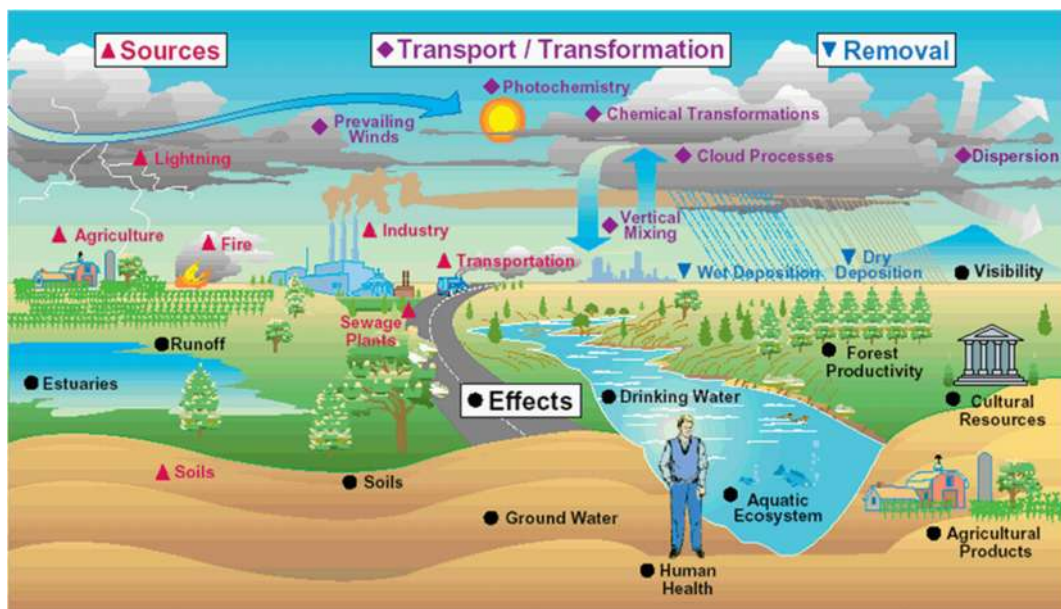


ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

มลภาวะทางอากาศ

มลภาวะทางอากาศ (Air Pollution) คือภาวะที่มีสารมลพิษ (Air pollutants) ปะปนในอากาศแล้วทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งของหรือส่งผลกระทบต่อการทำงานของอย่างปกติสุขของสิ่งที่สัมผัสกับอากาศนั้น ลักษณะการเกิดของของมลภาวะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ การกระจายของสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดโดยตรงเรียกว่า Primary air pollutants ซึ่งเกิดจากธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ และมลภาวะที่เกิดในอากาศโดยปฏิกิริยาทางเคมีในอากาศเรียกว่า Secondary air Pollutants

มลภาวะทางอากาศ ครอบคลุมสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นและสิ่งที่เกิดตามธรรมชาติ เช่นการระเบิดของภูเขาไฟหรือไฟป่า และที่สำคัญคือมลภาวะจะต้องกระทบต่อผู้รับด้วย เราสามารถแบ่งส่วนของมลภาวะได้เป็น การปล่อยมลภาวะ การส่งผ่านมลภาวะผ่านสื่อกลาง และการรับมลภาวะ



รูปที่ 1 กระบวนการของมลภาวะในบรรยากาศ (Ridell, 2015)

แหล่งกำเนิด จะปล่อยมลภาวะโดยมีชนิดและอัตราของสารมลพิษในระดับต่างๆ กัน ซึ่งแหล่งกำเนิดอาจพิจารณาได้เป็น **ชนิดจุด** (point source) เช่นโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงกำเนิดไฟฟ้า **ชนิดเส้น** (lines source) เช่นการจราจรบนท้องถนน และ**ชนิดพื้นที่** (Areas source) เช่นมลภาวะในเมือง เป็นต้น ต้นกำเนิดมลภาวะอาจเป็นได้ทั้งชนิดอยู่กับที่ (Stationary) และชนิดเคลื่อนที่ (Mobile)

การส่งผ่าน (Transportation) และการเปลี่ยนรูป (**Transformation**) ของมลภาวะจะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ การทำความเข้าใจระบบบรรยากาศจึงมีความจำเป็นในการศึกษาการกระจายของมลภาวะ สถานะของบรรยากาศจะเป็นตัวกำหนดว่ามลภาวะจะอยู่ในสถานะรวมตัว (Concentrated) หรือกระจายตัว

(dispersed) และมลภาวะจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพหรือชีวิตหรือไม่ บรรยากาศยังสามารถเป็นแหล่งเปลี่ยนรูปมลภาวะจากชั้นปฐมภูมิ (Primary source) ไปเป็นชั้นทุติยภูมิ (Secondary source) เช่นการเกิดหมอกควัน (Smog = Smoke + Fog) ในกระบวนการ photochemical

เมื่อมลภาวะเดินทางมาถึงผู้รับ (Receptors) หรือกระบวนการกำจัดมลภาวะออกจากบรรยากาศ (Removal) จะมีผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างกว้างขวางมาก เช่น ทางด้านสุขภาพของผู้คน การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชและสัตว์ การเกิดสารพิษตกค้างในดิน หรือการกัดกร่อนของโลหะ

สารมลพิษ

บรรยากาศโลกมีองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่ Nitrogen 78.08% Oxygen 20.95% Argon 0.93% Carbon dioxide 0.04% และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย ในบรรยากาศโลก นอกจากองค์ประกอบหลักดังกล่าวนี้แล้ว ยังมีสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่เกิดจากธรรมชาติและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ จาก Clean Air Act Amendments (CAAA) ที่ออกโดย National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) ของสหรัฐอเมริกา มีการแบ่งหมวดหมู่ของสารปนเปื้อนในอากาศที่เป็นมลพิษออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ Nitrogen compound, Sulfur compound, Carbon compound, Ground Level Ozone, Particular Matters และ Lead.

Nitrogen compound (NOx)

สารประกอบในกลุ่ม Nitrogen (NOx) มีองค์ประกอบของ nitrogen และ oxygen เช่น NO; NO₂; NO₃; N₂O; N₂O₃; N₂O₄; และ N₂O₅ แต่มีเพียง 2 ชนิดที่นิยมศึกษาในเรื่องของ air pollution ได้แก่ nitric oxide (NO) และ nitrogen dioxide (NO₂) โดยเฉพาะ NO₂ เป็น pollutant ที่พบได้บ่อย ซึ่งจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูง NO₂ ส่วนใหญ่ในบรรยากาศเกิดจากยานยนต์ การผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมต่างๆ และในบ้านเรือนที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

Sulfur compound (SOx)

สารมลพิษในกลุ่ม SOx ที่พบมากที่สุดคือ Sulfur dioxide (SO₂) เป็นแก๊สที่ละลายน้ำได้ง่าย สารตั้งต้นของ SOx คือ Sulfur พบในวัตถุดิบต่างๆ ได้แก่ น้ำมันดิบ ถ่านหิน และสินแร่ของ aluminum, copper, zinc, lead, and iron โดย SO₂ จะเกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มี sulfur การกลั่นน้ำมัน การถลุงแร่ SO₂ เมื่อละลายในน้ำจะทำให้เกิดกรด เมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สหรืออนุภาคอื่นในอากาศจะทำให้เกิด sulfates และ products อื่นๆ ที่เป็นอันตรายต่อคนหรือสิ่งแวดล้อม

Carbon compound

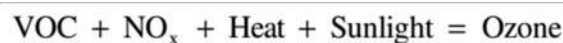
Carbon monoxide (CO) จัดเป็นแก๊สที่พบมากที่สุดในบรรดา pollutants ในบรรยากาศ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ประมาณ 56% ของ CO เกิดจากยานยนต์ ส่วนเครื่องยนต์ที่ไม่ได้อยู่บนท้องถนน (เช่นเรือและอุปกรณ์ก่อสร้าง) ประมาณ 22% นอกจากนั้นอยู่ใน industrial processes และอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมโลหะและเคมี การใช้ไม้และถ่านเป็นเชื้อเพลิงในบ้านเรือน ไฟป่า เป็นต้น

ระดับของ CO ในบรรยากาศจะสูงมากในฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเกิด inversion condition บ่อยครั้งกว่า ซึ่ง pollution จะถูกกัก (trapped) ไว้ใกล้พื้นโลก และถูกกดทับด้วยชั้นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าที่ลอยตัวอยู่ด้านบน

Ground-level ozone

Ozoneที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ มีองค์ประกอบเหมือนกัน แต่เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามระดับความสูงที่เกิด Ozone ได้แก่

- **Stratospheric Ozone** เป็น ozone ที่เกิดในชั้น stratosphere ในระดับความสูง 10 ถึง 30 ไมล์เหนือพื้นโลก และจะเป็นชั้นที่ปกป้องสิ่งมีชีวิตจากรังสีดวงอาทิตย์
 - **Tropospheric Ozone** เกิดในบรรยากาศโลกในระดับความสูงต่ำๆ อาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต
- การเกิดของ Ozone



โดย VOC มาจากอุตสาหกรรมหรือเครื่องยนต์ เช่น chemical solvents หรือ gasoline vapors และ NO_x มาจากไอเสียจากเครื่องยนต์

Lead

Lead เป็นโลหะที่พบได้ทั้งในธรรมชาติและกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม แหล่งกำเนิดของ lead ในอดีตมีที่มาจากไอเสียของยานยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรม ในปัจจุบันมีการยกเลิกน้ำมันที่มีสารตะกั่ว แหล่งกำเนิดใหญ่จึงมาจากโรงหลอมตะกั่ว เตาเผาขยะ และโรงงานผลิตแบตเตอรี่ชนิด Lead-Acid

Particulate matter

Particulate matter (PM) คือ particles ที่พบในอากาศ ประกอบด้วย dust, dirt, soot, smoke, และ liquid droplets บางอนุภาคมีขนาดใหญ่จนมองว่าเป็นเขม่าหรือควัน อนุภาคมีขนาดเล็กมากจนต้องส่องด้วยกล้อง electron microscope

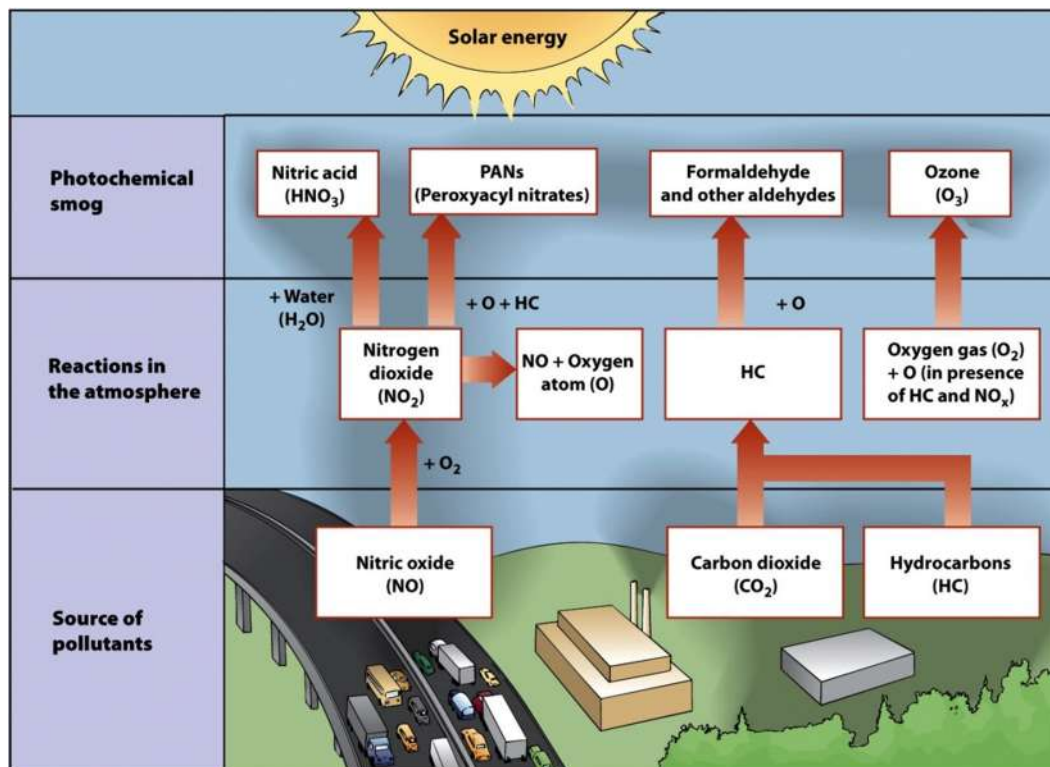
แหล่งกำเนิดของ Particulate matter มี 2 ชนิดคือ PM ที่ส่งตรงจาก source ออกสู่อากาศ เช่น รถยนต์ชนิดต่างๆ โรงงาน พื้นที่ก่อสร้าง ถนนที่ไม่ลาดยาง การระเบิด/เจาะหิน การใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง/เผาถ่าน

และ Particulate matter ที่เกิดขึ้นในอากาศ โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นจากแก๊สที่เผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โรงผลิตไฟฟ้า หรือกระบวนการในอุตสาหกรรม ทำปฏิกิริยากับแสงแดดและไอน้ำในอากาศ

มลภาวะที่เกิดในเมือง

Smog

Smog เป็นศัพท์ที่เกิดจากการนำคำว่า Smoke กับ Fog มารวมกัน มักพบเป็นหมอกควันสีน้ำตาลส้ม ในบริเวณเมืองที่มีการจราจรคับคั่ง เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของสาร Hydrocarbon, Nitrogen oxide ร่วมกับแสงแดด



รูปที่ 2 การเกิด smog ในบรรยากาศ

คุณภาพอากาศในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมของประเทศไทย

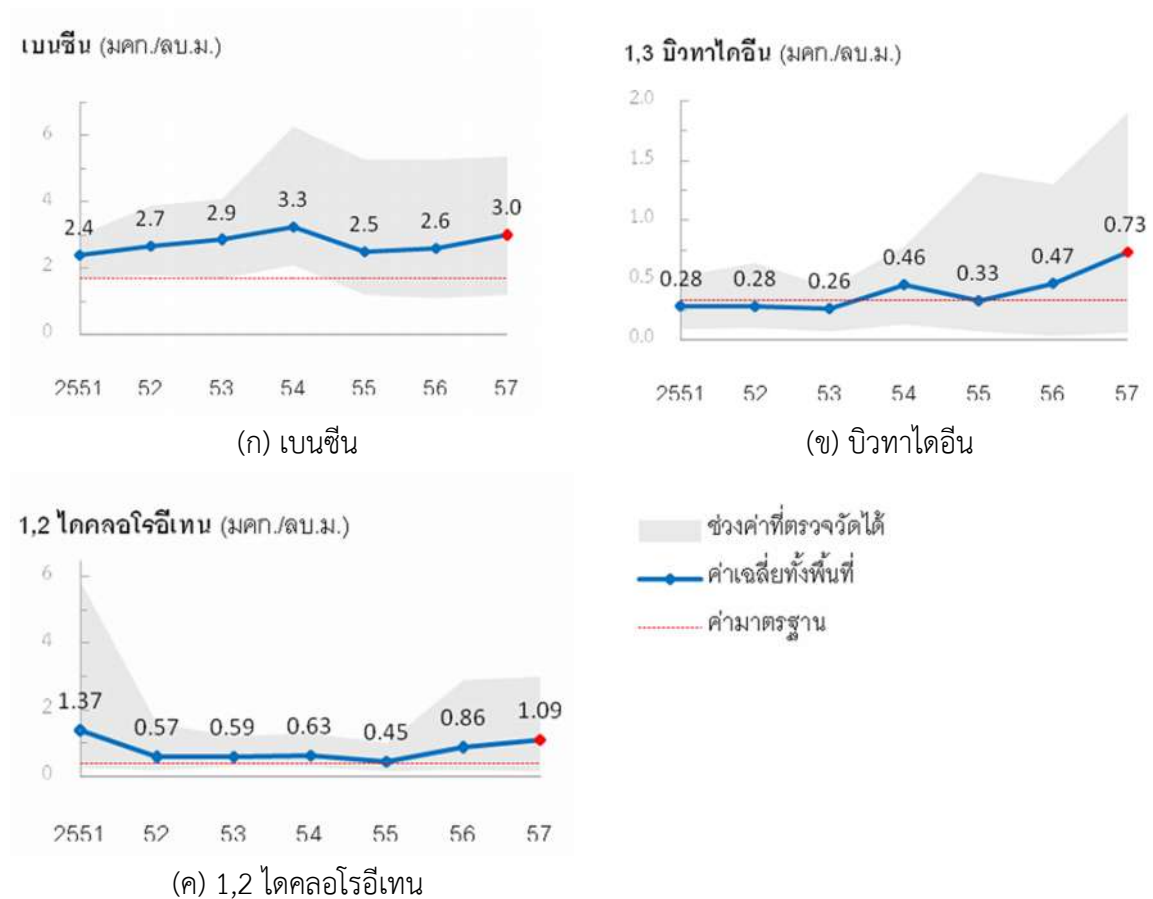
จาก (ร่าง) รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2557 (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ได้กำหนดพื้นที่วิกฤตคุณภาพอากาศของประเทศไทย ประกอบด้วย

1. พื้นที่ภาคเหนือตอนบน มีปัญหาหมอกควันในช่วงเดือนมกราคม – เมษายน
2. พื้นที่เขตควบคุมมลพิษ ได้แก่ ตำบลหน้าพระลาน จังหวัด สระบุรี (ประกาศเมื่อพ.ศ. 2547)
3. พื้นที่มาบตาพุดจังหวัดระยอง (ประกาศเมื่อพ.ศ. 2552)
4. เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (จังหวัดปทุมธานี นนทบุรี สมุทรสาคร สมุทรปราการ และนครปฐม เป็นเขตควบคุมมลพิษ ประกาศเมื่อ พ.ศ. 2538 – 2539)

เมื่อพิจารณาพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง พบปัญหาหลักคือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศ ซึ่งจากการตรวจวัดในปี 2557 พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลักๆ ดังนี้

1. สารเบนซีน พบเกินค่ามาตรฐานเกือบทุกจุดตรวจวัด ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากปีก่อนๆ แหล่งกำเนิดสำคัญ คือ ยานพาหนะ และโรงงานอุตสาหกรรม
2. สาร 1, 3 - บิวทาไดอีน พบเกินค่ามาตรฐาน บริเวณใกล้กับนิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา แหล่งกำเนิดสำคัญ คือ โรงงานอุตสาหกรรม และท่าเรือ
3. สาร 1, 2 - ไดคลอโรอีเทน พบเกินค่ามาตรฐานบริเวณใกล้เคียงนิคมอุตสาหกรรม มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แหล่งกำเนิดสำคัญ คือ โรงงานอุตสาหกรรม

