

รายงานวิเคราะห์วิจารณ์

เรื่อง การพัฒนาระบบเฝ้าระวังสุขภาพ
จากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน (PM_{2.5}) ในประเทศไทย

ของ

นางสาวเกวลิ สุนทรมน

ตำแหน่ง นายแพทย์ชำนาญการพิเศษ (ด้านเวชกรรมป้องกัน) ตำแหน่งเลขที่ ๓๐๒๔

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

ตำแหน่ง นายแพทย์เชี่ยวชาญ (ด้านเวชกรรมป้องกัน) ตำแหน่งเลขที่ ๓๐๒๔

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

สารบัญ

หัวข้อ	เลขหน้า
๑. บทนำ	๑
๒. วัตถุประสงค์	๒
๓. วิเคราะห์วิจารณ์	๒
๔. ผลที่ได้จากการศึกษา	๖
๕. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	๗
เอกสารอ้างอิง	๙

๑. บทนำ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นมลพิษที่คร่าชีวิตทั่วโลกราว ๖.๗ ล้านราย/ปี^๑ โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่น $PM_{2.5}$ มาจากหลายแหล่ง ที่พบมากได้แก่ การจราจรและการขนส่ง การประกอบกิจการอุตสาหกรรม การเผาไหม้วัสดุทางการเกษตร การเผาวัสดุต่าง ๆ เช่น ฐูป ขยะ การเผาป่า การระเบิดของภูเขาไฟ นอกจากนี้ ยังพบแหล่งกำเนิดที่เป็นหมอกควันข้ามแดน (Transboundary Haze Pollution) ประเทศไทยได้มีการประกาศแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” เมื่อปีพ.ศ. ๒๕๖๒ ซึ่งรวมถึงฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วย^๒(อ้างอิงเอกสารวาระแห่งชาติของกรมควบคุมมลพิษ) ในปี พ.ศ. ๒๕๖๒ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยกรมควบคุมมลพิษ ได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป เฉลี่ย ๒๔ ชั่วโมง เป็น ๕๐ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$) ต่อมาได้มีการปรับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศดังกล่าวไปเป็น ๓๗.๕ $\mu g/m^3$ เพื่อให้ใกล้เคียงกับคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ที่กำหนดไว้ที่ ๑๕ $\mu g/m^3$ เฉลี่ย ๒๔ ชั่วโมง^๓ โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ ๑ มิถุนายน ๒๕๖๖^๔ แม้ว่าจะมีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแล้ว แต่ยังคงพบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงมีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๖ ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งของทุกปี บางพื้นที่ยังพบค่า $PM_{2.5}$ สูงถึง ๑๔๖ $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดใหม่เกือบ ๔ เท่าและสูงกว่าคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกถึงเกือบสิบเท่า

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ประเทศไทยได้ยกระดับปัญหาด้านฝุ่นละอองซึ่งรวมถึงฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ เป็น “วาระแห่งชาติ” ตั้งแต่ พ.ศ. ๒๕๖๒ พร้อมแผนปฏิบัติการสามมาตรการหลัก (บริหารจัดการเชิงพื้นที่ ควบคุม/ลดมลพิษที่ต้นทาง และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการมลพิษ) อย่างไรก็ดี ในปี พ.ศ. ๒๕๖๗ ยังพบค่าฝุ่นเกินมาตรฐานต่อเนื่อง โดยเฉพาะภาคเหนือ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล บางส่วนของภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สาเหตุหลักมาจากไฟป่า การเผาวัสดุทางการเกษตร การจราจรและการขนส่ง ภูมิประเทศที่เป็นแอ่งกระทะหรือมีภูเขาล้อมรอบ การมีสภาวะอากาศปิด และการมีหมอกควันข้ามแดนทั้งในภาคเหนือและในภาคใต้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตัวชี้วัดสำคัญของกระทรวงสาธารณสุข คือ “การลดอุบัติการณ์โรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษอากาศ”^๕

ปี พ.ศ. ๒๕๖๘ คาดว่าจะมีแนวโน้มฝุ่นลดลงเล็กน้อยจากอิทธิพลลานีญา แต่ก็ยังพบเกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงประกาศ “แนวทางยกระดับมาตรการรับมือไฟป่า หมอกควัน และ $PM_{2.5}$ ปี ๒๕๖๘” โดยมุ่งเน้นการเตรียมการเร็ว การทำ Risk Map การควบคุมจุดเผารายพื้นที่ การบริหารไฟในไร่นาภายใต้ระบบลงทะเบียน การให้รางวัลคนทำดี การบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัด การประสานประเทศเพื่อนบ้าน การใช้งบประมาณที่สามารถยืดหยุ่นในการดำเนินการให้ทันเหตุการณ์ การสื่อสารที่รวดเร็ว และมีตัวชี้วัดลดผลกระทบต่อประชาชน ในส่วนของกระทรวงสาธารณสุข ได้มีมาตรการดำเนินการในการจัด “ห้องปลอดฝุ่น” การแจกหน้ากากป้องกันระบบทางเดินหายใจและมุ้งกันฝุ่น การจัดตั้งคลินิกมลพิษ (ทั้งการให้บริการในหน่วยงานในพื้นที่ และการให้บริการให้คำปรึกษาด้วยระบบสื่อสารทางไกล (Online) การจัดตั้งหน่วยแพทย์เคลื่อนที่ และการยกระดับบริการเวชกรรมสิ่งแวดล้อมเพื่อดูแลกลุ่มเปราะบางในช่วงวิกฤติ^๕

กระทรวงสาธารณสุขได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อหรืออาการสำคัญของโรคจากสิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๖๓ และประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อหรืออาการสำคัญของโรคจากสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๖๕ ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมโรคจากการประกอบอาชีพและโรคจากสิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๖๒ ที่กำหนดให้โรคหรืออาการที่เกิดจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน เป็นโรคจาก

สิ่งแวดล้อมที่ต้องมีการเฝ้าระวัง การป้องกัน และการควบคุมโรคจากสิ่งแวดล้อมและในกรณีที่มีสภาพปัญหาคุณภาพอากาศจากหมอกควันและ PM_{2.5} กระทรวงสาธารณสุขก็จะมีการดำเนินการศูนย์ปฏิบัติการภาวะฉุกเฉินด้านการแพทย์และการสาธารณสุข (Public Health Emergency Operation Center: PHEOC) ทั้งในระดับกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และในระดับกระทรวงที่มีการส่งการไปยังสาธารณสุขจังหวัดทั่วประเทศ^๖ และมีการดำเนินการร่วมกับประเทศสมาชิกอาเซียนด้านการแพทย์และการสาธารณสุขในกรณีของหมอกควันข้ามแดนและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง^๗

นอกจากนี้ กระทรวงสาธารณสุขยังได้กำหนด “ระบบเฝ้าระวังโรคจาก PM_{2.5}” (PM_{2.5} Disease Surveillance System: PM_{2.5}-DSS) เชื่อม Air4Thai และเซนเซอร์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) กับ ฐานข้อมูล Health Data Center (HDC)/HOSxP และ “คลินิกมลพิษ” ในทุกจังหวัด ด้วยมีเหตุผลว่า ระบบดังกล่าวนี้จะเชื่อมข้อมูลค่าฝุ่นกับฐานข้อมูลผู้ป่วยทั่วประเทศ ช่วย “เห็นก่อน เตือนเร็ว ตอบไว” ในระดับจังหวัด/อำเภอ พร้อมแดชบอร์ดสนับสนุนนโยบายและ “คลินิกมลพิษ” อย่างไรก็ดี การประเมินระบบเฝ้าระวังนำร่อง จังหวัดนครพนม พบว่า มีความไวสูง (sens. $\approx$ ๙๑%) แต่ความจำเพาะต่ำ (PPV $\approx$ ๓๖%)^๘ ทำให้เกิดสัญญาณเตือนเกินจำเป็น ดังนั้น อัลกอริทึมและขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐานสำหรับการตอบสนองยังต้องพัฒนาให้แม่นยำและสม่ำเสมอยิ่งขึ้น ปัจจุบันระบบจึงอยู่บนความสับสนของทิศทางการดำเนินงานว่า “ควรคงอยู่” หรือ “ควรล้มเลิก” หรือ “ควรพัฒนาต่อ” เพื่อให้ก้าวไปสู่แพลตฟอร์ม Early-Warning ที่ทรงประสิทธิภาพ

๒. วัตถุประสงค์

๑. เพื่อประเมินสถานะระบบเฝ้าระวัง PM_{2.5} ของไทยตามกรอบ *Structure–Process–Outcome* (Donabedian S-P-O)
๒. เพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง/จุดอ่อนตาม Knowledge to action loop
๓. เพื่อเสนอแนวทางยกระดับระบบเฝ้าระวังโรคจาก PM_{2.5} สู่ Early-Warning & Health-Action ที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

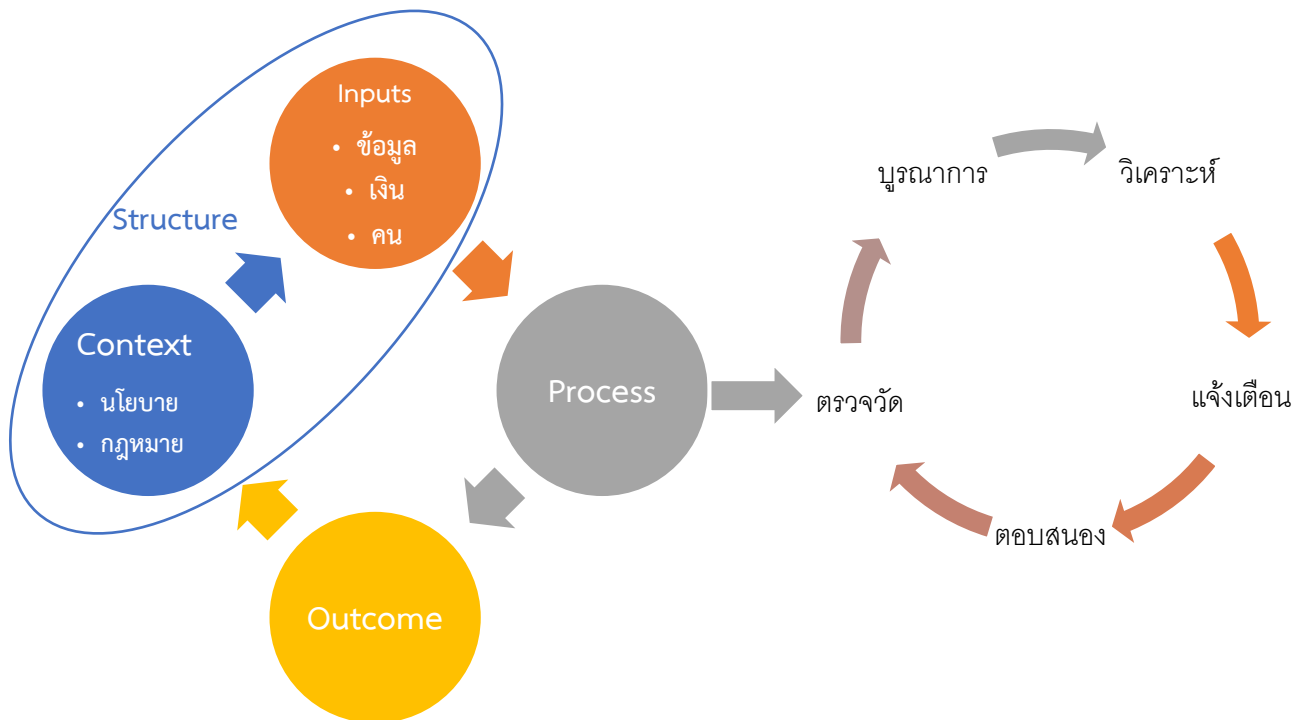
๓. วิเคราะห์วิจารณ์

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบผสมผสาน ประกอบด้วย ๒ ประเด็นหลัก ได้แก่

๑) Donabedian S-P-O (โครงสร้าง–กระบวนการ–ผลลัพธ์)^๙

๒) Knowledge-to-Action Loop (ข้อมูล $\rightarrow$ ความรู้ $\rightarrow$ การตัดสินใจ $\rightarrow$ ตอบสนอง $\rightarrow$ ข้อมูลใหม่)^{๑๐}

ซึ่งการวิเคราะห์และวิจารณ์ในครั้งนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ ๓ ด้าน ได้แก่ ๓.๑ ด้านโครงสร้าง (Structure) ๓.๒ ด้านกระบวนการ (Process) และ ๓.๓ ด้านผลลัพธ์ (Outcome) ดังแสดงในภาพที่ ๑ และรายละเอียดของการวิเคราะห์ทั้ง ๓ ด้าน ดังกล่าว ดังนี้



ภาพที่ ๑ กรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การดำเนินการระบบเฝ้าระวัง PM_{2.5}

๓.๑ ด้านโครงสร้าง (Structure)

๑) โครงสร้างของกฎหมายและนโยบายเกี่ยวกับฝุ่น PM_{2.5} มีหน่วยงานที่รับผิดชอบหลักในประเด็นสำคัญอย่างชัดเจน เช่น กระทรวงสาธารณสุขได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อหรืออาการสำคัญของโรคจากสิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๖๓ และประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อหรืออาการสำคัญของโรคจากสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๖๕ ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมโรคจากการประกอบอาชีพและโรคจากสิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๖๒ ซึ่งระบุโรคหรืออาการที่เกิดจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน ส่วนกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้มีประกาศประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป โดยกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไปค่าเฉลี่ยในเวลา ๒๔ ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน ๓๗.๕ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตั้งแต่วันที่ ๑ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๖ เป็นต้นไป แม้ว่าจะมีหน่วยงานหลักที่ดำเนินการด้านกฎหมายชัดเจนแล้ว แต่การลงโทษตามกฎหมายยังไม่เข้มงวดเพียงพอ^๓

๒) โครงสร้างข้อมูล มีการออกแบบให้การรายงานข้อมูลตามแอปพลิเคชัน Air4Thai โดยกรมควบคุมมลพิษ ได้มีการเตือนร่วมกับเซนเซอร์สำหรับภาคประชาชนให้มีมากกว่า ๑,๐๐๐ จุด เพื่อสอดคล้องกับแผนของกรุงเทพมหานคร ปีและในปี พ.ศ. ๒๕๖๘ ได้มีการเพิ่มความครอบคลุมพื้นที่ให้มากขึ้น (coverage) แต่ยังคงขาดการสอบเทียบกลางทำให้ค่าการตรวจวัดจากเซนเซอร์ต่างรุ่นหรือต่างสถานที่กันไม่สามารถเทียบเคียงกันได้ ดังนั้น การตรวจวัดค่าฝุ่น PM_{2.5} ด้วยเครื่องตรวจวัดต่างชนิดซึ่งได้ผลการตรวจวัดไม่สอดคล้องกัน^{๑๑,๑๒}

สำหรับแหล่งข้อมูลที่สามารถเข้าถึงสถานการณ์ PM_{2.5} ของประเทศไทยนั้น พบว่ายังมีไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ ๒



ภาพที่ ๒ แหล่งข้อมูลในการเข้าถึงข้อมูลคุณภาพอากาศเพื่อการสื่อสาร แจ้งเตือน ๕

๓) บุคลากร งบประมาณ คู่มือ โรคจากสิ่งแวดล้อม: โรคหรืออาการสำคัญที่เกิดจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน^๓ กำหนดโรคเป้าหมาย ๔ กลุ่ม (กลุ่มโรคทางเดินหายใจ กลุ่มโรคหัวใจหลอดเลือด กลุ่มโรคตาอักเสบ และกลุ่มโรคผิวหนังอักเสบ) แต่จังหวัดยังขาดงบประมาณเวชสถิติเรื่องให้รหัส Z๕๘.๑ (exposure to air pollution) แบบเรียลไทม์

๓.๒ ด้านกระบวนการ (Process)

มีการวิเคราะห์กระบวนการ ๓ ประเด็นหลัก ได้แก่

๑) วิเคราะห์การดำเนินงานใน ๕ ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจวัด การบูรณาการ การวิเคราะห์ การแจ้งเตือน และการตอบสนอง

๒) วิเคราะห์สิ่งที่คาดหวัง ได้แก่ สถานีตรวจวัดครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงทุกจังหวัดหรือไม่ ร้อยละของข้อมูลที่เชื่อมต่อกันระหว่างค่าฝุ่น PM_{2.5} กับกรณีอุบัติการณ์รายโรค (Case) ใน HDC โมเดลของ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) และ Machine Learning (ML)-coding การส่งข้อมูลในการสื่อสาร SMS/LINE และการดำเนินการของศูนย์ปฏิบัติการภาวะฉุกเฉิน (Emergency Operations Center: EOC) กับคลินิกมลพิษใน ๗๗ จังหวัด (๗๖ จังหวัดและกรุงเทพมหานคร)

๓) วิเคราะห์ประเด็นท้าทาย ได้แก่ การสอบเทียบเซ็นเซอร์ IoT ระยะเวลาที่เหมาะสมตั้งแต่วันที่ได้รับฝุ่นจนถึงแสดงอาการ การลงทุนในส่วนของ Graphic Processing Unit (GPU) และบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) ค่าบริการในการสื่อสารข้อมูลในระยะยาว และงบประมาณสำหรับจัดซื้ออุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ (หน้ากาก) ของแต่ละจังหวัด

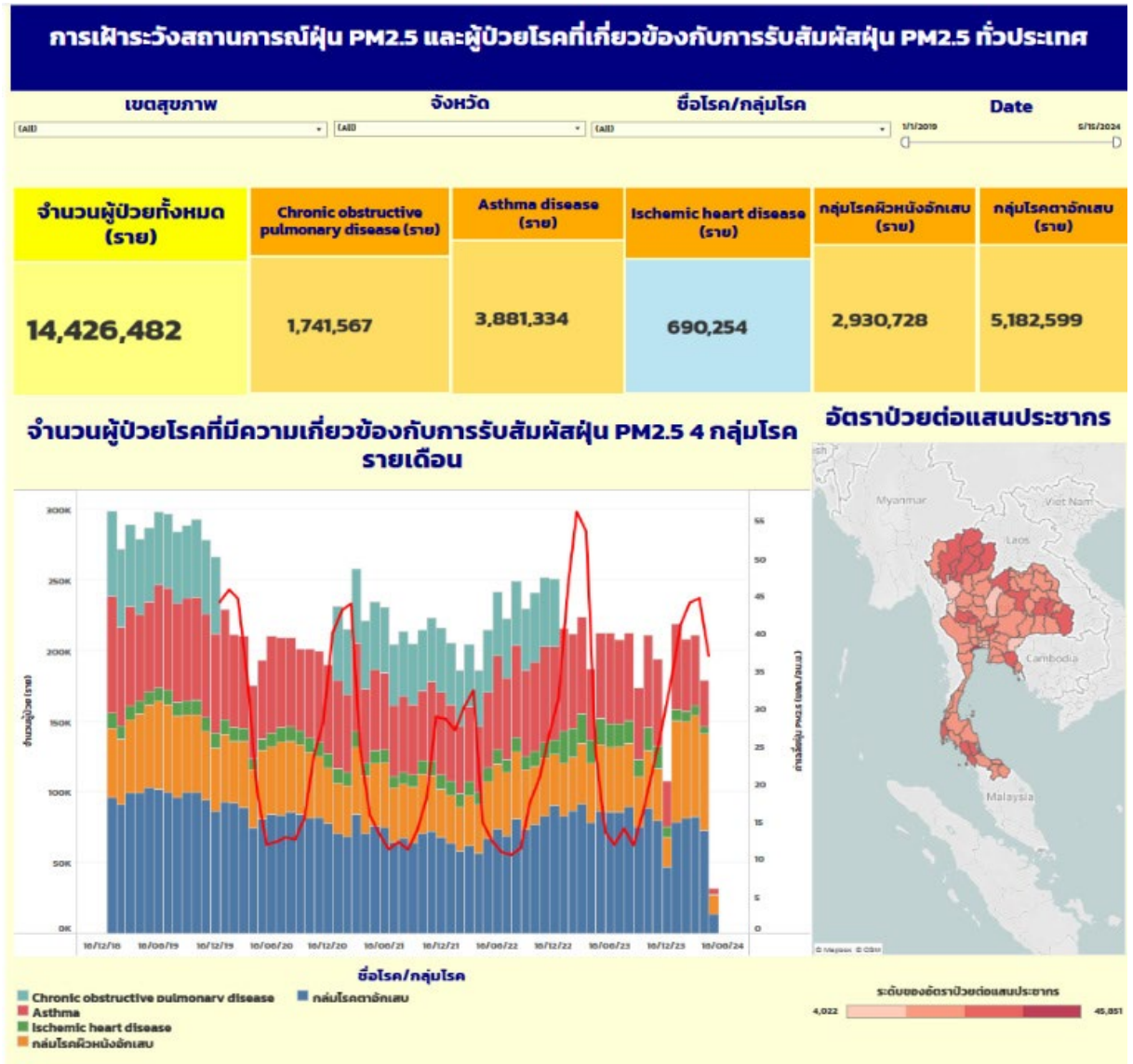
การวิเคราะห์ทั้ง ๓ ประเด็นนี้ ดังแสดงสรุปในตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ ผลการวิเคราะห์กระบวนการ

ขั้น	สิ่งที่คาดหวัง	ประเด็นท้าทาย
การตรวจวัด	สถานีตรวจวัดครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงทุกจังหวัด	เซนเซอร์ IoT ต้องสอบเทียบ ๖ เดือนต่อครั้ง
การบูรณาการ	% เชื่อมค่าฝุ่นกับเคสใน HDC	ช่องว่าง temporal linkage ๐-๗ วัน
การวิเคราะห์	โมเดล ARIMA และ ML-coding	ขาด GPU และ ทีม Data Science
การแจ้งเตือน	SMS/LINE ๒.๑ ล้านบัพ/ปี	ค่าบริการระยะยาวสำหรับ SMS และ Line และประชาชนอาจเกิด Alert Fatigue และไม่ตระหนักถึงความสำคัญในการป้องกัน
การตอบสนอง	EOC และ คลินิกมลพิษเปิด ๗๗ จังหวัด	ต่างจังหวัดขาดงบประมาณสำหรับจัดซื้ออุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ (หน้ากาก)

๓.๓ ด้านผลลัพธ์ (Outcome)

จากฐานข้อมูลระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์ HDC ของกระทรวงสาธารณสุข พบว่าในช่วง ๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๖๖ – ๑๒ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๗ มีผู้ป่วยใน ๔ กลุ่มโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศรวมทั้งสิ้น ๕,๓๓๔,๒๘๗ ราย คิดเป็นอัตราป่วย ๕,๑๐๐ ต่อแสนประชากร โดยเรียงตามความชุกดังนี้ ๑) โรคผิวหนัง อักเสบ ๒,๒๙๔,๑๓๘ ราย (อัตราป่วย ๓,๕๒๕ ต่อแสน) ๒) โรคตาอักเสบ ๑,๘๓๕,๑๑๑ ราย (อัตราป่วย ๒,๘๒๐ ต่อแสน) ๓) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ๑,๐๙๙,๑๓๗ ราย (อัตราป่วย ๑,๖๘๙ ต่อแสน) เมื่อวิเคราะห์ตามเดือนพบว่าแนวโน้มการเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษอากาศในปี ๒๕๖๗ ลดลงจาก ปี พ.ศ. ๒๕๖๖ สอดคล้องไปกับสถานการณ์ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ๒๕๖๗ ดีขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $PM_{2.5}$ เชื้อกับอัตราป่วยยังไม่ชัดเจน เนื่องจากมีปัจจัยเสี่ยงอื่นร่วมด้วย^{๑๔} สอดคล้องกับการศึกษานำร่องที่นครพนมที่พบว่าจำนวนผู้ป่วย ๔ กลุ่มโรคไม่ได้สัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับข้อมูลระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลาเดียวกัน และระบบเฝ้าระวังมีค่าพยากรณ์บวกที่ไม่สูงนัก^{๑๕} อย่างไรก็ตาม งานวิจัยผู้สูงอายุในจังหวัดขอนแก่น บ่งชี้ว่า ความเสี่ยงต่อโรคทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น ๓.๙๘ เท่า (๙๕% CI: ๑.๕๓-๑๐.๓๑) ต่อ $PM_{2.5}$ ๑๐ $\mu g/m^3$ ^{๑๕} ซึ่งสะท้อนความจำเป็นของมาตรการควบคุมจากต้นทางมากกว่าการรักษาที่ปลายเหตุ



ภาพที่ ๓ การแสดงข้อมูลสถานการณ์ฝุ่น และข้อมูลผู้ป่วยใน Dashboard ภาพรวมเขตสุขภาพ

๔. ผลที่ได้จากการศึกษา

จากการวิเคราะห์ในแต่ละกระบวนการดำเนินงาน (Process) พบว่าในขั้นตอนการตรวจวัดนั้นมีสถานีตรวจวัดที่เหมาะสมกับพื้นที่ ซึ่งหมายถึงว่า มีการจัดตั้งในบริเวณที่ตรวจวัดคุณภาพอากาศได้ดี และมีจำนวนสถานีตรวจวัดที่เพียงพอต่อบริบทของพื้นที่นั้น ในส่วนของกรอบงบประมาณนั้น พบว่าพอเพียงสำหรับการสอบเทียบเซ็นเซอร์ IoT ๒ ครั้งต่อปี ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าความคลาดเคลื่อนของผลการตรวจวัด นอกจากนี้ การเชื่อมต่อบริการรายงานค่าฝุ่นไปกับรายผู้ป่วยในระบบ HDC จะทำให้ ML Coding สามารถเข้ารหัสข้อมูลสุขภาพโดยจับคำหลักในระบบ เช่น หอบหืดกำเริบและสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ML Coding จะตั้งรหัส ICD-๑๐ J๔๕ และ Z๕๘.๑ ให้โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ ML Coding และโมเดล ARIMA ยังช่วยเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ เต็มพยากรณ์ค่า PM_{2.5} และกรองสัญญาณเตือนให้น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ตามด้วยการแจ้งเตือนประชาชนที่อาจได้รับผลกระทบ ช่องทางในการแจ้งเตือนอาจเป็น SMS/Line ซึ่งค่าใช้จ่ายต่อปีค่อนข้างมาก โดยพึงระวังการแจ้งเตือนเกินความจำเป็น จนผู้รับการเตือนเกิดความคุ้นชินจนกระทั่งไม่ตอบสนองต่อสัญญาณที่แท้จริง ดังนั้นการสื่อสารที่ดีจึงควรรวมหลายสัญญาณและรายงานสัญญาณที่จำเป็นและรุนแรงออกไป พร้อมทั้งมีคำแนะนำสั้น ๆ

ร่วมด้วย เช่น ควรสวมหน้ากาก N๙๕ ควรปิดหน้าต่าง ควรงดการออกจากบ้านโดยไม่จำเป็น ทั้งนี้ ให้ประเมินผลเป็นระยะเพื่อลดสัญญาณเทียม (False Alert)

กระบวนการขั้นสุดท้าย คือ การตอบสนองโดยเมื่อมีสัญญาณเตือนว่าค่า PM_{2.5} อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยนายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พิจารณาใช้กฎหมาย เช่น พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. ๒๕๓๕ และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อเข้าไปควบคุมพื้นที่หรือควบคุมแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญหรือมีผลกระทบต่อประชาชน ให้นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดพิจารณาเปิดศูนย์ PHEOC เพื่อดูแล ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น ทางกรุงเทพมหานคร เมื่อสถานการณ์ฝุ่นละออง PM_{2.5} มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ ๓๗.๕ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) สถานศึกษาสามารถสั่งปิดการเรียนการสอนได้ หรือมีหน่วยบริการสาธารณสุข และหน่วยแพทย์เคลื่อนที่ออกตรวจจำนวน ๖๙ หน่วย เพื่อให้บริการตรวจรักษาโรคและให้คำแนะนำการป้องกันสุขภาพจากฝุ่นละออง PM_{2.5} หรือหากเกิน ๗๕ มคก./ลบ.ม. ขึ้นไป ก็จะมีการพิจารณาขยายพื้นที่ในการจำกัดเวลาการบรรทุกขนาดใหญ่เข้าพื้นที่กรุงเทพมหานคร หรือขอความร่วมมือให้ WFH และถ้าเกิน ๑๕๐ มคก./ลบ.ม. ขึ้นไป ติดต่อกัน ๕ วัน ก็สามารถประกาศเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉินเนื่องจากกรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{2.5}) เป็นต้น

กระบวนการดำเนินงานทั้งหมดที่กล่าวมานั้นต้องอาศัย โครงสร้าง (Structure) ที่แข็งแกร่ง การออกนโยบายและงบประมาณที่สนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ โดยเฉพาะระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและสถานีตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน นอกจากนี้ กฎหมายที่มีอยู่ ควรบังคับใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการป้องกันการเกิดฝุ่นจากแหล่งต่างๆ สำหรับการตอบสนองต่อระดับ PM_{2.5} ที่เป็นปัญหานั้น นอกจากดำเนินการในระยะสั้นตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในระยะยาวก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน เช่น การตรวจจับควันดำจากแหล่งกำเนิด (ห้ามใช้รถที่มีค่าควันดำเกินเกณฑ์มาตรฐานตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมการขนส่งทางบก) การสนับสนุนให้เกิดระบบนิเวศ (Ecosystem) ที่ดี โดยสนับสนุนการใช้รถพลังงานไฟฟ้า การลดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลในช่วงโมงเร่งด่วน การกำหนดให้มีการเข้า-ออกของรถยนต์และรถขนส่งเข้าเขตเมืองในบางพื้นที่เพื่อลดการจราจรที่แออัดและลดเขม่าควัน และควรมีการดำเนินการเฝ้าระวังฝุ่นละอองด้วยการตรวจสอบคุณภาพอากาศเชิงรุกในโรงงาน นอกจากนี้ ควรมีการควบคุมการเผาในที่โล่ง และมีการพัฒนาพื้นที่ปลอดฝุ่นด้วยการปลูกต้นไม้ และควรส่งเสริมให้เกิดกระบวนการมีส่วนร่วมในชุมชนในการช่วยลดแหล่งกำเนิดหมอกควัน เขม่าดำ และ PM_{2.5}

จากผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Outcome) พบว่า ระบบเฝ้าระวังในปัจจุบันยังรายงานความสัมพันธ์ระหว่างโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศกับค่า PM_{2.5} ได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นการประเมินผลลัพธ์จากมาตรการทุกอย่างที่ดำเนินการไปข้างต้น จึงมีความจำเป็นมาก เพื่อจะใช้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ (Evidence -Based) และกำหนดนโยบายในอนาคต โดยสามารถใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Interrupted-Time-Series (ITS) และ Difference-in-Difference โดยเปรียบเทียบในช่วงก่อนและภายหลังการดำเนินงาน

๕. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ๑) **ประโยชน์เชิงประชาชน** มีการส่งข้อความทาง SMSและไลน์ (SMS/LINE) เพื่อเตือนกลุ่มเสี่ยงทันเวลาและแม่นยำ
- ๒) **ประโยชน์เชิงระบบสุขภาพ** มีต้นทุนการรักษาโรคระบบทางเดินหายใจลดลง ด้วยการป้องกันการเกิดโรคหรือป้องกันการกำเริบของโรค

- ๓) **ประโยชน์เชิงนโยบาย** มี Dashboard ในระดับจังหวัดแบบ Evidence-Based ที่สามารถสนับสนุน คำสั่งห้ามเผา และจำกัดรถดีเซล ในวันวิกฤติอย่างแม่นยำ
- ๔) **ประโยชน์เชิงวิชาการ** มีฐานข้อมูลฝุ่น $PM_{2.5}$ และผลตรวจสุขภาพส่วนบุคคล เพื่อดำเนิน การศึกษาระยะยาว เช่น การศึกษาโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหรือโรคมะเร็งจากการประกอบอาชีพและจาก สิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี Cohort หรือ Time-Series

จากผลการวิเคราะห์ข้างชี้ว่า $PM_{2.5}$ -DSS ที่มีการดำเนินการในประเทศไทย ยังสามารถดำเนินการต่อได้ แต่ ต้องพร้อมเผชิญกับความท้าทายด้านคุณภาพข้อมูล การบูรณาการฐานข้อมูลระหว่างหน่วยงาน การจัดสรร ทรัพยากรและบุคลากร การสอบเทียบเซนเซอร์และการสร้างนวัตกรรม AI-coding สิ่งเหล่านี้คือ กุญแจไขไปสู่ ระบบแจ้งเตือนและตอบสนองเชิงรุกที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

๑. World Health Organization. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM_{๑๐}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: WHO; ๒๐๒๑. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/๑๐๖๖๕/๓๔๕๓๓๔/๔๗๘๔๒๔๐๐๓๔๔๓๓-eng.pdf?sequence=๑>
๒. Pollution Control Department (Thailand). *Action Plan for Driving the National Agenda: Addressing Dust Pollution* [Thai]. Bangkok: Air and Noise Quality Management Division, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment; ๒๐๑๙. ISBN ๙๗๘-๖๑๖-๓๑๖-๕๓๕-๐.
๓. Pollution Control Department. Thailand tightens PM_{2.5} ๒๔-h standard to ๓๗.๕ µg/m³ effective ๑ June ๒๐๒๓. *Nation Thailand*. ๒๐๒๕ Feb ๘. Available from: nationthailand.com
๔. Thailand Government Public Relations Department. AQI criteria adjustment for PM_{2.5} warnings. ๒๐๒๓. Available from: https://www.thailand.go.th/issue-focus-detail/๐๐๑_๐๔_๐๗๓
๕. Ministry of Public Health, Thailand. *Manual for medical and public-health operations: response to haze and fine particulate matter (PM_{2.5}), 2025* [Thai] [Internet]. Nonthaburi: Ministry of Public Health; 2025 Jan 23 [cited 2025 Jun 14]. Available from: https://hia.anamai.moph.go.th/web-upload/12xb1c83353535e43f224a05e184d8fd75a/filecenter/kpi/2568/5.1/04_Feb/3.44/3.1%20Manual%20PM2.5.pdf
๖. Division of Public Health Emergency Management (DPHEM), Office of the Permanent Secretary, Ministry of Public Health (Thailand). *Public Health Emergency Operation Center (PHEOC) manual* [Thai]. Nonthaburi: Ministry of Public Health; 2020.
๗. Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). *ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution* [Internet]. Jakarta: ASEAN Secretariat; 2016 [cited 2025 Jun 28]. Available from: <https://asean.org/book/asean-agreement-on-transboundary-haze-pollution/>
๘. Soontornmon K, Wacharasint S, Nasa P, Charoenkun S, Chottanapund S. Evaluation of the PM_{2.5} Surveillance System in Nakhon Phanom Province, Thailand: A Pilot Case Study. *J Health Syst Res* [Thai] [internet]. ๒๐๒๕ Mar. ๓๑ [cited ๒๐๒๕ Jun. ๑๓];๑๙(๑):๗๗-๙๓. available from: https://he๐๔.tci-thaijo.org/index.php/j_hsr/article/view/๓๐๒๙
๙. Donabedian A. Evaluating the quality of medical care. *Milbank Mem Fund Q*. ๑๙๖๖;๔๔(๓ Suppl):๑๖๖-๒๐๖. Available from: pmc.ncbi.nlm.nih.gov
๑๐. Graham ID, Logan J, Harrison MB, Straus SE, Tetroe J, Caswell W, et al. Lost in knowledge translation: time for a map? *J Contin Educ Health Prof*. ๒๐๐๖;๒๖(๑):๑๓-๒๔. doi:๑๐.๑๐๐๒/chp.๔๗.
๑๑. The Active (Thai PBS). *Only ๔๓ days! In ๒๐๒๔ Bangkok had “good air” to breathe* [Thai] [Internet]. Bangkok: The Active; ๒๐๒๕ Jan ๒๓ [cited ๒๐๒๕ Jun ๑๔]. Available from: <https://theactive.thaipbs.or.th/data/air-pollution>
๑๒. Dejchanchaiwong R, Tekasakul P, Saejio A, Limna T, Le TC, Tsai CJ, Lin GY, Morris J. Seasonal field calibration of low-cost PM_{2.5} sensors in different locations with different sources in Thailand. *Atmosphere (Basel)*. ๒๐๒๓;๑๔(๓):๔๙๖. doi:๑๐.๓๓๙๐/atmos๑๔๐๓๐๔๙๖
๑๓. Ingwiyah T, Phraekuntham H, Chinsri J. Environmental diseases: Diseases or important symptoms caused by contact with dust particles of no more than 2.5 microns [Thai]. In: Buranatriwet S, editor. *Guidelines for surveillance and investigation of occupational diseases and environmental*

- diseases under the Occupational and Environmental Disease Control Act B.E. 2562. 1st ed. Bangkok: Aksorn Graphic and Design Publishing; 2566.
๑๔. Division of Occupational and Environmental Diseases (DOED), Department of Disease Control, Ministry of Public Health (Thailand). Annual report 2024 [Thai] [Internet]. Nonthaburi: DOED; 2024 [cited 2025 Jun 14]. Available from: <http://ddc.moph.go.th/does>
๑๕. Srisawat N, et al. Ambient PM_{2.5} and respiratory diseases among Thai elderly: a provincial time-series study. *Sci Total Environ*. ๒๐๒๕;๙๐๗:๑๖๘๑๓๔. Available from: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov