



โครงการ ASIA-AQ: การศึกษาคุณภาพอากาศ ในเอเชียด้วยเครื่องบินและดาวเทียม

รายงานการสังเคราะห์วิทยาศาสตร์เบื้องต้นของ ASIA-AQ ประเทศไทย



สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
ร่วมกับ หน่วยงานพันธมิตร

บทนำสู่รายงานการสังเคราะห์วิทยาศาสตร์เบื้องต้นของ ASIA-AQ ของประเทศไทย

ในประเทศไทย ปัญหาด้านมลพิษทางอากาศยังคงเป็นประเด็นเร่งด่วน โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมักสัมพันธ์กับปรากฏการณ์หมอกควันที่สามารถพบเห็นได้ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ เพื่อจัดการปัญหาดังกล่าว รัฐบาลไทยกำลังผลักดันร่างพระราชบัญญัติบริหารจัดการเพื่ออากาศสะอาด ที่ผ่านมาประเทศไทยมีการบังคับใช้กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมและดำเนินโครงการติดตามด้านสิ่งแวดล้อมมาอย่างยาวนาน ดังรายละเอียดในภาคผนวกของรายงานฉบับนี้ ซึ่งโครงการ Airborne and Satellite Investigation of Asian Air Quality หรือ ASIA-AQ ถือเป็นโครงการสำคัญในการศึกษามลพิษทางอากาศในบริบทของประเทศไทยและให้ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการที่สามารถสนับสนุนการกำหนดนโยบายและแนวทางการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศผ่านการสำรวจอย่างละเอียดเพื่อบูรณาการถึงสาเหตุของคุณภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน

โครงการ ASIA-AQ เป็นการทำงานร่วมกันของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเพื่อศึกษาคุณภาพอากาศในประเทศไทย นำโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ร่วมกับ องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) จากสหรัฐอเมริกา และสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (NIER) จากสาธารณรัฐเกาหลี การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการเชื่อมโยงเครือข่ายนักวิจัยจากนานาชาติเข้ากับผู้เชี่ยวชาญในประเทศไทย ทั้งจาก GISTDA สถาบันการศึกษา รวมถึงกรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT)

การศึกษาในครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับสาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพในประเทศไทย ในการดำเนินการครั้งนี้ NASA ได้ใช้เครื่องบิน DC-8 และ G-III ทำการเก็บข้อมูลและตรวจวัดตัวแปรด้านคุณภาพอากาศอย่างละเอียดระหว่างเที่ยวบินวิจัยในวันที่ 16, 18, 20 และ 25 มีนาคม พ.ศ. 2567 นอกจากนี้ทีมนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกาหลี (Korea University) ได้ติดตั้งสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินที่ จ.เชียงใหม่ ในระหว่างดำเนินการศึกษานี้อีกด้วย อีกทั้งยังมีการใช้แบบจำลองการพยากรณ์อุตุนิยมวิทยาและคุณภาพอากาศมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจบินสำรวจในแต่ละวัน ซึ่งประสิทธิภาพของแบบจำลองดังกล่าวสามารถพิสูจน์ได้ด้วยผลการตรวจวัดของคุณภาพอากาศ

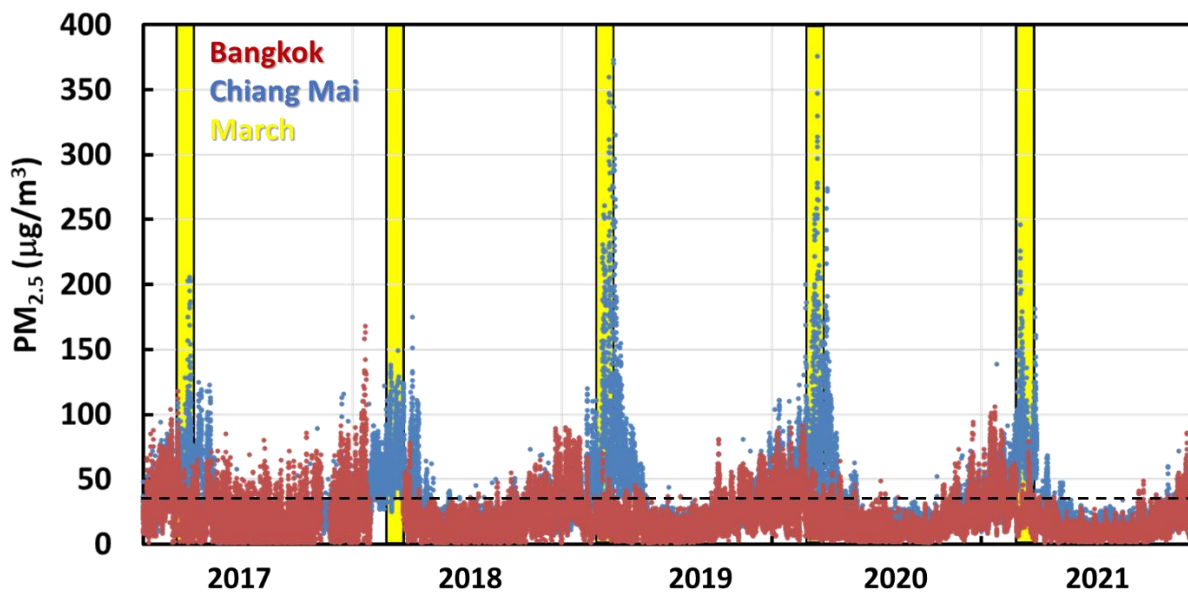
ซึ่งรายงานฉบับนี้จะระบุถึงข้อค้นพบเบื้องต้นถึงต้นเหตุสำคัญของการปลดปล่อยมลพิษที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ตัดสินใจในระดับนโยบายสำหรับกำหนดแนวทางและพัฒนากลยุทธ์ในการบรรเทาปัญหามลพิษทางอากาศที่ประเทศไทยกำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

โครงการ ASIA-AQ ในครั้งนี้ได้ตรวจวัดมลพิษทางอากาศทั่วทวีปเอเชีย นอกจากประเทศไทยแล้ว ภายใต้โครงการนี้ยังมีการสำรวจที่ฟิลิปปินส์ สาธารณรัฐเกาหลี และได้หวัน ในรูปแบบที่ไม่เคยมีมาก่อน ผ่านการสุ่มตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ทั้งแนวราบและในแนวตั้ง ทั้งมลพิษในรูปแบบก๊าซและฝุ่นละออง อย่างไรก็ตาม แม้การดำเนินงานตรวจวัดจะให้ข้อมูลที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง แต่การเก็บข้อมูลในช่วงสั้นๆ อาจยังไม่เพียงพอสำหรับใช้วิเคราะห์คุณภาพอากาศที่ประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบันได้ทุกประเด็น บทนำนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อสรุปประโยชน์ ตลอดจนข้อจำกัดของโครงการ ASIA-AQ ที่ควรพิจารณาในการนำข้อมูลไปใช้ต่อยอดสำหรับการวิจัยและการพัฒนามาตรการด้านคุณภาพอากาศ

การเก็บข้อมูลภายใต้โครงการ ASIA-AQ ในประเทศไทย ได้เลือกช่วงเวลาที่มีกิจกรรมการเผาไหม้และ มีมลพิษสูงในภาคเหนือของประเทศไทย ในขณะที่ปัจจัยที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศใน กรุงเทพมหานคร มีลักษณะคงที่ตลอดปี

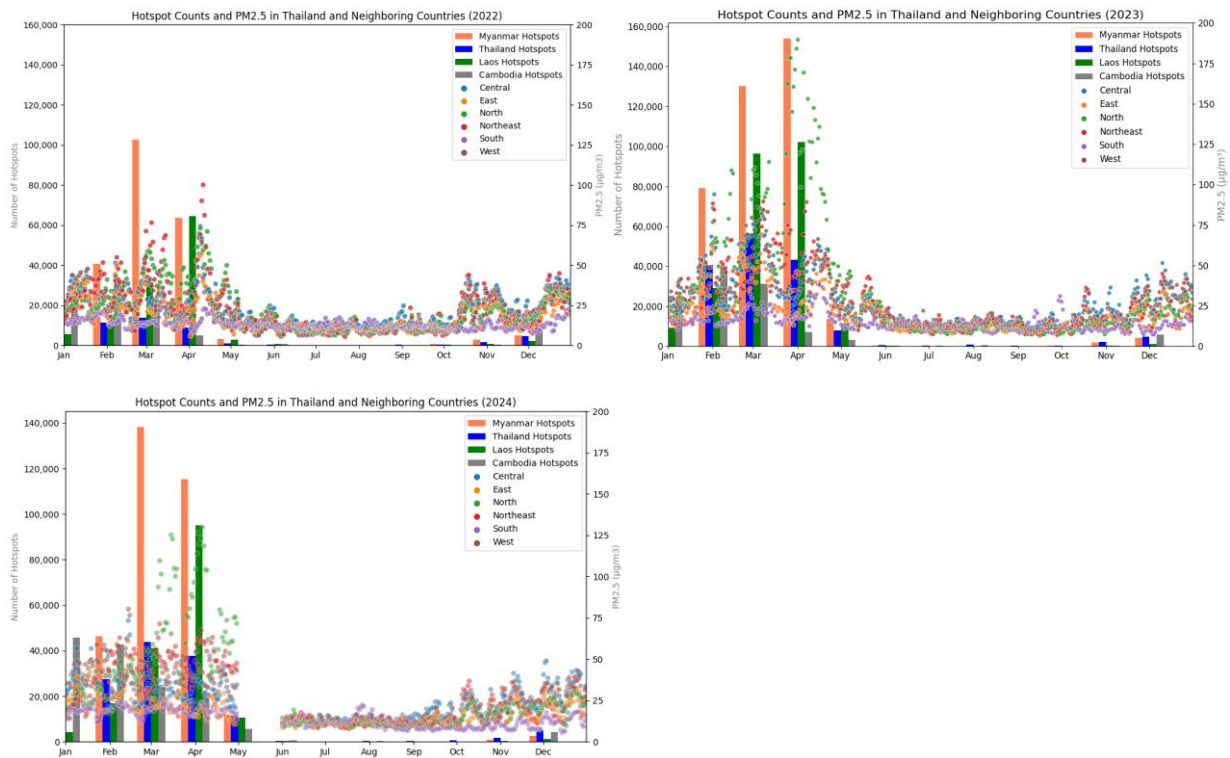
ตลอดเวลาที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความเร่งด่วนของปัญหามลพิษทางอากาศและได้จัดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ โดยสถานีดังกล่าวสามารถตรวจวัดสารมลพิษที่สำคัญ ได้แก่ โอโซน (O_3) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นต้น โดยในรายงานเล่มนี้จะพิจารณาค่ามาตรฐานของสารมลพิษ 2 ชนิด คือ โอโซน (O_3) และ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะต่อระบบทางเดินหายใจ ฐานข้อมูลมลพิษในอดีตที่ได้จากสถานีตรวจวัดมีบทบาทสำคัญที่ช่วยในการเลือกช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ที่สุดสำหรับการวางแผนเที่ยวบินเพื่อทำการวิจัยครั้งนี้ โดยกรมควบคุมมลพิษได้ให้ชุดข้อมูล $PM_{2.5}$ ย้อนหลังแก่นักวิทยาศาสตร์จาก NASA และ NIER ในปี พ.ศ.2565 ซึ่งชุดข้อมูลดังกล่าวได้มาจากสถานีตรวจวัดใน 2 สถานี คือ กรมประชาสัมพันธ์ในกรุงเทพมหานคร และศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่

ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดทั้ง 2 สถานีในช่วงระหว่าง พ.ศ. 2559-2564 (รูปที่ 1.) แสดงให้เห็นถึงวัฏจักรมลพิษทางอากาศที่เป็นไปตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในพื้นที่ของ จ.เชียงใหม่ ซึ่งมีระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงกว่ากรุงเทพมหานคร และพบค่าสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมของแต่ละปี โดยช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์สูงสุดใน จ.เชียงใหม่ สอดคล้องกับจำนวนการเผาในที่โล่งและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า ซึ่งสามารถยืนยันได้จากข้อมูลจุดความร้อนที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ในทางกลับกันพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงสุดในช่วงต้นปี โดยเฉพาะในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีความกดอากาศสูง ทำให้เกิดการกักมลพิษทางอากาศใกล้พื้นดิน นอกจากนี้ แหล่งกำเนิดมลพิษในกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มคงที่ตลอดทั้งปี ด้วยเหตุนี้ เดือนมีนาคมจึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสำรวจคุณภาพอากาศ ทั้งในเขตเมืองของกรุงเทพมหานคร และในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง

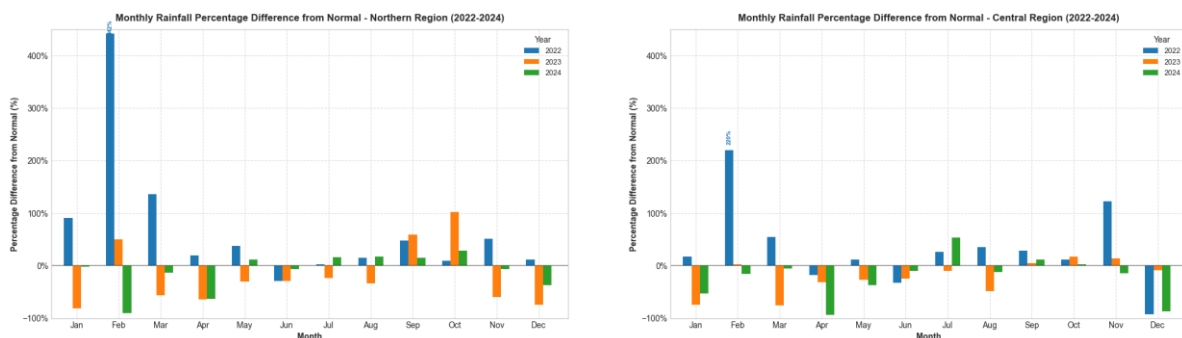


รูปที่ 1. ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงในกรุงเทพมหานคร (สถานีกรมประชาสัมพันธ์, จุดสีแดง) และใน จ.เชียงใหม่ (สถานีศาลากลาง, จุดสีน้ำเงิน) ในช่วง พ.ศ. 2559 - 2564 โดยจุดสูงสุดของมลพิษทางอากาศในช่วงเดือนมีนาคมแสดงโดยแถบสีเหลือง และเส้นประแสดงถึงค่ามาตรฐานของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงอยู่ที่ $37.5 \mu g/m^3$

เมื่อพิจารณาในช่วง 2 ปีก่อนโครงการ ASIA-AQ พบว่ากิจกรรมการเผาไหม้กับค่า $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์กัน อย่างชัดเจนตามข้อมูลในรูปที่ 2 ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในภาคเหนือของไทยแสดงให้เห็นว่าระดับของ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับการตรวจจับจุดความร้อนโดยดาวเทียมเหนือประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างปีโดยในปี พ.ศ. 2565 เป็นปีที่มลพิษทางอากาศต่ำกว่า ปี พ.ศ. 2566 เนื่องจากมีฝนตกปริมาณมากทำให้กิจกรรมการเผาไหม้ลดลง นอกจากนี้ ข้อมูลยังแสดงให้เห็นว่าสถิติฝนในปี พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นช่วงที่ทำการศึกษาของโครงการ ASIA-AQ ซึ่งมีปริมาณฝนใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2566 ตามข้อมูลในรูปที่ 3. ผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเผาไหม้และ $PM_{2.5}$ จากการเก็บข้อมูลโครงการ ASIA-AQ จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อ “แหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยมีอะไรบ้าง”



รูปที่ 2. รูปทั้งสองแสดงถึงวงจรตามฤดูกาลของระดับ PM_{2.5} เฉลี่ยรายวันและจำนวนจุดความร้อนที่ตรวจพบในแต่ละภาคของประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านในปี พ.ศ. 2565 – 2567 โดยกราฟแท่งแสดงถึงจำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน ส่วนจุดแสดงถึงความเข้มข้นของ PM_{2.5} แยกตามภาคในประเทศไทย



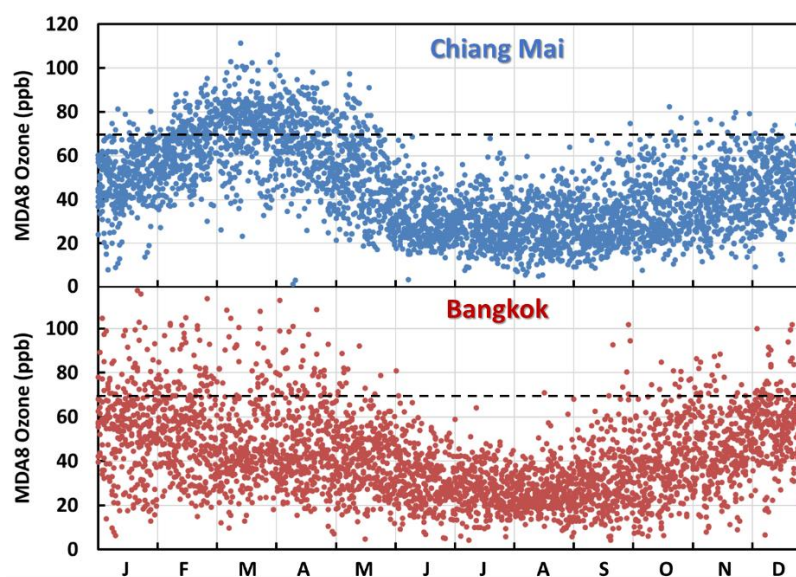
รูปที่ 3. รูปทั้งสองแสดงถึงร้อยละของปริมาณฝนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือน โดยแยกเป็นภาคเหนือ (ด้านซ้าย) และภาคกลาง (ด้านขวา)

**ประชาชนส่วนใหญ่มักจะกังวลกับ PM_{2.5} มากกว่าโอโซน เพราะ PM_{2.5} สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
ทั้งที่จริงแล้วโอโซนก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพไม่แพ้กัน**

ในมุมมองของสาธารณชน สิ่งที่ประชาชนสามารถสังเกตได้ง่ายที่สุดคือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{2.5}) ที่เห็นได้ชัดจากการกระเจิงแสงในช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยเฉพาะเมื่อคุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของ PM_{2.5} คือ 37.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) อย่างไรก็ตาม การประเมินระดับของมลพิษโดยการสังเกตด้วยตาเปล่ามักก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน เนื่องจากลักษณะการกระเจิงของแสงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ ความชื้นสัมพัทธ์ คุณสมบัติของ

อนุภาค เช่น ขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบทางเคมี สำหรับโอโซน (O_3) ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ประชาชนจึงมักไม่ตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการได้รับโอโซนในระดับที่สูงเกินมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ การสร้างความรับรู้ให้กับประชาชนถึงผลเสียจากทั้ง $PM_{2.5}$ และโอโซน เพื่อให้ประชาชนใส่ใจกับผลกระทบจากมลพิษที่มีต่อสุขภาพจึงจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะฉะนั้น การสำรวจ ตรวจวัด มลพิษทางอากาศจึงมีความสำคัญ

ข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนในอดีต พ.ศ. 2554 - 2564 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างพื้นที่กรุงเทพมหานคร และ จ.เชียงใหม่ (ดังรูปที่ 4.) เนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่มีความผันแปรสูงในช่วงเวลาระหว่างวัน การประเมินคุณภาพอากาศจึงใช้เกณฑ์มาตรฐานตามค่าเฉลี่ยรายวันที่คำนวณจากค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (Maximum Daily 8-hour Average: MDA8) ซึ่งค่า MDA8 ใน จ.เชียงใหม่ แสดงให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งมีค่า MDA8 สูงเกินมาตรฐาน (70 ppb) เนื่องจากเป็นช่วงที่มักเกิดกิจกรรมการเผาไหม้ ในทางตรงกันข้าม พื้นที่กรุงเทพมหานคร พบค่าความเข้มข้นของโอโซนสูงเกินมาตรฐานต่อเนื่องตลอดช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤษภาคม โดยมีค่าสูงสุดที่ 90 ppb หรือมากกว่า สาเหตุอาจมาจากปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่มีอยู่มากในกรุงเทพมหานคร ซึ่งจะมีการอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อ “แหล่งกำเนิดและปัจจัยการเกิดโอโซนในประเทศไทยมีอะไรบ้าง”



รูปที่ 4. ค่า MDA8 ของโอโซนที่ตรวจวัดในกรุงเทพมหานคร (สถานีกรมประชาสัมพันธ์, ข้อมูลสีแดง) และ จ.เชียงใหม่ (สถานีศาลากลาง, ข้อมูลสีน้ำเงิน) ในช่วงปี พ.ศ. 2554 - 2564

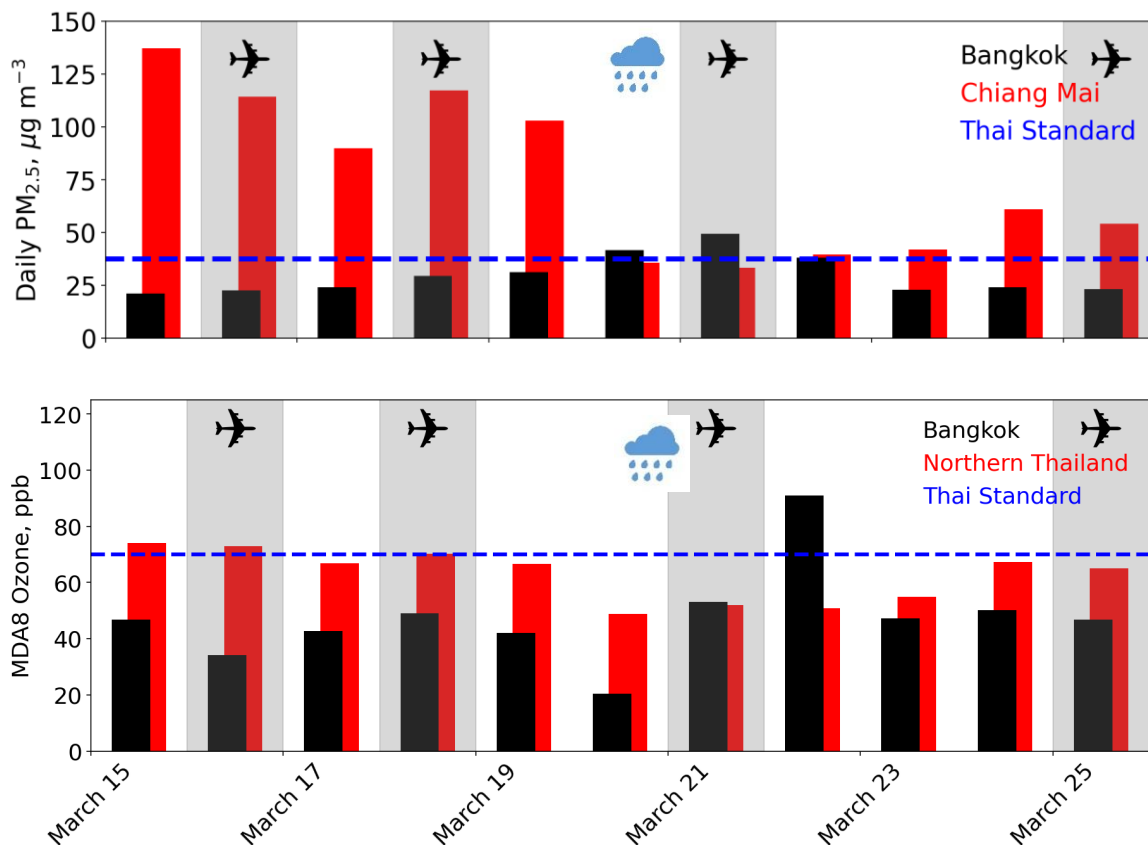
โครงการ ASIA-AQ มีการส่งเครื่องบินเพื่อเก็บข้อมูลในประเทศไทยจำนวน 4 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มข้นของ PM_{2.5} และโอโซนเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ซึ่งข้อมูลได้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของระดับมลพิษเนื่องจากมีกิจกรรมการเผาไหม้อย่างหนักในช่วง 2 เที่ยวบินแรก (วันที่ 16 และ 18 มีนาคม) จากนั้นจะลดลงใน 2 เที่ยวบินถัดมา (วันที่ 21 และ 25 มีนาคม) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่เก็บได้ในทุกๆ เที่ยวบินยังคงแสดงให้เห็นผลจากการเผาไหม้

เที่ยวบินวิจัยของ ASIA-AQ ได้เก็บข้อมูลคุณภาพอากาศในประเทศไทย ซึ่งมีระดับเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ดังที่คาดการณ์ไว้ ที่สำคัญกว่านั้นคือ ตัวอย่างที่ได้รับการเก็บในช่วงเวลาก่อนและหลังฝนตก ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ ทำให้สามารถประเมินแหล่งกำเนิดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับ จ.เชียงใหม่ พบค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานในวันที่ 16 และ 18 มีนาคม (รูปที่ 5.) แม้ว่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการเกิดฝนตกหนักซึ่งช่วยลดกิจกรรมการเผาไหม้ที่โล่งลงชั่วคราว แต่ค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้ยังคงอยู่ในระดับใกล้เคียงหรือเกินกว่าค่ามาตรฐาน ก่อนที่จะกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้งตามการกลับมาของกิจกรรมการเผาไหม้

ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่าค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} เกินค่ามาตรฐานเล็กน้อยจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมหลังจากการเกิดฝนตก ในส่วนต่อไปของรายงานจะมีการระบุถึงแหล่งกำเนิด PM_{2.5} ในหัวข้อแหล่งกำเนิดหลักของ PM_{2.5} ในประเทศไทยมีอะไรบ้าง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองที่เก็บโดยเครื่องบินและการติดตามแหล่งกำเนิดของการเผาไหม้ให้หลักฐานที่เพียงพอที่จะระบุว่า การเผาไหม้ที่โล่งมีบทบาทสำคัญต่อความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในช่วงที่สูงสุดในภาคเหนือของประเทศไทย รวมไปถึงหลักฐานต่อเนื่องของการเผาไหม้ที่ส่งผลต่อการศึกษาลดลงทั้งเที่ยวบินจากกรุงเทพมหานคร ไปยัง จ.เชียงใหม่

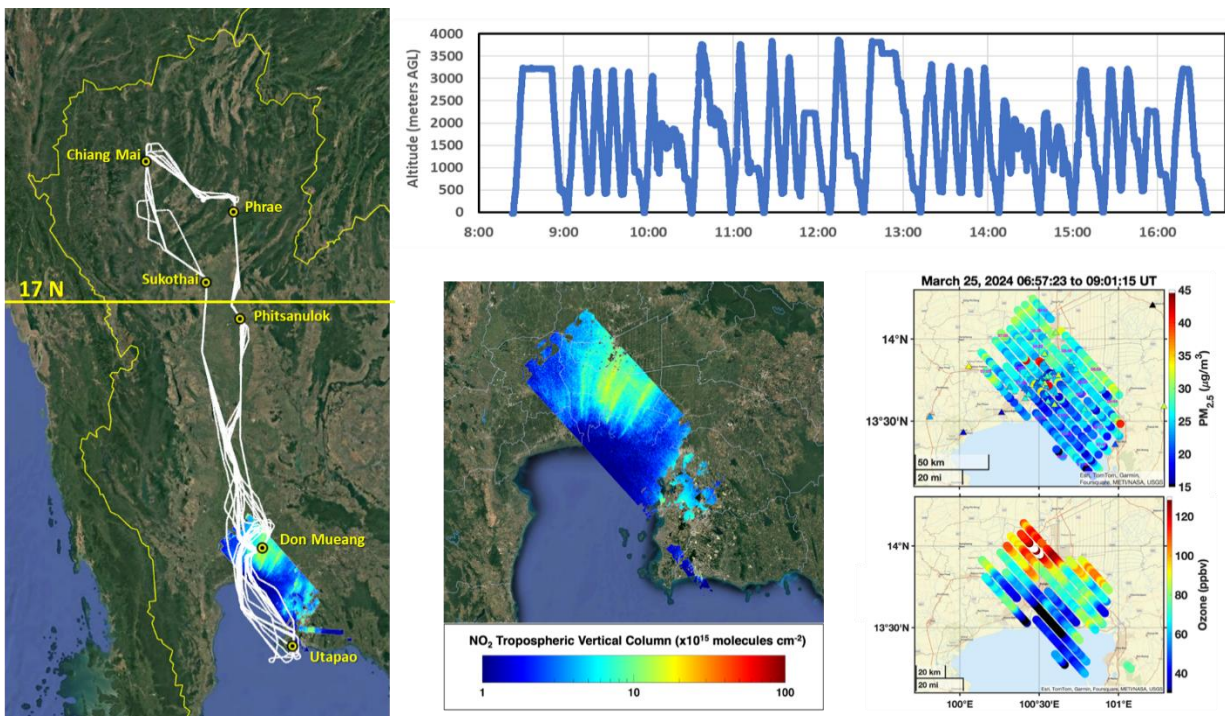
ในส่วนของโอโซน พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า MDA8 ใน จ.เชียงใหม่ ถึงแม้ว่าค่าที่สูงที่สุดจะยังคงตรวจวัดได้ที่กรุงเทพมหานคร ในวันที่ 22 มีนาคม ข้อแตกต่างนี้สอดคล้องกับปริมาณโอโซนตลอดทั้งปี ตามรูปที่ 4. ที่แสดงว่าช่วงเวลาที่โอโซนมีค่าสูงสุดใน จ.เชียงใหม่ มีความสัมพันธ์กับฤดูกาลที่มีการเผาไหม้ และมีค่าคงที่ต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้ามระดับโอโซนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีความแปรปรวนมากกว่า โดยได้รับอิทธิพลจากการปลดปล่อยมลพิษในเขตเมืองและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในหัวข้อ “แหล่งกำเนิดและปัจจัยการเกิดโอโซนในประเทศไทย” จะได้กล่าวถึงความแตกต่างนี้ในรายละเอียด



รูปที่ 5. ระดับคุณภาพอากาศที่ตรวจวัดได้โดยเครือข่ายสังเกตการณ์คุณภาพอากาศภาคพื้นดินในประเทศไทย ในช่วงระหว่างการศึกษา ASIA-AQ กราฟแท่งระบุค่าเฉลี่ยในแต่ละวันของ ความเข้มข้น PM_{2.5} (รูปด้านบน) และค่า MDA8 ของโอโซน (รูปด้านล่าง) ตรวจวัดโดยสถานีในพื้นที่กรุงเทพมหานคร (สีดำ) และ จ.เชียงใหม่ (สีแดง) เส้นประสีน้ำเงินระบุถึงค่าคุณภาพอากาศมาตรฐานของไทย สีเทาและสัญลักษณ์เครื่องบินแสดงถึงวันที่มีการขึ้นบินเพื่อทำวิจัย สัญลักษณ์เมฆแสดงถึงช่วงเวลาที่เงื่อนไขสภาพอากาศเปลี่ยนจากการเกิดฝนตกหนักและมีการเปลี่ยนแปลงกระแสลม

อากาศยาน NASA DC-8 ในโครงการ ASIA-AQ ปฏิบัติภารกิจเก็บตัวอย่างอากาศโดยตรงระหว่าง กรุงเทพฯ ถึงเชียงใหม่ เพื่อศึกษาองค์ประกอบบรรยากาศระดับต่ำอย่างละเอียด ส่วนเครื่องบิน G-III ใช้การตรวจวัดระยะไกลในการทำแผนที่สภาพอากาศเหนือกรุงเทพฯ

โครงการนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 วัน เพื่อศึกษาความแตกต่างของคุณภาพอากาศภายใต้สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้เครื่องบิน 2 ลำ ซึ่งปฏิบัติการจากสนามบินอู่ตะเภา และดำเนินการเก็บข้อมูลซ้ำในเส้นทางเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยเครื่องบิน DC-8 จะบินไปกลับระหว่างสนามบินอู่ตะเภาและสนามบินเชียงใหม่วันละ 2 เที่ยวบิน (ตามรูปที่ 6). โดยจะปรับระดับความสูงตลอดเส้นทางเพื่อตรวจวัดองค์ประกอบบรรยากาศชั้นล่าง และทำการบินระดับต่ำใกล้พื้นดินบริเวณสนามบินหลัก เช่น อู่ตะเภา ดอนเมือง พิษณุโลก สุโขทัย แพร่ และเชียงใหม่ เพื่อเก็บข้อมูลตลอดชั้นบรรยากาศตั้งแต่ระดับสูงถึงพื้นดิน ส่วนเครื่องบิน G-III จะบินเหนือกรุงเทพและปริมณฑล และตรวจวัด PM_{2.5}, O₃, NO₂ และ CH₂O 3 ครั้งต่อวัน โดยภาพตัวอย่างอยู่ในรูปที่ 6 นอกจากการบินพร้อมเครื่องบิน DC-8 แล้ว เครื่องบิน G-III ยังได้ทำการบิน ในวันที่ 19 และ 23 มีนาคมเพิ่มเติมอีกด้วย

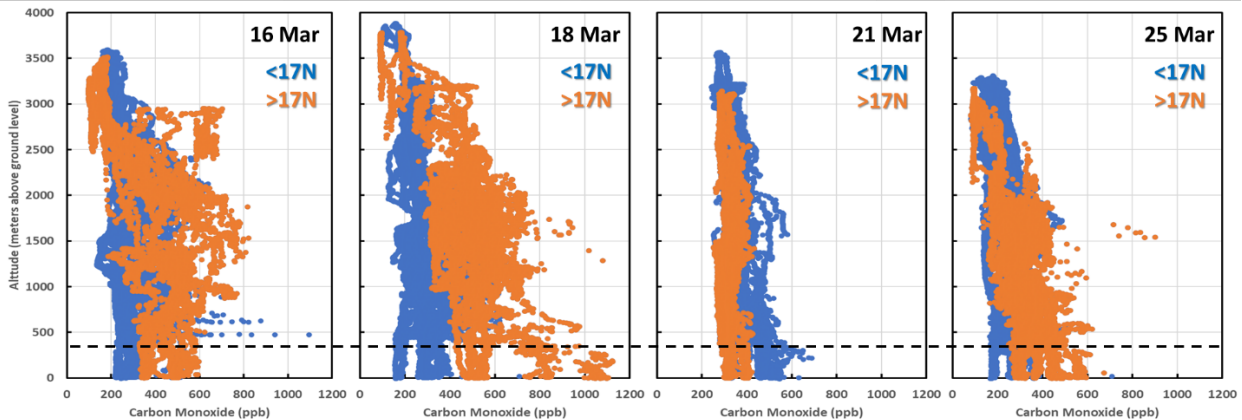


รูปที่ 6. (ซ้าย) แผนที่แสดงเส้นทางการเก็บตัวอย่างของเครื่องบิน NASA DC-8 และ G-III โดยเส้นสีขาวแสดงเส้นทางการบินของ DC-8 จากอุตรดิตถ์ไปยังเชียงใหม่ (ขวาบน) ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงอย่างต่อเนื่องของ DC-8 (ขวาล่าง) พื้นที่การสำรวจด้วยการตรวจวัดระยะไกลเหนือกรุงเทพมหานครโดยเครื่องบิน G-III พร้อมตัวอย่างข้อมูล NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ และโอโซน

ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าลักษณะของมลพิษในกรุงเทพฯ นั้นมีการแปรผันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการกระจายตัวของ NO_2 ในรูปที่ 6. ซึ่งแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ของมลพิษในแนวทิศเหนือ อันอาจเป็นผลจากการพัดเข้าของลมทะเลจากอ่าวไทย ส่งผลให้ระดับโอโซนในพื้นที่ตอนเหนือของเมืองมีความเข้มข้นสูงกว่า 100 ppb ขณะที่บริเวณตอนใต้ได้ใกล้ชายฝั่งกลับมีความเข้มข้นต่ำเพียง 40 ppb ความแตกต่างอย่างมากของคุณภาพอากาศภายในเมืองนี้เองที่เน้นย้ำถึงความสำคัญของการพิจารณาตำแหน่งและจำนวนสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพฯ อย่างเหมาะสมและครอบคลุม

ในรูปที่ 7. แสดงผลการบินของเครื่องบิน DC-8 ซึ่งให้ข้อมูลที่มีความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่ (แนวราบและแนวตั้ง) และเชิงเวลา ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบอื่น ๆ รวมถึงองค์ประกอบของฝุ่นละออง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการระบุแหล่งกำเนิดของมลพิษ ดังที่เห็นจากการตรวจวัดภาคพื้นดินในรูปที่ 4. ข้อมูลการบินของ DC-8 ยังแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอย่างชัดเจนระหว่างสองเที่ยวบินแรกและสองเที่ยวบินหลัง โดยพบลักษณะการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ในระดับภูมิภาคจากค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ยังสามารถตรวจพบได้ที่ระดับความสูงประมาณ 3,000 เมตร ซึ่งเป็นผลจากการรวมตัวของมลพิษในพื้นที่และการเคลื่อนที่ของมลพิษ ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงไปสู่สภาวะอากาศที่สะอาดขึ้นในพื้นที่ตอนเหนือเมื่อวันที่ 21 มีนาคม ปรากฏชัดเจนทั้งในระดับพื้นดินและชั้นบรรยากาศชั้นล่าง นอกจากนี้ การดำเนินการบินในระดับต่ำใกล้

สนามบิน (ต่ำกว่า 300 เมตรจากพื้นดิน) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการได้มาซึ่งข้อมูลคุณภาพสูง ซึ่งไม่สามารถเก็บข้อมูลได้จากเที่ยวบินปกติของเครื่องบินประเภทอื่น (เส้นประในรูปที่ 7.)

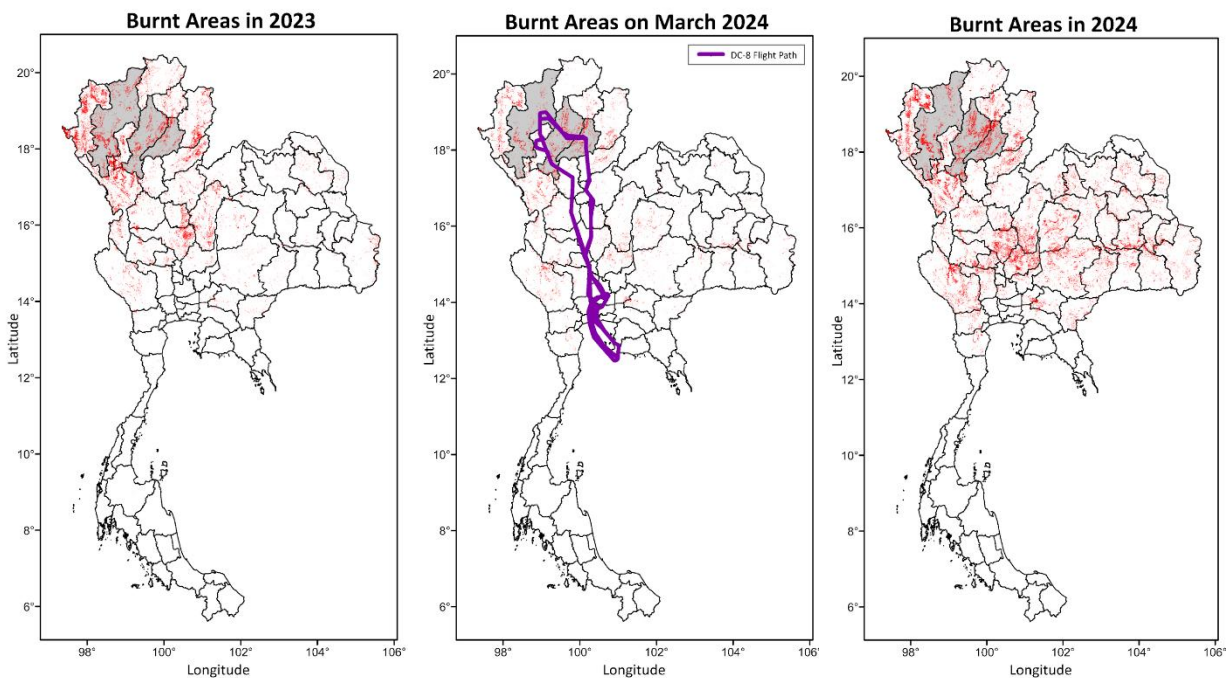


รูปที่ 7. ระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยเครื่องบิน NASA DC-8 ใน 4 เที่ยวบินเก็บตัวอย่างของโครงการ ASIA-AQ ข้อมูลแบ่งตามพื้นที่ทางใต้ (สีน้ำเงิน) และเหนือ (สีส้ม) ของละติจูด 17°N (ดูได้ในรูปที่ 6) เส้นประสีดำที่ 300 เมตร (1,000 ฟุต) แสดงถึงขีดจำกัดความสูงต่ำสุดของการบินตามปกติ ซึ่งสูงกว่าระดับที่ทำการบินต่ำเพื่อเก็บข้อมูลใกล้พื้นดินบริเวณสนามบิน

อิทธิพลจากการเผาไหม้มีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อคุณภาพอากาศของประเทศไทย เน้นย้ำถึงความจำเป็นอย่างยิ่งในการติดตามกิจกรรมการเผาไหม้ ไม่เพียงแต่ในประเทศเท่านั้น แต่ยังรวมถึงประเทศเพื่อนบ้านด้วย

สถิติรายปีของจุดความร้อนและพื้นที่เผาไหม้ในประเทศไทยเป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ผลกระทบของไฟป่าต่อคุณภาพอากาศ ซึ่งข้อมูลจาก GISTDA ถือเป็นแหล่งข้อมูลจากดาวเทียมที่เชื่อถือได้และมีคุณภาพสูง แผนที่ในรูปที่ 8. แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเผาไหม้ในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 นั้นใกล้เคียงกัน และที่น่าสังเกตคือในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 พื้นที่ที่มีการเผาไหม้หนาแน่นที่สุดนั้นสอดคล้องกับเส้นทางการบินของ DC-8 ทางตอนเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง และแพร่

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าพื้นที่ป่าได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้มากที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2566 มีพื้นที่ป่าถูกเผาไหม้กว่า 11,000 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 61.43% ของพื้นที่เผาไหม้ทั้งหมด ข้อมูลจุดความร้อนใน เดือนมีนาคม 2567 ยังชี้ให้เห็นว่าไฟป่ายังคงเป็นสาเหตุหลักของการเผาไหม้ในประเทศไทย คิดเป็น 43.77% และมีการกระจายตัวที่สอดคล้องกับจุดความร้อน

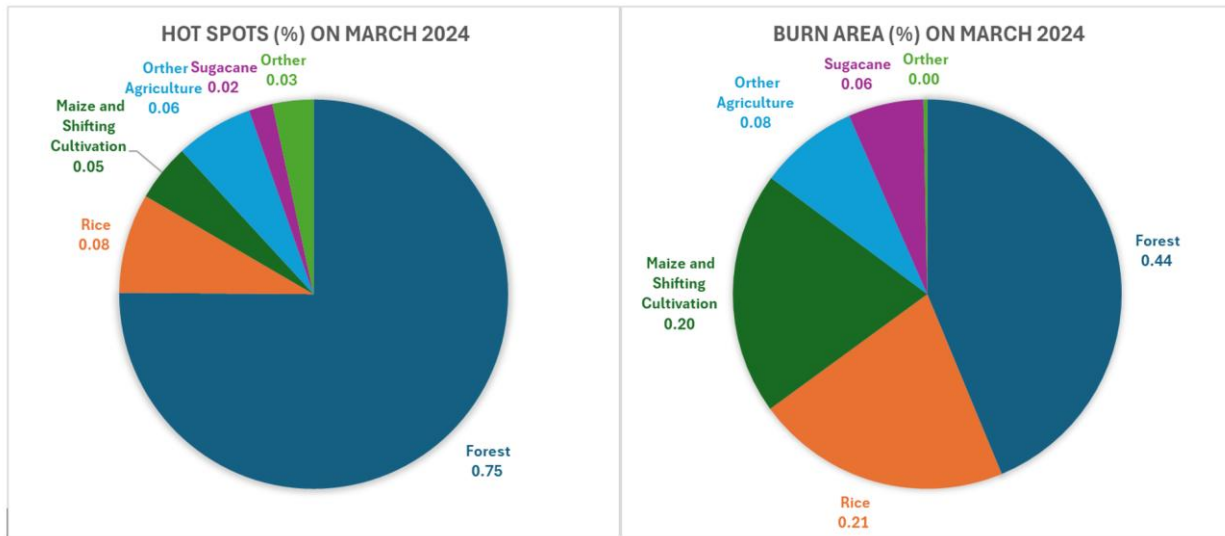


รูปที่ 8. พื้นที่ที่ถูกเผาในประเทศไทยในปี 2023 (ทั้งปี), เดือน มีนาคม 2024 และปี 2024 (รายปี) โดยพื้นที่ที่เครื่องบิน DC-8 บินผ่านและทับซ้อนกับพื้นที่ที่ถูกเผามากที่สุดคือบริเวณจังหวัด เชียงใหม่ ลำปาง และ แพร่ (ส่วนที่แสดงด้วยสีเทา)

ข้อมูลสถิติเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 จากการศึกษา ASIA-AQ (ตารางที่ 1 และรูปที่ 8.) เผยให้เห็นความแตกต่างในการประเมินผลกระทบของไฟในประเทศไทย โดยเมื่อพิจารณาจากพื้นที่เผาไหม้ พบว่าไฟป่าและการเผาในพื้นที่เกษตรมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาจากจำนวนจุดความร้อนโดยภาพถ่ายดาวเทียม ไฟป่ากลับมีสัดส่วนที่สูงกว่ามาก สาเหตุอาจเนื่องมาจากระยะเวลาการเผาไหม้และปริมาณเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน โดยไฟในพื้นที่เกษตรมักมีระยะเวลาสั้น ทำให้พลาดการตรวจจับในลักษณะจุดความร้อน แต่ยังคงถูกนับรวมในการประเมินพื้นที่ ในทางตรงกันข้าม ไฟป่ามีระยะเวลานานกว่าและมีเชื้อเพลิงมากกว่า ทำให้ตรวจจับจุดความร้อนได้ง่ายกว่า ด้วยเหตุนี้ ข้อมูลทั้งจุดความร้อนและพื้นที่เผาไหม้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้

แม้ว่าการตรวจจับจุดความร้อนในประเทศเพื่อนบ้านจะเป็นเรื่องง่าย แต่การจัดทำข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ต้องอาศัยทรัพยากรมากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากจำนวนจุดความร้อนที่สูงกว่าในประเทศเมียนมาและประเทศลาว (รูปที่ 2.) การลงทุนในการจัดทำข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ในประเทศเหล่านี้จะทำให้ได้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าในการประเมินผลกระทบข้ามพรมแดน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและบริหารจัดการคุณภาพอากาศในระดับภูมิภาค

ตารางที่ 1. พื้นที่เผาไหม้ในประเทศไทยช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 จำแนกตามประเภทการใช้ที่ดิน



ประเภทการใช้ที่ดิน	จุดความร้อน (จุด)	ร้อยละ	พื้นที่เผาไหม้ (ตร.กม.)	ร้อยละ
ป่าไม้	34,576	75.1%	3,615	43.7%
นาข้าว	3,811	8.3%	1,754	21.2%
ข้าวโพดและไร่เลื่อนลอย	2,184	4.8%	1,669	20.2%
พื้นที่เกษตรอื่น ๆ	2,978	6.5%	682	8.3%
อ้อย	907	2.0%	517	6.3%
อื่น ๆ	1,570	3.4%	27	0.3%
รวมทั้งหมด	46,026	100.00%	8,264	100.00%

คำถามที่รายงานผลการศึกษาเบื้องต้นฉบับนี้มุ่งหาคำตอบ

รายงานนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ พร้อมบทสรุป โดยแต่ละบทจะกล่าวถึงความก้าวหน้าในการตอบคำถามที่สำคัญ โดยอ้างอิงที่ได้จากโครงการ ASIA-AQ ที่ดำเนินการในประเทศไทย แม้ว่าผลการวิเคราะห์ในรายงานนี้จะเป็นเพียงเบื้องต้น แต่ก็มีที่น่าเชื่อถือสูง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมจะช่วยให้ได้ข้อสรุปที่แม่นยำยิ่งขึ้น ทั้งนี้เป้าหมายในปีต่อไปคือการเผยแพร่ผลการศึกษฉบับสมบูรณ์ในวารสารวิชาการที่ผ่านการรับรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงหารือถึงยุทธศาสตร์ ในการลดการปล่อยมลพิษกับคุณภาพอากาศในประเทศไทย ควรเริ่มโดยที่ไม่ต้องรอการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต้องดำเนินต่อไป

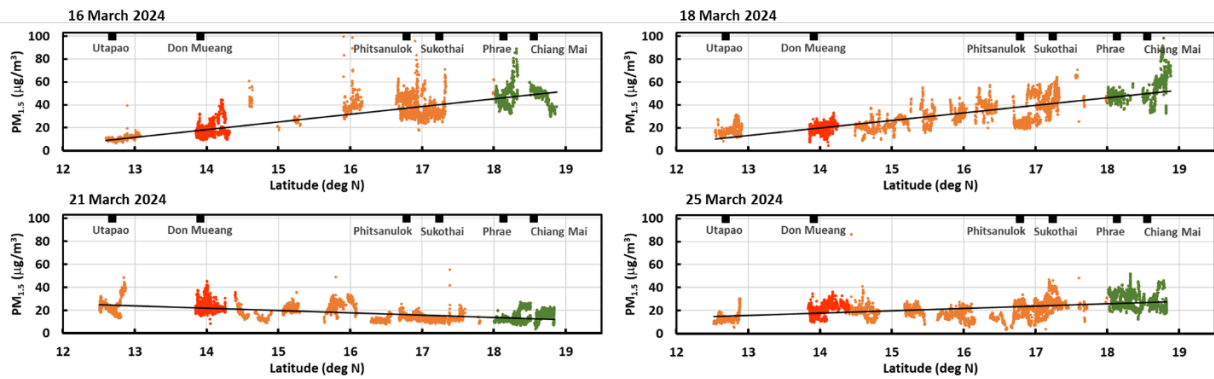
รายงานฉบับนี้มุ่งตอบคำถามต่อไปนี้:

1. แหล่งกำเนิดหลักของ PM2.5 ในประเทศไทยมีอะไรบ้าง
2. แหล่งกำเนิดและปัจจัยการเกิดโอโซนในประเทศไทยมีอะไรบ้าง
3. สภาพอากาศมีอิทธิพลต่อ PM2.5 อย่างไร

คำถามที่ 1: แหล่งกำเนิดหลักของ PM_{2.5} ในประเทศไทยมีอะไรบ้าง

สรุปผล: การเผาชีวมวลถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางอากาศในภาคเหนือของประเทศไทย โดยพบระดับความเข้มข้นของ PM_{1.5} สารอะซีโตไนไตรล์ (acetonitrile) สูงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และบริเวณโดยรอบ ในขณะที่การปล่อยมลพิษจากเขตเมืองมีส่วนสำคัญต่อสารมลพิษ เช่น โทลูอิน (toluene) ในกรุงเทพมหานคร การเกิดฝนในวันที่ 21 มีนาคม ช่วยลดระดับมลพิษชั่วคราว ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบทบาทของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในการฟอกอากาศ ผลการศึกษานี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการดำเนินมาตรการควบคุมมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศตามฤดูกาล

มลพิษทางอากาศยังคงเป็นความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย โดยพบค่าความเข้มข้น PM_{2.5} และสารมลพิษอื่น ๆ ในระดับที่เป็นอันตราย โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง หนึ่งในประเด็นเร่งด่วนสูงสุดของประเทศไทยคือการทำความเข้าใจแหล่งที่มาและปัจจัยที่ควบคุมปริมาณ PM_{2.5} ดังที่แสดงไว้ในบทนำ ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินแสดงให้เห็นว่าเชียงใหม่มีระดับ PM_{2.5} สูงกว่ากรุงเทพมหานครอย่างมีนัยสำคัญ และการเปลี่ยนแปลงของค่า PM_{2.5} มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับกิจกรรมการเผา ข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์บนเครื่องบิน DC-8 ของ NASA ยืนยันปรากฏการณ์และความสัมพันธ์ดังกล่าว แม้ว่าการตรวจวัดด้วยเครื่องบินจะจำกัดอยู่ที่อนุภาคขนาดเล็กไม่เกิน 1.5 ไมครอน (PM_{1.5}) แต่ก็ทำให้ได้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคขนาดเล็กได้ การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบของ PM_{1.5} ร่วมกับสารบ่งชี้ทางเคมีที่สำคัญ (เช่น สารอะซีโตไนไตรล์ เบนซีน และโทลูอิน) ให้หลักฐานสำคัญเกี่ยวกับบทบาทของการเผาและแหล่งกำเนิดในเมืองต่อแนวโน้มและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อมลพิษ PM_{2.5} ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย เส้นทางการบินตรวจวัดจากสนามบินอุตะเถาทางตอนใต้ถึงเชียงใหม่ทางตอนเหนือวันละสองเที่ยวบิน ช่วยให้สามารถเก็บตัวอย่าง PM_{1.5} ในชั้นบรรยากาศระดับล่างได้กว้างขึ้นในแต่ละวันที่ทำการบิน (รูปที่ 9.)



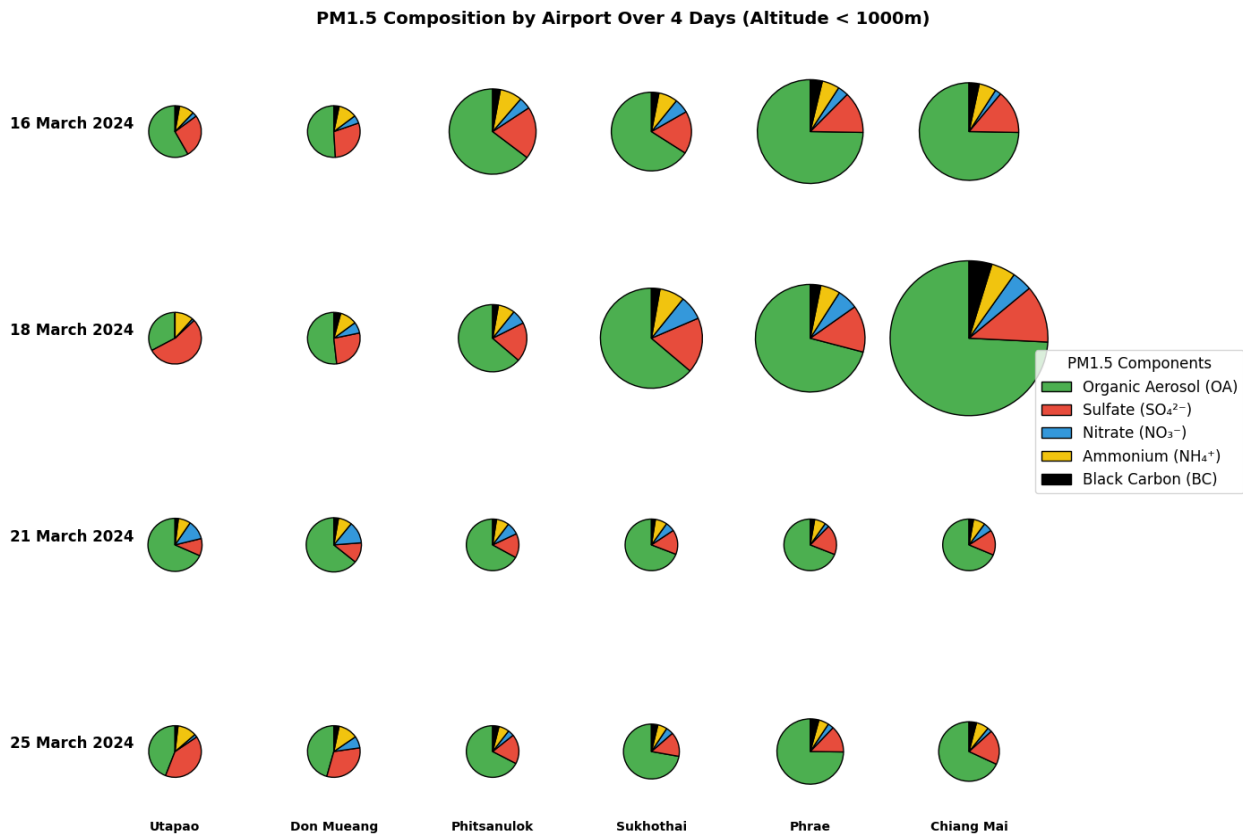
รูปที่ 9. การกระจายตัวตามละติจูดของค่า $PM_{1.5}$ ที่ความสูงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร จากข้อมูลการบินตรวจวัดด้วย DC-8 ทั้ง 4 เที่ยวบินในโครงการ ASIA-AQ โดยระบุตำแหน่งสนามบินที่ทำการบินระดับต่ำไว้ด้านบน สีแดงแสดงถึงการตรวจวัดเหนือกรุงเทพมหานครและสีเขียวแสดงการตรวจวัดเหนือจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนสีส้มคือสนามบินอื่น ๆ ในประเทศไทย

รูปที่ 9. แสดงค่าความเข้มข้นของ $PM_{1.5}$ ในประเทศไทยที่ระดับความสูงน้อยกว่า 1,000 เมตร จากพื้นดิน ในช่วง 4 วันที่มีการบินสำรวจในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 โดยแกน x ของกราฟแสดงค่าละติจูด ตั้งแต่พื้นที่ทางตอนล่าง (เช่น อุตะเถา ดอนเมือง) จนถึงพื้นที่ทางตอนเหนือ (เช่น เชียงใหม่) ในช่วงสองวันแรก (16 และ 18 มีนาคม) พบค่าความเข้มข้น $PM_{1.5}$ ในภาคกลางรวมถึงกรุงเทพมหานครอยู่ในระดับต่ำและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อเข้าใกล้ทางตอนเหนือ เนื่องจากกิจกรรมการเผาชีวมวลตามฤดูกาล แต่ในวันที่ 21 มีนาคม พบรูปแบบที่แตกต่างออกไป โดยมีความแปรปรวนน้อยกว่าและแนวโน้มลดลงตามแนวละติจูด สอดคล้องกับการเกิดฝนตกหนักในวันก่อนหน้าซึ่งช่วยชะล้างอนุภาคออกจากบรรยากาศและลดกิจกรรมการเผา ส่งผลให้ระดับมลพิษทางอากาศลดลงชั่วคราว ในวันที่ 25 มีนาคม เริ่มพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอนุภาคในภาคเหนืออีกครั้ง หลังจากกิจกรรมการเผาเริ่มกลับมาและเกิดการสะสมของควันไฟ เส้นแนวโน้มช่วยเน้นให้เห็นถึงลักษณะที่แตกต่างดังกล่าวได้ชัดเจน

แนวโน้มองค์ประกอบของ $PM_{1.5}$ ตามแนวละติจูดที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการบินตรวจวัดยืนยันบทบาทสำคัญของกิจกรรมการเผาในการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ (รูปที่ 10.) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของ $PM_{1.5}$ ในทุกพื้นที่และช่วงเวลาทำการตรวจวัด พบว่าละอองลอยประเภทอินทรีย์ หรือ Organic Aerosol (สีเขียว) มีสัดส่วนสูงสุดอย่างต่อเนื่อง รองลงมาคือ ซัลเฟต (สีแดง) และองค์ประกอบอื่น ๆ ในสัดส่วนที่น้อยกว่า แม้การกระจายตัวขององค์ประกอบ $PM_{1.5}$ จะค่อนข้างคงที่ในแต่ละวัน แต่ยังคงพบความแปรผันสำคัญที่สอดคล้องกับบทบาทหลักของการเผาชีวมวลและการปล่อยสารอินทรีย์อื่น ๆ โดยเฉพาะในภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้

แผนภูมิวงกลมในรูปที่ 10. สอดคล้องกับการวิเคราะห์ที่ความในรูปที่ 9. ซึ่งสะท้อนสะท้อนความแตกต่างของค่าความเข้มข้น $PM_{1.5}$ ทั้งหมดในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลาการตรวจวัด โดยในวันที่ 16 และ 18 มีนาคม พบสัดส่วนละอองลอยประเภทอินทรีย์เพิ่มขึ้นในพื้นที่ทางตอนเหนือ สอดคล้องกับอิทธิพลของกิจกรรมการเผาที่มากในพื้นที่ดังกล่าว ในขณะที่วันที่ 21 มีนาคม พบว่าปริมาณ $PM_{1.5}$ โดยรวมลดลง โดยมีสัดส่วนองค์ประกอบอินทรีย์ลดลงและ

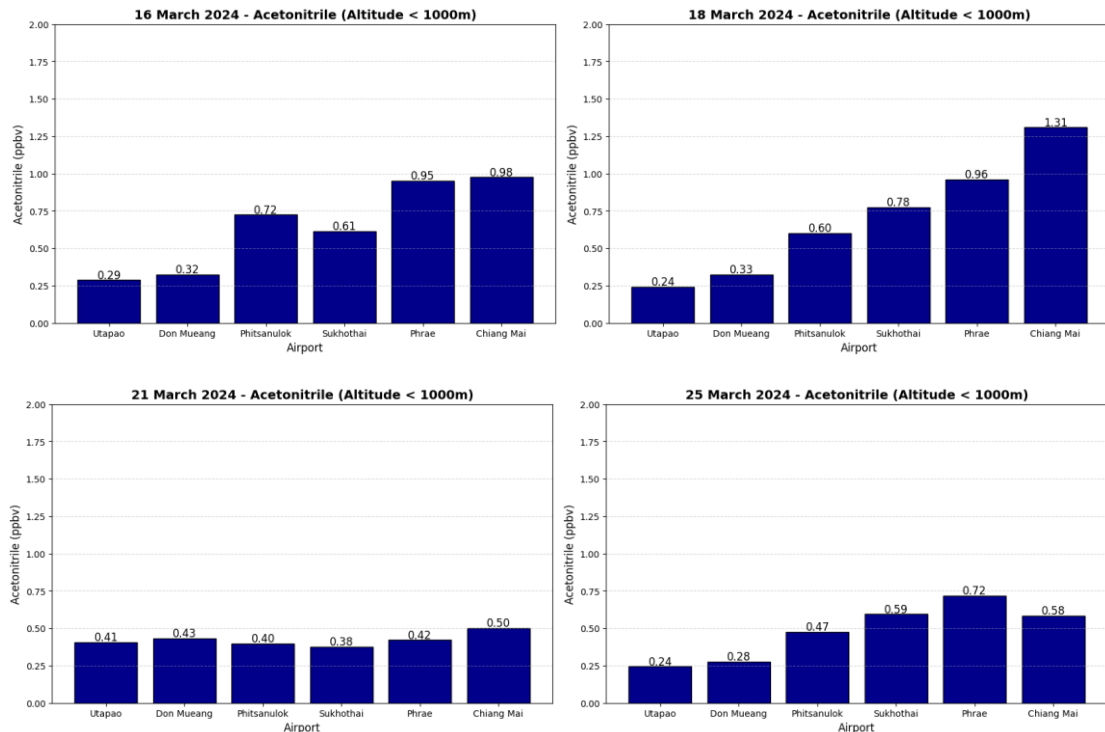
ความแตกต่างขององค์ประกอบระหว่างภูมิภาคน้อยที่สุดจากการตรวจวัดทั้ง 4 วัน อย่างไรก็ตามในวันที่ 25 มีนาคม พบการเพิ่มขึ้นของ $PM_{1.5}$ ในพื้นที่ภาคเหนือ ควบคู่กับสัดส่วนละอองลอยประเภทอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเผาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่จะแยกแยะว่าละอองลอยอินทรีย์ที่พบ เกิดจากการเผาอะไรยังเป็นเรื่องยาก เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะลบล้างรอยที่ใช้จำแนกไปได้อย่างรวดเร็ว แต่อุปกรณ์บน DC-8 ยังสามารถตรวจวัดตัวบ่งชี้ที่เป็นประโยชน์อื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับการเผา



รูปที่ 10. การวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{1.5}$ จากการตรวจวัดโดยเครื่องบิน DC-8 จากการบินทั้ง 4 วัน ที่ระดับความสูงต่ำสุดในช่วงการบินใกล้พื้นดินเหนือสนามบินทั้ง 6 แห่ง เรียงลำดับจากสนามบินในตอนล่างสุด (ซ้าย) จนถึงตอนเหนือสุด (ขวา) โดยขนาดของแผนภูมิแสดงถึงปริมาณของ $PM_{1.5}$ ในแต่ละวัน

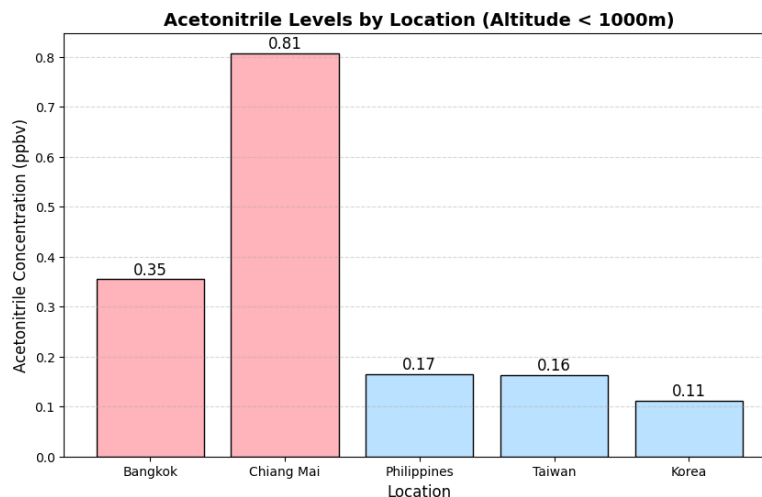
รูปที่ 11. แสดงให้เห็นความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของ สารอะซีโตไนไตรล์ (CH_3CN) ซึ่งเป็นสารบ่งชี้การเผาชีวมวลที่มีอายุยาวนานในบรรยากาศ โดยมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทางภาคเหนือในวันที่ 16 และ 18 มีนาคม ซึ่งค่าที่วัดได้ในพื้นที่ทางตอนเหนือมีค่าสูงกว่าค่าในพื้นที่ทางตอนล่างกว่า 5-6 เท่า เป็นหลักฐานยืนยันอิทธิพลของการเผาในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจวัดจากดาวเทียมที่พบกิจกรรมการเผาหนาแน่นและค่าความเข้มข้นของมลพิษจากอนุภาคฝุ่นที่สูงในภาคเหนือ ในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งเป็นวันที่ตรวจพบระดับ $PM_{1.5}$ ต่ำที่สุดในช่วงการตรวจวัด ก็พบปริมาณสารอะซีโตไนไตรล์ที่ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน ในขณะที่วันที่ 25 มีนาคม เมื่อกิจกรรมการเผาเริ่มกลับมาอีกครั้ง แนวโน้มดังกล่าวก็ปรากฏขึ้นอีก โดยสารอะซีโตไนไตรล์ในทางตอนเหนือมีค่าสูงกว่าทางตอนใต้ประมาณ

2-3 เท่า สำหรับพื้นที่ทางตอนล่างในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งพบว่าสารอะซีโตไนไตรล์สูงกว่าวันอื่นเล็กน้อย อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมที่อาจพามลพิษจากการเผาในประเทศลาวเข้าสู่พื้นที่กรุงเทพมหานครและอุทตะก



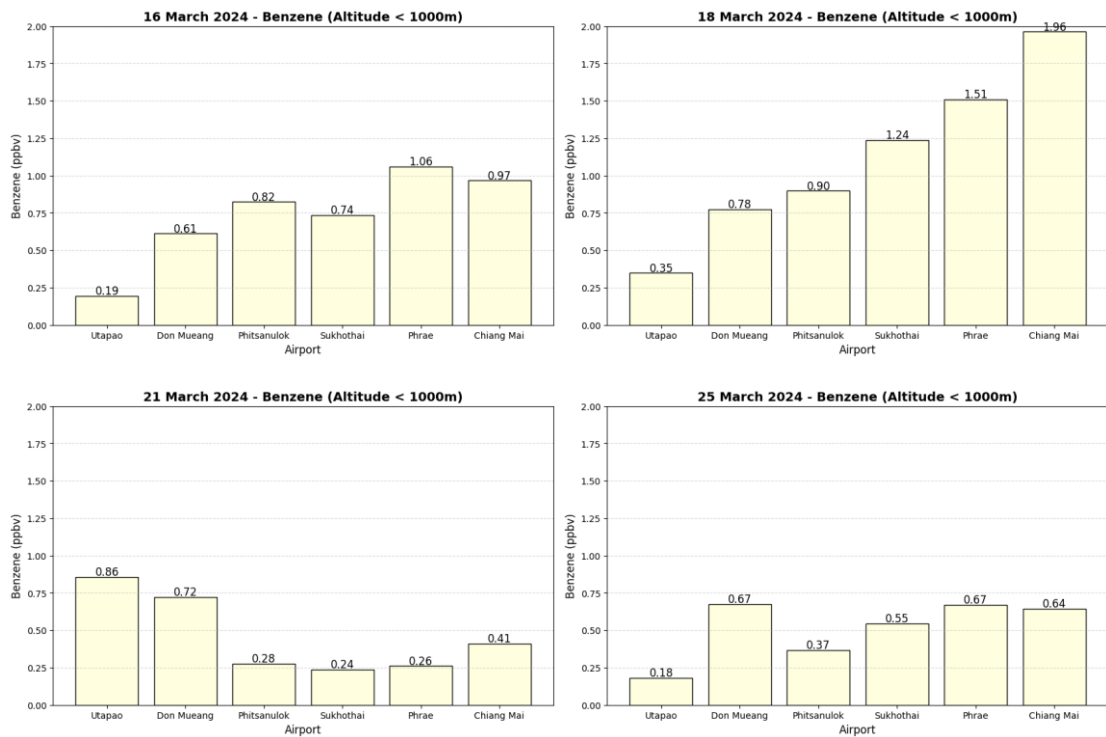
รูปที่ 11. ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดจาก DC-8 สารอะซีโตไนไตรล์ จากการบินทั้ง 4 วัน ที่ความสูงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ในช่วงการบินใกล้พื้นดินเหนือสนามบินทั้ง 6 แห่ง

ข้อสังเกตสำคัญคือ กิจกรรมการเผาในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านไม่เคยหยุดลงอย่างสมบูรณ์ และควันไฟยังคงเป็นองค์ประกอบคงที่ของมลพิษทางอากาศในประเทศไทยตลอดช่วงการสำรวจภายใต้โครงการ ASIA-AQ แม้แต่ในพื้นที่ตอนใต้ของเขตพื้นที่ศึกษา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับค่าสารอะซีโตไนไตรล์ระหว่างเที่ยวบินจากประเทศอื่น ๆ ที่เข้าร่วมโครงการ ASIA-AQ กับค่าเฉลี่ยที่วัดได้ในกรุงเทพมหานครและจังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 12.) พบว่าแม้กระทั่งในกรุงเทพมหานครยังสามารถพบระดับค่าสารอะซีโตไนไตรล์ในชั้นบรรยากาศระดับต่ำกว่า 1 กิโลเมตร สูงกว่าค่าที่พบในประเทศอื่น ๆ กว่า 2-3 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจวัดจากดาวเทียมที่พบการเผาและหมอกควันในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทุกปีในช่วงฤดูร้อน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของปัญหาหมอกควันที่ ยังคงเป็นความท้าทายสำคัญสำหรับการบริหารจัดการคุณภาพอากาศในระดับภูมิภาค

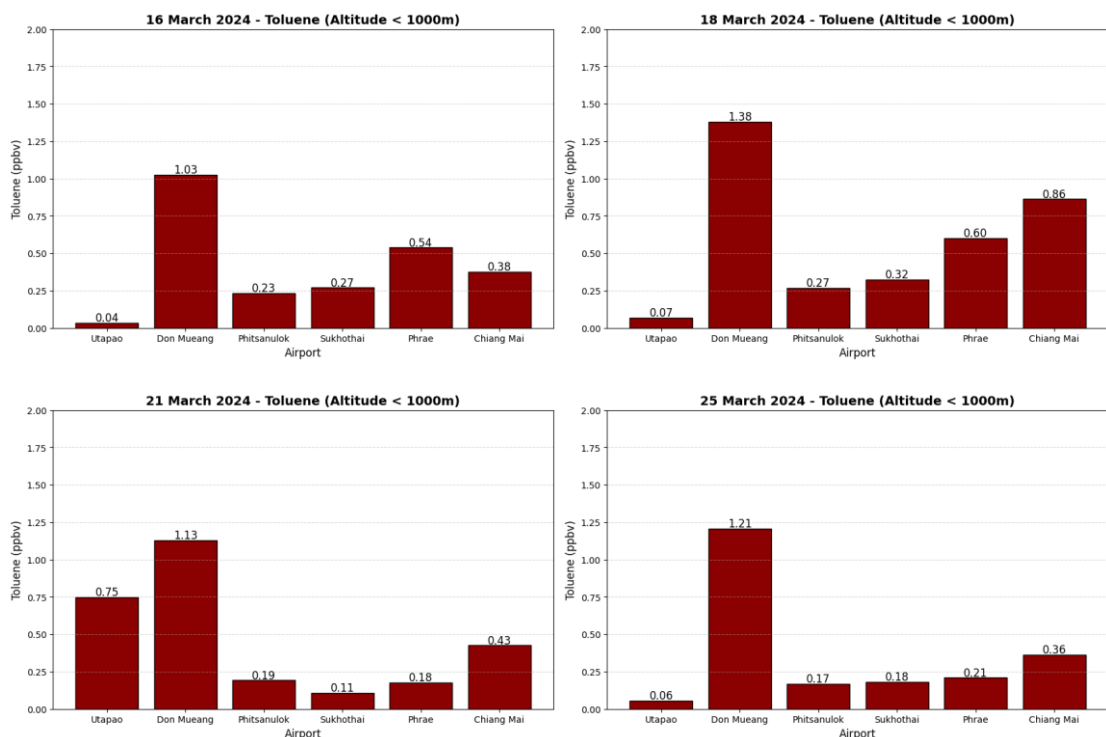


รูปที่ 12. ค่าเฉลี่ยของสารอะซิโตไนไตรล์ที่ระดับความสูงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ในช่วงการบินใกล้พื้นดินเหนือกรุงเทพมหานครและจังหวัดเชียงใหม่ (สีแดง) เทียบกับประเทศอื่นในโครงการ ASIA-AQ

นอกจากสารบ่งชี้เฉพาะของการเผาในที่โล่งแล้ว ยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่แม้จะไม่จัดเป็นสารบ่งชี้เฉพาะแต่ได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากกระบวนการเผาไหม้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งแสดงค่าไว้ในรูปที่ 6. การวิเคราะห์พฤติกรรมสัมพันธ์ระหว่างเบนซีนและโทลูอีนให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีประโยชน์ โดยสารประกอบอะโรมาติกทั้งสองชนิดนี้แสดงความแปรผันต่างกันตามแหล่งกำเนิด กล่าวคือ เบนซีนมักมีความสัมพันธ์กับการเผาชีวมวลและการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ ในขณะที่โทลูอีนมักสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดจากยานพาหนะและอุตสาหกรรม ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเบนซีนในภาคเหนือช่วงวันที่ 16 และ 18 มีนาคม เมื่อการเผามีบทบาทหลัก (รูปที่ 13.) ในทางกลับกัน โทลูอีนมีค่าสูงสุดในกรุงเทพมหานครอย่างสม่ำเสมอในทั้งสี่วันของการบินตรวจวัด (รูปที่ 14.) นอกจากสารประกอบที่ยกขึ้นมานี้แล้ว ยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่กำลังอยู่ระหว่างการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางสถิติ เช่น แบบจำลองการแยกตัวประกอบเมทริกซ์เชิงบวก (Positive Matrix Factorization: PMF) เป็นต้น ซึ่งการประยุกต์ใช้ PMF กับข้อมูลการตรวจวัดจากเครื่องบิน DC-8 จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการหาสัดส่วนอิทธิพลสัมพันธ์ของการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะและอุตสาหกรรมเทียบกับการเผาชีวมวลในพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงการศึกษาของโครงการ ASIA-AQ



รูปที่ 13. ค่าเฉลี่ยข้อมูลการตรวจวัดสารเบนซีนจากเครื่องบิน DC-8 ที่ความสูงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ในระหว่างการบินระดับต่ำเหนือสนามบิน 6 แห่ง ในระหว่าง 4 เที่ยวบินของ ASIA-AQ



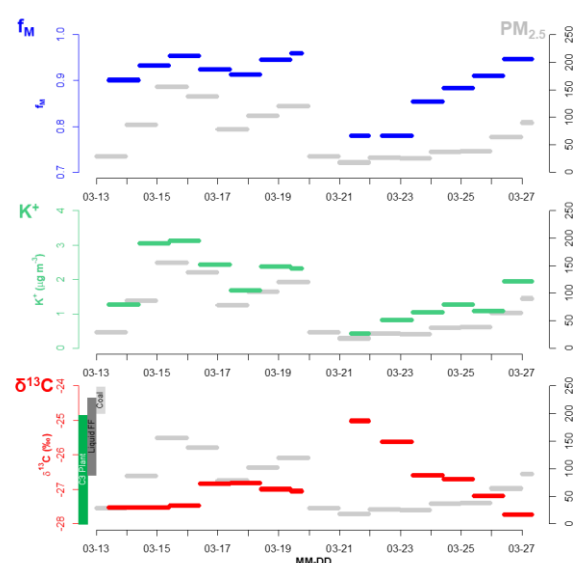
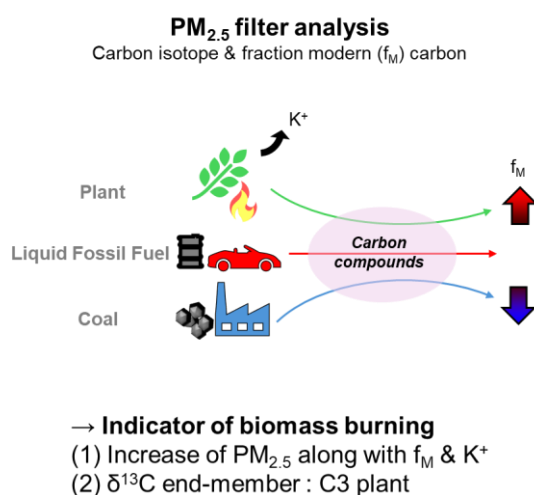
รูปที่ 14. ค่าเฉลี่ยข้อมูลการตรวจวัดสารโทลูอีนจากเครื่องบิน DC-8 ที่ความสูงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ในระหว่างการบินระดับต่ำเหนือสนามบิน 6 แห่ง ในระหว่าง 4 เที่ยวบินของ ASIA-AQ

จากการศึกษาข้อมูลภาคพื้นดินที่ดำเนินการตรวจวัด ณ จังหวัดเชียงใหม่โดยมหาวิทยาลัยเกาหลี (Korea University) ซึ่งช่วยสนับสนุนข้อมูลการตรวจวัดทางอากาศยานจากเครื่องบิน DC-8 ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง $PM_{2.5}$ จากแผ่นกรอง ซึ่งสามารถระบุดัชนีบ่งชี้ทางเคมี 3 ประเภทหลักที่แสดงถึงอิทธิพลจากการเผาไหม้ได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 15.)

ดัชนีบ่งชี้แรกได้จากการวิเคราะห์ Fraction Modern (f_M) ของคาร์บอน ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ระบุสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดจากชีวมวลเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่า f_M มีค่าสูงกว่า 0.7 ตลอดระยะเวลาการศึกษา ซึ่งบ่งชี้อิทธิพลของกระบวนการเผาไหม้ชีวมวล โดยพบค่า f_M สูงกว่า 0.9 ในช่วงที่มีความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงสุดก่อนเกิดเหตุการณ์ฝนตกในวันที่ 20 มีนาคม (รูปที่ 15. กราฟสีน้ำเงิน)

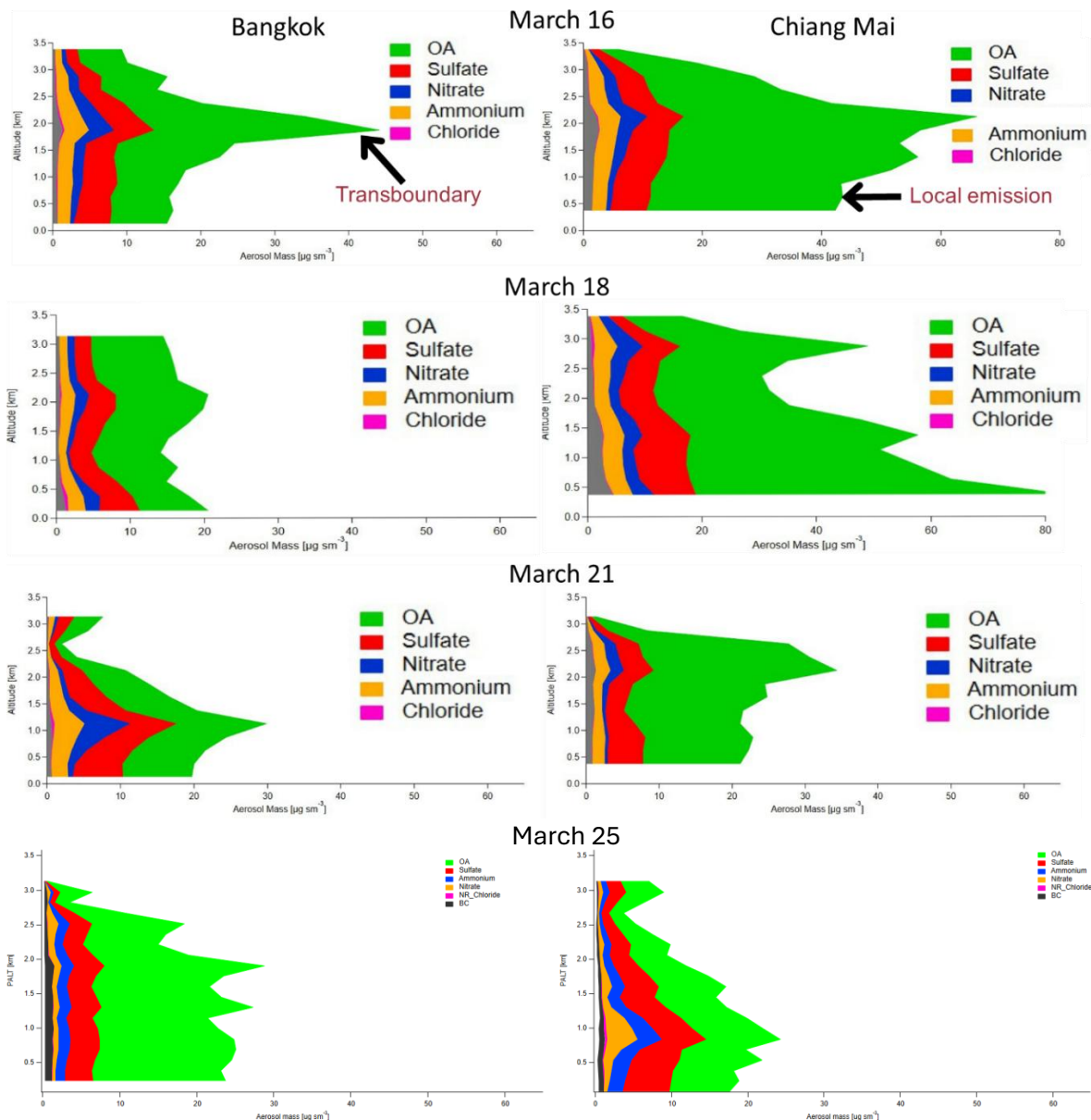
ตัวบ่งชี้ที่สอง คือ การตรวจวัดปริมาณโพแทสเซียมไอออน (K^+) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ทางเคมีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของกระบวนการเผาไหม้ชีวมวล ข้อมูลแสดงให้เห็นความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างระดับความเข้มข้นของ K^+ กับค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ (รูปที่ 15. กราฟสีเขียว) โดยมีค่าสูงสุดในช่วงที่มีการเผาไหม้อย่างหนาแน่นก่อนวันที่ 20 มีนาคม

ดัชนีบ่งชี้สุดท้าย คือ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของไอโซโทปของคาร์บอน-13 ($\delta^{13}C$) ซึ่งให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับแหล่งที่มาของมลพิษ จากการศึกษพบว่าค่า $\delta^{13}C$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้น (รูปที่ 15. กราฟสีแดง) เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและถ่านหินจะให้ค่า $\delta^{13}C$ ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเผาไหม้ชีวมวล ผลการวิเคราะห์ทางไอโซโทปนี้จึงเป็นการยืนยันเชิงประจักษ์ว่า แหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ ในช่วงวิกฤตมาจากการเผาไหม้ชีวมวลมากกว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล



รูปที่ 15. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง $PM_{2.5}$ จากแผ่นกรองที่เก็บจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ ASIA-AQ (รูปภาพโดย Junsu Gil จาก มหาวิทยาลัยเกาหลี (Korea University))

ดังที่ได้กล่าวในบทนำแล้วว่าอิทธิพลจากการเผาชีวมวลทั้งการเผาป่าและการเผาในพื้นที่เกษตรกรรมนั้น มาจากแหล่งกำเนิดระดับภูมิภาคจากทั้งภายในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบละอองลอยในชั้นบรรยากาศที่หลายระดับชั้นความสูง ช่วยให้สามารถแยกผลกระทบระหว่างการปล่อยมลพิษในพื้นที่และผลจากมลพิษข้ามแดนของหมอกควันได้ (รูปที่ 16.)



รูปที่ 16. การเปรียบเทียบองค์ประกอบของละอองลอยในอากาศที่หลายระดับความสูง ของข้อมูลตรวจวัดที่ได้จากเครื่องบิน DC-8 เหนือพื้นที่กรุงเทพมหานคร (ซ้าย) และ จังหวัดเชียงใหม่ (ขวา) ในช่วง 3 วันที่ทำการตรวจวัดด้วยอากาศยาน (รูปภาพโดย คุณศรัณย์พร เครื่องสาย จาก สดร.)

ในวันที่ 16 มีนาคม พบว่าละอองลอยในอากาศประเภทอินทรีย์ (Organic Aerosol: OA) เป็นองค์ประกอบหลักในทุกภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งพบความเข้มข้นของ OA ในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญที่ชั้นบรรยากาศระดับผิวพื้น บ่งชี้ถึงการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ยังตรวจพบชั้นละอองลอย

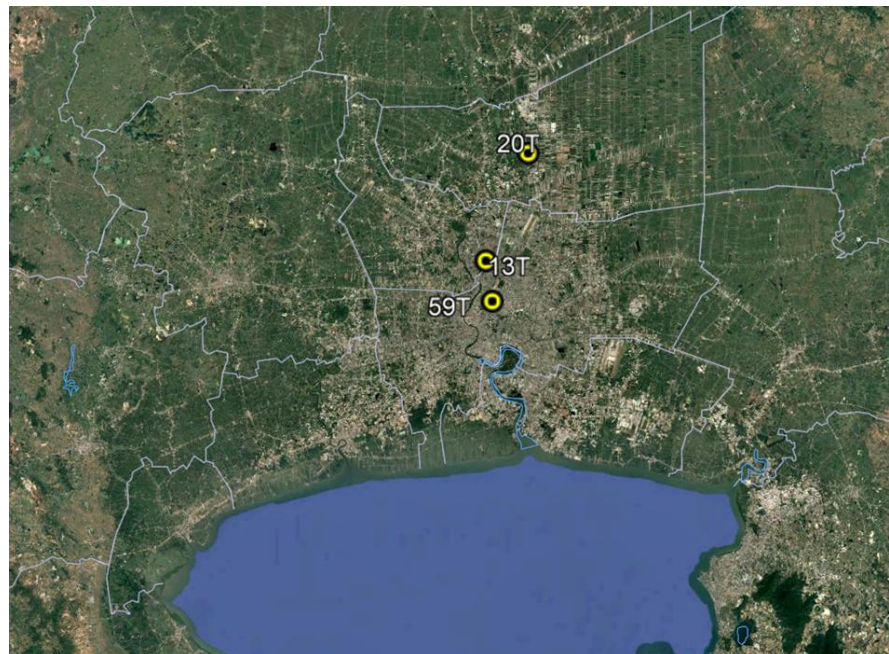
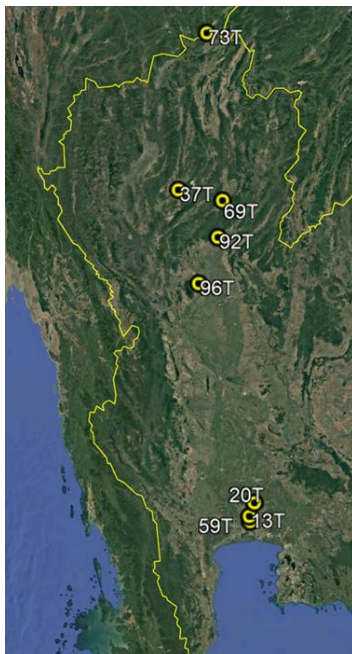
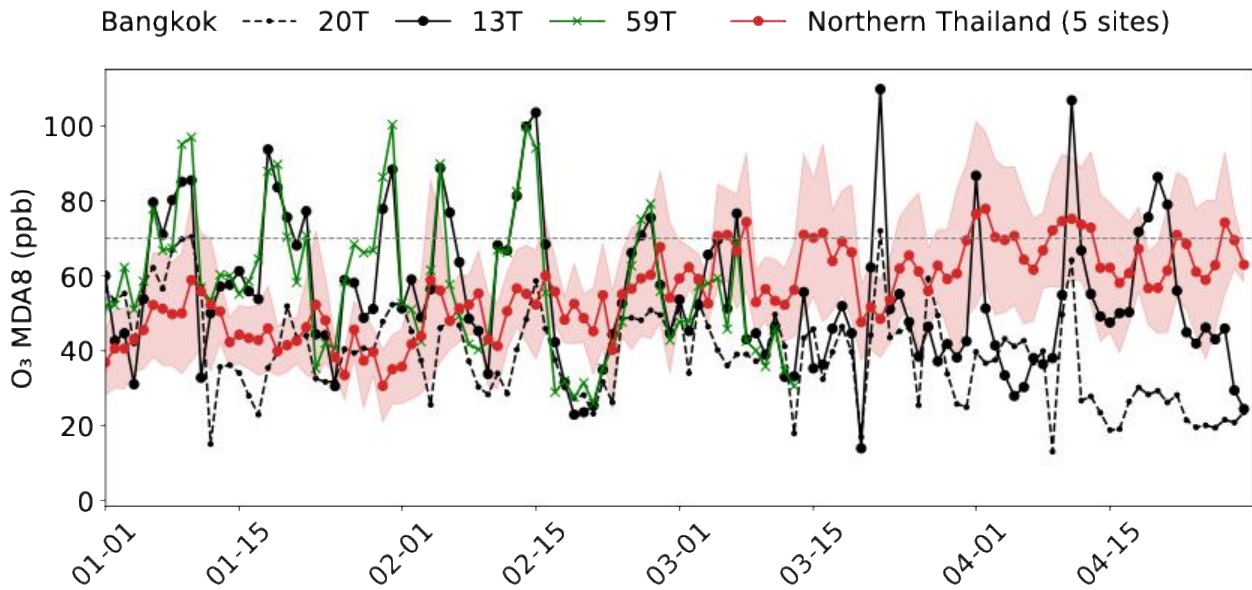
หนาแน่นที่ความสูงประมาณ 2 กิโลเมตรเหนือพื้นที่ทั้งจังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพมหานคร ซึ่งชี้ให้เห็นถึงกลไกการเคลื่อนที่แพร่กระจายในระยะทางไกล (Long-Range Transport) ของละอองลอยที่มีอายุมาก ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดในระดับภูมิภาค และเมื่อพิจารณาข้อมูลในวันที่ 18 มีนาคม ยังคงพบว่า OA เป็นองค์ประกอบหลักของละอองลอย โดยในพื้นที่เชียงใหม่พบความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในชั้นบรรยากาศระดับต่ำ สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการปล่อยมลพิษในพื้นที่ ในขณะที่กรุงเทพมหานครมีลักษณะเฉพาะจากการเพิ่มขึ้นของซัลเฟตและแอมโมเนียมในชั้นบรรยากาศระดับต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของมลพิษจากแหล่งอุตสาหกรรมและการจราจรที่ร่วมกับละอองลอยที่แพร่กระจายมาจากพื้นที่อื่น สำหรับในวันที่ 21 มีนาคม ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโดยแหล่งกำเนิด OA ในพื้นที่เชียงใหม่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด อันเป็นผลมาจากอิทธิพลของฝนที่ตกหนัก แต่กลไกการแพร่กระจายของมลพิษจากแหล่งกำเนิดด้านเหนือลมยังคงดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง สำหรับกรุงเทพมหานครพบการสะสมตัวเพิ่มมากขึ้นของซัลเฟตและไนเตรตในชั้นบรรยากาศระดับต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของมลพิษจากเขตเมืองและแหล่งอุตสาหกรรม โดยประเด็นที่น่าสนใจคือ การกระจายตัวของแอมโมเนียมที่สม่ำเสมอในทุกระดับชั้นความสูง เป็นการบ่งชี้ถึงความเพียงพอของสารตั้งต้นสำหรับกระบวนการสร้างละอองลอยประเภทอนินทรีย์ (Inorganic Aerosol) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการศึกษากิจกรรมการเผาชีวมวลในระดับภูมิภาคลุ่มแม่น้ำโขง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อทำความเข้าใจและประเมินผลกระทบจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่และแพร่กระจายข้ามพรมแดนต่อระดับความเข้มข้น PM_{2.5} ในประเทศไทย ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการกำหนดนโยบายและการจัดการคุณภาพอากาศ

คำถามที่ 2: แหล่งกำเนิดและปัจจัยการเกิดโอโซนในประเทศไทยมีอะไรบ้าง

สรุปผล: ช่วงเวลาที่โอโซนเกินค่ามาตรฐานที่เกิดขึ้นเป็นประจำในพื้นที่ภาคเหนือและตรวจวัดได้ในช่วงโครงการ ASIA-AQ โอโซนในพื้นที่กรุงเทพมหานครอาจมีค่าเกินค่ามาตรฐานเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ในขณะที่พื้นที่ทางภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ค่าความเข้มข้นของโอโซนมักจะเกิดขึ้นควบคู่ไปกับมลพิษฝุ่นละอองจากการเผาในที่โล่ง

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) เป็นองค์ประกอบสำคัญของการเกิดโอโซนในทุกภูมิภาคของประเทศ การลดการปล่อยก๊าซ NOx จึงถือเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วในการควบคุมระดับโอโซนในบรรยากาศ สำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ซึ่งเป็นสารร่วมในการก่อตัวของโอโซนนั้น มีความแตกต่างกันตามบริบทของพื้นที่ โดยในเขตกรุงเทพมหานคร VOCs ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์มีบทบาทสำคัญกว่า ในขณะที่พื้นที่ทางตอนเหนือ VOCs ที่มาจากการเผาไหม้มีอิทธิพลมากกว่า ความแตกต่างอย่างมากของระดับโอโซนระหว่างพื้นที่ต่างๆ เป็นความท้าทายที่สำคัญ ซึ่งเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการมีระบบตรวจวัดโอโซนที่ต่อเนื่อง สม่าเสมอ และครอบคลุมทั่วประเทศมากยิ่งขึ้น

โอโซนเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ โอโซนยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยทำให้พืชเสียหายและลดผลผลิตทางการเกษตร ในฐานะที่เป็นมลพิษทุติยภูมิ โอโซนไม่ได้ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยตรง แต่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมีที่มีการหมุนเวียนของไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ประสิทธิภาพของกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ปริมาณแสงแดด และความชื้น เมื่อมีมลพิษเพียงพอในสภาพอากาศแบบเขตร้อน เช่น ในประเทศไทย ปริมาณโอโซนจำนวนมากสามารถเกิดขึ้นได้ภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ดังที่กล่าวไว้ในบทนำ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทยสำหรับโอโซนมักถูกละเมิด โดยมาตรฐานนี้กำหนดไว้ที่ 70 ส่วนในพันล้าน (ppb) สำหรับค่าเฉลี่ยสูงสุดรายวันในช่วงแปดชั่วโมง (MDA8)



รูปที่ 17. ค่าโอโซนเฉลี่ยสูงสุดรายวันในช่วง 8 ชั่วโมง (MDA8) สำหรับสถานีในกรุงเทพมหานคร 3 แห่ง (13T, 20T, 59T) และสถานีในภาคเหนือ 5 แห่ง (37T, 69T, 73T, 92T, 96T) ในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน 2567 จุดสีแดงแสดงค่าเฉลี่ย ขณะที่พื้นที่สีเหลืองแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เส้นประสีเทาแสดงค่ามาตรฐานโอโซนที่ 70 ppb ส่วนตำแหน่งของสถานีตรวจวัดแสดงในแผนที่ด้านซ้ายล่าง โดยมีภาพขยายเฉพาะพื้นที่กรุงเทพฯ อยู่ด้านขวาล่าง

จากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของโอโซนจาก 5 สถานีในภาคเหนือของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ. 2567 นั้น พบว่า 2 สถานี จาก 5 สถานีมีค่าความเข้มข้นของโอโซนเกินค่ามาตรฐาน และมีจำนวนวันที่เกินมาตรฐานประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาตรวจวัด โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงครึ่งหลังของระยะเวลาการตรวจวัด (รูปที่ 17.) ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มในอดีตของจังหวัดเชียงใหม่ (ดูรูปที่ 4.) และสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการเผาในที่โล่งในช่วงเวลาดังกล่าว ในทางกลับกัน พบค่าความเข้มข้นของโอโซนในกรุงเทพฯ (สถานี 13T) เกินค่ามาตรฐานจำนวน

26 วัน (หรือประมาณ 20%) ซึ่งกระจายตัวตลอดช่วงเวลาดังกล่าวอย่างสม่ำเสมอ และสอดคล้องกับแนวโน้มในอดีตของกรุงเทพฯ ตามที่แสดงในรูปที่ 4. เช่นกัน

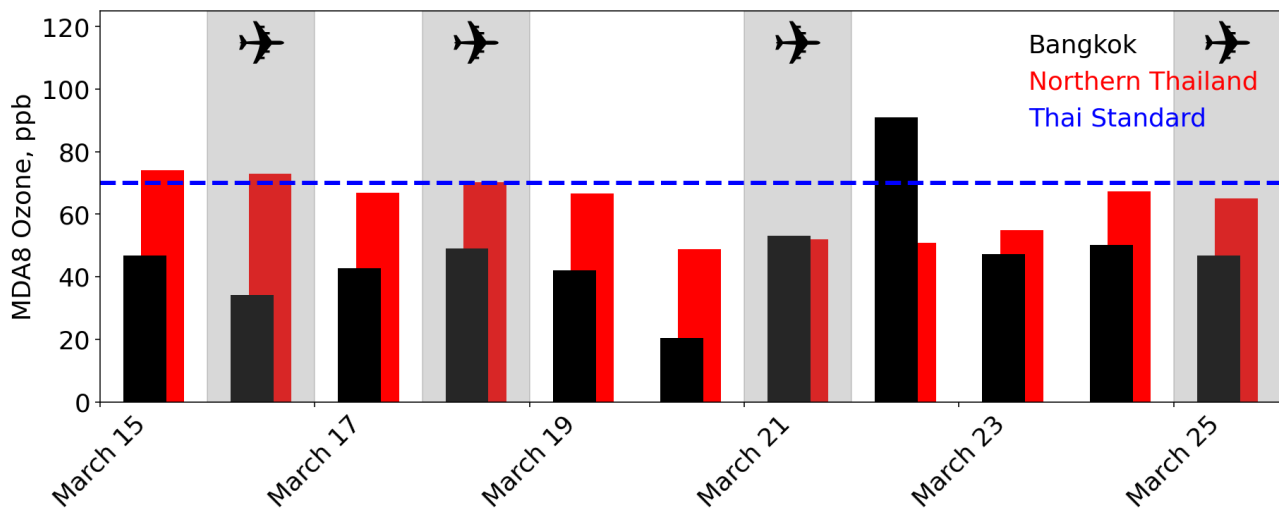
ในช่วงการศึกษา ASIA-AQ มีเพียงสองสถานีในกรุงเทพฯ ที่วัดค่าโอโซนได้ สถานีที่สองในกรุงเทพฯ คือสถานี 20T ซึ่งอยู่ห่างจากสถานี 13T ไปทางใต้ประมาณ 22 กิโลเมตร โดยสถานี 20T มีค่าโอโซนเกินมาตรฐานเพียงสองครั้ง แสดงถึงความแตกต่างของระดับโอโซนในแต่ละพื้นที่ของกรุงเทพฯ ได้อย่างชัดเจน สำหรับสถานีที่สาม (59T) ซึ่งหยุดรายงานข้อมูลหลังวันที่ 13 มีนาคม พบว่ามีลักษณะคล้ายกับสถานี 13T แต่มีจำนวนครั้งที่ระดับโอโซนเกินค่ามาตรฐานน้อยกว่า

หากพิจารณาเฉพาะช่วงการเก็บข้อมูลของโครงการ ASIA-AQ (รูปที่ 18.) จะพบว่า ค่าเฉลี่ยโอโซนระดับภูมิภาคในภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าเท่ากับหรือเกินมาตรฐานโอโซนในช่วงสามวันของช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากการเผาไหม้มากที่สุด (15–18 มีนาคม) และมีอย่างน้อยหนึ่งสถานีที่มีค่าเกินมาตรฐานใน 8 จาก 11 วัน

สำหรับกรุงเทพมหานคร แม้ระดับโอโซนจะมีแนวโน้มต่ำกว่าภาคเหนือ แต่เหตุการณ์ที่มีค่าโอโซนสูงที่สุดในกรุงเทพฯ เกิดขึ้นในวันที่ 22 มีนาคม ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยในภาคเหนือ ทั้งนี้ แนวโน้มและพฤติกรรมของโอโซนที่สังเกตได้ในกรุงเทพมหานครและภาคเหนือมีความสอดคล้องกับรูปแบบที่ปรากฏในข้อมูลที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.

เที่ยวบินวิจัยภายใต้โครงการ ASIA-AQ ได้เปิดโอกาสสำคัญในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของโอโซนในบรรยากาศ ผ่านการตรวจวัดองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสารตั้งต้นของโอโซน (NO_x และ VOCs) รวมถึงปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการก่อตัวของโอโซน เช่น แสงแดด ความชื้น และอุณหภูมิ โดยใช้แบบจำลอง Photochemical Box Model ซึ่งพัฒนาโดย NASA Langley ทำการคำนวณอัตราการเกิดโอโซนตามเส้นทางบินของเครื่องบิน DC-8 เพื่อประเมินความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น สำหรับการวิเคราะห์ VOCs ได้มีจำแนกกลุ่มสารประกอบ และนำกลุ่มของ VOCs ทั่วไปออกจากแบบจำลองอย่างเป็นระบบ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่รวม VOCs ทั้งหมด กลุ่ม VOCs ที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่

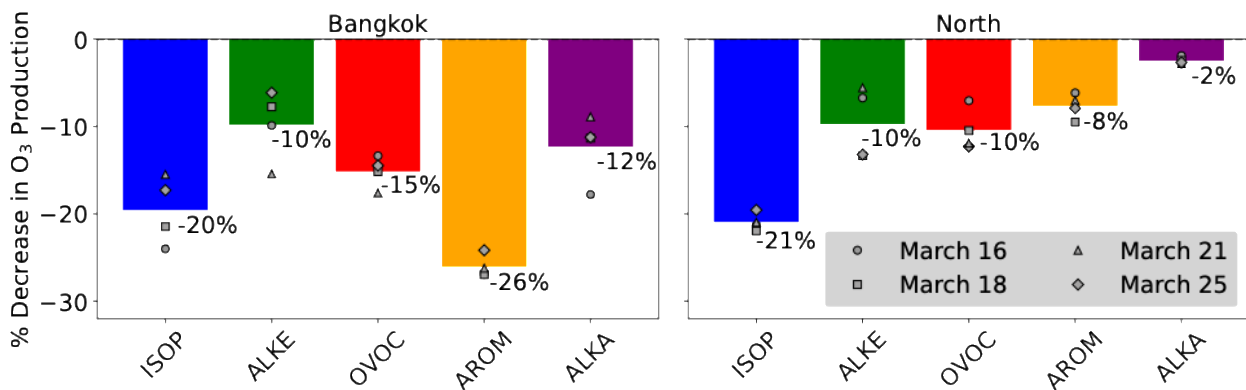
- อัลเคน (ethane, propane, butane)
- อัลคีน (ethene, propene, butene)
- สารอะโรเมติก (เบนซีน , โทลูอีน, xylenes)
- VOCs ที่มีออกซิเจน (ethanol, methanol, acetone)
- ไอโซพรีน (isoprene)



รูปที่ 18. – ค่าโอโซนเฉลี่ยสูงสุดรายวันในช่วง 8 ชั่วโมง (MDA8) ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย (สถานี 69T, 92T, 96T, 73T) และกรุงเทพมหานคร (สถานี 13T และ 20T) ระหว่างวันที่ 15–25 มีนาคม 2567 วันที่เครื่องบิน NASA DC-8 ทำการบินแสดงด้วยพื้นหลังสีเทา เส้นแนวนอนแสดงค่ามาตรฐานโอโซนของประเทศไทยที่ระดับ 70 ppb

ผลการวิเคราะห์ความไวต่อ VOCs ต่อการผลิตโอโซน แสดงไว้ในรูปที่ 19. โดยแถบกราฟแสดงการลดลงเฉลี่ยของการผลิตโอโซนเมื่อกลุ่มของ VOCs แต่ละกลุ่มถูกถอดออกจากการคำนวณในแบบจำลองทีละตัว ขณะที่สัญลักษณ์แสดงผลลัพธ์สำหรับแต่ละวัน จากการวิเคราะห์ พบว่าไอโซพรีนส่งผลต่อการผลิตโอโซนในระดับที่สม่ำเสมอในช่วงประมาณ 20% ทั้งในพื้นที่กรุงเทพฯ และภาคเหนือของประเทศไทย สารชนิดนี้เป็นสารชีวภาพที่ปล่อยออกมาจากต้นไม้และพืชพรรณ พบได้ทั่วไป และโดยทั่วไปไม่ถือว่าเป็นแหล่งที่สามารถควบคุมได้เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ

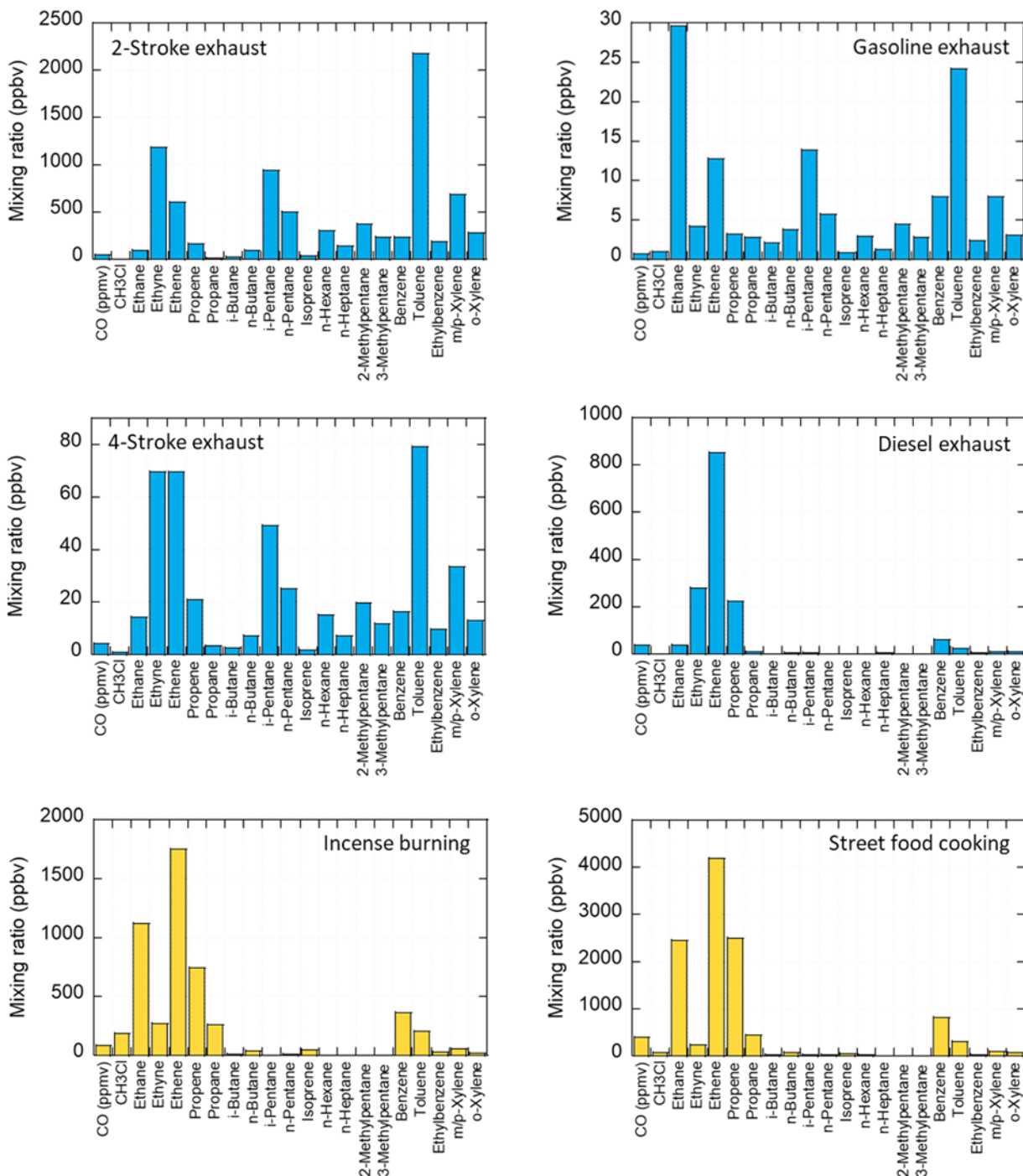
เมื่อพิจารณา VOCs กลุ่มอื่น ๆ จะเห็นได้ว่า VOCs แต่ละประเภทยมีส่วนร่วมในการผลิตโอโซนที่ต่างกัน ระหว่างกรุงเทพมหานคร และภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน โดยในกรุงเทพมหานคร มีแหล่งมลพิษจากกิจกรรมในเมือง ขณะที่ภาคเหนือได้รับอิทธิพลจากการเผาไหม้ กล่าวคือ ในกรุงเทพมหานคร สารอะโรเมติกเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญที่สุดของการผลิตโอโซน โดยมีความสำคัญอย่างต่อเนื่องในทุกเที่ยวบิน ส่วนภาคเหนือ พบในกลุ่มอัลคีน VOCs ที่มีออกซิเจน และอะโรเมติก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารอะโรเมติกในภาคเหนือมีลักษณะแหล่งกำเนิดที่แตกต่างจากกรุงเทพฯ โดยมีอัตราส่วนเบนซีนต่อโทลูอีนสูงกว่า (ดูรูปที่ 13. และ 14.) ซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของกระบวนการเผาไหม้



รูปที่ 19. ความไวของการผลิตโอโซนเมื่อกลุ่ม VOCs แต่ละกลุ่มถูกนำออกจากการคำนวณในแบบจำลอง สำหรับกรุงเทพมหานครและภาคเหนือของประเทศไทย โดยการลดลงเฉลี่ยของการผลิตโอโซนในทุกวันจะแสดงไว้ที่ด้านล่างของแต่ละแถบกราฟ ขณะที่สัญลักษณ์ตามคำอธิบายแสดงผลสำหรับแต่ละวันปีน ISOP = ไอโซพรีน, ALKE = อัลคีน, OVOC = VOCs ที่มีออกซิเจน, AROM = สารอะโรเมติก, ALKA = อัลเคน (รูปโดย นันทพร หุสสาย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ Katherine Travis, NASA)

เช่นเดียวกับการศึกษาแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง การทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับแหล่งที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโอโซนจะเป็นไปได้มากขึ้นจากงานวิจัยในอนาคตที่ใช้วิธี Positive Matrix Factorization (PMF) เพื่อให้สามารถตีความผลลัพธ์จาก PMF ได้แม่นยำยิ่งขึ้นจากข้อมูล VOCs ที่หลากหลาย ทีมวิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากแหล่งกำเนิดหลักบางประเภทโดยตรง ผ่านความร่วมมือกับนักวิจัยไทยระหว่างโครงการ ASIA-AQ การเก็บตัวอย่างนี้รวมถึงในห้องปฏิบัติการทดสอบการปล่อยมลพิษจากรถยนต์ของกรมควบคุมมลพิษ (PCD) และจากแหล่งกลางแจ้ง เช่น สถานีบริการน้ำมัน การประกอบอาหารริมถนน การเผาธูป และการปล่อยมลพิษจากข้างถนน ตัวอย่างลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 20.

ผลการวิเคราะห์พบว่าไอเสียจากยานยนต์มี CO, ethene (จากดีเซล), และ โทลูอีน์ (จากเครื่องยนต์ 2 และ 4 จังหวะ) ในระดับสูง และในตัวอย่างที่เก็บมา พบว่าเครื่องยนต์ 2 จังหวะและเครื่องยนต์ดีเซลปล่อย CO โดยเฉลี่ยในปริมาณมากที่สุด ส่วนการทำอาหารริมทางและการจุดธูปแสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของ VOCs ที่แตกต่างกัน โดยมีสาร ethene, propene, ethane และ เบนซีน เป็นสารประกอบหลัก ระดับเบนซีนที่สูงจากการจุดธูป (สูงสุดถึง 360 ppbv) และการทำอาหารริมทาง (สูงสุดถึง 1600 ppbv) อาจเป็นเรื่องที่น่ากังวล เนื่องจากเบนซีนเป็นที่สารสำคัญในการก่อมะเร็ง โดยสรุปแล้วการจราจรมีส่วนอย่างมากต่อมลพิษในเขตเมือง ขณะที่การทำอาหารและการจุดธูปก็เป็นแหล่งมลพิษทางอากาศเฉพาะจุด โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมเมืองที่มีความหนาแน่นสูง (ยังไม่ได้เก็บตัวอย่างจากแหล่งกำเนิดอื่น เช่น อุตสาหกรรมและตัวทำละลาย)

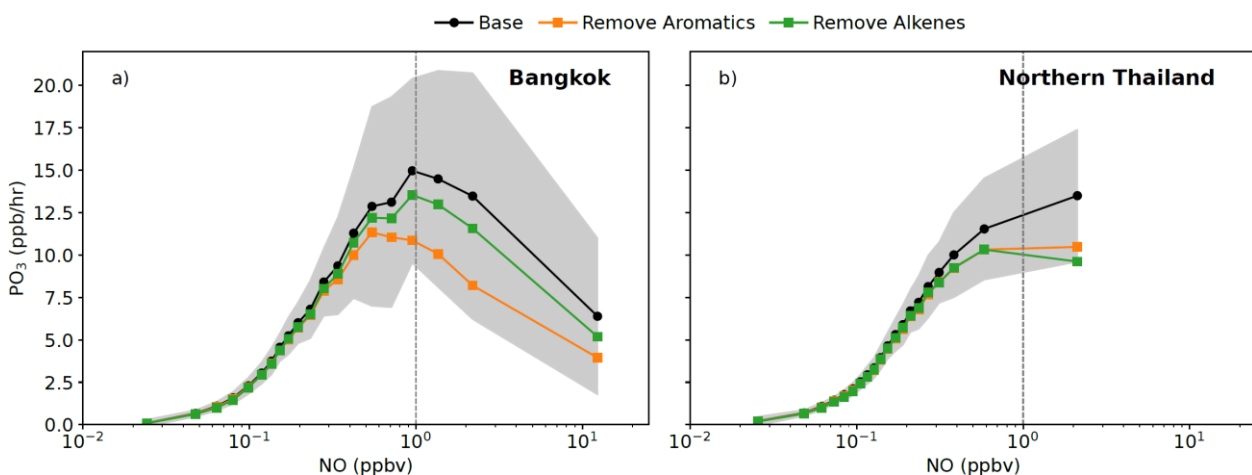


รูปที่ 20. ลักษณะของสาร VOC จากการเก็บตัวอย่างโดยตรงจากแหล่งกำเนิดในประเทศไทย (แหล่งข้อมูล: Isobel Simpson, University of California-Irvine; อธิพิณ ภารมาต, กรมควบคุมมลพิษ; และ สาวิตรี กริวดุทธิ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

แม้ว่าการวิเคราะห์ VOCs จะมีความซับซ้อน แต่ NO_x ยังคงเป็นปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนกระบวนการเกิดโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 21. ซึ่งแสดงการกระจายของอัตราการผลิตโอโซนตามค่าความเข้มข้นของ NO ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและภาคเหนือของประเทศไทย โดยทั่วไป อัตราการผลิตโอโซนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า NO เพิ่มขึ้น โดยมีจุดสูงสุดของการผลิตโอโซนอยู่ที่ประมาณ 1 ppb ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดโอโซนถูกจำกัดด้วยปริมาณ NO_x (NO_x-limited

regime) อย่างไรก็ตาม เมื่อค่า NO_x เพิ่มขึ้นกว่าระดับดังกล่าว อัตราการผลิตโอโซนจะเริ่มลดลงในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจาก NO_x ที่มากเกินไปจะลดความสามารถในการสร้างสารออกซิแดนต์ ส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาในการผลิตโอโซนช้าลง (VOCs-limited regime)

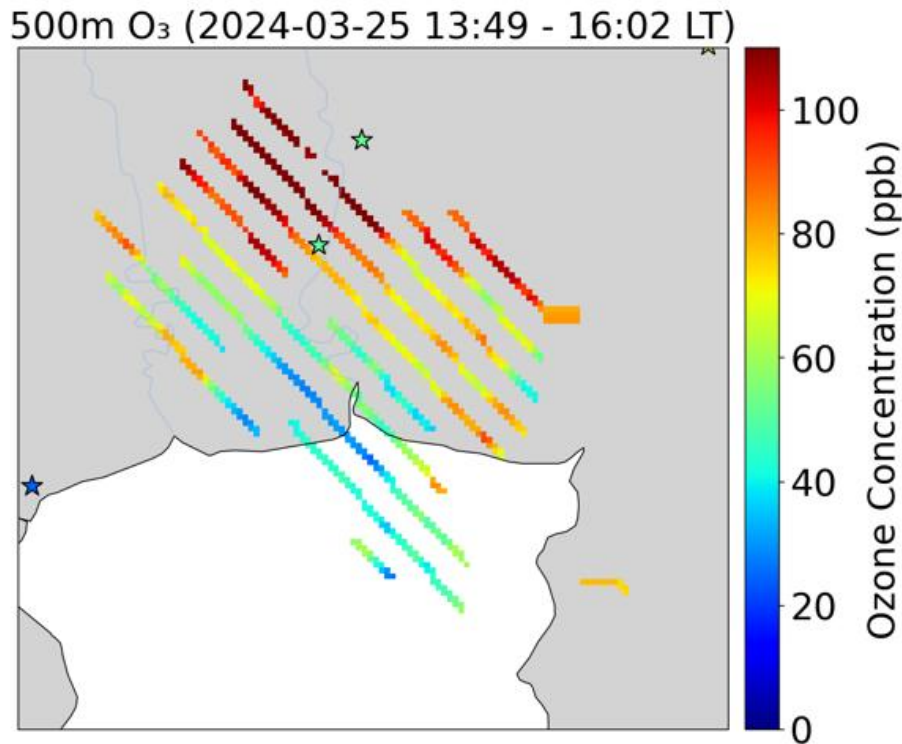
อัตราการผลิตโอโซนสูงสุดในประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยเกิน 10 ppb/ชั่วโมง และสามารถสูงถึง 20 ppb/ชั่วโมงในกรุงเทพมหานคร (ดูพื้นที่แรเงาในรูปที่ 21.) แม้อัตราเหล่านี้จะไม่ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา แต่สามารถอธิบายการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของโอโซนที่ตรวจพบในช่วงเช้าถึงเที่ยงจากข้อมูลสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน ตัวอย่างการคำนวณที่นำสารอะโรเมติกและอัลคีนออกจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า การควบคุม VOCs โดยเฉพาะในกลุ่มสารอะโรเมติกจะสามารถช่วยลดการผลิตโอโซนได้อย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่กรุงเทพฯ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของการควบคุม VOCs จะเห็นชัดเจนเฉพาะในสภาวะที่มี NO สูงหรือเท่ากับระดับที่เกิดการผลิตโอโซนสูงสุด สำหรับกรุงเทพฯ พบว่าประมาณ 20% ของการสังเกตการณ์อยู่ในช่วงที่มีการผลิตโอโซนสูงสุดหรือสูงกว่า ขณะที่ในภาคเหนือมีเพียงประมาณ 10% เท่านั้น ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่า การควบคุม NO_x จะให้ผลที่เป็นรูปธรรมและรวดเร็วในการลดระดับโอโซนและปรับปรุงคุณภาพอากาศในบริบทของประเทศไทย



รูปที่ 21. การกระจายของอัตราการผลิตโอโซนเทียบกับค่า NO สำหรับกรุงเทพมหานครและภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉลี่ยเป็น 20 ช่วงข้อมูลที่มีขนาดเท่ากัน พื้นที่แรเงาสีเทาแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ PO_3 จากการคำนวณแบบ Base (แหล่งข้อมูล: นันทพร หนูสาย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ Katherine Travis, NASA)

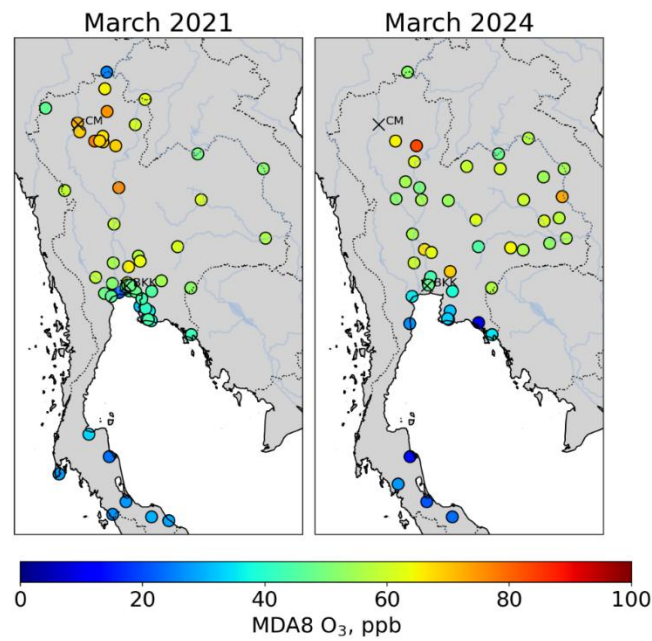
ในการจัดการปัญหามลพิษโอโซน ประเด็นสำคัญคือการรวบรวมหลักฐานเชิงประจักษ์ที่เพียงพอเพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมด้านโอโซน ดังที่แสดงในรูปที่ 17. พบว่าพฤติกรรมของโอโซนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานีตรวจวัดแต่ละแห่ง หลักฐานเพิ่มเติมของความแตกต่างเชิงพื้นที่ของโอโซนในกรุงเทพฯ ยังได้รับการยืนยันจากการตรวจวัดเชิงลึกโดยใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ไลดาร์ชนิด High Spectral Resolution Lidar (HSRL2) บนเครื่องบิน NASA G-III รูปที่ 22. แสดงภาพไลดาร์ของค่าโอโซนเฉลี่ยในระดับความสูง 500 เมตรจากพื้นดินในช่วงบ่ายของวันที่ 25 มีนาคม ในวันดังกล่าว พบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของโอโซนสูงถึง 5 เท่า

ระหว่างพื้นที่ทางตอนเหนือและตอนใต้ของกรุงเทพมหานครในระยะทางประมาณ 60 กิโลเมตร ซึ่งความแปรผันของโอโซนในลักษณะนี้ไม่สามารถตรวจจับได้จากระบบตรวจวัดในปัจจุบันซึ่งมีเพียง 2-3 สถานีเท่านั้นในพื้นที่กรุงเทพฯ

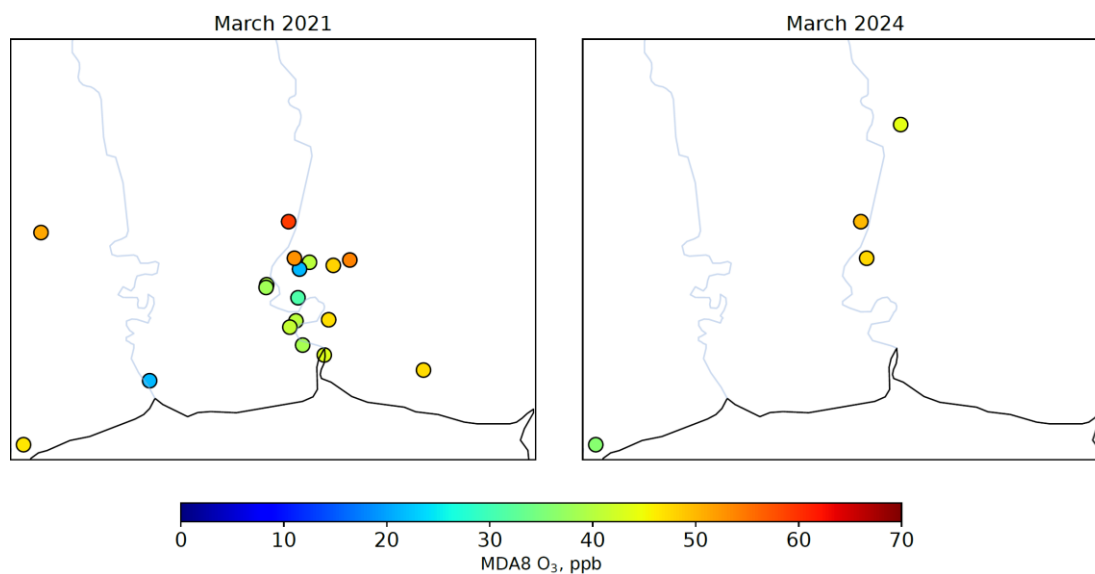


รูปที่ 22. การสังเกตค่าโอโซนเฉลี่ยในระดับความสูงต่ำกว่า 500 เมตรในกรุงเทพมหานครจากเครื่องไลดาร์ ในช่วงบ่ายของวันที่ 25 มีนาคม 2567 ตำแหน่งและค่าความเข้มข้นของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาว

รูปที่ 23. และ 24. แสดงความเปลี่ยนแปลงของโอโซนระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นช่วงการศึกษาโครงการ ASIA-AQ ในปี พ.ศ. 2564 กรมควบคุมมลพิษ (PCD) มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้งหมด 73 แห่ง โดย 67 แห่งสามารถตรวจวัดโอโซน ในปี พ.ศ. 2567 จำนวนสถานีเพิ่มขึ้นเป็น 99 แห่ง แต่มีเพียง 49 แห่งที่มีการตรวจวัดโอโซน นอกจากนี้ ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดในปี พ.ศ. 2567 กระจายอยู่ทางภาคเหนือมากขึ้น ขณะที่พื้นที่รอบกรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นและมีแนวโน้มเกิดโอโซนสูงกลับมีการตรวจวัดน้อยลง สอดคล้องกับภาพไลดาร์ตามรูปที่ 22. ข้อมูลปี พ.ศ. 2564 ยังแสดงให้เห็นความแตกต่างของโอโซนทางตอนเหนือและตอนใต้ของกรุงเทพมหานครอย่างชัดเจน การเพิ่มจำนวนระบบตรวจวัดในพื้นที่กรุงเทพมหานครและภาคเหนือตอนบนจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการติดตามความก้าวหน้าในการลดมลพิษโอโซน และระบุพื้นที่ที่ยังมีปัญหาได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 23. ค่าเฉลี่ยโอโซนรายวันช่วง 8 ชั่วโมงสูงสุด (MDA8) สำหรับเดือนมีนาคม 2564 และเดือนมีนาคม 2567 ณ สถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ (PCD) ทั่วประเทศไทย



รูปที่ 24. ค่าเฉลี่ยโอโซนรายวันช่วง 8 ชั่วโมงสูงสุด (MDA8) สำหรับเดือนมีนาคม 2564 และเดือนมีนาคม 2567 ณ สถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ (PCD) ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

คำถามที่ 3: สภาพอุตุนิยมวิทยาในระดับพื้นที่และภูมิภาคมีส่วนอย่างไรในการกำหนดรูปแบบของมลพิษทางอากาศในประเทศไทย?

สรุปผล: แม้ว่าสภาพอากาศจะไม่ใช่ว่าสาเหตุหลักของคุณภาพอากาศที่ย่ำแย่ แต่ก็มีอิทธิพลต่อการพัฒนาของการเกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้น ความเข้าใจเกี่ยวกับอิทธิพลของสภาพอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงการไหลเวียนของอากาศในระดับพื้นที่ เช่น ลมชายฝั่งในพื้นที่กรุงเทพฯ และใกล้เคียง และลมภูเขาในจังหวัดเชียงใหม่ จะช่วยเพิ่มความสามารถในการคาดการณ์มลพิษทางอากาศได้ดีขึ้น ข้อมูลที่ได้จากโครงการ ASIA-AQ เป็นกรณีศึกษาที่มีคุณค่าสำหรับการประเมินแบบจำลองคุณภาพอากาศ

มลพิษทางอากาศในประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากพลวัตของบรรยากาศที่ซับซ้อน ภายในภูมิภาคเดียวกันหรือหลายภูมิภาค ซึ่งมีผลต่อการผสมและการเคลื่อนย้ายของมลพิษ กระบวนการเหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ รวมถึงแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ การเผาในที่โล่ง (รวมถึงไฟป่าและการเผาในภาคเกษตร) และแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ การเข้าใจปัจจัยเหล่านี้รอบด้านจึงเป็นสิ่งสำคัญในการยกระดับการจัดการคุณภาพอากาศและการวางแผนเพื่อลดผลกระทบ ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการสำคัญทางบรรยากาศ และความเชื่อมโยงกับข้อมูลการตรวจวัดในช่วงปฏิบัติการบินสำรวจ ระยะเวลา 2 สัปดาห์ ภายใต้โครงการ ASIA-AQ ในประเทศไทย

กระบวนการทางบรรยากาศที่เกี่ยวข้อง

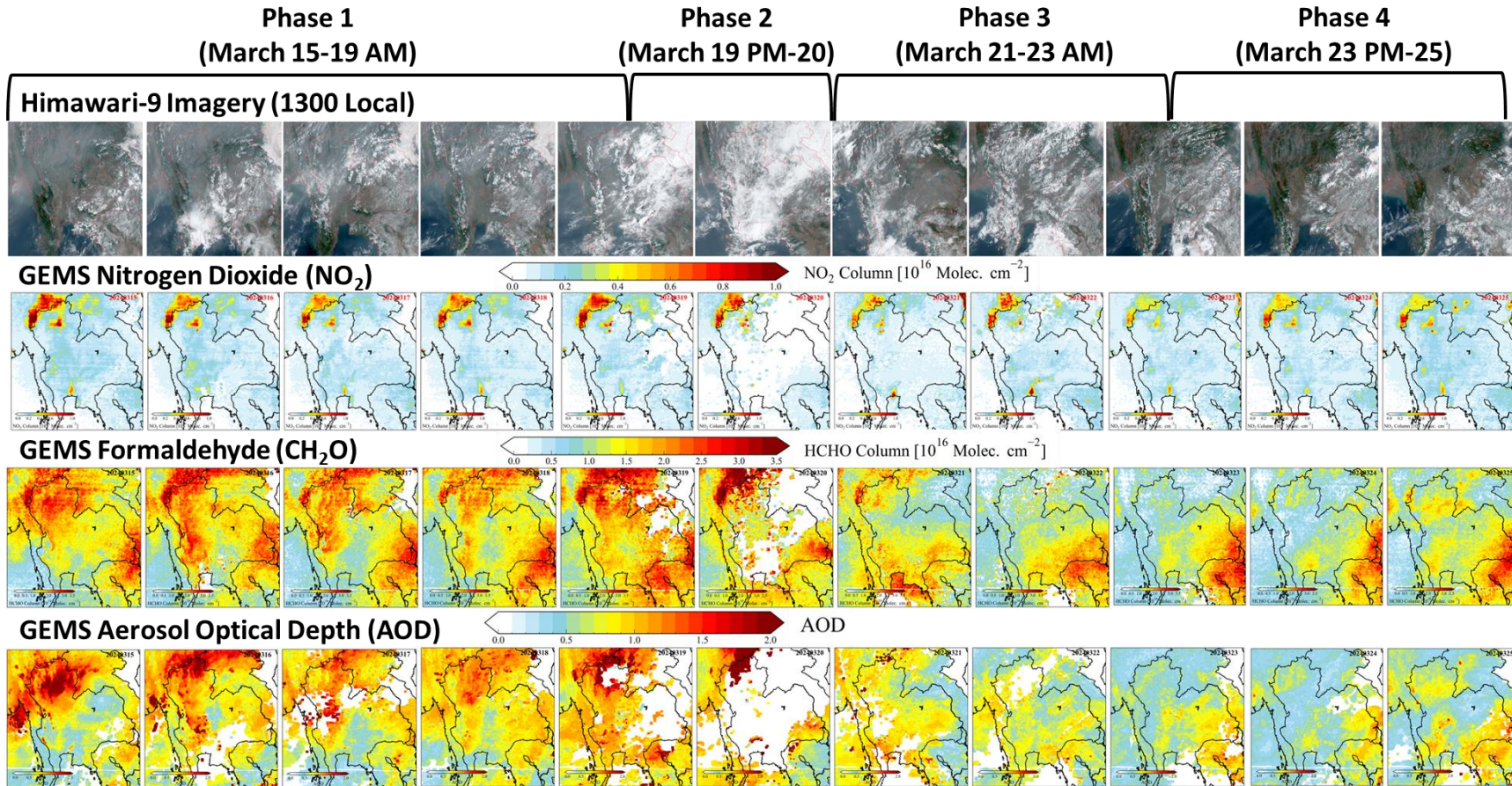
1. รูปแบบสภาพอากาศขนาดใหญ่และการเคลื่อนย้ายมลพิษ

รูปแบบสภาพอากาศขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมพื้นที่กว้าง หรือรูปแบบสภาพอากาศซินอปติก (Synoptic Weather Pattern) มีผลอย่างมากต่อการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศ โดยสามารถพัดพามลพิษจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ต้นลมไปยังพื้นที่อื่นทางปลายลมได้ โครงการ ASIA-AQ ดำเนินการในช่วงกลางกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนและแห้งแล้งของประเทศไทย แม้ว่าจะไม่ใช่ช่วงมรสุมหลัก แต่ยังคงมีลมระดับภูมิภาคที่พัดผ่านซึ่งส่งผลต่อประเทศไทยและพื้นที่โดยรอบ นอกจากมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ตามปกติ ช่วงนี้มีสภาพอากาศที่ร้อนประกอบด้วยความชื้นในระดับต่ำถึงปานกลางส่งผลให้เกิดไฟและควันเพิ่มขึ้นจากการเผาไหม้ ในช่วงการตรวจวัดภายใต้โครงการ ASIA-AQ ระหว่างวันที่ 13–27 มีนาคม 2567 มีการพบลักษณะอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกัน 4 ช่วง ตามที่แสดงในรูปที่ 25.

- ช่วงที่ 1. สภาพอากาศระดับภูมิภาคที่มีการไหลเวียนกำลังอ่อนและความชื้นสูง (วันที่ 15 ถึง วันที่ 19 มีนาคม ช่วงเช้า)
- ช่วงที่ 2. มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกำลังแรง (ช่วงบ่ายวันที่ 19 ถึง 20 มีนาคม)
- ช่วงที่ 3. ความแปรปรวนของสภาพอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ (วันที่ 21 ถึง วันที่ 23 มีนาคม ช่วงเช้า)



ช่วงที่ 4. สภาพอากาศระดับภูมิภาคที่มีการไหลเวียนกำลังอ่อนและความชื้นสูง (ช่วงปลายวันที่ 23 ถึงวันที่ 25 มีนาคม)



รูปที่ 25. ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงการตรวจวัดภายใต้โครงการ ASIA-AQ ระหว่างวันที่ 15-25 มีนาคม 2567 โดยครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ภาคกลางของประเทศไทย (บริเวณกรุงเทพมหานคร) ไปจนถึงภาคเหนือของประเทศไทย

ในช่วงแรก สภาพอากาศซินอปติกกำลังอ่อน (Weak Synoptic Influence) ส่งผลให้สภาพอากาศค่อนข้างนิ่ง รวมถึงสภาพอากาศที่แห้งกว่าค่าเฉลี่ยในภาคเหนือ ในขณะที่ภาคกลางมีความชื้นมากขึ้น ทำให้เกิดการพาความร้อนกระจายตัวในเขตกรุงเทพมหานคร ในขณะที่ทางภาคเหนือมีสภาพอากาศเอื้อต่อการเผาในที่โล่ง ภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari แสดงให้เห็นกลุ่มควันกระจายกว้างในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศ สอดคล้องกับกิจกรรมการเผาซึ่งส่งผลให้ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ฟอर्मัลดีไฮด์ (CH_2O) และละอองลอย (Aerosol Optical Depth: AOD) ที่ตรวจวัดจากเครื่องมือ GEMS (Geostationary Environment Monitoring Spectrometer) ซึ่งติดตั้งบนดาวเทียมของประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ลักษณะเด่นของช่วงที่ 1 นี้คือ มลพิษ $\text{PM}_{2.5}$ ในปริมาณสูง ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดในภูมิภาคอินโดจีนตอนบน และถูกพัดพาเข้ามาทางลมตะวันตก ส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในภาคเหนือของประเทศไทยอยู่ในระดับสูง

ช่วงที่สองมีลักษณะเด่น คือ การเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมที่เป็นลมใต้พัดต่อเนื่องในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยระหว่างวันที่ 19–20 มีนาคม โดยการเปลี่ยนแปลงของลมนี้เกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น ส่งผลให้เกิดการพาความร้อนในแนวตั้งและเกิดฝนฟ้าคะนองในวงกว้างทั่วประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดระดับมลพิษในชั้นบรรยากาศส่งผลให้คุณภาพอากาศดีขึ้น ข้อมูลภาพถ่ายจากเครื่องมือ GEMS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม แสดงให้เห็นถึงการปกคลุมของกลุ่มเมฆในบริเวณกว้าง โดยเฉพาะในวันที่ 20 มีนาคม ส่งผลให้ไม่สามารถทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากดาวเทียมได้ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย

ช่วงที่สามมีลักษณะเด่น คือ สภาพอากาศในภาคเหนือของประเทศไทยเปลี่ยนไปโดยอยู่ภายใต้อิทธิพลของสภาพอากาศซินอปติก โดยมีความกดอากาศต่ำผิดปกติเคลื่อนผ่านเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งความแปรปรวนดังกล่าว ส่งผลให้เกิดฝนตกเหนือพื้นที่ที่มีการเผาในประเทศพม่า เมื่อฝนตกประกอบกับลมอันเกิดจากอิทธิพลของแบบแผนสภาพอากาศขนาดใหญ่ที่มีกำลังแรงขึ้น ช่วยลดทั้งปริมาณมลพิษในบรรยากาศและการปล่อยมลพิษจากการเผาในหลายพื้นที่ของประเทศไทย กิจกรรมการเผาที่ลดลงได้รับการยืนยันจากข้อมูลดาวเทียม GEMS ที่แสดงปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ฟอर्मัลดีไฮด์ (CH_2O) และละอองลอย (AOD) ที่ลดลงอย่างชัดเจน

สำหรับช่วงสุดท้าย พบการกลับมาของรูปแบบสภาพอากาศกำลังอ่อนคล้ายกับรูปแบบสภาพอากาศในช่วงแรก แต่มีความแตกต่างที่สำคัญคือมีความชื้นน้อยมาก ภาพดาวเทียมแสดงให้เห็นท้องฟ้าโปร่งในเกือบทุกพื้นที่

ของประเทศไทย อย่างไรก็ตามข้อมูลจากเครื่องมือ GEMS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม แสดงให้เห็นว่าการเผาในที่โล่งและการปล่อยมลพิษไม่ได้กลับมาสูงเท่ากับช่วงแรก

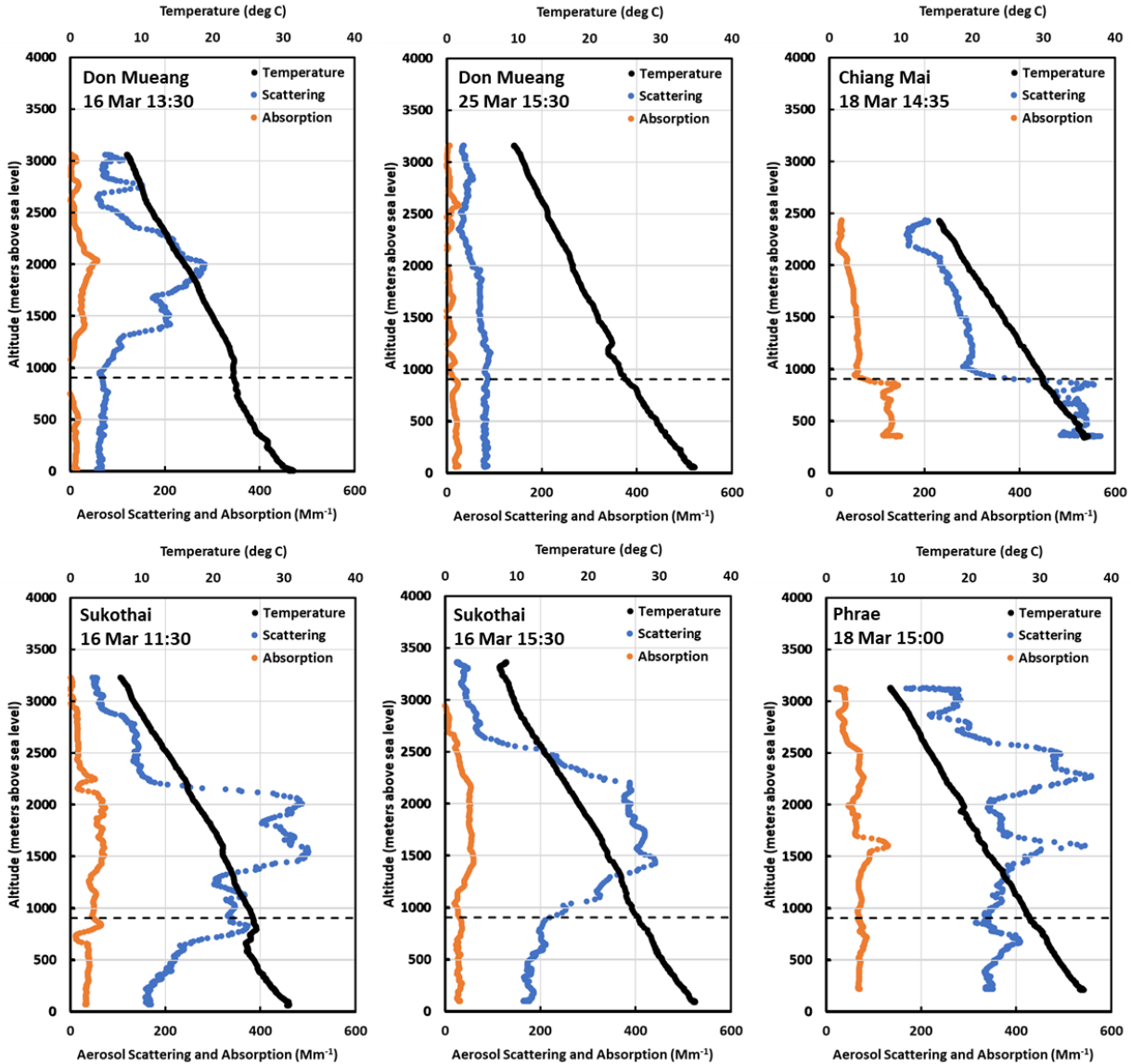
2. ขอบเขตบรรยากาศชั้นล่างใกล้พื้นผิวโลกและการผสมในแนวตั้ง

การผสมของอากาศในแนวตั้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจือจางและการกระจายตัวของมลพิษในอากาศ โดยขอบเขตบรรยากาศชั้นล่างสุด หรือ (Planetary Boundary Layer – PBL) มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระดับความเข้มข้นของมลพิษบริเวณใกล้ผิวพื้น เมื่อ PBL มีระดับต่ำและเสถียร มลพิษที่ปล่อยออกมาจะถูกกักอยู่ใกล้ผิวพื้นในบริเวณซึ่งมีปริมาตรโดยรวมน้อย ส่งผลให้ระดับมลพิษสูงขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อ PBL มีระดับความสูงเพิ่มขึ้น จะเกิดการผสมและการเจือจางของมลพิษในแนวตั้ง ส่งผลให้ระดับมลพิษบริเวณพื้นผิวลดลง การผสมในแนวตั้งเกิดจากกระบวนการหลักสองประการ ได้แก่ ความแปรปรวนจากการพาความร้อน (convective turbulence) และความแปรปรวนจากแรงเฉือนของลม (wind-shear turbulence) โดยการพาความร้อนควบคุมโดยความร้อนจากพื้นดิน และมักเกิดขึ้นเด่นชัดในช่วงเวลากลางวัน ส่วนแรงเฉือนของลมซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเร็วลมในแนวตั้ง มักมีบทบาทมากกว่าในเวลากลางคืน กระบวนการทั้งสองนี้ได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศระดับภูมิภาค (synoptic weather conditions) ที่กล่าวไว้ข้างต้น

ระดับมลพิษจากละอองลอยที่รุนแรงสามารถส่งผลกระทบต่อ PBL ได้เช่นกัน โดยการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของละอองลอยส่งผลต่อสมดุลพลังงานพื้นผิว และส่งผลต่อเนื่องกับการขยายและหดตัวของ PBL ทำให้เกิดวงจรป้อนกลับ (feedback loop) ที่จำกัดการผสมในแนวตั้งและกักเก็บมลพิษไว้ใกล้พื้นผิวต่อไป การผกผันของอุณหภูมิ (temperature inversions) สามารถทำให้กระบวนการนี้ซับซ้อนยิ่งขึ้นได้ โดยทำหน้าที่เสมือนฝาปิดที่ป้องกันไม่ให้อากาศลอยขึ้นและผสมกับอากาศด้านบน นอกจากนี้ ละอองลอยยังสามารถทำหน้าที่เป็นแกนควบแน่นของเมฆ ซึ่งส่งผลต่อการก่อตัวของเมฆและปริมาณน้ำฝน อีกทั้งยังส่งผลกระทบเพิ่มเติมต่อพลวัตของ PBL ยิ่งไปกว่านั้น การเผาชีวมวล (biomass burning) สามารถเพิ่มความซับซ้อน เนื่องจากพลังงานความร้อนจากไฟสามารถทำให้กลุ่มควันลอยสูงขึ้นเหนือชั้น PBL ได้ นอกจากนี้ มลพิษจะยังคงถูกกักเก็บอยู่ใน PBL หรือถูกระบายออกสู่ชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนล่าง ยังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้อีกด้วย ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อการเกิดมลพิษข้ามพรมแดน ตลอดจนผลกระทบต่อความสัมพันธ์กับ PM_{2.5} ใกล้พื้นผิว ความซับซ้อนของผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นในภาพที่ 26 ซึ่งแสดงกรณีหลากหลายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาการศึกษา

การตรวจวัด ณ สนามบินดอนเมืองในช่วงบ่ายของวันที่ 16 และวันที่ 25 มีนาคม แสดงให้เห็นสภาพภายใต้ PBL ที่คล้ายคลึงกัน แต่สภาพเหนือ PBL ของข้อมูลโปรไฟล์ทั้งสองแตกต่างกันมาก โดยมีกลุ่มควันจากการขนส่ง ในวันที่ 16 มีนาคม แต่กลับมีสภาพปลอดโปร่งในวันที่ 25 มีนาคม ข้อมูลโปรไฟล์ที่ตรวจวัด ณ สนามบินเชียงใหม่ ในช่วงบ่ายของวันที่ 18 มีนาคม แสดงให้เห็นมลพิษจากละอองลอยปริมาณมากซึ่งทั้งหมดถูกกักเก็บอยู่ภายใต้ PBL โดยมีการดูดกลืนสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ กลับกันสภาพอากาศเหนือ PBL มีความโปร่งกว่า แต่ก็ยังค่อนข้างมีมลพิษเมื่อเทียบกับการตรวจวัด ณ สนามบินดอนเมืองในวันที่ 25 มีนาคม ซึ่งบ่งชี้ถึงมลพิษจากละอองลอยที่หลงเหลืออยู่จากวันก่อนหน้า ข้อมูลโปรไฟล์สองชุดจากการตรวจ ณ สนามบินสุโขทัยในช่วงเช้าและบ่ายของวันที่ 16 มีนาคม แสดงให้เห็นชั้นมลพิษจากละอองลอยที่เพิ่มขึ้นเหนือ PBL ซึ่งบ่งชี้ถึงอิทธิพลระดับภูมิภาคจากการเผาไหม้ และมีข้อบ่งชี้บางอย่างว่ากลุ่มควันยังคงลอยขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับชั้นละอองลอยเหนือดอนเมือง ในวันที่ 16 มีนาคม ชั้นละอองลอยเหนือสุโขทัยมีค่าสูงกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการอยู่ใกล้กับพื้นที่เผาไหม้ทางตอนเหนือมากกว่า สุดท้ายนี้ ข้อมูลโปรไฟล์เหนือพื้นที่จังหวัดแพร่ในช่วงบ่ายของวันที่ 18 มีนาคม แสดงให้เห็นมลพิษจากละอองลอยที่รุนแรงที่สุด ซึ่งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายใต้ PBL ไกลระดับ 1,000 เมตร และเหนือ PBL ขึ้นไปถึง 3,000 เมตร

ในแต่ละกรณีที่ตรวจวัด การคาดการณ์การกระจายตัวของมลพิษในแนวดิ่งถือเป็นความท้าทายสำคัญ ซึ่งต้องการแบบจำลองที่สามารถประมาณการผสมในแนวดิ่งได้อย่างแม่นยำ ทั้งภายใต้ PBL และในชั้นบรรยากาศที่อยู่เหนือ PBL การได้เห็นผลลัพธ์ที่หลากหลายเช่นนี้เป็นโอกาสที่ดีในการประเมินความสามารถของแบบจำลองคุณภาพอากาศในการจับลักษณะแบบพลวัตของ PBL ที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลพิษในบรรยากาศ ชุดข้อมูลจากการตรวจวัดนี้ยังเปิดโอกาสในการศึกษาและวิเคราะห์ว่าการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์โดยอนุภาคละอองลอยในชั้นมลพิษ มีบทบาทต่อโครงสร้างทางอุณหพลศาสตร์ของบรรยากาศอย่างไร การศึกษาในอนาคตสามารถต่อยอดโดยมุ่งเน้นการตรวจสอบผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากกลไกป้อนกลับการแผ่รังสี (Radiative Forcing) ของละอองลอยต่อการพยากรณ์อากาศในระดับพื้นที่และระดับภูมิภาค และผลต่อเนื่องต่อการพยากรณ์มลพิษที่ต้องอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่แม่นยำ



รูปที่ 26. ข้อมูลโปรไฟล์ที่จากเครื่องบิน NASA DC-8 แสดงอุณหภูมิ การกระเจิง และการดูดกลืนของละอองลอย ณ ตำแหน่งและเวลาที่แตกต่างกันทั่วภาคเหนือของประเทศไทย โดยระดับความสูงของชั้นขอบเขตบรรยากาศ (PBL) แสดงด้วยเส้นประ

3. อิทธิพลของลักษณะภูมิประเทศในเขตเมือง ขยายฝั่ง และภูเขา

กรุงเทพมหานครและปริมณฑลถือเป็นเขตเมืองที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยพื้นที่นี้มีทั้งแหล่งกำเนิดมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์และแหล่งความร้อนจำนวนมาก พร้อมทั้งมีภูมิทัศน์ของความเป็นเมืองสูง เป็นพื้นที่ซึ่งพื้นผิวส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยวัสดุที่ไม่สามารถซึมน้ำได้ มีอาคารและโครงสร้างพื้นฐานที่มนุษย์สร้างขึ้น กิจกรรมการใช้พลังงานที่เข้มข้นในเขตเมืองทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมดุลพลังงานพื้นผิว เนื่องจากมีการสะท้อนรังสีลดลง การกักเก็บความร้อนมากขึ้น และการปล่อยพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งในที่สุดนำไปสู่

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง โครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นยังเพิ่มแรงเสียดทานบนพื้นผิว ส่งผลให้ความเร็วลมระดับต่ำลดลงและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลของลม ซึ่งลดความสามารถในการกระจายตัวและการระบายมลพิษในเขตเมือง นอกจากนี้ มลพิษที่เกิดขึ้นในเขตเมืองยังสามารถแพร่กระจายไปยังพื้นที่ปลายทางที่อยู่ท้ายลมได้ โดยรูปแบบการแพร่กระจายนี้ได้รับอิทธิพลจากลักษณะภูมิประเทศชายฝั่ง เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของกรุงเทพฯ ซึ่งอยู่ใกล้กับอ่าวไทย จึงได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินกับทะเล

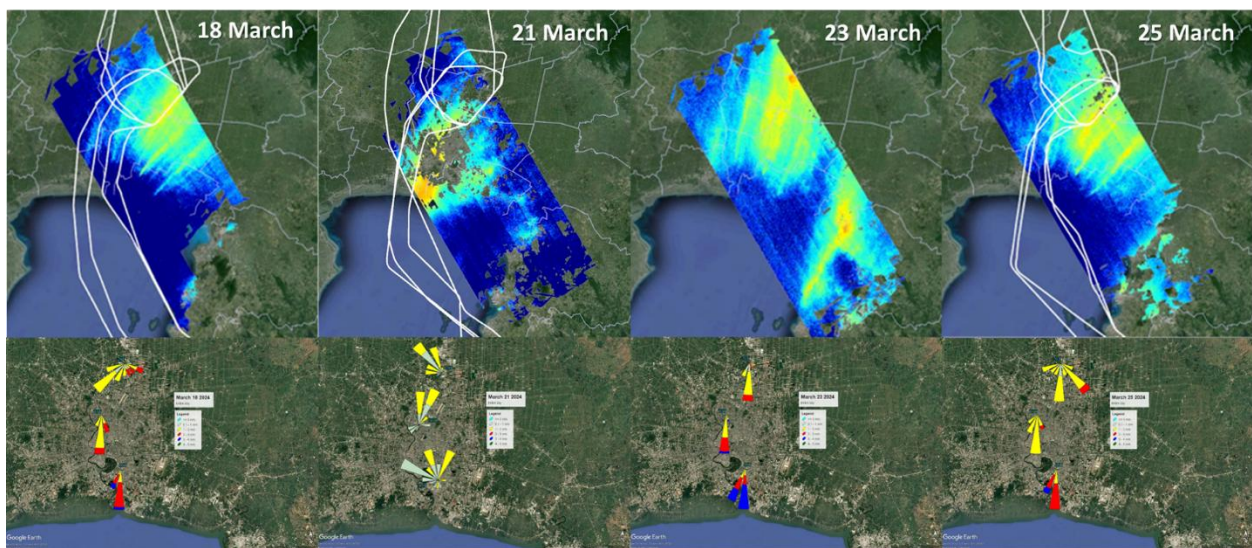
ในพื้นที่ชายฝั่ง การหมุนเวียนของลมทะเลเกิดขึ้นได้ในช่วงกลางวันและลมบกเกิดขึ้นได้ในช่วงกลางคืนตามลำดับ โดยเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินซึ่งมักจะร้อนกว่าผิวน้ำที่อยู่ติดกันในช่วงกลางวัน ทำให้เกิดกระแสลมพัดเข้าหาฝั่ง ขณะที่ในเวลากลางคืนกระแสลมนี้จะกลับทิศทางเมื่อพื้นดินเย็นลงแต่ผิวน้ำทะเลที่ติดกันยังคงอุณหภูมิไว้ได้ เกิดเป็นกระแสลมพัดจากฝั่งออกสู่ทะเล อย่างไรก็ตาม ในช่วงการตรวจวัดภายใต้โครงการ ASIA-AQ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมลักษณะดังกล่าวในกรุงเทพฯ แต่กลับพบลมพัดจากทะเลเข้าสู่แผ่นดินอย่างต่อเนื่องทั้งวันตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล ปรากฏการณ์ที่ลมไม่สลับทิศตามรอบวันนี้อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของลมระดับภูมิภาค (synoptic winds) ที่พัดมาจากทางใต้ต่อเนื่องและมีความแรงมากพอจะกลบผลกระทบจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินกับทะเล ซึ่งในกรณีของกรุงเทพฯ ความแตกต่างนี้มีน้อยเนื่องจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยค่อนข้างอุ่น

อิทธิพลของลมชายฝั่งที่มีต่อกรุงเทพฯ แสดงให้เห็นในรูปที่ 27. ซึ่งเป็นแผนที่แสดงปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่วัดโดยอากาศยาน NASA G-III จากทั้งสี่วันของการบินสำรวจ พร้อมกับข้อมูลผังลมราย 24 ชั่วโมงจากสถานีตรวจวัด 3 แห่งที่ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ จากทางใต้ไล่ขึ้นไปทางเหนือ ได้แก่ สถานี 5T, 13T และ 20T โดยในช่วงสามวันที่บินสำรวจ คือ วันที่ 18, 23 และ 25 มีนาคม พบการเคลื่อนที่ของ NO_2 ไปทางเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับแผนผังลมที่แสดงลมพัดเข้าหาฝั่งจากทางใต้ที่สม่ำเสมออย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยบริเวณใกล้ชายฝั่งจะมีความเร็วลมสูงกว่าพื้นที่ลึกเข้ามาในแผ่นดิน ซึ่งมีความเร็วลมที่ช้าและแปรปรวนมากกว่า แต่ยังคงเป็นลมจากทิศใต้

อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตที่น่าสนใจในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งเป็นกรณียกเว้นจากลักษณะลมปกติ โดยพบกระแสลมพัดจากทิศเหนือไปทางชายฝั่ง ซึ่งสอดคล้องกับการสะสมของ NO_2 ที่บริเวณชายฝั่ง เหตุการณ์นี้สอดคล้องกับการปะทุของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้กระแสลมจากทิศใต้ที่มักปรากฏในบริเวณกรุงเทพฯ ลดกำลังลงชั่วคราว โดยสภาพอากาศในวันที่ 21 มีนาคม ถือว่าเป็นกรณีพิเศษ

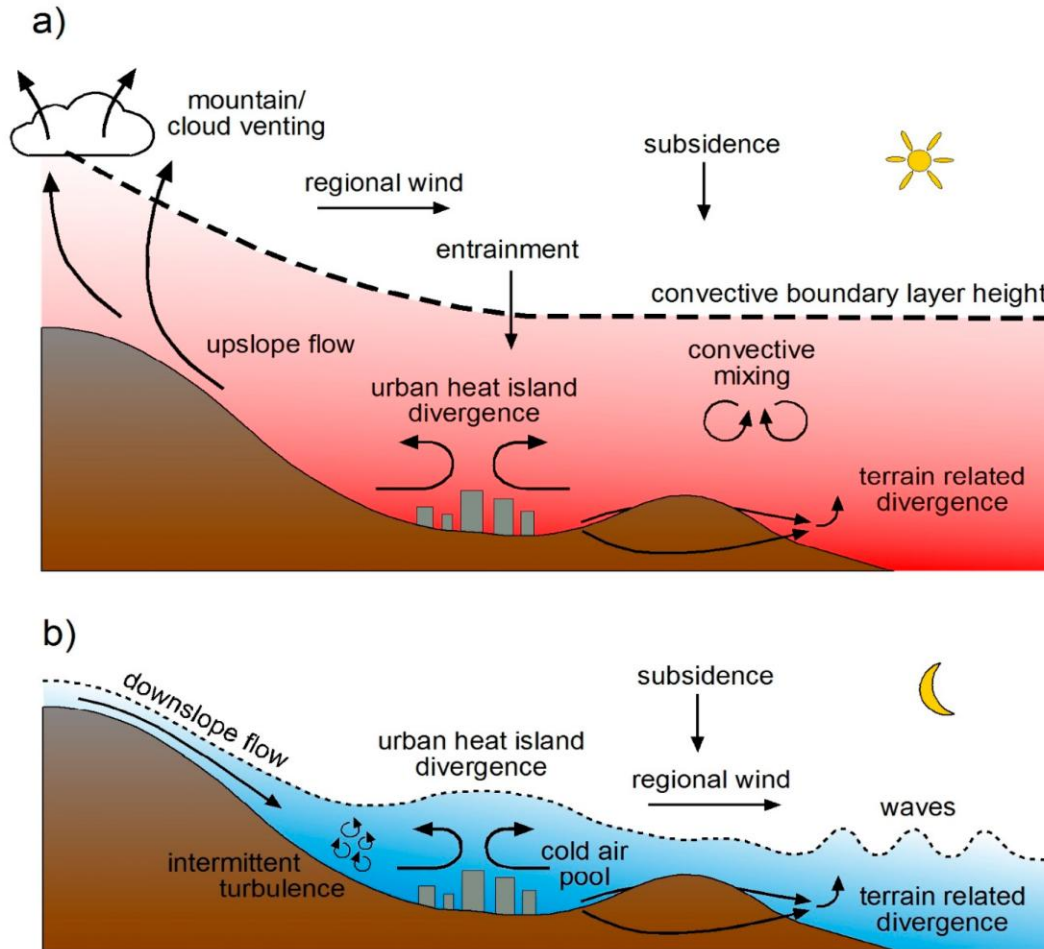
เนื่องจากเมื่อตรวจสอบข้อมูลลมย้อนหลังในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน 2567 จากสถานี 5T ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ชายฝั่งที่สุด พบว่ามีลมพัดเข้าฝั่ง (ทิศ 135–225 องศา) มากกว่าร้อยละ 75 ของเวลา และมีองค์ประกอบของลมจากทิศใต้ (ทิศ 90–270 องศา) มากกว่าร้อยละ 80 ของเวลา

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อกรุงเทพฯ จากลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาในช่วงที่สามารถเห็นได้ชัดจากข้อมูลของเครื่องมือ GEMS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม ในรูปที่ 25 ซึ่งแสดงให้เห็นความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 สูงสุด ในวันที่ 21–22 มีนาคม อันเป็นผลจากการสะสมตัวของ NO_2 ขณะที่ลมเบาพัดพาการปล่อยมลพิษเข้าใกล้ชายฝั่งและยับยั้งการกระจายตัว



รูปที่ 27. (บน) การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในชั้นโทรโพสเฟียร์โดยเครื่องบิน NASA G-III เหนือกรุงเทพฯ (ล่าง) แผนผังลม 24 ชั่วโมง โดยแบ่งสี่ตามความเร็วลม สำหรับสถานีตรวจวัดสามแห่งในกรุงเทพฯ เรียงจากใต้ไปเหนือ (5T, 13T, 20T)

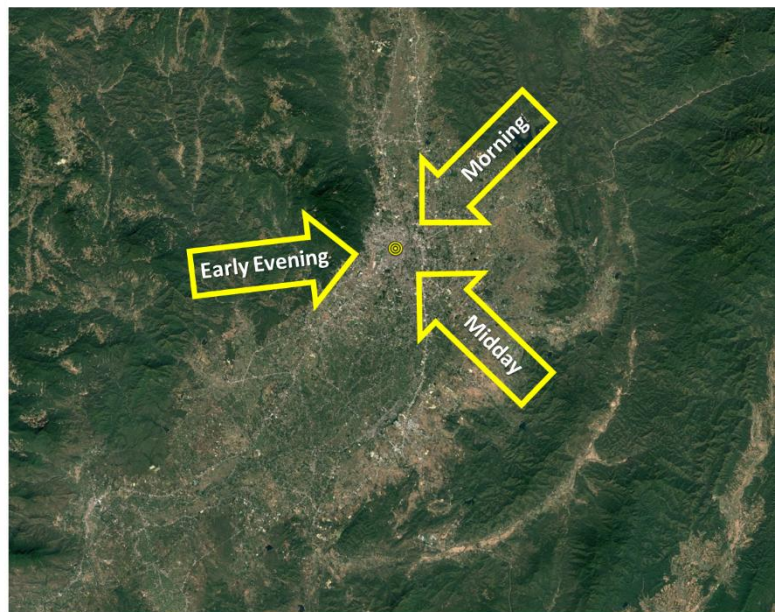
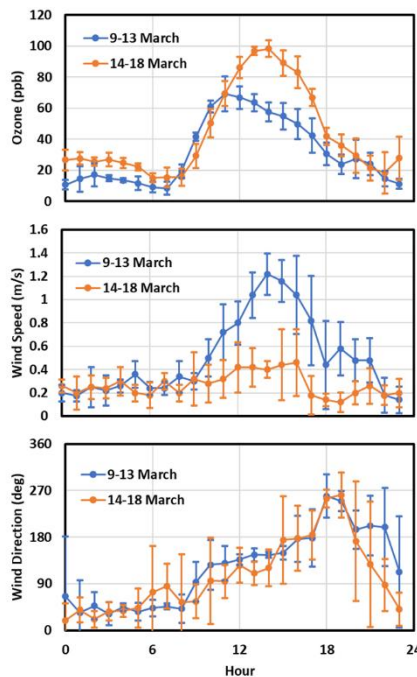
สำหรับภาคเหนือของประเทศไทย มลพิษทางอากาศได้รับอิทธิพลจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสลับหุบเขา โดยภูเขาทำหน้าที่เป็นกำแพงธรรมชาติที่จำกัดการระบายอากาศ และกักเก็บมลพิษภายในเมืองที่ตั้งอยู่ในหุบเขา ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างลาดเขากับพื้นหุบเขา ทั้งในด้านความรุนแรงและเวลา ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศระหว่างภูเขาและหุบเขา ซึ่งมีบทบาทควบคุมชั้นผกผันอุณหภูมิระดับต่ำในรอบวัน นอกจากนี้ยังมีข้อสันนิษฐานว่า ลมที่พัดจากภูเขาในเวลากลางคืน เช่น การระบายอากาศจากอากาศเย็นที่ไหลลงต่ำ อาจช่วยพาควันจากไฟป่าลงมาสู่พื้นที่หุบเขา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 28. ผลกระทบเฉพาะถิ่นจากลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อนนี้มีอิทธิพลและสร้างผลกระทบสูงสุดในช่วงที่กระแสลมระดับภูมิภาค (synoptic wind flow) อ่อนกำลัง เช่น ในช่วงแรกของการเก็บข้อมูลตามที่แสดงในรูปที่ 25.



รูปที่ 28. แผนภาพการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศเหนือภูมิประเทศที่ซับซ้อนภายใต้สภาวะชั้นขอบเขตบรรยากาศที่ไม่เสถียร (a) และเสถียร (b) ภูเขาจำกัดการระบายอากาศและกักเก็บมลพิษไว้ในหุบเขา ในขณะที่ความร้อนที่แตกต่างกันเป็นตัวขับเคลื่อนการหมุนเวียนของลมระหว่างภูเขาและหุบเขาที่ควบคุมชั้นการผกผันของอุณหภูมิ ในเวลากลางคืน โดยกระแสลมเย็นที่ไหลลง เพิ่มการเคลื่อนที่ของควันไฟลงตามแนวลาด ทำให้มลพิษในหุบเขารุนแรงขึ้น ที่มา: De Wekker et al. (2018), Atmosphere, 9(10), 371, doi.org/10.3390/atmos9100371.

แม้ว่าแบบแผนของการไหลเวียนอากาศระหว่างภูเขาและหุบเขาจะปรากฏอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง แต่การพยากรณ์ความรุนแรงของการหมุนเวียนเหล่านี้ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคุณภาพอากาศ รูปที่ 29. แสดงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน พร้อมทั้งความเร็วและทิศทางลมในช่วงเวลา 5 วันจากสองช่วงเวลา คือ วันที่ 9-13 มีนาคม และ วันที่ 14-18 มีนาคม โดยเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของโอโซน พบว่าทั้งสองช่วง มีรูปแบบการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นก๊าซโอโซนในช่วงเช้าคล้ายคลึงกันในแต่ละวัน บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดในพื้นที่ซึ่งมีการผลิตโอโซนทุก ๆ วัน แต่เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของก๊าซโอโซนตลอดทั้งวัน พบว่าทั้งสองช่วงมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยในช่วงวันที่ 9-13 มีนาคม ก๊าซโอโซนลดลงหลังเวลา 11.00 น. และอยู่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของวัน ขณะที่ในช่วงวันที่ 14-18 มีนาคม ก๊าซโอโซน

ยังคงเพิ่มขึ้นต่อเนื่องถึงช่วงบ่าย และมีค่าเฉลี่ยรายวันแบบ 8 ชั่วโมงของโอโซนเกินค่ามาตรฐานของประเทศไทย (70 ppb) ทุกวัน ปัจจัยหลักที่อธิบายความแตกต่างระหว่างสองช่วงนี้คือความเร็วลมโดยในช่วงวันที่ 9–13 มีนาคม ความเร็วลมเพิ่มขึ้นในช่วงเช้าจนถึงบ่าย แม้จะไม่แรงมากแต่เพียงพอที่จะช่วยเจือจางและพามลพิษโอโซนออกจากพื้นที่ตรวจวัดได้ ในขณะที่ลมในช่วงวันที่ 14–18 มีนาคม ค่อนข้างอ่อนและคงที่ ทำให้เกิดการสะสมของโอโซนในแต่ละวัน เมื่อพิจารณาทิศทางลมพบว่า ทั้งสองช่วงมีรูปแบบคล้ายกัน กล่าวคือ ในช่วงเช้าลมมักมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แล้วจึงเปลี่ยนไปเป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้ในแต่ละวัน ซึ่งลมเปลี่ยนทิศเร็วกว่าเล็กน้อยในช่วงวันที่ 9–13 มีนาคม ส่วนในช่วงวันที่ 14–18 มีนาคม ลมเบาทำให้ทิศทางมีความแปรปรวนมากกว่า โดยในช่วงหัวค่ำลมจะมาจากทิศตะวันตก ซึ่งสอดคล้องกับลมที่ไหลลงจากภูเขา และจะเปลี่ยนกลับไปเป็นลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงกลางคืน ความต่อเนื่องของรูปแบบลมตลอดช่วงวันที่ 9–18 มีนาคม สะท้อนถึงอิทธิพลของภูมิประเทศที่คงอยู่ต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในช่วงมกราคมถึงเมษายน 2567 อีกด้วย



รูปที่ 29. การเปรียบเทียบพฤติกรรมโอโซนและลมรายวันในเชียงใหม่ในสองช่วงเวลา (9-13 มีนาคม และ 14-18 มีนาคม) แผนภาพแสดงค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับแต่ละช่วงเวลา และแผนที่จังหวัดเชียงใหม่แสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดและทิศทางลมหลักในแต่ละช่วงเวลาของวัน

ASIA-AQ: สรุปผลเบื้องต้นและข้อเสนอแนะ

โครงการ ASIA-AQ ได้รวบรวมข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับประเทศไทย และสามารถสรุปผลการค้นพบเบื้องต้น ส่วนผลการวิเคราะห์เชิงลึกเพิ่มเติมจากโครงการที่คาดว่าจะช่วยให้เราเข้าใจสถานการณ์ได้ดียิ่งขึ้นผ่านงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ฉบับสมบูรณ์ที่ได้รับการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิจะได้รับการตีพิมพ์ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ซึ่งจะนำไปสู่การจัดทำรายงานสังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับสมบูรณ์ต่อไป

1. **การจัดการการเผาในที่โล่งถือเป็นหัวใจสำคัญในการลดมลพิษ $PM_{2.5}$ ในช่วงวิกฤต** โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเหนือของประเทศไทย มีหลักฐานมากมายที่ชี้ชัดว่าการเผาเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ระดับ $PM_{2.5}$ พุ่งสูงขึ้นอย่างรุนแรง หลักฐานเหล่านี้มาจากหลายแหล่งข้อมูล ได้แก่
 - **ความสัมพันธ์ของวัฏจักร $PM_{2.5}$ และจุดความร้อน:** ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่สูงขึ้นซ้ำ ๆ ในแต่ละปีมีความสอดคล้องอย่างชัดเจนกับจำนวนจุดความร้อนที่ตรวจพบจากดาวเทียม (รูปที่ 1. และ 2.) แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างการเผากับระดับมลพิษ
 - **การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์:** การเพิ่มขึ้นของละอองสารอินทรีย์ในช่วงที่ $PM_{2.5}$ สูงในภาคเหนือ (รูปที่ 10.) บ่งชี้ว่าการเผาไหม้ชีวมวลเป็นแหล่งกำเนิดหลักของอนุภาคเหล่านี้
 - **สารอะซิโตไนไตรล์ ตัวบ่งชี้การเผาไหม้:** การตรวจพบสารอะซิโตไนไตรล์ (acetonitrile) ในระดับสูง ซึ่งเป็นสารที่บ่งชี้การเผาไหม้โดยเฉพาะ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า $PM_{2.5}$ ที่สูง (รูปที่ 11.) ยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณอะซิโตไนไตรล์ที่พบทั่วประเทศไทยยังสูงกว่าประเทศอื่น ๆ ในโครงการ ASIA-AQ อย่างมาก (รูปที่ 12.) ตอกย้ำความสำคัญของการเผาไหม้ในภูมิภาคนี้
 - **เบนซีน และอัตราส่วน เบนซีน ต่อ โทลูอีน:** การเพิ่มขึ้นของสารเบนซีน และอัตราส่วนเบนซีนต่อโทลูอีนที่สูงขึ้นในภาคเหนือ (รูปที่ 13. และ 14.) เป็นอีกหนึ่งหลักฐานที่สนับสนุนว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลมีส่วนสำคัญต่อมลพิษ $PM_{2.5}$
 - **การวิเคราะห์อนุภาคจากเชียงใหม่:** การวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นกรองละอองลอยจากเชียงใหม่เผยให้เห็นว่า ค่า $PM_{2.5}$ ที่สูงมีความเชื่อมโยงกับการเผาชีวมวล โดยมีสัดส่วนคาร์บอนเกิดที่สูง ความเข้มข้นของไอออนโพแทสเซียมสูง และค่าของไอโซโทปคาร์บอน-13 ต่ำ (รูปที่ 15.) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นลักษณะเฉพาะของการเผาไหม้ชีวมวล

แม้ว่าพฤติกรรมเผาจะเป็นสิ่งที่ฝังรากลึกและยากต่อการเปลี่ยนแปลง แต่หากสามารถลดการเผาได้ จะส่งผลให้คุณภาพอากาศดีขึ้นได้อย่างทันทีและมีความสำคัญ

2) ขยายการวิเคราะห์การเผาไหม้สู่ประเทศเพื่อนบ้าน: ก้าวสำคัญสู่การแก้ปัญหามลพิษข้ามพรมแดน

การทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าอะไรอยู่ภายใต้การควบคุมของประเทศไทย และอะไรต้องอาศัยความร่วมมือระดับภูมิภาค จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องขยายการวิเคราะห์การเผาไหม้ไปยังประเทศเพื่อนบ้าน

ปัจจุบัน GISTDA ประเมินการเผาไหม้ในประเทศไทย โดยสามารถให้ข้อมูลพื้นที่ที่ถูกเผาและจุดความร้อนรายเดือน (ตารางที่ 1) ซึ่งแสดงรายละเอียดจำแนกตามประเภทของพื้นที่ที่ถูกเผา เช่น พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม อย่างไรก็ตาม สำหรับประเทศเพื่อนบ้านนั้น มีเพียงข้อมูลจุดความร้อนเท่านั้นที่สามารถเข้าถึงได้ และบ่อยครั้ง **จุดความร้อนในประเทศเมียนมาและประเทศลาวมีจำนวนมากกว่าของประเทศไทย** (รูปที่ 2.)

นอกจากนี้ หลักฐานการเผาไหม้จำนวนมากบริเวณชายแดนภาคเหนือระหว่างประเทศไทยและประเทศเมียนมา ยังสามารถเห็นได้จากการกระจายตัวของก๊าซ NO_2 ที่ตรวจวัดโดยเครื่องมือ GEMS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม (รูปที่ 25.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า **ควันจำนวนมากจากการเผาไหม้ไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมโดยตรงของประเทศไทย**

ดังนั้น การขยายขอบเขตการประเมินและวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ของ GISTDA โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ไปยังประเทศเพื่อนบ้าน จึงเป็นข้อมูลที่จำเป็นอย่างยิ่งในการ:

- **ประเมินผลกระทบจากมลพิษข้ามพรมแดน** ได้อย่างแม่นยำ
- **ทำงานร่วมกันในระดับภูมิภาค** เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษที่มีผลกระทบต่อทุกประเทศในภูมิภาคอย่างเป็นระบบ

การดำเนินการดังกล่าวจะช่วยให้สามารถแยกแยะและจัดการกับแหล่งกำเนิดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในส่วนที่อยู่ภายใต้การควบคุมของประเทศไทย และในส่วนที่ต้องอาศัยการเจรจาและความร่วมมือระหว่างประเทศ

3) การควบคุม NO_x : หัวใจสำคัญในการลดโอโซนและ $\text{PM}_{2.5}$

การจัดการกับสาร NO_x ยังคงเป็นกลยุทธ์หลักในการลดระดับโอโซน และคาดว่าจะเห็นผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การควบคุมสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ก็จะช่วยเสริมประสิทธิภาพได้เช่นกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปล่อย NO_x สูง การควบคุมมลพิษเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะช่วยควบคุมระดับโอโซนไม่ให้เกินมาตรฐานเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อการลดฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ อีกด้วย

ข้อมูลจากการวัดภาคสนามด้วยเครื่องบิน DC-8 ได้ช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลองการเกิดโอโซนและการตอบสนองต่อสารตั้งต้นได้อย่างละเอียด พบว่า:

- NO_x ในกรุงเทพฯ: แม้จะไม่น่าแปลกใจที่พบ NO_x ในปริมาณมากที่สุดในกรุงเทพฯ แต่สิ่งที่น่าสนใจคือ มีเพียงประมาณ 15% ของการวัด NO_x ที่เกินจุดสูงสุดของประสิทธิภาพในการสร้างโอโซน (รูปที่ 21.)

สำหรับพื้นที่ภาคเหนือ ตัวเลขนี้อยู่ที่เพียง 5% ซึ่งแตกต่างจากมหานครอื่นในเอเชีย (เช่น โซล) ที่อาจมีผลกระทบเชิงลบในช่วงแรกของการลด NO_x สำหรับประเทศไทย กลยุทธ์ในการลด NO_x จึงคาดว่าจะให้ผลดีต่อการลดโอโซนได้ทันที

- ความไวของโอโซนต่อ VOCs: ข้อมูลความไวของโอโซนต่อ VOCs (รูปที่ 19.) ยังแสดงให้เห็นว่า การลดสารอะโรมาติก (ซึ่งโทลูอินเป็นตัวหลัก) ในกรุงเทพฯ จะให้ประโยชน์อย่างชัดเจน และสาร VOCs หลายกลุ่ม (เช่น อัลคีน, อะโรมาติก, และ OVOCs) ล้วนมีความไวคล้ายคลึงกัน
- ความแตกต่างของกลยุทธ์: แม้ว่าการลดการเผาไหม้ในภาคเหนือจะช่วยลดได้ทั้ง NO_x และ VOCs แต่กลยุทธ์การลด NO_x และสารอะโรมาติกในกรุงเทพฯ กลับมีจุดเน้นที่ต่างกัน ข้อมูลในอนาคตที่อัปเดตการวิเคราะห์ความไวของการผลิตโอโซนจากแหล่งกำเนิดที่เฉพาะเจาะจง (รูปที่ 20.) จะช่วยให้เข้าใจสถานการณ์ได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

โดยสรุปแล้ว ความซับซ้อนของสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดทั้งโอโซนและ PM_{2.5} แสดงให้เห็นว่า การลดการปล่อยมลพิษไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม จะเป็นประโยชน์ทั้งในการลดโอโซนและ PM_{2.5} ซึ่งเป็นข่าวดีสำหรับการจัดการคุณภาพอากาศในภาพรวมของประเทศไทย

4) การปรับปรุงการเฝ้าระวังโอโซน: ความจำเป็นเร่งด่วนสำหรับการจัดการคุณภาพอากาศ

การเฝ้าระวังระดับโอโซนในประเทศไทยจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน หากไม่มีการติดตามเพิ่มเติม จะเป็นเรื่องยากที่จะแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากมาตรการลดมลพิษได้อย่างเพียงพอ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความหนาแน่นของสถานีตรวจวัดโอโซนในประเทศไทยเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเห็นได้ชัดเจนที่สุดในกรุงเทพมหานคร และแม้แต่เชียงใหม่ก็ขาดการตรวจวัดโอโซนที่เชื่อถือได้ (รูปที่ 23. และ 24.)

เมื่อเปรียบเทียบกับ PM_{2.5} พบว่า โอโซนมีความแปรปรวนในพื้นที่กรุงเทพมหานครมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 22.) ด้วยเหตุนี้ การเพิ่มจำนวนสถานีตรวจวัดโอโซนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อวัตถุประสงค์หลักสองประการ

1. **แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จริง:** เพื่อให้สามารถวัดผลการเปลี่ยนแปลงของระดับโอโซนที่เกิดขึ้นจริงจากมาตรการลดการปล่อยมลพิษได้อย่างชัดเจน
2. **ปรับปรุงความสามารถในการพยากรณ์โอโซน:** เพื่อยกระดับความแม่นยำในการพยากรณ์โอโซน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมากในแต่ละพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

การลงทุนในการปรับปรุงระบบเฝ้าระวังโอโซนจะช่วยให้ประเทศไทยมีข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวางแผนและประเมินผลมาตรการจัดการคุณภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5) บำรุงการข้อมูลดาวเทียม: กุญแจสำคัญสู่ความเข้าใจและการจัดการคุณภาพอากาศ

การบำรุงการข้อมูลจากดาวเทียม จะทำให้มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่สำคัญที่แสดงให้เห็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดคุณภาพอากาศที่ย่ำแย่ รวมถึงช่วยให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและผลกระทบจากนโยบายได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

ปัจจุบัน GISTDA ได้ใช้ประโยชน์ข้อมูลดาวเทียมอย่างกว้างขวาง เช่น การติดตามจุดความร้อนและพื้นที่ที่ถูกเผาสำหรับก๊าซพิษในบรรยากาศ ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือ GEMS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม (รูปที่ 25.) และ G-III (รูปที่ 27.) ก็แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมหาศาล

แม้ว่าการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากเครื่องมือ GEMS ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลจากโครงการ ASIA-AQ ยังอยู่ระหว่างดำเนินการ แต่รูปแบบการกระจายตัวของก๊าซ NO_2 , HCHO และ AOD ต่างก็ช่วยเสริมหลักฐานที่ชี้ชัดว่า การเผามีผลกระทบต่อมลพิษทั้งสามชนิดนี้ นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของก๊าซเหล่านี้ยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุตุนิยมวิทยา ซึ่งช่วยให้เห็นพัฒนาการและการกระจายตัวของมลพิษในระดับภูมิภาคได้อย่างชัดเจน

ที่น่าสนใจคือ การกระจายตัวของ NO_2 ในชั้นบรรยากาศเหนือกรุงเทพฯ ยังสอดคล้องกับสภาวะอุตุนิยมวิทยาที่นำไปสู่เหตุการณ์โอโซนสูงอีกด้วย เมื่อผสานข้อมูลจากแบบจำลองและการตรวจวัดภาคพื้นดินเข้ากับการสำรวจจากดาวเทียม จะสามารถให้บริบทที่กว้างขึ้นและมีคุณค่ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการขยายข้อมูลไปยังพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด การบำรุงการข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้ประเทศไทยมีความเข้าใจและเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการจัดการคุณภาพอากาศในอนาคต

6) การให้ความสำคัญกับมลพิษเฉลี่ยรายปี: นอกเหนือจากเหตุการณ์วิกฤต $\text{PM}_{2.5}$

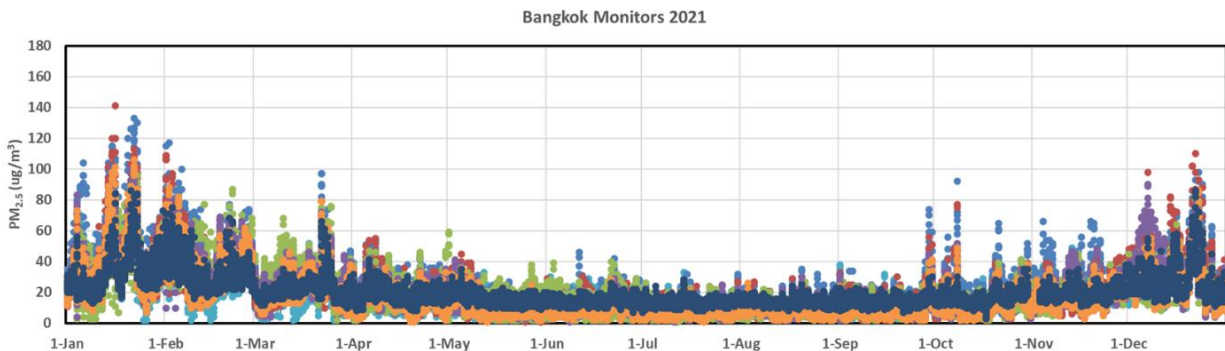
นอกเหนือจากการมุ่งเน้นไปที่เหตุการณ์มลพิษเฉียบพลันแล้ว ควรให้ความสำคัญกับสภาพมลพิษเฉลี่ยรายปีด้วย แม้ว่าโครงการ ASIA-AQ จะมุ่งเน้นการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่มีระดับมลพิษสูงสุดประจำปีของประเทศไทย โดยเฉพาะเพื่อเน้นย้ำบทบาทหลักของการเผาในพื้นที่ภาคเหนือ แต่การปล่อยมลพิษในเขตกรุงเทพฯ ยังคงเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดทั้งปี ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะของแหล่งกำเนิดมลพิษที่แตกต่างกันระหว่างภูมิภาค

ดังนั้น จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ไม่ควรพิจารณาเฉพาะการได้รับมลพิษในช่วงที่มีเหตุการณ์รุนแรงเท่านั้น เพราะ การได้รับมลพิษในระยะยาวอาจส่งผลต่อสุขภาพมากกว่า แม้ประชาชนจะสามารถลดการสัมผัสในช่วงที่มีมลพิษสูงได้ด้วยระบบพยากรณ์และแจ้งเตือนที่ดี แต่การได้รับกับมลพิษในชีวิตประจำวันไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ง่าย และการได้รับอย่างต่อเนื่องนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพระยะยาวและลดอายุขัยได้

รูปที่ 30. แสดงข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 รายปีจากสถานีตรวจวัดในกรุงเทพฯ พบว่า ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน สถานีส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยรายเดือนเกินเป้าหมายค่าเฉลี่ยรายปีที่ 15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าพุ่งสูงสุดในเดือนมกราคมหรือกุมภาพันธ์ (ซึ่งไม่ใช่ช่วงที่มีการเผาหลักในภาคเหนือ) โดยเฉลี่ยทั่วกรุงเทพฯ มีค่า PM2.5 เฉลี่ยในช่วงมกราคม-กุมภาพันธ์อยู่ที่ 40 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 6 เดือน (พ.ย. – เม.ย.) อยู่ที่ 29 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ค่าดังกล่าวมากพอที่จะบ่งชี้ช่วงที่อากาศสะอาดในเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม (ค่าเฉลี่ย 6 เดือน = 12 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ทำให้ ค่าเฉลี่ยรายปีโดยรวมอยู่ที่ 20.6 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และจากสถานีเดียวกัน ค่าเฉลี่ยรายปีในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 อยู่ที่ 23.5 และ 21.2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

ข้อมูลเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการลดการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดในเมืองและภาคอุตสาหกรรมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบรรลุเป้าหมายคุณภาพอากาศรายปี การมุ่งเน้นเพียงช่วงวิกฤตอาจไม่เพียงพอต่อการปกป้องสุขภาพของประชาชนในระยะยาว



รูปที่ 30. ค่าความเข้มข้นของ PM2.5 รายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2564

ภาคผนวก: ประวัติกฎหมายสิ่งแวดล้อมและโครงการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในประเทศไทย

รัฐบาลไทยได้ตระหนักถึงปัญหามลพิษทางอากาศมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (กทม. และปริมณฑล) รวมถึง 17 จังหวัดทางภาคเหนือ ประเทศไทยได้มีการนำมาตรฐานคุณภาพอากาศและการควบคุมการปล่อยมลพิษที่ใกล้เคียงกับประเทศชั้นนำอื่น ๆ มาใช้

กฎหมายที่เกี่ยวข้องและหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ

พื้นฐานทางกฎหมายของการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยคือ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 โดยมี กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) ภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานหลักในการบังคับใช้กฎหมาย

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศ (National Ambient Air Quality Standards :NAAQS)

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย (National Ambient Air Quality Standards: NAAQS) ซึ่งมีพื้นฐานตามกฎหมายดังกล่าว ได้ประกาศใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2538 และอยู่ภายใต้การพิจารณาและปรับปรุงโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มาตรฐาน NAAQS ครอบคลุมมลพิษทางอากาศหลัก ได้แก่:

- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
- ไนโตรเจนไดออกไซด์
- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ตะกั่ว
- ฝุ่น PM_{10} (ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน)
- ฝุ่นรวม (TSP – Total Suspended Particles)

ต่อมา ได้มีการขยายขอบเขตการกำกับดูแลไปสู่ ฝุ่น $PM_{2.5}$ และเริ่มมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 สำหรับ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ก็มีการกำหนดมาตรฐานเช่นกัน และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ล่าสุดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2566 มีการปรับปรุงมาตรฐาน $PM_{2.5}$ ใหม่ ให้มีค่าเฉลี่ยรายวันไม่เกิน 37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เครือข่ายการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ

การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในประเทศไทยเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 โดยกรมควบคุมมลพิษ ปัจจุบันเครือข่ายสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของ คพ. ประกอบด้วย:

- สถานีตรวจวัดแบบอัตโนมัติถาวร: จำนวน 96 แห่ง ครอบคลุม 65 จังหวัด โดยในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลมีสถานีตรวจวัดอัตโนมัติรวม 30 แห่ง (ข้อมูลปี พ.ศ. 2567)
- สถานีตรวจวัดเคลื่อนที่: จำนวน 9 แห่ง ซึ่งใช้ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศใกล้แหล่งกำเนิดมลพิษ และตอบสนองต่อข้อร้องเรียนในพื้นที่เฉพาะ รวมถึงใช้ในงานวิจัย

สถานีเหล่านี้บันทึกข้อมูลรายชั่วโมงของก๊าซ SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , ฝุ่น PM_{10} และพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา สำหรับ $\text{PM}_{2.5}$ จะมีการบันทึกค่ามวลรายชั่วโมงด้วยวิธีออนไลน์ เช่น การใช้เทคนิคการลดทอนรังสีเบต้า (Beta Attenuation) อย่างไรก็ตาม เครือข่ายของ คพ. ยังไม่มีการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$

นอกเหนือจากเครือข่ายของ คพ. แล้ว ยังมีโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศหลายโครงการที่รายงานทั้งค่ามวล $\text{PM}_{2.5}$ และองค์ประกอบทางเคมี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการทำ ความเข้าใจและแก้ไขปัญหาหมอกพิษทางอากาศในประเทศไทย

มาตรฐานการควบคุมมลพิษในประเทศไทย: ครอบคลุมทั้งแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่และแหล่งกำเนิดแบบจุด

ประเทศไทยได้ดำเนินนโยบายเชิงรุกในการกำหนดและบังคับใช้มาตรฐานการปล่อยมลพิษ สำหรับทั้ง แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ (ยานพาหนะ) และแหล่งกำเนิดแบบจุด (โรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้า) เพื่อควบคุม และลดปัญหาหมอกพิษทางอากาศอย่างยั่งยืน

การควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษแบบเคลื่อนที่

กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) มีบทบาทหลักในการกำกับดูแลมลพิษจากยานพาหนะ โดยได้เริ่มนำ มาตรฐาน Euro สำหรับยานยนต์ มาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 และก้าวสู่ขั้นต่อไปด้วยการบังคับใช้มาตรฐาน Euro 5 กับยานยนต์ น้ำหนักเบารุ่นใหม่ที่กำหนดในประเทศไทยตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2567 เป็นต้นไป

นอกจากนี้ กฎระเบียบด้านแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ยังได้รับการเสริมด้วยกลยุทธ์สำคัญอื่น ๆ ได้แก่:

- การรณรงค์ส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ: เพื่อลดจำนวนยานพาหนะส่วนบุคคลบนท้องถนน
- การส่งเสริมการขนส่งที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม: โดยเน้นการหันมาใช้ เชื้อเพลิงทางเลือก เช่น ก๊าซธรรมชาติและไฟฟ้า

- การควบคุมรถยนต์ดัดแปลง: คพ. ได้ออกมาตรฐานเมื่อปี พ.ศ. 2561 สำหรับการปล่อยมลพิษจากรถยนต์โดยสารขนาดเล็กที่ถูกดัดแปลงให้ใช้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งกลายเป็นหนึ่งในแหล่งมลพิษสำคัญที่ต้องได้รับการควบคุม

การควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษแบบจุด

สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษแบบจุด การควบคุมอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของกระทรวงต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิด:

- กระทรวงอุตสาหกรรม ทำหน้าที่ดูแลการปล่อยมลพิษจาก ภาควอุตสาหกรรมและโรงกลั่นน้ำมัน
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีบทบาทในการกำกับดูแลการปล่อยมลพิษจาก โรงไฟฟ้า

การแบ่งความรับผิดชอบที่ชัดเจนนี้ทำให้การควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสะท้อนให้เห็นถึงความมุ่งมั่นของประเทศไทยในการยกระดับคุณภาพอากาศเพื่อสุขภาพที่ดีของประชาชน

มาตรการของไทยในการต่อสู้กับมลพิษทางอากาศ: ควบคุม VOCs และยุติการเผาชีวมวล

ประเทศไทยกำลังเดินหน้าอย่างจริงจังเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ ด้วยมาตรการที่ครอบคลุมทั้งการควบคุมสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และการจัดการปัญหาการเผาชีวมวล ซึ่งรวมถึงการตั้งเป้าหมายยุติการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรภายในปี พ.ศ. 2573 ควบคู่ไปกับการบังคับใช้มาตรการห้ามเผาตามฤดูกาลและมาตรการฉุกเฉินในช่วงวิกฤตหมอกควัน

การควบคุมสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

รัฐบาลไทยได้ออกข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญของละอองลอยอินทรีย์ทุติยภูมิ (ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของ $PM_{2.5}$) มาตรการสำคัญ คือ การบังคับให้ติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำมันในคลังน้ำมัน รถบรรทุกน้ำมัน และสถานีบริการน้ำมัน เพื่อลดการระเหยของสารเหล่านี้สู่บรรยากาศ

การจัดการปัญหาการเผาชีวมวล

การเผาชีวมวล ทั้งจากไฟฟ้าและการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่ง ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ ถือเป็นอีกหนึ่งสาเหตุหลักของมลพิษทางอากาศในประเทศไทย เพื่อจัดการกับปัญหานี้ รัฐบาลไทยได้จัดทำ:

- แผนแม่บทแห่งชาติเพื่อควบคุมการเผาในที่โล่ง แผนนี้กำหนดมาตรการควบคุมการเผาป่าไม้และเศษวัสดุทางการเกษตร โดยตั้งเป้าที่จะจำกัดการเผาป่าไม่เกิน 48,000 เฮกตาร์ต่อปีภายในปี พ.ศ. 2573 และที่สำคัญคือ ยุติการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรทั่วประเทศอย่างสิ้นเชิง
- แผนปฏิบัติการควบคุมไฟป่าและหมอกควัน ซึ่งสอดคล้องกับกรอบความร่วมมือในระดับภูมิภาค คือ ความตกลงอาเซียนว่าด้วยมลพิษจากหมอกควันข้ามแดน ที่ลงนามในปี พ.ศ. 2545

นอกจากแผนระยะยาวแล้ว ยังมีมาตรการเฉพาะหน้าเพื่อรับมือกับสถานการณ์เร่งด่วน เช่น ในปี พ.ศ. 2560 รัฐบาลไทยได้ออกนโยบายลดปัญหาหมอกควัน โดยห้ามการเผาในภาคเหนือช่วงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ – 17 เมษายน ซึ่งส่งผลให้จำนวนจุดความร้อนและค่าฝุ่น PM_{10} ในจังหวัดเชียงรายลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเดือนมีนาคมของปีนั้น นอกจากนี้ ในกรณีที่เกิดเหตุหมอกควันและควันไฟรุนแรง ผู้ว่าราชการจังหวัดมีอำนาจในการออกคำสั่ง ห้ามเผาในที่โล่งได้ภายใต้กรอบพระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

สำหรับสถานการณ์ล่าสุด กรุงเทพฯ ยังคงประสบปัญหาหมอกควันทางอากาศ $PM_{2.5}$ อย่างรุนแรง ซึ่งเห็นได้ชัดจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 มาตรการเหล่านี้จึงเป็นความพยายามอย่างต่อเนื่องของประเทศไทยในการแก้ไขปัญหาหมอกควันทางอากาศ เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของประชาชน

แก้ปัญหา $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพฯ และปริมณฑล: แนวทางองค์รวมเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน

การแก้ไขปัญหา $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ไม่ใช่เรื่องง่าย และ จำเป็นต้องใช้แนวทางแบบองค์รวมที่ซับซ้อน โดยบูรณาการการควบคุมคุณภาพอากาศเข้ากับนโยบายด้านพลังงาน เมือง และการเกษตร รวมถึงการสร้างแรงจูงใจทางพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบของเศรษฐกิจ เพื่อตอบโต้ภัยความท้าทายจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นที่ซ้ำเติมปัญหาหมอกควัน

ปัญหา $PM_{2.5}$ ใน ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล เป็นประเด็นที่ท้าทายอย่างยิ่ง เนื่องจากประเทศไทยคาดการณ์ว่าจะมีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในทศวรรษข้างหน้า ซึ่งจะส่งผลให้การปล่อยมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้นได้ง่าย แม้ว่ารบบกฎหมายและข้อบังคับด้านคุณภาพอากาศของประเทศจะมีความเข้มงวดและครอบคลุมในระดับที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานสากลแล้วก็ตาม

อย่างไรก็ตาม แม้แต่ประเทศรายได้สูงที่มีภาวะเบียดเบียนสิ่งแวดล้อมมาก ปัญหาฝุ่น PM ก็ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างสมบูรณ์ ยิ่งไปกว่านั้น ประเทศไทยอาจเสียเปรียบเมื่อเทียบกับประเทศรายได้สูงในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เนื่องจากสภาพอากาศแบบร้อนชื้นของไทยเอื้อต่อการเกิดฝุ่น PM ทุติยภูมิในระดับสูง ซึ่งหมายความว่า การแก้ปัญหาหมอกควัน



พื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล จำเป็นต้องใช้วิธีการที่หลากหลายและอาจอยู่นอกกรอบของแนวทางควบคุมมลพิษแบบ
ดั้งเดิม

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นโยบายควบคุมมลพิษทางอากาศควรบูรณาการร่วมกับนโยบายภาครัฐอื่น ๆ เช่น
นโยบายด้านพลังงาน นโยบายพัฒนาเมือง และนโยบายการเกษตร การควบคุมมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องใช้
แนวทางแบบองค์รวมที่ผสมผสานมาตรการหลากหลาย ทั้งที่เกี่ยวข้องกับแรงจูงใจเชิงพฤติกรรมของประชาชน และ
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจในระดับระบบ เพื่อให้สามารถรับมือกับความท้าทายด้านมลพิษได้อย่างยั่งยืนและ
มีประสิทธิภาพในระยะยาว

ผู้ร่วมงานและองค์กรที่ให้ความร่วมมือ

ผลงานนี้เกิดขึ้นได้จากความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับ คณะทำงานในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วย:

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) - GISTDA

- นายปกรณ์ อาภาพันธุ์
- นางกานดาศรี ลิ้มปาคม
- นายปกรณ์ เพ็ชรประยูร
- นางสาววิภาดา บุญเลิศ
- นายณัฐดนัย พันธุ์สิน
- นางสาวนันท์กร กิจรัตน์กร
- นางสาวบุษบา อ่วมเกษม
- นางสาวฉานิกา สุขวัฒนวิจิตร

กรมควบคุมมลพิษ

- นายอิทธิพล พ่ออามาตย์

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) - NARIT

- Mr. Ronald Macatangay
- นางสาวศรัญพร เครื่องสาย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- นางสาวนริศรา ทองบุญชู

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- นางสาวสาวิตรี การ์ไวทย์
- นายเกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- นางสาวโณมศรี ชูช่วย
- นางสาวนันทพร หนูทราย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

- นายอิสระ มะศิริ
- นางสาวสุมาลย์ บรรเทิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

- นางสาววิลาวรรณ์ คำหาญ



มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

- นายรัชพล สัมพุธานนท์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

- นายธายุกร พระบำรุง

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

- นางสาวนิสา สุรพิพิธ

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

- นางสาวธีรนนท์ สอนแก้ว

นอกจากนี้ เราขอขอบคุณการสนับสนุนอันทรงคุณค่าจากผู้ร่วมงานนานาชาติ รวมถึง

- องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ - NASA
- มหาวิทยาลัยเกาหลี (Korea University)

และพันธมิตรอีกมากมายภายใต้โครงการ ASIA-AQ