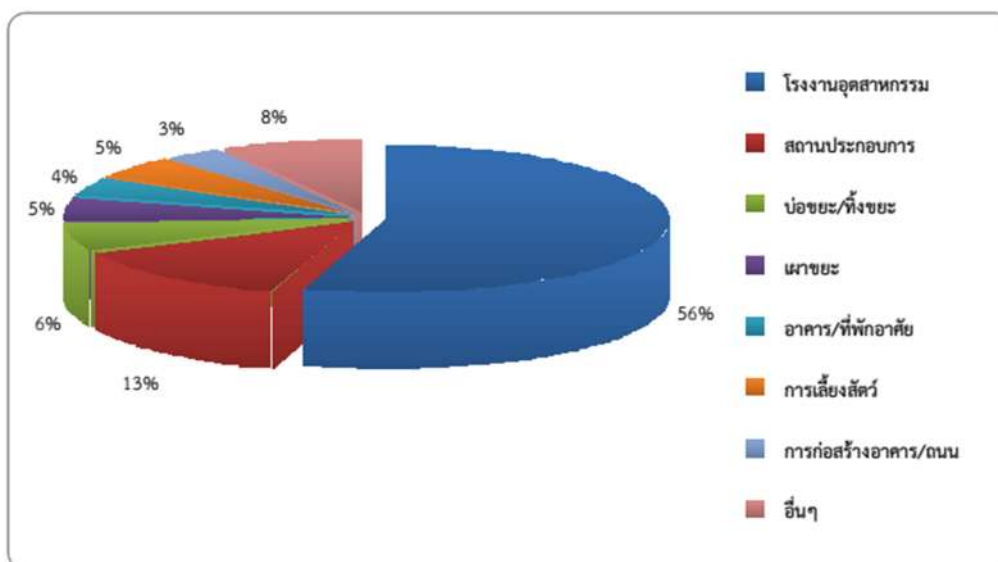
การเพิ่มขึ้นของสารมลพิษที่ตรวจพบ แสดงดังกราฟในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ปี 2551 – 2557

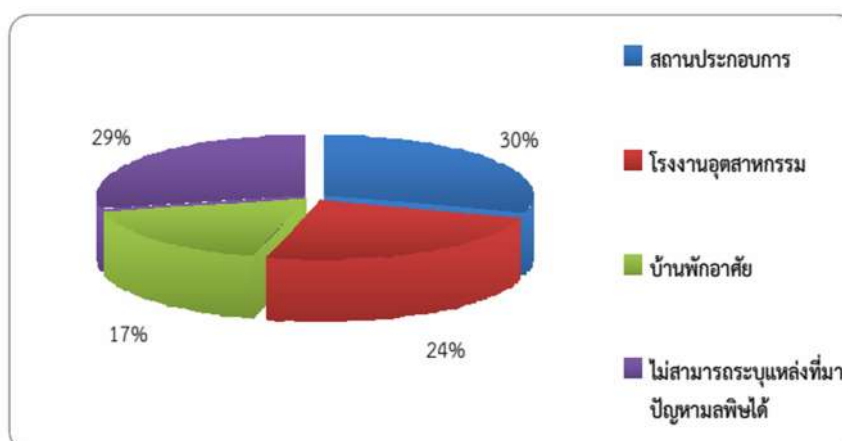
การร้องเรียนปัญหามลพิษของประชาชน

สิ่งที่สะท้อนปัญหามลพิษได้ดีอย่างหนึ่งก็คือ การร้องเรียนปัญหามลพิษจากผู้ที่ได้รับผลกระทบ ซึ่งเป็นประชาชนในพื้นที่ ซึ่งอาศัยอยู่ก่อนที่จะมีเขตอุตสาหกรรมหรือโยกย้ายถิ่นฐานมาอยู่อาศัยเพื่อทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม ในประเทศไทย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้มีการเปิดตัว ปณ. 8 ปณฝ. กระทรวงการคลัง 10411 เพื่อให้ประชาชนส่งเรื่องร้องเรียน พบว่าในปี 2557 มีการร้องเรียนผลกระทบจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นลำดับที่ 1 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แหล่งที่มาของปัญหามลพิษที่ได้รับการร้องเรียนของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2557

เมื่อพิจารณาแหล่งที่มาของปัญหาความเดือดร้อนที่มีการร้องเรียนโดยภาพรวมในปี พ.ศ. 2557 พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากสถานประกอบการร้อยละ 30 ไม่ทราบแหล่งที่มาร้อยละ 29 โรงงานอุตสาหกรรมร้อยละ 24 และบ้านพักอาศัยร้อยละ 17



รูปที่ 5 แหล่งที่มาของปัญหามลพิษที่มีการร้องเรียนโดยภาพรวม ปี 2557

แบบจำลองคุณภาพอากาศ

แบบจำลองคุณภาพอากาศ (Air Quality Model) มีบทบาทสำคัญในด้านวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม สำหรับการบริหารคุณภาพอากาศ (Nguyen, 2014) แบบจำลองคุณภาพอากาศใช้อธิบายภาพรวมของคุณภาพอากาศได้ทั้งระบบ ซึ่งต่างจากการวัดคุณภาพอากาศ (Air Quality Monitoring) ซึ่งทำได้เพียงการวัดความเข้มข้นในบรรยากาศ (concentration) และการสะสม (deposition) ของสารมลภาวะ ในสถานที่และเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น ไม่สามารถรายงานภาพรวมของคุณภาพอากาศ หรือสืบเสาะไปถึงต้นตอของแหล่งที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศได้

แบบจำลองคุณภาพอากาศสามารถวิเคราะห์ต้นเหตุ เริ่มจากการปล่อยมลพิษ (emissions), สภาพทางอุตุนิยมวิทยา (meteorology), ความหนาแน่นบรรยากาศ (atmospheric concentrations), การสะสม (deposition) และอื่นๆ สามารถให้ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ปัญหา โดยการวิเคราะห์ย้อนไปในอดีต หรือพยากรณ์ไปในอนาคตได้

ในปัจจุบัน แบบจำลองคุณภาพอากาศถูกสร้างขึ้นมาเป็นโปรแกรมประยุกต์มากมาย แต่โดยรวมแล้วมีโมเดลอากาศหลักๆ 3 ชนิดได้แก่

1. **แบบจำลองการกระจายตัว (dispersion model)** ใช้เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของมลภาวะทางอากาศ ที่ระดับพื้นดิน รอบๆ แหล่งปล่อยมลพิษนั้น
2. **แบบจำลองโฟโตเคมี (photochemical model)** ใช้เพื่อจำลองผลกระทบจากทุกแหล่งกำเนิดมลพิษ เพื่อบอกความเข้มข้นและการสะสมของมลพิษ ในจุดที่ต้องการทราบ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งมลภาวะที่ inert และ chemically reactive สามารถทำได้ในสเกลขนาดใหญ่
3. **แบบจำลองผู้รับ (receptor model)** ใช้เทคนิคในการตรวจวัด หรือสังเกต ที่ตำแหน่งรับ อาจใช้ความรู้ทางด้านเคมีและฟิสิกส์ เพื่อประเมินร่วมกันทั้งทางแหล่งกำเนิดและจุดรับมลภาวะ

แบบจำลองการกระจายตัว (Dispersion models)

แบบจำลองชนิดนี้ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยข้อมูล emission และ meteorology เพื่อพยากรณ์ค่าความเข้มข้นที่จะพบที่จุดรับตามทิศทางลม โดยมีความละเอียดในการคำนวณ 2 ระดับ คือ การประมาณค่า โดยอาศัยเงื่อนไขจาก สภาพอากาศเลวร้ายที่สุด เรียกว่า screening technique ใช้ในกรณีที่ ไม่ต้องใส่ค่าอินพุตอย่างละเอียด แต่ถ้า screening model ให้ค่า concentration สูงเกินมาตรฐานที่กำหนด หรือต้องการความละเอียดเพิ่มขึ้น ก็จะคำนวณในระดับที่มีความละเอียดสูงกว่า ใช้การคำนวณทางฟิสิกส์และเคมี ของกระบวนการทางบรรยากาศที่ซับซ้อนมากขึ้น ต้องป้อนอินพุตมากขึ้นและรายละเอียดเยอะขึ้น

ข้อมูลแหล่งกำเนิด (Source Data) สามารถจำแนกได้ดังนี้

- **แหล่งกำเนิดแบบจุด (point sources)** เป็นแหล่งกำเนิดที่พิจารณาว่าเป็นจุดเล็กๆ เมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่ทั้งหมดที่พิจารณา ขนาดของ point source เปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดของพื้นที่

- แหล่งกำเนิดแบบเส้น (line sources) ส่วนใหญ่เป็นถนน ที่มีการเคลื่อนที่ของพาหนะ หรืออาจเป็นแนวของ roof vents หรือ stack ที่วางเรียงเป็นแนว
- แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ หรือปริมาตร (area/volume sources) เป็นการปล่อยมลภาวะ ที่ไม่สามารถพิจารณาว่าเป็นจุดหรือเป็นเส้นได้ เช่นการรั่วไหลตามข้อต่อที่กระจายกระจายในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ในบางกรณี area source อาจมีขนาดใหญ่ อาจกินพื้นที่ครอบคลุมทั้ง grid ที่ใช้คำนวณ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data) สามารถแบ่งได้เป็นเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเชิงพื้นที่ (spatial representativeness) มีปัจจัยสำคัญคือ

- (1) ระยะห่างจากสถานี meteorological ไปยังพื้นที่พิจารณา
- (2) ความซับซ้อนของ terrain
- (3) การเข้าถึงข้อมูล meteorology
- (4) ระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูลทาง meteorology

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเชิงเวลา (temporal representativeness) ต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- (1) การเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศปีต่อปี
- (2) ต้องมีข้อมูลมากพอที่จะหา worst case ทางอุตุนิยม ที่ส่งผลต่อการทำงานของโมเดล

การใช้งานแบบจำลองการกระจายตัว

- แบบจำลองการกระจายตัวใช้เพื่อประเมิน concentration ของจุดรับผลกระทบ การเลือกโมเดลขึ้นอยู่กับ ขนาดพื้นที่ ตั้งแต่ local จนถึง regional นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ particle dispersion และ aerosol dynamics
- แบบจำลองการกระจายตัวที่นิยมใช้ได้แก่ โมเดลแบบ Box, Gaussian Plume, Lagrangian, Eulerian, Computational Fluid Dynamics และ Gaussian Puff
- แบบจำลองการกระจายตัวรองรับ emission sources ทั้งแบบ line, point และ area
- แบบจำลองการกระจายตัวรองรับ scales ตั้งแต่ local ถึง regional
- กระบวนการคำนวณที่รองรับในแบบจำลองการกระจายตัว ได้แก่ ช่องถนน (street canyon), ผลกระทบจากสิ่งปลูกสร้าง (building wake effects), ภูมิประเทศ (topography), ทางแยก (intersections), การลอยขึ้นของ plume (plume rise), กระบวนการทางเคมี (chemistry)

แบบจำลองโฟโตเคมี (Photochemical models)

แบบจำลองโฟโตเคมีนี้นิยม ใช้เป็น regulatory analysis และ attainment demonstrations

- ทำงานโดยการจำลอง การเปลี่ยนแปลงของ pollutant concentrations ในบรรยากาศ โดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ตามหลักฟิสิกส์และเคมี ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ

- Scales ที่รองรับ ได้แก่ local, regional, national และ global
- รูปแบบของโมเดลประกอบด้วย
 - Lagrangian และ Eulerian reference frames, single box models ซึ่งรูปแบบเหล่านี้จะ
ไม่มีความสามารถในการคำนวณการแพร่ในแนวดิ่ง
 - multidimensional grid-based air quality models จะมีประสิทธิภาพมากกว่า สามารถ
คำนวณในแนวดิ่ง ทำให้สามารถใช้งานแบบ 3 มิติได้
- กระบวนการคำนวณที่เกี่ยวข้องในแบบจำลองชนิดนี้ ได้แก่ กระบวนการทางเคมี (chemistry) การ
แพร่ (diffusion) การพา (advection) การตกตะกอน (sedimentation สำหรับ particles), การ
สะสม (deposition) ทั้งแบบ wet และ dry

ข้อมูลที่ต้องป้อนให้โมเดลโฟโตเคมี

1 ข้อมูลการปล่อย (Emission Data)

ข้อมูลการปล่อยประกอบด้วยข้อมูลปริมาณการปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศหรือแหล่งกักเก็บสารตั้ง
ต้นที่อาจทำให้เกิดมลพิษในอากาศ ประกอบด้วยสารจำพวก VOC ได้แก่ CO, NO, NO₂, SO₂ รวมทั้ง
primary VOCs แบบต่างๆ จำพวก PM ได้แก่ SO₃, NH₃, PM_{2.5} และ PM₁₀ นอกจากนี้ยังสามารถได้มา
จากการคำนวณโดยโปรแกรมจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง (inventory preparation programs) เช่น

- Flexible Regional Emissions Data System (FREDS)
- Emissions Modeling System-1995 (EMS-95)
- emission preprocessor system (EPS)
- Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) Modeling

2. ข้อมูลอุตุนิยม (Meteorological Data)

ข้อมูลอุตุนิยมถือเป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อแบบจำลอง เนื่องจากต้องใช้ในกระบวนการขนส่งและเปลี่ยน
รูปของมลพิษ โดยข้อมูลอุตุนิยมที่จำเป็นได้แก่

- ข้อมูลรายชั่วโมงของลม ทั้ง vertically และ horizontally resolved
- ข้อมูลรายชั่วโมงของ temperature, humidity, mixing depth และ solar insolation fields
นอกจากนี้ยังมีข้อมูลอุตุนิยมที่เป็นส่วนเสริมได้แก่
- สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวดิ่ง (vertical diffusivities)
- ลักษณะเมฆ (cloud characteristics) โดยพิจารณารวมถึง ปริมาณน้ำที่เป็นของเหลว (liquid
water content), ขนาดหยด (droplet size), ขนาดเมฆ (cloud size) เป็นต้น
- ปริมาณน้ำฝน (rain fall)
- ภูมิประเทศ (topography)
- ความเข้มข้นในบรรยากาศ (atmospheric concentrations)

- โครงสร้างกริดที่ใช้ (grid structure)

กระบวนการในการคำนวณของแบบจำลอง (Process Descriptions)

แบบจำลองโฟโตเคมี เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อน เนื่องจากต้องการเลียนแบบปรากฏการณ์ต่างๆ ให้ใกล้เคียงปรากฏการณ์ในบรรยากาศมากที่สุด โดยมีกระบวนการต่างๆ ที่นำมาผนวกเข้าเป็นแบบจำลอง ดังนี้

1. การขนส่งแบบ turbulent และการกระจาย (Diffusion)

ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลักๆ คือการเคลื่อนที่โดยการพัดพา (Advection) และการแพร่ (Diffusion) ของมลภาวะ โดยในการพัดพา (Advection) นั้นมลภาวะจะถูกพัดพาไปตามเส้นทางลม โดยมีความสัมพันธ์เชิงสถานที่และเวลา ตามขนาดพื้นที่ของโมเดลที่ใช้ โดยทั่วไป จะใช้ค่าเฉลี่ยลมรายชั่วโมงหรือละเอียดกว่านั้น ส่วนการแพร่ (Diffusion) เป็นการขนส่งมลภาวะที่เกิดจาก turbulence

2. กระบวนการกำจัด (Removal Processes)

กระบวนการกำจัด มี 2 แบบคือ แบบแห้ง (Dry deposition) และแบบเปียก (Wet deposition)

- Dry deposition มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความเร็วการสะสม (deposition velocity), เงื่อนไขขอบเขตระดับพื้นดิน (ground level boundary condition), ด้านทานอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic resistance), ความปั่นป่วนในบรรยากาศ (atmospheric turbulence), ความต้านทานพื้นผิว (หรือหลังคา) (surface (or canopy) resistance)
 - Wet deposition รวมทั้ง ฝน (rain), หมอก (fog), และ เมฆ (cloud)
 - เมฆ ทำหน้าที่กำจัดมลพิษจากอากาศ
 - ฝน หมอกและละอองเมฆ ทำหน้าที่ ดูดซับก๊าซ จัปอนุภาค แรงความเร็วปฏิกิริยาเคมี
- Cloud dynamics มีความสำคัญต่อโมเดลในระ regional โดยมีฝนเป็นตัวหลักที่ช่วยกำจัดโอโซนหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดโอโซน

อย่างไรก็ตาม Meteorological models ก็ยังไม่สามารถอธิบายกระบวนการต่างๆ ที่เกิดจากเมฆหรือหมอกได้โดยสมบูรณ์ โดยเฉพาะการพยากรณ์ฝนตก ที่ไม่สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ

3. จลนพลศาสตร์เคมี (Chemical Kinetics)

จลนพลศาสตร์เคมีว่าด้วยการเปลี่ยนรูปของมลภาวะในบรรยากาศโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งกันและกันระหว่างอนุภาคในขณะที่เดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังผู้รับ

- เคมีบรรยากาศ (atmospheric chemistry)

ในบรรยากาศมีสารประกอบเคมีนับพันชนิด ทำให้เกิดปฏิกิริยานับไม่ถ้วน การคำนวณด้วยโมเดลที่ซับซ้อนที่สุดเพื่อให้เหมือนปรากฏการณ์จริง ก็แทบจะเป็นไปไม่ได้ จึงนิยมคำนวณใน single cell model โดยปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ เคมีก๊าซเฟสเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous gas-phase chemistry), คุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน (heterogeneous chemistry), สะสมของกรด (acid deposition), การขนส่งของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (transport of hydrogen peroxide), การขนส่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

และไอโซนในหยดน้ำ (sulfur dioxide and ozone transport to the droplets), ผลจากออกซิเดชันของกำมะถัน (resulting sulfur oxidation), กระบวนการ photolysis ซึ่งประกอบด้วย มุมส่ายของพลังงานแสงอาทิตย์ (solar zenith angle) ความยาวคลื่น (Wave length), การเปลี่ยนแปลงในระดับความสูง, (changes in altitude) หมอกควัน (haze) และเมฆ

4. Particulate Matter Modeling

แบบจำลองละอองอนุภาค เป็นแบบจำลองที่อธิบายการรวมตัวทางเคมีของละออง ทำให้เกิดการควบแน่น (condensation) และ การแข็งตัว (coagulation) ของอนุภาค และมีอาจกระบวนการอื่นๆ (ที่มีความสำคัญน้อยกว่า) เกิดขึ้นร่วมด้วย ได้แก่ การตกตะกอน (sedimentation) และ nucleation

แบบจำลองผู้รับ (Receptor models)

แบบจำลองผู้รับ ใช้วิธีการที่สวนทางกับแบบจำลองทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น แบบจำลองชนิดนี้ ไม่ต้องรู้รายละเอียดของแหล่งกำเนิดมากเท่าสองชนิดแรก แบบจำลองนี้จะวัดหรือเก็บตัวอย่างของสารเคมีที่กระทบผู้รับ จากนั้นจะศึกษาคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) เพื่อสืบเสาะไปยังต้นตอของสารมลพิษนั้น

กระบวนการของแบบจำลองผู้รับ

หลักการของแบบจำลองผู้รับจะมีกระบวนการขั้นตอนหลักๆ ดังต่อไปนี้

(1) การกำหนดรูปแบบความคิด (Formulate conceptual model) เป็นการตั้งสมมติฐานเพื่อที่จะทำไปสู่การค้นหาแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ พื้นที่ที่น่าจะเป็นแหล่งกำเนิด การขนส่งจากแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ ช่วงเวลาในการปล่อยมลภาวะในแต่ละวัน และสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการปล่อย การขนส่ง การแพร่กระจาย การเปลี่ยนรูป และความเข้มข้นที่มาถึงผู้รับ ในตอนเริ่มต้นนี้ ไม่จำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงมากนัก โดยอาจจะตั้งสมมติฐานจากการศึกษาในพื้นที่ที่มีลักษณะผลกระทบใกล้เคียงกัน ทั้งในแง่ของสารมลพิษและสภาพอุตุนิยม เช่น

- แหล่งกำเนิดที่เป็นรถยนต์ มักจะทำให้เกิดอนุภาคละออง และเกิดสารมลพิษในช่วงการจราจรแออัดตามแนวถนน ซึ่งกรอบแนวคิดอาจตั้งไว้ว่าการวัดฝุ่นละอองหรือปริมาณก๊าซไอเสีย ช่วงก่อนและหลังชั่วโมงเร่งด่วน
- ถ้ามลพิษต้องสงสัยเป็นอนุภาคซัลเฟต ซึ่งมักจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีในสเกลระดับภูมิภาค ก็อาจจะต้องตั้งสถานีวิจัยที่ต้นลมและท้ายลม แล้วศึกษาความเข้มข้นในช่วงฤดูแล้งเทียบกับฤดูฝน เป็นต้น
- การสัมผัสส่วนบุคคลส่วนใหญ่มาจากควันบุหรี่ การประเมินแหล่งที่มา ก็อาจทำได้โดยการติดตั้งเครื่องวัดสารนิโคตินกับคนที่ผ่านพื้นที่ที่มีการสูบบุหรี่และไม่สูบบุหรี่

- หากสงสัยว่ามลภาวะเกิดจากลมพัดฝุ่นจากแหล่งที่มีความเข้มข้นของอนุภาคเข้ามาในเมือง ก็มีแนวทางการศึกษาโดยการวัดองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค ในช่วงที่มีลมพัดและไม่มีลมพัด แล้วหาค่าความสัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วลม โดยทั่วไปจะเก็บตัวอย่างเป็นช่วงสั้นๆ (< 5 นาที) แต่เก็บอย่างต่อเนื่อง

(2) **เชื่อมโยงเข้ากับแหล่งปล่อยมลภาวะ (Compile emissions inventory)** ในแบบจำลองผู้รับ มีความจำเป็นที่ต้องเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะที่ผู้รับเข้ากับแหล่งกำเนิด ซึ่งในบางครั้งก็จำเป็นต้องตัดแหล่งกำเนิดที่ไม่สำคัญทิ้งไปบ้าง เช่นควันไอเสียรถยนต์นอกชั่วโมงเร่งด่วน เนื่องจากในสภาพแวดล้อมจะมีการเจือจางมลภาวะโดยบรรยากาศ แหล่งกำเนิดที่ควรนำมาพิจารณาได้แก่

- การเผาไหม้ของพืชและการปรุงอาหาร
- ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล
- ไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซิน
- ฝุ่น (Fugitive dust) จากถนน ทั้งที่ลาดยางและไม่ลาดยาง จากการทำเกษตรกรรม
- การถลุงโลหะชนิดต่างๆ
- แหล่งกำเนิดแบบผสม อาจเป็นเครื่องผสมปูนซีเมนต์ การทำเหมืองแร่ ต่างๆ

(3) **Characterize source emissions** การทราบข้อมูลทางเคมีและฟิสิกส์ของสารที่แหล่งกำเนิด จะช่วยให้สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดได้ง่ายขึ้น โดยอาจจะวัดที่ระดับความเหมือนของสารมลพิษที่ผู้รับกับแหล่งกำเนิด การหาคุณลักษณะของสารมลภาวะที่แหล่งกำเนิด อาจทำได้โดยวิธีการต่อไปนี้

- การสุ่มตัวอย่างไอเสียร้อน
- การสุ่มตัวอย่างไอเสียที่ dilution แล้ว
- การเก็บตัวอย่างอากาศ
- การสุ่มตัวอย่างภาคพื้นดิน
- การตรวจทางห้องปฏิบัติการ

(4) **วิเคราะห์ตัวอย่างในบรรยากาศ** ของ mass, element, ion , carbon และ ส่วนประกอบอื่นๆ จากแหล่งกำเนิด ไม่ว่าจะเป็น ไอออน (คลอไรด์, ไนเตรต, ซัลเฟต, แอมโมเนียม, โซเดียมที่ละลายน้ำ, โพตัสเซียมที่ละลายน้ำ) ออร์แกนิกคาร์บอน (OC) ธาตุคาร์บอน (EC) เหล่านี้ ล้วนสามารถนำมาวิเคราะห์ได้โดยอาศัยกระบวนการต่างๆ เช่น

- Analyze archived filter samples
- Planned compliance sampling
- Collocated filter sampling
- Collocated continuous monitor sampling

- Sequential filter sampling
- Saturation sampling
- Denuder and absorbant sampling

(5) ยืนยันชนิดของแหล่งกำเนิด โดย **multivariate model** ถ้ามีข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีจำนวนมากพอ ก็อาจนำมาวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบหลัก เช่น PCA หรือ multivariate analysis แบบต่างๆ เพื่อหาชนิดและรูปแบบ (profile) ของสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด และอาจใช้วิธีการเพิ่มเติมเช่น

- Time series plots โดยการพล็อตกราฟเชิงเวลาเทียบกับระหว่างจุดรับต่างๆ โดยทั่วไป มลพิษจากแหล่งเดียวกันมักจะให้กราฟเชิงเวลาที่คล้ายกันในขณะที่เคลื่อนผ่านจุดรับต่างๆ วิธีการนี้มักใช้ได้ผลดีในการเก็บตัวอย่างระยะสั้นๆ แต่ทำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจจับช่วงที่มีมลพิษสูงในช่วงวันหรือช่วงฤดูกาลต่างๆ ได้
- Diurnal plots เมื่อเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลานานเพียงพอ ก็อาจจะวิเคราะห์ช่วงเวลาที่แตกต่างกันในแต่ละวัน เพื่อหารูปแบบที่อาจสอดคล้องกับสภาพทางอุตุนิยมหรือการปล่อยมลภาวะจากแหล่งกำเนิด การพล็อตกราฟแบบนี้ มักจะพบว่าความเข้มข้นมลพิษจะสูงขึ้นในช่วงเช้าหรือช่วงหัวรุ่งตอนเช้า หรืออาจจะพบว่าการจราจรในช่วงเย็นๆ ของฤดู summer จะไม่ส่งผลให้เกิดความเข้มข้นมลภาวะสูง ซึ่งเกิดจาก mixing layer ที่สูงขึ้น
- Pollution roses การพล็อต pollution rose จากงานวิจัยของ Watson และ Chow แสดงให้เห็นถึงค่าสหสัมพันธ์ที่สูงระหว่างทิศทางไปยังแหล่งนอกกับทิศทางของลม โดยทั่วไป ลมจะเปลี่ยนทิศทางไปในแต่ละวัน ดังนั้นการวิเคราะห์แบบนี้ต้องอาศัยข้อมูลนานเป็นรายวัน
- Time series correlation ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถคำนวณได้จาก time series concentration ของ สารเคมีต่างๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันหรือไม่ ในบางกรณี ค่าสหสัมพันธ์สูงๆ อาจแปลความได้ว่ามีแหล่งกำเนิดอยู่บริเวณเดียวกัน
- Spatial correlation ค่าสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ขององค์ประกอบทางเคมีที่สูง แสดงว่ามีผลจากมลภาวะระดับ urban หรือ regional ส่วนค่า correlation ต่ำๆ จะหมายถึงสารเหล่านั้นมีแหล่งกำเนิดอยู่ไกลๆ
- Eigenvector analysis การวิเคราะห์ time series หรือ spatial eigenvector ในรูป PCA หรือ factor analysis แบบอื่นๆ จะช่วยให้แยกแยะ sample จำนวนน้อยๆ ซึ่งอาจจะมีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิด ดังนั้นเมื่อได้ profile ของ source มาแล้วควรนำมาวิเคราะห์ด้วย eigenvector analysis ด้วย

(6) หาปริมาณการปล่อยของแหล่งกำเนิด (Quantify source contribution) เมื่อได้ source profile มาแล้ว ก็ต้องประเมินปริมาณการปล่อยจาก source นั้น ซึ่งอาจทำได้โดยใช้ chemical mass balance

(CMB) โปรแกรม CMB รุ่นใหม่ๆ จะร้องขอให้ป้อนข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ standard error ของการปล่อยจาก source

(7) ประเมินการเปลี่ยนแปลงโดยการจำกัดสารตั้งต้น (Estimate profile changes and limiting precursors) คุณสมบัติของสารอาจเปลี่ยนไปในขณะขนส่งไปยังผู้รับ โดยทั่วไปมักอยู่ในรูปของ sulfur dioxide และ oxide ของ Nitrogen ไปเป็นอนุภาค sulfate และ nitrate ซึ่งสามารถจำลองปฏิกิริยาเหล่านี้ด้วย aerosol evolution models นอกจากนี้ ammonium sulfate และ ammonium nitrate ที่ประกอบด้วย ammonia จากแหล่งกำเนิดที่ไม่ถูกไหม้ อาจจะสามารถจำลองได้ แบบจำลอง chemical equilibrium receptor จะช่วยหาสารตั้งต้นที่ต้องลดทอนลงเพื่อให้สอดคล้องกับระดับ nitrate ที่วัดได้

(8) ประเมินร่วมกับข้อมูลแหล่งกำเนิดหรือโมเดลอื่นๆ (Reconcile source contributions with other data analyses and source models) เนื่องจากไม่มีแบบจำลองใด (ไม่ว่าจะเป็น source หรือ receptor) ที่จะให้ผลลัพธ์ได้เพียงตรงตามสภาพที่เกิดขึ้นจริงในบรรยากาศ แบบจำลองผู้รับจะต้องออกแบบให้ใช้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากแหล่งกำเนิดมาพร้อมด้วย เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น

โปรแกรมประยุกต์สำหรับแบบจำลองผู้รับที่ใช้ในปัจจุบัน (Recent developments in receptor modeling)

แบบจำลองผู้รับที่มีใช้ในปัจจุบัน แบ่งได้เป็นชนิดที่รู้ข้อมูลแหล่งกำเนิดและไม่รู้ข้อมูลแหล่งกำเนิด

แบบจำลองผู้รับชนิดที่รู้ข้อมูลแหล่งกำเนิด ใช้แบบจำลอง Chemical Mass Balance โดยวิธีการวิเคราะห์แบบ effective-variance least-square approach ซึ่ง USEPA สร้างโปรแกรมคำนวณที่เรียกว่า SPECIATE นิยมใช้กับการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดจากพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์แบบ spark-ignition และ diesel

แบบจำลองผู้รับชนิดที่ไม่รู้ข้อมูลแหล่งกำเนิด จะใช้การคำนวณแบบ Factor Analysis ที่เป็น Eigenvector เช่น PCA แต่จะมีปัญหาเรื่องความแม่นยำ เนื่องจากใน PCA มีการลดขนาดข้อมูลโดยการทำ scaling ทางด้านแถวหรือหลัก ส่งผลให้เกิด distortion ในการวิเคราะห์ข้อมูล ถึงแม้จะหาวิธีการ scaling ที่เหมาะสมก็ยังไม่สามารถ reproduce ข้อมูลด้วยวิธีการ Single Value Decomposition ได้ จึงใช้วิธี Positive Matrix Factorization เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ สำหรับโปรแกรมประยุกต์ที่นิยมใช้ได้แก่ UNMIX และ PMF (Positive Matrix Factorization)

โปรแกรม UNMIX

โปรแกรม UNMIX มีลักษณะทั่วไปเป็นโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้การวิเคราะห์แบบ eigenvalue analysis โดยใช้ PCA เป็นหลัก โปรแกรมนี้ใช้เทคนิคการ transformation ที่เรียกว่า self-

modeling curve resolution (SMCR) อย่างไรก็ตาม วิธีการ SMCR ไม่สามารถหา unique solution ได้ จึงใช้งานได้แค่เพียงในพื้นที่ขนาดเล็ก

Application ของ UNMIX ในบทความที่เกี่ยวข้อง ได้นำ UNMIX ไปใช้ในหลายรูปแบบ ดังตัวอย่างพอสั่งเขปดังนี้

- การวิเคราะห์ข้อมูล PM₁₀ จาก Los Angeles ในปี 1986 (Bong Mann Kim และ Ronald C. Henry, 2000) ได้นำแบบจำลองไปทดลองใช้ประเมิน PM₁₀ ซึ่งเก็บข้อมูลโดยวิธี factors with explicit restrictions (SAFER) ใน LA เมื่อปี 1986 อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก PM₁₀ ไม่มีความละเอียดเพียงพอที่จะวิเคราะห์ จึงต้องใช้ CO และ O₃ มาร่วมด้วย เนื่องจากรู้แน่ชัดว่า CO มาจาก vehicle และ O₃ เป็น secondary source แหล่งที่มาของมลภาวะในงานวิจัยนี้ ส่วนใหญ่มาจาก vehicle, secondary และ marine การวิเคราะห์ด้วย PCA ไม่ค่อยเห็นความแตกต่าง ทั้ง spatially และ temporally เนื่องจากในพื้นที่มี multiple source และมลภาวะมาถึง receptor พร้อมๆ กัน อาจแก้ปัญหาโดยใช้ pseudo-single composite source แทน แต่ก็พบว่ามีปัญหาอีกอย่างหนึ่งคือ ฝุ่นบนถนนจะไม่สัมพันธ์กันตามเวลากับการปล่อย เนื่องจากฝุ่นละอองจะสะสมบนถนนและฟุ้งกระจายอีกครั้งเมื่อรถวิ่งผ่าน
- Data from Phoenix, AZ (Lewis, Norris, Henry, & Conner, 2003) สามารถจำแนก ได้จำแนก source profile โดย estimate ออกมาเป็น 5 พวก ได้แก่ Gas soline Engine (33+/-4%), Diesel Engine (16 +/-2%), secondary sulfate (19 +/-2%), crustal/soil (22 +/-2%), vegetative burning (10 +/-2%), การทดลองได้จำแนก vehicle เป็น diesel และ gasoline ซึ่ง Diesel ปล่อย elemental carbon มากกว่า ส่วน gasoline ปล่อย organic carbon มากกว่า นอกจากนี้พบว่าช่วงวันทำงานและวันหยุดจะมี profile ของ source ที่แตกต่างกัน

โปรแกรม PMF2 และ Application ในแบบจำลองผู้รับ

โปรแกรม PMF2 (Gary & Ram , 2009) ใช้ Positive Matrix Factorization ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาความเหมือนที่ผู้รับและแหล่งกำเนิด เพื่อแก้ปัญหาการ scaling ข้อมูลที่ทำให้เกิด distortion ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย PCA โปรแกรม PMF2 จะใช้ Multivariate analysis ที่ยืดหยุ่นกว่าเรียกว่า Multilinear Engine (ME) ดังตัวอย่างพอสั่งเขป

- การวิเคราะห์ PM₁₀ composition ในประเทศไทย (Chueinta, Hopke, & Paatero, 1999) ได้เสนอ contribution rose เทียบกับ wind rose เพื่อช่วยระบุทิศทางไปยังแหล่งกำเนิดโดยอ้างอิงจาก receptor site

เปรียบเทียบ UNMIX และ PMF2

จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง UNMIX และ PMF2 (Poirot และ Wishinski, 2001)มีข้อสรุปโดยสั่งเขปดังนี้

- UNMIX จำนวนข้อมูล : 838, Input Variables : 12 สามารถจำแนก source : 7 โดยมี Input เป็น mass ที่ผู้รับอย่างเดียวนั้น ผลลัพธ์คือสามารถ reproduce average และ daily mass จาก source ได้ใกล้เคียงทั้ง 7 sources
- PMF จำนวนข้อมูล : 853 Input Variables : 27 สามารถจำแนก sources : 11 โดยมี Input เป็น apportioned mass และ regression จาก daily mass source scores ผลลัพธ์คือสามารถ จำแนก non-mass input variables ได้ทั้ง 27 ชนิด

ในกรณีส่วนใหญ่ ที่ source profile คล้ายกัน model ทั้งสองให้ค่า correlated กันมาก ($R^2 > 0.75$) โดยที่ slope ของ daily mass จะอยู่ในช่วง 25% ของ 1:1

ในแหล่งกำเนิดที่เป็น soil พบว่าแบบจำลองทั้งสองให้ source profile ที่คล้ายกันแต่ daily correlation ไม่ค่อยดี ($R^2 = 0.73$) และ mass contribution จาก PMF รายงานว่าสูงกว่าของ UNMIX อยู่ถึง 50%

วิธีการหาเส้นทางย้อนกลับ (Methods incorporating back trajectory)

การระบุตำแหน่งที่มาของมลภาวะที่ใช้ในแบบจำลองผู้รับนั้น มีการรายงานอยู่ 5 วิธี (Hopke, 2003) ได้แก่ วิธีการ Areas of Influence Analysis (AIA), Quantitative Bias Trajectory Analysis (QBTA), Resident Time Weighted Concentration (RTWC), Resident time analysis (RTA), Potential Source Contribution Function (PSCF) โดยสองวิธีหลังเท่านั้นที่มีการใช้งานกันมาก

วิธี Resident time analysis (RTA)

การหาทางเดินย้อนกลับด้วยวิธี RTA ได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็น grid Array รอบๆ sampling location โดย trajectories ที่หาออกมาได้ จะประกอบด้วยลำดับของ segments ที่ต่อเนื่องกัน แต่ละ segment จะแทนระยะเวลาที่คงที่ แต่ละ endpoint ในกริดจะพิจารณาเป็นเวลาของ air parcel ที่เดินทางใน grid cell ดังนั้น residence time ที่ลมใช้ไปในการเดินทางระหว่าง grid cell จะเท่ากับ จำนวน endpoint ทั้งหมด เราสามารถเอาค่าเหล่านี้ไป plot บน map ได้ สามารถนำเอา residence time values (ที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น) มาวาดเพื่อหาทิศทางของอากาศ (ที่ปนเปื้อนหรือสะอาด) จาก ทิศทางต่างๆ ที่พัดมายัง sampling site ได้

วิธีการนี้มีปัญหาเนื่องจาก Trajectory จะถูกพิจารณาเริ่มจากตำแหน่งของ receptor site แล้ว คำนวณย้อนกลับไปในทิศทางต่างๆ ซึ่งพบว่า residence time จะมีค่าสูงที่รอบๆ receptor site เท่านั้น เมื่อนำไปพล็อตแผนที่จะได้ค่าสูงสุดที่รอบๆ sampling location ซึ่งมีงานวิจัยเสนอทางแก้ไขเป็น 2 แนวทางคือ ใช้วิธี potential source contribution function analysis และ interpolated ตาม trajectory (Ashbaugh, Malm, & Willy, 1985) เพื่อประมาณค่า fraction ของเวลาที่ใช้ในแต่ละ grid cell จากนั้นจึงรวมกันเข้าเป็นเวลา residence time ของ grid cell พบว่าช่วยแก้ปัญหาทาง geometric ได้

วิธี Potential Source Contribution Function (PSCF)

แนวคิด

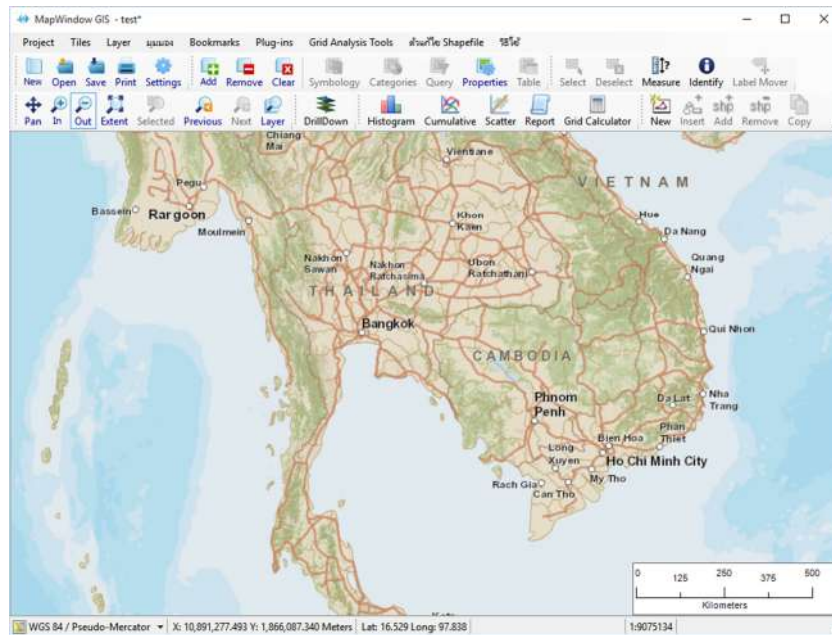
ปลายทางของ air parcel back trajectory ที่ผู้รับจะถูกกำหนดเป็น segment endpoints โดยแต่ละ endpoint จะมี latitude และ longitude เพื่อแทนจุดกลางของ air parcel ที่เวลาใดๆ การคำนวณ PSCF จะแบ่งพื้นที่ออกเป็นกริดเซลล์ ครอบคลุม trajectory ที่ถูกแบ่งออกเป็น grid cell โดยขนาดของกริดขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่

ถึงแม้ว่า จากการคำนวณโดยวิธีนี้ จะได้ปลายทางที่ไม่แน่นอน (มีผลการคำนวณย้อนกลับออกมาได้หลายเส้นทาง) แต่เมื่อมีจำนวนของปลายทางมากพอ ก็จะยืนยันตำแหน่งของ source โดยมีเงื่อนไขว่า จากการคำนวณจะได้ error เป็นแบบ random และไม่เป็น systematic การคาดการณ์ cell ที่จะเป็นแหล่งกำเนิดอาศัยค่าทางสถิติที่เข้าใกล้ 1 เมื่อเส้นทางที่คำนวณพาดผ่าน cell นั้นและต้องมี contaminate ที่วัดได้ที่ receptor ในระดับที่เหมาะสมด้วย โมเดล PSCF อาศัยการคำนวณทางแผนที่ โดยไม่ได้นำข้อมูลโดยละเอียดจากแหล่งกำเนิดมาร่วมด้วย

โปรแกรมช่วยสร้างแผนที่ภูมิอากาศและวาดแผนที่ด้วยข้อมูลจากแบบจำลอง

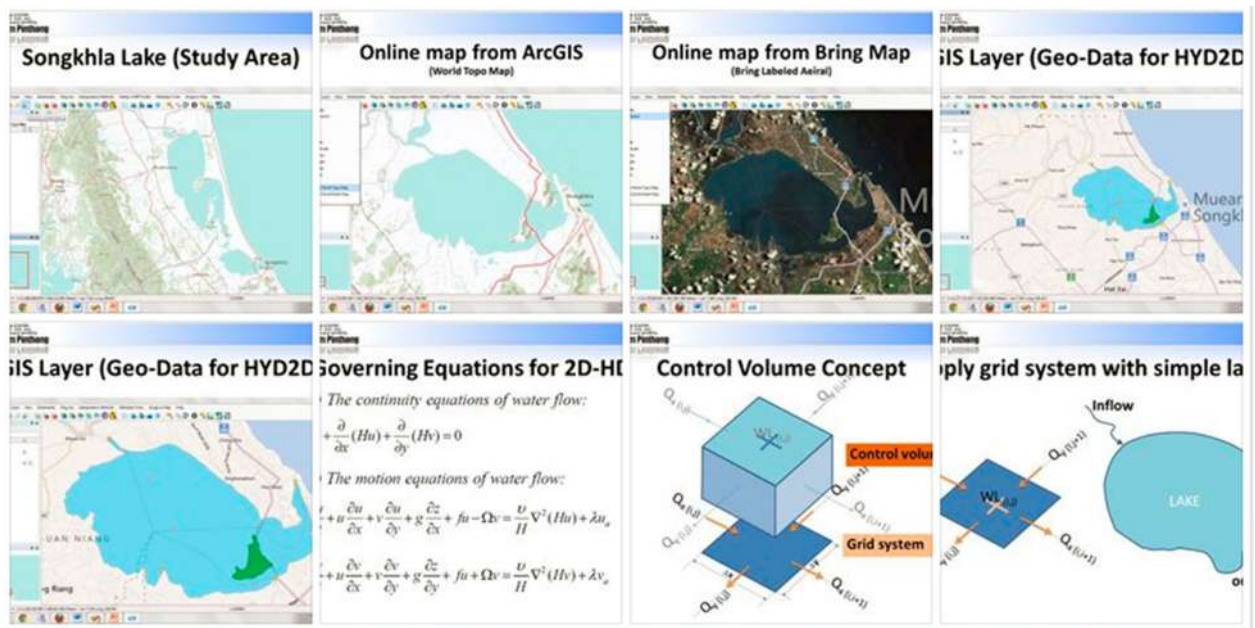
โปรแกรมคำนวณและแสดงแผนที่เกี่ยวกับอุตุนิยมวิทยานิยมใช้ในปัจจุบัน มีหลายโปรแกรมด้วยกัน เช่น ArcGIS, GRASS, GrADS (Matuschek และ Matzarakis, 2011) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ซับซ้อน สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (ArcGIS, และ GRASS) หรือลินุกซ์ (GRASS และ GrADS) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาป้อนให้โมเดลเหล่านี้อาจอยู่ในรูปแบบของ tab-delimited text หรือ comma separated values (CSV) โดยแต่ละบรรทัดของข้อมูลจะประกอบด้วยพิกัดทางภูมิศาสตร์รวมทั้งข้อมูลที่สนใจ เช่น air temperature และ water vapour pressure เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โปรแกรมเหล่านี้เป็นโปรแกรมที่จำหน่ายในราคาสูง องค์กรต่างๆ หรือสถาบันการศึกษาไม่มีงบประมาณเพียงพอที่จะจัดหาใช้งาน

MapWindow GIS (Ames, 2015) เป็นโปรแกรมประเภท Desktop GIS ซึ่งออกแบบมาให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถทำงานทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้อย่างสะดวก มีการพัฒนาฟังก์ชันเฉพาะในรูปแบบ plug-in สำหรับการวิเคราะห์ที่เฉพาะทางเช่น การวิเคราะห์เรื่องน้ำ (hydrology) หรือการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมประเภทรหัสเปิด (Open Source) พัฒนาโดยภาษา C# อยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของ The Mozilla Public License 1.1 ดังนั้นผู้ใช้จึงสามารถนำโปรแกรมนี้มาใช้งาน ได้โดยไม่ต้องเสียค่าซอฟต์แวร์ ซึ่งเหมาะกับหน่วยงานหรือสถาบันการศึกษาที่ต้องการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาใช้ในองค์กรแต่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณ

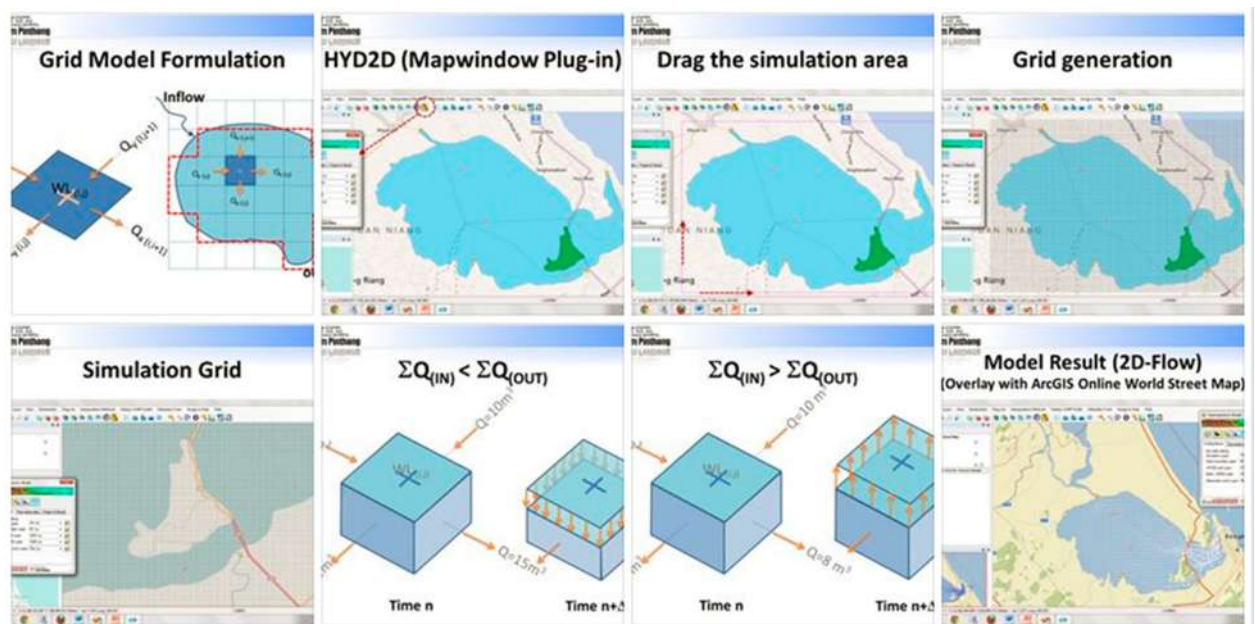


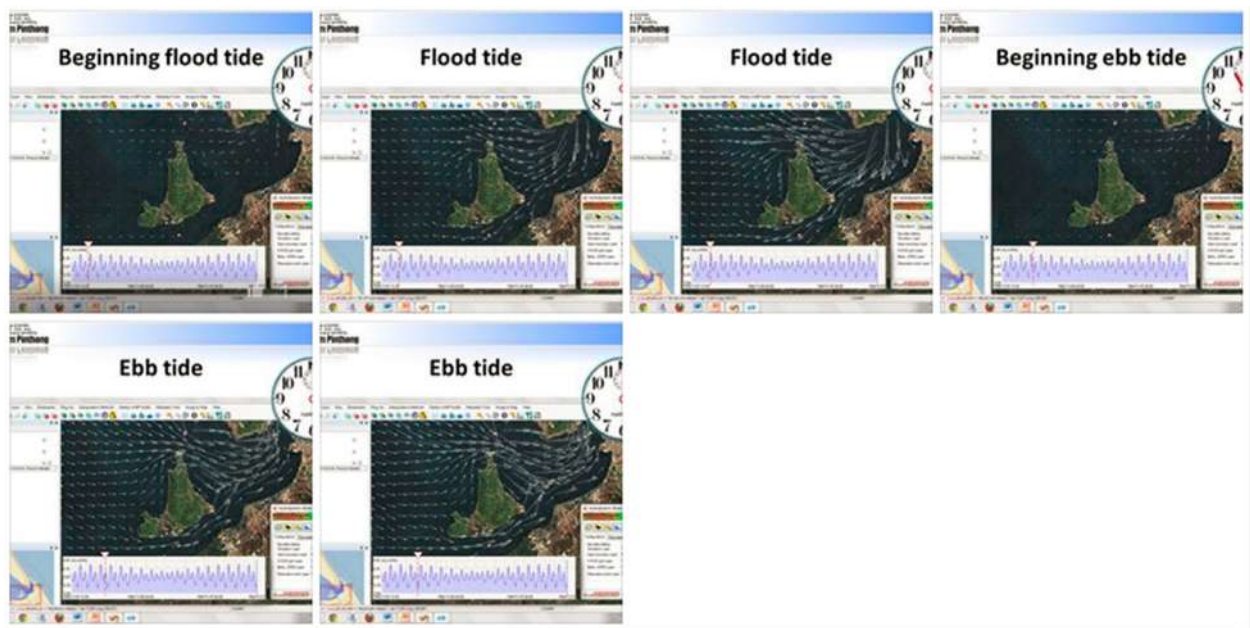
รูปที่ 6 โปรแกรม MapWindow GIS แสดงแผนที่ประเทศไทย

โปรแกรม MapWindow GIS สนับสนุนการทำงานกับข้อมูลทั้งประเภทเวกเตอร์และราสเตอร์ โดยชนิดของรูปแบบการจัดเก็บข้อมูล (format) มีค่อนข้างหลากหลายโดยเฉพาะในข้อมูลราสเตอร์ แต่ค่อนข้างจำกัดในข้อมูลเวกเตอร์เมื่อเทียบกับโปรแกรมอื่นๆ การสืบค้นข้อมูลในโปรแกรม MapWindow GIS สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือการสืบค้นด้วยฟังก์ชันเชิงพื้นที่และการสืบค้นจากข้อมูลเชิงบรรยาย การสืบค้นข้อมูลด้วยฟังก์ชันเชิงพื้นที่ โดยการป้อนค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ การสืบค้นข้อมูลเชิงบรรยาย ใช้คำสั่งภาษา SQL ในการค้นหาข้อมูลเช่นเดียวกับการค้นในฐานข้อมูลทั่วไป โปรแกรม Map Window GIS มีฟังก์ชันการทำงานที่รองรับการสร้างชั้นข้อมูลแผนที่เชิงเส้นทั้งประเภทจุด (Point), เส้น (line), โพลีกอน (Polygon) โดยที่ผู้ใช้สามารถ สร้างข้อมูลด้วยการทำ Head-Up Digitize จากหน้าจอโปรแกรมได้ทันที โปรแกรม Map Window GIS มีฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ที่หลากหลาย ครอบคลุมการทำงานทั่วไปของระบบงาน GIS โดยแบ่งประเภทของฟังก์ชันออกเป็น 3 ประเภทหลักคือ Vector, Raster และ Image



รูปที่ 7 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Map Window เพื่อวิเคราะห์โมเดลคณิตศาสตร์ของน้ำในทะเลสาบสงขลา (Pintong, 2015)





รูปที่ 7 (ต่อ) ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Map Window เพื่อวิเคราะห์โมเดลคณิตศาสตร์ของน้ำในทะเลสาบสงขลา

เอกสารอ้างอิง

- Norris Gary, และ Vedantham Ram . (April 2009). *EPA Science Inventory*. เข้าถึงได้จาก United States Environmental Protection Agency.
- Bong Mann Kim, และ Ronald C. Henry. (2000). Application of SAFER model to the Los Angeles PM10 data. *Atmospheric Environment*, 1747–1759.
- Bruce Ridell. (2015). *Ch 19 Air Pollution*. เรียกใช้เมื่อ 30 Oct 2015 จาก <http://www.napavalley.edu/people/briddell/Documents/BIO%20112/Environment%209TH%20Ed/ch19.pdf>
- CW Lewis, GA Norris, RC Henry, และ TL Conner. (2003). Source Apportionment of Phoenix PM2.5 aerosol with the UNMIX receptor model. *J. Air waste manage Assoc.*, 325-338.
- Daniel P. Ames. (2015). *MapWindow Open Source Project*. เรียกใช้เมื่อ 31 Oct 2015 จาก www.mapwindow.org: <http://www.mapwindow.org/>
- Duc Luong Nguyen. (2014). A Brief Review of Air Quality Models and Their Applications. *OPEN JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND CLIMATE CHANGE*, 60-80.
- Kasem Pintong. (2015). *2D Hydrodynamic Model (GIS Plugin)*. เรียกใช้เมื่อ 03 11 2015 จาก <https://www.facebook.com/kasemp/>: https://www.facebook.com/kasemp/media_set?set=a.494007207293728.127837.100000533605538&type=3
- Lowell, L. Ashbaugh, William, C. Malm, และ Z. Willy. (1985). A residence time probability analysis of sulfur concentrations at grand Canyon National Park. *Atmospheric Environment*, 1263-1270.
- Olaf Matuschek, และ Andreas Matzarakis. (2011). A mapping tool for climatological applications. *Meteorological Applications*, 230-237.
- Philip K. Hopke. (2003). Recent developments in receptor modeling. *Journal of Chemometric*, 255-265.
- Richard L. Poirot, และ Paul R. Wishinski. (2001). Comparative Application of Multiple Receptor Methods To Identify Aerosol Sources in Northern Vermont. *Environ. Sci. Technol.*, 4622–4636.
- Wanna Chueinta, Philip K. Hopke, และ Pentti Paatero. (1999). Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and suburban residential areas in Thailand by positive matrix factorization. *Atmospheric Environment* , 3319-3329.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ. (2558). (ร่าง) รายงานสถานการณ์มลพิษ
ของประเทศไทยปี 2557. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม.