

## บทที่ 2

### ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

#### มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ การระเบิดของภูเขาไฟ แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ ควันจากโรงงานอุตสาหกรรม ขบวนการผลิตจากกิจกรรมด้านการเกษตร การระเหยของก๊าซบางชนิดซึ่งเกิดจากขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นอันตรายต่อมนุษย์น้อยมาก เมื่อเทียบกับมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลและปริมาณที่เข้าสู่สภาพแวดล้อมของมนุษย์และสัตว์มีน้อยมาก มลพิษทางอากาศไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเท่านั้น เพียงแต่ปรากฏอยู่ในอากาศเล็กน้อยก็นับได้ว่าเป็นมลพิษทางอากาศเช่นกัน (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ธีระ เกรอต, 2540) ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน ที่มีความสัมพันธ์กัน คือ แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ อากาศหรือบรรยากาศ และผู้รับผลเสียหายหรือผลกระทบ ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในอากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารมลพิษที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิด สภาวะทางอุตุนิยมวิทยา และสภาพภูมิประเทศ (นพภาพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช, 2544)

#### ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีไอ มีกลิ่นฉุนแสบจมูก เมื่อรวมตัวกับฝุ่นละอองจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยยิ่งขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองบางชนิดทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็นกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น ละอองไอน้ำของเฟอร์รัส แมงกานีส วานาเดียม เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อปอดอย่างรุนแรง จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศในประเทศไทยสำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศเท่ากับ 300

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลา 24 ชั่วโมง และ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลา 1 ปี (นพภาพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช, 2544)

วรารุช เสือดี (2541) กล่าวว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ ไม่มีสี จะเริ่มได้กลิ่นเมื่อมีความเข้มข้นระดับ 0.3 ถึง 1 ppm และจะมีกลิ่นฉุน แสบจมูก ถ้ามีความเข้มข้นระดับ 3 ppm ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มักเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ผสมอยู่ เช่น เชื้อเพลิงที่มาจากปิโตรเลียม และถ่านหิน เป็นต้น แหล่งสำคัญอีกแหล่งหนึ่ง คือ อุตสาหกรรมถลุงโลหะ ซึ่งสินแร่บางอย่าง เช่น สังกะสี มักจะอยู่ในรูปซัลไฟด์ และเกิดจากโรงงานผลิตกรดซัลฟิวริก ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลทำให้ทัศนวิสัยลดลง เมื่อเปลี่ยนรูปเป็นกรดซัลฟิวริกจะมีผลต่อการกัดกร่อนของโลหะอย่างมาก ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อรวมตัวกับฝุ่นและความชื้นจะมีผลต่อสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก

### ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) หมายถึง ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ทำหน้าที่จัดการข้อมูลของสรรพสิ่งต่างๆ บนโลกให้อยู่ในระบบดิจิทัลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลแต่ละชนิดมีการอ้างพิกัดตำแหน่งและอยู่ในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งเป็นการผสมผสานกระบวนการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กับระบบข้อมูลแผนที่ (Geographic Information) และระบบฐานข้อมูล (Database System) ดังนั้น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นข้อมูลที่อ้างพิกัดตำแหน่งบนแผนที่แบบดิจิทัล (Digital Map) (อุทัย สุขสิงห์, 2548) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูลรูปทรงสี่เหลี่ยมของวัตถุทุกอย่างบนผิวโลก (Spatial) เกี่ยวกับระบบแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศและแผนผังต่างๆ ของลักษณะภูมิประเทศทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น สิ่งเหล่านี้สามารถแปลความออกมาเป็นรหัสอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกออกมาใช้งาน แก้ไข และวิเคราะห์ข้อมูลได้ (สุระ พัฒนเกียรติ, 2546)

สุเพชร จิระจรกุล (2549) กล่าวว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้นำไปประยุกต์ใช้หลายสาขา เช่น ทางธุรกิจ การขนส่ง สาธารณสุข การเกษตร การปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐบาลกลาง และถูกนำไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน การประเมินสิ่งแวดล้อม และการวางแผน ฯลฯ และในปัจจุบันมีแนวโน้มในการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไปเผยแพร่ข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดได้ว่าเป็นเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ไขปัญหาต่างๆ สามารถที่จะประมวลผลข้อมูลจากหลาย

แหล่ง และนำมาเสนอให้เราเข้าใจและค้นหาปัญหา จากข้อมูลพื้นผิวโลกจริงก็จะถูกจัดเก็บลงเป็นฐานข้อมูล แล้วถูกนำมาเสนอผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Dynamic) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล การแสดงผลทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ก็จะแสดงออกมาเป็นผลที่เปลี่ยนแปลงได้ทันที

### แบบจำลองค่าระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM)

Digital Elevation Model (DEM) หมายถึง ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศของโลก หรือพื้นผิวอื่นๆ ในรูปแบบดิจิทัล โดยมีค่าพิกัดและการแสดงค่าความสูง โดยส่วนมากจะถูกใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ DEM อาจสามารถใช้งานร่วมกับภาพแสดงพื้นผิวได้ ซึ่ง DEM มักถูกจัดเก็บในลักษณะของ Raster หรือจุดภาพที่เป็นสี่เหลี่ยมโดยแต่ละช่องจะจัดเก็บค่าความสูงเอาไว้ ประโยชน์ของ DEM ใช้ในงานจำลองสภาพภูมิประเทศ การจำลองการบิน หรือการจำลองการไหลของน้ำ เป็นต้น (Burrough & McDonnell, 1998)

วิชัย เยี่ยงวีรชน (2549) กล่าวว่า Digital Elevation Model (DEM) หมายถึง แบบจำลองค่าระดับความสูงเชิงเลขของตำแหน่งพื้นผิวที่มีลักษณะรูปร่างเป็นระเบียบ ยกตัวอย่างเช่น ตารางกริดสี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม หรือแปดเหลี่ยม เป็นต้น ลักษณะแบบจำลองจะเป็นจุดไม่มีความต่อเนื่อง (Discrete Point) ของข้อมูล ค่าของ DEM เป็นค่าที่นิยมใช้กันทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา

### ฐานข้อมูล DTED2

Digital Terrain Elevation Data Level 2 (DTED2) เป็นฐานข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ต่างๆ ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งจัดเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ลิปดา หรือประมาณ 30 เมตร DTED2 เกิดจากโครงการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตแผนที่เชิงเส้น เชิงรหัส หรือเชิงเลข ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเริ่มต้นในปีงบประมาณ 2541 และสิ้นสุดในปีงบประมาณ 2545 โดยได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานทำแผนที่ของสหรัฐอเมริกาที่มีชื่อว่า Defense Mapping Agency หรือ DMA (ภายหลังได้เปลี่ยนเป็น National Imagery and Agency หรือ NIMA) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2546)

## ฐานข้อมูล GTOPO30

GTOPO30 เป็นฐานข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ต่างๆ ครอบคลุมทั่วโลก (Global Digital Elevation Model) ซึ่งมีระยะห่างของข้อมูลแต่ละจุด คือ 30 ลิบตา หรือประมาณ 1 กิโลเมตร GTOPO30 ได้มาจากการรวบรวมข้อมูลภูมิประเทศในรูปแบบทั้ง Raster และ Vector มากมาย ข้อมูล GTOPO30 พัฒนาขึ้นและเสร็จสมบูรณ์ในปลายปี ค.ศ. 1996 โดยบุคลากรจาก the U.S. Geological Survey's Center for Earth Resources Observation and Science (EROS) นอกจากนี้ ยังมีหน่วยงานหรือองค์กรอื่นให้การสนับสนุนทั้งในเรื่องของข้อมูลและงบประมาณ เช่น the National Aeronautics and Space Administration (NASA), the United Nations Environment Programme/ Global Resource Information Database (UNEP/ GRID) เป็นต้น (WebGIS, 2002)

## ฐานข้อมูล SRTM DEM

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) เป็นโครงการความร่วมมือระหว่าง NASA และ National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) ในการสำรวจและทำแผนที่ลักษณะภูมิประเทศของโลกในลักษณะสามมิติ โดยการสำรวจจากกระสวยอวกาศ Endeavour (สำรวจในช่วง 11-22 February 2000) โดย United States Geological Survey ได้ร่วมลงนามกับ NGA และ NASAs Jet Propulsion Laboratory ในการแจกจ่ายข้อมูล วิธีการสำรวจจะใช้ระบบคลื่นเรดาร์หรือ Interferometer สองส่วน คือ Dual Spaceborne Imaging Radar (SIR-C) และ Dual X-band Synthetic Aperture Radar (X-SAR) ในการจัดเก็บข้อมูลกว่า 80% ของพื้นผิวโลก ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูด 60 องศาเหนือ ถึง 56 องศาใต้ ข้อมูล SRTM สามารถนำมาใช้ในการสร้างแผนที่ภูมิประเทศเชิงเลข โดยการเก็บความสูงทุกๆ 1 arc second หรือ 30 เมตร โดยประมาณในพื้นที่ของสหรัฐอเมริกา ส่วนพื้นที่นอกเหนือจากนั้นจะให้บริการเฉพาะข้อมูลที่มีความละเอียด 90 เมตร (United States Geological Survey, 2003)

### แบบจำลองการแพร่กระจายแบบ Gaussian (Gaussian Dispersion Model)

เมื่อสารมลพิษทางอากาศระบายออกจากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อม ก็แพร่กระจายไปตามอิทธิพลของลม (ทั้งทิศทางและความเร็ว) สภาพอากาศในขณะนั้น และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ อีกมาก เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ทำนายผลกระทบในแง่คุณภาพอากาศในบรรยากาศ คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งพัฒนามาจากทฤษฎีการฟุ้งกระจายในรูปของ Fickian Equation จนถึงสมการของ Gaussian แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นที่นิยมใช้เนื่องจากมีความเชื่อถือได้ในระดับพอใช้ได้ และมีวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

แบบจำลองการแพร่กระจายแบบ Gaussian เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ณ จุดต่างๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานของแบบจำลองการแพร่กระจายที่นิยมใช้ทั่วไป โดยมีสมมติฐานว่า สารมลพิษทางอากาศมีการแพร่กระจายในแนวระดับและแนวดิ่งอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

- เมื่อ
- C = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่พิกัด (x, y, z), กรัม/ลูกบาศก์เมตร
  - Q = อัตราการระบายสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที
  - $\sigma_y$  = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารมลพิษในแนวแกน y, เมตร
  - $\sigma_z$  = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารมลพิษในแนวแกน z, เมตร
  - U = ความเร็วลมที่ระดับความสูงปล่อง, เมตร/วินาที
  - H = ความสูงเสมือนของแหล่งกำเนิด มีค่าเท่ากับ  $h_s + \Delta h$ , เมตร
  - $h_s$  = ความสูงของแหล่งกำเนิด, เมตร
  - $\Delta h$  = ความสูงของพุ่มที่ลอยขึ้นจากแหล่งกำเนิด (Plume Rise), เมตร
  - x = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดสังเกตในแนวตามทิศทางลม, เมตร
  - y = ระยะทางจากจุดสังเกตถึงแนวตั้งฉากกับทิศทางลม, เมตร
  - z = ความสูงจากพื้นของจุดสังเกต, เมตร

ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศในแนวแกน y และแนวแกน z นั้น ขึ้นอยู่กับระยะทางที่สารมลพิษแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิด และความคงตัวของบรรยากาศ (Stability Class) ซึ่ง Pasquill ได้จำแนกความคงตัวของบรรยากาศออกเป็น 6 ระดับ คือ

Class A = บรรยากาศไม่คงตัวมาก

Class B = บรรยากาศไม่คงตัว

Class C = บรรยากาศค่อนข้างไม่คงตัว

Class D = บรรยากาศเป็นกลาง

Class E = บรรยากาศค่อนข้างคงตัว

Class F = บรรยากาศคงตัว

ในการจำแนกความคงตัวของบรรยากาศตามวิธีของ Pasquill - Gifford ใช้ค่าความเร็วลมและความเข้มแสง (Insolation) ในเวลากลางวัน และปริมาณเมฆในเวลากลางคืน (ตารางที่ 2.1)

ค่า  $\sigma_y$  และ  $\sigma_z$  สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่สารมลพิษเดินทางจากแหล่งกำเนิด (x) และความคงตัวของบรรยากาศ แสดงดังภาพที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1

การจำแนกความคงตัวของบรรยากาศตามแบบของ  
Pasquill - Gifford

ความเร็วลมที่ระดับ ความสูง 10 เมตร (เมตร/วินาที)	ความเข้มแสงในเวลากลางวัน			ปริมาณเมฆบนท้องฟ้าใน เวลากลางคืน	
	Strong	Medium	Slight	$\geq 4/8$	$< 4/8$
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

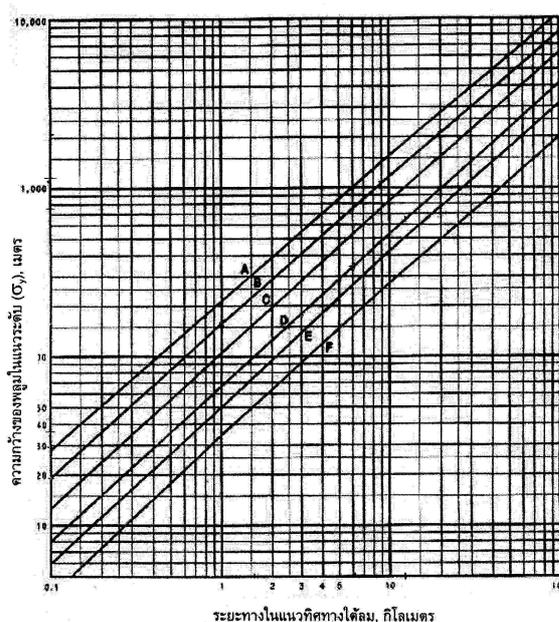
ที่มา: วราวุธ เสือดี (2549)

หมายเหตุ: ในการนำไปใช้มีการตีความหมายของตารางข้างต้นที่สำคัญเพิ่มเติม คือ

1. “Strong” หมายถึง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า 143 แคลอรี/ ตารางเมตร/ วินาที หรือขณะที่ฟ้าโปร่ง มุมของดวงอาทิตย์มากกว่า  $60^\circ$  จากระดับพื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบ่ายของฤดูร้อน บรรยากาศจะมีการพาความร้อนมาก
2. “Medium” หมายถึง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 72 – 143 แคลอรี/ ตารางเมตร/ วินาที หรือขณะที่ฟ้าโปร่ง มุมของดวงอาทิตย์เพียง  $35^\circ - 60^\circ$  จากระดับพื้น
3. “Slight” หมายถึง กรณีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า 72 แคลอรี/ ตารางเมตร/ วินาที หรือขณะที่ฟ้าโปร่ง มุมของดวงอาทิตย์เพียง  $15^\circ - 35^\circ$  จากระดับพื้น
4. ในเวลากลางวันถ้าปรากฏว่ามีปริมาณเมฆบนท้องฟ้าถึงระดับ เมฆบางส่วน (Broken Cloud) หรือปริมาณเมฆอยู่ในช่วง 5/8 – 7/8 จะทำให้ระดับ “Strong” ของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จะลดลงเป็น “Medium” และในทำนองเดียวกันถ้าจากเดิมเป็นระดับ “Medium” ของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จะลดลงเป็น “Slight”
5. ความคงตัวของบรรยากาศแบบ D (Neutral) เกิดขึ้นเมื่อฟ้าครึ้ม (เมฆ 8/8) ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน

### ภาพที่ 2.1

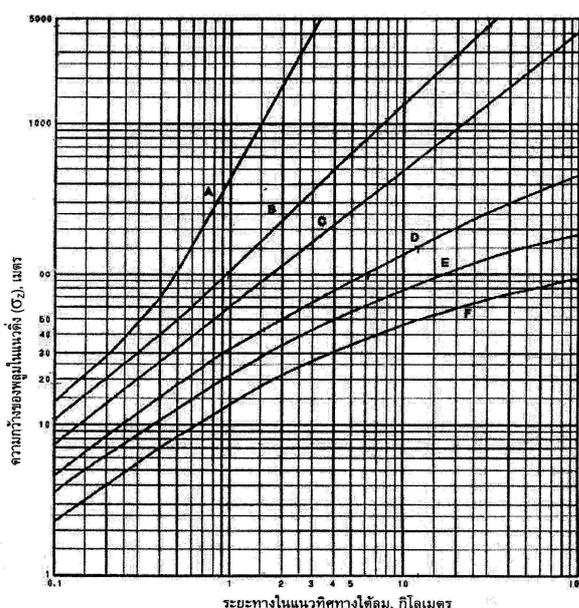
ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของบรรยากาศและสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของพุ่มไม้ในแนวระดับ ( $\sigma_y$ )



ที่มา: วราวุธ เสือดี (2549)

ภาพที่ 2.2

ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของบรรยากาศและสัมประสิทธิ์  
การแพร่กระจายของพลาสม่าในแนวดิ่ง ( $\sigma_z$ )



ที่มา: วราวุธ เลื่อนดี (2549)

### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD

แบบจำลองฯ AERMOD เป็นแบบจำลองฯ ที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1991 โดยสมาคมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกา (American Meteorological Society, AMS) ร่วมกับสถาบันป้องกันสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ซึ่งได้จัดตั้งคณะกรรมการที่ชื่อว่า AERMIC (AMS/ EPA Regulatory Model Improvement Committee) โดย AERMIC ได้เลือกเอาแบบจำลองฯ ISC3 มาเป็นต้นแบบในการปรับปรุง โดยมีหลักการ คือ

- 1) ใ้รูปแบบการนำเข้าและรูปแบบของผลข้อมูลที่ใช้อยู่ใน ISC3
- 2) ปรับปรุงรายละเอียดโดยใช้ทฤษฎีของชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก
- 3) กระบวนการซึ่งแต่เดิมใช้แบบจำลองฯ ISC3 จะสามารถเชื่อมต่อหรือใช้งานได้ต่อเนื่องกับแบบจำลองฯ ที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยเรียกแบบจำลองฯ ดังกล่าวว่ แบบจำลองฯ AERMOD

แบบจำลองฯ AERMOD ใช้องค์ความรู้เรื่อง Planetary Boundary Layer (PBL) เป็นหลัก ซึ่งหมายถึง ชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลกซึ่งได้รับอิทธิพลจากผิวโลก มีช่วงตั้งแต่ประมาณ 100 เมตร ในตอนกลางคืนถึง 1 – 2 กิโลเมตร ในตอนกลางวัน โดยแบ่งออกเป็น Convective Boundary Layer (CBL) ซึ่งหมายถึง ชั้นที่อากาศเกิดการเคลื่อนที่ของมวลของอากาศเนื่องมาจากการพาความร้อน (Sensible Heat Flux, H) และ Stable Boundary Layer (SBL) ซึ่งหมายถึง ชั้นบรรยากาศที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการพาความร้อน โดยจะได้รับเฉพาะผลจากแรงเสียดทานจากผิวโลก แบบจำลองฯ AERMOD เป็น steady – state plume model โดยใน SBL จะสมมติว่ามีการแพร่กระจายความเข้มข้นเป็นแบบ Gaussian ทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ ส่วนใน CBL มีการแพร่กระจายความเข้มข้นเป็นแบบ Gaussian ในแนวราบ แต่ในแนวดิ่งจะมีการแพร่กระจายแบบ bi – Gaussian Probability Density Function (pdf) แบบจำลองฯ AERMOD มีชุดคำสั่งสำคัญ ได้แก่ AERMET และ AERMAP (วารสาร ละเอียด, 2549) ดังนี้

## AERMET

AERMET คือ ชุดคำสั่ง (preprocessor) ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา แล้วประมวลดัชนีหรือค่าบ่งชี้ของชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Planetary Boundary Layer) ขั้นตอนการทำงานของ AERMET (วารสาร ละเอียด, 2549) คือ

- 1) การแยกเฉพาะข้อมูลที่ต้องการจากฐานข้อมูลผลการตรวจวัดจริงที่บันทึกไว้ พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
- 2) รวบรวมและจัดเรียงข้อมูลที่ต้องการทั้งหมดและเขียนลงในแฟ้มข้อมูลชั่วคราวในรายละเอียดของข้อมูลรายชั่วโมง
- 3) ขั้นตอนสุดท้าย คือ คำนวณดัชนีหรือค่าบ่งชี้สำหรับชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Planetary Boundary Layer) ที่จำเป็นสำหรับ แบบจำลองฯ AERMOD

## ข้อมูลนำเข้า AERMET

จากทฤษฎีการได้มาของดัชนีแต่ละค่าที่ต้องการสำหรับ AERMOD จึงทำให้จะต้องมีข้อมูลพื้นฐานที่ต้องนำเข้าไปใน AERMET ดังนี้

## 1. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface Air Data)

ข้อมูลที่น้อยที่สุดที่ AERMET ต้องการ คือ ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind Speed and Direction) อุณหภูมิ (Ambient Temperature) ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) และความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) AERMET สามารถดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลดิบที่บันทึกจากการตรวจวัดได้หลายรูปแบบ เช่น MET-144 Format (MET-144) หรือ SCRAM Format และ SAMSON Format ในประเทศไทยนั้น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามักบันทึกในรูปแบบของข้อมูลเชิงตาราง ดังนั้น จึงต้องนำมาจัดเรียงใหม่ในรูปแบบที่ AERMET นำไปใช้ได้ เช่น SCRAM Format

## 2. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper Air Data)

AERMET สามารถ คัดแยก หรือ ดึง ข้อมูลที่ต้องการจากแฟ้มข้อมูลที่บันทึกจากการตรวจวัดแบบมาตรฐานของศูนย์ข้อมูลด้านภูมิอากาศแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ National Climatic Data Center (NCDC) หลายรูปแบบ ทั้งนี้รวมถึง TD-6201 Format, CD-144 Format, และ TD-3280 Format และ FSL Data (วารสาร เสียดิ, 2549)

## 3. ค่าลักษณะเฉพาะของพื้นที่

เป็นข้อมูลเฉพาะหรือลักษณะผิวพื้น ประกอบไปด้วย

3.1 Albedo: การสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) จากพื้นดินกลับสู่บรรยากาศ โดยไม่มีการดูดซับ มีค่าระหว่าง 0.1 สำหรับพื้นที่ที่เป็นป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest) ถึง 0.9 สำหรับช่วงหิมะตกใหม่ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

3.2 Bowen Ratio: สัดส่วนของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Sensible Heat Flux) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนแฝง (Latent Heat Flux) ใช้เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์สำหรับสภาวะที่เกิดการพา (Convective Condition) ใน PBL ซึ่ง ณ เวลาเที่ยงวัน Bowen Ratio มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.1 ที่เหนือผิวน้ำ ถึง 10.0 ที่เหนือทะเลทราย ดังแสดงในตารางที่ 2.3 2.4 และ 2.5

3.3 Surface Roughness Length: ความสูงที่ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวระดับเป็น 0 มีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.001 เมตร เหนือผิวน้ำที่สงบ ถึง 1 เมตร หรือมากกว่า ที่เหนือพื้นที่ป่าหรือพื้นที่เขตเมือง ดังแสดงในตารางที่ 2.6

## ตารางที่ 2.2

ค่า Albedo แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล (Water (Fresh and Sea))	0.12	0.10	0.14	0.20
ป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest)	0.12	0.12	0.12	0.50
ป่าสน (Coniferous Forest)	0.12	0.12	0.12	0.35
หนองน้ำ, บึง (Swamp)	0.12	0.14	0.16	0.30
พื้นที่การเกษตร (Cultivated Land)	0.14	0.20	0.18	0.60
ทุ่งหญ้า (Grassland)	0.18	0.18	0.20	0.60
พื้นที่เขตเมือง (Urban)	0.14	0.16	0.18	0.35
พื้นที่ทะเลทราย (Desert Shrub land)	0.30	0.28	0.28	0.45

ที่มา: รวบรวม เลือดดี (2549) อ้างจาก United State Environmental Protection Agency (1998)

## ตารางที่ 2.3

ค่า Bowen ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล  
ในสภาวะที่มีความชื้นน้อย

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล (Water (Fresh and Sea))	0.1	0.1	0.1	2.0
ป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest)	1.5	0.6	2.0	2.0
ป่าสน (Coniferous Forest)	1.5	0.6	1.5	2.0
หนองน้ำ, บึง (Swamp)	0.2	0.2	0.2	2.0
พื้นที่การเกษตร (Cultivated Land)	1.0	1.5	2.0	2.0
ทุ่งหญ้า (Grassland)	1.0	2.0	2.0	2.0
พื้นที่เขตเมือง (Urban)	2.0	4.0	4.0	2.0
พื้นที่ทะเลทราย (Desert Shrub land)	5.0	6.0	10.0	10.0

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2549) อ้างจาก United State Environmental Protection Agency (1998)

## ตารางที่ 2.4

ค่า Bowen ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล  
ในสภาวะที่มีความชื้นปกติ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล (Water (Fresh and Sea))	0.1	0.1	0.1	1.5
ป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest)	0.7	0.3	1.0	1.5
ป่าสน (Coniferous Forest)	0.7	0.3	0.8	1.5
หนองน้ำ, บึง (Swamp)	0.1	0.1	0.1	1.5
พื้นที่การเกษตร (Cultivated Land)	0.3	0.5	0.7	1.5
ทุ่งหญ้า (Grassland)	0.4	0.8	1.0	1.5
พื้นที่เขตเมือง (Urban)	1.0	2.0	2.0	1.5
พื้นที่ทะเลทราย (Desert Shrub land)	3.0	4.0	6.0	6.0

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2549) อ้างจาก United State Environmental Protection Agency (1998)

## ตารางที่ 2.5

ค่า Bowen ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล  
ในสภาวะที่มีความชื้นสูง

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล (Water (Fresh and Sea))	0.1	0.1	0.1	0.3
ป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest)	0.3	0.2	0.4	0.5
ป่าสน (Coniferous Forest)	0.3	0.2	0.3	0.3
หนองน้ำ, บึง (Swamp)	0.1	0.1	0.1	0.5
พื้นที่การเกษตร (Cultivated Land)	0.2	0.3	0.4	0.5
ทุ่งหญ้า (Grassland)	0.3	0.4	0.5	0.5
พื้นที่เขตเมือง (Urban)	0.5	1.0	1.0	0.5
พื้นที่ทะเลทราย (Desert Shrub land)	1.0	5.0	2.0	2.0

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2549) อ้างจาก United State Environmental Protection Agency (1998)

## ตารางที่ 2.6

ค่า Surface Roughness Length (เมตร) แบ่งตามลักษณะ

การใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล (Water (Fresh and Sea))	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ป่าไม้ผลัดใบ (Deciduous Forest)	1.0	1.3	0.8	0.5
ป่าสน (Coniferous Forest)	1.3	1.3	1.3	1.3
หนองน้ำ, บึง (Swamp)	0.2	0.2	0.2	0.05
พื้นที่การเกษตร (Cultivated Land)	0.03	0.2	0.05	0.01
ทุ่งหญ้า (Grassland)	0.05	0.1	0.01	0.001
พื้นที่เขตเมือง (Urban)	1.0	1.0	1.0	1.0
พื้นที่ทะเลทราย (Desert Shrub land)	0.3	0.3	0.3	0.15

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2549) อ้างจาก United State Environmental Protection Agency (1998)

ค่าที่แสดงในตารางที่ 2.2 ถึงตารางที่ 2.6 เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามละติจูดและวงจรรของการเพาะปลูกใน 1 ปี โดย

ฤดูใบไม้ผลิ (Spring) หมายถึง ช่วงที่เริ่มมีการเพาะปลูก ซึ่งอาจอนุโลมได้ว่าเป็นช่วง 1-2 เดือน หลังจากน้ำแข็งละลายเนื่องจากฤดูหนาว

ฤดูร้อน (Summer) หมายถึง ช่วงที่การเพาะปลูกมีความอุดมสมบูรณ์ พื้นที่เป็นสีเขียวชะอุ่ม

ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn) หมายถึง ช่วงที่เป็นสภาวะมีน้ำแข็งสลับกับน้ำแข็งละลาย ต้นไม้สลัดใบจนเหลือน้อย พื้นดินว่างเปล่าหลังการเก็บเกี่ยว หญ้าเป็นสีเทาและไม่มีหิมะ

ฤดูหนาว (Winter) หมายถึง ช่วงที่มีหิมะปกคลุมพื้นดิน และอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

## AERMAP

AERMAP จะประมวลข้อมูลความสูงของพื้นที่ของทุกตำแหน่งที่ต้องการคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษ รวมทั้งทุกตำแหน่งของแหล่งกำเนิด สำหรับ complex terrain นั้น AERMAP จะทำหน้าที่ประเมินกลไกที่เปลี่ยนไปของการแพร่กระจายบนพื้นที่ที่ซับซ้อนนั้น โดยจะอาศัยข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่รายรอบด้วย โดย AERMOD จะประมวลหาความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษมากที่สุดสำหรับจุดที่ต้องการคำนวณความเข้มข้นแต่ละจุด (วารสาร เสือดี, 2549)

## ข้อมูลนำเข้า AERMAP

มีข้อมูล 2 ชุด ที่ AERMAP ต้องการ คือ

1. ข้อมูลที่แสดงตำแหน่งที่ต้องการคำนวณความเข้มข้นสารมลพิษ (Receptor) และตำแหน่งของแหล่งกำเนิด

2. แฟ้มข้อมูล Terrain Data ซึ่งอยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Standardized Computer Files) สำหรับแฟ้มข้อมูล Terrain Data ในรูปแบบมาตรฐานที่ AERMAP จะนำไปใช้ได้มี 3 รูปแบบ คือ

2.1 Digital Elevation Model (DEM) Format ซึ่งมีรูปแบบตามมาตรฐาน U.S. Geological Survey (USGS) หรือ "Blue Book" Standard

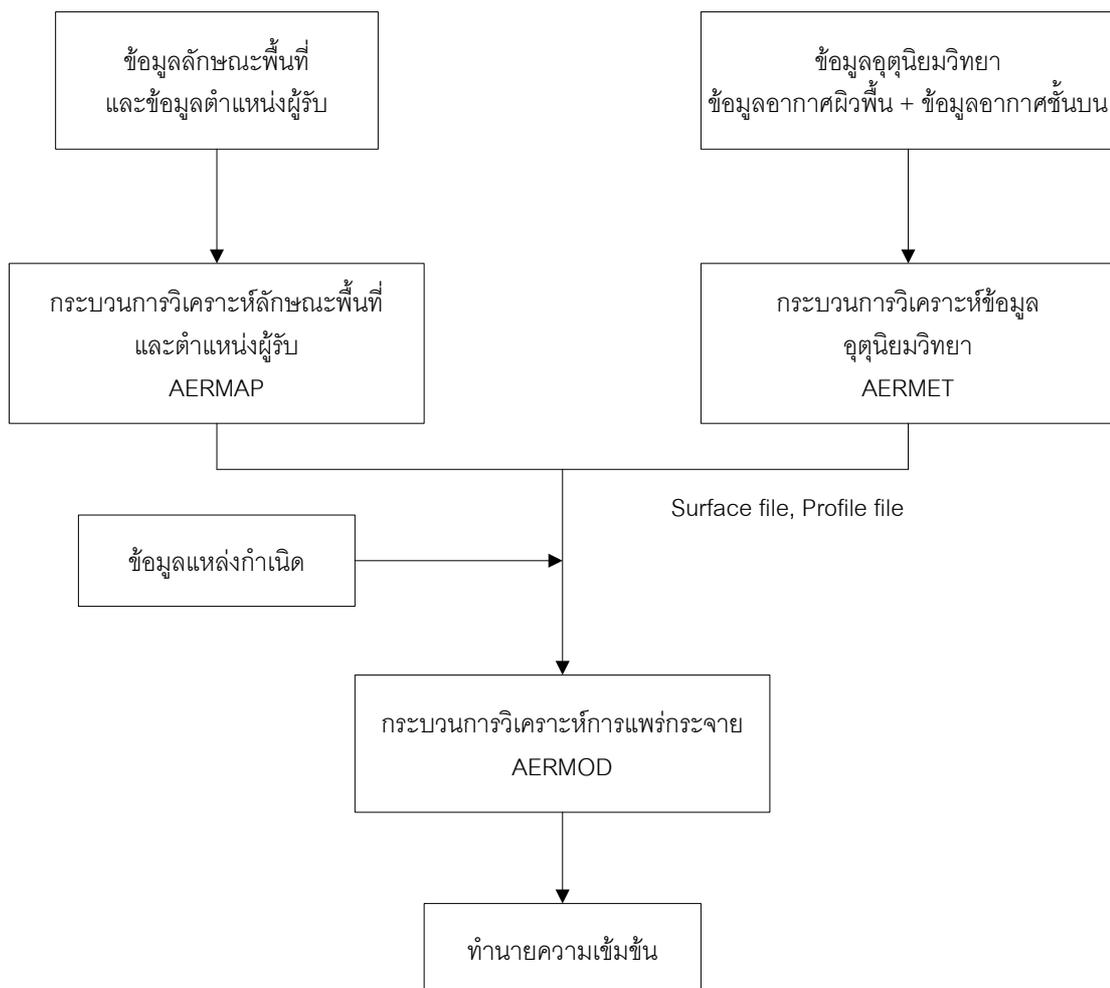
2.2 Spatial Data Transfer Standard (SDTS) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใหม่กว่า DEM Format โดยมีการรวมเอาข้อมูล ทางอุตุนิยมวิทยาบางส่วนเข้าไปด้วย

2.3 National Elevation Dataset (NED) Data ซึ่งฐานข้อมูลในระบบนี้มีการปรับปรุงอยู่เสมอ และมีการเตรียมในรูปแบบอื่นหลายรูปแบบ เช่น ARCGRID, GridFloat, และ BILS

แบบจำลองฯ AERMOD มีโครงสร้างการทำงาน คือ เริ่มจากนำเข้าข้อมูลลักษณะพื้นที่และข้อมูลตำแหน่งผู้รับ ลงในชุดคำสั่ง AERMAP และนำเข้าข้อมูลอากาศผิวพื้น และข้อมูลอากาศชั้นบน ลงในชุดคำสั่ง AERMET ข้อมูลที่ได้จากชุดคำสั่ง AERMAP และ AERMET รวมทั้งข้อมูลแหล่งกำเนิดสารมลพิษ จะผ่านกระบวนการวิเคราะห์การแพร่กระจายโดยAERMOD จากนั้นจะทำนายค่าความเข้มข้นต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3

โครงสร้างการทำงานของแบบจำลองฯ AERMOD



## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรณ์ สุวรรณโชติ (2548) ศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISCST และ AERMOD ในการทำนายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง โดยทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ระหว่างการทำนายด้วยแบบจำลองฯ ISCST และ AERMOD กับผลการตรวจวัดจริง ด้วยการใช่วิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 ประชากรแบบจับคู่ (Paired-t-test) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับผลการตรวจวัดจริง ด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson และการวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) โดยวิธีเปรียบเทียบสองประชากรแบบจับคู่ พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงและเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งกรณีพื้นราบและพื้นที่ที่มีความซับซ้อน ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง พื้นที่ราบมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และในพื้นที่ที่มีความซับซ้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ปี มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองกรณี ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ พบว่า AERMOD สามารถทำนายความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง เฉลี่ย 8 ชั่วโมง และเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ได้ดีกว่า ISCST ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และแบบจำลองฯ AERMOD สามารถทำนายค่าความเข้มข้นสูงสุดรายชั่วโมง และเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ได้ดีกว่าแบบจำลองฯ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองฯ AERMOD และ ISCST มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อทำการทดสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริง พบว่า ผลการทำนายที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD ไม่ได้ดีกว่าแบบจำลอง ISCST

วรารุณ เสือดี และ สรณ์ สุวรรณโชติ (2550) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีในการนำเข้าสู่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper Air Data) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีวิธีการในการนำข้อมูลดังกล่าว 2 วิธี คือ การนำเข้าสู่โดยใช้การค่าเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ตามความสูงจริง และการประมาณค่าโดยแบบจำลองฯ โดยอาศัยทฤษฎีความคล้าย (Similarity Theory) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองฯ AERMOD โดยการนำเข้าสู่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนด้วยวิธีการนำเข้าสู่โดยใช้ค่าเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ตามความสูงจริงและการประมาณค่าโดยแบบจำลองฯ โดยอาศัยทฤษฎีความคล้าย โดยในการศึกษาใช้

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในปี พ.ศ. 2549 ของสถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานครในการศึกษา และเลือกใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารมลพิษทางอากาศที่ทำการศึกษา โดยใช้พื้นที่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมนวนครเป็นพื้นที่ในการศึกษา ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ผลการทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษโดยใช้วิธีการทั้งสองมีความแตกต่างกัน ไม่สามารถใช้แทนกันได้ตามหลักการดังกล่าว

Sailaja (2004) ศึกษาแบบจำลองฯ AERMOD โดยใช้ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษในเมือง Lucas รัฐ Ohio สหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1990 โดยใช้แบบจำลองฯ AERMOD ทำนายข้อมูลความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 1 เดือน 3 เดือน และ 1 ปี โดยค่าความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกจำแนกเป็น 2 กลุ่ม คือในสภาวะความคงตัวของบรรยากาศแบบ Stable และความคงตัวของบรรยากาศแบบ Convective โดยมีค่า Monin - Obukhov length เป็นดัชนีจำแนกความคงตัวของบรรยากาศ ในงานวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพของการทำนายโดยวิธี Fractional Mean Bias Normalize Mean Squared Error: NMSE, Geometric Mean Bias และ Geometric Variance จากการศึกษพบว่า แบบจำลองฯ AERMOD ยังมีประสิทธิภาพไม่ดี ในการทำนายค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของข้อมูล ราย 3 ชั่วโมง และราย 24 ชั่วโมง การทำนายของแบบจำลองฯ มีแนวโน้มให้ค่าต่ำกว่าค่าตรวจวัดจริง ทั้งความคงตัวของบรรยากาศแบบ Stable และความคงตัวของบรรยากาศแบบ Convective อย่างไรก็ตามในกรณีของความคงตัวของบรรยากาศแบบ Convective จะให้ค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดจริงในสัดส่วนเท่าๆ กัน

Amitabh, Krishna, & Srivastava (2006) ศึกษาเรื่องการประเมินค่าความถูกต้องของแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) บริเวณประเทศอินเดีย วัดดูประสงค์หลักของการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points-GCPs) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบ การศึกษาจะใช้ SRTM DEM และ GTOPO DEM ซึ่งเป็นข้อมูลที่ให้บริการแก่สาธารณะ และเป็นการศึกษาในมุมมองของผู้นำไปใช้งาน การเปรียบเทียบจะทำใน บริเวณพื้นที่เดียวกัน คือ บริเวณ Hyderabad จะมีค่า GCPs 36 จุด และบริเวณ Bangalore จะมีค่า GCPs 30 จุด ผลการศึกษาพบว่า ค่าความสูงแตกต่าง (RMS) ระหว่าง จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPS) และ SRTM DEM เท่ากับ 4.29 เมตรในกรณี Hyderabad และ 4.63 เมตร ในกรณี Bangalore ความสูงแตกต่าง (RMS) ระหว่าง จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPS) และ GTOPO30 DEM เป็น 14.56 เมตรในกรณี Hyderabad และ 12.52 เมตร ในกรณี Bangalore