOL ในชั้นบรรยากาศ (Aerosol Robotic Network, AERONET) กับปริมาณ PM₁₀ ที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดมลพิษในอากาศภาคพื้นดิน จำนวน 5 สถานี ในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสอง อยู่ที่ 0.68 – 0.79

สำหรับประเทศไทย ดร.อรประภา ภูมิมะกาญจนะ และคณะ (2552) [21] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการตรวจติดตามคุณภาพอากาศแบบ Real-time ในสิ่งแวดล้อมเมืองพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้เครื่องตรวจวัดจากภาคพื้นดิน และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศจากภาพถ่ายดาวเทียมเซ็นเซอร์ MODIS ที่อยู่บนดาวเทียม TERRA/AQUA ตรวจวัดค่า Aerosol Optical Thickness (AOT) ที่สามารถบ่งชี้ความสัมพันธ์กับค่า PM₁₀ ได้ และนำมาหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่า AOT และข้อมูลคุณภาพอากาศ PM₁₀ จากภาคพื้นดินที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 13 สถานี (ใช้ข้อมูล PM₁₀ รายชั่วโมง) โดยภาพถ่ายดาวเทียม

เซ็นเซอร์ MODIS ค่า AOT มีค่า Digital Number (DN) อยู่ระหว่าง -100 ถึง 5,000 ซึ่งสามารถคำนวณกลับไปเป็นค่า AOT ด้วยสมการเส้นตรง ดังสมการข้างล่างนี้

$$AOT = a * DN + b \quad (2)$$

โดย a คือ Scale factor ที่มีค่าเท่ากับ 0.001 และ b คือ offset ที่มีค่าเท่ากับ 0.0

ถึงแม้ว่าการหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และ AOT ยังมีค่าไม่สูงมากนัก แต่การนำเทคนิครีโมทเซ็นซิงโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ร่วมกับการตรวจวัด PM_{10} ภาคพื้นดิน สามารถใช้เป็นแนวทางและวิธีการศึกษาในการตรวจติดตามมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจาก PM_{10} ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในบางสถานี เนื่องจากภาพถ่ายที่ได้จากเซ็นเซอร์ MODIS นั้นอยู่ในรูปแบบ multi-temporal จึงสามารถศึกษาในระดับ regional/global scale ได้

รศ.ดร.เสริม และคณะ (2553) [11] ได้ศึกษาสมบัติเชิงแสงของฝุ่นละอองทั้งจากการวัดภาคพื้นดินและการวิเคราะห์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยนำข้อมูลจากการวัดสเปกโตรรังสีดวงอาทิตย์จากสถานีตรวจวัด 4 แห่ง มาวิเคราะห์หาความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของออสโตรอม (β) ค่าตัวเลขยกกำลังของออสโตรอม (α) สัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงของฝุ่นละออง (SSA) และการแจกแจงขนาดของฝุ่นละออง นอกจากนี้ยังคำนวณหาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองที่สถานีตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์ 38 แห่ง และได้พัฒนากระบวนการหาค่า AOD ทั่วประเทศจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และนำกระบวนการดังกล่าวมาหาค่า AOD จากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบ stationary เป็นระยะเวลา 20 ปี (ปี 1990-2009) และนำผลที่ได้มาจัดแสดงในรูปแบบที่ AOD รายเดือนและรายปี ซึ่งพบว่า AOD ทั่วประเทศมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และตามเดือนต่าง ๆ ในรอบปี โดยค่า AOD ช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม และค่าเฉลี่ยรายปีทางภาคเหนือมีค่าสูงกว่าภาคอื่น ๆ และแนวโน้ม AOD ในช่วง 20 ปีนั้น ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางมีการเพิ่มขึ้น ส่วนภาคใต้มีแนวโน้มไม่ชัดเจน ในขณะที่รังสีรวมของดวงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลง และปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการเพิ่มขึ้นของ AOD อาจมีผลต่อการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์และการเพิ่มขึ้นของฝน

ขณะฉัตร พยุงวิวัฒนกุล และทรงกต ทศานนท์ (2554) [22] ศึกษาวิจัยการจำลองความเข้มข้นพื้นที่ของสารแขวนลอยในอากาศโดยใช้ข้อมูล MODIS ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งเกิดจากไฟฟ้า โดยใช้อัลกิริทึมจากการศึกษาวิจัยของ Remer และคณะ (2005) ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง (Aerosol) กลุ่ม PM_{10} ในอากาศใกล้ผิวดินที่ตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษ (D) ในรูปสมการ $D = \alpha B3 - 0.3B7$ ($R^2 = 0.71$) ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปสร้างดัชนีชี้วัดปริมาณฝุ่นละออง คือ NDAI (Normalized Differential Aerosol Index) โดยอาศัยสมการ

$$NDAI = \frac{VIS - c \times MidIR}{VIS + c \times MidIR} \quad (3)$$

โดย VIS เป็นช่วงคลื่นของแสงขาว
MidIR เป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง
C เป็นค่าคงที่

สำหรับประเมินและจัดทำแผนที่ระดับความหนาแน่นของสารกลุ่ม PM₁₀ ตามเวลาจากภาพ MODIS ได้โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปจัดทำเป็นแผนที่ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI map) เพื่อใช้ประโยชน์ในการติดตามและแจ้งเตือนระดับความรุนแรงของปัญหามลภาวะทางอากาศที่เกิดจากกลุ่ม PM₁₀ ได้

เกียรติกัญญา (2555) [23] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) จากภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย รวมทั้งเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองและทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละออง โดยการใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) จากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 และค่าความหนาเชิงแสง (Aerosol Optical Thickness: AOT) จากชุดผลิตภัณฑ์ MOD04 ของดาวเทียมระบบเซ็นเซอร์ MODIS หาความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณ PM₁₀ ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 10 สถานี ด้วยสมการถดถอย (Regression) 8 แบบ ได้แก่ Linear, Logarithmic, Quadratic, Cubic, Power, S-curve, Exponential และ Multiple Linear ผลการศึกษาพบว่า การใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R²) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.868 โดยใช้ทั้ง 4 แบนด์ และการใช้ข้อมูลค่าความหนาเชิงแสง (AOT) สมการถดถอยแบบคิวกิค ให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R²) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.857 และเมื่อนำสมการจากทั้งสองวิธีการ ไปคำนวณกับภาพถ่ายดาวเทียม แล้วประเมินความแม่นยำ (RMSE) โดยสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X - XI)^2}{N}} \quad (4)$$

โดย X คือ ปริมาณ PM10 ที่วัดได้จริงจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ
XI คือ ปริมาณ PM10 ที่คำนวณได้จากสมการ
N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ประเมินความสัมพันธ์ของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริงพบว่า การใช้ข้อมูลค่าความหนาเชิงแสง (AOT) ที่คำนวณด้วยสมการแบบคิวกิค ให้ค่าความแม่นยำมากกว่า เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำกว่า และพบว่าค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มีความสัมพันธ์กันมากกว่าการใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว ที่คำนวณด้วยสมการเชิงเส้นแบบพหุ

การดำเนินงานโครงการนี้ในส่วนการจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง ที่ปรึกษาใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม EOS-TERRA/AQUA เซ็นเซอร์ MODIS มาวิเคราะห์หาความหนาแน่นของฝุ่นละออง (Aerosol) กลุ่ม PM_{10} ร่วมกับข้อมูลที่ได้รวบรวมจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และใช้สมการถดถอย (regression analysis) ต่าง ๆ ในการหาปริมาณข้อมูลและตรวจสอบประเมินความแม่นยำข้อมูลคำนวณจาก RMSE (Root Mean Square Error) ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

2.2.2 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามตรวจสอบปริมาณโอโซน (O_3)

Di Noia และคณะ (2013) [24] ศึกษาวิจัยโดยใช้เห็นอัลกอริทึม NN (neural networks) ในการดึง ozone column ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ จากอุปกรณ์ OMI โดยใช้ข้อมูลชั้น 1b ซึ่งแสดงให้เห็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการพัฒนาการศึกษาในด้านต่าง ๆ ดังนี้

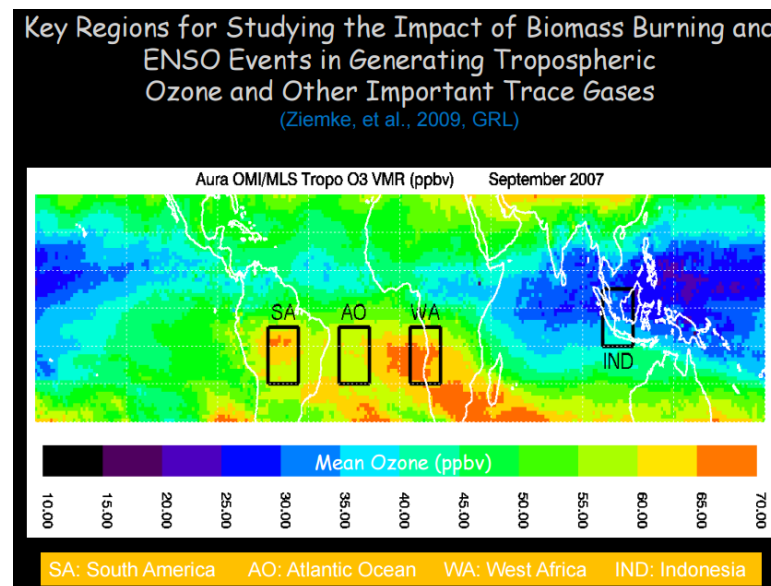
1. การใช้อัลกอริทึม NN ในงานด้านภูมิศาสตร์โดยการขยาย training set เพื่อข้อมูล ozonesonde จากสถานีกลางในเขตร้อนและขั้วโลก
2. การนิยามผลที่ได้โดยใช้ข้อมูลความดันอากาศในชั้น tropopause จากข้อมูล reanalysis
3. การแก้ไขความถูกต้องโดยใช้ข้อมูล ancillary (ข้อมูลความดันอากาศในชั้น tropopause และข้อมูลอุณหภูมิย้อนหลัง ค่าเฉลี่ย ozone column ชั้น tropospheric รายเดือนจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา) เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลจากอุปกรณ์ OMI ได้ดีขึ้น

ผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึม สามารถดึง ozone column ในชั้น tropospheric โดยใช้ root mean square error ได้ประมาณ 5-6 DU ในแต่ละ latitude bands

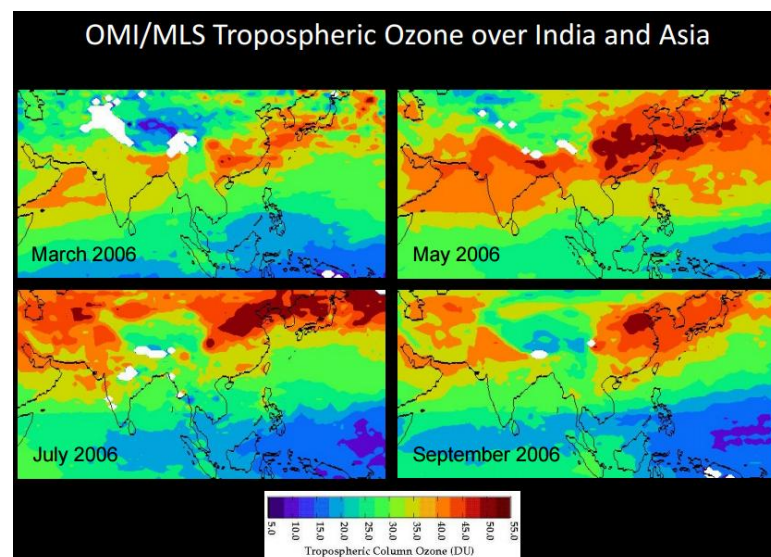
J. R. Ziemke และคณะ (2006) [25] ได้ศึกษาวิเคราะห์การประเมินผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์ TCO (tropospheric column ozone) ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัด OMI และ MLS บนดาวเทียม AURA กับแบบจำลองการถ่ายเทสารเคมี (Global Modeling Initiative (GMI) chemical transport model)) บนทะเลทรายเซฮารา ค่าที่ได้จาก TCO ครอบคลุมระยะเวลา 1 ปี โดยทำการตรวจวัดตั้งแต่เดือนสิงหาคม ปี 2004 จนถึงเดือนสิงหาคมปี 2005 ซึ่งใช้เพื่อศึกษามลพิษระดับภูมิภาคและระดับโลก โดยการสำรวจข้อมูลฤดูกาลและลักษณะของพื้นที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับ TCO ด้วย ซึ่งผลที่ได้พบว่าค่าที่ได้จาก TCO จาก OMI และจากแบบจำลอง GMI ให้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างกัน

และในปี 2009 J. R. Ziemke และคณะ [26] ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเผาไหม้ของชีวมวลในเขตร้อนซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ โดยการเผาไหม้ในเขตร้อนเกิดขึ้นอย่างตั้งใจในช่วงฤดูร้อนเพื่อจัดเตรียมพื้นที่สำหรับการทำเกษตรกรรม การเผาไหม้นี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษในชั้นบรรยากาศซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ การตรวจวัดจากเครื่องมือตรวจวัดโอโซน OMI และ MLS (Microwave Limb Sounder) จากเดือนตุลาคม ปี 2004 ถึงพฤศจิกายน ปี 2008 ถูกใช้เพื่อติดตามผลกระทบของการเผาไหม้ในเขตร้อนต่อโอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์ ในบริบทของแบบจำลองการถ่ายเทสารเคมี (Global

Modeling Initiative (GMI) chemical transport model) ผลกระทบของการเผาไหม้ในโอโซนมีความสำคัญกับพื้นที่บริเวณใกล้เคียงโดยส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซนประมาณ 10-25% โดย GMI ชี้ให้เห็นว่าโอโซนเพิ่มขึ้น 4-5% ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้น 7-9% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 30-40% ดังแสดงในรูปที่ 2-5 ถึง 2-6



รูปที่ 2-5 แสดงปริมาณโอโซนจาก OMI [27]



รูปที่ 2-6 แสดงโทรฟอสเฟียร์โอโซนจาก OMI เหนือประเทศอินเดียและทวีปเอเชีย [28]

ในการดำเนินงานโครงการใช้ข้อมูล Tropospheric ozone column density จากเครื่องมือ OMI ซึ่งข้อมูลนี้จะได้รับมาจากการลบข้อมูล O₃ profile ของสตาร์โตสเฟียร์ที่ได้จากเครื่องมือ HIRDLS จาก OMI

column densities การปรับปรุงจะใช้การผสมผสานโดยรวมข้อมูลจาก HIRDLS ข้อมูลอุณหภูมิ และ O₃ Profiles ร่วมกับ OMI O₃ profile ความละเอียดเชิงพื้นที่สูงของ OMI เป็นผลจากการใช้ข้อมูลในการตรวจสอบเชิงพื้นที่ในโทรฟอสเฟียร์โอโซน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีมลพิษ

ส่วนเครื่องมือ HIRDLS (High Resolution Dynamics Limb Sounder) ที่ถูกนำมารวมอยู่ใน Tropospheric ozone column density ถูกออกแบบมาเพื่อรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มข้นของ O₃, H₂O, CH₄, N₂O, NO₂, HNO₃, N₂O₅, CFC11, CFC12, ClONO₂, ละอองลอย และเมฆบริเวณขั้วโลกในชั้นสตราโตสเฟียร์ และเมฆชั้นบน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อหาการทำให้เกิดเสียงในความละเอียดทั้งแนวตั้งและแนวนอนที่ดีกว่าที่ได้รับก่อนหน้านี้ ซึ่งประกอบด้วย การสังเกตชั้นที่ต่ำกว่าสตราโตสเฟียร์และการเพิ่มความถูกต้อง และเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลในบรรยากาศ การวินิจฉัยประกอบกับการใช้โมเดล 2 หรือ 3 มิติ [29]

เนตรนภา (2548) [30] ศึกษาหาปริมาณโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินจากมหาวิทยาลัยศิลปากรจังหวัดนครปฐม โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลา 2 ปี และคำนวณปริมาณโอโซนด้วยวิธีของ King และ Bryne คือการหาค่าปริมาณโอโซนในบรรยากาศจากค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากโอโซน โดยอาศัยสมการของ Bouguer เพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศ ดังสมการ

$$F(\lambda) = F_0(\lambda)\exp(-\tau_t(\lambda)m(\theta_0)) \quad (5)$$

เมื่อ

$F(\lambda)$ = สเปกตรัมความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัด [$\text{W/m}^2 - \mu\text{m}$]

$F_0(\lambda)$ = สเปกตรัมความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก [$\text{W/m}^2 - \mu\text{m}$]

$\tau_t(\lambda)$ = ความลึกเชิงแสงของบรรยากาศ

$m(\theta_0)$ = มวลอากาศ

ค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศหาได้จากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (300-340 nm) ที่ประกอบด้วยความลึกเชิงแสง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ความลึกเชิงแสงของ Rayleigh (τ_{rel}) ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (τ_{aer}) และความลึกเชิงแสงของโอโซน (τ_{oz}) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\tau_t(\lambda) = \tau_{aer}(\lambda) + \tau_{rel}(\lambda) + \tau_{oz}(\lambda) \quad (6)$$

$$\tau_{rel}(\lambda) = 0.008569\lambda^{-4}(1 + 0.0113\lambda^{-2} + 0.00013\lambda^{-4})P/P_0$$

โดย

λ = ความยาวคลื่น (μm)

P = ความดันบรรยากาศขณะใด ๆ (mbar)

P_0 = ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล เท่ากับ 1013 mbar

$$\tau_{oz}(\lambda) = k_{oz}(\lambda) \cdot T \quad (7)$$

King และ Bryne อ้างโดย เนตรนภา (2548) [30] ใช้ปริมาณโอโซน (T) ที่เป็นข้อมูลเชิงภูมิอากาศ (climatological ozone) ที่หาได้โดย Heuklon (1979) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซน ($\alpha_{oz,\lambda}$) ที่หาไว้โดย Griggs (1968) เนตรนภา (2548) [30]

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการ แล้วจะได้ค่าความลึกเชิงแสงของผุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จากนั้นนำค่า $\ln$ ของความลึกเชิงแสงของผุ่นละออง กับ $\ln$ ของความยาวคลื่นมาเขียนกราฟแล้วทำการฟิต (fit) กราฟด้วยวิธี least square ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\ln(\tau) = a + b \ln(\lambda) + c [\ln(\lambda)]^2 \quad (8)$$

จากนั้นนำค่าความลึกเชิงแสงของผุ่นละอองแทนกลับเข้าไปในสมการเพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงของโอโซนออกมา สุดท้ายจะได้ค่าปริมาณโอโซน ซึ่งเป็นปริมาณโอโซนที่วัดได้จริง

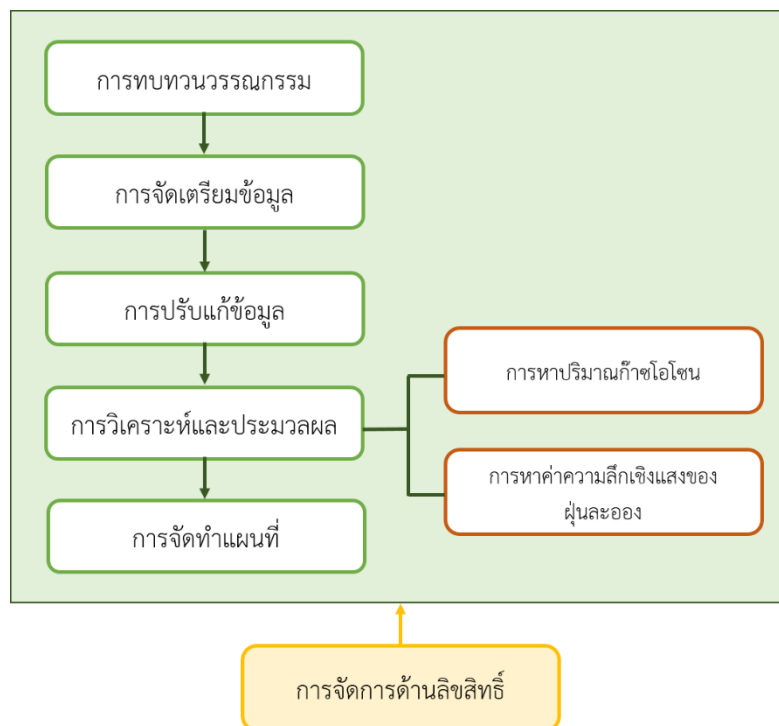
ส่วนของกรุงเทพใช้ข้อมูลจำนวน 26 ปี (ค.ศ.1979-2005) ที่ได้จากการวัดโดยใช้ Dobson spectrophotometer สำหรับสงขลาเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้ Brewer spectrophotometer จำนวน 9 ปี จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดพบว่า ลักษณะการแปรค่าของปริมาณโอโซนตามฤดูกาลในรอบปีของทั้ง 3 สถานี มีลักษณะคล้ายกัน คือ โอโซนจะมีค่าต่ำในช่วงต้นปีและปลายปี และมีค่าสูงในช่วงกลางปี โดยค่าเฉลี่ยรายปีของสถานีนครปฐม กรุงเทพมหานคร และสงขลามีลักษณะคล้ายกัน โดยความถี่สูงสุดอยู่ที่ปริมาณโอโซนในช่วง 265-270 DU และจากการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่ได้จากการวัดทั้ง 3 สถานีกับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม EP/TOMS ผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าจากการวัดทั้ง 3 สถานีมีค่าสอดคล้องกับค่าจากดาวเทียม และพบว่ารังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยถูกดูดกลืนโดยโอโซน 2.5-4.4%

เสริม (2553) [11] ได้หาปริมาณโอโซนโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม TERRA/ AQUA ที่วัดจากอุปกรณ์ TOMS โดยขั้นตอนการหาปริมาณโอโซนนั้นนำข้อมูลปริมาณโอโซนจากดาวเทียมไปเปรียบเทียบกับข้อมูลโอโซนที่ได้จากเครื่องวัด Brewer spectrophotometer ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา ซึ่งผลการเปรียบเทียบพบว่า ปริมาณโอโซนที่วัดจาก TOMS มีความละเอียดถูกต้องที่สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

โครงการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพของประเทศไทย ซึ่งมุ่งเน้นการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมเข้ามาช่วยในการดำเนินงาน และเพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการติดตามตรวจวัด และการรายงานคุณภาพอากาศให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศไทย ได้กำหนดวิธีการดำเนินงานตามแผนผังการดำเนินงาน แสดงในรูปที่ 3-1 โดยการทบทวนวรรณกรรมได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ส่วนวิธีการดำเนินงานในส่วนอื่น ๆ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3-1 แผนผังการดำเนินงานโครงการ

3.1 การรวบรวม จัดเตรียม และปรับแก้ข้อมูล

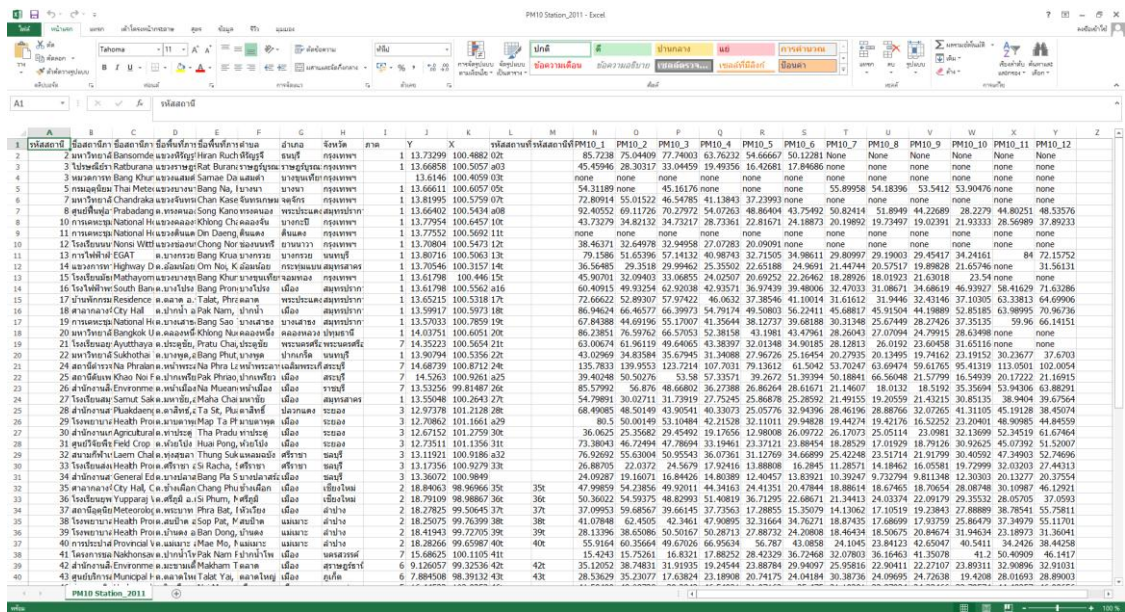
ดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลย้อนหลังจำนวน 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 – 2558 จากหน่วยงานต่าง ๆ โดยรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3-1 โดยมีการปรับแก้และจัดรูปแบบข้อมูลให้พร้อมใช้งานสำหรับการดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน

ลำดับ	ข้อมูล	หน่วยงานเจ้าของข้อมูล
1	ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ	กรมควบคุมมลพิษ
2	ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองจากภาพถ่ายดาวเทียม EOS-TERRA และ AQUA	องค์การนาซา
3	ข้อมูลปริมาณโอโซนรวม โอโซนชั้นสตราโตสเฟียร์ โอโซนชั้นโทรโพสเฟียร์ จากดาวเทียม MSL/AURA	องค์การนาซา
4	ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา MTSAT-1R	Japanese Meteorological Agency (JMA)
5	ความชื้นสัมพัทธ์	กรมอุตุนิยมวิทยา
6	ค่าทัศนวิสัย	กรมอุตุนิยมวิทยา
7	ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
8	ข้อมูลปริมาณโอโซนที่ได้จากการปล่อย ozonesonde	มหาวิทยาลัยศิลปากร

3.1.1 ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ

นำข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀) และปริมาณโอโซน (O₃) รายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 – 2558 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ มาจัดทำให้เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยกำหนดผลลัพธ์ให้ออกมาเป็นข้อมูลรายเดือนแยกตามปี และจัดให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำไปใช้งานต่อไป ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ตัวอย่างข้อมูลฝุ่นละอองปี พ.ศ. 2554

3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จากองค์การนาซา

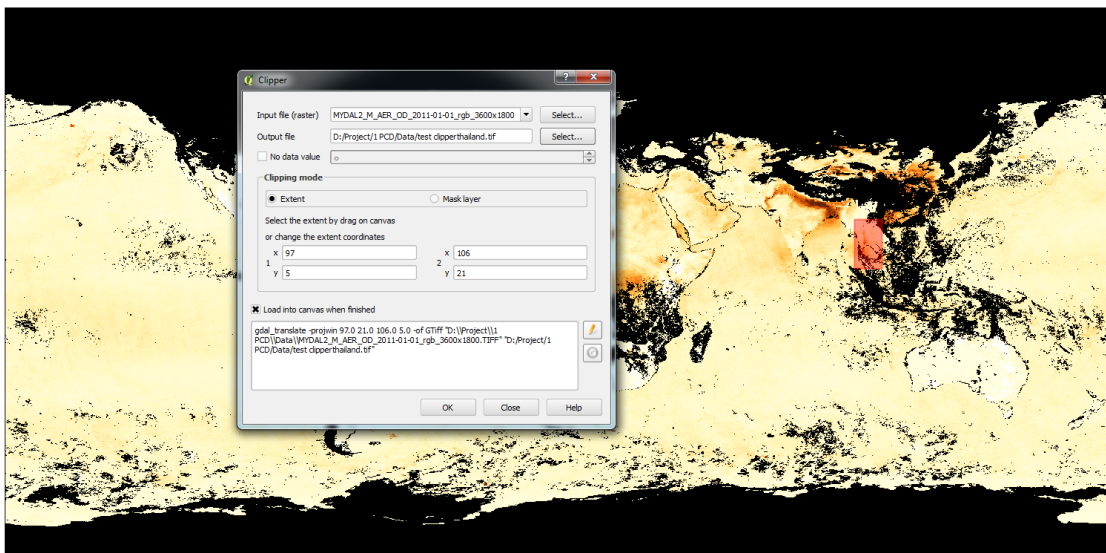
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากองค์การนาซา ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) และปริมาณโอโซน (O_3) โดยการจัดเตรียมข้อมูลแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือน

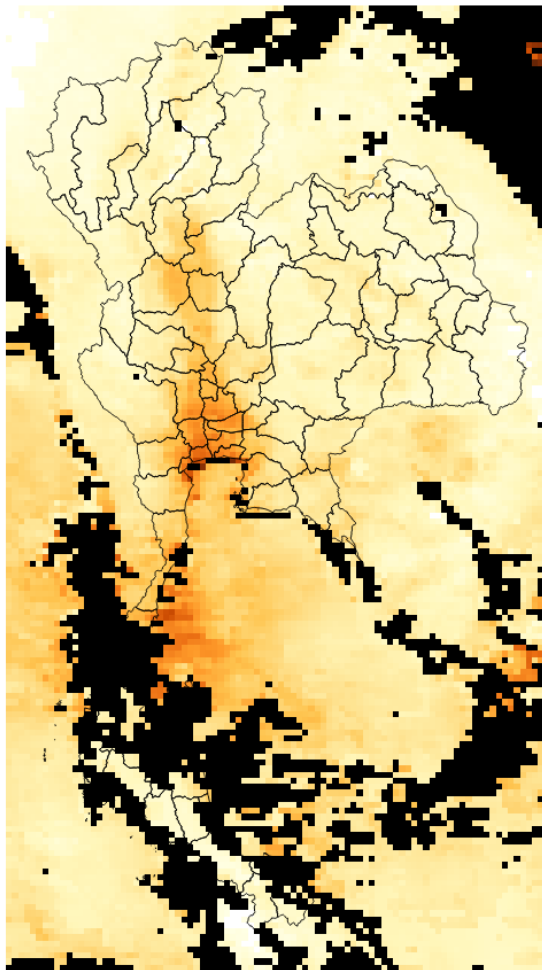
1.1) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ฝุ่นละออง ประกอบด้วย ข้อมูลค่าความลึกเชิงแสง (AOD: Aerosol Optical Depth) จากชุดผลิตภัณฑ์ MOD04 ข้อมูลค่าสะท้อนเชิงแสงจากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EOS-TERRA และ AQUA ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์เครื่องตรวจวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) มีแถบการถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย และถ่ายภาพได้วันละ 4 ช่วงเวลาได้แก่ ดาวเทียม TERRA (เวลา 01:00-02:00 น. และ 10:00-11:00 น.) ดาวเทียม AQUA (เวลา 13:00-14:00 น. และ 22:00-23:00 น.) สามารถดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/> หรือ ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov/allData/51/MOD04_L2 โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานคือ

1.1.1) ข้อมูลค่าความลึกเชิงแสง (MOD04)

- นำข้อมูลค่าความลึกเชิงแสง (MOD04) ที่เป็นภาพราสเตอร์ (ไฟล์ GeoTIFF) เข้าสู่โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยการดำเนินงานใช้โปรแกรม QGIS เพื่อกำหนดพื้นที่เฉพาะประเทศไทย โดยระบุพิกัดตำแหน่ง X ที่ 97-106 องศาตะวันออก และพิกัดตำแหน่ง Y ที่ 5-21 องศาเหนือ ดังรูปที่ 3-3 เมื่อกำหนดขอบเขตแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3-4

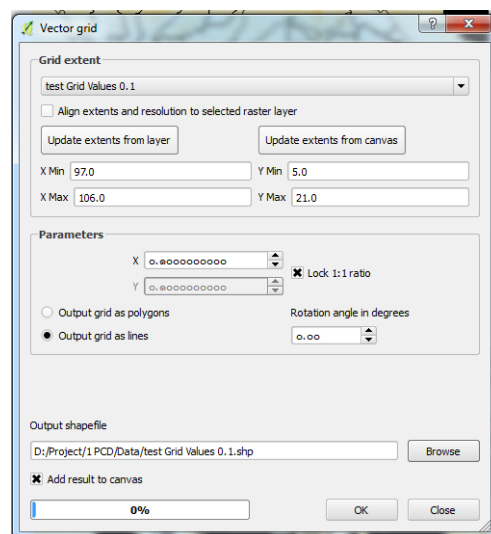


รูปที่ 3-3 การกำหนดพิกัดตำแหน่งประเทศไทยข้อมูลค่าความลึกเชิงแสง (AOD)

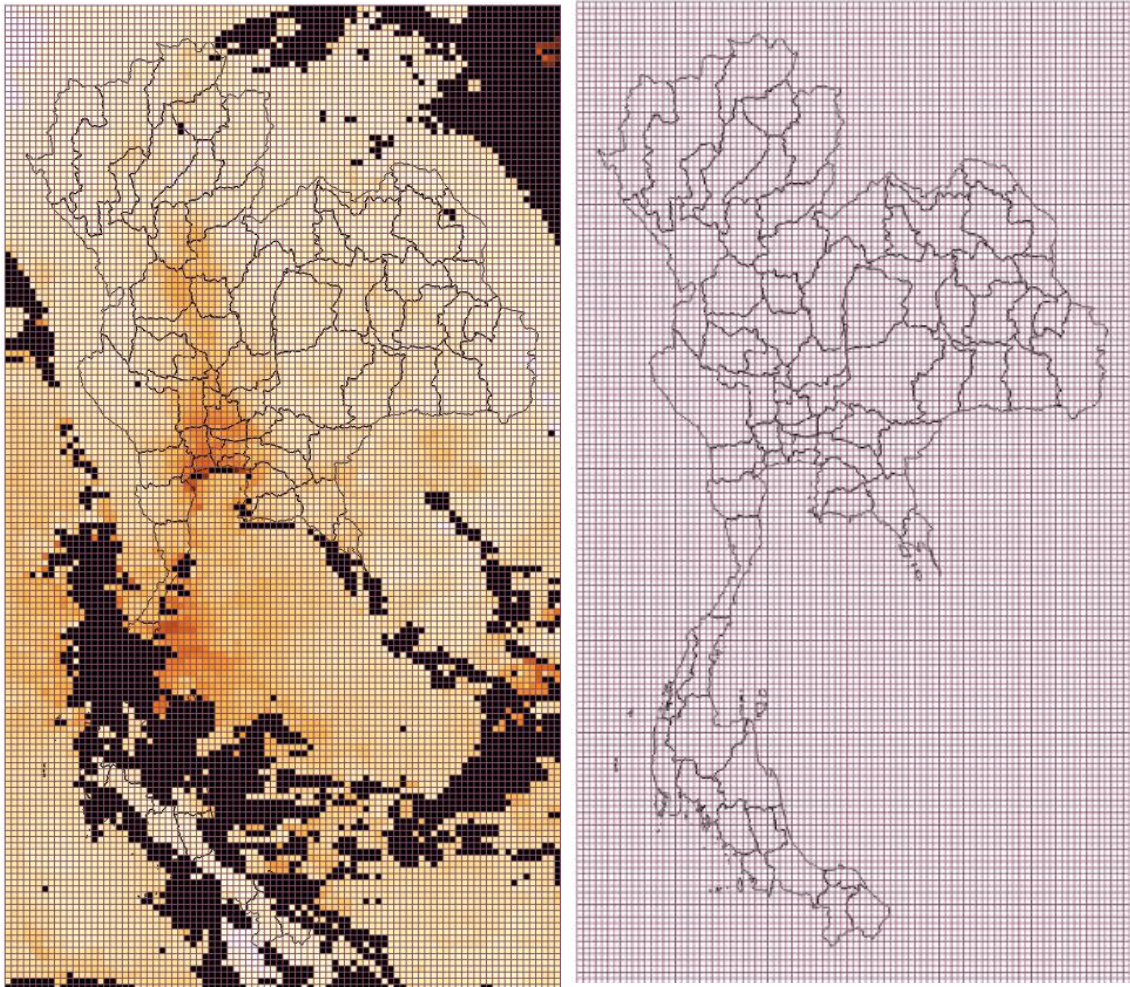


รูปที่ 3-4 ข้อมูล Raster ค่าความลึกเชิงแสง (AOD) ประเทศไทย

- แปลงข้อมูล Raster ให้เป็น Vector grid โดย 1 พิกเซลมีขนาดเท่ากับ 0.1 องศาตามละติจูด x 0.1 องศาตามลองจิจูด (รูปที่ 3-5) ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3-6

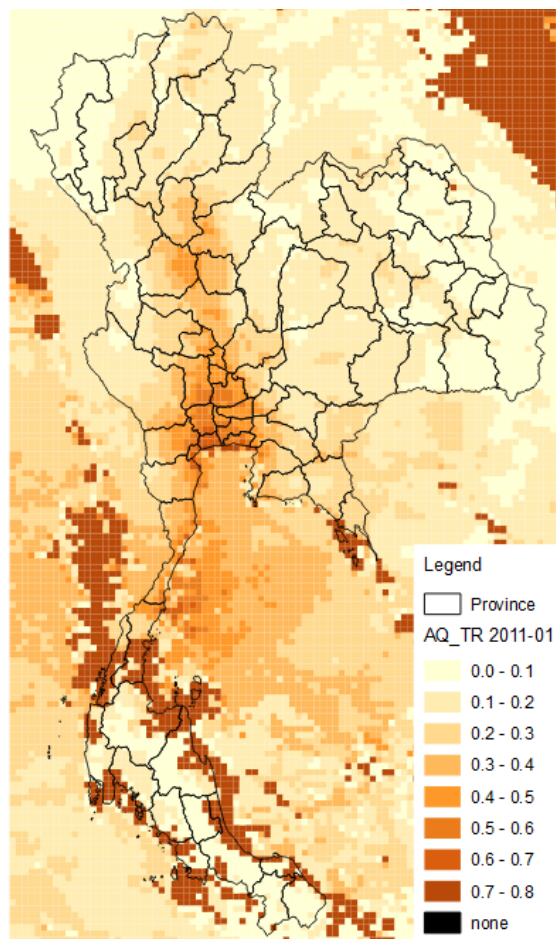


รูปที่ 3-5 แปลงข้อมูล Raster ให้เป็น Vector grid



รูปที่ 3-6 Vector grid ประเทศไทย

- นำข้อมูลไฟล์ CSV ที่ได้จากดาวเทียมทั้ง TERRA และ AQUA มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งกลางวันและกลางคืน และนำมาเชื่อมโยงกับข้อมูล Vector grid ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่างรูปที่ 3-7

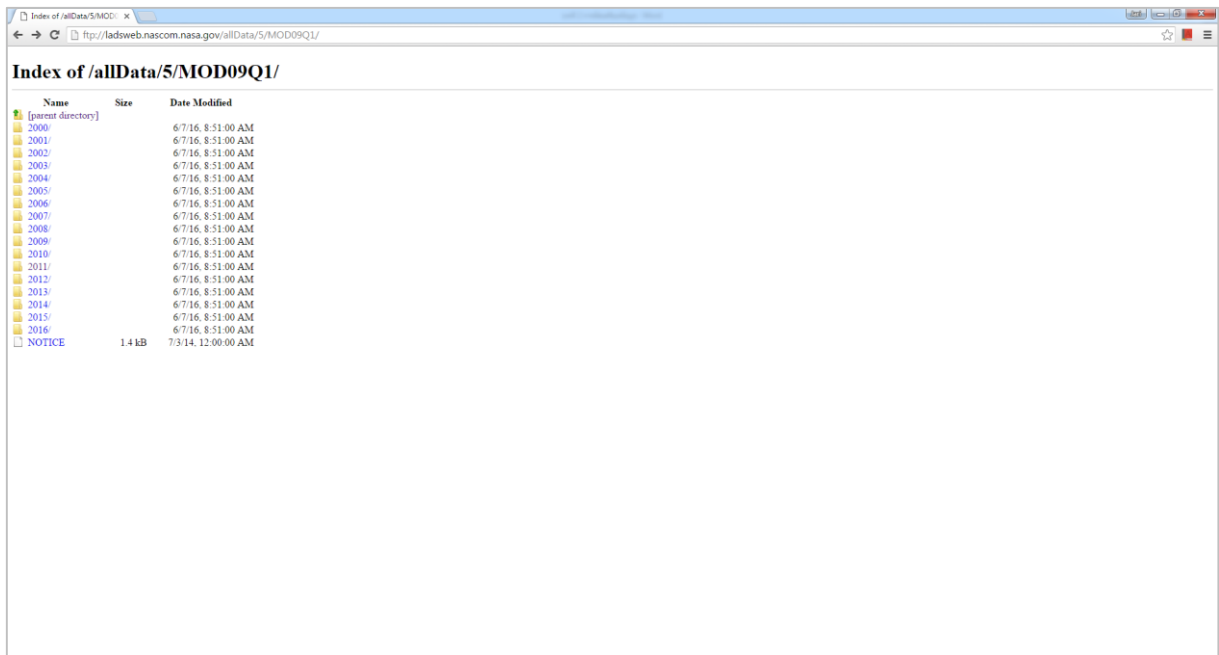


รูปที่ 3-7 ตัวอย่างแผนที่ค่าความลึกเชิงแสง (AOD)

1.1.2) ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว ที่ได้จากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 มีขั้นตอนการ download ดังนี้

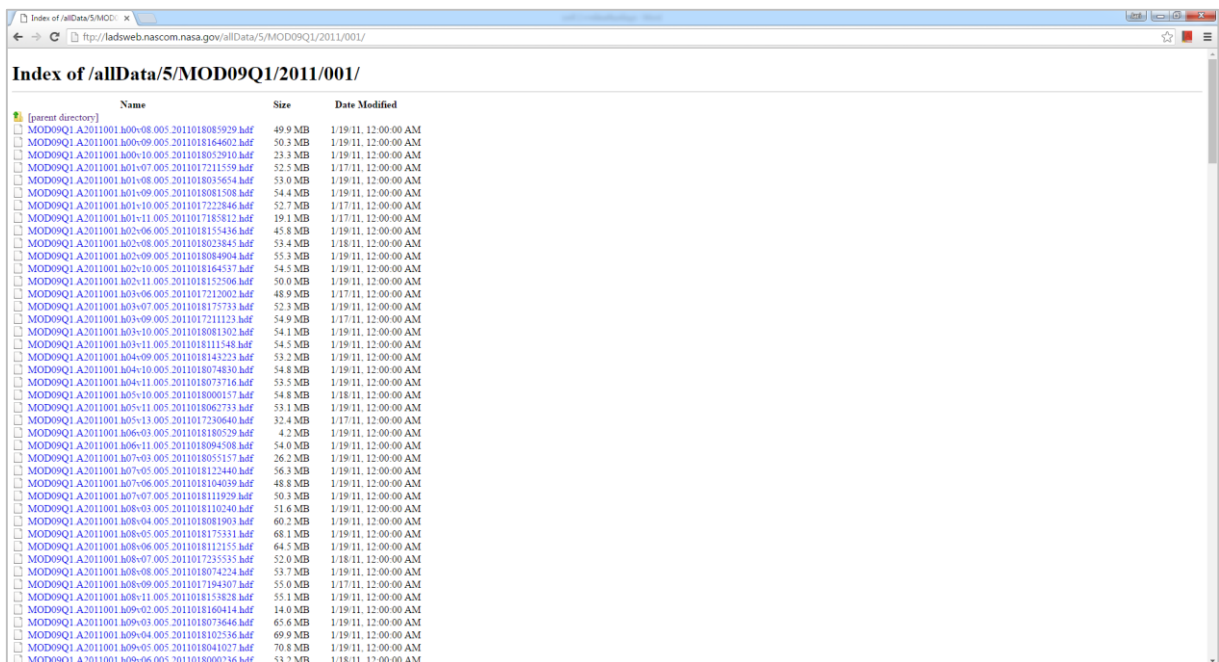
- เข้าที่ <ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov/allData/5/MOD09Q1>
- ดาวน์โหลดข้อมูลปี 2011-2015 ดังรูปที่ 3-8 จะได้ข้อมูลภาพ Raster ไฟล์

hdf ตัวอย่างดังรูปที่ 3-9



Name	Size	Date Modified
[parent directory]		
2000/		6/7/16, 8:51:00 AM
2001/		6/7/16, 8:51:00 AM
2002/		6/7/16, 8:51:00 AM
2003/		6/7/16, 8:51:00 AM
2004/		6/7/16, 8:51:00 AM
2005/		6/7/16, 8:51:00 AM
2006/		6/7/16, 8:51:00 AM
2007/		6/7/16, 8:51:00 AM
2008/		6/7/16, 8:51:00 AM
2009/		6/7/16, 8:51:00 AM
2010/		6/7/16, 8:51:00 AM
2011/		6/7/16, 8:51:00 AM
2012/		6/7/16, 8:51:00 AM
2013/		6/7/16, 8:51:00 AM
2014/		6/7/16, 8:51:00 AM
2015/		6/7/16, 8:51:00 AM
2016/		6/7/16, 8:51:00 AM
NOTICE	1.4 kB	7/3/14, 12:00:00 AM

รูปที่ 3-8 การดาวน์โหลดข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว



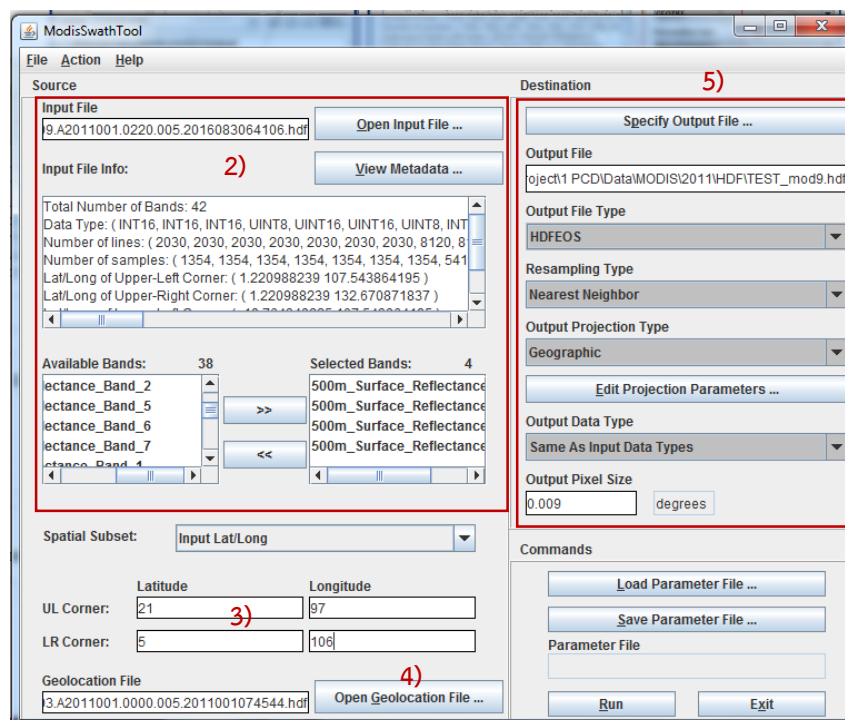
Name	Size	Date Modified
[parent directory]		
MOD09Q1.A2011001.h00v08.005.2011018085929.hdf	49.9 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h00v09.005.2011018164602.hdf	50.3 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h00v10.005.2011018052910.hdf	23.3 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h01v07.005.2011017211559.hdf	52.5 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h01v08.005.2011018035654.hdf	53.0 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h01v09.005.2011018081508.hdf	54.4 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h01v10.005.2011017222846.hdf	52.7 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h01v11.005.2011017185812.hdf	19.1 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h02v06.005.2011018155436.hdf	45.8 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h02v08.005.2011018023845.hdf	53.4 MB	1/18/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h02v09.005.2011018084904.hdf	55.3 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h02v10.005.2011018164537.hdf	54.5 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h02v11.005.2011018152506.hdf	50.0 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h03v06.005.2011017212002.hdf	48.9 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h03v07.005.2011018175733.hdf	52.3 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h03v09.005.2011017211123.hdf	54.9 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h03v10.005.2011018081302.hdf	54.1 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h03v11.005.2011018115148.hdf	54.5 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h04v09.005.2011018143223.hdf	53.2 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h04v10.005.2011018074830.hdf	54.8 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h04v11.005.2011018073716.hdf	53.5 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h05v10.005.2011018000157.hdf	54.8 MB	1/18/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h05v11.005.2011018062733.hdf	53.1 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h05v13.005.2011017230640.hdf	32.4 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h06v03.005.2011018180529.hdf	4.2 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h06v11.005.2011018094508.hdf	54.0 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h07v03.005.2011018055157.hdf	26.2 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h07v05.005.2011018122440.hdf	56.3 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h07v06.005.2011018104039.hdf	48.8 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h07v07.005.2011018119229.hdf	50.3 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v03.005.2011018110240.hdf	51.6 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v04.005.2011018081903.hdf	60.2 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v05.005.2011018175351.hdf	68.1 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v06.005.2011018121555.hdf	64.5 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v07.005.2011017235535.hdf	52.0 MB	1/18/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v08.005.2011018074224.hdf	53.7 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v09.005.2011017194307.hdf	55.0 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h08v11.005.2011018153828.hdf	55.1 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h09v02.005.2011018160414.hdf	14.0 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h09v03.005.2011018073646.hdf	65.6 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h09v04.005.2011018102536.hdf	69.9 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h09v05.005.2011018041027.hdf	70.8 MB	1/19/11, 12:00:00 AM
MOD09Q1.A2011001.h09v06.005.2011018000236.hdf	53.2 MB	1/18/11, 12:00:00 AM

รูปที่ 3-9 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ hdf

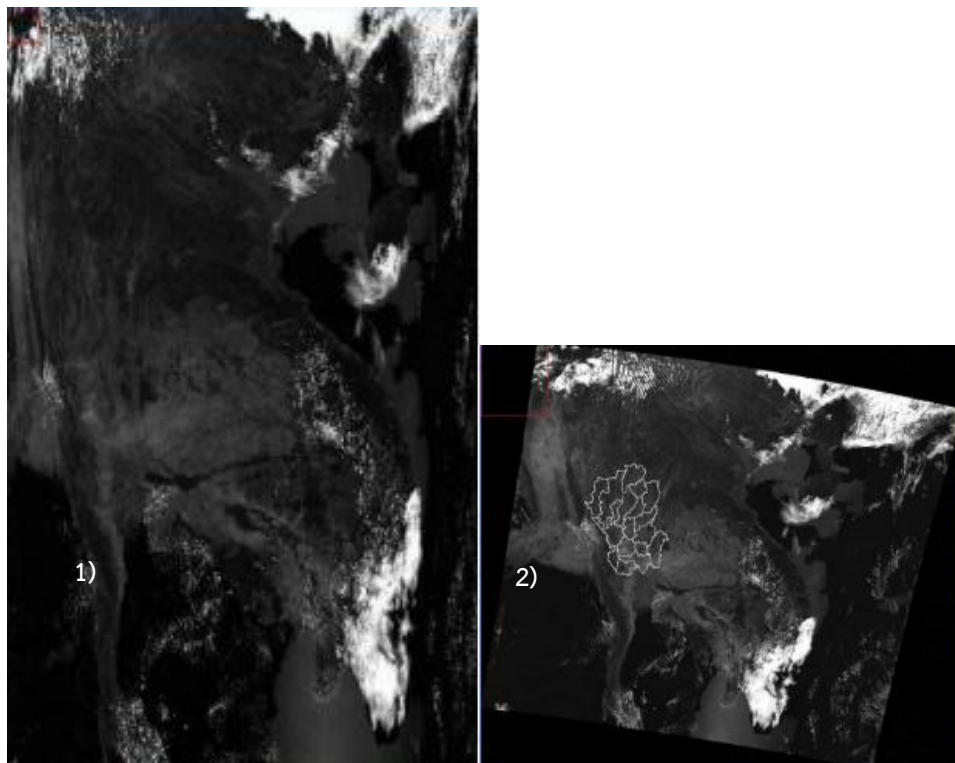
- ปรับแก้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งโดยใช้ซอฟต์แวร์ MRT Swath ซึ่งเป็นเครื่องมือในการจัดการเกี่ยวกับระบบพิกัดและความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลิตภัณฑ์จากดาวเทียมเซนเซอร์ MODIS level 1B และ level 2 สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้จากเว็บไซต์ https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool_swath จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรม Java ก่อนจึงจะสามารถติดตั้ง

โปรแกรม MRT Swath ได้ โดยการปรับแก้เชิงเรขาคณิตของข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว จากผลิตภัณฑ์ MOD09 มีขั้นตอนดังรูปที่ 3-10 รายละเอียดดังนี้

- เมื่อติดตั้งโปรแกรมแล้ว เปิดโปรแกรม ModisSwathTool
- เลือก Open Input File... เพื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการแก้ไขระบบพิกัด (ข้อมูลในรูปแบบไฟล์ hdf) และเลือกข้อมูลที่ต้องการ
- กำหนดขอบเขตประเทศไทย UL Corner ที่ละติจูด 21 ลองจิจูด 97 และ LR Corner ที่ละติจูด 5 ลองจิจูด 106
- เลือกไฟล์ข้อมูลผลิตภัณฑ์ MOD03 เพื่อใช้ในการประมวลผลปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD09 อยู่ในรูปแบบ HDF-EOS และอ้างอิงโดยเส้นโครงแผนที่แบบ Sinusoidal ซึ่งยังไม่มีระบบพิกัดกริด จึงต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิต เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องตรงตามความเป็นจริงบนพื้นผิวโลก ซึ่งการดำเนินงานต้องใช้ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD03 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่รวบรวมรายละเอียดข้อมูลเชิงตำแหน่ง ความสูง มุม zenith และมุม azimuth ของดวงอาทิตย์ และดาวเทียม เพื่อใช้ในการปรับแก้ข้อมูลเชิงพิกัดของข้อมูลจากดาวเทียม
- กำหนดชื่อไฟล์ ชนิดไฟล์ และตำแหน่งที่ต้องการจัดเก็บข้อมูลที่ทำการปรับแก้ และเลือกวิธีการสุ่มตัวอย่างภาพ และระบบพิกัดที่ต้องการ จากนั้นใส่ขนาดความละเอียดภาพ และคลิก จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3-11

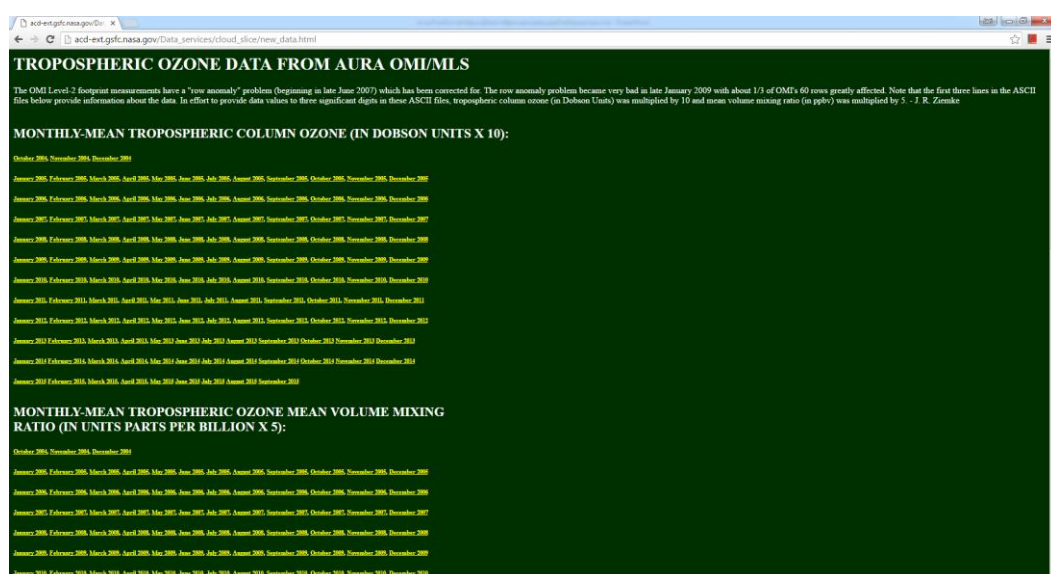


รูปที่ 3-10 ขั้นตอนการแปลงค่าพิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียม

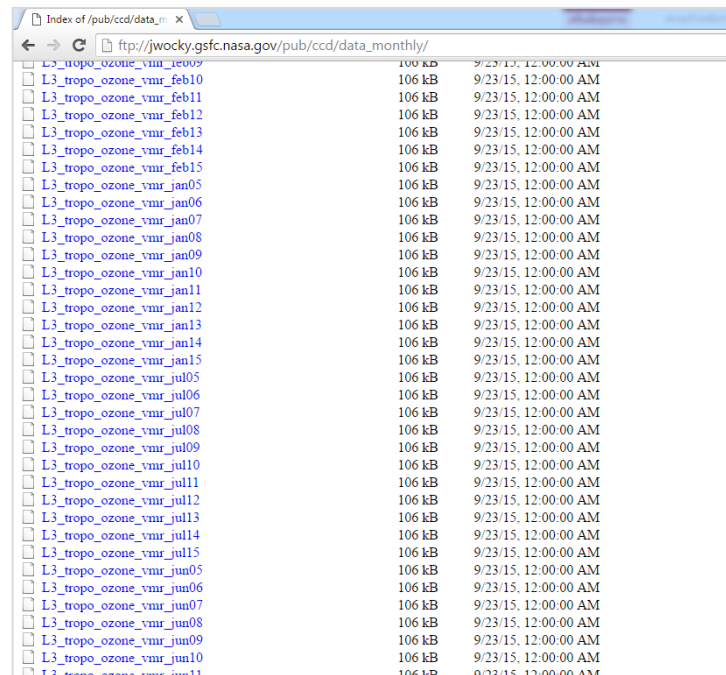


รูปที่ 3-11 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมก่อน (1) และหลัง (2) การปรับแก้

1.1.3 ข้อมูลโอโซน (O_3) (MLS-Microwave Limb Sounder) สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้ที่ http://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/cloud_slice/new_data.html (รูปที่ 3-12) หรือ ที่ ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/ccd/data_monthly/ (รูปที่ 3-13) ตัวอย่างข้อมูลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3-14

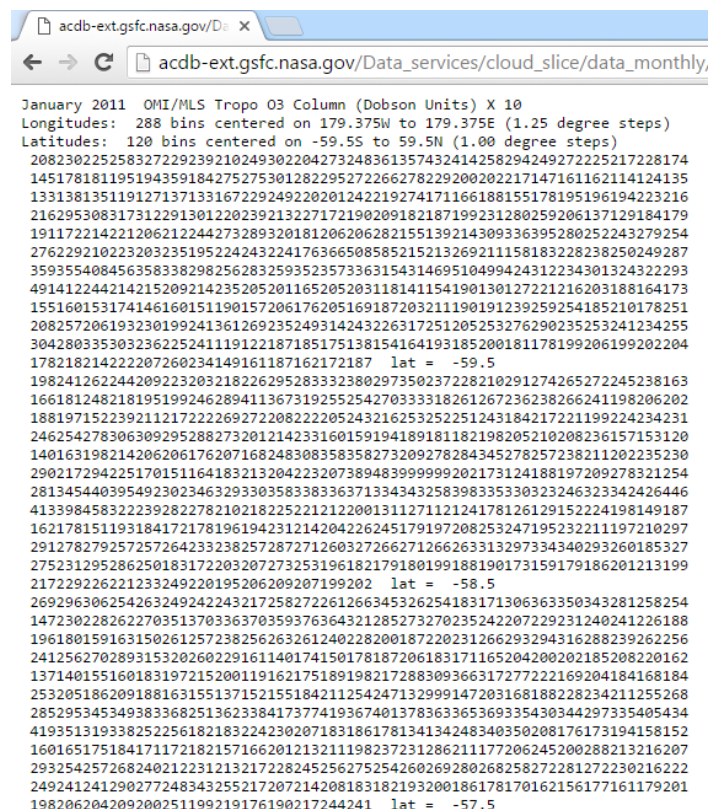


รูปที่ 3-12 ดาวน์โหลดข้อมูลโอโซน (O_3) (MLS-Microwave Limb Sounder) 1



Filename	Size	Date
L3_tropo_ozone_vmr_jan09	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan10	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan11	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan12	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan13	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan14	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan15	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan05	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan06	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan07	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan08	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan09	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan10	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan11	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan12	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan13	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan14	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jan15	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul05	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul06	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul07	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul08	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul09	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul10	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul11	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul12	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul13	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul14	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jul15	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun05	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun06	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun07	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun08	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun09	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun10	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM
L3_tropo_ozone_vmr_jun11	106 kB	9/23/15, 12:00:00 AM

รูปที่ 3-13 ดาวนโหนดข้อมูลโอโซน (O₃) (MLS-Microwave Limb Sounder) 2



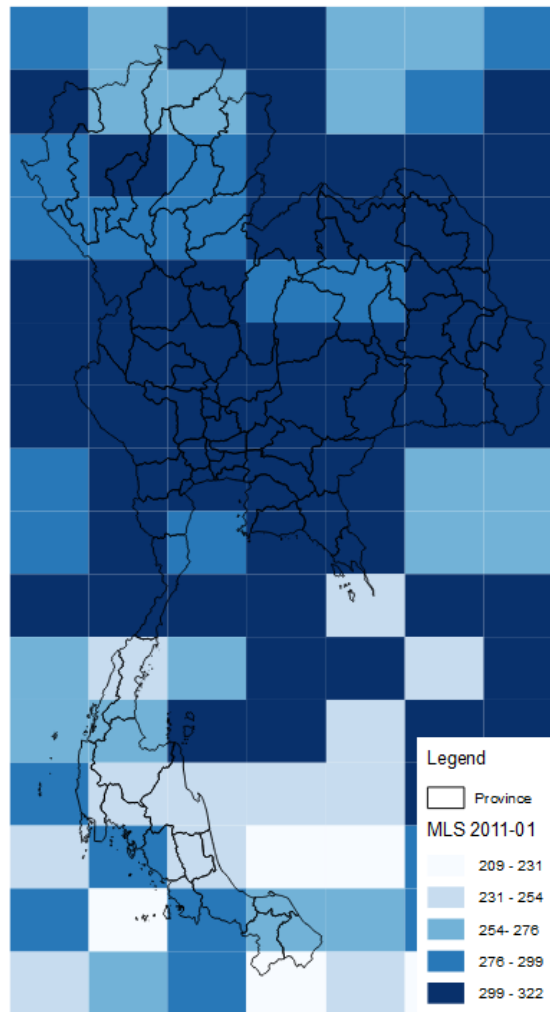
acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/cloud_slice/data_monthly/

January 2011 OMI/MLS Tropo O3 Column (Dobson Units) X 10
Longitudes: 288 bins centered on 179.375W to 179.375E (1.25 degree steps)
Latitudes: 120 bins centered on -59.5S to 59.5N (1.00 degree steps)

208230225258327229239210249302204273248361357432414258294249272225217228174	145178181195194359184275275301282295272266278229200202217147161162114124135	133138135119127137133167229249220201242219274171166188155178195196194223216	216295308317312291301220239213227172190209182187199231280259206137129184179	191172214221206212244273289320181206206282155139214309336395280252243279254	276229210223203235195224243224176366508585215213269211158183228238250249287	35935540845638338298256283259352357336315431469510499424312234301324322293	491412244214215209214235205201165205203118141154190130127221216203188164173	155160153174146160151190157206176205169187203211190191239259254185210178251	208257206193230199241361269235249314243226317251205253276290235253241234255	304280335303236225241119122187185175138154164193185200181178199206199202204	17821821422207260234149161187162172187 lat = -59.5	198241262244209223203218226295283332380297350237228210291274265272245238163	1661812482181951992462894113673192525427033318261267236238266241198206202	1881971522392112172226927220822205243216253252251243184217221199224234231	246254278306309295288273201214233160159194189181182198205210208236157153120	140163198214206206176207168248308358358273209278284345278257238211202235230	29021729422517015116418321320422320738948399999202173124188197209278321254	2813454403954923023463293303583383363713343432583983353032324632334246446	413398458322239282278210218225221212200131127112124178126129152224198149187	162178151193184172178196194231214204226245179197208253247195232211197210297	291278279257257264233238257287271260327266271266263313297334340293260185327	275231295286250183172203207273253196182179180199188190173159179186201213199	217229226221233249220195206209207199202 lat = -58.5	26929630625426324922424321725827261266345326254183171306363350343281258254	147230228262270351370336370359376364321285273270235242207229231240241226188	196180159163150261257238256263261240228200187220231266293294316288239262256	241256270289315320260229161140174150178187206183171165204200202185208220162	137140155160183197215200119162175189198217288309366317277222169204184168184	253205186209188163155137152155184211254247132999147203168188228234211255268	285295345349383368251362338417377419367401378363365369335430344297335405434	419351319338252256182183224230207183186178134134248340350208176173194158152	160165175184171172182157166201213211198237231286211177206245200288213216207	293254257268240212231213217228245256275254260269280268258272281272230216222	249241241290277248343255217207214208183182193200186178170162156177161179201	198206204209200251199219176190217244241 lat = -57.5
---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูปที่ 3-14 ตัวอย่างข้อมูลโอโซน (O₃) (MLS-Microwave Limb Sounder)

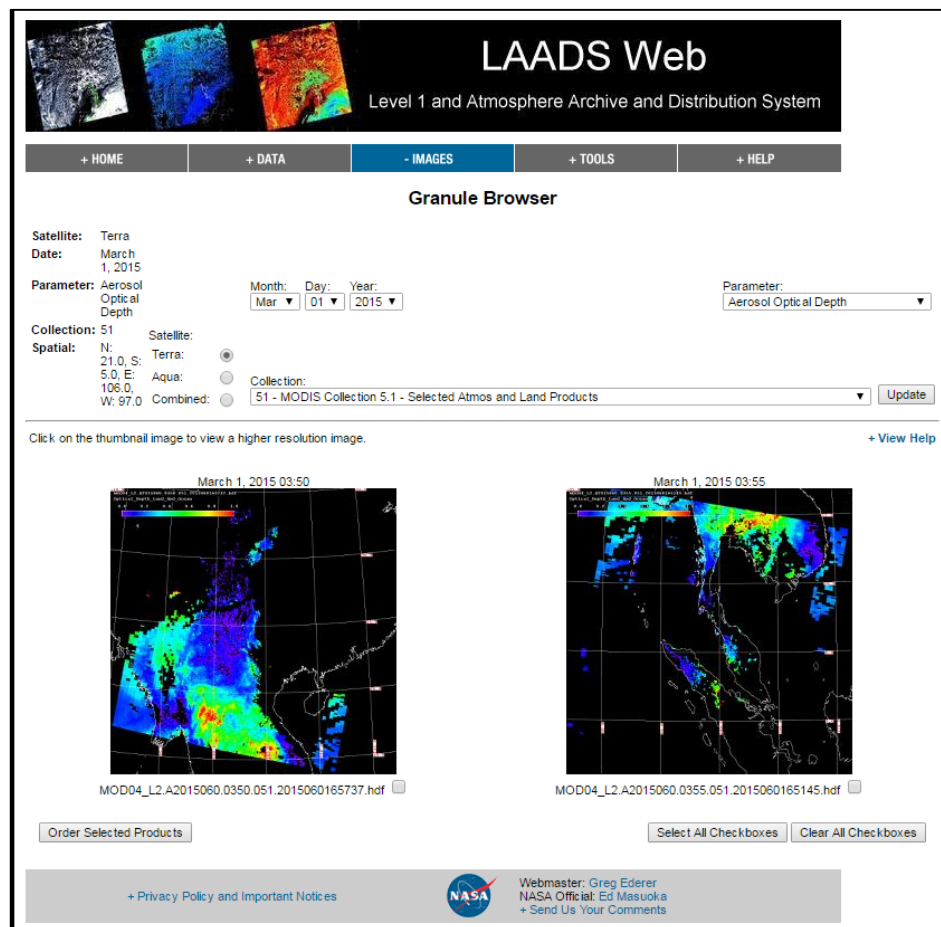
- สร้างข้อมูล Vector grid ของข้อมูลโอโซน (O_3) - MLS โดย 1 พิกเซลมีขนาดเท่ากับ 1 องศาตามละติจูด x 1.25 องศาตามลองจิจูด
- นำข้อมูลโอโซน (O_3) - MLS มาจัดให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ CSV
- นำข้อมูลโอโซน (O_3) - MLS ในรูปแบบไฟล์ CSV มาเชื่อมโยงกับข้อมูลโอโซน (O_3) - MLS Vector grid ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่างรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-15 ตัวอย่างแผนที่โอโซน (O_3) - MLS

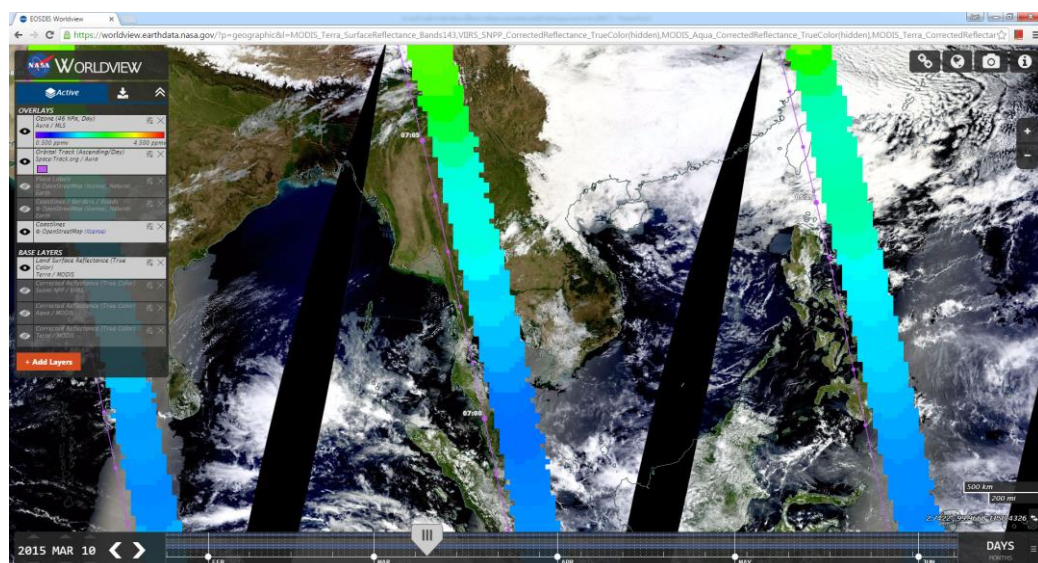
2) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามสถานีและช่วงเวลากรมควบคุมมลพิษกำหนด

2.1) ข้อมูล optical depth รายวัน ดาวโนโหลดจาก <https://ladsweb.nascom.nasa.gov/> แสดงในรูปที่ 3-16



รูปที่ 3-16 ข้อมูล optical depth

2.2) ข้อมูลโอโซน MLS รายวัน ดาวเทียมจาก <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> แสดงในรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-17 ภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2558

ข้อมูลทั้งสองสามารถเปิดได้โดยตรงด้วยโปรแกรม QGIS จากนั้นเลือกดึงเฉพาะค่าที่ตรงกับตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่กรมควบคุมมลพิษเป็นผู้กำหนดให้

3.1.3 ข้อมูลที่นำมาจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง

ข้อมูลที่นำมาจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละอองใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา MTSAT-1R ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลดาวเทียมในช่องสัญญาณแสงสว่าง (Visible) และข้อมูลดาวเทียมในช่องสัญญาณอินฟราเรด (Infrared) โดยมีการจัดเตรียมข้อมูลดังนี้

1) ข้อมูลดาวเทียมในช่องสัญญาณแสงสว่าง (Visible)

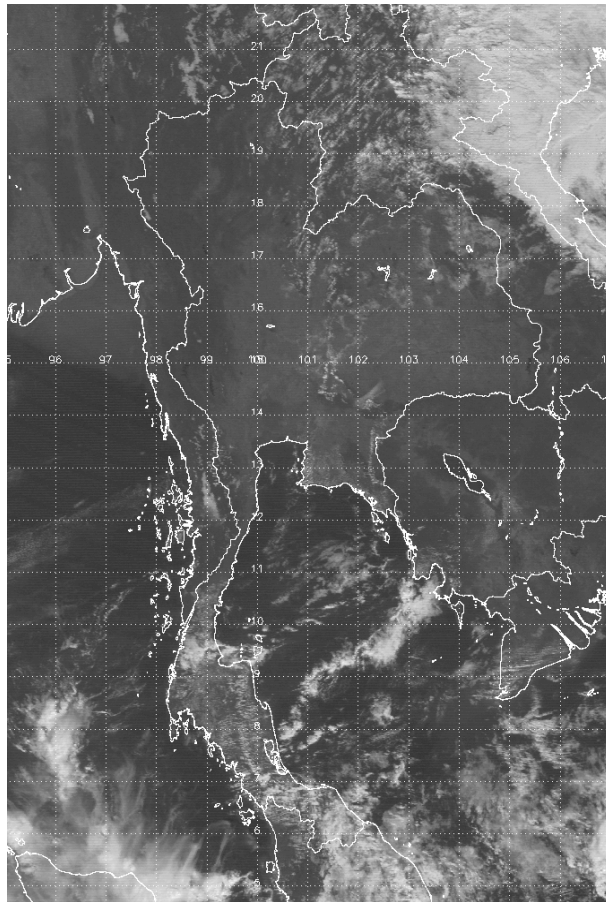
1.1) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา MTSAT-1R ของ Japanese Meteorological Agency (JMA) โดยข้อมูลดาวเทียมที่ได้เป็นข้อมูลซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง (0.55-0.99 μm) ข้อมูลดังกล่าวมีลักษณะเป็นข้อมูลดิจิทัล 8-bit ซึ่งเรียกว่า digital count ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลดาวเทียมที่ได้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูป satellite projection ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานโดยตรง จึงต้องทำการแปลงค่าระบบพิกัดต่อไป

1.2) พัฒนาระบบการในการหาค่าพิกัดและแปลงตำแหน่งพิกเซล (pixel) ของภาพถ่ายดาวเทียมจาก satellite projection ให้อยู่ในรูป cylindrical projection ซึ่งระยะบนภาพจะแปรโดยตรงกับระยะบนพื้นดิน

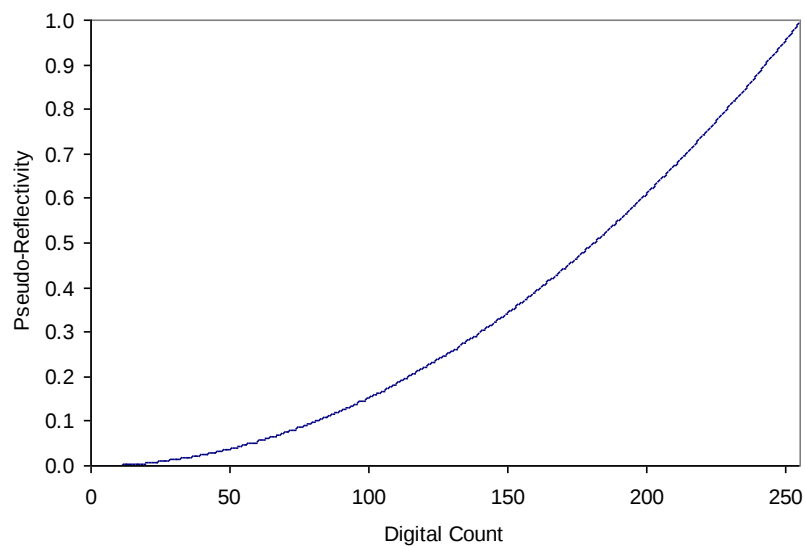
1.3) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการซ้อนทับแผนที่ประเทศไทยและแนวชายฝั่งและเกาะต่าง ๆ เป็นแนวอ้างอิง พร้อมทั้งปรับตำแหน่งของพิกเซลบนภาพถ่ายดาวเทียมทุกภาพให้อยู่บนตำแหน่งเดียวกัน โดยภาพที่ได้หลังจากการแปลงและปรับตำแหน่งพิกัดของภาพแล้วจะมีขนาด 1,112×1,612 พิกเซล (pixel) ซึ่งคิดเป็นความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 3 กม. × 3 กม. และมีขอบภาพอยู่ที่ละติจูด 5°N – 22.0°N และลองจิจูด 95°E – 107°E

ทั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลดาวเทียมในช่วงระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 (จำนวน 5 ปี) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลหลักในการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองทั่วประเทศไทย ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการแปลงพิกัดแล้วแสดงดังรูปที่ 3-18

1.4) นำข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากกระบวนการแปลงพิกัดแล้วมาทำการแปลงให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (pseudo reflectivity) ซึ่งเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่แปรค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 โดยใช้ตารางสอบเทียบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเทากับสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก ซึ่งได้จากบริษัทผู้ผลิตดาวเทียม โดยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าดิจิทัล 8-bit กับ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังกล่าว แสดงดังกราฟรูปที่ 3-19



รูปที่ 3-18 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ในช่องสัญญาณ Visible ที่หาพิกัดแล้ว



รูปที่ 3-19 ความสัมพันธ์ระหว่าง pseudo reflectivity กับค่าดิจิทัล 8-bit

โดยค่า pseudo reflectivity ที่ได้จากการแปลงด้วยตารางสอบเทียบ เป็นค่าซึ่งบอกปริมาณ
สัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกในกรณีที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นผิวโลก

แต่ในสภาพทั่วไปที่เวลาต่าง ๆ รังสีดวงอาทิตย์มีได้ตกกระทบตั้งฉากกับผิวโลก ดังนั้นในการดำเนินงานจึงนำข้อมูล pseudo reflectivity ที่ได้มาทำการคำนวณแก้ผลของมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ ให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (earth-atmosphere reflectivity) โดยอาศัยสมการ

$$\rho'_{EA} = \frac{\rho}{\cos(\theta_s)} \quad (1)$$

โดยที่	ρ'_{EA}	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก
	ρ	คือ	pseudo-reflectivity
	θ_s	คือ	มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งพิกเซลที่พิจารณา

และค่ามุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (θ_s) สามารถหาได้จากสมการ

$$\theta_s = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) \quad (2)$$

เมื่อ	δ	คือมุมเดคลิเนชัน (declination) ของดวงอาทิตย์ (องศา)
	ϕ	คือละติจูด (latitude) ของสถานีวัด (องศา)
	ω	คือมุมชั่วโมง (hour angle) ของดวงอาทิตย์ (องศา) ช่วงเช้าเป็นบวก

สำหรับค่าของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = (0.06918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma)(180/\pi) \quad (3)$$

เมื่อ	Γ	เป็นมุมของวัน (day angle) ซึ่งหาได้จาก
-------	----------	--

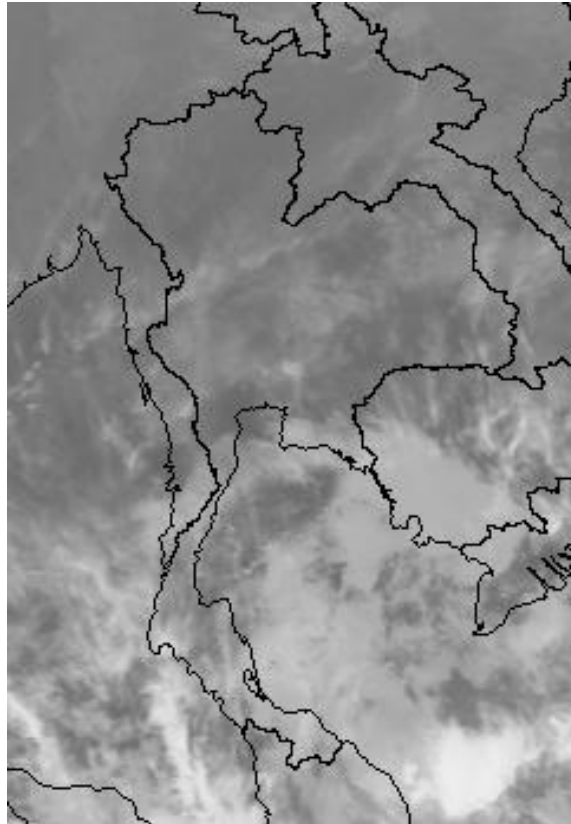
$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad (4)$$

Γ	คือมุมของวัน (เรเดียน)
d_n	คือลำดับของวัน (เริ่มต้นวันที่ 1 มกราคม ค่า $d_n=1$)

2) ข้อมูลดาวเทียมในช่องสัญญาณอินฟราเรด (Infrared)

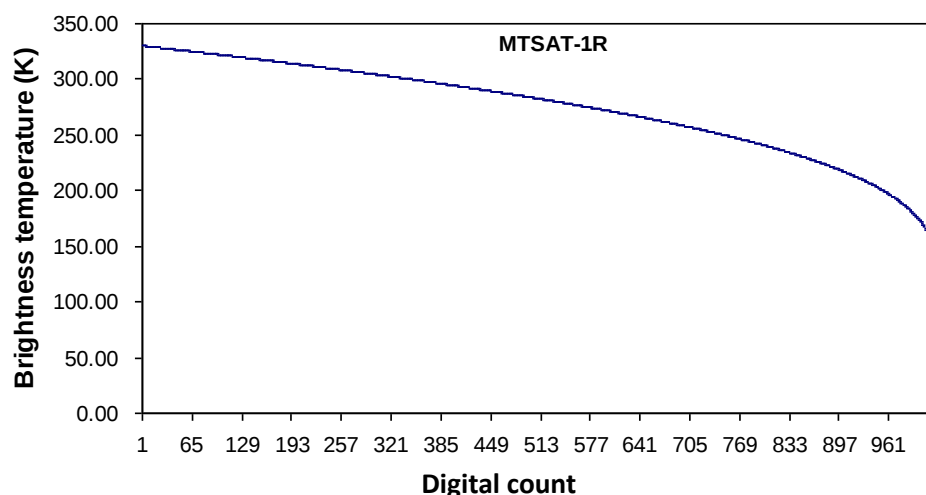
2.1) แปลงและหาค่าพิกัดของภาพดาวเทียม เช่นเดียวกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่องสัญญาณแสงสว่าง โดยหลังจากที่ได้ทำการหาค่าพิกัดแล้วจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่อยู่ที่ 5 กม. x 5 กม. โดยแต่ละพิกเซลของภาพดาวเทียมจะเป็นปริมาณดิจิตอล 10 bit ซึ่งคิดเป็นค่า digital count ที่แปรค่าอยู่

ระหว่าง 0 -1,023 โดยค่าดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลก
ตัวอย่างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงความยาวคลื่น infrared แสดงดังรูปที่ 3-20



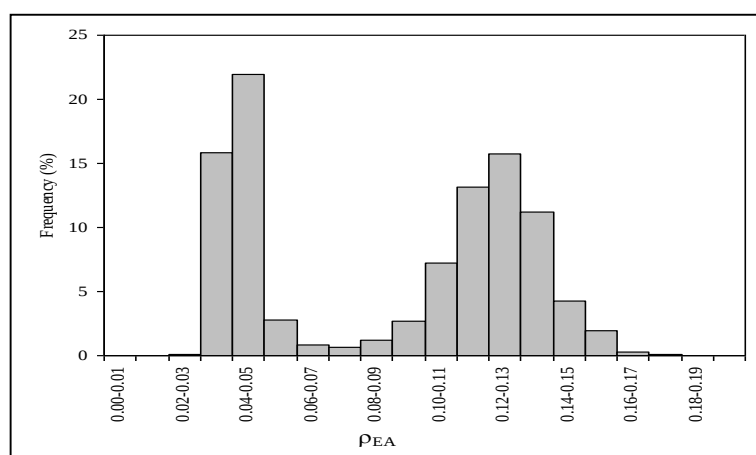
รูปที่ 3-20 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงสัญญาณ infrared ที่ผ่านการหาค่าพิกัดแล้ว

2.2) แปลงค่า digital count ให้เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง (brightness temperature)
ในการนำภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดมาใช้งาน จำเป็นต้องแปลงค่า digital count ให้
เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง (brightness temperature) โดยอาศัยตารางสอบเทียบของผู้ผลิตดาวเทียม ทั้งนี้ได้
จัดทำตารางสอบเทียบสำหรับดาวเทียม MTSAT-1R ในช่วงความยาวคลื่น infrared จาก Japan
Meteorological Agency (JMA) ตารางสอบเทียบดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 3-21



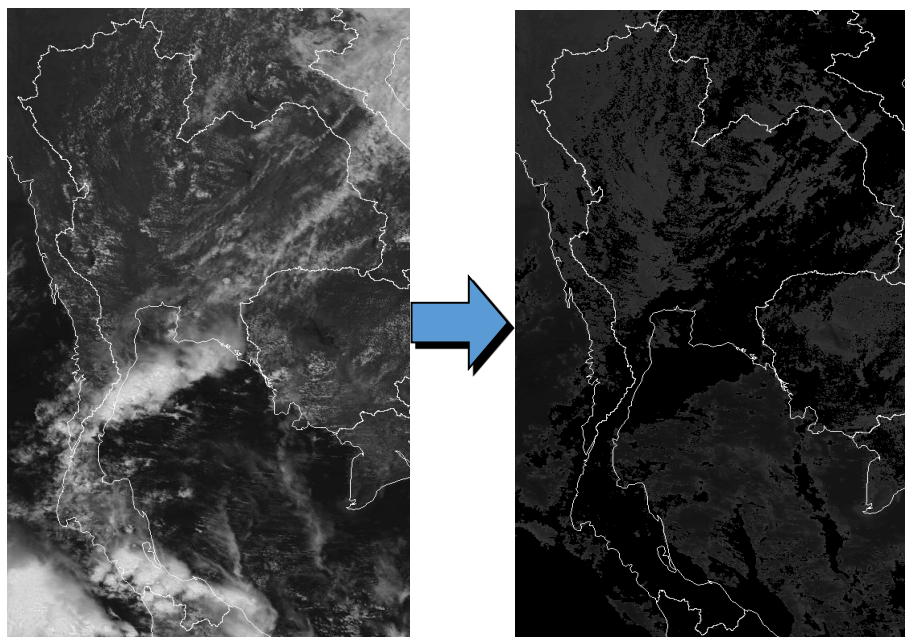
รูปที่ 3-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า digital count กับอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลก

หลังจากกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งและแปลงค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้งช่องสัญญาณแสงสว่างและอินฟราเรดแล้ว นำภาพทั้งสองมาผ่านกระบวนการกำจัดเมฆโดยนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (P_{EA}) ของภาพถ่ายดาวเทียมช่องสัญญาณแสงสว่างมาแจกแจง เพื่อกำหนดค่า threshold ซึ่งแบ่งแยกระหว่างค่า P_{EA} ของพิกเซลที่มีเมฆและพิกเซลที่ปราศจากเมฆ โดยต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ไม่เกิน 0.2 ดังรูปที่ 3-22



รูปที่ 3-22 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนไม่เกิน 0.2

ส่วนภาพถ่ายดาวเทียมในช่องสัญญาณอินฟราเรดใช้การกำหนดค่าพิกเซลโดยถ้าพิกเซลใดมีค่าอุณหภูมิความสว่างสูงจะเป็นพื้นดิน ส่วนบริเวณใดมีค่าอุณหภูมิความสว่างต่ำจะเป็นเมฆ โดยกำหนดค่าอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (brightness temperature) จะต้องมีค่าอุณหภูมิมากกว่า 297 เคลวิน เท่านั้นที่นำมาใช้ในการดำเนินงานขั้นต่อไปได้ แสดงดังรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการกำจัดเมฆ

3) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ค่าทัศนวิสัย และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ข้อมูลทั้งสามถูกนำมาใช้ในกระบวนการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองโดยใช้เทคนิค Look-up Table โดยใช้แบบจำลองส่งผ่านรังสี Radiative Transfer Model 6S

3.1.4 ข้อมูลที่นำมาจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน

ข้อมูลที่นำมาจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน ประกอบด้วย ปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์รายวันจากดาวเทียม OMI/AURA และปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จากดาวเทียม MLS/AURA จากนั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา IDL เพื่อเลือกค่าปริมาณโอโซนจากข้อมูลดาวเทียมทั้งสอง ณ ตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ แล้วทำการหาค่าปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ในหน่วยดอปสัน (DU) โดยหาผลต่างระหว่างปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์และปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม มีการวิเคราะห์ข้อมูล 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

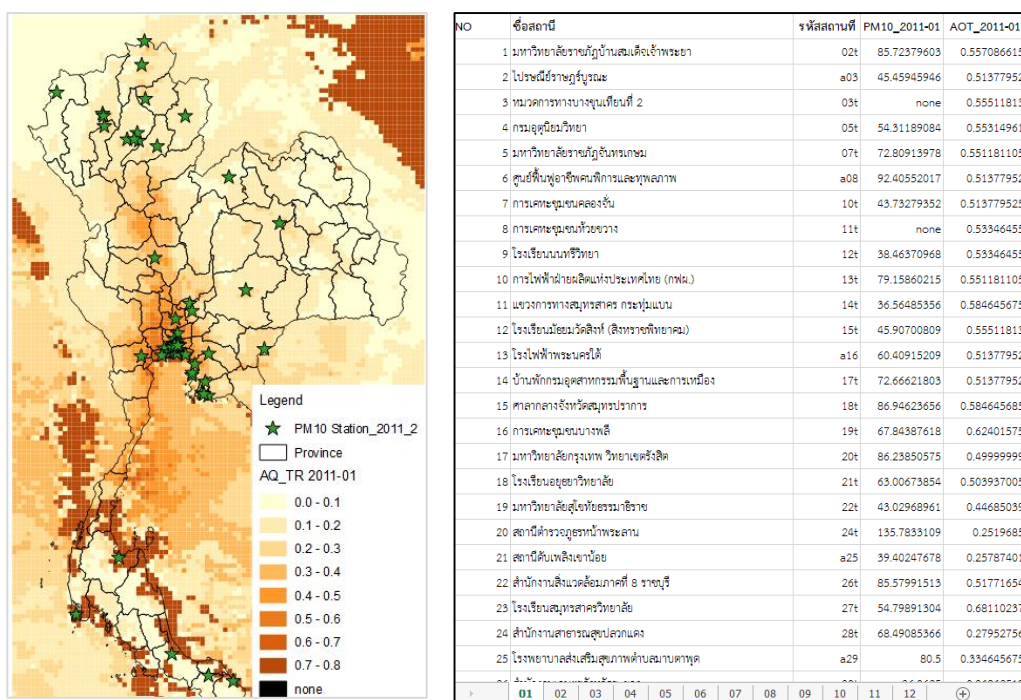
3.2.1 การหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ประกอบด้วย

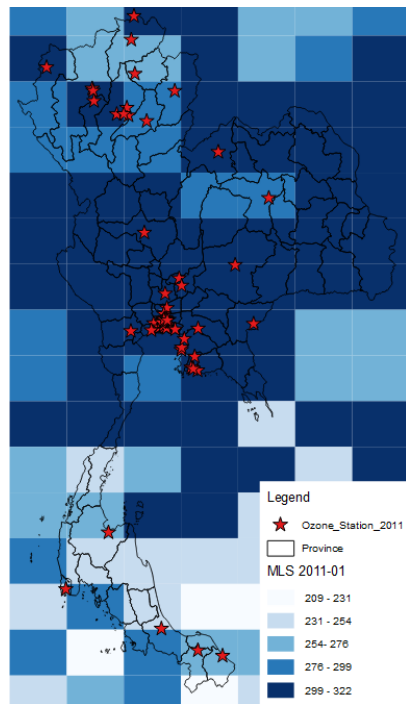
1) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กับค่าความลึกเชิงแสง จากอุปกรณ์ตรวจวัด MOD04 และค่าการสะท้อนพื้นผิวจากอุปกรณ์ตรวจวัด MOD09

2) ข้อมูลปริมาณโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กับข้อมูลโอโซนจากอุปกรณ์รับรู้ OMI (Ozone Monitoring Instrument) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม AURA

โดยนำข้อมูลตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมาหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับค่าความลึกเชิงแสง ค่าการสะท้อนพื้นผิว และโอโซน ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้โปรแกรม QGIS ซึ่งจะได้ค่าต่าง ๆ ณ ตำแหน่งเดียวกันระหว่างค่าจากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3-24 ถึง 3-25



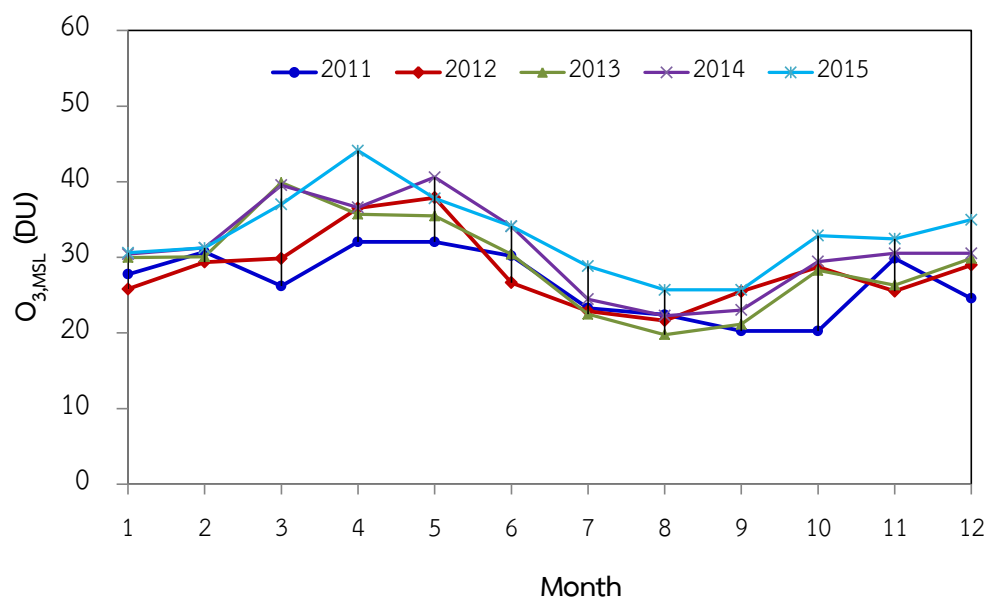
รูปที่ 3-24 ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลฝุ่นละออง (PM_{10}) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและค่าความหนาเชิงแสง



A	B	F	G	I	J	K	L	
1	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	Y	X	รหัสสถานี	Ozone Station	OMI	MLS
2	2 มาตรการกักกัน	13.722994	100.48824	021	none		243.30708	267
3	3 มาตรการกักกัน	13.66858	100.50569	003	14.86613668		243.30708	267
4	3 มาตรการกักกัน	13.6146	100.4059	031	none		243.30708	267
5	5 กรมการขนส่งทางบก	13.666113	100.60574	051	none		243.30708	267
6	7 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.819952	100.57591	071	7.565217391		243.30708	267
7	8 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.664023	100.54341	008	31.42771982		243.30708	267
8	10 กรมการขนส่งทางบก	13.779539	100.64565	101	none		243.30708	267
9	11 กรมการขนส่งทางบก	13.775916	100.56921	111	none		243.30708	267
10	12 กรมการขนส่งทางบก	13.708038	100.54735	121	none		243.30708	267
11	13 กรมการขนส่งทางบก	13.807156	100.50632	131	30.55816024		243.30708	267
12	14 กรมการขนส่งทางบก	13.705458	100.31568	141	35.76578947		243.30708	267
13	15 กรมการขนส่งทางบก	13.617982	100.44599	151	none		243.30708	267
14	16 กรมการขนส่งทางบก	13.617982	100.55625	161	36.95427729		243.30708	267
15	17 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.652154	100.53184	171	31.65084655		243.30708	267
16	18 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.599172	100.59733	181	22.38008415		243.30708	267
17	19 กรมการขนส่งทางบก	13.570333	100.78587	191	45.6	241.73228	267	
18	20 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	14.037512	100.60512	201	none		243.30708	268
19	21 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.552114	100.56355	211	none		243.30708	268
20	22 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.90794	100.5356	221	40.17423133		243.30708	267
21	24 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	14.687391	100.87123	241	23.87073664	241.73228	268	
22	25 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	14.526302	100.92613	251	33.63046544	241.73228	263	
23	26 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.532555	99.814873	261	42.15909091	241.89091	267	
24	27 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.550478	100.26425	271	23.58668731	241.73228	267	
25	28 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	12.97378	101.21284	281	44.59941945	241.73228	264	
26	29 กรมการขนส่งทางบก	12.70862	101.26568	291	39.5652174	241.73228	264	
27	30 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	12.671521	101.17800	301	41.85264664	241.73228	264	
28	31 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	12.735114	101.13562	311	44.03476980	241.73228	261	
29	32 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.119212	100.9186	321	34.62114537	241.73228	261	
30	33 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.173562	100.92787	331	40.90042674	241.73228	261	
31	34 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.360715	100.98493	341	35.4233871	241.73228	261	
32	35 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	18.840663	98.969661	351	25.35443038	241.73228	278	
33	36 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	18.791092	98.988666	361	15.93220339	241.73228	278	
34	37 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	18.278251	99.506447	371	16.81441718	241.73228	278	
35	38 กรมการขนส่งทางบก	18.250247	99.76396	381	21.61991585	241.73228	243	
36	39 กรมการขนส่งทางบก	18.419425	99.727046	391	18.67957168	241.73228	243	
37	40 กรมการขนส่งทางบก	18.282664	99.659873	401	21.89447058	241.73228	278	
38	41 กรมการขนส่งทางบก	15.686254	100.11054	411	33.46209913	241.73228	265	
39	42 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	9.126057	99.325355	421	28.46897547	240.15729	224	
40	43 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	7.884508	98.391318	431	33.49473684	238.56272	202	
41	44 กรมการขนส่งทางบก	16.445329	102.83525	441	23.95645864	241.73228	263	
42	47 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	14.99726	102.0983	471	23.63957746	241.73228	263	
43	48 กรมการขนส่งทางบก	13.765793	100.52769	481	none		243.30708	267
44	49 กรมการขนส่งทางบก	13.797928	100.55149	491	none		243.30708	267
45	50 กรมการขนส่งทางบก	13.729984	100.53644	501	none		243.30708	267
46	51 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย	13.742043	100.51408	511	none		243.30708	267
1	วันที่ 01	วันที่ 02	วันที่ 03	วันที่ 04	วันที่ 05	วันที่ 06	วันที่ 07	วันที่ 08

รูปที่ 3-25 ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลโอโซน (O_3) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และข้อมูลโอโซน (O_3) – MLS จากภาพถ่ายดาวเทียม

กรณีที่ข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาได้มีลักษณะเป็นไฟล์ text จะใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา IDL เพื่อทำการเลือกเฉพาะข้อมูลปริมาณไอโซน ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ตัวอย่างของข้อมูลปริมาณไอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MSL/AURA แสดงดังรูปที่ 3-26



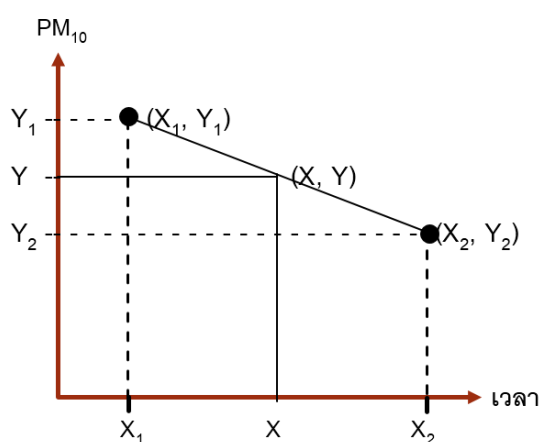
รูปที่ 3-26 ปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์รายเดือน ที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 จังหวัดราชบุรี

3.2.2 การหาความสัมพันธ์เชิงเวลา

เนื่องจากข้อมูลฝุ่นละออง (PM_{10}) และโอโซน (O_3) ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่องเป็นรายชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องหาปริมาณฝุ่นละอองและโอโซน ณ ช่วงเวลาเดียวกันกับข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละวัน เพื่อให้ได้ค่าข้อมูล ณ เวลาที่ตรงกันโดยใช้สมการเส้นตรงแบบจุดสองจุด (The Two-Point Equation) ดังสมการที่ 5 [30] (รูปที่ 3-27)

$$\text{สมการ} \quad Y - Y_1 = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \times (X - X_1) \quad (5)$$

โดย	X	คือ เวลาของภาพถ่ายดาวเทียม
	X_1	คือ นาฬิกาที่ 0
	X_2	คือ นาฬิกาที่ 60
	Y	คือ ปริมาณ PM_{10} ณ เวลาที่ X
	Y_1	คือ ปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัด ณ เวลาที่ 0
	Y_2	คือ ปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัด ณ เวลาที่ 60



รูปที่ 3-27 กราฟสมการเชิงเส้นแบบจุดสองจุด (Two point form)

3.2.3 การหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ

1) กรอบแนวทางและขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณมีกรอบในการดำเนินงานดังรูปที่ 3-28



รูปที่ 3-28 กรอบการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรอิสระ 1 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว โดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือรูปแบบไม่เชิงเส้น [31] ซึ่งมีรูปแบบมาตรฐานดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

โดย	Y_i	ค่าของตัวแปรตามในลำดับที่ i
	β_0 และ β_1	พารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า
	X_i	ค่าของตัวแปรอิสระในลำดับที่ i
	ε_i	ความคลาดเคลื่อนในลำดับที่ i

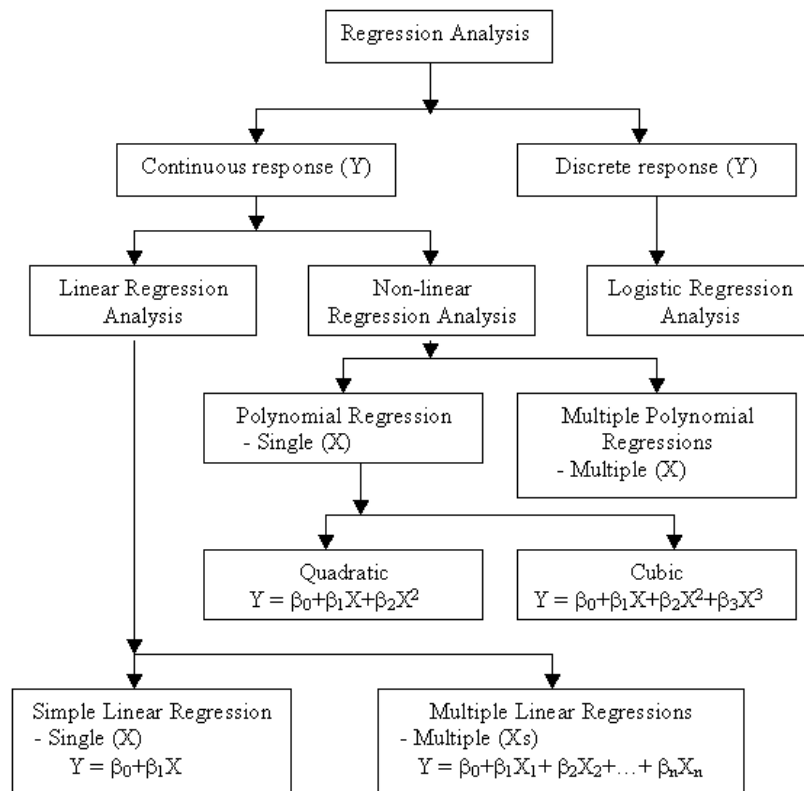
ส่วนการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least square method) เพื่อประมาณค่าของ β_0 และ β_1 โดยกำหนดเป็น b_0 และ b_1 ตามลำดับ [34] ซึ่งมีวิธีหาดังนี้

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad \text{และ} \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (7)$$

$$\text{โดย} \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n} \quad (8)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n Y_i (X_i - \bar{X}) = \sum_{i=1}^n Y_i X_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{n} \quad (9)$$

การสร้างสมการถดถอยสามารถแบ่งวิธีการสร้างได้โดยการพิจารณาเลือกตัวแบบสมการถดถอย ซึ่งแบ่งลักษณะข้อมูลตัวแปรตาม (Y) ออกเป็น 2 ประเภทคือ ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบต่อเนื่องและรูปแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งสามารถประมาณด้วยสมการถดถอยแบบ Logistic regression analysis กรณีที่ค่า Y มีค่าเพียงสองสถานะ เช่น No ,Yes เป็นต้น แต่ X เป็นค่าแบบต่อเนื่องปกติ โดยตัวแปรตามที่มีการแจกแจงแบบต่อเนื่องนั้นแบ่งได้เป็นสมการถดถอยแบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น ซึ่งในรูปแบบเชิงเส้นนั้นก็แบ่งเป็นแบบเชิงเส้นอย่างง่าย และสมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรอิสระ และสมการถดถอยไม่เชิงเส้นแบ่งได้แบบเดียวกันกับสมการเชิงเส้น [32] ดังรูปที่ 3-29 ซึ่งการดำเนินงานนี้ใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้นและเป็นสมการต่อเนื่อง (Continuous response) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูล



รูปที่ 3-29 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย

2) การสร้างสมการความสัมพันธ์

ดำเนินการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองและโอโซนที่ได้จากสถานีตรวจวัด และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละปีด้วยสมการถดถอย 9 แบบ ดังรูปที่ 3-29 ซึ่งแต่ละแบบมีรูปแบบสมการดังนี้

1. แบบเส้นตรง (Linear models)

$$\text{รูปแบบสมการ } Y = b_0 + b_1X \quad (10)$$

2. แบบลอการิทึม (Logarithmic models)

$$\text{รูปแบบสมการ } Y = b_0 + b_1 \ln(X) \quad (11)$$

3. แบบผกผัน (Inverse model)

$$\text{รูปแบบสมการ } Y = b_0 + b_1/X \quad (12)$$

4. แบบควอดราติกส์ (Quadratic models)

$$\text{รูปแบบสมการ } Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (13)$$

5. แบบคิวบิก (Cubic models)

$$\text{รูปแบบสมการ } Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 \quad (14)$$

6. แบบเลขยกกำลัง (Power models)

รูปแบบสมการ $Y = b_0 X^{b_1}$ หรือ $\ln(Y) = \ln b_0 + (b_1 \ln X)$ (15)

7. แบบพหุคูณ (Compound model)

รูปแบบสมการ $Y = b_0 b_1^X$ หรือ $\ln(Y) = \ln b_0 + (X \ln b_1)$ (16)

8. แบบตัวเอส (S-curve models)

รูปแบบสมการ $Y = e^{b_0 + b_1/X}$ หรือ $\ln(Y) = b_0 + b_1/X$ (17)

9. แบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential models)

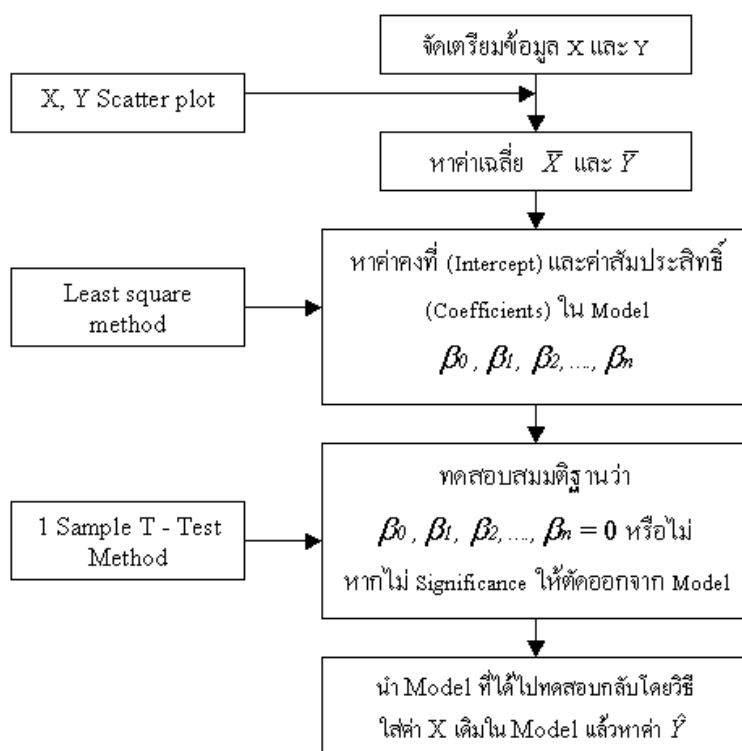
รูปแบบสมการ $Y = b_0 e^{b_1 X}$ (18)

กำหนดให้	Y	คือ ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) ที่ได้จากสถานี
	X	คือ ค่าความหนาแน่นแสงและค่าสะท้อนพื้นผิว
	b_0, b_1	คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่
	e	คือ ค่าลอการิทึมธรรมชาติ

ซึ่งทำการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และความแม่นยำจากการพยากรณ์กับค่าจริงด้วย
ค่า Root Mean Square Error (RMSE)

โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- เลือกตัวแบบ
- หาค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ของตัวแบบ
- ทดสอบข้อมูลของตัวแปรตาม (PM_{10}) และตัวแปรอิสระ (ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม) รูปที่ 3-30
- พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (PM_{10}) และตัวแปรอิสระ (ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม)
- ตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล
- สร้างสมการเพื่อประมาณค่า (PM_{10})
- ทดสอบข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ
- ตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูล



รูปที่ 3-30 ขั้นตอนการหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของตัวแบบ

3.3 การวิเคราะห์ ประมวลผล และการจัดทำแผนที่

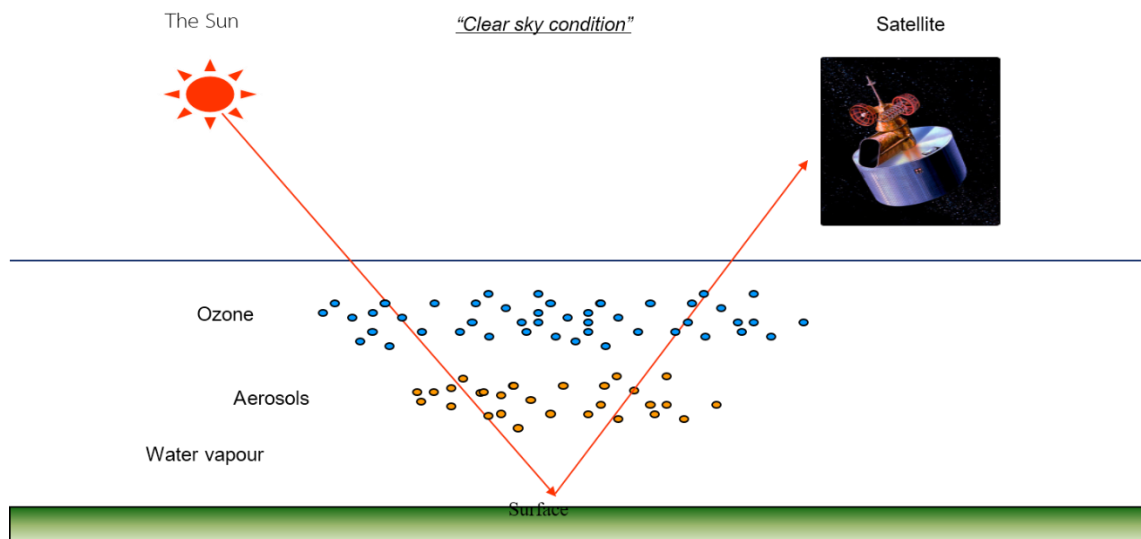
3.3.1 ปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀)

การวิเคราะห์ ประมวลผลข้อมูล และการจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀) มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

1) พัฒนาระบบการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองด้วยเทคนิค Look-up Table โดยใช้แบบจำลองส่งผ่านรังสี Radiative Transfer Model 6S ซึ่งย่อมาจาก Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum แบบจำลองดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกกับรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก ดังแสดงในรูปที่ 3-31 โดยจำลองสถานการณ์ในสภาพที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ มาใช้ในการสร้างข้อมูลเก็บลงตารางฐานข้อมูลสำหรับค้นหาค่าปริมาณฝุ่นละออง

2) สร้างตารางฐานข้อมูล Look-up table ได้ป้อนข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองลักษณะต่าง ๆ ลงในแบบจำลอง 6S และคำนวณหาปริมาณสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่ดาวเทียมรับได้ โดยครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3-2

6S: Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum

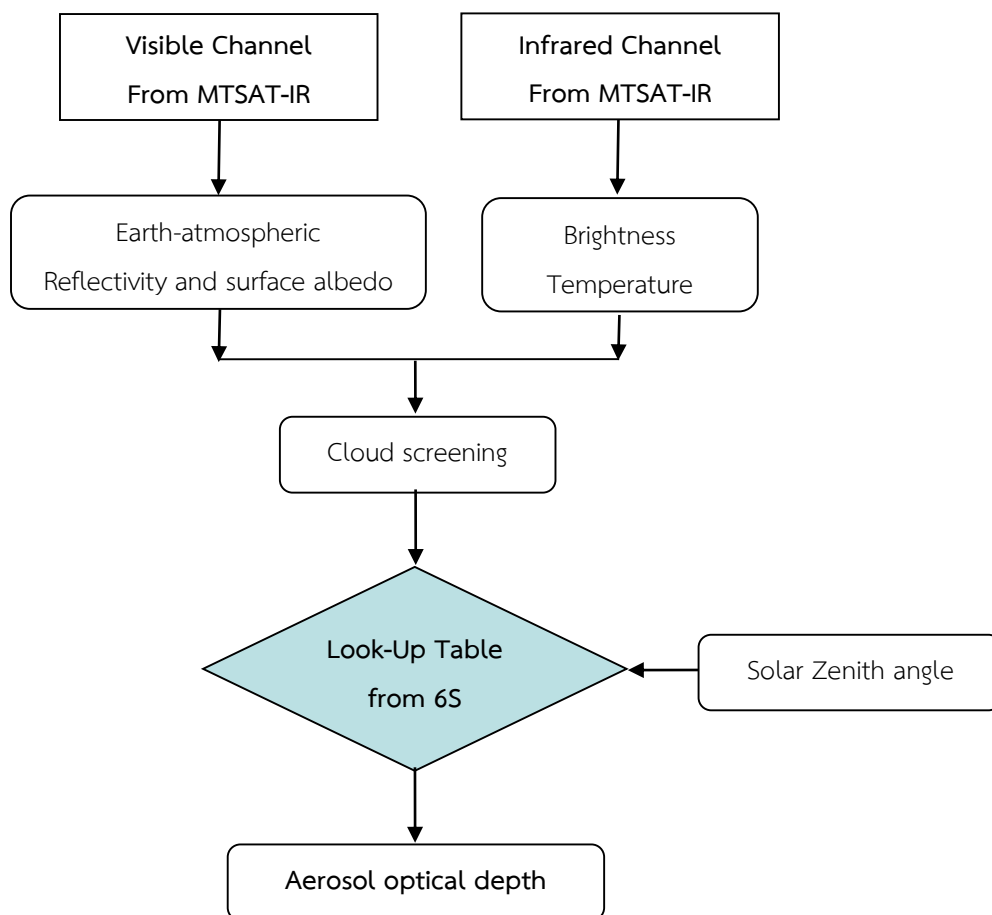


รูปที่ 3-31 แบบจำลองส่งผ่านรังสี

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรอินพุตในแบบจำลองส่งผ่านรังสี 6S

ตัวแปร	Step size	ช่วงของข้อมูล
มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์	10°	$0^{\circ} - 80^{\circ}$
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก	0.1	0.01 – 0.10
ปริมาณ optical depth ของฝุ่นละออง	0.01	0 – 5

3) คำนวณหาปริมาณ optical depth ของฝุ่นละออง ได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่องสัญญาณแสงสว่างและอินฟราเรด ที่ผ่านการกำหนดพิกัดและการกำจัดเมฆออกจากภาพ มาเข้าในกระบวนการค้นหาค่า optical depth ของฝุ่นละออง โดยกระบวนการค้นหาค่า optical depth ของฝุ่นละอองแสดงดังไดอะแกรมในรูปที่ 3-32



รูปที่ 3-32 ไดอะแกรมแสดงกระบวนการคำนวณหา optical depth ของฝุ่นละออง

4) จัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) เฉลี่ยทั่วประเทศไทย โดยเริ่มจากการจัดทำแผนที่ปริมาณ optical depth ซึ่งนำกระบวนการ Look-up table ที่พัฒนาขึ้นมาคำนวณหาการกระจายตัวของปริมาณ optical depth ของฝุ่นละอองให้ครอบคลุมประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2554 – 2558 จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth ของฝุ่นละอองที่คำนวณได้จากข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณ PM_{10} ที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษ แล้วนำข้อมูลปริมาณ PM_{10} ที่วัดได้ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2555 – 2557 ของสถานีที่ได้คัดเลือกไว้มาทำการเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับข้อมูล optical depth ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมในแต่ละเดือน และนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth ของฝุ่นละอองกับปริมาณ PM_{10} ของแต่ละสถานีที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนรวมทุกสถานี และหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สมการการถดถอย แล้วจึงนำสมการที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณ PM_{10} ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศไทย

5) การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) สูงสุดทั่วประเทศไทย โดยนำข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของ PM_{10} และ optical depth ของฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดที่คัดเลือกไว้มาเขียนกราฟเพื่อพิจารณา

ความสัมพันธ์และหาความสัมพันธ์ในรูปสมการ จากนั้นนำข้อมูล optical depth รายวันในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558 มาคำนวณหาปริมาณ PM_{10} รายวันโดยใช้สมการที่ได้ และนำผลที่ได้มาทำการคัดเลือกเฉพาะค่าสูงสุดในแต่ละเดือนแล้วนำมาแสดงผลในรูปแบบที่แสดงค่าสูงสุดของปริมาณ PM_{10}

3.3.2 ปริมาณโอโซน (O_3)

การวิเคราะห์ ประมวลผลข้อมูล และการจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3) ประกอบด้วยการดำเนินงานใน 4 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ทำการคัดเลือกสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพื่อใช้เป็นตัวแทนในแต่ละพื้นที่
- 2) เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์กับข้อมูล ozonesonde โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากการวัดปริมาณโอโซนตามความสูงจากเครื่อง ozonesonde ของมหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ได้ แต่การวัดด้วย ozonesonde มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงมีการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาบางนาเพียงแห่งเดียว และมีการปล่อยบอลลูนเพียง 1 ครั้ง/เดือน ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2558

ในการตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากดาวเทียม ณ ตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยาบางนา กับค่าที่ได้จาก ozonesonde ซึ่งเป็นค่าเฉพาะขณะที่สถานีเดียวกัน

- 3) หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MSL/AURA และปริมาณโอโซนพื้นผิวซึ่งวัดอยู่ที่ระดับความสูง 3 เมตร จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ โดยนำข้อมูลโอโซนรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากแหล่งข้อมูลทั้งสอง ณ ตำแหน่งสถานี มาเขียนกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

- 4) การตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ที่ได้ โดยนำความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ 3) ไปใช้ในการหาปริมาณโอโซนพื้นผิวระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2558 ของข้อมูล 10 สถานี เฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ถึงกันยายน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาเดียวกันที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษต่อไป

- 5) การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3) เฉลี่ยทั่วประเทศ โดยแปลงค่าปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ให้เป็นค่าปริมาณโอโซนพื้นผิวโดยใช้ความสัมพันธ์ที่ได้ในระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558

- 6) การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3) สูงสุดทั่วประเทศ โดยรวบรวมข้อมูลดาวเทียม AURA ซึ่งโคจรผ่านประเทศไทยระหว่างเวลา 13:00 – 15:00 น. ได้แก่ ข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จากดาวเทียม MLS/AURA ในช่วงเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ประเทศไทย และข้อมูลปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์รายวันจากดาวเทียม OMI/AURA จำนวน 5 ปี และเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา IDL เพื่อเลือกค่าปริมาณ

โอโซนจากข้อมูลดาวเทียมทั้งสอง ณ ตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ แล้วหาค่าปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์โดยหาผลต่างระหว่างปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์และปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ จากนั้นหาค่าปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดที่ได้จากการวัดโดยกรมควบคุมมลพิษและค่าปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม AURA ของแต่ละเดือนในแต่ละสถานี และนำมาหาความสัมพันธ์และสร้างสมการความสัมพันธ์ จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์มาจัดทำเป็นแผนที่ต่อไป

3.4 การจัดการด้านลิขสิทธิ์

ลิขสิทธิ์ในเอกสาร ข้อมูล แผนที่ ทั้งหมด ตกเป็นของกรมควบคุมมลพิษทันทีที่ทำการส่งมอบงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยรายเดือน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและช่วงเวลาที่กรมควบคุมมลพิษเป็นผู้กำหนด การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง และการจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยรายเดือน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าฝุ่นละออง (PM_{10}) และโอโซน (O_3) ที่ได้จากสถานีตรวจวัดกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนจำนวน 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 – 2558 ซึ่งวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยทั้ง 9 แบบ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 4-1 โดยสามารถสรุปผลข้อมูลแต่ละคู่ได้ดังนี้

4.1.1 ข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลความลึกเชิงแสงจากอุปกรณ์ MOD04

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ตัวแบบสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด และมีความแม่นยำมากที่สุด คือตัวแบบสมการถดถอยแบบ Cubic เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามพบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำคือประมาณร้อยละ 10-25 จากทุกปี ซึ่งร้อยละที่เหลือนั้นไม่สามารถอธิบายได้ จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจจะส่งผลร่วมกับค่าความลึกเชิงแสง เพื่อให้มีค่าร้อยละของสหสัมพันธ์สูงขึ้น และความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยลดลง

4.1.2 ข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวจากอุปกรณ์ MOD09

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ตัวแบบสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด และมีความแม่นยำมากที่สุด คือตัวแบบสมการถดถอยแบบ Cubic เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้น พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากคือมีค่าไม่ถึงร้อยละ 7 จากทุกปี และเมื่อนำไปทำสอบสมมติฐานทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยระหว่างฝุ่นละอองกับค่าสะท้อนพื้นผิวนั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝุ่นละอองกับข้อมูลความลึกเชิงแสงจากชุดผลิตภัณฑ์ MOD04 มีความสัมพันธ์กันน้อย อีกทั้งข้อมูลฝุ่นละอองไม่มีความสัมพันธ์กับการสะท้อนแสงของพื้นผิวจากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 ในการดำเนินงานจึงได้นำข้อมูลความลึกเชิงแสงซึ่งได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด MOD08 เข้ามาร่วมวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพิ่มเติม ซึ่งทางห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์และ

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศเขตร้อน ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสง ซึ่งได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด MOD08 ในการศึกษาวิเคราะห์ฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ

4.1.3 ข้อมูลฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดและข้อมูลความลึกเชิงแสงจากอุปกรณ์ MOD08

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ตัวแบบสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด และมีความแม่นยำมากที่สุด คือตัวแบบสมการถดถอยแบบ Cubic นอกจากนี้ยังพบว่ามีตัวแบบที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าแบบ Cubic แต่มีความผิดพลาดในการพยากรณ์สูงกว่า คือตัวแบบ Compound และ Exponential เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามพบว่า อยู่ในเกณฑ์ต่ำคือประมาณร้อยละ 10-35 จากทุกปี แต่ค่าร้อยละสูงกว่าค่าความลึกเชิงแสงที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด MOD04 ซึ่งร้อยละที่เหลือนั้นไม่สามารถอธิบายได้ จะต้องทำการศึกษาค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจจะส่งผลร่วมกับค่าความลึกเชิงแสง เพื่อให้มีค่าร้อยละของสหสัมพันธ์สูงขึ้น และความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยลดลง

4.1.4 ข้อมูลโอโซนจากสถานีตรวจวัดและจากดาวเทียม OMI

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ตัวแบบสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด และมีความแม่นยำมากที่สุด คือตัวแบบสมการถดถอยแบบ Cubic แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสมการที่พยากรณ์มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำ ที่ปรึกษาได้ศึกษาเพิ่มเติมพบว่ากลไกการเกิดก๊าซโอโซนสัมพันธ์กับก๊าซมลพิษหลายประเภท ก๊าซโอโซนระดับผิวดินเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เมื่อถูกแสงอาทิตย์ และปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาในแต่ละวันของการเกิดกิจกรรมต่าง ๆ มีผลต่อปริมาณก๊าซโอโซนในแต่ละช่วงเวลาได้

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าฝุ่นละอองและโอโซนที่ได้จากสถานีตรวจวัดกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือน

ข้อมูล	ปี	R ²	RMSE	สมการ	รูปแบบสมการ
MOD04	2554	0.114	19.426	Quadratic	$PM_{10} = 25.707 + 95.357(MOD04) - 87.601(MOD04)^2$
				Cubic	$PM_{10} = 25.618 + 96.396(MOD04) - 90.415(MOD04)^2 + 2.052(MOD04)^3$
	2555	0.138	29.174	Cubic	$PM_{10} = 20.873 + 219.896(MOD04) - 518.91(MOD04)^2 + 380.483(MOD04)^3$
	2556	0.246	25.269	Cubic	$PM_{10} = 18.998 + 118.54(MOD04) - 90.222(MOD04)^2 + 29.378(MOD04)^3$
	2557	0.147	25.746	Cubic	$PM_{10} = 15.523 + 232.441(MOD04) - 391.476(MOD04)^2 + 213.552(MOD04)^3$
	2558	0.153	22.301	Quadratic	$PM_{10} = 26.698 + 83.758(MOD04) - 54.559(MOD04)^2$
				Cubic	$PM_{10} = 25.409 + 99.002(MOD04) - 94.380(MOD04)^2 + 27.639(MOD04)^3$
MOD09	2554	0.008	20.44	Cubic	$PM_{10} = 11.084 + 610.613(MOD09) - 3590.749(MOD09)^2 + 5939.354(MOD09)^3$
	2555	0.06	31.54	Cubic	$PM_{10} = 18.5 + 414.397(MOD09) - 1405.79(MOD09)^2 + 1277.988(MOD09)^3$
	2556	0.012	29.115	Cubic	$PM_{10} = 51.77 - 611.131(MOD09) + 9015.656(MOD09)^2 - 32611.777(MOD09)^3$
	2557	0.022	29.015	Cubic	$PM_{10} = 26.938 - 31.253(MOD09) + 5074.163(MOD09)^2 - 2431.169(MOD09)^3$
	2558	0.02	25.013	Cubic	$PM_{10} = 0.002 + 916.046(MOD09) - 4678.023(MOD09)^2 + 5583.913(MOD09)^3$
MOD08	2554	0.216	12.774	Cubic	$PM_{10} = 32.376 - 3.524(MOD08) + 78.784(MOD08)^2 - 43.594(MOD08)^3$
	2555	0.137	21.385	Cubic	$PM_{10} = 38.707 - 89.665(MOD08) + 413.055(MOD08)^2 - 358.276(MOD08)^3$
	2556	0.356	17.51	Cubic	$PM_{10} = 46.713 - 194.232(MOD08) + 733.241(MOD08)^2 - 581.585(MOD08)^3$
OZONE	2554	0.194	9.259	Cubic	$O_3 = 17.403 - 0.101(OZ) + 0.001(OZ)^2 + 2.97 \times 10^{-5} (OZ)^3$
	2555	0.042	13.617	Cubic	$O_3 = 18.798 - 0.08(OZ) + 0.002(OZ)^2 + 2.255 \times 10^{-5} (OZ)^3$
	2556	0.27	11.502	Cubic	$O_3 = 18.83 - 0.099(OZ) + 0.001(OZ)^2 - 3.896 \times 10^{-6} (OZ)^3$
	2557	0.14	11.614	Quadratic	$O_3 = 21.104 - 0.092(OZ) + 0.00(OZ)^2$
				Cubic	$O_3 = 21.129 - 0.092(OZ) + 0.00(OZ)^2 - 2.248 \times 10^{-7} (OZ)^3$
	2558	0.082	11.532	Cubic	$O_3 = 22.113 - 0.045(OZ) + 0.00(OZ)^2 - 6.575 \times 10^{-6} (OZ)^3$

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) กับค่าความหนาแน่นเชิงแสง โดยใช้ค่าเฉลี่ยรวมทั้งกลางวันและกลางคืน ส่งผลให้เกิดการเบี่ยงเบนค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองเนื่องจากระดับ PM_{10} มีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และตามเวลา (Spatial and temporal variation) ซึ่งสภาพทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละพื้นที่ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับ PM_{10} ไม่เหมือนกัน และแต่ละพื้นที่มีแหล่งกำเนิด PM_{10} ต่างชนิดกัน โดยในช่วงเวลาบ่ายและเย็น อากาศและพื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูง มีฝุ่นละอองลอยอยู่ในอากาศมาก ส่วนช่วงเวลาเช้าฝุ่นละอองในอากาศถูกชะล้างด้วยน้ำค้างตอนรุ่งสาง [33]

จากการศึกษาของ รศ.ดร.เสริม จันทรฉายและคณะ (2553) [11] พบว่าลักษณะการแปรค่าของอัตราส่วนการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในรอบปีของสถานีในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ จะมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายนถึงเมษายน) และค่อย ๆ ลดลงในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงปลายปีคือ เดือนตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม เพราะเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งอีกครั้ง ทั้งนี้เพราะช่วงฤดูแล้งพื้นดินแห้ง และมีอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากพื้นดินค่อนข้างมาก นอกจากนั้นในช่วงเวลานี้ทั้ง 3 ภูมิภาคหลักดังกล่าวมีการเผาเศษวัสดุที่เหลือจากการทำเกษตรกรรมค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงก่อให้เกิดฝุ่นละอองบริเวณดังกล่าวค่อนข้างหนาแน่น ส่วนในช่วงฤดูฝน ฝนจะช่วยชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศให้เหลือน้อยลง ทำให้ค่าอัตราส่วนการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงดังนี้มีค่าลดลง ส่วนภาคใต้ลักษณะการแปรค่าของอัตราส่วนการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศส่วนใหญ่แตกต่างกันจากภาคอื่น นั่นคือจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในรอบปี ทั้งนี้เพราะภาคใต้มีช่วงฤดูฝนที่ยาวนานกว่าภาคอื่น นอกจากนี้ฝุ่นละอองในภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นแบบ maritime ซึ่งเป็นละอองเกลือ มีแหล่งกำเนิดมาจากทะเลอันดามันและอ่าวไทย โดยมีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดพาฝุ่นละอองดังกล่าวเข้ามาในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงกุมภาพันธ์ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลอันดามันพาฝุ่นละอองดังกล่าวเข้ามาในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนตุลาคม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสายันต์ โพธิ์เทศและคณะ (2557) [34] พบว่าอัตราส่วนการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากละอองลอยจะมีค่ามากในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายนและมีค่าน้อยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์และเฉลี่ยต่ำสุดเดือนมิถุนายน

ในส่วนการวิเคราะห์ปริมาณโอโซนโดยใช้ค่าเฉลี่ยรวมทั้งกลางวันและกลางคืน ส่งผลให้เกิดการเบี่ยงเบนค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองเช่นเดียวกัน เนื่องจากกลไกการเกิดก๊าซโอโซนสัมพันธ์กับก๊าซมลพิษหลายประเภท ก๊าซโอโซนระดับผิวดินเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เมื่อถูกแสงอาทิตย์ [35] และความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลกสูงเกินค่ามาตรฐานในสถานที่ที่มีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น และมีการใช้จราจรคับคั่ง

รวมถึงเขตโรงงานอุตสาหกรรม [36] ประกอบกับการศึกษาของธนิกานต์ ลาภาพิพัฒน์ (2549) ถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอโซนโทรโพสเฟียร์กับสารตั้งต้นและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความดัน ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และความสัมพันธ์ระหว่างโอโซนกับตัวแปรต่าง ๆ ณ สถานที่ สภาพแวดล้อม และเวลาที่ต่างกัน โดยศึกษาการแปรปรวนเชิงซ้อน พบว่า ค่าเฉลี่ยโอโซนในรอบปีมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาว และค่อย ๆ ลดลงเมื่อถึงฤดูร้อน และเข้าสู่ค่าต่ำสุดในช่วงฤดูฝน การเกิดโอโซนมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับแสงอาทิตย์ และปริมาณสารตั้งต้นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดโอโซนจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงซ้อนในช่วงเวลากลางวัน ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงอาทิตย์ NO_x และ NO จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี multiple regression พบว่า NMHC , THC , P และ RH มีความสัมพันธ์มากกับการเกิดโอโซน [37] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาในแต่ละวันของการเกิดกิจกรรมต่าง ๆ มีผลต่อปริมาณก๊าซโอโซนในแต่ละช่วงเวลาได้

นอกจากนี้พบว่าทั้งข้อมูลฝุ่นละออง (PM_{10}) และโอโซน (O_3) ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบางสถานีมีข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ประกอบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายวันนั้นมิได้ครอบคลุมตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้งประเทศไทย ซึ่งอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ส่งผลให้ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามอยู่ในเกณฑ์ต่ำ และเพื่อการปรับปรุงค่าสหสัมพันธ์ให้ดียิ่งขึ้นที่ปรึกษาจึงทำการหาความสัมพันธ์ทางด้านเวลา คือ หาปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) และโอโซน (O_3) ณ ช่วงเวลาเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละวัน โดยใช้สมการเชิงเส้น และจะทำการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองอีกครั้ง

4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลจากสถานีและเวลาที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

การดำเนินงานต้องหาความสัมพันธ์เชิงเวลาและหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของข้อมูลอีกครั้ง โดยการดำเนินงานแต่ละส่วนได้ผลลัพธ์ดังนี้

4.2.1 ผลการหาความสัมพันธ์เชิงเวลาเพื่อปรับปรุงค่าความสัมพันธ์ของข้อมูล

การปรับปรุงค่าความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยกรมควบคุมมลพิษเป็นผู้กำหนดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่จะใช้เป็นตัวแทนของแต่ละพื้นที่และช่วงเวลาของข้อมูลให้แก่ที่ปรึกษา โดยกำหนดให้ใช้ข้อมูลรายวันในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 ส่วนสถานีที่เป็นตัวแทนข้อมูลฝุ่นละอองแสดงในตารางที่ 4-2 และสถานีที่เป็นตัวแทนของข้อมูลโอโซนแสดงในตารางที่ 4-3 ซึ่งได้ผลการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 4-2 รายชื่อสถานที่ที่เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูลฝุ่นละออง

พื้นที่	รหัสสถานี	รายชื่อสถานี
กรุงเทพมหานคร	54t	สถานีการเคหะชุมชนดินแดง
	59t	กรมประชาสัมพันธ์
ปริมณฑล	13t	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
	17t	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	47t	สถานีสูบน้ำเสีย เทศบาลนครราชสีมา
ภาคใต้	62t	ศาลากลางจังหวัดนราธิวาส
	43t	ศูนย์บริการสาธารณสุข 1 กองการแพทย์ เทศบาลนครภูเก็ต
ภาคกลาง	26t	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี
	41t	โครงการชลประทานนครสวรรค์
ภาคเหนือ	35t	ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่
	57t	สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด เชียงราย
ภาคตะวันออก	31t	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง

ตารางที่ 4-3 รายชื่อสถานที่ที่เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูลโอโซน

พื้นที่	รหัสสถานี	รายชื่อสถานี
กรุงเทพมหานคร	59t	กรมประชาสัมพันธ์
ปริมณฑล	17t	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง
	22t	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	46t	ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น
ภาคใต้	42t	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14
ภาคกลาง	26t	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี
ภาคเหนือ	67t	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน
	69t	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่
ภาคตะวันออก	31t	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง
	74t	ศูนย์ราชการจังหวัดระยอง

1) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀)

ผลการตรวจสอบข้อมูลของแต่ละสถานีพบว่า พื้นที่กรุงเทพมหานคร 59t สถานีกรมประชาสัมพันธ์ ไม่มีข้อมูลฝุ่นละออง (PM₁₀) ในเดือนมีนาคม 2558 และพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 47t สถานีสุบน้ำเสียเทศบาลนครราชสีมา มีข้อมูลเฉพาะวันที่ 25-31 มีนาคม 2558 เท่านั้น ที่ปรึกษาจึงเปลี่ยนสถานีตรวจวัด คือ พื้นที่กรุงเทพมหานครใช้ข้อมูลจาก 10t สถานีการเคหะชุมชนคลองจั่น พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้ข้อมูลจาก 46t สถานีสวนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่นแทน

วันที่ที่ภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 มีจำนวน 10 วัน ประกอบด้วย วันที่ 1, 3, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 28 และ 31 รายละเอียดดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 จำนวนภาพและเวลาในแต่ละวัน

วันที่	จำนวนภาพถ่ายดาวเทียม	เวลา
1 มีนาคม 2558	2	10:50 น. และ 10:55 น.
3 มีนาคม 2558	2	10:40 น. และ 10:45 น.
6 มีนาคม 2558	2	11:10 น. และ 11:15 น.
8 มีนาคม 2558	1	11:00 น.
10 มีนาคม 2558	2	10:45 น. และ 10:50 น.
12 มีนาคม 2558	2	10:30 น. และ 10:35 น.
15 มีนาคม 2558	1	11:05 น.
19 มีนาคม 2558	2	10:40 น. และ 10:45 น.
28 มีนาคม 2558	2	10:30 น. และ 10:35 น.
31 มีนาคม 2558	1	11:05 น.

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเวลาใช้สมการเส้นตรงแบบจุดสองจุด (The Two-Point Equation) รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงในบทที่ 3 พบว่าบางสถานีมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ซึ่งประกอบด้วย

- พื้นที่ภาคใต้ ได้แก่ 62t ศาลากลางจังหวัดนราธิวาส และ 43t ศูนย์บริการสาธารณสุข 1 กองการแพทย์ เทศบาลนครภูเก็ต
 - พื้นที่ภาคตะวันออก ได้แก่ 31t ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง
- ที่ปรึกษาจึงเพิ่มสถานีในการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นตัวแทนพื้นที่ ได้แก่
- พื้นที่ภาคเหนือ ได้แก่ 36t โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย และ 37t สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง
 - พื้นที่ภาคตะวันออก ได้แก่ 60t สำนักงานเทศบาลตำบลทุ่งสะเดา
 - พื้นที่ภาคใต้ ได้แก่ 64t เทศบาลนครหาดใหญ่

โดยข้อมูลที่ตรงกันแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ข้อมูล PM₁₀ ณ เวลาเดียวกันกับข้อมูล AOD ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

สถานี	วัน/เดือน/ปี	1 มี.ค. 58	3 มี.ค. 58	6 มี.ค. 58	8 มี.ค. 58	10 มี.ค. 58	12 มี.ค. 58	15 มี.ค. 58	19 มี.ค. 58	28 มี.ค. 58	31 มี.ค. 58
54t	PM ₁₀	9.0833333	24.3333333	-0.6666667	15	28.25	8	11.916667	-	74.5	26.3333333
	AOD	0.966	-	0.564	0.765	0.546	-	0.281	-	0.449	0.17
10t	PM ₁₀	24.3333333	-	32.5	29	44.5	51.5	78.3333333	50.3333333	91.75	34.416667
	AOD	0.981	-	0.608	-	0.583	-	0.356	-	0.505	0.243
13t	PM ₁₀	-	11	5	13	-	30.5	7.3333333	-	-	21.5833333
	AOD	-	-	0.717	0.877	-	-	0.281	-	-	0.237
17t	PM ₁₀	14	34.3333333	32.833333	20	24	35	29.8333333	30	62	27.75
	AOD	-	-	0.489	0.843	0.779	-	0.234	-	0.511	-
46t	PM ₁₀	129.86667	79.5333333	82.6	96.8	134.6	85.45	69.191667	121.5	22.216667	57.45
	AOD	0.441	0.465	0.249	0.831	1.066	1.545	0.246	0.542	0.201	0.216
62t	PM ₁₀	32.5	46	28	28	42	44.5	22.25	398.36333	75.5	65.0833333
	AOD	-	-	0.345	0.027	-	-	-0.027	-	-	-
43t	PM ₁₀	-	-	-	37.5	-	-	-	54.5	-	27.5
	AOD	-	-0.023	-	-	-	-0.05	-	0.061	60.166667	-
26t	PM ₁₀	60.8333333	62	51	64	56.5	71	52	85.666667	88	44.0833333
	AOD	0.412	-	0.295	0.455	-	-	0.191	1.089	-	0.028

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

สถานี	วัน/เดือน/ปี	1 มี.ค. 58	3 มี.ค. 58	6 มี.ค. 58	8 มี.ค. 58	10 มี.ค. 58	12 มี.ค. 58	15 มี.ค. 58	19 มี.ค. 58	28 มี.ค. 58	31 มี.ค. 58
41t	PM ₁₀	70	69.66667	60.833333	41	58.5	58	67.166667	77.333333	79.5	55.083333
	AOD	0	-	0.075	0.649	0.797	1.663	0.183	0.597	0.376	0.042
35t	PM ₁₀	204.49667	244.50333	218.73333	180.24	420.9125	256.175	264.75083	278.29667	39.4	70.146667
	AOD	0.897	0.349	0.036	0.141	0.97	0.696	1.273	0.718	0.182	0
57t	PM ₁₀	86.491667	130.23667	110.24667	212.45	-	189.03	287.00833	398.36333	41.135	53.415833
	AOD	0.369	0.305	0.27	0.694	0.904	0.724	0.892	0.615	0.371	0.245
31t	PM ₁₀	34	29.333333	29.333333	39.666667	34.5	50	29.666667	27.666667	66.5	33.583333
	AOD	-	-	0.568	-	-	-	-	1.059	-	-
37t	PM ₁₀	-	190.78	278.80167	249.37	312.2675	-	177.41167	246.08	73.084167	76.43
	AOD	0.896	0.357	0.252	0.343	0.632	0.969	0.807	0.634	0.136	-
36t	PM ₁₀	201.6133	235.5767	137.9333	178.76	343.925	236.185	257.865	221.7733	45.525	71.09833
	AOD	0.711	0.38	0.036	0.246	1.016	0.765	1.238	0.813	0.182	-
60t	PM ₁₀	38.5	45.666667	49.5	19	30.25	53	37.333333	40	87.666667	28.583333
	AOD	-	-	-	-	0.215	-	0.631	0.284	0.48	0.398
64t	PM ₁₀	68	104.66667	114	116	146.5	129.5	195.08333	238.33333	179.58333	141.08333
	AOD	-	0	-	-	-	-	-	0	-	-

2) ข้อมูลปริมาณโอโซน (O_3)

จากการตรวจสอบภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 พบว่า วันที่ที่ภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมสถานีตรวจวัดมีจำนวน 9 วัน ประกอบด้วยวันที่ 1, 3, 10, 12, 17, 19, 24, 26 และ 28 จากนั้นจึงทำการหาความสัมพันธ์เชิงเวลาเช่นเดียวกับข้อมูลฝุ่นละออง โดยข้อมูลเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time: UTC) ในส่วนของประเทศไทยจะอยู่ที่ UTC+7 เมื่อนำข้อมูลมาใช้ต้องบวกเวลา (+7) เข้าไปในเวลาของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

จากการตรวจสอบข้อมูลพบว่า พื้นที่กรุงเทพมหานคร รหัสสถานี 59 กรมประชาสัมพันธ์ ไม่มีข้อมูลโอโซนในเดือนมีนาคม 2558 ที่ปรึกษาจึงเปลี่ยนสถานีตรวจวัดเป็นรหัสสถานี 54 การเคหะชุมชนดินแดง แทน โดยผลการหาความสัมพันธ์เชิงเวลาข้อมูลโอโซน (O_3) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม (MLS) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ข้อมูลโอโซนจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและจากภาพถ่ายดาวเทียม ณ ช่วงเวลาเดียวกัน

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	วันที่	เวลา	O_3	MLS
17	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง	1	14:08	26.6667	1.5208
		10	14:02	39.96667	1.7098
		17	14:08	36.73333	1.77335
		26	14:02	81.1	1.823
22	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช	1	14:08	65.13333	1.5208
		10	14:02	58.96667	1.6856
		17	14:08	46.93333	1.77335
		26	14:02	72.26667	1.76
26	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี	1	14:08	54.93333	1.5208
		10	14:02	-	1.7098
		17	14:08	56.6	1.77335
		26	14:02	76.06667	1.823
31	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง	3	13:56	25.93333	1.587
		10	14:02	34.06667	1.7098
		19	13:56	28.86667	1.96235
		26	14:02	69.43333	1.823
42	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14	1	14:06	25	1.508
		17	14:07	-	1.6746
		24	14:13	40.21667	1.697

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	วันที่	เวลา	O ₃	MLS
46	ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น	3	13:57	71.265	1.6128
		12	13:51	63.12	1.6128
		19	13:57	100.97	1.9362
		28	13:51	44.13	1.96235
54	เคหะชุมชนดินแดง	1	14:08	29	1.5208
		10	14:02	33.93333	1.6856
		17	14:08	25.46667	1.77335
		26	14:02	26.7	1.76
67	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	3	13:58	95.1365	1.7098
		19	13:57	127.06	2.012
		26	14:03	24.525	1.96235
69	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่	3	13:58	74.72333	1.7098
		10	14:03	72.325	1.902
		19	13:57	73.265	2.012
		26	14:03	29.115	2.11134
74	ศูนย์ราชการจังหวัดระยอง	3	13:56	39.06667	1.587
		10	14:02	59.8	1.7098
		19	13:56	37.26667	1.96235
		26	14:02	75.46667	1.823

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์เชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) โดยการจัดลำดับความสัมพันธ์ของสถานีสามารถจัดกลุ่มได้ดังตารางที่ 4-7 ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4-7 Correlation Coefficient Interpretation

Coefficient Range	Strength of Relationship
0.00 – 0.20	Very Low
0.20 – 0.40	Low
0.40 – 0.60	Moderate
0.60 – 0.80	High Moderate
0.80 – 0.90	High
0.90 – 1.00	Very High

ที่มา: Research Strategies: How Psychologists Ask and Answer Questions Module 3.

1) ข้อมูลฝุ่นละออง (PM₁₀)

ผลการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของฝุ่นละอองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-8 สามารถสรุปกลุ่มความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ ประกอบด้วย

1. สถานีการเคหะชุมชนดินแดง
2. โครงการชลประทานนครสวรรค์

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ประกอบด้วย

1. บ้านพักกรมอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานและการเหมือง
2. ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่
3. สำนักงานเทศบาลตำบลทุ่งสะเดา ฉะเชิงเทรา

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ประกอบด้วย

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
2. ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น
3. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย
4. โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย
5. สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง
6. สำนักงานเทศบาลตำบลทุ่งสะเดา

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับสูง คือ การเคหะชุมชนคลองจั่น

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก คือ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี

ตารางที่ 4-8 ผลการหาความสัมพันธ์ข้อมูลฝุ่นละออง

พื้นที่	รหัสสถานี	รายชื่อสถานี	จำนวนวันที่มีข้อมูลตรงกัน	R ²	สมการ
กรุงเทพมหานคร	54	สถานีการเคหะชุมชนดินแดง	5	0.37	Cubic
	10	การเคหะชุมชนคลองจั่น	6	0.89	Cubic
ปริมณฑล	13	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)	4	0.63	Quadratic
	17	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง	5	0.59	Quadratic
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	46	ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น	10	0.65	Cubic
ภาคใต้	62	ศาลากลางจังหวัดนราธิวาส	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้		
	43	ศูนย์บริการสาธารณสุข 1 กองการแพทย์ เทศบาลนครภูเก็ต	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้		
	64	เทศบาลนครหาดใหญ่	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้		
ภาคกลาง	26	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี	6	0.98	Cubic
	41	โครงการชลประทานนครสวรรค์	9	0.38	Cubic
ภาคเหนือ	35	ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	10	0.51	Cubic
	57	สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย	9	0.60	Compound
	36	โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย	9	0.70	Cubic
	37	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง	7	0.64	Cubic
ภาคตะวันออก	31	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้		
	60	สำนักงานเทศบาลตำบลทุ่งสะเดา ฉะเชิงเทรา	5	0.60	Cubic

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์มีค่ากระจายตั้งแต่ความสัมพันธ์ระดับต่ำจนถึงความสัมพันธ์ระดับสูงมาก ที่ปรึกษาได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณในงานวิจัยอื่น ๆ ว่าอยู่ในระดับใดบ้าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

RALUCA BARLADEANU และคณะ (2012) [38] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และ AOD ในเมืองบูคาเรสต์ ประเทศโรมาเนีย โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS จากอุปกรณ์ตรวจวัด MOD04 และ MYD04 โดยเลือกข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 3 สถานีช่วงปี 2008-2009 และทำการวิเคราะห์ correlation coefficients ระหว่าง 2 ค่า ซึ่งได้ผลลัพธ์อยู่ที่ 0.60 และ 0.90 ขึ้นอยู่กับประเภทของสถานี (Mihai Bravu: the traffic zone and Berceni: the industrial zone) (จำนวนประชากรตัวอย่างอยู่ที่ 12 และ 20)

Jamil Amanollahi และคณะ (2011) [39] ศึกษาการกระจายตัวของ PM_{10} โดยใช้ข้อมูล Remote Sensing และเทคนิคทาง GIS ในหมู่บ้าน Klang ประเทศมาเลเซีย โดยทำการตรวจวัดที่ 8 สถานีตรวจวัด ศึกษาข้อมูลในรอบสัปดาห์เริ่มที่วันจันทร์ถึงวันเสาร์ ในปี 2004 ข้อมูล Remote Sensing ใช้ข้อมูล AOD ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS และทำการ interpolate ใน GIS สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน โดยการตรวจสอบข้อมูลระหว่าง AOD และ PM_{10} ใช้วิธี non-linear correlation coefficient (NLCC) ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าปริมาณ PM_{10} ในวันเริ่มต้นสัปดาห์สูงกว่าช่วงสุดสัปดาห์ ซึ่งข้อมูล Remote Sensing แสดงผลได้ดีกว่าข้อมูลจากการตรวจวัดภาคพื้นดิน และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.10 ที่ Petaling Jaya ถึง 0.60 ที่ Shah Alam โดยมีจำนวนประชากรตัวอย่างอยู่ที่ 15 ถึง 48

Lili Li และคณะ (2015) [40] ศึกษาการปรับปรุงข้อมูลฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูล AOD จากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS บริเวณพื้นที่สามเหลี่ยมลุ่มแม่น้ำจูเจียง (Pearl River Delta) ประเทศจีน โดยกำหนดพื้นที่ตัวอย่างและจำนวนประชากรตัวอย่างในแต่ละพื้นที่อยู่ที่ 4-104 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และ AOD ได้ค่า $R^2 = 0.51$ และเมื่อนำค่าความสูงของพื้นที่และค่าความชื้นสัมพัทธ์มาร่วมวิเคราะห์ ค่า R^2 เพิ่มขึ้นเป็น 0.55 อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และ AOD ไม่ได้เหมาะสมสำหรับพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากความแตกต่างของประเภทของฝุ่นละออง แหล่งกำเนิด และมลพิษทางอากาศอื่นซึ่งมีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง ในขณะที่ความแตกต่างทางฤดูกาลมีผลต่อข้อมูลและการเคลื่อนที่ของฝุ่นละออง

จากการทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองและภาพถ่ายดาวเทียม สามารถสรุปได้ว่าค่าความสัมพันธ์เชิงปริมาณในแต่ละพื้นที่จะอยู่ในช่วง 0.10-0.90 ทั้งนี้ค่าความสัมพันธ์นั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของสถานีตรวจวัด แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง ประเภทของฝุ่นละออง สารมลพิษอื่น และลักษณะทางภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ด้วย

2) ข้อมูลโอโซน (O_3)

ผลการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของโอโซนแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-9 สามารถสรุปกลุ่มความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับต่ำมาก คือ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง คือ ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับสูง ประกอบด้วย

1. บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง
2. สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่

สถานที่ที่มีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก ประกอบด้วย

1. สถานีการเคหะชุมชนดินแดง
2. ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น
3. สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี
4. สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน
5. ศูนย์ราชการจังหวัดระยอง

ตารางที่ 4-9 ผลการหาความสัมพันธ์ข้อมูลไอโซน

พื้นที่	รหัส สถานี	รายชื่อสถานี	R ²	สมการ
กรุงเทพมหานคร	54	เคหะชุมชนดินแดง	0.996	Quadratic
ปริมณฑล	17	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง	0.806	Cubic
	22	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช	0.011	Compound และ Exponential
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	46	ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น	0.98	Cubic
ภาคใต้	42	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14	-	-
ภาคกลาง	26	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี	1	Quadratic และ Cubic
ภาคเหนือ	67	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	1	Quadratic และ Cubic
	69	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่	0.878	Quadratic
ภาคตะวันออก	31	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง	0.605	Cubic
	74	ศูนย์ราชการจังหวัดระยอง	0.912	Quadratic และ Cubic

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์มีค่ากระจายตั้งแต่ความสัมพันธ์ระดับต่ำจนถึงความสัมพันธ์ระดับสูงมาก ที่ปรึกษาได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบความสัมพันธ์เชิงปริมาณในงานวิจัยอื่น ๆ ว่าอยู่ในระดับใดบ้าง ดังนี้

A.Aculinin และ V.Smicov (2010) [41] ศึกษาข้อมูล Total column ozone จาก OMI กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินที่ KISHINEV SITE, REPUBLIC OF MOLDOVA ข้อมูลโอโซนรวมที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดินได้จากเครื่องมือตรวจวัดโอโซนแบบพกพา (hand-held MICROTOS II) ที่สถานีตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่ KISHINEV ถูกใช้เพื่อตรวจสอบข้อมูลโอโซนจาก OMI ในช่วงปี 2004-2009 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลพบว่า ข้อมูลที่ได้จาก OMI ประเมินค่าต่ำกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดินทั้งในวันที่มีเมฆและไม่มีเมฆ และค่าเฉลี่ยรายวันที่ได้จาก OMI และจากการตรวจวัดภาคพื้นดินอยู่ในทางตรงกันข้ามที่ -2.36% ในวันที่มีเมฆ และ -2.15% ในวันที่ไม่มีเมฆ ความผันแปรของสภาพอากาศของค่าเฉลี่ยรายเดือนอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามที่ -1.14% ในเดือนกุมภาพันธ์ และ -2.99% ในเดือนมิถุนายน

P. Jing และคณะ (2006) [42] ศึกษา tropospheric ozone column ในช่วงฤดูร้อน จาก Aura OMI/MLS บริเวณสหรัฐอเมริกา โดยโอโซนคอลัมน์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆได้มาจาก Aura OMI และ MLS ในช่วงกันยายน ปี 2004 ถึงสิงหาคม ปี 2005 โอโซนคอลัมน์แสดงความสอดคล้องที่ดีกับการตรวจวัดโอโซนระหว่างเดือนมิถุนายนและสิงหาคม ปี 2005 ที่ 4 สถานีตรวจวัดในสหรัฐอเมริกา โดยมีความสัมพันธ์กันที่ 0.73 และมีค่าความต่างที่ 1 ± 9 (rms) DU การประเมินคุณภาพอากาศท้องถิ่นได้นำโอโซนคอลัมน์มาเปรียบเทียบกับ 3 สถานีตรวจวัดของภูมิภาคพบค่าเบี่ยงเบนต่ำที่ 6 ± 7 DU และมีความสัมพันธ์ที่ 0.68 ช่วงฤดูร้อนในสหรัฐอเมริกาพบค่าโอโซนคอลัมน์สูงในบริเวณที่ต่ำกว่า 147 hPa ซึ่งพบทางตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐและบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของแอตแลนติก และผลจากโมเดล RAQAST ชี้ให้เห็นว่า มีความเกี่ยวข้องกันกับโอโซนระดับพื้นผิว ทั้ง OMI/MLS และ RAQAST แสดงคอลัมน์เหนือทางตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐที่ลดลงจากเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ช่วงกลางเดือนมีการเปลี่ยนแปลงในคอลัมน์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของโอโซนต่ำกว่า 750 hPa ($R=0.6$) ที่ละติจูดที่ 25-35 แต่ค่าความสัมพันธ์ R เข้าใกล้ 0 ที่ละติจูด 35-40

Thiranan Sonkaew และ Ronald Macatangana (2015) [43] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง tropospheric ozone column และการเผาไหม้ชีวมวลในประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดความแปรปรวนและแนวโน้มของการเผาไหม้ชีวมวลเขตร้อน ในระดับ tropospheric ozone ปี 2005-2012 ในประเทศไทย และการถ่ายเทโอโซนจากภูมิภาคโดยรอบที่มีการเผาไหม้ชีวมวลรุนแรง tropospheric ozone ในพื้นที่นี้มีความแปรปรวนตามฤดูกาลด้วย ค่าสูงสุดโดยทั่วไปเกิดในช่วงฤดูแล้งพบว่าภาคเหนือของประเทศไทยมี tropospheric ozone สูงในช่วงฤดูแล้งในเดือนเมษายน การวิเคราะห์ Forward trajectory analysis พบว่าแหล่งกำเนิดโอโซนมาจากชีวมวลในภาคเหนือและภาคตะวันตกโดยรอบภูมิภาค (พม่า ลาว และอินเดีย) ทำให้ tropospheric ozone ในภาคเหนือของประเทศไทยเพิ่มขึ้น ส่วนการเปลี่ยน

ของฤดูกาลแสดงให้เห็นในภาคกลาง และตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยช่วงเดือนสิงหาคม การเผาไหม้ชีวมวลส่วนใหญ่เกิดขึ้นในอินโดนีเซียและมาเลเซีย ซึ่งส่งผลกระทบต่อ tropospheric ozone column ในภาคใต้น้อยที่สุด จากการคำนวณแนวโน้มของ tropospheric ozone column ช่วงระยะเวลา 8 ปี ในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ซึ่งพบว่าแนวโน้มเหล่านี้ไม่มีนัยสำคัญ ความแปรปรวนของความเข้มข้นของ tropospheric ozone column เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ El Niño inter ที่เกิดทางตอนใต้ซึ่งได้รับการตรวจสอบ พบความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดของ tropospheric ozone column กับ Oceanic Niño Index (ONI) เกิดขึ้นเมื่อ ONI มีค่าสูงใน 3 เดือนทางตอนเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย และ 4 เดือนสำหรับภาคกลางของประเทศไทย

สมเกียรติ พันธุ์ศิริ และ กิตาการ สายธนู (2013) [44] ศึกษาการทำนายค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนระดับพื้นผิวโลกด้วยตัวแบบการถดถอย ข้อมูลสำหรับการศึกษาเป็นข้อมูลเกี่ยวกับสภาพมลพิษทางอากาศและสภาพทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งเก็บที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตั้งแต่ ปี 2006-2010 ดัชนีสมรรถนะของตัวแบบจะพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนซึ่งคำนวณจากชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบซึ่งเป็นข้อมูลใน ปี 2006-2009 และชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบเป็นข้อมูลปี 2010 ผลการวิจัยพบว่า มีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลก 5 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 16 ไมครอน (PM_{10}) ความดัน และปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้ยังพบว่าดัชนีสมรรถนะที่คำนวณจากชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบและชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบให้ค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

ศิริพงศ์ สุขทวี (2548) [45] ประเมินความเข้มข้นของโอโซนบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยรามคำแหง โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression ใช้ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ ระหว่างปี พ.ศ. 2540-2545 ซึ่งค่า Correlation = 0.732 โดยมีตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ย ความเร็วลมเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง ความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงในวันที่ผ่านมา ความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมง แบบจำลองที่ได้ถูกนำไปทดสอบกับข้อมูลการตรวจวัดในเดือนมกราคมถึงมีนาคม พ.ศ. 2546 และผลการทำนายความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงของแบบจำลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีงานวิจัยจำนวนน้อยที่นำปริมาณโอโซนที่วัดจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโอโซนที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยส่วนใหญ่จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์โดยตรงหรือนำมาเปรียบเทียบกับโมเดลอื่น ๆ หรือมีการนำตัวแปรหรือปัจจัยอื่น เช่น สภาพมลพิษทางอากาศและสภาพทางอุตุนิยมวิทยาเข้ามาร่วมวิเคราะห์เพิ่มเติม หรือใช้ตัวแปรอื่น ๆ มาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนโดยไม่ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม

4.3 ผลการจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10})

การดำเนินงานส่วนการจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง ได้ปรับเปลี่ยนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในการดำเนินงาน เนื่องจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM_{10} กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EOS-TERRA และ AQUA นั้นประสบปัญหาไม่ครอบคลุมทุกสถานี ภาพถ่ายดาวเทียมบางวันมีเมฆปกคลุม ประกอบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางสถานีไม่สมบูรณ์ ทำให้จำนวนประชากรที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์มีจำนวนน้อยเกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองทั่วประเทศไม่สมบูรณ์ การดำเนินงานจึงได้พัฒนาวิธีการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา MTSAT แทน

ในการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม MTSAT จากกระบวนการที่พัฒนาขึ้น จำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าไม่มีเมฆปกคลุมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละอองที่ปกคลุมพื้นผิวโลกส่วนใหญ่จะมีการกระจายตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศระดับล่างหรือใกล้กับบริเวณพื้นผิวโลก ดังนั้นข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมจึงไม่สามารถนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณปริมาณ optical depth ของฝุ่นละอองได้ ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองจากภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT จำเป็นต้องมีการนำข้อมูลมาผ่านกระบวนการกำจัดเมฆ ซึ่งส่งผลให้ในบางพื้นที่ของประเทศไทยในช่วงฤดูฝนที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเกือบตลอดทั้งเดือนจะไม่สามารถคำนวณปริมาณ optical depth ของฝุ่นละอองได้

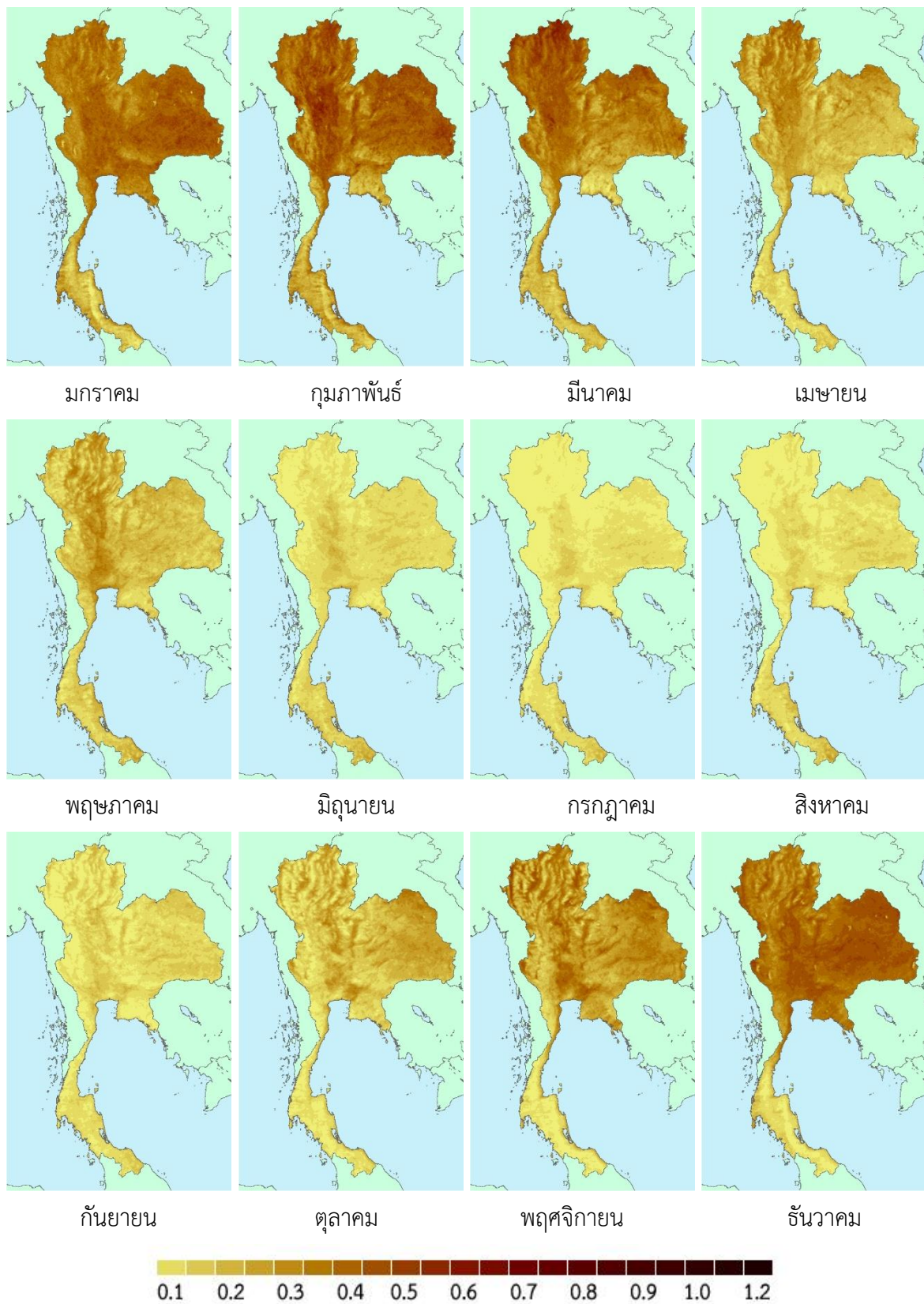
นอกจากนี้ เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม MTSAT ในช่องสัญญาณ Visible เป็นภาพถ่ายซึ่งต้องอาศัยการสะท้อนของรังสีอาทิตย์เข้าสู่อุปกรณ์วัดบนดาวเทียม ดังนั้นในช่วงเวลาเช้าและเย็นซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกทำมุมเอียงกับพื้นโลกมาก ทำให้ความเข้มของรังสีสะท้อนที่เข้าสู่อุปกรณ์วัดบนดาวเทียมในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิงในตาราง Look-up Table ที่สร้างไว้ ประกอบกับในบางพื้นที่ของภาพที่ได้รับผลจากเงาของเมฆที่ทอดยาวมาจาก pixel ข้างเคียง จึงเป็นเหตุให้ข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลาเช้าและเย็นมีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง ส่งผลให้ผลการคำนวณปริมาณ optical depth ของฝุ่นละอองมีความผิดพลาดได้

ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวนี้ ที่ปรึกษาจึงได้คัดเลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ที่เวลาเที่ยงวันซึ่งมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ค่อนข้างจะตั้งฉากกับพื้นผิวโลกมาเป็นข้อมูลหลักในการคำนวณ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาผลการคำนวณในรูปค่าเฉลี่ยรายเดือนระยะยาว 5 ปี (พ.ศ. 2554 - 2558) แล้ว พบว่าข้อมูลปริมาณ optical depth ของฝุ่นละอองที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวแทนของการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองทั่วประเทศไทยได้

4.3.1 แผนที่แสดงปริมาณ optical depth ของฝุ่นละออง

การจัดทำแผนที่ปริมาณ optical depth ได้นำกระบวนการ Look-up table ที่พัฒนาขึ้นมาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 มาคำนวณหาการกระจายตัวของปริมาณ optical depth โดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่ได้จากภาพถ่ายในช่องสัญญาณ visible จากดาวเทียม MTSAT ในช่วงระยะเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558 มาเป็นอินพุตของการคำนวณ จากนั้นได้นำค่าที่ได้มาจัดแสดงในรูปแผนที่ การแปรค่าฝุ่นละอองครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยมีผลการแปรค่าดังแสดงในรูปที่ 4-1

จากผลการคำนวณพบว่า โดยทั่วไปปริมาณฝุ่นละอองในประเทศไทยมีค่าสูงในช่วงระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่ประเทศไทยมีอากาศร้อนและมีความชื้นต่ำ สำหรับช่วงเดือน พฤษภาคมถึงตุลาคม พบว่าปริมาณฝุ่นละอองในประเทศไทยจะมีค่าที่ค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกส่งผลให้เกิดการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศไปตามธรรมชาติ และปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งในเดือนธันวาคม อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะพื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศไทยพบว่าปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าสูงในเดือนเมษายน ซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่มีอากาศร้อนและมีไฟป่า และเมื่อพิจารณาพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทย จะเห็นได้ว่าปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าค่อนข้างต่ำตลอดทั้งปี ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นฝุ่นละอองแบบผลึกเกลือ (sea salt aerosol) ซึ่งมีความสามารถในการลดทอนแสงได้น้อยกว่าฝุ่นละอองในภาคพื้นทวีปและในเขตชุมชนเมือง นอกจากนี้ภาคใต้ของประเทศไทย ยังมีช่วงฤดูมรสุมที่ยาวนานจึงส่งผลให้มีการชะล้างในบรรยากาศโดยฝนตามธรรมชาติ



รูปที่ 4-1 แผนที่แสดงค่า optical depth ของฝุ่นละอองทั่วประเทศไทย ที่คำนวณได้จากดาวเทียม
MTSAT ในปี พ.ศ. 2554 – 2558

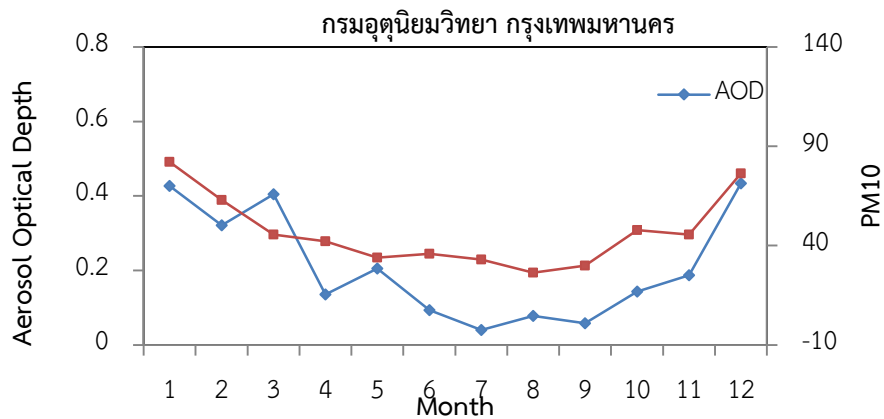
4.3.2 แผนที่แสดงปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) เฉลี่ยทั่วประเทศไทย

สำหรับการจัดทำแผนที่แสดงปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) เฉลี่ยทั่วประเทศไทย ในขั้นตอนแรกได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth ของฝุ่นละอองที่คำนวณได้จากข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณ PM_{10} ที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 8 สถานี โดยสถานีตรวจวัดที่ได้คัดเลือกมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ดังกล่าวมีรายชื่อแสดงดังตารางที่ 4-10

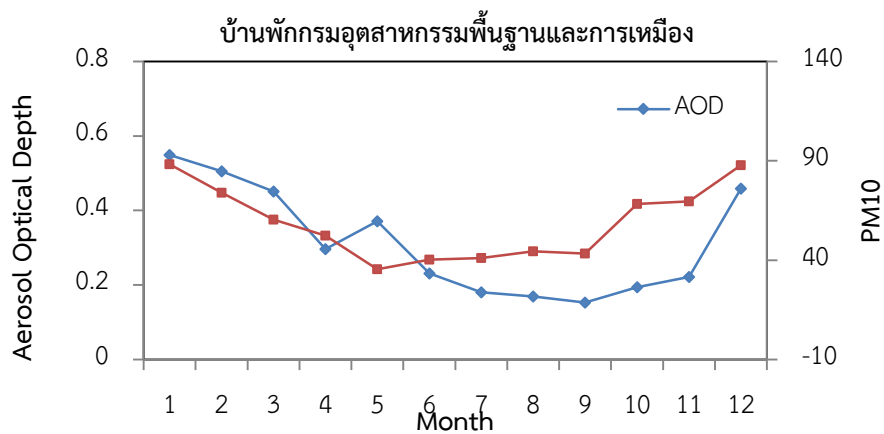
ตารางที่ 4-10 รายชื่อและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณฝุ่นละอองของกรมควบคุมมลพิษที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูล optical depth ของฝุ่นละอองจากดาวเทียม

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด
5	กรมอุตุนิยมวิทยา	กรุงเทพฯ	13.67	100.61
17	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง	สมุทรปราการ	13.65	100.53
20	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต	ปทุมธานี	14.04	100.61
26	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี	ราชบุรี	13.53	99.81
30	สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง	ระยอง	12.67	101.28
35	ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่	18.84	98.97
52	โรงไฟฟ้าอโยธยาบุรี	กรุงเทพฯ	13.73	100.49
69	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่	18.13	100.16

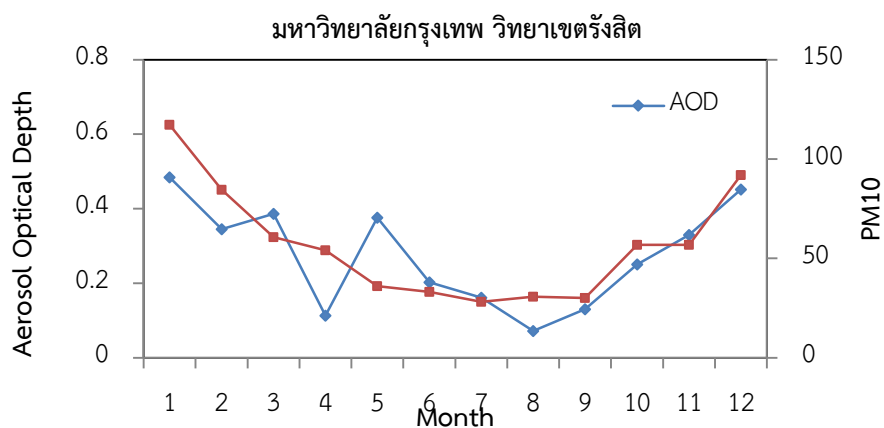
จากนั้นนำค่าเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลปริมาณ PM_{10} ณ ช่วงเวลาเดียวกับภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมระหว่างปี พ.ศ. 2555 – 2557 ของสถานีที่ได้คัดเลือกไว้ มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูล optical depth ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม MTSAT โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่มีตำแหน่งของพิกเซลบนข้อมูลที่ตรงกับพิกัดของสถานีตรวจวัด ผลที่ได้พบว่ามีการแปรค่าที่สอดคล้องกัน โดยปริมาณ PM_{10} และ optical depth ของฝุ่นละอองจะมีค่าสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ในทางตรงกันข้ามสำหรับเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมจะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบปริมาณ PM_{10} และ optical depth ในแต่ละสถานีแสดงดังกราฟรูปที่ 4-2 ถึง 4-9



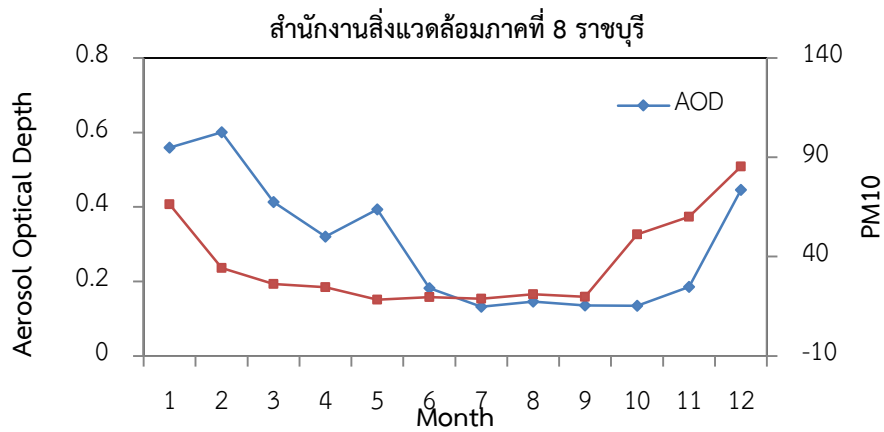
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM₁₀ สถานีกรมอุตุนิยมวิทยา



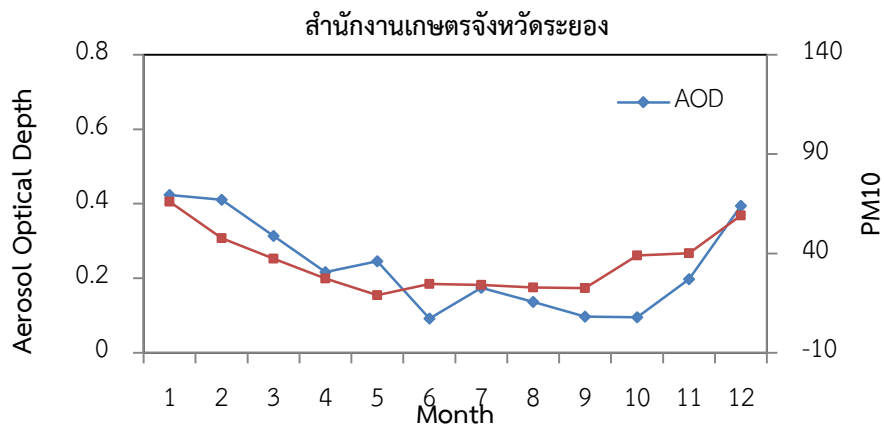
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM₁₀
สถานีบ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง



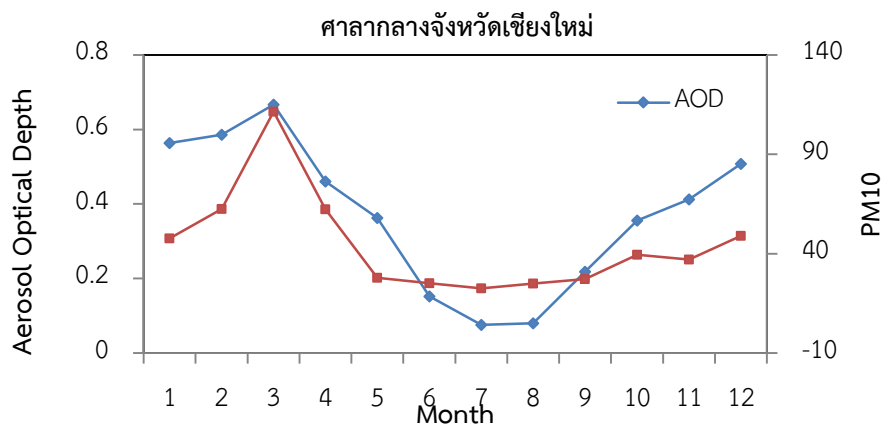
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM₁₀
สถานีมหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต



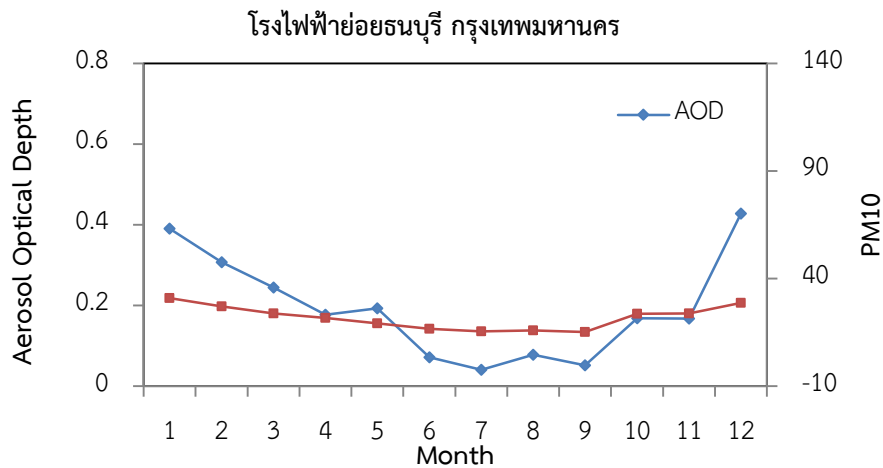
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM₁₀
สถานีสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี



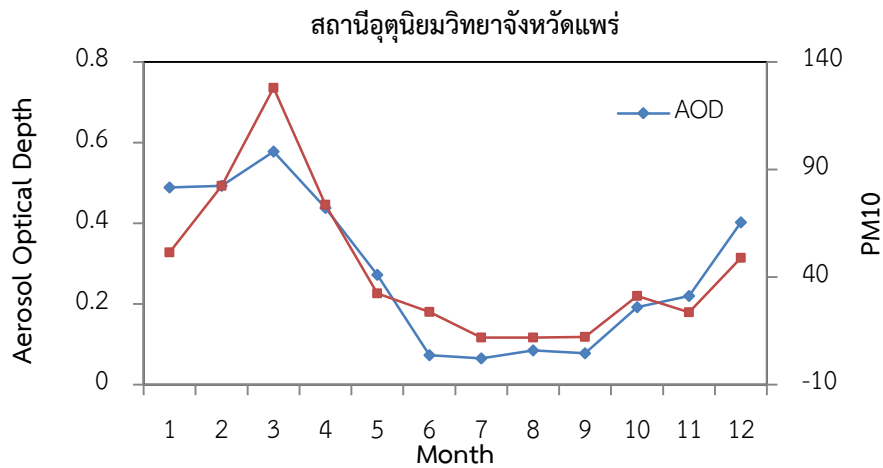
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM₁₀ สถานีสำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM₁₀ สถานีศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่

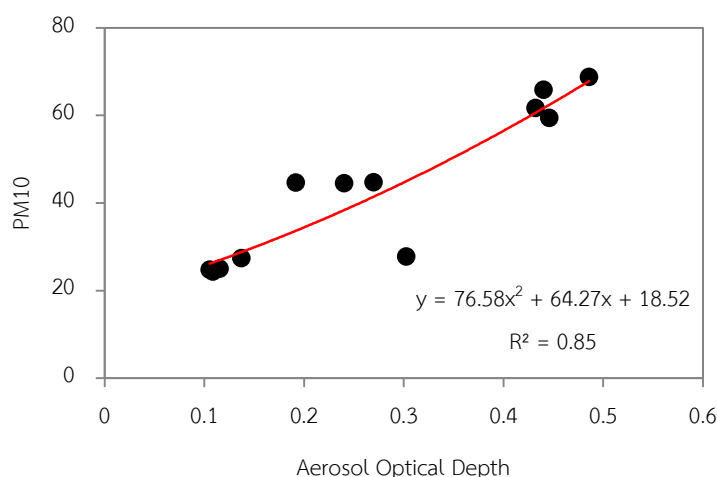


รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM_{10} สถานีโรงไฟฟ้าอัยยธบุรี



รูปที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth และ PM_{10} สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่

ที่ปรึกษาได้นำข้อมูลจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth ของฝุ่นละอองที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ดาวเทียม MTSAT กับปริมาณ PM_{10} รายเดือน ณ เวลาเดียวกับภาพถ่ายดาวเทียมของแต่ละสถานีที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนรวมทุกสถานี ทั้งนี้ในการเฉลี่ยข้อมูลดังกล่าวจะเป็นการพิจารณาคิดค่าเฉลี่ยรวมทุกวัน ผลที่ได้พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีแนวโน้มสัมพันธ์กันเป็นอย่างดีโดยมีค่าความสัมพันธ์อยู่ที่ 85% ดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง optical depth ของฝุ่นละอองจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณ PM₁₀ ที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมพิษ ในกรณีที่พิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของทุกสถานี

จากความสัมพันธ์ที่ได้ในกราฟรูปที่ 4-10 ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สมการการถดถอยในรูปฟังก์ชันพหุนามกำลังสอง ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

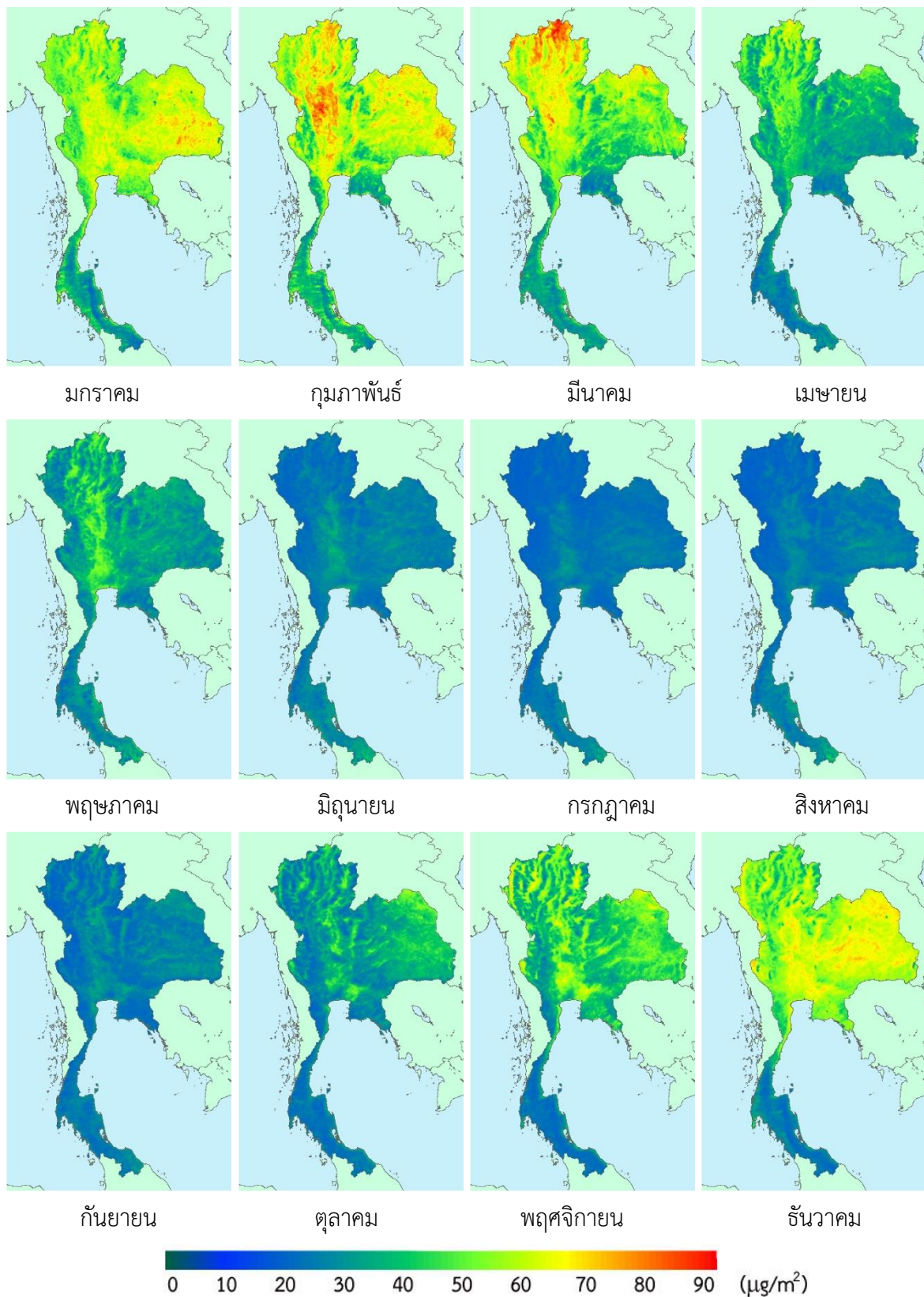
$$PM_{10} = 76.58\tau_a^2 + 64.27\tau_a + 18.52 \quad (5)$$

โดยที่ PM₁₀ คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน

τ_a คือ ค่า optical depth ของฝุ่นละออง

การดำเนินงานได้นำสมการที่ 5 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณ PM₁₀ ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล optical depth ของฝุ่นละอองที่ได้จากดาวเทียม จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ในแต่ละตำแหน่งมาแสดงในรูปของแผนที่แสดงการกระจายตัวของปริมาณ PM₁₀ ดังแสดงในรูปที่ 4-11

จากรูปที่ 4-11 พบว่าปริมาณ PM₁₀ จะมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ทั้งนี้พบว่าค่าสูงสุดของปริมาณ PM₁₀ จะอยู่ในเดือนมีนาคม ซึ่งมีการกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ในภาคเหนือตอนบนในแถบจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และพะเยา นอกจากนี้หากพิจารณาผลการคำนวณในช่วงฤดูฝน พบว่าปริมาณ PM₁₀ จะมีค่าน้อยทั่วทุกพื้นที่ของประเทศไทย

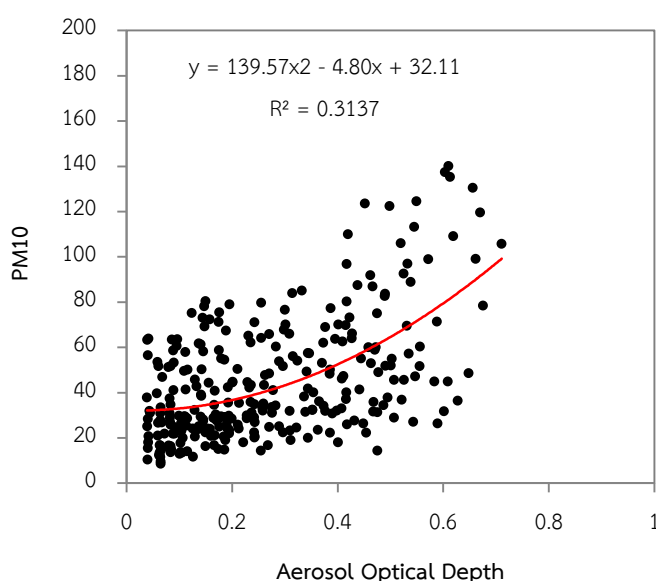


รูปที่ 4-11 แผนที่แสดงปริมาณ PM_{10} ทั่วประเทศไทยที่คำนวณได้จากดาวเทียม MTSAT

ในปี พ.ศ. 2554 – 2558

4.3.3 แผนที่แสดงปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀) สูงสุดทั่วประเทศไทย

ในการคำนวณหาค่าสูงสุดของปริมาณฝุ่นละออง (PM₁₀) ทั่วประเทศไทย ได้นำข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของค่า PM₁₀ และค่า optical depth ของฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดทั้ง 10 แห่ง ที่ได้ทำการคัดเลือกไว้ในช่วงระยะเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2554 – 2558 มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 4-12 จากนั้นจึงได้หาความสัมพันธ์ในรูปของสมการพหุนามกำลังสองซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 6



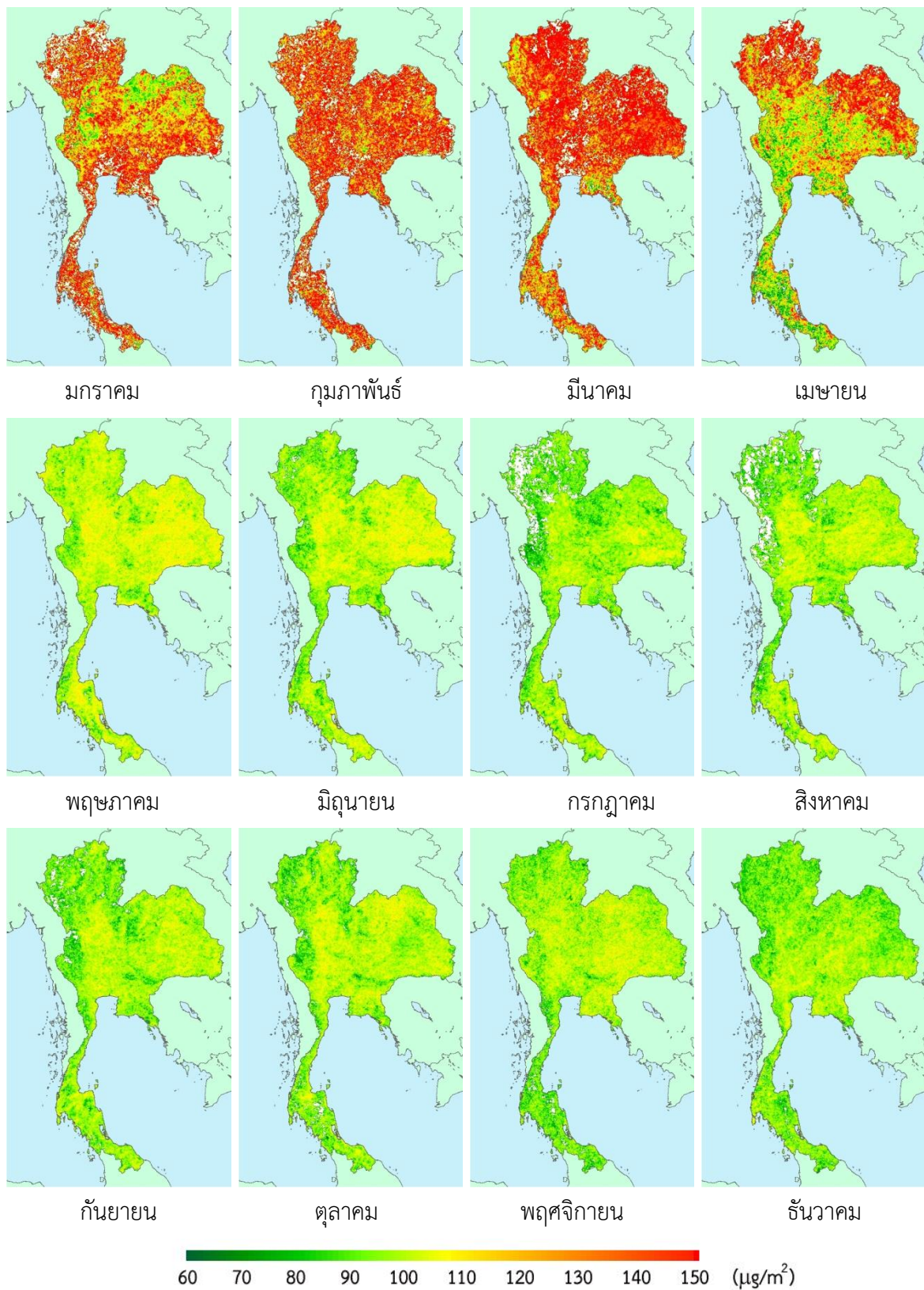
รูปที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง optical depth ของฝุ่นละอองจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณ PM₁₀

$$PM_{10} = 139.57\tau_a^2 - 4.80\tau_a + 32.11 \quad (6)$$

โดยที่ PM₁₀ คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน

τ_a คือ ค่า optical depth ของฝุ่นละออง

ในการคำนวณหาค่าสูงสุดของปริมาณ PM₁₀ ได้นำข้อมูล optical depth ของฝุ่นละอองในแต่ละวันในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งคำนวณมาจากกระบวนการที่พัฒนาขึ้นมาคำนวณหาปริมาณ PM₁₀ รายวันโดยใช้สมการที่ 6 จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมเปรียบเทียบค่า PM₁₀ ในแต่ละวัน เพื่อคัดเลือกเฉพาะค่าสูงสุดในแต่ละเดือนมาจัดแสดงในรูปของแผนที่ ผลการคำนวณหาค่าสูงสุดของปริมาณ PM₁₀ ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทยดังแสดงในรูปที่ 4-13 ซึ่งผลจากการจัดทำแผนที่แสดงให้เห็นว่าเดือนที่พบปริมาณ PM₁₀ สูงกว่า 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะอยู่ระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน หลังจากนั้นค่าสูงสุดของปริมาณ PM₁₀ จะมีค่าลดลงทั่วทั้งประเทศ โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคมจะพบค่า PM₁₀ สูงสุดแปรค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 80 - 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



รูปที่ 4-13 แผนที่แสดงค่าปริมาณ PM_{10} สูงสุดในแต่ละเดือนปี พ.ศ. 2558
ที่คำนวณได้จากดาวเทียม MTSAT

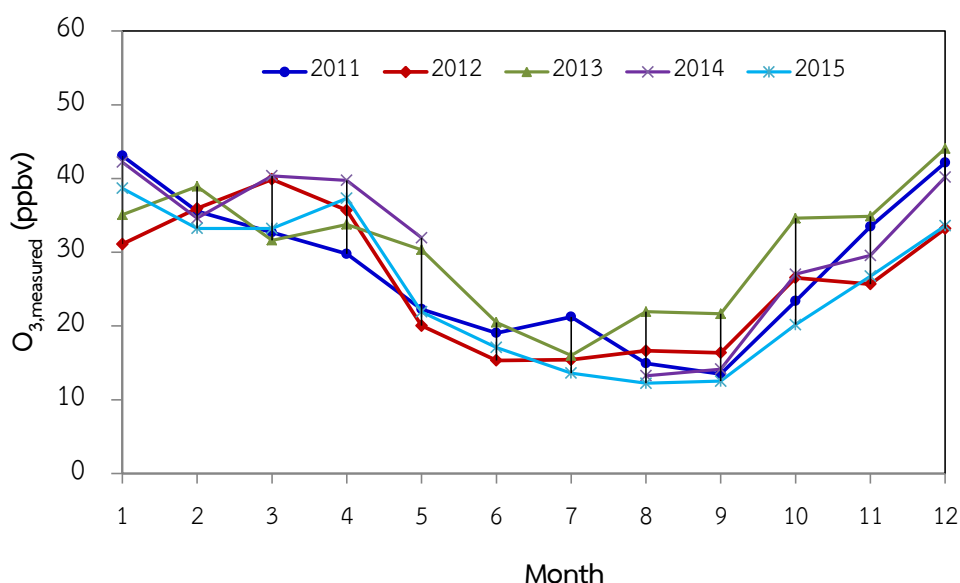
4.4 ผลการจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3)

การจัดทำแผนที่แสดงปริมาณโอโซน (O_3) ทั่วประเทศไทย ในขั้นตอนแรกได้ดำเนินการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณโอโซนที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 10 สถานีตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดให้ โดยสถานีวัดที่ได้ทำการคัดเลือกมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ดังกล่าวมีรายชื่อแสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 รายชื่อและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณโอโซนของกรมควบคุมมลพิษที่ใช้ในการดำเนินงาน

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด
17	บ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมือง	สมุทรปราการ	13.65	100.53
22	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช	นนทบุรี	13.91	100.54
26	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี	ราชบุรี	13.53	99.81
31	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง	ระยอง	12.74	101.14
42	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14	สุราษฎร์ธานี	9.13	99.33
46	ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4	ขอนแก่น	16.45	102.84
59	กรมประชาสัมพันธ์	กรุงเทพฯ	13.78	100.54
67	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	น่าน	18.79	100.78
69	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่	18.13	100.16
74	ศูนย์ราชการจังหวัดระยอง	ระยอง	12.71	101.18

สำหรับตัวอย่างข้อมูลปริมาณโอโซนเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ แสดงได้ดังรูปที่ 4-14



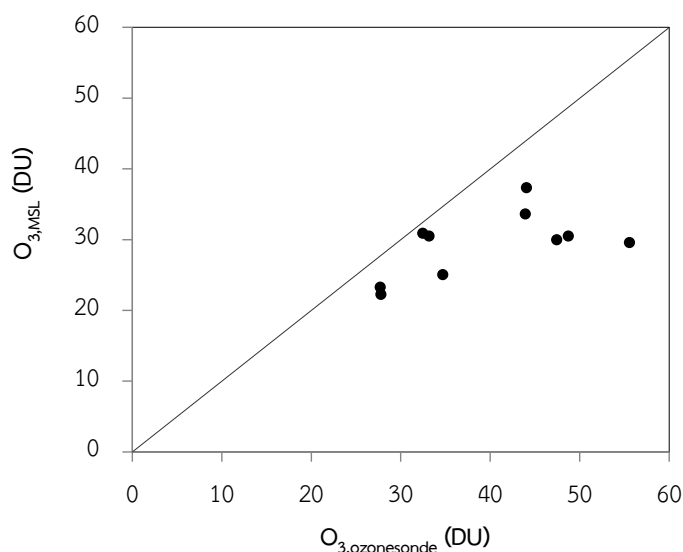
รูปที่ 4-14 ปริมาณโอโซนพื้นผิวรายเดือน ที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 จังหวัดราชบุรี

จากนั้นทำการเฉลี่ยปริมาณโอโซนรายชั่วโมงของแต่ละสถานีให้เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน เพื่อที่จะนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียมต่อไป

4.4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลภาคพื้นดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียมกับข้อมูลภาคพื้นดิน โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากการวัดปริมาณโอโซนตามความสูงโดยใช้เครื่อง ozonesonde ของมหาวิทยาลัยศิลปากร แต่การวัดด้วย ozonesonde มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงมีการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาบางนา เพียงแห่งเดียว และมีการปล่อยบอลลูนเพียง 1 ครั้ง/เดือน ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2558

ในการตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากดาวเทียม ณ ตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยา บางนา กับค่าที่ได้จาก ozonesonde ซึ่งเป็นค่าเฉพาะขณะที่สถานีเดียวกัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-15

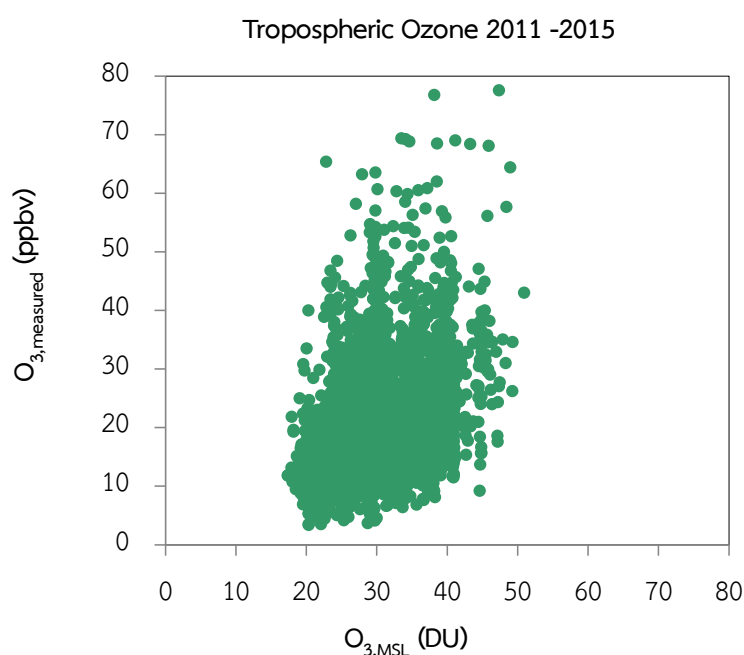


รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS/AURA และจาก ozonesonde

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ปริมาณโอโซนจากดาวเทียมและจากการวัดด้วย ozonesonde มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปริมาณโอโซนที่ได้จาก ozonesonde จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากดาวเทียม

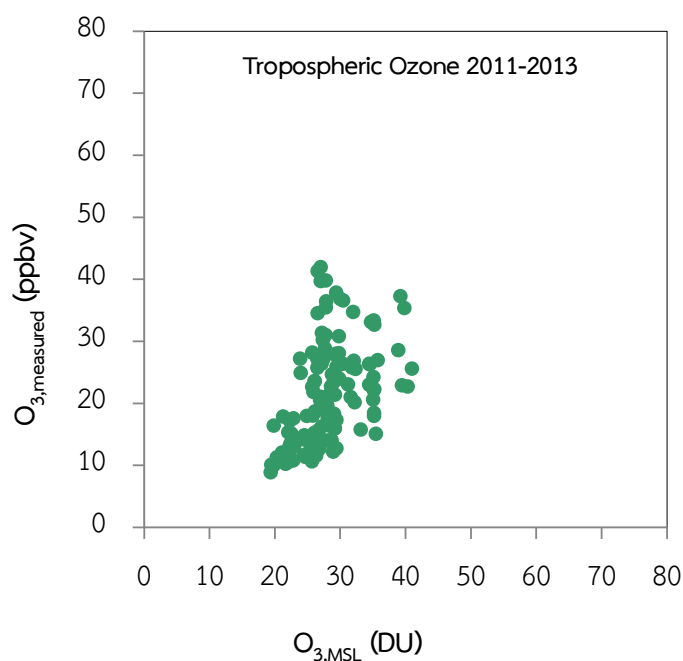
4.4.2 การหาความสัมพันธ์ของปริมาณโอโซน

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS/AURA และปริมาณโอโซนพื้นผิวซึ่งวัดอยู่ที่ระดับความสูง 3 เมตร จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของ กรมควบคุมมลพิษ ที่ปรึกษาได้นำข้อมูลโอโซนรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากดาวเทียม MLS/AURA ซึ่งสามารถ ดาวน์โหลดได้จาก http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/cloud_slice/new_data.html มา เขียนกราฟความสัมพันธ์กับข้อมูลโอโซนพื้นผิวซึ่งวัดอยู่ที่ระดับความสูง 3 เมตร จากสถานีตรวจวัดคุณภาพ อากาศของกรมควบคุมมลพิษ ณ ตำแหน่งสถานีวัด ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-16



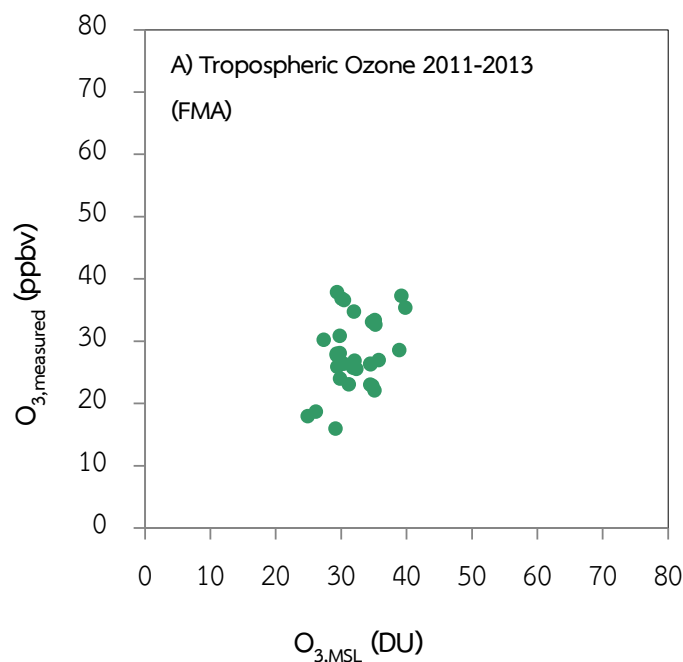
รูปที่ 4-16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (พ.ศ. 2554 - 2558)

จากรูปที่ 4-16 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองยังมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน แต่การกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง ที่ปรึกษาจึงเลือกเฉพาะข้อมูลของสถานีวัดภาคพื้นดินจำนวน 10 แห่ง ตามที่ กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดให้เป็นสถานีตัวแทนของแต่ละพื้นที่ที่ให้ผลการวัดที่ค่อนข้างแม่นยำและทำการหา ความสัมพันธ์ของข้อมูลรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาวโดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2554 - 2556 ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-17

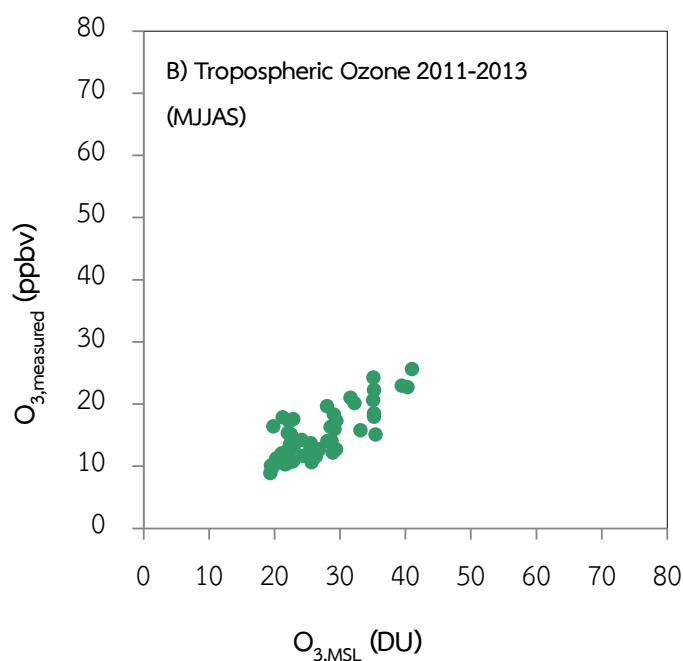


รูปที่ 4-17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว (พ.ศ. 2554 - 2556) ของ 10 สถานี

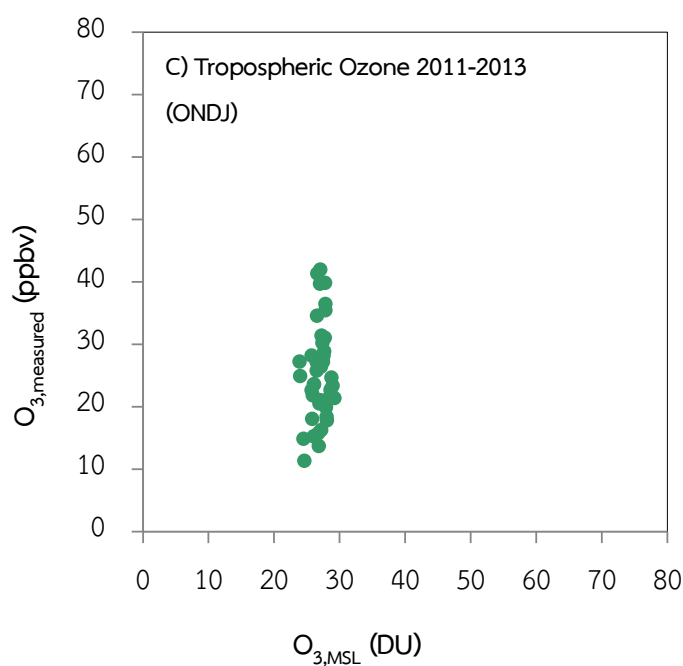
ทดลองแบ่งเป็นรายฤดูกาลและรายกลุ่มเดือนพบว่า กลุ่มเดือนมีความสัมพันธ์ไปทางเดียวกัน โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ 1) เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน 2) เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน และ 3) เดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ดังรูปที่ 4-18 ถึง 4-20



รูปที่ 4-18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน



รูปที่ 4-19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน



รูปที่ 4-20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม MLS และปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน ปริมาณโอโซนจากการตรวจวัดภาคพื้นดินกับข้อมูลดาวเทียมมีการแปรค่าตามกันแบบเชิงเส้น โดยปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมมีค่าสูงกว่า ส่วนเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ปริมาณโอโซนจากทั้งสองแหล่งข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน จากกราฟจะเห็นว่าค่าที่ได้จากดาวเทียมมีค่าค่อนข้างคงที่ (25-30 DU) ในขณะที่ข้อมูลจากการตรวจวัดภาคพื้นดินมีการแปรค่าตั้งแต่ 10 – 40 DU ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณสารตั้งต้นของโอโซนที่พื้นผิว เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งดาวเทียมไม่สามารถวัดได้แม่นยำนัก

ที่ปรึกษาจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลปริมาณโอโซนพื้นผิวที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดิน สำหรับช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน และช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน โดยความสัมพันธ์ที่ได้เป็นดังนี้

$$\text{เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน:} \quad O_{3,\text{ground}} = 0.8669O_{3,\text{MLS}} \quad (7)$$

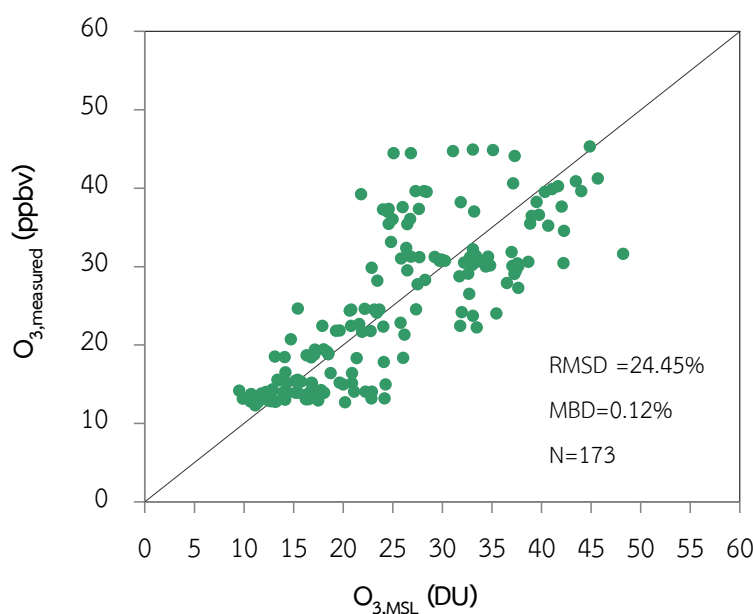
$$\text{เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน:} \quad O_{3,\text{ground}} = 0.5623O_{3,\text{MLS}} \quad (8)$$

สำหรับเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ซึ่งไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองได้ ที่ปรึกษาจะสมมติให้ค่าปริมาณโอโซนที่พื้นผิวมีค่าเท่ากับปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม

$$\text{เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน:} \quad O_{3,\text{ground}} = O_{3,\text{MLS}} \quad (9)$$

4.4.3 การตรวจสอบความถูกต้อง

ในการตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ที่ได้ ที่ปรึกษานำความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ 4.5.2 ไปใช้ในการหาปริมาณโอโซนพื้นผิวระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2558 ของข้อมูล 10 สถานี เฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาเดียวกันที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-21

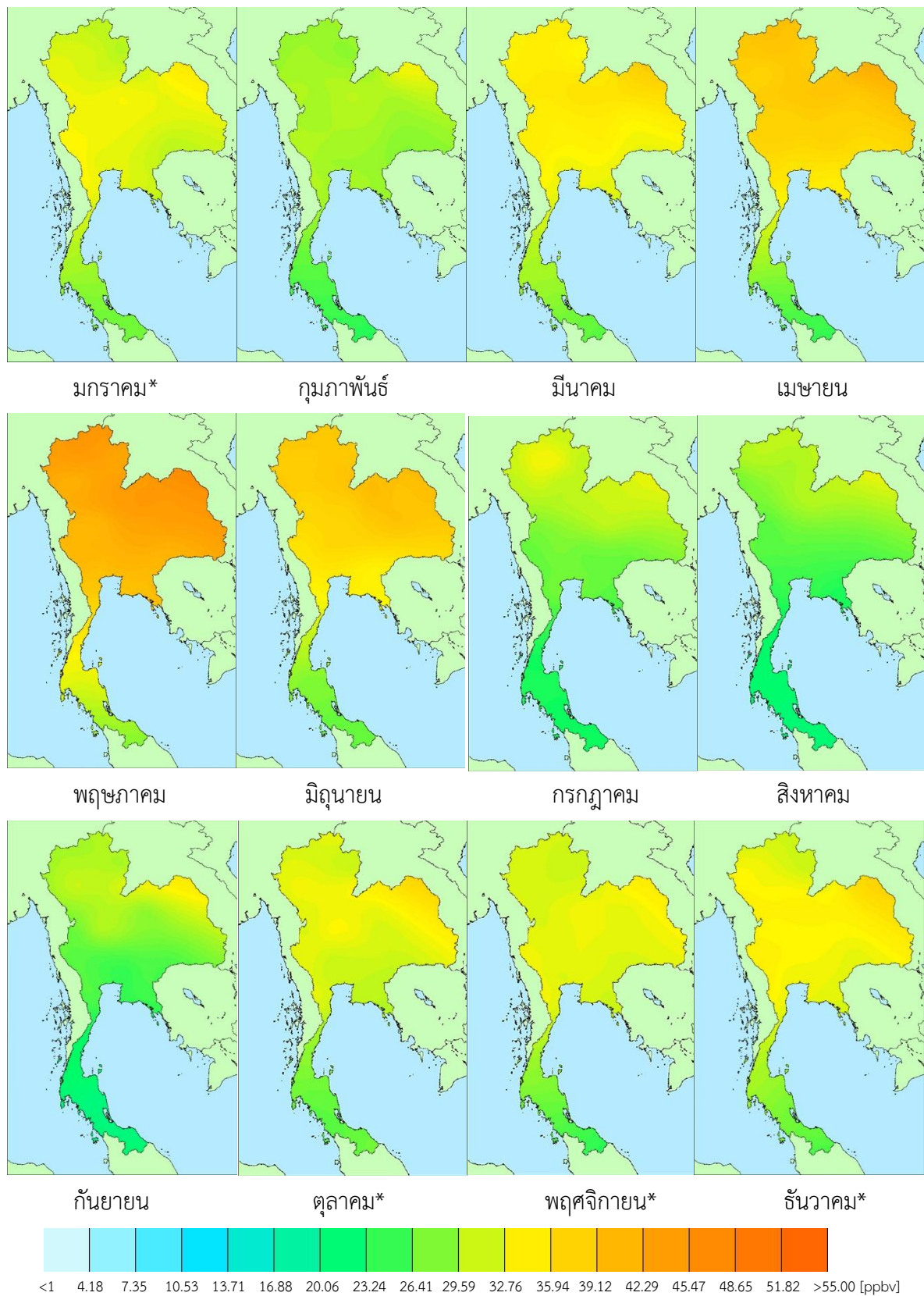


รูปที่ 4-21 การเปรียบเทียบปริมาณโอโซนพื้นผิวที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (พ.ศ. 2557 - 2558) ของ 10 สถานี

4.4.4 การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวทั่วประเทศ

1) การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวเฉลี่ยทั่วประเทศ

เมื่อได้ความสัมพันธ์ในการหาปริมาณโอโซนพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมแล้ว จึงทำการตัดข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS ให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ตั้งแต่ละติจูด $5^{\circ}N$ – $21^{\circ}N$ และลองจิจูด $96^{\circ}E$ – $106^{\circ}E$ โดยมีขนาดภาพ 550×850 พิกเซล จากนั้นจึงแปลงค่าปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ให้เป็นค่าปริมาณโอโซนพื้นผิวโดยใช้ความสัมพันธ์ข้างต้น ในระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558 ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 ปริมาณโอโซนพื้นผิวจากแบบจำลองทั่วประเทศไทย ปี พ.ศ. 2554 - 2558

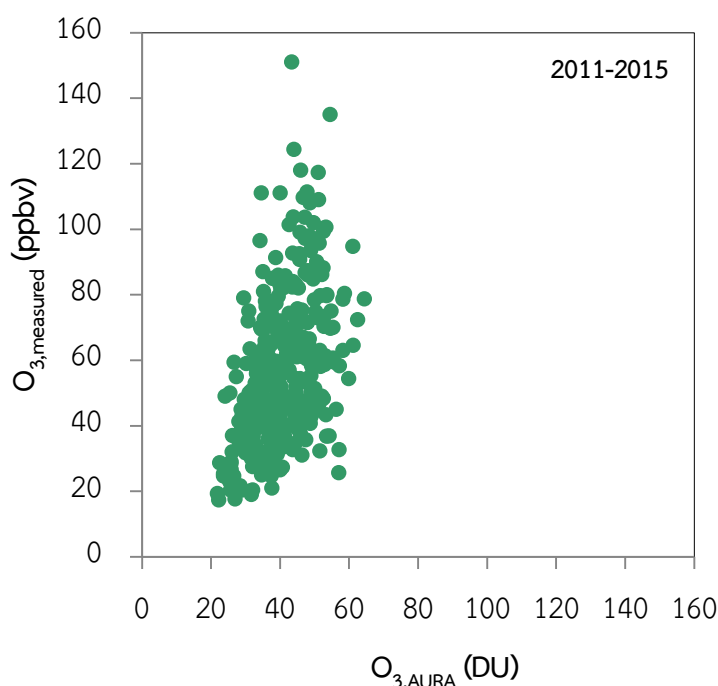
* หมายเหตุ แผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวในเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคมเป็นข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ซึ่งไม่ถูกต้อง ในการหาปริมาณโอโซนพื้นผิวในเดือนดังกล่าวจำเป็นต้องพิจารณาตัวแปรอื่นเพิ่มเติม เช่น ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น

จากแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวเฉลี่ยที่ได้จะเห็นการแปรค่าตามพื้นที่และตามฤดูกาล โดยในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ปริมาณโอโซนจะมีค่าเพิ่มขึ้นทั่วประเทศ โดยพบปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ซึ่งอาจเกิดจากการเผาไหม้ป่าทำให้เกิดสารตั้งต้นของโอโซนสูง จากนั้นค่าจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงเดือนกันยายน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในฤดูฝนมีการชะล้างสารตั้งต้นของโอโซนพื้นผิวทำให้ปริมาณโอโซนมีค่าต่ำ ส่วนในฤดูแล้ง มีความเข้มข้นสีกาติตยมากและมีปริมาณสารตั้งต้นของโอโซนมากจึงทำให้ปริมาณโอโซนมีค่าสูง

2) การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดทั่วประเทศ

โดยทั่วไป ปริมาณโอโซนที่พื้นผิวจะมีการแปรค่าตามเวลาในรอบวัน โดยจะพบค่าสูงสุดในช่วงบ่าย ดังนั้นในการจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดจำเป็นต้องใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่สามารถใช้ข้อมูลรายวันเฉลี่ยต่อเดือนได้ ที่ปรึกษาจึงได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลดาวเทียม AURA ชุดใหม่ซึ่งเป็นข้อมูลขณะที่ดาวเทียมโคจรผ่านประเทศไทยระหว่างเวลา 13:00 – 15:00 น. โดยข้อมูลที่รวบรวมได้ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณโอโซนโปรไฟล์ในชั้นสตราโตสเฟียร์จากดาวเทียม MLS/AURA ในช่วงเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งดาวน์โหลดได้จาก <ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/omi/data/ozone/> และข้อมูลปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์รายวันจากดาวเทียม OMI/AURA จาก <http://avdc.gsfc.nasa.gov/> ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554 – 31 ธันวาคม พ.ศ. 2558 รวม 5 ปี จากนั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา IDL เพื่อทำการรวมปริมาณโอโซนในแต่ละระดับความสูงในชั้นสตราโตสเฟียร์ให้เป็นปริมาณโอโซนรวมในชั้นสตราโตสเฟียร์ จากนั้นทำการ interpolate ปริมาณโอโซนที่ได้ให้ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทย แล้วทำการเลือกค่าปริมาณโอโซนรวมในชั้นสตราโตสเฟียร์จากดาวเทียม OMI/MLS และปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์จากดาวเทียม OMI/AURA ณ ตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 10 แห่ง แล้วทำการหาค่าปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ในหน่วยดอปสัน (DU) โดยหาผลต่างระหว่างปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์และปริมาณโอโซนรวมในชั้นสตราโตสเฟียร์

เนื่องจากในการดำเนินงานนี้ต้องการทราบปริมาณโอโซนสูงสุดในแต่ละเดือนตามพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย จึงทำการหาค่าปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดที่ได้จากการวัดโดยกรมควบคุมมลพิษและค่าปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม AURA ของแต่ละเดือนในแต่ละสถานี จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-23



รูปที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินและปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์จากดาวเทียม AURA

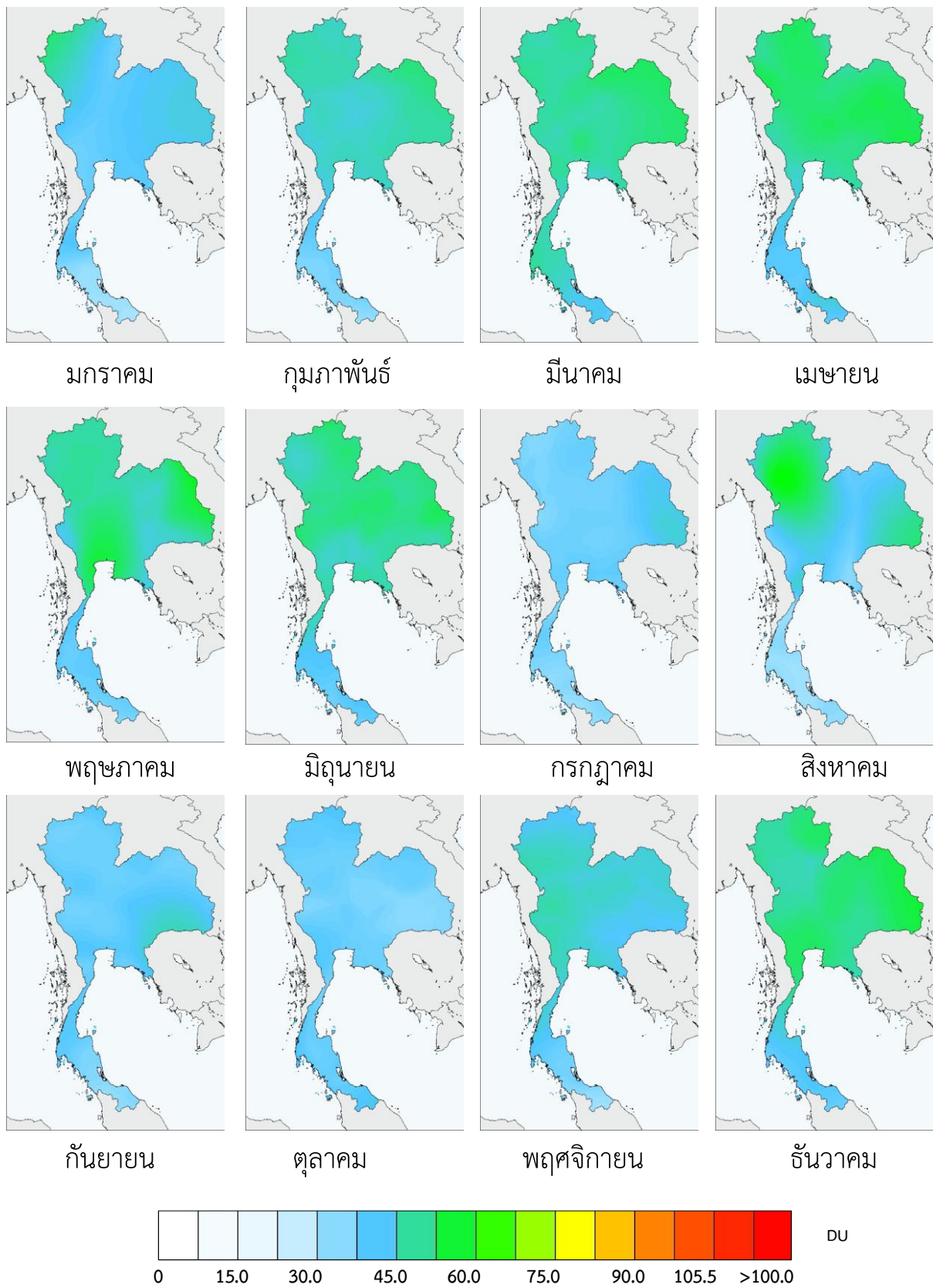
จากรูป แสดงให้เห็นว่าปริมาณโอโซนพื้นผิวกับปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์มีการแปรค่าตามกัน แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าปริมาณโอโซนพื้นผิวที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินมีการแปรค่าค่อนข้างสูง โดยพบค่าสูงสุดที่ได้จากการวัดภาคพื้นดิน 140 ppbv ส่วนโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์สูงสุดที่ได้จากดาวเทียมพบว่ามีความสัมพันธ์จำกัดอยู่ที่ประมาณ 60 DU ซึ่งอาจเกิดจากการหาปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์บรรยากาศที่ได้จาก OMI/AURA ไม่สามารถวัดปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ได้ถูกต้องมากนักเนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering) และเมฆ

เนื่องจากกราฟในรูปที่ 4-23 ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ จึงได้ทำการแบ่งข้อมูลทั้งสองชุดของทั้ง 10 สถานีออกเป็นเดือนต่าง ๆ และหาค่าเฉลี่ยของปริมาณโอโซนสูงสุดในแต่ละเดือน แล้วจึงหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

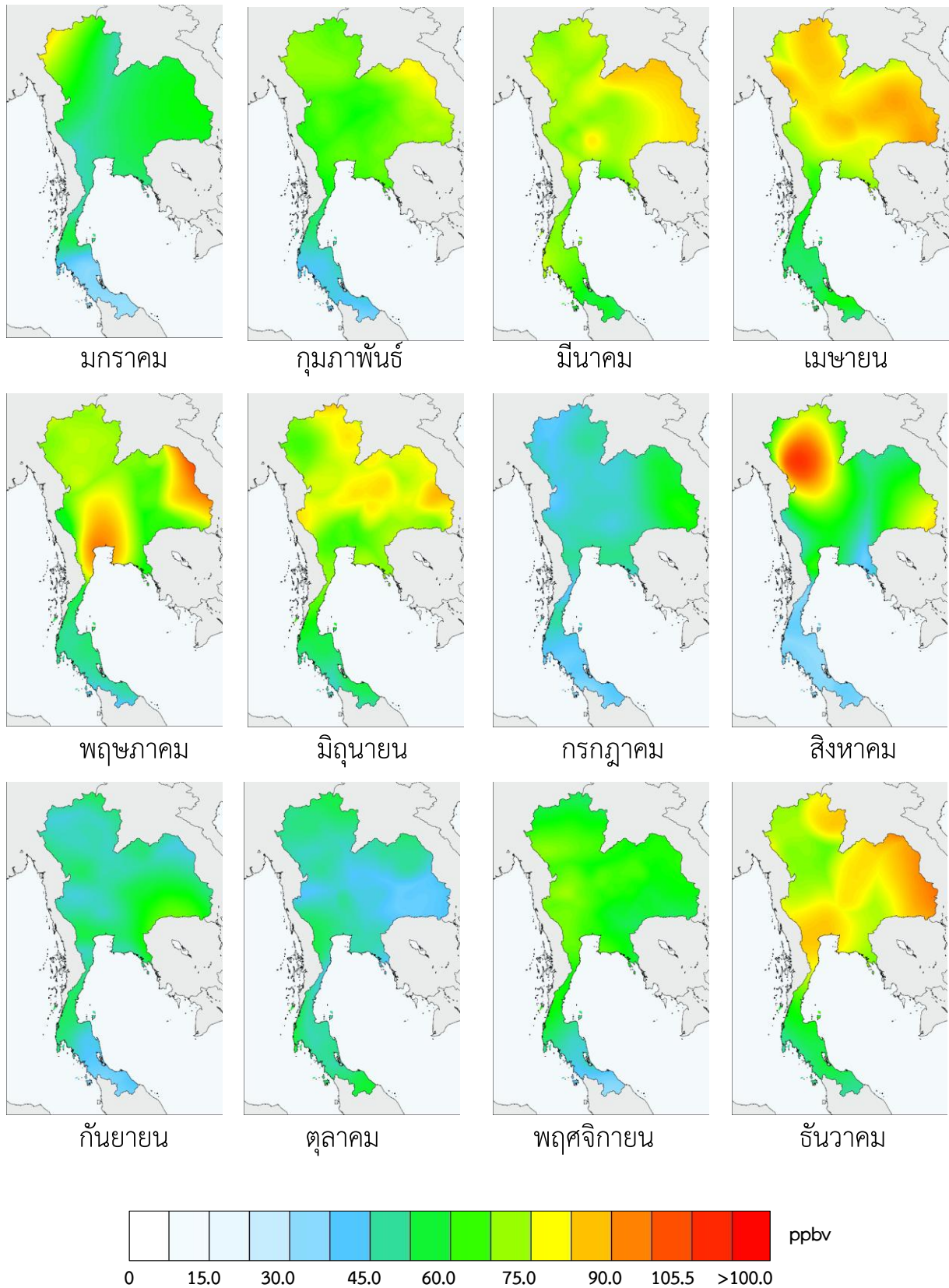
$$O_{3\max, \text{ground}} = 0.0824 O_{3\max, \text{AURA}}^{1.759} \quad (10)$$

$$R^2 = 0.71$$

จากนั้นใช้สมการความสัมพันธ์นี้ในการแปลงแผนที่ปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์สูงสุดที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม AURA ปี พ.ศ. 2558 (ดังรูป 4-24) ให้เป็นแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุด ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-24 ปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์สูงสุดที่ได้ดาวเทียม AURA ทั่วประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 4-25 ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดที่ได้จากแบบจำลองทั่วประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558

จากแผนที่แสดงให้เห็นว่าโอโซนพื้นผิวมีการกระจายตัวตามพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยแตกต่างกัน โดยภาพรวมในปี พ.ศ. 2558 ปริมาณโอโซนจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน จากนั้นค่าจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงเดือนกรกฎาคม และปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากเดือนสิงหาคมจนถึงเดือนธันวาคม นอกจากนี้พบว่าปริมาณโอโซนพื้นผิวทางภาคใต้จะมีค่าต่ำกว่าทางภาคกลาง ภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินการบูรณาการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและสมการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อหาปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) และปริมาณโอโซน (O_3) ทั่วประเทศไทย และนำเสนอเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการจัดทำเป็นแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) และปริมาณโอโซน (O_3) เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย เพื่อการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศของหน่วยงานส่วนกลางและหน่วยงานท้องถิ่น และการแจ้งเตือนประชาชนได้ทันทั่วทั้งที่ สามารถสรุปผลการดำเนินงานและมีข้อเสนอแนะได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลดำเนินงาน 2 ส่วนได้แก่

5.1.1 การหาความสัมพันธ์เชิงเวลา

เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านประเทศไทยนั้นมีวงโคจรผ่านตามช่วงเวลาของดาวเทียม ประกอบกับข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) และปริมาณโอโซน (O_3) มีการแปรค่าตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา การดำเนินงานจึงจำเป็นต้องตรวจสอบวันที่และเวลาของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า

1) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 มีวันที่ที่ภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 มีจำนวน 10 วัน ประกอบด้วย วันที่ 1, 3, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 28 และ 31 ซึ่งเวลาของภาพถ่ายจะอยู่ในช่วง 10:40 น. - 11:15 น.

2) ข้อมูลปริมาณโอโซน (O_3) ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 มีวันที่ที่ภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมสถานีตรวจวัดจำนวน 9 วัน ประกอบด้วยวันที่ 1, 3, 10, 12, 17, 19, 24, 26 และ 28 ซึ่งเวลาของภาพถ่ายจะอยู่ในช่วง 13:50 น. - 14:15 น.

จากนั้นหาปริมาณฝุ่นละอองและโอโซนของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดให้เป็นตัวของแต่ละพื้นที่ ณ วันและเวลาเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้สมการเส้นตรงแบบจุดสองจุด (The Two-Point Equation) ในการหาค่าดังกล่าว

5.1.2 การหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงปริมาณใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) และจัดลำดับความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งมีผลการดำเนินงานดังนี้

1) ข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) ความสัมพันธ์ระดับต่ำ ประกอบด้วย สถานีการเคหะชุมชนดินแดงและโครงการชลประทานนครสวรรค์ ความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ประกอบด้วยบ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองและศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ ความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ประกอบด้วย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง และสำนักงานเทศบาลตำบลทุ่งสะเดา ความสัมพันธ์ระดับสูง คือ การเคหะชุมชนคลองจั่น ความสัมพันธ์ระดับสูงมาก คือ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี

2) ข้อมูลปริมาณโอโซน (O_3) ความสัมพันธ์ระดับต่ำมาก คือ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง คือ ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ความสัมพันธ์ระดับสูง ประกอบด้วยบ้านพักกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองและสถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ ความสัมพันธ์ระดับสูงมาก ประกอบด้วยสถานีการเคหะชุมชนดินแดง ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาคที่ 4 ขอนแก่น สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน และศูนย์ราชการจังหวัดระยอง

5.2 การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10})

การจัดทำแผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา MTSAT โดยใช้ข้อมูลรายวัน ณ ช่วงเวลาเที่ยงวัน โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

5.2.1 แผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) เฉลี่ยทั่วประเทศไทย มีขั้นตอนดังนี้

1) การจัดทำแผนที่ปริมาณ optical depth โดยใช้กระบวนการ Look-up table มาคำนวณหาการกระจายตัวของปริมาณ optical depth ของฝุ่นละอองครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยในช่วงระยะเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558 และนำค่าที่ได้มาจัดแสดงในรูปแบบแผนที่ ซึ่งพบว่าปริมาณฝุ่นละอองในประเทศไทยจะมีค่าสูงในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงมีอากาศร้อนและความชื้นต่ำ ส่วนเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมปริมาณฝุ่นละอองในประเทศไทยมีค่าน้อย เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนส่งผลให้เกิดการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศไปตามธรรมชาติ และปริมาณฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งในเดือนธันวาคม และเมื่อพิจารณาพื้นที่ทางตอนเหนือพบว่าปริมาณฝุ่นละอองมีค่าสูงในเดือนเมษายน ซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่มีอากาศร้อนและมีไฟป่า ส่วนทางภาคใต้ปริมาณฝุ่นละอองมีค่าค่อนข้างต่ำตลอดทั้งปี เนื่องจากฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองแบบเกลือทะเล (sea salt aerosol) ซึ่งสามารถลดทอนแสงได้น้อยกว่าฝุ่นละอองในภาคพื้นทวีปและในเขตชุมชนเมือง นอกจากนี้ยังมีช่วงฤดูมรสุมที่ยาวนานจึงส่งผลให้มีการชะล้างในบรรยากาศโดยฝนตามธรรมชาติ

2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth ของฝุ่นละอองที่คำนวณได้จากข้อมูลดาวเทียม กับปริมาณ PM_{10} ที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 8 สถานี

3) นำข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้ ณ เวลาเดียวกับภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงปี พ.ศ. 2555 – 2557 มาเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับข้อมูล optical depth ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมในแต่ละเดือน ผลที่ได้พบว่าการแปรค่าที่สอดคล้องกัน โดยปริมาณ PM_{10} และ optical depth ของฝุ่นละอองมีค่าสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ส่วนเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมจะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ

4) นำข้อมูลจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า optical depth ของฝุ่นละอองกับปริมาณ PM_{10} ของแต่ละสถานีมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนรวมทุกสถานี ผลที่ได้พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีแนวโน้มสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี โดยมีค่าความสัมพันธ์อยู่ที่ 85%

5) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สมการการถดถอยในรูปฟังก์ชันพหุนามกำลังสอง เขียนได้ดังสมการ

$$PM_{10} = 76.58\tau_a^2 + 64.27\tau_a + 18.52 \quad (1)$$

โดยที่ PM_{10} คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน

τ_a คือ ค่า optical depth ของฝุ่นละออง

6) นำสมการที่ 1 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณ PM_{10} ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล optical depth ของฝุ่นละอองที่ได้จากดาวเทียม จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ในแต่ละตำแหน่ง มาแสดงในรูปของแผนที่แสดงการกระจายตัวของปริมาณ PM_{10} พบว่าปริมาณ PM_{10} จะมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ทั้งนี้พบว่าค่าสูงสุดของปริมาณ PM_{10} จะอยู่ในเดือนมีนาคม ซึ่งมีการกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ในภาคเหนือตอนบนในแถบจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และพะเยา หากพิจารณาผลการคำนวณในช่วงฤดูฝน พบว่าปริมาณ PM_{10} จะมีค่าน้อยทั่วทุกพื้นที่ของประเทศไทย

5.2.2 แผนที่ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) สูงสุดทั่วประเทศไทย มีขั้นตอนดังนี้

1) นำข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของค่า PM_{10} และค่า optical depth ของฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดทั้ง 10 แห่ง ที่คัดเลือกไว้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีค่าสอดคล้องกันแบบไม่เป็นเชิงเส้น จึงหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการพหุนามกำลังสองซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 2

$$PM_{10} = 139.57\tau_a^2 - 4.80\tau_a + 32.11 \quad (2)$$

โดยที่ PM_{10} คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน

τ_a คือ ค่า optical depth ของฝุ่นละออง

2) นำข้อมูล optical depth รายวันในปี พ.ศ. 2558 มาคำนวณหาปริมาณ PM_{10} รายวันโดยใช้สมการที่ 2 และนำผลที่ได้มาคัดเลือกเฉพาะค่าสูงสุดในแต่ละเดือนมาแสดงในรูปแบบที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเดือนที่พบปริมาณ PM_{10} สูงกว่า $120 \mu g/m^3$ จะอยู่ระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน หลังจากนั้นค่าสูงสุดของปริมาณ PM_{10} จะลดลงทั่วทั้งประเทศ โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคมจะพบค่า PM_{10} สูงสุดแปรค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $80 - 120 \mu g/m^3$

5.3 การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3)

การจัดทำแผนที่ปริมาณโอโซน (O_3) แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 7 ส่วน ได้แก่

1) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมกับปริมาณโอโซนที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 10 สถานีตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดให้ โดยเฉลี่ยค่าปริมาณโอโซนรายชั่วโมงของแต่ละสถานีให้เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน เพื่อที่จะนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียมต่อไป

2) ตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม โดยเปรียบเทียบปริมาณโอโซนรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากดาวเทียม ณ ตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยาบางนา กับค่าที่ได้จาก ozonesonde ซึ่งเป็นค่าเฉพาะขณะที่สถานีเดียวกัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบพบว่าปริมาณโอโซนจากดาวเทียมและจากการวัดด้วย ozonesonde มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณโอโซนที่ได้จาก ozonesonde จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากดาวเทียม

3) หาความสัมพันธ์ของปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS/AURA และปริมาณโอโซนพื้นผิวซึ่งวัดอยู่ที่ระดับความสูง 3 เมตร จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ได้นำข้อมูลโอโซนรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากแหล่งข้อมูลทั้งสอง ณ ตำแหน่งสถานีมาเขียนกราฟ ผลที่ได้พบว่าข้อมูลทั้งสองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน แต่มีการกระจายตัวของค่อนข้างสูง

4) เลือกข้อมูลของสถานีวัดภาคพื้นดินจำนวน 10 แห่ง ตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดให้เป็นสถานีตัวแทนของแต่ละพื้นที่ที่ให้ผลการวัดที่ค่อนข้างแม่นยำและเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ของข้อมูลรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาวโดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2554 – 2556 สามารถแบ่งข้อมูลเป็นช่วงเดือนได้เป็น 3 ช่วง คือ 1) เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน 2) เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน และ 3) เดือนตุลาคมถึงมกราคม โดยเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน ข้อมูลมีการแปรค่าตามกันแบบเชิงเส้น ซึ่งปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมมีค่าสูงกว่า ส่วนเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ปริมาณโอโซนจากทั้งสองแหล่งข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งข้อมูลจากดาวเทียมมีค่าค่อนข้างคงที่ ($25-30 DU$) ในขณะที่ข้อมูลจากการตรวจวัดภาคพื้นดินมีการแปรค่าตั้งแต่ $10 - 40 DU$ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณสารตั้งต้นของโอโซนที่พื้นผิว เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งดาวเทียมไม่สามารถวัดได้แม่นยำนัก สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของแต่ละช่วงเดือนได้ดังนี้

$$\text{เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน:} \quad \text{O}_{3,\text{ground}} = 0.8669\text{O}_{3,\text{MLS}} \quad (3)$$

$$\text{เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน:} \quad \text{O}_{3,\text{ground}} = 0.5623\text{O}_{3,\text{MLS}} \quad (4)$$

$$\text{เดือนตุลาคมถึงมกราคม:} \quad \text{O}_{3,\text{ground}} = \text{O}_{3,\text{MLS}} \quad (5)$$

5) ตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ที่ได้ โดยนำความสัมพันธ์ข้างต้นไปหาปริมาณโอโซนพื้นผิวระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2558 ของข้อมูล 10 สถานี เฉพาะเดือนกุมภาพันธ์ถึงกันยายน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาเดียวกันที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ

6) จัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวเฉลี่ยทั่วประเทศ โดยตัดข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS ให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ตั้งแต่ละติจูด $5^{\circ}\text{N} - 21^{\circ}\text{N}$ และลองจิจูด $96^{\circ}\text{E} - 106^{\circ}\text{E}$ มีขนาดภาพ 550×850 พิกเซล จากนั้นจึงทำการแปลงค่าปริมาณโอโซนคอลัมน์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ให้เป็นค่าปริมาณโอโซนพื้นผิวโดยใช้ความสัมพันธ์ข้างต้น ในระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558 สามารถสรุปได้ว่าในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ปริมาณโอโซนจะมีค่าเพิ่มขึ้นทั่วประเทศ โดยพบปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ซึ่งอาจเกิดจากการเผาไหม้ป่าทำให้เกิดสารตั้งต้นของโอโซนสูง จากนั้นค่าจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงเดือนกันยายน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในฤดูฝนมีการชะล้างสารตั้งต้นของโอโซนพื้นผิวทำให้ปริมาณโอโซนมีค่าต่ำ ส่วนในฤดูแล้ง มีความเข้มข้นสีก๊าซโอโซนมากและมีปริมาณสารตั้งต้นของโอโซนมากจึงทำให้ปริมาณโอโซนมีค่าสูง

7) จัดทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดทั่วประเทศ โดยรวบรวมข้อมูลดาวเทียม AURA ซึ่งโคจรผ่านประเทศไทยระหว่างเวลา 13:00 – 15:00 น. ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมประกอบด้วยข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จากดาวเทียม MLS/AURA ในช่วงเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ประเทศไทย และข้อมูลปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์รายวันจากดาวเทียม OMI/AURA ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554 – 31 ธันวาคม พ.ศ. 2558 รวม 5 ปี จากนั้นเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา IDL เพื่อรวบรวมปริมาณโอโซนรวมในชั้นสตราโตสเฟียร์และ interpolate ให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย แล้วจึงเลือกค่าปริมาณโอโซนรวมในชั้นสตราโตสเฟียร์และปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์ ณ ตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 10 แห่ง แล้วจึงหาค่าปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ในหน่วยดอปสัน (DU) โดยหาผลต่างระหว่างปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์และปริมาณโอโซนรวมในชั้นสตราโตสเฟียร์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ พบว่าปริมาณโอโซนพื้นผิวกับปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์มีการแปรค่าตามกัน แต่ปริมาณโอโซนพื้นผิวที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดินมีการแปรค่าค่อนข้างสูง โดยพบค่าสูงสุดที่ได้จากการวัดภาคพื้นดิน 140 ppbv ส่วนโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์สูงสุดที่ได้จากดาวเทียมพบว่ามีค่าสูงสุดจำกัดอยู่ที่ประมาณ 60 DU ซึ่งอาจเกิดจากการหาปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์บรรยากาศที่ได้จาก OMI/AURA ไม่สามารถวัดปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพส

เพียร์ได้ถูกต้องมากนักเนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering) และเมฆ จากนั้นแบ่งข้อมูลทั้งสองชุดของทั้ง 10 สถานีออกเป็นเดือนต่าง ๆ และหาค่าเฉลี่ยของปริมาณโอโซนสูงสุดในแต่ละเดือน แล้วจึงหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6 และใช้สมการความสัมพันธ์นี้ในการทำแผนที่ปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม AURA ปี พ.ศ. 2558

$$O_{3\max, \text{ground}} = 0.0824 O_{3\max, \text{AURA}}^{1.759} \quad (6)$$

$$R^2 = 0.71$$

ผลที่ได้พบว่าโอโซนพื้นผิวมีการกระจายตัวตามพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยแตกต่างกัน โดยในปี พ.ศ. 2558 ปริมาณโอโซนจะค่อนข้างต่ำในเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ในทุกพื้นที่ และพบว่าปริมาณโอโซนพื้นผิวทางภาคใต้จะมีค่าต่ำกว่าทางภาคกลาง ภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังพบปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดทางภาคเหนือในเดือนมีนาคมด้วย

5.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.4.1 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและข้อมูลจากดาวเทียม

1) การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลการจากดาวเทียมและสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ควรมีจำนวนตัวแปรมากพอ เพื่อที่จะทำให้การพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น หากข้อมูลที่น่าสนใจมีจำนวนน้อย ความถูกต้องของการพยากรณ์จะลดน้อยลงไปด้วย

2) การดำเนินงานควรมีการตรวจสอบสภาพแวดล้อมของสถานที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศซึ่งอาจจะมีผลต่อค่าการตรวจวัด และส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศได้

5.4.2 การจัดทำแผนที่ประมาณฝุ่นละออง (PM₁₀)

เนื่องจากกระบวนการคำนวณหา optical depth ของฝุ่นละอองที่พัฒนาขึ้นในโครงการนี้จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลดาวเทียมในช่วงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆเท่านั้น จึงส่งผลให้การคำนวณปริมาณฝุ่นละอองไม่สามารถทำได้ในช่วงที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ดังนั้นในอนาคตจึงมีข้อเสนอแนะให้ดำเนินการคำนวณครอบคลุมช่วงระยะเวลาที่ยาวนานมากกว่า 5 ปี จะช่วยให้ได้ข้อมูลมาทดแทนในบริเวณพื้นที่ที่มีเมฆปกคลุมได้

5.4.3 การจัดทำแผนที่ประมาณโอโซน (O₃)

1) แผนที่แสดงปริมาณโอโซนพื้นผิวสูงสุดซึ่งได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น (ปี พ.ศ. 2558) ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนสำหรับปีอื่น ๆ ได้ เนื่องจากค่าสูงสุดของแต่ละปีจะมีค่าไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามหากมีการเพิ่มจำนวนข้อมูลให้มากขึ้น (8-10 ปี) อาจจะทำให้เห็นการกระจายตามพื้นที่ของปริมาณโอโซนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2) ข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ได้จากดาวเทียม MLS/AURA เป็นข้อมูลเฉพาะช่วงเวลา
ที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ประเทศไทยเท่านั้น โดยทั่วไปดาวเทียมจะผ่านประเทศไทยทุก 1 -2 วัน แต่ไม่ครอบคลุม
พื้นที่ทั่วประเทศ ทำให้ข้อมูลที่รวบรวมได้มีไม่ครบถ้วน

3) จากผลการดำเนินงานในการหาปริมาณโอโซนพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมพบว่า ปริมาณโอโซน
พื้นผิวที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินส่วนใหญ่มีการแปรค่าไปในทิศทางเดียวกับปริมาณโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่
ได้จากดาวเทียม แต่มีบางช่วง (ฤดูแล้ง) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณโอโซนพื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลง
ตามกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ ดังนั้นในการหาปริมาณโอโซนพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมให้มีความถูกต้องแม่นยำ
มากขึ้นจำเป็นต้องพิจารณาตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณโอโซนพื้นผิว เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ทิศทางลม และฤดูกาล เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.จุมพล วิเชียรศิลป์. 2559. มลพิษทางอากาศ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://gi.bru.ac.th/gis/dr/files/18/13.pdf>. 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. 2559. มลพิษทางอากาศ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_polair.html). วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559.
- [3] สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2559. ปัญหามลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.diw.go.th/km/env/pdf/air.pdf>. วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559.
- [4] กรมควบคุมมลพิษ . 2558. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2558. หน้า 9-10
- [5] Particulate matter. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>. วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2559.
- [6] ผู้นำละอองและผลต่อสุขภาพ. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: [http://www.stou.ac.th/study/sumrit/6-59\(500\)/page2-6-59\(500\).html](http://www.stou.ac.th/study/sumrit/6-59(500)/page2-6-59(500).html). วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2559.
- [7] โอโซน. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.il.mahidol.ac.th/emediacology/chapter2/chapter2_airpolution8.htm). วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559
- [8] ผลกระทบของมลพิษทางอากาศ. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.bangkokcleanair.com/index.php/2015-12-11-15-50-58/air-quality-management/effect/impact-on-ecosystems>). วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559.
- [9] โอโซน. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=14>. 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559.
- [10] อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ (Satellite remote sensing of pollution with application to the Arctic. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.candac.ca/create/ss2012/talks/Day5_McLinden_L3_remote_sensing.pdf.) วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ.2558.
- [11] เสริม และคณะ. 2553. การศึกษาผลของฝุ่นละอองในบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.
- [12] ดาวเทียมสำรวจ: การกิจการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของโลก. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: [http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=Climate Change01](http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=Climate%20Change01)). วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2559

- [13] OMI Total ozone column. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/omi/>. วันที่ 10 มีนาคม พ.ศ.2559.
- [14] EOS-AURA OMI. (2559). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://aura.gsfc.nasa.gov/scinst/omi.html>. วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2559
- [15] Tropospheric ozone column (2559). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://projects.knmi.nl/omi/research/product/product_generator.php?&info=page&product=Ozone&flavour= OMTROPO3&long=Tropospheric%20Ozone. วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2559
- [16] Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Tanré, D., Matoo, S., Chu, D.A., Martins, J.V., Li, R.-R., Ichoku, C., Levy, R.C., Kleidman, R.G., Eck, T.F., Vermote, E., Holben, B.N. 2005. “The MODIS aerosol algorithm, products, and validation”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JAS3385.1>
- [17] Ahmad, A. and Hashim, M. 2002. “DETERMINATION OF HAZE USING NOAA-14 AVHRR SATELLITE DATA.” Image Processing and Application Division Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://a-a-r-s.org/aars/proceeding/ACRS2002/Papers/OCM02-1.pdf> (2016, March 10).
- [18] Nuno Grosso, Francisco Ferreira และ Sandra Mesquita. 2007. “Improvement in particles (PM10 urban air quality mapping interpolation using remote sensing data.”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://books.google.co.th/books?id=5194>. (2016, February 22).
- [19] ตรีนุช จันทราช. 2554. “การศึกษาเชิงแสงของฝุ่นละอองจากข้อมูลภาคพื้นดินและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในประเทศไทย”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [20] J.-C. Péré, V. Pont, M. Mallet and B. Bessagnet. 2007. “Mapping of PM10 surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South-Eastern France” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.8953&rep=rep1&type=pdf>.
- [21] อรประภา และคณะ. 2552. การตรวจติดตามคุณภาพอากาศแบบ Real-time ในสิ่งแวดล้อมเมืองโดยใช้เครื่องตรวจวัดจากภาคพื้นดิน ชุดอุปกรณ์นาโนเทคโนโลยีก๊าซเซ็นเซอร์ชนิดทินออกไซด์ และภาพถ่ายดาวเทียมผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบอินเทอร์เน็ต. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

- [22] ฉัตร พงษ์วิวัฒน์กุล และทรงกต ทศานนท์. 2554. “การจำลองความเข้มข้นของสารแขวนลอยในอากาศโดยใช้ข้อมูล MODIS ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย”. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการรับรู้ระยะไกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [23] เกียรติกัญญา จันทระกำธร. 2555. “การทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากภาพถ่ายดาวเทียม Terra/ Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [24] Di Noia, P.Sellitto, F.Del Frate, and J. de Laat. 2013. “Global tropospheric ozone column retrievals from OMI data by means of neural networks” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.atmos-meas-tech.net/6/895/2013/amt-6-895-2013.pdf>.
- [25] J. R. Ziemke, S. Chandra, B. N. Duncan, L. Froidevaux, P. K. Bharti, P. F. Levelt, และ J. W. Waters. 2006. “Tropospheric ozone determined from Aura OMI and MLS: Evaluation of measurements and comparison with the Global Modeling Initiative’s Chemical Transport Model”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/cloud_slice/papers/2006jd007089.pdf. วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2559
- [26] J. R. Ziemke, S. Chandra, B. N. Duncan, M. R. Schoeberl, O. Torres, M. R. Damon, P. K. Bharti. 2009. “Recent biomass burning in the tropics and related changes in tropospheric ozone(ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL039303/abstract>. วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2559
- [27] J. R. Ziemke. 2010. “Science Results Based on Aura OMI-MLS Measurements of Tropospheric Ozone and Other Trace Gases”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://cedadocs.badc.rl.ac.uk/1141/60/Ziemke_AuraScience.pdf. วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2559
- [28] E. J.Brinksma et al. 2003. “OMI Validation Requirement”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://projects.knmi.nl/omi/documents/validation/RS-OMIE-KNMI-345_i1.pdf. วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2559
- [29] High Resolution Dynamics Limb Sounder (HIRDLS). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.nasa.gov/mission_pages/aura/spacecraft/hirdls.html. วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2559.
- [30] เนตรนภา ชิวปรีชา. 2548. “การศึกษาปริมาณโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- [31] การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.watpon.com/regression/chap2.pdf>. วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2559.
- [32] Regression Analysis. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/regression-analysis>. วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2559.
- [33] การกระเจิงของแสง. 2559. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/phenomenon/scattering>. วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- [34] เสริม และคณะ. 2553. การศึกษาผลของฝุ่นละอองในบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.
- [35] สายันต์ โพธิ์เกตุ และอภิวัฒน์ บุญเชื้อ. 2557. การคำนวณการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากละอองลอยในบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ.
- [36] กรมควบคุมมลพิษ. 2554. โอโซนดีหรือร้าย (ตอนที่ 2). (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://aqnis.pcd.go.th/node/320>. วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- [37] กรมควบคุมมลพิษ. 2551. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2550. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th/count/mgtdl.cfm?FileName=Report50.pdf>. วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
- [38] ธนิกันต์ ลาภาพิพัฒน์. (2549). ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโอโซนกับสารตั้งต้นและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [39] RALUCA BARLADEANU, SABINA STEFAN, RAZVAN RADULESCU. 2012. "CORRELATION BETWEEN THE PARTICULATE MATTER (PM10) MASS CONCENTRATIONS AND AEROSOL OPTICAL DEPTH IN BUCHAREST, ROMANIA". (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.rrp.infim.ro/2012_64_4/art18Barladeanu.pdf. วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2559.
- [40] Jamil Amanollahi, Ahmad Makmom Abdullah, Raheleh Farzanmanesh, Mohammad Firuz Ramli and Saeid Pirasteh. 2011. "PM10 Distribution using Remotely Sensed Data and GIS Techniques; Klang Valley, Malaysia". (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.tshe.org/ea/pdf/vol4%20no1%20p47-52.pdf>. วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2559.
- [41] Lili Li, Jingxue Yang and Yunpeng Wang. 2015. "Retrieval of High-Resolution Atmospheric Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol

- Optical Thickness over the Pearl River Delta Area, China”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา:
<http://www.mdpi.com/2072-4292/7/6/7914>. วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2559.
- [42] Aculinin A., A. Smirnov, V. Smicov, T. Eck, B. Holben. 2005 “Solar radiation, total column ozone content and aerosol optical properties monitoring at the ground-based station in Kishinev, Moldova” (ออนไลน์). แหล่งที่มา:
http://arg.phys.asm.md/paper/aculinin_7.pdf. วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2559
- [43] P. Jing, D. Cunnold, Y. Choi and Y. Wang. 2006. Summertime tropospheric ozone columns from Aura OMI/MLS measurements versus regional model results over the United States. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.nrsc.gov.in/sites/all/pdf/Ozone_TechDoc.pdf. วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2559
- [44] Thiranan Sonkaew และ Ronald Macatanganga. 2015. “Determining relationships and mechanisms between tropospheric ozone column concentrations and tropical biomass burning in Thailand and its surrounding regions” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/6/065009>. วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2559
- [45] สมเกียรติ พันธุ์ศิริ และ กิตาการ สายธนู. 2557. “การทำนายค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดรายวันของก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลกด้วยตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลัก” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (ม.ค.-มิ.ย. 2556) หน้า 144-152
- [46] ศิริพงศ์ สุขทวี. 2547-2548. การประเมินความเข้มข้นของโอโซนบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยรามคำแหงโดยใช้วิธี Multiple Linear Regression. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม.