



องค์ความรู้เรื่อง การกำหนดแนวทางควบคุม แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่

โดยใช้ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ (Emission Inventory) และแบบจำลอง
สำหรับพื้นที่รับผลกระทบ (Receptor Modeling)



ดร.พฤกษ์ พงศ์พฤक्षा
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)



องค์ความรู้เรื่อง

การกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่
โดยใช้ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ (Emission Inventory)
และแบบจำลองสำหรับพื้นที่รับผลกระทบ (Receptor Modeling)

ISBN 978-616-94015-3-7

ชุดความรู้ องค์ความรู้เพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ

พิมพ์ครั้งแรก กรกฎาคม 2565

จำนวน 100 เล่ม

ชื่อผู้แต่ง

ดร.พฤษัช พงศ์พฤษชา บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

คณะบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ตระการ ประภัสพงษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธรมวดี สุวัฒน์ิกะ

พิสูจน์อักษร ณัฐจิต อันเมฆ และ ณิชนันท์ นันทางค์

ปกและรูปเล่ม โยชิตา กรกิจเจริญ

จัดพิมพ์โดย

ศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ (ศวอ.)

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

122/4 ซ.เรวดี ถ.พระราม 6 แขวงพญาไท

เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ : 02-617-1530-1 โทรสาร : 02-279-9720 E-mail : info@ccas.or.th

พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ เอ เอ เซอร์วิส

33 ซ.อินทามระ 4 ถ.สุทธิสารวินิจฉัย แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ : 02-279-5233 โทรสาร : 02-279-5322

สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

คำนำ

องค์ความรู้เล่มนี้เป็นหนึ่งในชุดความรู้ องค์ความรู้เพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ ซึ่งจัดทำโดยศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ (ศวอ.) ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

ศวอ. มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นศูนย์รวมนักวิชาการในการพัฒนาองค์ความรู้เป็นฐานในการขับเคลื่อน สื่อสารชั้นนำสังคม และสนับสนุนมาตรการ นโยบาย เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ อย่างมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย ทำหน้าที่รวบรวมองค์ความรู้ด้านฝุ่น PM_{2.5} พัฒนาต่อยอดงานวิชาการ พัฒนานวัตกรรม และพัฒนาระบบข้อมูลงานวิชาการเพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่น PM_{2.5} และเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษ PM_{2.5} อย่างยั่งยืน

องค์ความรู้ที่อยู่ในมือของท่านนี้เป็นเอกสารที่ผ่านการรวบรวม สังเคราะห์ ประชุมเสวนารับฟังความคิดเห็น เพื่อการสื่อสาร เผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษ PM_{2.5} ผู้สังคมและกลุ่มเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อปลูกฝังความเป็นเจ้าของในทรัพยากรอากาศสะอาดร่วมกัน

ศวอ. มีเป้าหมายที่สำคัญคือสร้างการมีส่วนร่วมกับภาคีเครือข่าย ทั้งภาครัฐ ภาคประชาชน และภาคเอกชน เพื่อร่วมกันขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษ PM_{2.5} โดยร่วมจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับมาตรการ และนโยบายในการป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การออกแบบมาตรการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษ เพื่อลดผลกระทบมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source apportionment) ของพื้นที่ศึกษา สำหรับจัดลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิด และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในเชิงพื้นที่ที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative) กล่าวคือสามารถระบุได้ว่าในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดใด และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative) ซึ่งสามารถระบุสัดส่วนของแหล่งกำเนิดในพื้นที่

การระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ (Qualitative) จะเป็นการศึกษาแหล่งกำเนิดสำคัญ โดยระบุว่า ณ จุดตรวจวัดมีผลกระทบจากแหล่งกำเนิดกลุ่มใด โดยอาศัยความเข้มข้นฝุ่น (อาจมีการตรวจแยกขนาดของฝุ่นด้วย) ร่วมกับข้อมูลสนับสนุนในการวิเคราะห์ เช่น ทิศทางและความเร็วลม จำนวนจุดความร้อน (Hotspot) ปริมาณการจราจร ผลจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ (Air parcel trajectory model) และผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของฝุ่น เป็นต้น แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ มีข้อดี คือ สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญออกจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่มีจำนวนมาก (เช่น การจราจร การเผาไหม้ชีวมวล อุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การก่อสร้าง เกลือทะเล และการหุงต้มอาหาร) โดยอาศัยข้อมูลที่มีการดำเนินการตรวจวัดอยู่แล้ว เช่น ข้อมูลตรวจวัดฝุ่นและข้อมูลประกอบช่วยในการวิเคราะห์ ไม่ต้องใช้ข้อมูลซับซ้อน เช่น บัญชีการปล่อยมลพิษ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และแบบจำลองคุณภาพอากาศ

อย่างไรก็ตาม แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ มีข้อจำกัด เช่น ไม่สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้ครบถ้วน ไม่สามารถระบุสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของพื้นที่ชัดเจน ทำให้มีความท้าทายในการนำผลการศึกษาไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่อย่างครอบคลุมการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ (Quantitative) จะเป็นการประเมินแหล่งกำเนิดที่สำคัญในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถระบุสัดส่วนของแต่ละแหล่งกำเนิด เพื่อกำหนดแนวทางควบคุมของแต่ละแหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมาตรการควบคุมแต่ละแหล่งกำเนิดมีข้อจำกัดที่อาจแตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการที่กำหนด

การระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ 1) การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ (Emission inventory) และ 2) การใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) ซึ่งแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดเชิงปริมาณข้างต้นจะทำให้สามารถทราบสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษในอากาศ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดได้ อย่างไรก็ตามการนำแนวทางข้างต้นไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องพิจารณาข้อจำกัดในการใช้งานสำหรับมลพิษในอากาศแต่ละชนิดด้วย

การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับมลพิษที่มีความเสถียร เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจก แต่ไม่เหมาะสำหรับควบคุมมลพิษกรรมที่เกิดปฏิกิริยาเคมี หรือแหล่งกำเนิดทุติยภูมิ เช่น ฝุ่น ซึ่งจะต้องอาศัยแบบจำลองคุณภาพอากาศที่คำนึงถึงปฏิกิริยาเคมีร่วมด้วย ทั้งนี้ในกรณีจุดปล่อยมลพิษอยู่สูงจากพื้น เช่น ปล่องระบายมลพิษ หากใช้ข้อมูลการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษในการกำหนดแนวทางลดผลกระทบ อาจจะเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากการสร้างปล่องระบายมลพิษให้มีความสูงเป็นวิธีลดผลกระทบต่อแหล่งรับซึ่งอยู่ในระดับพื้นอยู่แล้ว ดังนั้นควรพิจารณาแหล่งกำเนิดในระดับเดียวกับจุดตรวจวัดมลพิษจึงจะเหมาะสมมากกว่า

การใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) ในการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่ มีการใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับศึกษาฝุ่นในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ หรือหลักการทางสถิติในการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษที่จุดตรวจวัด แบบจำลองลักษณะนี้มีความแตกต่างจากแบบจำลองคุณภาพอากาศประเภทอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น การปล่อยมลพิษ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และการแก้สมการปฏิกิริยาเคมี โดยต้องอาศัยกำลังของคอมพิวเตอร์ระดับสูงในการประมวลผล รวมถึง

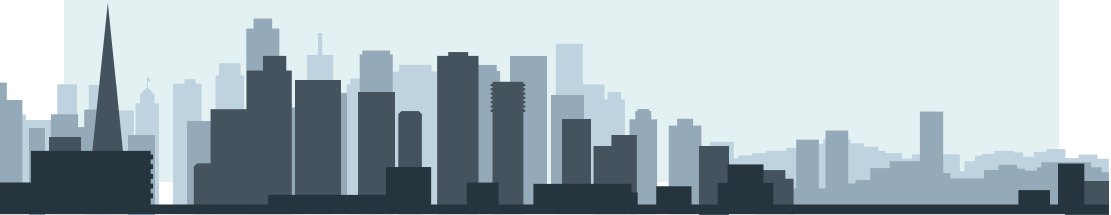


Danger of PM_{2.5}

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การวิเคราะห์ผลข้อมูลขนาดใหญ่อีกด้วย ทั้งนี้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบถูกใช้งานค่อนข้างจำกัด เช่น ในระดับตำบล ระดับจังหวัด และระดับภูมิภาค โดยพื้นที่ระดับจังหวัดที่ศึกษาอาจใช้จุดตรวจวัดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ไม่ก่จุด เช่น ตัวแทนพื้นที่เมือง พื้นที่ชนบท และพื้นที่อุตสาหกรรม ทั้งนี้ในกรณีศึกษาพื้นที่ระดับภูมิภาค (หลายจังหวัดรวมกัน) อาจมีการใช้จุดตรวจวัดที่มากขึ้น เป็นต้น

โดยสรุปการศึกษาฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบในประเทศไทย มีการศึกษาในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น กรุงเทพฯ และปริมณฑล จังหวัดภูเก็ต จังหวัดในภาคเหนือ โดยพื้นที่เหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากไอเสียของยานพาหนะ หรือการจราจร และการเผาชีวมวล คิดเป็นสัดส่วน 60% ถึง 80% ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบมาตรการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษของแต่ละพื้นที่ให้เหมาะสมต่อไป



คำนำ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

บทที่ 1	บทนำ	9
บทที่ 2	แนวทางระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ	11
บทที่ 3	แนวทางระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ	13
	3.1 การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ (Emission Inventory)	14
	3.2 การใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor Modeling)	15
บทที่ 4	ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในประเทศไทย	17
	4.1 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร และภาคกลาง	19
	4.2 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในภาคเหนือ	23
	4.3 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในภาคใต้	27
	4.4 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	28
	4.5 สรุปผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในประเทศไทย	29
บทที่ 5	อิทธิพลของแหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ จากผลการศึกษาด้วยแบบจำลอง แหล่งรับผลกระทบ	38
บทที่ 6	การควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่	40
บทที่ 7	ความจำเป็นของแบบจำลองคุณภาพอากาศและการส่งเสริม การใช้งานแบบจำลอง	45
	7.1 บุคลากร	46
	7.2 ระบบแบบจำลองคุณภาพอากาศ	47
	7.3 นโยบาย	48
บทที่ 8	ข้อเสนอแนะการจำลองคุณภาพอากาศของไทย	49
	เอกสารอ้างอิง	53

สารบัญรูป

รูปที่ 1	สรุปผลรวบรวมการศึกษาที่มีการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศระดับพื้นที่ของประเทศไทย	18
รูปที่ 2	อิทธิพลของแหล่งกำเนิดต่อความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพฯ และปริมณฑล และจังหวัดภูเก็ต	39
รูปที่ 3	อิทธิพลของแหล่งกำเนิดต่อความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ พื้นที่เมืองและชนบทในจังหวัดภาคเหนือ	39
รูปที่ 4	ตัวอย่างแสดงความแตกต่างระหว่างการปล่อยมลพิษและผลจำลองคุณภาพอากาศ	41

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	สรุปผลการศึกษาระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในประเทศไทย	29
------------	---	----

บทที่ 1

บทนำ



การออกแบบมาตรการเพื่อลดผลกระทบมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพ เพื่อกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องทราบสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษ (Source apportionment) ในการจัดลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิด และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์สัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษมีความท้าทายอย่างยิ่ง โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง (Particulate Matter หรือ PM) เนื่องจากฝุ่นละอองไม่ใช่สารบริสุทธิ์โดยอาจจะประกอบไปด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันนับร้อยชนิด ฝุ่นละอองมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันมาก นิยามทั่วไปของฝุ่นละออง คือ ส่วนผสมของอนุภาคของแข็งและของเหลวที่เป็นละอองลอยในอากาศ อนุภาคฝุ่นบางส่วนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ผง ละออง เหม่า หรือควัน ที่มีขนาดใหญ่ หรือมีสีดำ ในขณะที่อนุภาคฝุ่นบางส่วนที่มีขนาดเล็กมากจะต้องใช้อุปกรณ์ (เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน) ช่วยในการศึกษา ทั้งนี้มลพิษจากฝุ่นยังสามารถแบ่งออกตามขนาดของอนุภาค เช่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ หมายถึงอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 และ 2.5 ไมโครเมตร หรือ ไมครอน ตามลำดับ ฝุ่นละอองอาจถูก

ปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น การก่อสร้าง ถนน พื้นดิน ปล่องควัน หรือการเผาไหม้ ฝุ่นละอองในบรรยากาศส่วนหนึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อน เช่น จากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งเป็นมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และท่อไอเสียรถยนต์

การศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในประเทศไทยมีการใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น และใช้เป็นตัวกำหนดแหล่งกำเนิดที่สำคัญ (เช่น K, EC/OC, char-EC/soot-EC, หรือ Benzo[b]fluoranthene) (Boongla et al., 2021; Insiyan et al., 2022; Khamkaew et al., 2016; Kongpran et al., 2021) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นมลพิษกับกิจกรรมในพื้นที่ (Janta et al., 2020; Khaenamkaew et al., 2011; Phanukarn et al., 2020) หรือใช้เครื่องมือ

เช่น ฐานข้อมูลแหล่งกำหนดมลพิษ (Emission inventory) (Narita et al., 2019; Phairuang et al., 2022) หรือแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) (Chansuebsri et al., 2022; Choochuay et al., 2020; ChooChuay et al., 2020; Narita et al., 2019; Oanh et al., 2016; Pengchai, Chantara, Sopajaree, Wangkarn, Tengcharoenkul, & Rayanakorn, 2009; Tippayawong et al., 2006; Wimolwattana-pun et al., 2011) โดยสรุปการศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในเชิงพื้นที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative) กล่าวคือสามารถระบุว่าในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดใด และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative) ซึ่งสามารถระบุสัดส่วนของแหล่งกำเนิดในพื้นที่



บทที่ 2

แนวทางระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ ในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ



การระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ (Qualitative) จะเป็นการศึกษาแหล่งกำเนิดสำคัญของมลพิษอากาศต่าง ๆ ระดับพื้นที่ในเบื้องต้น (Initial screening) กล่าวคือในกรณีของฝุ่นจะระบุว่าจุดตรวจวัดมีผลกระทบต่อสภาพรวมจากแหล่งกำเนิดใด โดยอาศัยความเข้มข้นฝุ่น (โดยอาจมีการแยกขนาดของฝุ่นเพิ่มเติม) ร่วมกับข้อมูลประกอบต่าง ๆ ช่วยในการวิเคราะห์ เช่น

- ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น ทิศทางและความเร็วของลม (Khaenamkaew et al., 2011; Sooktawee et al., 2020; Suwattiga, 2019)
- ข้อมูลกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนจุดความร้อน (Hotspot) (Janta et al., 2020) ปริมาณการจราจรของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ (Phanukarn et al., 2020)

- แบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ (Air parcel trajectory model) (Punsompong & Chantara, 2018; Suwattiga, 2019)

- การวิเคราะห์ส่วนประกอบของฝุ่น เช่น K, Organic Carbon (OC), Elemental Carbon (EC), char-EC, soot-EC, และ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) (Boongla et al., 2021; Khamkaew et al., 2016; Phairuang et al., 2020; Suwattiga, 2019)

แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ มีข้อดี คือ สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญออกจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่มีจำนวนมาก (เช่น การจราจร การเผาไหม้ชีวมวล อุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การก่อสร้าง เกื้อทะเล และการหุงต้มอาหาร) โดยอาศัยข้อมูลที่มีการดำเนินการเป็นกิจวัตร เช่น ข้อมูลตรวจวัดฝุ่นและข้อมูลประกอบช่วยในการวิเคราะห์ ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ซับซ้อน เช่น บัญชีการปล่อยมลพิษทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และแบบจำลองคุณภาพอากาศ

อย่างไรก็ตาม แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพมีข้อจำกัด เช่น ไม่สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้ครบถ้วน ไม่สามารถระบุสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่ชัดเจน ทำให้มีความท้าทายในการนำผลการศึกษาไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่อย่างครอบคลุมทุกมิติ



บทที่ 3

แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ ในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ



การระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ (Quantitative) จะเป็นการประเมินแหล่งกำเนิดที่สำคัญในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถระบุสัดส่วนของแต่ละแหล่งกำเนิด เพื่อกำหนดแนวทางควบคุมของแต่ละแหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมาตรการควบคุมแต่ละแหล่งกำเนิดมีข้อจำกัดที่อาจแตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการที่กำหนด

การระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ 1) การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ (Emission inventory) และ 2) การใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) ซึ่งแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดเชิงปริมาณข้างต้นจะทำให้สามารถทราบสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษในอากาศ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในออกแบบแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดได้ อย่างไรก็ตาม การนำแนวทางข้างต้นไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องพิจารณาข้อจำกัดในการใช้งานสำหรับมลพิษในอากาศแต่ละชนิดด้วย

3.1 การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ (Emission Inventory)

การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบมาตรการควบคุมที่แหล่งกำเนิด สามารถทำได้โดยการตรวจวัดการปล่อยมลพิษโดยตรงของแต่ละแหล่งกำเนิด หรือโดยทั่วไปจะอาศัยสมการในการประเมินการปล่อยมลพิษดังนี้

$$E = A \times EF \times (1-ER/100)$$

โดย

E = ปริมาณการปล่อยมลพิษ (Emission)

A = อัตราการดำเนินกิจกรรม (Activity rate)

EF = ค่าตัวคูณการระบายมลพิษ (Emission factor)

ER = ร้อยละของประสิทธิภาพในการควบคุมการปล่อยมลพิษ, % (Emission reduction)

ค่าตัวคูณการระบายมลพิษ (Emission Factor หรือ EF) เป็นค่าตัวแทนในการประเมินการปล่อยมลพิษที่สัมพันธ์กับกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษ โดยค่า EF มักมีหน่วยเป็นน้ำหนักมลพิษ หารด้วยน้ำหนัก ปริมาตร ระยะทาง หรือระยะเวลาของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษ (เช่น กิโลกรัมของฝุ่นที่ปลดปล่อยต่อล้านลูกบาศก์เมตรของก๊าซธรรมชาติที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง กรัมของฝุ่นที่ปลดปล่อยต่อลิตรของน้ำมันเตาที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง กิโลกรัมของฝุ่นที่ปลดปล่อยต่อตันของถ่านหินที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง กรัมของฝุ่นจากการสึกหรอของยางรถยนต์ต่อกิโลเมตรที่ขับขี่ หรือกิโลกรัมของก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยต่อปีของวัว 1 ตัว เป็นต้น)

สำหรับค่า ER เป็นประสิทธิภาพโดยรวมของอุปกรณ์ควบคุมสำหรับการกำจัด การลด หรือการกักเก็บของระบบควบคุมมลพิษ

การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับมลพิษที่มีความเสถียร เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจก แต่ไม่เหมาะสมในการควบคุมมลพิษที่เกิด ปฏิกริยาเคมี เช่น ก๊าซโอโซน สำหรับการใช้อัญชีการปล่อยฝุ่นในการออกแบบมาตรการควบคุม แหล่งกำเนิดฝุ่นในประเทศไทยมีการศึกษาจำนวนไม่มากนัก (Narita et al., 2019; Phairuang et al., 2020) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) พบว่ามีความแตกต่างค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้งานบัญชีการ ปล่อยฝุ่นสำหรับออกแบบมาตรการควบคุมแหล่งกำเนิด เนื่องจากแหล่งกำเนิดฝุ่นปฐมภูมิ (Primary source) หรือแหล่งกำเนิดที่ปล่อยฝุ่นโดยตรงอาจจะสามารถประเมินได้จากบัญชีการ ปล่อย แต่แหล่งกำเนิดทุติยภูมิ หรือฝุ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีไม่สามารถใช้อัญชีการปล่อย โดยตรง ต้องอาศัยแบบจำลองคุณภาพอากาศที่สามารถคำนวณปฏิกิริยาเคมีร่วมด้วย

3.2 การใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor Modeling)

การใช้งานแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) ในการระบุ แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่ มีการใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับศึกษาฝุ่นในพื้นที่ ต่าง ๆ ของประเทศไทย (Chansuebsri et al., 2022; Choochuay et al., 2020; ChooChuay et al., 2020; Narita et al., 2019; Oanh et al., 2016; Pengchai, Chantara, Sopajaree, Wangkarn, Tengcharoenkul, & Rayanakorn, 2009; Tippayawong et al., 2006; Wimolwattanapun et al., 2011) โดยแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor models) ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ หรือหลักการทางสถิติในการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษที่ จุดตรวจวัด แบบจำลองลักษณะนี้มีความแตกต่างจากแบบจำลองคุณภาพอากาศประเภทอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น การปล่อยมลพิษ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และการ แก๊สสารปฏิกิริยาเคมี โดยต้องอาศัยกำลังของคอมพิวเตอร์ระดับสูงในการคำนวณและต้อง วิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากอีกด้วย

แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบอาศัยข้อมูลการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพ และ ส่วนประกอบเคมีของมลพิษจากตัวแทนแหล่งกำเนิดและพื้นที่รับผลกระทบ เพื่อระบุสัดส่วน ของแหล่งกำเนิดในพื้นที่รับผลกระทบ โดยพบการใช้งานแบบจำลองประเภทนี้ในประเทศไทย 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) Principal Component Analysis หรือ PCA (Chansuebsri et al., 2022; Choochuay et al., 2020; ChooChuay et al., 2020; Pengchai, Chantara, Sopajaree, Wangkarn, Tengcharoenkul, & Rayanakorn, 2009; Tippayawong et al., 2006) 2) Positive Matrix Factorization หรือ PMF (Wimolwattanapun et al., 2011) และ 3) Chemical Mass Balance หรือ CMB (Narita et al., 2019; Oanh et al., 2016)

ทั้งนี้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบถูกใช้งานค่อนข้างจำกัด เช่น ในระดับตำบล ระดับจังหวัด และระดับภูมิภาค โดยพื้นที่ระดับจังหวัดที่ศึกษาอาจใช้จุดตรวจวัดที่เป็นตัวแทน ของพื้นที่ไม่กี่จุด เช่น ตัวแทนพื้นที่เมือง พื้นที่ชนบท และพื้นที่อุตสาหกรรม ทั้งนี้ในกรณีศึกษา พื้นที่ระดับภูมิภาค (หลายจังหวัดรวมกัน) อาจมีการใช้จุดตรวจวัดที่มากขึ้น เป็นต้น



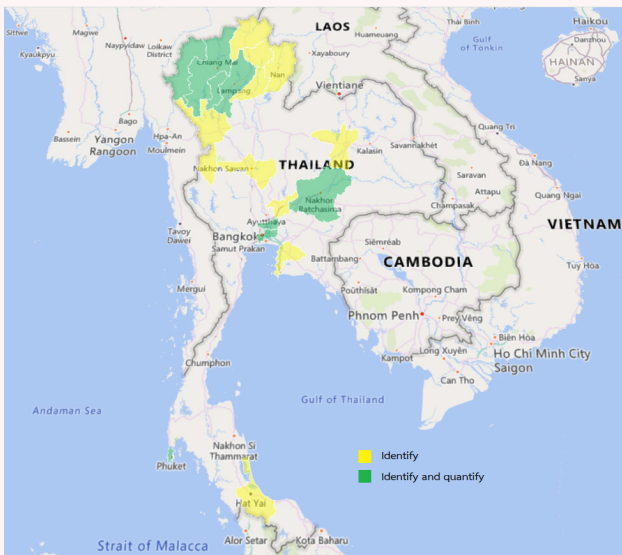
บทที่ 4

ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ ในประเทศไทย



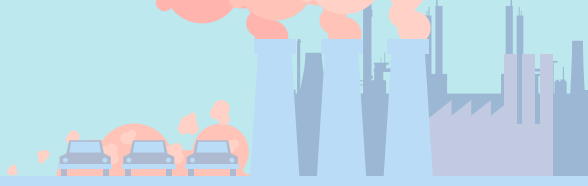
จากการทบทวนและรวบรวมการศึกษาย้อนหลังประมาณ 10 ปี ซึ่งมีการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่น ทั้งการใช้แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ (Qualitative/identify) และแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ (Quantitative/identify and quantify) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

การระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นมีการศึกษาครอบคลุมในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยพบการศึกษาในจังหวัดต่าง ๆ ทางภาคเหนือค่อนข้างมาก เช่น จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูนและลำปาง ซึ่งนอกจากมีผลการระบุแหล่งกำเนิดสำคัญของฝุ่น ยังมีการระบุถึงสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นอีกด้วย ทั้งนี้ อันเนื่องมาจากในจังหวัดภาคเหนือมีประเด็นปัญหาฝุ่นหมอกควันค่อนข้างรุนแรงและเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี



รูปที่ 1 สรุปผลรวบรวมการศึกษาที่มีการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศระดับพื้นที่ของประเทศไทย ในจังหวัดต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นการระบุแหล่งกำเนิดในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพ (Qualitative/identify) (สีเขียว) และการระบุแหล่งกำเนิดในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ (Quantitative/identify and quantify) (สีเหลือง)

สำหรับจังหวัดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจนอกเหนือจากจังหวัดในภาคเหนือ เช่น กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (กรุงเทพมหานครและจังหวัดปทุมธานี) รวมถึงจังหวัดใกล้เคียง (จังหวัดนครราชสีมา) และจังหวัดภูเก็ต ต่างก็มีผลการระบุแหล่งกำเนิดสำคัญของฝุ่น ตลอดจนการระบุถึงสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นเช่นเดียวกัน



4.1 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร และภาคกลาง

Wimolwattanapun et al. (2011) เก็บตัวอย่างฝุ่นในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ปี 2003 ถึง ปี 2007 และวิเคราะห์ธาตุประกอบในตัวอย่าง ร่วมกับการจำแนกแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ โดยใช้วิธี Positive Matrix Factorization (PMF) ซึ่งสามารถระบุแหล่งกำเนิด เช่น การจราจร การเผาชีวมวล ดิน เกลือทะเล และอุตสาหกรรม โดยแหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ เกิดจากการจราจรและการเผาชีวมวล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50-70

Narita et al. (2019) ศึกษาส่วนประกอบของฝุ่นในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นรายสัปดาห์ ในตำแหน่งตัวแทนพื้นที่ในเมืองและพื้นที่ชานเมือง ระหว่างปี 2015 และ 2017 โดยใช้วิธี Chemical Mass Balance receptor modeling โดยผลการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ ประกอบด้วย การเผาชีวมวล (26.1%-41.2%) การจราจร (23.0%-27.9%) ฝุ่นอนินทรีย์หัตถกรรม (ซัลเฟตและไนเตรทของแอมโมเนีย) (16.4%-25.1%) ดินและการก่อสร้าง (4.4%-9.2%) อุตสาหกรรม (4.0%-7.4%) เกลือทะเล (2.0%-5.2%) และแหล่งกำเนิดอื่น ๆ (2.1%-12.9%) โดยสรุปแหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ เกิดจากการจราจรและการเผาชีวมวล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 54.0-68.2 นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาส่วนประกอบของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยใช้บัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษ (Emission inventory) ปี 2016 ซึ่งสัดส่วนของแหล่งกำเนิดปฐมภูมิของ $PM_{2.5}$ ประกอบด้วยการจราจร (59%) การเผาชีวมวล (20%) และอุตสาหกรรม (19%)

Suwattiga (2019) ศึกษาความเข้มข้นของ Black Carbon (BC) และระบุแหล่งกำเนิดที่จุดตรวจวัดในพื้นที่ชานเมืองด้านเหนือของกรุงเทพฯ โดยทำการเก็บตัวอย่างต่อเนื่องระยะเวลา 4 ปี ตั้งแต่ มกราคม 2014 ถึง ธันวาคม 2017 ผลการศึกษาสรุปได้ว่าความเข้มข้น BC รายชั่วโมงมีค่าสูงในช่วงเช้าและช่วงเย็นสัมพันธ์กับปริมาณการจราจร ทั้งนี้ความเข้มข้น BC จะมีความเข้มข้นในฤดูแล้ง (ช่วงพฤศจิกายนถึงเมษายน) สูงกว่าฤดูฝน (ช่วงพฤษภาคมถึงตุลาคม) โดยผลจากการจำลองด้วยแบบจำลองการเคลื่อนที่มวลอากาศ HYSPLIT ด้วยวิธี Back-ward Trajectory ในเดือนที่มีความเข้มข้น BC สูงที่สุดและเดือนที่มีความเข้มข้น BC ต่ำที่สุด แสดง

ให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น BC และทิศทางลม ดังนั้นแหล่งกำเนิด BC ของ กรุงเทพฯ ได้รับอิทธิพลจากการเผาไหม้ชีวมวลจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ จากการจราจรในพื้นที่ ทั้งนี้สัดส่วนเฉลี่ยของ OC/EC อยู่ในช่วง 3.2-4.1 แสดงถึงแหล่งกำเนิดจากไอเสียรถยนต์ การเผาไหม้ชีวมวล และอาจหมายถึงฝุ่นหตุยภูมิอีกด้วย

Phairuang et al. (2019) เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดต่าง ๆ รวมถึงฝุ่นขนาดนาโนเมตร $PM_{0.1}$ ระหว่างปี 2014 และ 2015 ในพื้นที่กรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่ โดยวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของความเข้มข้น BC จากการวัดความเข้มข้น BC ร่วมกับบัญชีการปล่อยมลพิษรายเดือนของ BC และ Organic Carbon (OC) เพื่อบ่งชี้อิทธิพลของกิจกรรมทางการเกษตร ไฟป่า รวมถึงอุตสาหกรรมทางการเกษตรของไทย โดยบัญชีการปล่อยมลพิษรายจังหวัดพัฒนาจากข้อมูลผลิตผลทางการเกษตร การเผาวัสดุทางการเกษตรในที่โล่ง การใช้วัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงพื้นที่ป่าที่ถูกเผาไหม้ ทั้งนี้จากข้อมูลสัดส่วนของ char-EC/soot-EC พบว่าพื้นที่กรุงเทพฯ ความเข้มข้น BC สอดคล้องกับบัญชีการปล่อยฝุ่น $PM_{0.1}$ จากการเผาชีวมวลของพื้นที่ภาคกลางของไทย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการพัฒนามลพิษอากาศในระดับภูมิภาค (ระยะทางมากกว่า 100 กิโลเมตร) โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญ เช่น การเผาวัสดุทางการเกษตร และการเก็บเกี่ยวอ้อย ป้อนอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล

ChooChuay et al. (2020) ศึกษา $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพฯ ช่วงเดือนสิงหาคม 2017-มีนาคม 2018 โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ ด้วยวิธี Principal Component Analysis (PCA) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มได้แก่ ไอเสียรถยนต์ การเผาชีวมวล เกือบทะเล โรงไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 43.7 24.0 10.5 6.48 และ 4.46 ตามลำดับ โดยแหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ เกิดจากการจราจรและการเผาชีวมวล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 67.7



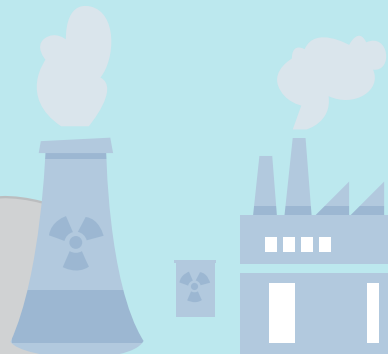
Phanukarn et al. (2020) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ Black Carbon (BC) ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ซึ่ง BC เป็นส่วนประกอบสำคัญของฝุ่น PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ โดยเก็บตัวอย่างจากสถานีริมถนน 1 สถานี ระยะเวลาประมาณ 4 สัปดาห์ในเดือนมกราคม (ตัวแทนฤดูแล้ง) ปี 2017 เพื่อศึกษาแหล่งกำเนิด PM_{2.5} จากการจราจร โดยพบว่าความเข้มข้น BC มีความสัมพันธ์กับการจราจร โดยเฉพาะปริมาณรถบรรทุกขนาดใหญ่ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเป็นหลัก (Heavy-duty diesel vehicles)

Boongla et al. (2021) ศึกษาฝุ่นขนาดต่าง ๆ รวมถึงขนาดนาโนเมตร PM_{0.1} ในจังหวัดปทุมธานี ระหว่างตุลาคม 2019 ถึงกุมภาพันธ์ 2020 โดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบคาร์บอนของฝุ่น พบว่าฝุ่น PM_{0.1} มีสัดส่วน char-EC/soot-EC น้อยกว่า 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นขนาดนาโนเมตร ทั้งนี้ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า PM_{0.1} โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้ง ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่าง OC และ EC รวมถึง char-EC และ soot-EC ดังนั้นแหล่งกำเนิดน่าจะมีความซับซ้อน เช่น ได้รับอิทธิพลจากการเผาชีวมวล นอกจากนี้ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลอากาศพบว่าการพัดพามาจากจุดความร้อน (Hotspot) ในพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ทั้งในประเทศไทย (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง) และประเทศเพื่อนบ้าน เช่น เวียดนามและกัมพูชา

Khaenamkaew et al. (2011) ศึกษาข้อมูลตรวจวัดความเข้มข้น PM₁₀ ในจังหวัดชลบุรีระหว่างเดือนกรกฎาคม 2007 ถึงเดือนกรกฎาคม 2008 โดยวิเคราะห์ทิศทางลมพบว่าฝุ่นในวันที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐานได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมและการจราจร



Sooktawee et al. (2020) วิเคราะห์แหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{10} ปี 2014 ถึง 2017 ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี โดยใช้วิธี bivariate polar plot และ conditional bivariate probability function พบว่าแหล่งกำเนิดหลักในพื้นที่เกิดจากฝุ่นฟุ้งกระจายจากถนน (ไม่ใช่จากไอเสียรถยนต์) และอุตสาหกรรมทำเหมือง ขนย้ายแร่และขุดหิน ในพื้นที่





4.2 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในภาคเหนือ

Tippayawong et al. (2006) ศึกษาส่วนประกอบและประเมินแหล่งกำเนิดของฝุ่นรวม (TSP) ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยเก็บตัวอย่างจากพื้นที่เมือง อุตสาหกรรม ชุมชน และพื้นที่ชนบท ในช่วงกลางวันระหว่างเดือนธันวาคม 2003 ถึงเดือนมกราคม 2004 โดยพบว่าพื้นที่เมืองและอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นฝุ่นสูงกว่าพื้นที่ชุมชนและชนบท ทั้งนี้ไม่พบความเข้มข้นสูง (Peak) ในช่วงเวลาการจราจรเร่งด่วน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี (Principle Component Analysis, PCA) พบว่า 3 กลุ่มของแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นในเชียงใหม่ ได้แก่

- 1) การพัดพามาจากแหล่งกำเนิดนอกพื้นที่ เช่น เกลือทะเล ดิน และการใช้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม (30.6%)
- 2) แหล่งกำเนิดในพื้นที่ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นจากการก่อสร้าง การจราจร และการเผาชีวมวล (27.6%)
- 3) ไม่สามารถระบุระยะที่มาของฝุ่นได้ (25.7%)

Pengchai et al. (2009) ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM_{10} ตามฤดูกาล และประเมินแหล่งกำเนิดของ PM_{10} ในพื้นที่เชียงใหม่และลำพูน โดยเก็บตัวอย่างระหว่างช่วงเดือนมิถุนายน 2005 ถึงเดือนมิถุนายน 2006 โดยพบแนวโน้มความเข้มข้นเริ่มเพิ่มขึ้นในฤดูแล้งเดือนธันวาคม และมีความเข้มข้นสูงสุดในเดือนมีนาคม จากนั้นความเข้มข้น PM_{10} จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงปลายเดือนเมษายน สำหรับการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของฝุ่น PM_{10} ด้วยวิธี Principal Component Analysis (PCA) พบว่าการเผาชีวมวล (Vegetative burning) เป็นแหล่งกำเนิดหลักในพื้นที่ศึกษา โดยแหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวล การเผาไหม้เชื้อเพลิง (Natural gas & Coke burning) และฝุ่นทุติยภูมิคิดเป็นร้อยละ 46-82 12-49 3-19 ตามลำดับ

Khamkaew et al. (2016) ศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่จังหวัด เชียงใหม่ ฤดูแล้ง (เดือนมีนาคม) ปี 2013 โดยเก็บตัวอย่างรายวันในพื้นที่เมือง (มหาวิทยาลัย เชียงใหม่) และชนบท (ดอยอ่างขาง) และวิเคราะห์ธาตุประกอบในฝุ่น ซึ่งพบว่าความเข้มข้น เฉลี่ยของฝุ่นในเมืองสูงกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดในชนบท และมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างดี ($r = 0.78$) ทั้งนี้พบธาตุ K เป็นส่วนประกอบหลักของฝุ่นทั้งจากในพื้นที่เมืองและในชนบท ซึ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นเกิดจากการเผาชีวมวล

Phairuang et al. (2017) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฐานข้อมูลการปล่อย มลพิษจากภาคการเกษตร อุตสาหกรรมเกษตรและไฟฟ้าต่อคุณภาพอากาศในประเทศไทย โดย พบว่าปริมาณการปล่อย PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จากการเผาวัสดุทางการเกษตร การเผาป่า และ อุตสาหกรรมเกษตรของจังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ นครราชสีมา และขอนแก่น มีความสัมพันธ์ ชัดเจนกับความเข้มข้น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่ตรวจพบในแต่ละจังหวัด ($R^2 = 0.62-0.92$) ในขณะที่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_2 และ SO_2 ของจังหวัดขอนแก่นและความ เข้มข้น NO_2 และ SO_2 มีความไม่ชัดเจน ($R^2 = 0.26-0.38$)

Punsompong & Chantara (2018) ศึกษาแหล่งกำเนิด PM_{10} จากการ เผาชีวมวล ที่ส่งผลกระทบต่อสถานีตรวจวัดในจังหวัดเชียงใหม่ ช่วงฤดูแล้ง (เดือนกุมภาพันธ์ถึง เมษายน) ช่วงปี 2010 ถึง 2015 โดยใช้วิธีสถิติวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ซึ่งพบว่า ณ สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่มีสัดส่วนของแหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวลที่มาจากประเทศ เมียนมา 55.21% และจากประเทศไทย 44.79% ทั้งนี้เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิด ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ (Potential Source Contribution Function = 0.9-1.0) พบว่าสัดส่วนของ แหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวลที่มาจากประเทศเมียนมา 73.15% และจากประเทศไทย 26.85%



Janta et al. (2020) ศึกษาความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ ช่วงมกราคม 2006 ถึง ธันวาคม 2016 จาก 13 สถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ในพื้นที่ 8 จังหวัดในภาคเหนือ (เชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง และลำพูน) เปรียบเทียบกับข้อมูลจุดความร้อนที่เผยแพร่โดยองค์การอวกาศแห่งชาติของประเทศอเมริกา (NASA) โดยพบว่าในช่วงการเกิดปัญหาหมอกควันจะมีความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ สูงกว่าช่วงที่ไม่มีปัญหาหมอกควัน รวมถึงความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ มีลักษณะการกระจายตัวตามฤดูกาล โดยเดือนมีนาคมจะมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM₁₀ สูงที่สุด สอดคล้องกับจำนวนจุดความร้อนในพื้นที่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการเผาชีวมวล นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการกระจายตัวของความเข้มข้น PM₁₀ เฉลี่ยรายวันมีลักษณะ Bimodal คือเป็นกราฟที่มียอดเขา 2 จุด กล่าวคือพบค่าความเข้มข้น PM₁₀ สูงในช่วงเวลา 8.00-10.00 น. และ 19.00-21.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับชั่วโมงจราจรเร่งด่วน แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดจากการจราจร ดังนั้นแหล่งกำเนิดหลักในพื้นที่ศึกษาคือแหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวลและการจราจร

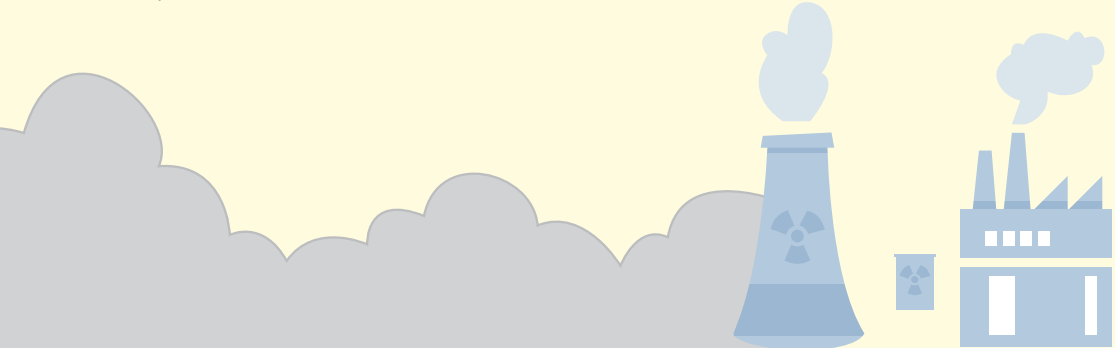
Kongpran et al. (2021) ศึกษาฝุ่น PM_{2.5} ภาคเหนือตอนบน 6 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน น่าน ลำปาง ลำพูน และตาก ในปี 2018 ระหว่างช่วงเกิดปัญหาหมอกควันและช่วงปกติ โดยใช้ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ในการบ่งชี้แหล่งกำเนิด ซึ่งในช่วงปกติพบว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs มาจากการจราจร ในขณะที่ช่วงเกิดปัญหาหมอกควันแหล่งกำเนิดประกอบด้วย การจราจรและการเผาชีวมวล สำหรับการเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดฝุ่นในพื้นที่เมืองและชนบทแม้ว่าจะพบว่ามีแหล่งกำเนิดผสมระหว่างการจราจร และการเผาชีวมวล แต่ในเมืองจะมีสัดส่วนจากการจราจรมากกว่า ในขณะที่เดียวกันพื้นที่ชนบทจะมีแหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวลมากกว่า



Sritong-aon et al. (2021) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ภาคเหนือ 9 จังหวัด (เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน พะเยา แพร่ น่าน และตาก) ความเข้มข้นฝุ่น ทั้ง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ แปรผันกับความดันบรรยากาศ และจำนวนจุดความร้อน (Hotspot) โดยแปรผกผันกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน

Chansuebsri et al. (2022) ศึกษาฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภาคเหนือ (เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และลำปาง) ปี 2019 โดยการใช้ cluster analysis (อธิบายแหล่งกำเนิดได้ 79.2% - 86.4%) พบว่าแหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ การเผาชีวมวล การจราจร และหมอกควันข้ามพรมแดน โดยในช่วงหน้าร้อนที่มีการเผาชีวมวลจำนวนมากจะมีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ บริเวณนอกเมืองสูงกว่าในเมือง สำหรับในช่วงนอกฤดูการเผา ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในเมืองจะสูงกว่านอกเมือง โดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้แหล่งจราจร นอกจากนี้ ยังพบสารประกอบที่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้อายุของฝุ่น $PM_{2.5}$ ว่าเป็นฝุ่นเกิดใหม่ (Fresh) หรือเป็นฝุ่นเก่า (Aged) ที่ตกค้างอยู่ในอากาศ เพื่อประเมินแหล่งกำเนิดฝุ่นจากกิจกรรมในพื้นที่ หรือพัดพามาจากพื้นที่อื่น หรืออาจจะถูกกักไว้ในพื้นที่ด้วยปัจจัยทางกายภาพหรือสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อต่อการกักตัวของมลพิษ โดยสรุปแหล่งกำเนิดหลักของ $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาเกิดจากการจราจรและการเผาชีวมวล คิดเป็นร้อยละ 35.0-81.9

Insian et al. (2022) ศึกษาความเข้มข้น Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ในฝุ่น PM_{10} ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยพบว่าในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันพื้นที่ชนบทมีความเข้มข้น PM_{10} และความเข้มข้น PAHs สูงกว่าพื้นที่เมืองประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้ยังมี Benzo[b]fluoranthene เป็นสารประกอบหลักของ PAHs ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดหลัก คือ การเผาชีวมวล ในทางกลับกันช่วงที่ไม่มีปัญหาหมอกควันพื้นที่เมืองจะมีความเข้มข้น PM_{10} และ PAHs สูงกว่าพื้นที่ชนบท เนื่องจากอิทธิพลของแหล่งกำเนิดจากการจราจร

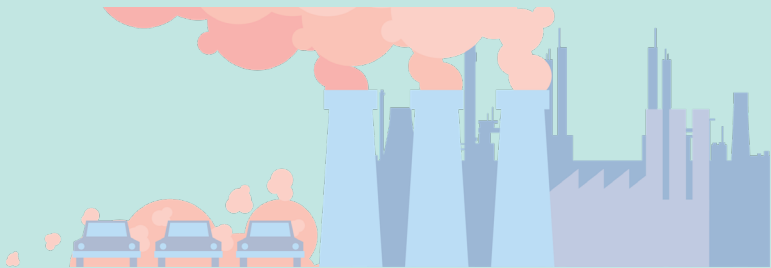




4.3 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในภาคใต้

Phairuang et al. (2020) ศึกษาส่วนประกอบคาร์บอนของฝุ่นของจังหวัดสงขลาศึกษาในปี 2018 พบว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นในพื้นที่ประกอบด้วย การเผาชีวมวล ไอเสียจากรถยนต์ และฝุ่นทุติยภูมิ ฤดูก่อนมรสุม (พฤษภาคม-สิงหาคม) ปริมาณฝุ่นเพิ่มขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากมลพิษข้ามแดน เป็นที่น่าสังเกตว่าฐานข้อมูลการระบายนฝุ่นรวม (TSP) ในจังหวัดสงขลาประกอบด้วยแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรม (85%) การจราจร (10%) และอื่น ๆ (การหุงต้มในครัวเรือน การใช้เชื้อเพลิงของเรือ) (5%) อุตสาหกรรมในพื้นที่เป็นอุตสาหกรรมทางการเกษตรพืชเศรษฐกิจหลักคือยางพาราและปาล์มน้ำมัน ซึ่งเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร รวมถึงไม้ยางพาราถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมของพื้นที่นี้

Choochuay et al. (2020) ศึกษา $PM_{2.5}$ จังหวัดภูเก็ต ระหว่างเดือนมีนาคม 2017 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2018 ระบุแหล่งกำเนิดด้วยวิธี Principal Component Analysis (PCA) โดยแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ไอเสียจากยานพาหนะ (55.5%) การเผาชีวมวล (10.9%) การเผาไหม้น้ำมันดีเซล (6.1%) เกลือทะเล (5.2%) และการระบายจากอุตสาหกรรม (5.1%) และอื่น ๆ (17.2%)





4.4 ผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Oanh et al. (2016) วิเคราะห์ฝุ่นในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา ในฤดูแล้ง (เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์) ปี 2005 และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน) ในฤดูแล้งฝุ่น $PM_{2.5}$ มีความเข้มข้นเฉลี่ย (47 มคก./ลบ.ม.) ใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่ตรวจพบในเมือง ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์จากการเผาชีวมวล (26%) ฝุ่นอนินทรีย์ทุติยภูมิ (24%) สารอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดอื่น (20%) และส่วนประกอบของเปลือกโลก (7.5%) ในฤดูฝน $PM_{2.5}$ มีความเข้มข้นเฉลี่ย (7 มคก./ลบ.ม.) น้อยกว่าความเข้มข้นที่ตรวจพบในเมืองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบคล้ายคลึงกับฤดูแล้ง แต่มีสัดส่วนจากการเผาชีวมวลเล็กน้อย โดยประกอบด้วยฝุ่นอนินทรีย์ทุติยภูมิ (30%) สารอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดอื่น (29%) ส่วนประกอบของเปลือกโลก (13%) และสารอินทรีย์จากการเผาชีวมวล (8%)

Phairuang et al. (2017) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษจากภาคการเกษตร อุตสาหกรรมเกษตรและไฟฟ้าต่อคุณภาพอากาศในประเทศไทย โดยพบว่าปริมาณการปล่อย PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จากการเผาวัสดุทางการเกษตร การเผาป่า และอุตสาหกรรมเกษตรของจังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ นครราชสีมา และขอนแก่น มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับความเข้มข้น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่ตรวจพบในแต่ละจังหวัด ($R^2 = 0.62-0.92$) ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_2 และ SO_2 ของจังหวัดขอนแก่นและความเข้มข้น NO_2 และ SO_2 มีความไม่ชัดเจน ($R^2 = 0.26-0.38$)

4.5 สรุปผลศึกษาการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในประเทศไทย

การศึกษาระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในประเทศไทยสามารถสรุปผลโดยระบุประเภทฝุ่นที่ศึกษา วิธีที่ใช้วิเคราะห์แหล่งกำเนิด ช่วงระยะเวลา และพื้นที่ศึกษา ซึ่งจัดกลุ่มเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

สรุปผลการศึกษาระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นเชิงพื้นที่ในประเทศไทย

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคกลาง					
PM _{2.5}	กรุงเทพมหานครและจังหวัดปทุมธานี	2003 ถึง 2007	Positive Matrix Factorization, PMF	การจราจร (33%-43%) และการเผาชีวมวล (19%-32%)	(Wimolwattanapun et al., 2011)
PM _{2.5}	กรุงเทพมหานครและจังหวัดปทุมธานี	ก.ย. 2015 ถึง มี.ค. 2017	Chemical Mass Balance, CMB	ฤดูฝน : การจราจร (27.4%-27.9%) และการเผาชีวมวล (26.1%-28.4%) ฤดูแล้ง: การจราจร (23.0%-27.0%) และการเผาชีวมวล (33.9%-41.2%)	(Narita et al., 2019)
PM _{2.5}	กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	2016	Emission Inventory, EI	การจราจร (59%) การเผาชีวมวล (20%) และอุตสาหกรรม (19%)	(Narita et al., 2019)
TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM _{0.1}	กรุงเทพมหานคร	ก.ค. 2014 - เม.ย. 2015	Carbonaceous component analysis (char-EC/soot-EC, OC/EC)	ไอเสียรถยนต์ (PM _{0.1} และ TSP char-EC/soot-EC < 1) และการเผาชีวมวล (PM ขนาด 0.25-10 ไมครอน char-EC/soot-EC = 2.1-4.3)	(Suwattiga, 2019)
PM _{2.5}	กรุงเทพมหานคร	ส.ค. 2017 ถึง มี.ค. 2018	Principal Component Analysis, PCA	ไอเสียรถยนต์ (43.7%) การเผาชีวมวล (24.0%)	(ChooChuay et al., 2020)
PM _{2.5}	กรุงเทพมหานคร	ม.ค. 2017	BC correlation analysis	การจราจร โดยความเข้มข้น BC ใน PM _{2.5} มีความสัมพันธ์กับปริมาณรถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนน ซึ่งใช้เชื้อเพลิงดีเซลเป็นหลัก	(Phanukarn et al., 2020)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคกลาง					
TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM _{0.1}	จังหวัดปทุมธานี	ต.ค. 2019 (ฤดูฝน) ม.ค. ถึง ก.พ. 2020 (ฤดูแล้ง)	Carbonaceous component analysis (char-EC/soot-EC, OC/EC)	ฝุ่นนาโน (PM _{0.1}) - ทุกฤดู: การจราจร ฝุ่น (TSP PM ₁₀ PM _{2.5}) - ฤดูแล้ง: การเผาชีวมวล - ฤดูฝน: การจราจร	(Boongla et al., 2021)
PM ₁₀	จังหวัดชลบุรี	ก.ค. 2007 ถึง ก.ค. 2008	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ชั้นฝุ่นและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	อุตสาหกรรมและการจราจร	(Khaenamkaew et al., 2011)
PM ₁₀	ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี	2014 ถึง 2017	bivariate polar plot และ conditional bivariate probability function	ฝุ่นฟุ้งกระจายจากถนน (ไม่ใช่จากไอเสียรถยนต์) และอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ในพื้นที่	(Sooktawee et al., 2020)
ภาคเหนือ					
TSP	จังหวัดเชียงใหม่	ธ.ค. 2003 ถึง ม.ค. 2004 (ช่วงกลางวัน)	Principal Component Analysis, PCA	1) การพัดพามาจากแหล่งกำเนิดนอกพื้นที่ เช่น เกลือทะเล ดิน และการใช้เชื้อเพลิงอุตสาหกรรม (30.6%) 2) แหล่งกำเนิดในพื้นที่ เช่น การก่อสร้าง การจราจร และการเผาชีวมวล (27.6%) 3) ไม่สามารถระบุระยะพัดพาของฝุ่น (25.7%)	(Tippayawong et al., 2006)
PM ₁₀	จังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน	มิ.ย. 2005 ถึง มิ.ย. 2006 - มิ.ย.-ก.ย. (ฤดูฝน) - ต.ค.-พ.ย. (ช่วงเปลี่ยนฤดู) - ต.ค.-มี.ค. (ฤดูแล้ง) - เม.ย.-พ.ค. (ช่วงเปลี่ยนฤดู)	Principal Component Analysis, PCA	เชียงใหม่ (PM ₁₀) - ฤดูฝน: การเผาชีวมวล (51.9%-57.4%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (35.1%-44.9%) และฝุ่นทุติยภูมิ (2.8%-7.5%) - ฤดูแล้ง: การเผาชีวมวล (46.4%-60.8%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (33.6%-48.7%) และฝุ่นทุติยภูมิ (5.0%-6.4%)	(Pengchai et al., 2009)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคเหนือ					
	จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน	มิ.ย. 2005 ถึง มิ.ย. 2006 - มิ.ย.-ก.ย. (ฤดูฝน) - ต.ค.-พ.ย. (ช่วงเปลี่ยนฤดู) - ต.ค.-มี.ค. (ฤดูแล้ง) - เม.ย.-พ.ค. (ช่วงเปลี่ยนฤดู)	Principal Component Analysis, PCA	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วงเปลี่ยนฤดู: การเผาชีวมวล (64.2%-81.7%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (12.1%-19.5% และฝุ่นหัตถิยภูมิ (5.6%-18.6%) ลำพูน (PM₁₀) - ฤดูฝน : การเผาชีวมวล (69.2%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (23.7%) และฝุ่นหัตถิยภูมิ (7.0%) - ฤดูแล้ง : การเผาชีวมวล (48.9%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (45.1%) และฝุ่นหัตถิยภูมิ (6.0%) - ช่วงเปลี่ยนฤดู : การเผาชีวมวล (65.6%-72.9%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (12.4%-16.8%) และฝุ่นหัตถิยภูมิ (14.7%-17.6%) เชียงใหม่ (PM₁₀-bound PAHs) - ฤดูฝน : การเผาชีวมวล (13.8%-14.3%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (26.2%-36.5%) และไอเสียรถยนต์ (49.3%-59.5%) - ฤดูแล้ง : การเผาชีวมวล (18.5%-28.4%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (47.1%-58.1%) และไอเสียรถยนต์ (20.9%-24.4%) 	(Pengchai et al., 2009)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคเหนือ					
	จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน	มี.ย. 2005 ถึง มี.ย. 2006 - มี.ย.-ก.ย. (ฤดูฝน) - ต.ค.-พ.ย. (ช่วงเปลี่ยนฤดู) - ต.ค.-มี.ค. (ฤดูแล้ง) - เม.ย.-พ.ค. (ช่วงเปลี่ยนฤดู)	Principal Component Analysis, PCA	- ช่วงเปลี่ยนฤดู : การเผาชีวมวล (23.5%-38.3%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (15.7%-22.3%) และไอเสียรถยนต์ (42.3%-56.1%) - ลำพูน (PM ₁₀ -bound PAHs) - ฤดูฝน: การเผาชีวมวล (21.6%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (22.1%) และไอเสียรถยนต์ (56.3%) - ฤดูแล้ง: การเผาชีวมวล (21.2%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (58.7%) และไอเสียรถยนต์ (20.1%) - ช่วงเปลี่ยนฤดู : การเผาชีวมวล (30.6%-30.8%) การเผาก๊าซธรรมชาติและถ่านโค้ก (15.8%-23.5%) และไอเสียรถยนต์ (45.9%-53.4%)	(Pengchai et al., 2009)
PM _{2.5}	จังหวัดเชียงใหม่	มี.ค. 2013 (ฤดูแล้ง)	PM _{2.5} elemental composition analysis	ฤดูแล้ง : การเผาชีวมวล (พบธาตุ K เป็นส่วนประกอบหลักของฝุ่น)	(Khamkaew et al., 2016)
PM ₁₀ , PM _{2.5}	จังหวัดเชียงใหม่และนครสวรรค์	2012 ถึง 2014	Biomass Burning Emission Inventory, EI	ความสัมพันธ์การเผาชีวมวลและความเข้มข้นเชียงใหม่ - PM ₁₀ (2012-2014) : R ² = 0.73-0.92 - PM _{2.5} (2014) : R ² = 0.88 นครสวรรค์ - PM ₁₀ (2014): R ² = 0.81	(Phairuang et al., 2017)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคเหนือ					
PM ₁₀	จังหวัดเชียงใหม่	2010 ถึง 2015 : ก.พ.-เม.ย. (ฤดูแล้ง)	Potential Source Contributio และ HYSPLIT	การเผาชีวมวล PSCF 0.0-1.0: เมียนมา 55.21% และไทย 44.79% PSCF 0.9-1.0: เมียนมา 73.15% และไทย 26.85%	(Punsompong & Chantara, 2018)
PM ₁₀	จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง และ ลำพูน	ม.ค. 2006 ถึง ธ.ค. 2016	PM ₁₀ temporal distribution and relationship with hotspot	การจราจรและการเผาชีวมวล	(Janta et al., 2020)
PM _{2.5} -bound PAH	จังหวัดเชียงราย แม่ฮ่องสอน น่าน ลำปาง ลำพูน และ ตาก	มี.ค. ถึงเม.ย. 2018 (ช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน) ก.ค. 2018 (ช่วงปกติ)	Principal Component Analysis, PCA	ช่วงปกติ: การจราจร ช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน: การจราจรและการเผาชีวมวล	(Kongpran et al., 2021)
PM _{2.5}	จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และ แม่ฮ่องสอน	2019	Principal Component Analysis, PCA	ลำปาง (ตัวเมือง) - ฤดูแล้ง: ฝุ่นอนินทรีย์ ทุติยภูมิและการเผาชีวมวล (41.5%) ดิน (44.9%) - ฤดูฝน: ฝุ่นอนินทรีย์ ทุติยภูมิ และเกลือทะเล (44.9%) และการเผาชีวมวล (39.3%) เชียงใหม่ (ตัวเมือง) - ฤดูแล้ง: ฝุ่นอนินทรีย์ ทุติยภูมิและการเผาชีวมวล (35%) ดิน (22.6%) และเกลือทะเล (21.6%)	(Chansuebsri et al., 2022)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคเหนือ					
PM _{2.5}	จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และ แม่ฮ่องสอน	2019	Principal Component Analysis, PCA	<ul style="list-style-type: none"> - ฤดูฝน: ฝุ่นอินทรีย์ทุติยภูมิ (46.9%) และการเผาชีวมวล (35%) เชียงใหม่ (ชนบท) <ul style="list-style-type: none"> - ทุกฤดู: การเผาชีวมวล (33.5%-34%) ฝุ่นอินทรีย์ทุติยภูมิ (28.7%-30.6%) และดิน (17.1%-17.3%) แม่ฮ่องสอน (ชนบท) <ul style="list-style-type: none"> - ฤดูแล้ง: ฝุ่นอินทรีย์ทุติยภูมิและการเผาชีวมวล (42%) เกลือทะเล (23.5%) และดิน (19.8%) - ฤดูฝน: การเผาชีวมวล (29.2%) ฝุ่นอินทรีย์ทุติยภูมิ (27.5%) และ ดิน (24.8%) 	(Chansuebsri et al., 2022)
ภาคใต้					
TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM _{0.1}	จังหวัดสงขลา	2018	Carbon analysis	<ul style="list-style-type: none"> - TSP, PM₁₀, PM_{2.5}: <ul style="list-style-type: none"> - การเผาชีวมวล (ไม้) (OC/EC = 3.06-4.30, char-EC/soot-EC = 1.09-2.02 > 1) PM_{0.1} - การเผาชีวมวลและการใช้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม (OC/EC = 2.44-3.29) - ช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูร้อน เป็นฤดูฝน (pre-monsoon (พ.ค.-ส.ค.): หมอกควันข้ามแดน (OC/EC 3.29) - การจราจร (char-EC/soot-EC = 0.36 < 1) 	(Phairuang et al., 2020)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคใต้					
TSP	จังหวัดสงขลา	2009	Emission Inventory, EI	อุตสาหกรรม (85%) การจราจร (10%) และอื่น ๆ (การหุงต้มในครัวเรือน การใช้เชื้อเพลิงของเรือ) (5%)	(Phairuang et al., 2020)
PM _{2.5}	จังหวัดภูเก็ต	มี.ค. 2017 ถึง ก.พ. 2018	Principal Component Analysis, PCA	ไอเสียจากยานพาหนะ (55.5%) การเผาชีวมวล (10.9%) เครื่องยนต์ดีเซล (6.1%) เกลือทะเล (5.2%) อุตสาหกรรม (5.1%) และอื่น ๆ (เช่น เต้าเผาขยะ การจุกดรูป และการทำอาหาร) (17.2%)	(Choochuay et al., 2020)
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ					
PM _{2.5}	อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ จังหวัด นครราชสีมา	ม.ค. ถึง ก.พ. 2005 (ฤดูแล้ง) มิ.ย. 2005 (ฤดูฝน)	Mass reconstruction (PM mass and composition)	ฤดูแล้ง: สารอินทรีย์จากการเผาชีวมวล (26%) ฝุ่นอนินทรีย์ทุติยภูมิ (24%) สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่การเผาชีวมวล (20%) และส่วนประกอบของเปลือกโลก (7.5%) ฤดูฝน: ฝุ่นอนินทรีย์ทุติยภูมิ (30%) สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่การเผาชีวมวล (29%) ส่วนประกอบของเปลือกโลก (13%) และสารอินทรีย์จากการเผาชีวมวล (8%)	(Oanh et al., 2016)
PM ₁₀ , PM _{2.5}	จังหวัด นครราชสีมา และขอนแก่น	2012 ถึง 2014	Biomass Burning Emission Inventory, EI	ความเข้มข้นมีความสัมพันธ์กับการเผาชีวมวล นครราชสีมา - PM ₁₀ (2012-2014): R ² = 0.62-0.79	(Phairuang et al., 2020)

ประเภทของฝุ่น	พื้นที่ศึกษา	ช่วงเวลาศึกษา	วิธีวิเคราะห์แหล่งกำเนิด	แหล่งกำเนิดหลัก	แหล่งที่มา
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ					
PM ₁₀ , PM _{2.5}	จังหวัดนครราชสีมาและขอนแก่น	2012 ถึง 2014	Biomass Burning Emission Inventory, EI	ขอนแก่น - PM ₁₀ (2014): R ² = 0.80 - PM _{2.5} (2014): R ² = 0.84	

จากข้อมูลสรุปผลการศึกษาข้างต้นด้วยการใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) พื้นที่ศึกษาในกรุงเทพมหานครมีแหล่งกำเนิดสำคัญของฝุ่น PM_{2.5} คือ การจราจร (23%-44%) การเผาชีวมวล (19%-41%) และอุตสาหกรรม (6%-15%) (Choochuay et al., 2020; Narita et al., 2019; Wimolwattanapun et al., 2011) ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาฐานข้อมูลการปล่อยฝุ่นในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลซึ่งแหล่งกำเนิดหลัก คือ การจราจรและการเผาชีวมวล (Narita et al., 2019)

สำหรับแหล่งกำเนิดฝุ่นในภาคเหนือพบว่าการศึกษาต่าง ๆ ชี้ให้เห็นว่าการเผาชีวมวลเป็นแหล่งกำเนิดหลักในพื้นที่ (Chansuebsri et al., 2022; Khamkaew et al., 2016; Pengchai et al., 2009) และความเข้มข้นของฝุ่นมีความสัมพันธ์กับการเผาชีวมวล (Phairuang et al., 2017) โดยแหล่งกำเนิดจากนอกพื้นที่มีส่วนผลกระทบความเข้มข้นฝุ่นในพื้นที่ศึกษามากกว่าแหล่งกำเนิดภายในพื้นที่ (Punsompong & Chantara, 2018; Tippayawong et al., 2006) ทั้งนี้แหล่งกำเนิดจากการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นในภาคเหนือ (Janta et al., 2020) โดยเฉพาะในฤดูฝน (Kongpran et al., 2021)

กรณีของภาคใต้มีการศึกษาในจังหวัดภูเก็ตและจังหวัดสงขลา ซึ่งผลการศึกษาแหล่งกำเนิดของแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกัน โดยแหล่งกำเนิดหลักในจังหวัดภูเก็ตเกิดจากการจราจร (Choochuay et al., 2020) ขณะที่แหล่งกำเนิดหลักของจังหวัดสงขลาคือการเผาชีวมวลหรืออุตสาหกรรม (Phairuang et al., 2020) ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการศึกษา (Carbon analysis หรือ Emission inventory) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการระบุวิธีที่ใช้ในการบ่งชี้แหล่งกำเนิดในพื้นที่ ซึ่งในกรณีของจังหวัดสงขลา Phairuang et al. (2020) ระบุว่าอุตสาหกรรมทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ดังนั้นหากพิจารณาจากฐานข้อมูลการปล่อย หรือข้อมูลจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบคาร์บอนเพียงอย่างเดียวจะทำให้มุมมองการกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นในพื้นที่ไม่ครอบคลุมได้

สำหรับแหล่งกำเนิดฝุ่นของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการศึกษาในจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดขอนแก่น โดยพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์กับการเผาไหม้ชีวมวล (Phairuang et al., 2017) โดยเฉพาะในฤดูแล้ง (Oanh et al., 2016)

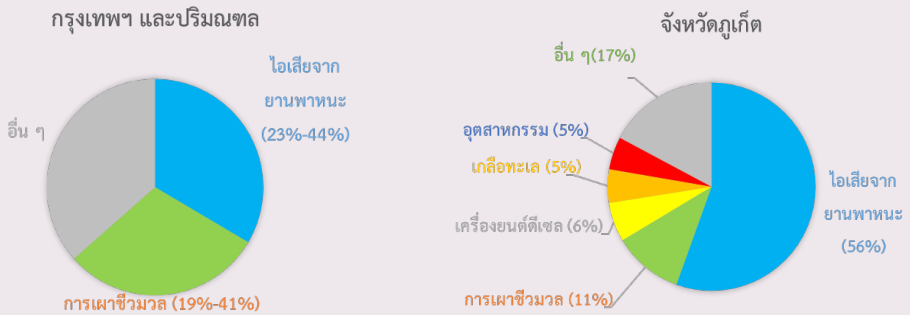


บทที่ 5

อิทธิพลของแหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{2.5} จากผลการ ศึกษาด้วยแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบในพื้นที่ ต่าง ๆ ของไทย

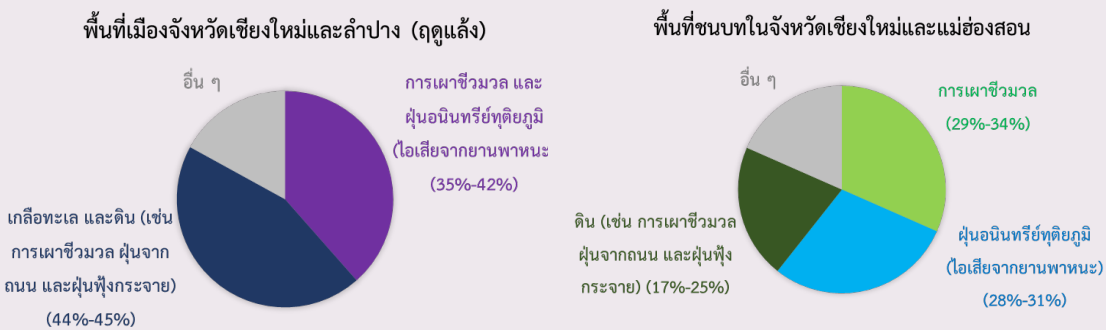


การศึกษาฝุ่นโดยเฉพาะ PM_{2.5} ด้วยแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบของประเทศไทย มีการศึกษาในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย เช่น กรุงเทพฯ และปริมณฑล (ChooChuay et al., 2020; Narita et al., 2019; Wimolwattanapun et al., 2011) จังหวัดนครราชสีมา (Oanh et al., 2016) กลุ่มจังหวัดภาคเหนือ (ได้แก่ จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน เป็นต้น) (Chansuebsri et al., 2022) และจังหวัดภูเก็ต (Choochuay et al., 2020) ดังแสดงในหัวข้อ ก่อนหน้านี้ ซึ่งแต่ละพื้นที่แสดงถึงอิทธิพลของแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้พื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล และภูเก็ตได้รับอิทธิพลหลักจากไอเสียจากยานพาหนะและการเผาชีวมวล คิดเป็นสัดส่วน 2 ใน 3 และ 3 ใน 4 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อิทธิพลของแหล่งกำเนิดต่อความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ และปริมณฑล และจังหวัดภูเก็ต

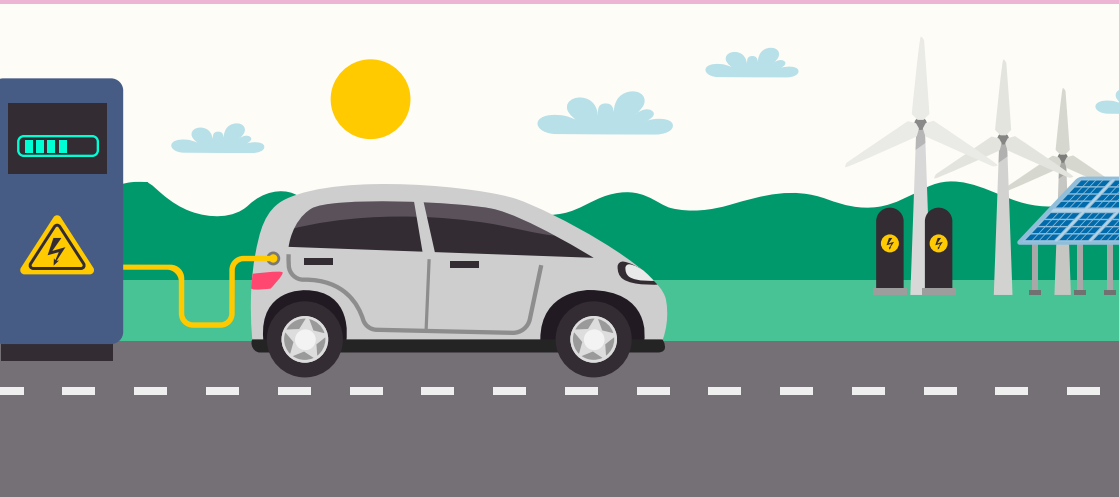
สำหรับการศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{2.5} ด้วยแบบจำลองแหล่งรับผลกระทบพื้นที่ทางภาคเหนือ พบว่าการเผาชีวมวลและการจราจรมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} สูงถึงกว่า 80% และผลกระทบในเมืองและชนบทมีลักษณะใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อิทธิพลของแหล่งกำเนิดต่อความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} พื้นที่เมืองและชนบทในจังหวัดภาคเหนือ

บทที่ 6

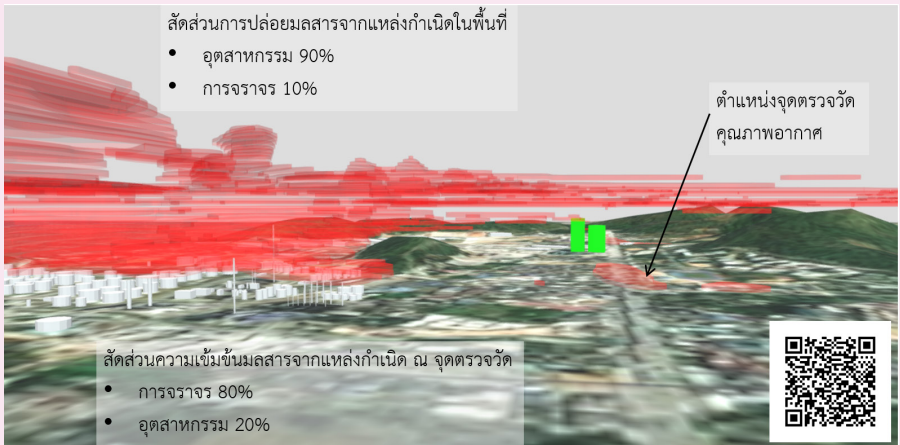
การควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ ในระดับพื้นที่



จากการทบทวนแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่าแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพมีจุดเด่น คือ สามารถระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญออกจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่มีจำนวนมาก โดยอาศัยข้อมูลที่มีการตรวจวัดเป็นประจำ ไม่ต้องใช้ข้อมูลที่ซับซ้อน และไม่ต้องอาศัยแบบจำลองคุณภาพอากาศ ทั้งนี้แนวทางการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่เชิงคุณภาพมีความท้าทายในการระบุสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นต่าง ๆ ให้ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำไปสู่การกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่อย่างเหมาะสมได้ เนื่องจากไม่ทราบว่ามีมาตรการที่กำหนดจะสามารถช่วยลดความเข้มข้นของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดหลักได้มากน้อยเพียงใด

สำหรับแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ ซึ่งจำแนกเป็น 2 วิธี คือ 1) การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ (Emission inventory) และ 2) การใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) โดยพบว่าสามารถประเมินระบุสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถนำไปประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ และกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่ต่อไปได้ โดยในบางพื้นที่แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันของผลลัพธ์ของแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่เชิงปริมาณจากทั้ง 2 วิธี (Narita et al., 2019) แต่ในบางพื้นที่พบว่า ผลจากการศึกษาโดยการจัดทำฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่นอาจมีความแตกต่างกันอย่างมากกับแนวทางอื่นในการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่ (Phairuang et al., 2020)

ตัวอย่างแสดงความแตกต่างของวิธีระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณโดยวิธีการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษและการใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ซึ่งกลุ่มควันสีแดงแสดงความเข้มข้นมลพิษ โดยตัวอย่างพื้นที่ที่มีการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมและการจราจร 90% และ 10% ตามลำดับ ในขณะที่ผลกระทบที่จุดตรวจวัดได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมและการจราจร 20% และ 80% ตามลำดับ (สามารถเข้าชมภาพจำลองการแพร่กระจายมลพิษรูปแบบสามมิติของพื้นที่ตัวอย่างนี้ผ่านการสแกน QR code (Quick Response) เข้าสู่เว็บไซต์ซึ่งรองรับอุปกรณ์ VR (Virtual Reality)



รูปที่ 4 ตัวอย่างแสดงความแตกต่างระหว่างการปล่อยมลพิษและผลจำลองคุณภาพอากาศ

จากรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างพื้นที่ที่มีการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมและการจราจรในสัดส่วนคิดเป็น 90% และ 10% ของแหล่งกำเนิดทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่ผลกระทบต่อความเข้มข้นที่จุดตรวจวัดมีผลกระทบจากแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมและการจราจรคิดเป็นสัดส่วน 20% และ 80% ตามลำดับ ทั้งนี้แม้ว่าแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมมีการปล่อยมลพิษปริมาณมากกว่าแหล่งกำเนิดจากการจราจรหลายเท่า แต่เนื่องจากตำแหน่งจุดปล่อยมลพิษอยู่ในระดับสูงจากพื้นมาก (เช่น จากปลายปล่องระบายมลพิษ) และอยู่ห่างจากตำแหน่งจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ ดังนั้น จุดรับผลกระทบจึงได้รับอิทธิพลจากอุตสาหกรรมน้อยกว่าแหล่งกำเนิดจากการจราจร ซึ่งมีตำแหน่งการปล่อยมลพิษอยู่ในระดับใกล้พื้นดินและอยู่ไม่ไกลจากตำแหน่งจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ

ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาผลกระทบที่จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ พบว่าแหล่งกำเนิดหลักในพื้นที่ศึกษาคือแหล่งกำเนิดจากการจราจร และเมื่อดำเนินกิจกรรมลดการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดจากการจราจรในสัดส่วน 63% จะพบว่าความเข้มข้นมลพิษที่จุดตรวจวัดสามารถลดลง 50.4% คงเหลือความเข้มข้นที่จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ 49.6% ซึ่งจะบรรลุเป้าหมายการลดความเข้มข้นมลพิษไม่น้อยกว่า 50% ได้

จากตัวอย่างพื้นที่ศึกษาข้างต้นซึ่งมีขนาดประมาณ 100 ตารางกิโลเมตร และมีแหล่งกำเนิดมลพิษหลัก 2 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรม และการจราจร โดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศในการช่วยแสดงผลในพื้นที่ศึกษานี้ สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนของแนวทางการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษเชิงพื้นที่ 2 วิธี คือวิธีการใช้บัญชีการปล่อยมลพิษและวิธีจำลองความเข้มข้นที่จุดรับผลกระทบ โดยข้อมูลจากบัญชีการปล่อยมลพิษบ่งชี้ว่ามลพิษที่ปล่อยจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลัก (90%) แต่หากมีการกำหนดมาตรการลดการปล่อยมลพิษจากปล่องของโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่สามารถลดผลกระทบมลพิษอากาศที่จุดตรวจวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศักยภาพลดความเข้มข้นมลพิษได้ไม่เกิน 20%) ในขณะที่การเลือกใช้วิธีจำลองความเข้มข้นที่จุดรับผลกระทบ จะพบว่าแหล่งมลพิษหลัก คือ การจราจร (ความเข้มข้นมลพิษที่จุดตรวจวัดมาจากการจราจร 80% และอุตสาหกรรม 20%) เนื่องจากจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศอยู่ใกล้กับถนน อีกทั้งปล่องของโรงงานอยู่ห่างจากจุดตรวจวัดและมีความสูงมากกว่า 100 เมตร ซึ่งเมื่อกำหนดมาตรการควบคุมการปล่อยมลพิษจากการจราจร (ศักยภาพลดความเข้มข้นมลพิษ 80%) จะมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นมลพิษ

มากกว่าการควบคุมมลพิษจากอุตสาหกรรม (ศักยภาพลดความเข้มข้นมลพิษ 20%)

อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของตำแหน่งจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ กล่าวคือในการกำหนดตำแหน่งจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศที่แตกต่างกัน อาจส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่ส่งผลกระทบต่อตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ โดยเฉพาะการตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใกล้แหล่งกำเนิด เช่น จุดตรวจวัดอยู่ใกล้ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น

การกำหนดแนวทางควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่ที่มีความท้าทายสูง โดยเฉพาะการจำลองพื้นที่รับ

ผลกระทบในพื้นที่ซึ่งมีขนาดใหญ่ (เช่น ระดับอำเภอ ระดับจังหวัด หรือระดับภูมิภาค)

เนื่องจากแหล่งกำเนิดฝุ่นมีจำนวนมากและมีความหลากหลาย อีกทั้งการอาศัยจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศเพียงจุดเดียวให้เป็นตัวแทนคุณภาพอากาศที่เหมาะสมของพื้นที่ศึกษา อาจไม่ได้รับการยอมรับจากทุกฝ่าย และไม่อาจหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ ทั้งนี้การกำหนดจุดติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพิ่มเติมก็มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเป็นทวีคูณ ดังนั้น การควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่ จึงต้องพิจารณาทางเลือกอื่นเพิ่มเติมสำหรับประกอบการพิจารณา เช่น การใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ

ทั้งนี้ความแตกต่างของวิธีระบุแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในระดับพื้นที่เชิงปริมาณ โดยวิธีการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษและการใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ สามารถสรุปได้ ดังนี้

- บัญชีการปล่อยฝุ่นเป็นการประมาณการปล่อยจากแหล่งกำเนิดฝุ่นปฐมภูมิ ไม่สามารถประเมินผลกระทบจากแหล่งกำเนิดทุติยภูมิ ซึ่งต่างจากการใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบที่สามารถประเมินผลกระทบจากแหล่งกำเนิดทุติยภูมิบางส่วน ในกรณีที่มีการกำหนดลักษณะเฉพาะของข้อมูลแหล่งกำเนิดทุติยภูมิ (Profile)

- ความเข้มข้นฝุ่นที่ประเมินจากการใช้บัญชีการปล่อยฝุ่น เสมือนเป็นการคำนวณความเข้มข้นให้กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งขอบเขตของการศึกษา ซึ่งขอบเขตดังกล่าวข้างต้นอาจจะไม่สอดคล้องกับขอบเขตของพื้นที่รับผลกระทบ ซึ่งในการกำหนดจุดรับผลกระทบที่แตกต่างกันพบว่าส่งผลให้มีผลกระทบที่ต่างกันจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

- ผลกระทบของแหล่งกำเนิดในจุดรับผลกระทบจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ เช่น ระยะทางจากแหล่งกำเนิด ความสูงของแหล่งกำเนิด (จุดปล่อย) สภาพภูมิประเทศ และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ซึ่งวิธีการใช้บัญชีการปล่อยฝุ่นไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ ในขณะที่วิธีการใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบอาศัยการตรวจวัดข้อมูลที่จุดรับผลกระทบสำหรับอนุมาณการถ่ายทอดผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้น



นอกจากนี้ การระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณต่างก็มีข้อจำกัดในการประเมินสัดส่วนฝุ่นทุติยภูมิ ซึ่งจากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาไม่สามารถจำแนกได้ว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดฝุ่นปฐมภูมิใดอย่างชัดเจน ดังนั้นการระบุแหล่งกำเนิดฝุ่นให้ชัดเจนและครอบคลุมแหล่งกำเนิดทุติยภูมิ สำหรับใช้ควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับพื้นที่ จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศที่มีการจำลองปฏิกิริยาเคมีของแสง(Photochemical air quality model) ร่วมด้วย

บทที่ 7

ความจำเป็นของแบบจำลองคุณภาพอากาศและการส่งเสริมการใช้งานแบบจำลอง



ประเด็นการจัดการมลพิษอากาศโดยเฉพาะปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นประเด็นที่มีความท้าทาย เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน การพบปัญหาในทุกภูมิภาคของประเทศไทยรวมถึงประเทศเพื่อนบ้าน การเกิดปัญหาอย่างยาวนานเป็นประจำทุกปี การให้ความยอมรับต่อการบังคับใช้ผลกระทบจากแหล่งกำเนิดที่ชัดเจน ซึ่งส่งผลต่อเนื่องไปยังแนวทางการแก้ไขปัญหาที่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนการให้ความยอมรับต่อนโยบายสาธารณะของทุกภาคส่วน

ซึ่งแนวทางที่มุ่งไปสู่การแก้ไขปัญหาที่ยั่งยืนจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงสาเหตุของปัญหา ผลกระทบจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ สามารถชี้แจง อธิบาย และตอบคำถามสังคม รวมถึงชี้ให้เห็น เห็นรูปที่ตรงกันชัดเจน โดยเครื่องมือหนึ่งที่เป็นหัวใจของการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา ที่ได้รับการยอมรับคือการใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ (Air quality models) ดังแสดงให้เห็น ถึงข้อจำกัดในการใช้งานบัญชีการปล่อยมลพิษ (Emission inventory) ในการกำหนดมาตรการ ควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษในหัวข้อก่อนหน้านี้

ทั้งนี้การเร่งส่งเสริมการใช้งานแบบจำลองคุณภาพอากาศควรพิจารณามุ่งเน้นใน 3 ด้าน ได้แก่ บุคลากร ระบบแบบจำลองคุณภาพอากาศ และนโยบาย ดังนี้

7.1 บุคลากร

ประเทศไทยจำเป็นต้องขยายศักยภาพการจำลองคุณภาพอากาศ เพื่อที่ยกระดับ การบริหารจัดการคุณภาพอากาศให้เป็นไปในทิศทางสอดคล้องกัน ดังนี้

■ การกำหนดการพัฒนาทักษะพื้นฐาน และการฝึกอบรมที่จำเป็นในการสนับสนุน การพัฒนาผู้ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ (การศึกษาฝุ่น PM สามารถต่อยอดไปยัง มลพิษอื่น ๆ ที่ทำลายได้ เช่น ก๊าซโอโซน สารอินทรีย์ระเหย และมลพิษอากาศที่เป็นอันตราย (Hazardous Air Pollutant หรือ HAPs) เป็นต้น) การทำงานที่ยืดหยุ่น เพื่อเอื้อต่อการเคลื่อนย้ายแรงงานใน ภูมิภาค นอกจากนี้ การพัฒนาปรับเปลี่ยนนวัตกรรมการศึกษา และวิศวกรรมไปสู่โปรแกรมเมอร์ โดยอาศัยดิจิทัล เทคโนโลยี สามารถยกระดับการจำลอง คุณภาพอากาศของไทยได้

■ การลงทุนในด้านการศึกษา STEM (Science, Technology Engineering, and Mathematics) ในระยะยาว โดย เน้นการคิดเชิงวิพากษ์ (Critical thinking) และการแก้ปัญหาเชิงวิเคราะห์ (Analytical problem-solving) ซึ่ง สามารถส่งเสริมพัฒนาผู้นำในการแก้ไข ปัญหาคุณภาพอากาศ รวมถึงประเด็น ความท้าทายอื่นในอนาคต

7.2 ระบบแบบจำลองคุณภาพอากาศ

การส่งเสริมการเข้าถึงการใช้งานแบบจำลองคุณภาพอากาศที่หลากหลายและเหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค และระดับประเทศ โดยสามารถดำเนินการได้ ดังนี้

- ความร่วมมือระหว่างผู้พัฒนาแพลตฟอร์ม เทคโนโลยีการจำลองคุณภาพอากาศ และผู้ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศใน scale ต่าง ๆ ให้มีการใช้งานง่าย ลดค่าใช้จ่าย มีความสะดวก และรวดเร็ว จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการเข้าถึงระบบการจำลองคุณภาพอากาศได้มากยิ่งขึ้น



- การจำลองคุณภาพอากาศต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากทั้งข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษ ข้อมูลลักษณะสภาพภูมิประเทศ รวมถึงข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศในการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองคุณภาพอากาศ ทั้งนี้เป็นที่น่ายินดีว่าภาครัฐมีนโยบายเปิดเผยข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศให้ประชาชนสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างอิสระผ่านช่องทางเว็บไซต์ เช่น Open Government Data of Thailand (<https://data.go.th>) นอกจากนี้ยังมีการเผยแพร่ฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษสำหรับการศึกษา

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ในพื้นที่อุตสาหกรรมมาตาพุด จังหวัดระยอง (<http://www.onep.go.th/eia>) โดยการแบ่งปันข้อมูลเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนการจำลองคุณภาพอากาศให้มีความแพร่หลาย สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น



- การเชื่อมโยงเครือข่ายพันธมิตรในเทคโนโลยีการจำลองคุณภาพอากาศและการร่วมทุนระหว่างภาครัฐ สถาบันการศึกษา และเอกชน สามารถส่งเสริมให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมที่ช่วยในการบริหารจัดการคุณภาพอากาศมากยิ่งขึ้น



7.3 นโยบาย

นโยบายสาธารณะ เช่น การบริหารจัดการคุณภาพอากาศ จำเป็นต้องขับเคลื่อนให้เท่าทันกับการพัฒนานวัตกรรม เพื่อสนับสนุนให้มีการใช้งานที่เหมาะสม และลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ นโยบายที่ยังไม่ชัดเจนไม่เกื้อหนุนให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมการจำลองคุณภาพอากาศ โดยเสนอพิจารณา ดังนี้

■ กำหนดให้ใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับการบริหารจัดการคุณภาพอากาศในระดับพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ให้มีความหลากหลายและเหมาะสม นอกเหนือจากการอาศัยแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ เช่น แบบจำลอง AERMOD ซึ่งนิยมใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพอากาศของไทย โดยเฉพาะสำหรับประกอบการจัดทำรายงานประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment หรือ EIA) เนื่องจากแบบจำลองข้างต้นมีข้อจำกัดในการศึกษามลพิษที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีในอากาศ และสามารถใช้สำหรับพื้นที่ขนาดระยะไม่เกิน 50 กิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด

■ การมีส่วนร่วมระหว่างหน่วยงานรัฐ ภาคเอกชนและประชาชน ในการกำหนดนโยบายสาธารณะ นอกจากพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติ ยังต้องพิจารณาถึงมูลค่าผลประโยชน์และผลกระทบต่ออย่างรอบด้าน รวมถึงการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนของแต่ละนโยบายอย่างโปร่งใส

บทที่ 8

ข้อเสนอแนะการจำลองคุณภาพอากาศของไทย



จากการทบทวนการศึกษาใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor models) สำหรับระบุแหล่งกำเนิดฝุ่น PM ในประเทศไทย พบว่า แม้ว่าจะมีการดำเนินการศึกษาตามแนวทางสากล โดยสามารถใช้ในการระบุแหล่งกำเนิดหลักส่วนใหญ่ในพื้นที่ได้ 50-80% แต่ยังคงมีบางแหล่งกำเนิดซึ่งไม่สามารถระบุได้ชัดเจน รวมถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นทุติยภูมิ รวมทั้งยังมีประเด็นความเหมาะสมในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะ (Profile) ของแต่ละแหล่งกำเนิดในประเทศไทย และความเหมาะสมของจุดรับผลกระทบในการเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษา ดังนั้น การศึกษาอิทธิพลของแหล่งกำเนิดฝุ่น โดยใช้แบบจำลองแหล่งรับผลกระทบ (Receptor modeling) อาจจะไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ขนาดเล็กที่ทราบคุณลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดที่ชัดเจนในพื้นที่ศึกษา หรืออาจจะพิจารณาใช้วิธีนี้เป็นการศึกษาคุณภาพอากาศเบื้องต้น (Screening) แต่ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในการกำหนดนโยบายเพื่อใช้ควบคุมแหล่งกำเนิดของฝุ่น



ในขณะที่แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ (Air dispersion models) โดยเฉพาะแบบจำลอง AERMOD มีแนวทางกำหนดสำหรับใช้ในกระบวนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) และการให้อนุญาตดำเนินกิจการของโครงการในประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางสากล อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้พัฒนาโดยถูกออกแบบโดยหน่วยงานของสหรัฐอเมริกา ให้รองรับข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลองที่พัฒนาเฉพาะเจาะจงสำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้น การใช้งานในประเทศไทยจึงควรเน้นการพัฒนาข้อมูลของไทยให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับแบบจำลอง (เช่น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลระดับสูงต่ำของพื้นที่ (Elevation) ข้อมูลสภาพพื้นผิวภูมิประเทศ (Land use) และบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษ (Emission inventory) เป็นต้น) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีข้อจำกัดในการจำลองปฏิกิริยาเคมีของมลพิษ และแนะนำในการจำลองการแพร่กระจายมลพิษสำหรับพื้นที่

ซึ่งอยู่ในระยะห่างไม่เกิน 50 กิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นจึงยังไม่เหมาะสมในการใช้กำหนดนโยบายเพื่อควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นในระดับประเทศ ซึ่งข้อมูลการศึกษาส่วนประกอบของฝุ่นเบื้องต้นชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดระยะไกล และฝุ่นทุติยภูมิ

แบบจำลองที่เหมาะสมในการกำหนดนโยบายสาธารณะ หรือใช้ประเมินประสิทธิผลของนโยบาย คือ แบบจำลองคุณภาพอากาศที่มีการพิจารณาปฏิกิริยาเคมีของแสงในบรรยากาศ (Photochemical models) ซึ่งสามารถจำลองอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ทั้งผลกระทบด้านความเข้มข้น หรือทัศนวิสัย (Visibility) จากฝุ่นปฐมภูมิและฝุ่นทุติยภูมิในระดับต่าง ๆ เช่น ระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค และระดับประเทศ รวมถึงระดับอนุทวีป ทั้งนี้ การจำลองคุณภาพอากาศโดยใช้แบบจำลองประเภท photochemical สำหรับกำหนดนโยบายสาธารณะของประเทศไทย มีข้อเสนอแนะสำหรับเพื่อพิจารณา ดังนี้

- เสนอให้พัฒนาบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับระบบแบบจำลองคุณภาพอากาศที่มีการเผยแพร่และใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยไม่จำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่ซึ่งจะต้องใช้เวลาและทรัพยากรจำนวนมาก ทั้งนี้การใช้งานแบบจำลองในปัจจุบันค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งการใช้เทคโนโลยีสนับสนุนการใช้งาน เช่น cloud computing สามารถช่วยให้การติดตั้งและเพิ่มกำลังในการประมวลผลของระบบจำลองคุณภาพอากาศมีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การปรับปรุงการใช้งาน (User interface) ของระบบจำลองคุณภาพอากาศอาจจำเป็นต่อการเพิ่มการเข้าถึงการใช้งานแบบจำลอง (Accessibility) ได้มากยิ่งขึ้น
- ควรเน้นการเตรียมข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลองทั้งการรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw data) เพื่อการตรวจสอบและอ้างอิง รวมถึงการจัดทำข้อมูลให้พร้อมใช้กับแบบจำลอง (Model ready data) โดยเฉพาะข้อมูลพื้นฐาน เช่น land use data ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และบัญชีการปล่อยมลพิษ เพื่อความสะดวกในการใช้งานแบบจำลอง
- การจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษควรมีการคำนวณการปล่อยมลพิษชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีการรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสม โดยมีการพัฒนาและทบทวนให้เป็นมาตรฐาน และมีความต่อเนื่องตามกรอบระยะเวลาที่กำหนดชัดเจน เช่น ทุก ๆ 3 ปี ตามแนวทางพัฒนา National Emission Inventory (NEI) ของสหรัฐอเมริกา รวมทั้งมีการเผยแพร่ข้อมูลอย่างโปร่งใสเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและให้การยอมรับต่อผลการจำลองคุณภาพอากาศ
- ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจำเป็นต่อการจำลองคุณภาพอากาศ โดยการใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่เก็บและรวบรวมจะช่วยให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพอากาศได้ ทั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าจำนวนสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรุงเทพมหานครมีจำนวนเพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเมือง ยกตัวอย่างเมืองฮูสตัน มลรัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา (ขนาด 1,733 ตารางกิโลเมตร) ซึ่งมีพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร (1,569 ตารางกิโลเมตร) โดย

มีจำนวนสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของหน่วยงานรัฐ (TCEQ) จำนวน 38 สถานี (<https://www17.tceq.texas.gov/tamis/index.cfm?fuseaction=report.download&filename=Site2022011908470019.txt>) ในขณะที่กรุงเทพมหานครมีสถานีตรวจวัดที่กรุงเทพมหานครเป็นผู้ดำเนินการจำนวน 76 สถานี (<https://bangkokairquality.com/bma/index.php>) ไม่รวมสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่กรมควบคุมมลพิษเป็นผู้ดูแลจำนวน 12 สถานี (<http://air4thai.pcd.go.th/webV2/region.php?region=1>)

- นอกจากนี้ การสื่อสารข้อมูลผลจำลองมลพิษอากาศ จำเป็นต้องมีการนำเสนอข้อมูล (Data visualization) โดยอาจใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมและเทคโนโลยี เช่น virtual reality, augmented reality หรือ metaverse ให้ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายสามารถเข้าใจและยอมรับได้โดยง่าย

เอกสารอ้างอิง

- Boongla, Y., Chanonmuang, P., Hata, M., Furuuchi, M., & Phairuang, W. (2021). The characteristics of carbonaceous particles down to the nanoparticle range in Rangsit city in the Bangkok Metropolitan Region, Thailand. *Environmental Pollution*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115940>.
- Chansuebsri, S., Kraisitnitikul, P., Wiriya, W., & Chantara, S. (2022). Fresh and aged PM_{2.5} and their ion composition in rural and urban atmospheres of Northern Thailand in relation to source identification. *Chemosphere*, 286, 131803. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131803>.
- Choochuay, C., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Deelaman, W., Suttinun, O., Wang, Q., Xing, L., Li, G., Han, Y., Palakun, J., Poshyachinda, S., Aukkaravittayapun, S., Surapipith, V., & Cao, J. (2020). Long-range transboundary atmospheric transport of polycyclic aromatic hydrocarbons, carbonaceous compositions, and water-soluble ionic species in southern thailand. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(7), 1591–1606. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.03.0120>.
- ChooChuay, C., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Suttinun, O., Deelaman, W., Wang, Q., Xing, L., Li, G., Han, Y., Palakun, J., & Cao, J. (2020). Impacts of PM_{2.5} sources on variations in particulate chemical compounds in ambient air of Bangkok, Thailand. *Atmospheric Pollution Research*, 11(9), 1657–1667. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.06.030>.
- Insiang, W., Yabueng, N., Wiriya, W., & Chantara, S. (2022). Size-fractionated PM-bound PAHs in urban and rural atmospheres of northern Thailand for respiratory health risk assessment. *Environmental Pollution*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118488>.
- Janta, R., Sekiguchi, K., Yamaguchi, R., Sopajaree, K., Plubin, B., & Chetiyankomkul, T. (2020). Spatial and Temporal Variations of Atmospheric PM₁₀ and Air Pollutants Concentration in Upper Northern Thailand during 2006–2016. In *Applied Science and Engineering Progress* (Vol. 13, Issue 3, pp. 256–267). Academic Enhancement Department, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. <https://doi.org/10.14416/J.ASEP.2020.03.007>.
- Khaenamkaew, P., Raksawong, S., Wongsorntam, K., Khuntong, S., lamraksa, P., & Wutikhun, T. (2011). Annual concentration report and emission sources analysis of the air pollutants measured by the air quality monitoring station. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(5). <https://doi.org/10.3844/ajessp.2011.415.423>.
- Khamkaew, C., Chantara, S., & Wiriya, W. (2016). Atmospheric PM_{2.5} and Its Elemental Composition from near Source and Receptor Sites during Open Burning Season in Chiang Mai, Thailand. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(6), 436–440. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2016.V7.815>.

- Kongpran, J., Kliengchuay, W., Niampradit, S., Sahanavin, N., Siriratuengsuk, W., & Tantrakarnapa, K. (2021). The Health Risks of Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): Upper North Thailand. *GeoHealth*, 5(4). <https://doi.org/10.1029/2020GH000352>.
- Narita, D., Oanh, N., Sato, K., Huo, M., Permadi, D., Chi, N., Ratanajaratroj, T., & Pawarmart, I. (2019). Pollution Characteristics and Policy Actions on Fine Particulate Matter in a Growing Asian Economy: The Case of Bangkok Metropolitan Region. *Atmosphere*, 10(5), 227. <https://doi.org/10.3390/atmos10050227>.
- Oanh, N. T. K., Hang, N. T., Aungsiri, T., Worrarat, T., & Danutawat, T. (2016). Characterization of particulate matter measured at remote forest site in relation to local and distant contributing sources. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(11). <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.12.0677>.
- Pengchai, P., Chantara, S., Sopajaree, K., Wangkarn, S., Tengcharoenkul, U., & Rayanakorn, M. (2009). Seasonal variation, risk assessment and source estimation of PM₁₀ and PM₁₀-bound PAHs in the ambient air of Chiang Mai and Lamphun, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 154(1–4). <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0389-0>.
- Pengchai, P., Chantara, S., Sopajaree, K., Wangkarn, S., Tengcharoenkul, U., Rayanakorn, M., Pengchai, P., Chantara, S., Sopajaree, K., Wangkarn, S., Tengcharoenkul, U., Rayanakorn, M., Chantara, S., & Sopajaree, K. (2009). Seasonal variation, risk assessment and source estimation of PM₁₀ and PM₁₀-bound PAHs in the ambient air of Chiang Mai and Lamphun, Thailand. *Environ Monit Assess*, 154, 197–218. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0389-0>.
- Phairuang, W., Hata, M., & Furuuchi, M. (2017). Influence of agricultural activities, forest fires and agro-industries on air quality in Thailand. *Journal of Environmental Sciences*, 52, 85–97. <https://doi.org/10.1016/J.JES.2016.02.007>.
- Phairuang, W., Inerb, M., Furuuchi, M., Hata, M., Tekasakul, S., & Tekasakul, P. (2020). Size-fractionated carbonaceous aerosols down to PM_{0.1} in southern Thailand: Local and long-range transport effects. *Environmental Pollution*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114031>.
- Phairuang, W., Inerb, M., Hata, M., & Furuuchi, M. (2022). Characteristics of trace elements bound to ambient nanoparticles (PM_{0.1}) and a health risk assessment in southern Thailand. *Journal of Hazardous Materials*, 425, 127986. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.127986>.
- Phairuang, W., Suwattiga, P., Chetiyankornkul, T., Hongtieab, S., Limpaseni, W., Ikemori, F., Hata, M., & Furuuchi, M. (2019). The influence of the open burning of agricultural biomass and forest fires in Thailand on the carbonaceous components in size-fractionated particles. *Environmental Pollution*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.001>.

- Phanukarn, P., Garivait, H., & Chinwetkitvanich, S. (2020). Black carbon in PM 2.5 at roadside site in Bangkok, Thailand. *International Journal of GEOMATE*, 19(72), 81–87. <https://doi.org/10.21660/2020.72.9245>.
- Punsompong, P., & Chantara, S. (2018). Identification of potential sources of PM₁₀ pollution from biomass burning in northern Thailand using statistical analysis of trajectories. *Atmospheric Pollution Research*, 9(6), 1038–1051. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2018.04.003>.
- Sooktawee, S., Kanabkaew, T., Boonyapitak, S., Patpai, A., & Piemyai, N. (2020). Characterising particulate matter source contributions in the pollution control zone of mining and related industries using bivariate statistical techniques. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78445-5>.
- Suwattiga, P. (2019). Ambient Concentrations of Black Carbon Aerosol and Its Emission Sources in Bangkok Ambient Air. *Advances in Ecological and Environmental Research*, 4(7), 197–210.
- Tippayawong, N., Pengchai, P., & Lee, A. (2006). Characterization of ambient aerosols in Northern Thailand and their probable sources. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4). <https://doi.org/10.1007/BF03325945>.
- Wimolwattanapun, W., Hopke, P. K., & Pongkiatkul, P. (2011). Source apportionment and potential source locations of PM_{2.5} and PM_{2.5}-10 at residential sites in metropolitan Bangkok. *Atmospheric Pollution Research*, 2(2). <https://doi.org/10.5094/APR.2011.022>.

ศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ (ศวอ.)

อาคารสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

122/4 ซอยเรวัติ (แยกซอยศาสนา 28) ถนนพระราม 6

แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ : 02-617-1530-1 / โทรสาร : 02-279-9720

อีเมล: info@ccas.or.th

เว็บไซต์: www.ccas.or.th

<https://www.facebook.com/CCAS.EEAT>

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

อาคารศูนย์เรียนรู้สุขภาวะ 99/8 ซอยงามดูพลี ถนนพระรามสี่

แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์ : 02-343-1500

เว็บไซต์: www.thaihealth.or.th

<https://www.facebook.com/thaihealth>

