หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดคะเนความเข้มข้นของสารมลพิษ มีการใช้งาน 2 ลักษณะดังนี้ (a) การคาดคะเนความเข้มข้นของสารมลพิษที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นการประเมินผลกระทบของโครงการต่อคุณภาพอากาศ และ (b) กรณีการคาดคะเนความเข้มข้นของสารมลพิษเพื่อเป็นการเตือนภัย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อคาดคะเนความเข้มข้นของของสารมลพิษในระบบที่เป็นการไหลของสารหลายองค์ประกอบที่เคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กัน หรือระบบที่เป็นการไหลแบบหลายเฟส มีวิธีการสร้างแบบจำลองได้ 2 วิธี ได้แก่

1. แบบจำลองที่แสดงถึงของผสม (Homogeneous model) สมการที่ใช้เป็นสมการอนุรักษ์ 1 ชุด พิจารณาระบบเป็นของผสม ซึ่งมีสมบัติต่างๆ ในระบบ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด จะเป็นสมบัติของของผสมในระบบ (Pseudo properties)

2. แบบจำลองที่เขียนแยกระหว่างองค์ประกอบหรือเฟส (Two-fluid model) วิธีนี้ใช้สมการอนุรักษ์ 2 ชุด เขียนแยกแต่ละองค์ประกอบ และคิดเทอมที่เป็นการถ่ายเทระหว่างองค์ประกอบด้วย ได้แก่ โมเมนตัม ความร้อน และมวลที่ถ่ายระหว่างองค์ประกอบ

ในการศึกษานี้ เสนอเทคนิค Computational Fluid Dynamics (CFD) และแบบจำลอง VALLEY เพื่อศึกษาการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน ใน 2 ฤดู ได้แก่ ฤดูหนาว ตั้งแต่วันที่ 1-14 พฤศจิกายน 1997 และฤดูร้อน ตั้งแต่วันที่ 1-14 มีนาคม 1998 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การประมาณค่าการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้เทคนิค CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) เป็นการศึกษาปรากฏการณ์การไหลของของไหลที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ (Geometry) ที่ทำการศึกษา โดยใช้หลักการพื้นฐานของกลศาสตร์การไหลของของไหล (Fundamental fluid dynamics) ซึ่งถูกอธิบายโดยสมการอนุรักษ์ (conservation equation) อันประกอบด้วย สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (conservation of energy) ในการคำนวณ

จะทำการแบ่งโดเมนของชุดสมการออกเป็นช่วงสั้นๆ (discretization) วิธีการนี้เป็นวิธีเปลี่ยนสมการดิฟเฟอร์เรนเชียล หรือ สมการอินทริกรัล (differential or integral equation) ให้เป็นสมการเชิงพีชคณิต (algebraic equation) แล้วแก้สมการโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Numerical method) โดยกำหนดสภาวะเริ่มต้น (initial condition) และสภาวะขอบเขต (boundary condition) อย่างถูกต้องและเหมาะสม ผลจากการคำนวณจะได้รายละเอียดของการกระจายตัวของความดัน (pressure distribution) การกระจายตัวของความเร็ว (velocity distribution) การกระจายตัวของอุณหภูมิ (temperature distribution) และการกระจายตัวของความเข้มข้น (concentration distribution)

ในการศึกษานี้ ได้คำนวณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาผสมกับอากาศที่ไหลอยู่ในบริเวณสภาพภูมิประเทศแบบซับซ้อน ซึ่งสมมติฐานของงานวิจัยเป็นดังนี้

- ระบบที่ศึกษาเป็นของไหลที่เป็น Viscous, Newtonian ความหนาแน่นของของไหลคงที่ ระบบประกอบด้วยอากาศและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เคลื่อนที่ไปด้วยกันอย่างสม่ำเสมอ แต่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี

- การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulence flow)

- อากาศซึ่งเป็นตัวกลางในการพาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความเร็วและทิศทางลมคงที่ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

- ในระบบที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ไปในอากาศ ซึ่งชุดของสมการ มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. สมการความต่อเนื่อง (Equation of Continuity)

$$\frac{\partial \overline{v}_x}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v}_y}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v}_z}{\partial z} = 0 \qquad (3.1)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equation)

$$-\frac{\partial \bar{P}}{\partial x}-\rho\left(\frac{\partial}{\partial x}\bar{v}_x\bar{v}_x+\frac{\partial}{\partial y}\bar{v}_y\bar{v}_x+\frac{\partial}{\partial z}\bar{v}_z\bar{v}_x\right)-\rho\left(\frac{\partial}{\partial x}\overline{v'_xv'_x}+\frac{\partial}{\partial y}\overline{v'_yv'_x}+\frac{\partial}{\partial z}\overline{v'_zv'_x}\right)+\mu\nabla^2\bar{v}_x=0 \quad (3.2a)$$

$$-\frac{\partial \bar{P}}{\partial y}-\rho\left(\frac{\partial}{\partial x}\bar{v}_x\bar{v}_y+\frac{\partial}{\partial y}\bar{v}_y\bar{v}_y+\frac{\partial}{\partial z}\bar{v}_z\bar{v}_y\right)-\rho\left(\frac{\partial}{\partial x}\overline{v'_xv'_y}+\frac{\partial}{\partial y}\overline{v'_yv'_y}+\frac{\partial}{\partial z}\overline{v'_zv'_y}\right)+\mu\nabla^2\bar{v}_y+\rho g_y=0 \quad (3.2b)$$

$$-\frac{\partial \bar{P}}{\partial z}-\rho\left(\frac{\partial}{\partial x}\bar{v}_x\bar{v}_z+\frac{\partial}{\partial y}\bar{v}_y\bar{v}_z+\frac{\partial}{\partial z}\bar{v}_z\bar{v}_z\right)-\rho\left(\frac{\partial}{\partial x}\overline{v'_xv'_z}+\frac{\partial}{\partial y}\overline{v'_yv'_z}+\frac{\partial}{\partial z}\overline{v'_zv'_z}\right)+\mu\nabla^2\bar{v}_z=0 \quad (3.2c)$$

สมการโมเมนตัม มีรายละเอียดต่อไปนี้ เทอมแรกทางซ้ายมือ เป็นเทอมที่แสดงถึงโมเมนตัมที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความดัน เทอมถัดไปเป็นเทอมที่แสดงโมเมนตัมเข้า-ออกจากระบบโดยมีกลไก 2 อย่างคือ การพา (Convection) และการเคลื่อนที่ของโมเลกุล (Molecular transfer) โดยการแพร่ (Diffusion) นอกจากนี้ ในสมการที่ (3.2b) มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเนื่องจากความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) กำหนดให้มีความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีเฉพาะในทิศทางตามแกน y เท่านั้น

3. สมการอนุรักษ์พลังงาน (Equation of Energy Conservation)

$$\rho C_p\left(\frac{\partial}{\partial x}\bar{v}_x\bar{T}+\frac{\partial}{\partial y}\bar{v}_y\bar{T}+\frac{\partial}{\partial z}\bar{v}_z\bar{T}\right)+\rho C_p\left(\frac{\partial}{\partial x}\overline{v'_xT'}+\frac{\partial}{\partial y}\overline{v'_yT'}+\frac{\partial}{\partial z}\overline{v'_zT'}\right)=k\left(\frac{\partial^2\bar{T}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\bar{T}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\bar{T}}{\partial z^2}\right)+\rho v_y g_y \quad (3.3)$$

จากสมการ (3.3) เทอมทางซ้ายมือของสมการเป็นเทอมพลังงานที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการพาความร้อนในการเคลื่อนที่ (Convection) และเทอมทางขวามือของสมการเป็นพลังงานที่เกิดจากการนำความร้อน (Conduction)

4. สมการสมดุลองค์ประกอบ (Component Balance) เนื่องจากในระบบที่ทำการศึกษาประกอบด้วยอากาศและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกัน โดยอากาศเป็นตัวกลางในการพาให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงต้องมีสมการสมดุลองค์ประกอบโดยกำหนดให้ i=1 คือองค์ประกอบที่เป็นอากาศ และ i=2 คือองค์ประกอบที่เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยสมการเป็นไปดังนี้

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t}+\left(\frac{\partial}{\partial x}\bar{v}_x\bar{c}_i+\frac{\partial}{\partial y}\bar{v}_y\bar{c}_i+\frac{\partial}{\partial z}\bar{v}_z\bar{c}_i\right)+\left(\frac{\partial}{\partial x}\overline{v'_xc'_i}+\frac{\partial}{\partial y}\overline{v'_yc'_i}+\frac{\partial}{\partial z}\overline{v'_zc'_i}\right)=D_{A-B}\left(\frac{\partial^2\bar{c}_i}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\bar{c}_i}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\bar{c}_i}{\partial z^2}\right) \quad (3.4)$$

เมื่อ D_{A-B} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในระบบที่ทำการศึกษา

เทอมทางซ้ายมือของสมการเทอมแรกเป็นเทอมการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป เทอมถัดมา เป็นเทอมการพาองค์ประกอบของสาร (Convection) และเทอมทางขวามือของสมการเป็นเทอมที่แสดงการแพร่ (Diffusion) ขององค์ประกอบ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสาร

5. แบบจำลองที่ใช้อธิบายการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow model)

เทอมต่างๆ ในสมการอนุรักษ์สามารถตรวจวัดค่าได้ ยกเว้นเทอมที่ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของความเร็วที่แปรผันไปจากความเร็วเฉลี่ย เรียกว่าเทอม Reynold stress โดยที่ได้แก่ สมการอนุรักษ์โมเมนตัม ได้แก่เทอมเหล่านี้ในสมการที่ (3.2-a, b, c)

$$\overline{\rho v_x' v_x'},\ \overline{\rho v_y' v_x'},\ \overline{\rho v_z' v_x'},\ \overline{\rho v_x' v_y'},\ \overline{\rho v_y' v_y'},\ \overline{\rho v_z' v_y'},\ \overline{\rho v_x' v_z'},\ \overline{\rho v_y' v_z'},\ \overline{\rho v_z' v_z'}$$

ซึ่งจากสมการ (3.2a) ค่าเหล่านี้ได้แก่

$$-\rho\overline{v_x' v_x'} = \mu_t\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_x}{\partial x}\right) \tag{3.5a}$$

$$-\rho\overline{v_y' v_x'} = \mu_t\left(\frac{\partial v_x}{\partial y}+\frac{\partial v_y}{\partial x}\right) \tag{3.5b}$$

$$-\rho\overline{v_z' v_x'} = \mu_t\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}+\frac{\partial v_z}{\partial x}\right) \tag{3.5c}$$

นอกจากนั้น สมการ (3.2b, c) ก็จะมีลักษณะคล้ายกับสมการที่ (3.5 a, b, c)

สำหรับสมการอนุรักษ์พลังงาน เทอมที่ปรากฏได้แก่ $\overline{\rho v_x' T'}, \overline{\rho v_y' T'}, \overline{\rho v_z' T'}$ ซึ่งเทอมเหล่านี้มีค่าดังต่อไปนี้

$$-\overline{\rho v_x' T'} = \frac{\mu_t}{\sigma_{T\theta}}\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \tag{3.6a}$$

$$-\overline{\rho v_y' T'} = \frac{\mu_t}{\sigma_{T\theta}}\frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \tag{3.6b}$$

$$-\overline{\rho v_z' T'} = \frac{\mu_t}{\sigma_{T\theta}}\frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \tag{3.6c}$$

เมื่อ $\sigma_{T\theta}$ คือ ค่าความปั่นป่วนสำหรับความร้อน (Turbulent Prandtl number for heat) กำหนดให้เท่ากับ 1 เมื่อบรรยากาศเป็นแบบคงตัวหรือบรรยากาศแบบเป็นกลาง (Stable or Neutral stability)

สมการสมดุลองค์ประกอบมีได้แก่เทอมนี้ $\overline{v_x'c_i'}, \overline{v_y'c_i'}, \overline{v_z'c_i'}$ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$-\overline{v_x'c_i'} = \frac{\mu_t}{\sigma_t}\frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \tag{3.7a}$$

$$-\overline{v_y'c_i'} = \frac{\mu_t}{\sigma_t}\frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \tag{3.7b}$$

$$-\overline{v_z'c_i'} = \frac{\mu_t}{\sigma_t}\frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \tag{3.7c}$$

เมื่อ σ_t คือ ค่าความปั่นป่วนของแพลงเติล-ชมิดท์ของสารมลพิษ (Turbulent Prandtl-Schmidt number for pollutants)

เมื่อ μ_t คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืดของการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน(turbulent viscosity coefficient) ซึ่งได้จาก

$$\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon \tag{3.8}$$

k คือ ค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (kinetic energy)

ε คือ อัตราการกระจายตัวของพลังงานจลน์ (Kinetic energy dissipation)

โดยมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

<u>สมการที่ใช้หาค่า k</u> (Equation of k)

$$\rho\left(\bar{v}_x\frac{\partial k}{\partial x}+\bar{v}_y\frac{\partial k}{\partial y}+\bar{v}_z\frac{\partial k}{\partial z}\right)=\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\left(\frac{\partial^2 k}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 k}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 k}{\partial z^2}\right)+(\mu+\mu_t)$$
$$\left[2\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial x}\right)^2+2\left(\frac{\partial \bar{v}_y}{\partial y}\right)^2+2\left(\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}+\frac{\partial \bar{v}_y}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial z}+\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_y}{\partial z}+\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial y}\right)^2\right]-\rho\varepsilon \tag{3.9}$$

<u>สมการที่ใช้หาค่า ε</u> (Equation of ε)

$$\rho\left(\bar{v}_x\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}+\bar{v}_y\frac{\partial \varepsilon}{\partial y}+\bar{v}_z\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right)=\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma\varepsilon}\right)\left(\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2}\right)+C_1\frac{\varepsilon}{k}(\mu+\mu_t)$$
$$\left[2\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_y}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}+\frac{\partial \bar{v}_y}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial z}+\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial \bar{v}_y}{\partial z}+\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial y}\right)^2\right]-C_2\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$$

เมื่อ C_1, C_2 คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากสมการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน

σ_1, σ_2 คือ ค่าความปั่นป่วนของแพลนเติล (effective turbulent Prandtl number) ของค่า k, ε ตามลำดับ

μ_t คือ ความหนืดเฉลี่ยในระบบ

เมื่อทำการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ มีค่าดังนี้

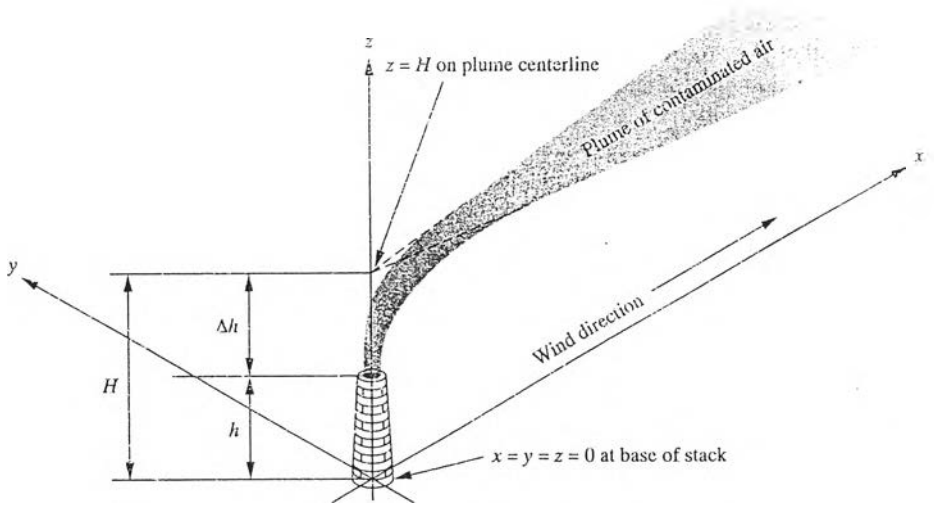
C_μ	C_1	C_2	σ_k	σ_ε
0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

ปัจจุบันมีการนำเทคนิค CFD มาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการพัฒนาด้านคอมพิวเตอร์ จึงมีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ด้าน CFD เช่น โปรแกรม PHOENICS, CFDs-FLOWS, FLUENT เป็นต้น

นอกจากการคำนวณโดยใช้เทคนิค CFD งานวิจัยนี้ยังได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ VALLEY Model เพื่อคำนวณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อีกด้วย

3.2 <u>การประมาณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้แบบจำลอง VALLEY</u>

เนื่องจากแบบจำลอง VALLEY มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองของเกาส์เซียน ซึ่งเป็นการทำสมดุลมวลสาร (Material balance) ของระบบ โดยคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด 1 แหล่ง แล้วสารมลพิษแพร่กระจายไปในบริเวณใต้ลม ดังนั้นเพื่อความเข้าใจในเบื้องต้นในส่วนแรกจะได้อธิบายถึงแบบจำลองของเกาส์เซียน แล้วจึงขยายต่อไปถึงรายละเอียดของแบบจำลอง VALLEY รูปที่ 3.1 แสดงถึงลักษณะการปล่อยสารตามแนวทางของ Gaussian Plume Model โดยกำหนดให้ปล่องที่ปล่อยก๊าซอยู่ในตำแหน่ง (0,0,H)



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการปล่อยสารตามแนวทางของ Gaussian plume model

จากรูป $H = h + \Delta h$ (3.10)

เมื่อ H คือ Effective stack height

h คือ Physical stack height

Δh คือ Plume rise

Flux คือ อัตราการไหลของมวลใน 1 หน่วยพื้นที่

$$flux = -K\frac{dc}{dn} \quad (3.11)$$

เมื่อ c คือ ความเข้มข้น

n คือ ระยะทางที่พิจารณา ตามแนวแกน X, Y, Z

K คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความปั่นป่วน (turbulent dispersion coefficient)

ในความเป็นจริง แบบจำลองการกระจายของเกาส์เซียน ใช้ประยุกต์การคำนวณการแพร่กระจายของสารมลพิษทั้งทิศทางแกน X, Y, Z แต่เมื่อนำมาหาความเข้มข้นของสารมลพิษในระนาบที่ห่างจากปล่อง 1 เมตร ในทิศทางแนวใต้ลม จะได้

$$\chi = \frac{Q/u}{4\pi t(K_y K_z)^{1/2}} \exp\left[-\left(\frac{1}{4t}\right)\left(\frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-H)^2}{K_z}\right)\right] \quad (3.12)$$

เมื่อ Q/u คือ ปริมาณก๊าซมลพิษที่ถูกปล่อยจากปล่อง ในหน่วยมวลต่อความยาว

$$K_y = 0.5\sigma_y^2 \frac{u}{x} \quad (3.13)$$

$$K_z = 0.5\sigma_z^2 \frac{u}{x} \quad (3.14)$$

$$t = \frac{x}{u} \quad (3.15)$$

σ_y, σ_z คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวนอนและแนวตั้ง ตามลำดับ

x คือ ระยะทางในแกน X

t คือ เวลา

เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (3.12) จะได้สมการพื้นฐานของเกาส์เซียน (Basic Gaussian plume dispersion) ดังนี้

$$\chi = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3.16)$$

<u>การหาความสูงของพลูม</u> (Plume rise, Δh)

Plume rise คือระยะทางที่สูงที่สุดที่พลูมลอยตัวขึ้นไปเหนือปล่อง ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากปล่องสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ พลูมจะเคลื่อนที่ได้สูงสุดเมื่อความเร็วของพลูมเท่ากับ 0 หรืออุณหภูมิของพลูมผสมกับอุณหภูมิของอากาศจนเท่ากัน

สมการหา Plume rise ได้แก่

$$\Delta h = \frac{V_s D}{u}\left(1.5 + 2.68 * 10^{-3} PD \frac{(T_s - T_a)}{T_s}\right) \quad (3.17)$$

เมื่อ V_s คือ ความเร็วของก๊าซที่ออกจากปล่อง (m/s)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง (m)

U คือ ความเร็วลม (m/s)

P คือ ความดัน (millibar)

T_s คือ อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากปล่อง (K)

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศ (K)

แบบจำลอง VALLEY เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้ในการหาการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน โดยใช้ในการหาค่าประมาณสูงสุด (Upper limit) ของความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบรรยากาศที่มีสารมลพิษของ

อากาศที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่อยู่แยกจากแหล่งกำนิดอื่น (isolated sources) ในพื้นที่ที่มีสภาพแบบชนบท (rural area) และในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน (complex terrain) นอกจากนี้ VALLEY ยังสามารถใช้ได้กับกรณีที่มีแหล่งกำนิดหลายแหล่ง (multiple sources) ใช้ในบริเวณภูมิประเทศแบบราบเรียบ (flat terrain) หรือในช่วงระยะเวลายาว (long term) ก็ได้ แบบจำลองนี้อาศัยหลักการของ สมการการกระจายตัวของเกาส์เซียน (Gaussian dispersion equation) สมการหาระยะที่พลูมเคลื่อนที่ได้สูงสุดหลังจากการปล่อยก๊าซมลพิษ (Brigg's plume rise equation) และ วิธีคำนวณค่าความเข้มข้นในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน ซึ่งมีค่าตัวแปรทางภูมิประเทศด้วย (Terrain adjustment procedure)

ข้อดีของแบบจำลอง VALLEY คือใช้งานง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการคำนวณมาก และแบบจำลองนี้ ใช้ได้ดีในการประเมินความเข้มข้นที่พื้นดิน (ground level concentration) ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง แต่แบบจำลองนี้มีขอบเขตในการใช้งานดังนี้

- นิยมใช้หาค่าการกระจายตัวความเข้มข้นของก๊าซมลพิษที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด 1 แหล่ง(Single source) ที่อยู่ในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน (complex terrain) ค่าที่คำนวณได้จะเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (short term) เช่น 24 ชั่วโมง

- ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซมลพิษจากแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับในช่วงเวลาที่พิจารณาเท่านั้น

- ใช้ได้กับแหล่งกำเนิดแบบจุด (Point source) หรือแบบพื้นที่ (area source) ก็ได้ ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถรับจำนวนแหล่งกำเนิดได้สูงสุดถึง 50 แหล่ง และมีจุดแสดงการตรวจวัดในแนวรัศมี 22.5^0 ซึ่งแต่ละแนวมีจุดแสดงผลการตรวจวัด 7 จุด

- ใช้ได้กับสารมลพิษทางอากาศที่ไม่ทำปฏิกิริยา (Non-reactive) ที่อยู่ในรูปก๊าซ หรืออนุภาคของของเหลวหรือของแข็งที่มีอัตราในการตกสู่พื้นค่อนข้างต่ำ

- แบบจำลองนี้ไม่คำนึงถึงความเข้มข้นบริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง

3.2.1 ข้อมูลที่ต้องการใช้ในแบบจำลอง VALLEY

ในการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง VALLEY มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในหลายส่วน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย

- ข้อมูลจากแหล่งกำเนิด ได้แก่ ที่ตั้งของแหล่งกำเนิด อัตราการปล่อยสารมลพิษในแต่ละแหล่งกำเนิด เส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของปล่อง อุณหภูมิและความเร็วของสารมลพิษที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด เป็นต้น

- ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่และช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและความดันของบรรยากาศ ความเร็วและทิศทางลม ตลอดจนความสูงของการผสม (Mixing height)

- ข้อมูลในการควบคุมการทำงานของโปรแกรมของแบบจำลอง รวมทั้ง การควบคุมการแสดงผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง

3.2.2 รายละเอียดทางเทคนิคของแบบจำลอง VALLEY

สมการการกระจายตัวของแบบจำลอง VALLEY ได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การแพร่กระจายมลพิษทางอากาศ โดยอาศัยหลักการของเกาส์เซียน (Gaussian Model) แต่แบบจำลอง VALLEY มีการปรับปรุงให้นำมาใช้กับบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน โดยเฉพาะในสภาวะที่บรรยากาศมีสภาพความคงตัวสูง (stable condition)

แบบจำลอง VALLEY มีสมการดังนี้

$$\chi(x,y,\sigma,h,l) = 2.55*10^{6}\frac{QKC}{Lux}\left(\frac{c-y}{c}\right)\left(\frac{401-D}{400}\right)\exp\left[\left(\frac{-0.693X_{p}}{3600ul}\right)\right] \quad (3.18)$$

เมื่อ χ = ความเข้มข้น ($\mu g/m^3$ หรือ PPM)

x = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดตรวจวัด (m)

y = ระยะทางจากจุดตรวจวัดตามแนวลม (m) $y \leq C$

H = ความสูงของพลูมที่วัดเหนือจุดตรวจวัด (m)

L = ความสูงของการผสม (mixing height)

Q = อัตราการปล่อยสารมลพิษจากปล่อง (pollutant emission rate; g/s)

c = Crosswind length of 22.5^{0} wind sector implicit in the formulation

D = ความสูงของจุดตรวจวัด ลบด้วยความสูงของพลูม

C = แฟกเตอร์ที่ใช้ในการแปลงหน่วยความเข้มข้น

C = 1 ในหน่วย $\mu g/m^3$

C = 0.0831T/(MP) ในหน่วย PPM

K = แฟกเตอร์ ที่เปลี่ยนความเข้มข้นในสภาวะใดๆ ให้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน K = 101.32T/298P

σ_z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวตามแนวตั้ง

X_p = ระยะทางจากจุดตรวจวัดกับแหล่งกำเนิดหรือจุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิด (m)

u = ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)

I = ครึ่งชีวิตของสารมลพิษ (hr)

ในแบบจำลอง VALLEY สามารถใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ 2 กรณี คือ

1. การหาความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงเวลายาว (long term average concentration) ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษที่จุดตรวจวัดใดๆ ที่มีผลมาจากแหล่งกำเนิด (s) จะเป็นผลรวมของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศที่คำนวณจากสมการ สำหรับสภาวะร่วมด้านอุตุนิยมวิทยาต่างๆ กำหนดทิศทางลม 16 ทิศทาง (d = 16) ความเร็วลมในบรรยากาศแบ่งเป็น 6 ระดับความสูง (n = 6) และความคงตัวของบรรยากาศ (stability class ; S=6) โดยพิจารณาความถี่ในการเกิดสภาวะร่วมด้านอุตุนิยมวิทยาแต่ละสภาวะที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่พิจารณาเพื่อประมาณความเข้มข้น

$$\chi_{rs} = \sum_{d=1}^{16}\sum_{n=1}^{6}\sum_{S=1}^{6} F_{dnS}\,\chi_{dnS} \qquad (3.19)$$

เมื่อ F_{dnS} = ค่าความถี่ที่ถูกปรับรูปแบบ (normalized frequency)ในช่วงเวลาที่สนใจของแต่ละกรณีที่มีทิศทางลม ความเร็วลม ความคงตัวของบรรยากาศแยกจากกัน

χ_{dnS} = ความเข้มข้น ณ ตำแหน่งพื้นดิน

ความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศที่จุดตรวจวัดใดๆ (r) คำนวณจาก

$$\chi_r = \sum_s \chi_{rs} \qquad (3.20)$$

เมื่อ χ_r = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เครื่องรับในบริเวณแหล่งกำเนิด

2. การหาความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาสั้น (short term average concentration) เพื่อค่าประมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารมลพิษในระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดเดี่ยว ที่ตั้งอยู่ในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อน ภายใต้สภาวะบรรยากาศที่มีความคงตัวสูง (stable condition) ซึ่งเป็นสภาวะเลวร้ายที่สุดที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ รวมทั้งตำแหน่งบริเวณที่เกิดความเข้มข้นสูงสุดในบรรยากาศ ด้วยการคำนวณจากแบบจำลอง VALLEY

ในการศึกษานี้ กำหนดให้บรรยากาศมีสภาพคงตัว (Stability class) แบบ F เนื่องจากจากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่า สภาพอากาศที่จังหวัดลำปางมีสภาพคงตัวแบบ F (Saengbangpla S.et.al.,1981) สำหรับบทถัดไป จะกล่าวถึงการประยุกต์นำเทคนิค CFD และแบบจำลอง VALLEY มาใช้ในการคำนวณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในภูมิประเทศแบบซับซ้อน