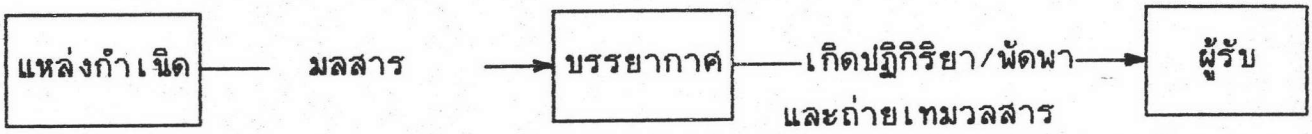
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การศึกษาด้านเอกสาร

2.1 บทนิยามพื้นฐาน

1) มลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาพบรรยากาศที่มีสาร (Airborne Substance) อยู่ในระดับความเข้มข้นสูงกว่าปกติ และทำให้เกิดผลเสียหายต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช หรือวัสดุต่าง ๆ โดยสารในที่นี้หมายถึงธาตุหรือสารประกอบ ซึ่งอาจเกิดตามธรรมชาติหรือจากการกระทำ (Activity) ของคน สารพวกนี้ลอยปะปนอยู่ในบรรยากาศ ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็ง

2) ระบบมลพิษทางอากาศ (Air Pollution System) ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ



ระบบเกิดจากการเกิดมลสารที่แหล่งกำเนิดแล้วมลสารจะถูกพัดพาไปจนถึงผู้รับ ซึ่งได้แก่ คน สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ

3) ชนิดของมลสารทางอากาศ

จำแนกตามสถานภาพได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

ก. อนุภาค (Particulate Matter) ประกอบด้วย อนุภาคที่เป็นของแข็งและของเหลว ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 100 ไมครอน อนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดน้อยกว่า 20 ไมครอน จนถึง แอโรโซล (Aerosol) ที่มีขนาดน้อยกว่า 1 ไมครอน

ข. ก๊าซและไอระเหย (Gases and Vapors) ได้แก่ ก๊าซและสารอื่น ๆ ที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 200 °ซ

จำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี เป็น 2 ประเภท คือ

ก. สารอินทรีย์ (Organic Matter)
ข. สารอนินทรีย์ (Inorganic Matter)

จำแนกตามลักษณะการเกิด เป็น 2 ประเภท คือ

ก. มลสารปฐมภูมิ (Primary Pollutants) ได้แก่ มลสารที่เกิดจากแหล่งกำเนิดโดยตรง

ข. มลสารทุติยภูมิ (Secondary Pollutants) ได้แก่ มลสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของมลสารปฐมภูมิ และส่วนประกอบของบรรยากาศ เช่น แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปสารที่ถูกจัดว่าเป็นมลสารทางอากาศ ได้แก่

ก. ออกไซด์ของซัลเฟอร์
ข. ออกไซด์ของไนโตรเจน
ค. คาร์บอนมอนอกไซด์
ง. อนุภาค
จ. สารโฟโตเคมิคัลออกซิแดนท์ ได้แก่ โอโซน

4) แหล่งกำเนิดมลสารทางอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. ประเภทเคลื่อนที่ ได้แก่ ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ เช่น รถยนต์ เรือยนต์ และเครื่องบิน เป็นต้น ก๊าซพิษที่สำคัญที่ระบายออกมากับไอเสียของยานพาหนะ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ตะกั่ว และควันดำ

ข. ประเภทไม่เคลื่อนที่ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบ

การอื่น ๆ ซึ่งปล่อยสิ่งเจือปนออกสู่บรรยากาศได้หลายอย่าง โดยขึ้นอยู่กับประเภทและวิธีการผลิต ก๊าซหรือสารเป็นพิษที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดประเภทนี้ เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน ตะกั่ว ออกไซด์ของซัลเฟอร์ และฝุ่นละออง

5) การแพร่กระจายของมลสารทางอากาศตามรูปแบบของเกาส์เสียนพลูม

ในการคำนวณหาความเข้มข้นของมลสารทางอากาศนั้น เราจำเป็นต้องอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) กรรมวิธีการผสมผสานและปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สต่าง ๆ รวมทั้งสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา ณ เวลานั้น ๆ โดยเฉพาะ สิ่งยุ่งยากเกี่ยวกับการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของการกระจัดกระจายของมลสาร มักมาจากค่าของลมที่แตกต่างออกไปในแต่ละเวลาและแต่ละวันในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลก แต่อย่างไรก็ดีในกรณีที่ช่วงเวลาที่เราทำการศึกษานั้นมีค่าสั้นมาก และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบเราก็สามารถตั้งสมมุติฐานสภาวะประหนึ่งว่ามีความคงที่ (QUASI-STEADINESS) ของลมในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกได้ ซึ่งสมมุติฐานดังกล่าวนี้อาจจะให้ค่าประมาณของลมที่ดี และเป็นสมมุติฐานที่สำคัญในการใช้แบบจำลองตามรูปแบบของเกาส์เสียนพลูม ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มควันที่มีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

สมมุติฐานที่จำเป็นสำหรับการใช้แบบจำลองเกาส์เสียน ที่สำคัญก็คือ

ก. สภาวะของลมในชั้นบรรยากาศใกล้พื้นผิวอยู่ในสภาวะ QUASI-STEADINESS

ข. มลสารที่ใช้ในแบบจำลอง จะต้องเป็นสารที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากนัก ยกตัวอย่างเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

ค. คุณสมบัติของลมในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวพื้นในแนวดิ่งเฉลี่ยเท่ากับค่าความเร็วและทิศทางลมค่าหนึ่ง

6) ความสูงประสิทธิ์ของปล่อง

เพื่อที่จะคำนวณความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นดินเราจะต้องทราบความสูงประสิทธิ์ของการระบายมลสาร วิถีทางในการคำนวณหาความสูงประสิทธิ์ของปล่องคือ

การบวกระยะลอยขึ้นของพลูมเข้ากับความสูงของปล่อง ดังนี้

$$H = h + \Delta h$$

โดยที่ H = ความสูงประสิทธิ์ของปล่อง
h = ความสูงของปล่อง
Δh = ระยะลอยขึ้นของพลูม

ในทางอุดมคติระยะลอยขึ้นของพลูมเป็นระยะความสูงเหนือปากปล่องของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของพลูมที่ลอยเคลื่อนที่ไปในแนวระดับ

ระยะลอยขึ้นของพลูมเป็นฟังก์ชันของทั้งแรงลอยตัวและโมเมนตัม สำหรับปล่องเย็นซึ่งได้นิยามไว้ว่าคือปล่องที่มีการระบายก๊าซซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศน้อยกว่า 50° ซ และความเร็วของก๊าซระบายออกมากกว่า 10 ม./วท. ระยะลอยขึ้นของพลูมจะขึ้นอยู่กับโมเมนตัมเป็นสำคัญ สำหรับปล่องร้อนซึ่งได้นิยามไว้ว่าคือปล่องที่มีการระบายก๊าซซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศมากกว่า 50° ซ ระยะลอยขึ้นของพลูมจะขึ้นกับแรงลอยตัวซึ่งเนื่องมาจากการที่ก๊าซร้อนมีน้ำหนักเบาเป็นสำคัญ

มีสมการหาระยะลอยขึ้นของพลูมมากมายต่างๆกันแต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือสมการของบริกกส์ (1969) โดยที่สมการหาระยะลอยขึ้นของพลูมเนื่องจากแรงลอยตัวเป็นดังนี้

$$\Delta h = \frac{1.6\ F^{0.333}\ (x)^{0.667}}{u}$$

ระยะลอยขึ้นของพลูมสุดท้ายเกิดขึ้นที่ระยะใต้ลม x ซึ่งเท่ากับ $3.5x^*$

สำหรับระยะลอยขึ้นของพลูมสุดท้ายภายใต้สภาวะบรรยากาศแบบมีเสถียร (แบบ E และ F)

$$\Delta h = 2.4 \left(\frac{F}{us}\right)^{0.333}$$

โดยที่ F = Buoyancy Flux , $ม^4/วท^3$

$$= \frac{gV_s}{\pi} \left(1 - \frac{T}{T_s} \right)$$

x^* = $14\ F^{0.625}$ เมื่อ $F < 55$

x^* = $34\ F^{0.4}$ เมื่อ $F \geq 55$

s = ตัวบัดการคงตัว

$$= \frac{g}{T} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)$$

$\partial\theta/\partial z$ = แกรเดียนท์อุณหภูมิแนวดิ่งในบรรยากาศ

= 0.02 °K/ม. เมื่อบรรยากาศจัดอยู่ในสภาวะแบบ E

= 0.035°K/ม. เมื่อบรรยากาศจัดอยู่ในสภาวะแบบ F

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , 9.8 ม./วท.

T = อุณหภูมิบรรยากาศ , °K

T_s = อุณหภูมิก๊าซระบายออก , °K

V_s = อัตราการไหลของก๊าซระบายออก , ลบ.ม./วท.

สมการหาระยะลอยขึ้นของพลูมเนื่องจากโมเมนตัมเป็นดังนี้

$$\Delta h = \frac{3dv}{u}$$

โดยที่ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของปล่องไฟ , ม.

v = ความเร็วของก๊าซระบายออก , ม./วท.

u = ความเร็วลมเฉลี่ย , ม./วท.

2.2 กระบวนการที่ใช้ในการกลั่นน้ำมัน

กระบวนการกลั่นน้ำมัน มิได้หมายความเพียงการกลั่นน้ำมันดิบเพียงอย่างเดียว แต่หมายความรวมตั้งแต่การเตรียมน้ำมันดิบ การกลั่นน้ำมันดิบ การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ได้ การกำจัดพวกซัลเฟอร์ การฟอกสีและการผสม ทั้งหมดนี้เพื่อที่จะให้ได้ผลผลิตออกมาตามที่ต้องการ ซึ่งอาจจะเป็นก๊าซหุงต้ม, น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ เครื่องบิน,

น้ำมันเครื่อง, ขี้ผึ้ง และยางมะตอย เป็นต้น

กระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการกลั่นน้ำมัน สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. กระบวนการที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการปฏิบัติการเฉพาะหน่วย (Physical Changers or Unit Operations)

2. กระบวนการที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือการเปลี่ยนแปลงรูป (Chemical Changes or Conversions)

ซึ่งสามารถรวมกันพิจารณาเป็นกระบวนการผลิตหลัก 4 ขั้นตอน คือ

1. การแยก (Separation) เป็นการแยกน้ำมันดิบชนิดต่าง ๆ ให้เป็นส่วน ๆ ที่เราต้องการ โดยการกลั่นแบบต่าง ๆ เช่น กลั่นลำดับส่วน, กลั่นภายใต้สูญญากาศ เป็นต้น ผลผลิตได้แก่ เบนซิน, น้ำมันก๊าด, น้ำมันเตา เป็นต้น

2. การแปลงรูป (Converting) เนื่องจากส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการแยกอาจจะไม่ตรงกับความต้องการของตลาดเสมอไป บางตัวอาจจะต้องการใช้น้อย บางตัวอาจจะต้องการใช้มาก จึงต้องมีการแปลงรูปให้อยู่ในสภาพที่ตลาดต้องการใช้ เช่น ต้องมีการทำให้แตกออก (Cracking), การรวมกันเข้าเป็นโมเลกุลใหญ่ (Polymerization) หรือการจัดรูป (Reforming) ของโมเลกุลเดิม เป็นต้น

3. การดัดแปลง (Treating) วัตถุดิบ หรือผลผลิตบางตัวที่มีสารที่ไม่ต้องการเจือปนอยู่ เช่น ซัลเฟอร์ จะทำให้ประสิทธิภาพของการกลั่นต่ำ จึงต้องมีการดัดแปลงเสียก่อน เช่น กระบวนการ Hydrotreating เป็นต้น

4. การผสม (Blending) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะทำให้ผลผลิตที่ได้ตรงตามข้อกำหนดที่ตลาดต้องการอย่างสมบูรณ์ มีการผสมสารบางตัวเพื่อให้ผลผลิตออกมามีคุณภาพสูง เช่น เติมเตตระเอธิลเลด (TEL) เพื่อให้น้ำมันเบนซินมีออกเทนนัมเบอร์สูงขึ้น เป็นต้น

รูปที่ 2.1 แสดงถึงหน่วยผลิตในโรงกลั่นน้ำมันศึกษาและแหล่งปล่อยมลสารสู่บรรยากาศ โดยทั่วไปมลสารที่ระบายออกจากโรงกลั่นน้ำมันแต่ละแห่งจะแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณมลสาร เนื่องจากความแตกต่างกันของน้ำมันดิบที่ใช้ , กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิต , ระบบควบคุมอากาศเสียของโรงงานและความเอาใจใส่ดูแลรักษาโรงงาน มลสารที่สำคัญได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ , ไนโตรเจนออกไซด์ , ไฮโดรคาร์บอน , คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารที่ทำให้เกิดกลิ่น นอกจากนั้นยังมีฝุ่นละออง , อัลดีไฮด์ , แอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ต่างๆเป็นต้น และตารางที่ 2.1 ได้แสดงถึงแหล่งกำเนิดของมลสารชนิดต่างๆจากโรงกลั่นน้ำมัน

2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่ไวไฟ ไม่เป็นวัตถุระเบิดที่ระดับ 0.3 ส่วนในล้านส่วน ถึง 1.0 ส่วนในล้านส่วน ในบรรยากาศ คนส่วนใหญ่จะรับสัมผัสด้วยการชิมและที่ระดับสูงกว่า 3 ส่วนในล้านส่วนจะมีกลิ่นฉุนรบกวนประสาท

ส่วนใหญ่ของสารประกอบซัลเฟอร์อื่น ๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ ซัลเฟอร์-ไดออกไซด์, กรดซัลฟูรัส, กรดซัลฟูริก และเกลืออื่น ๆ ของกรดทั้งสอง

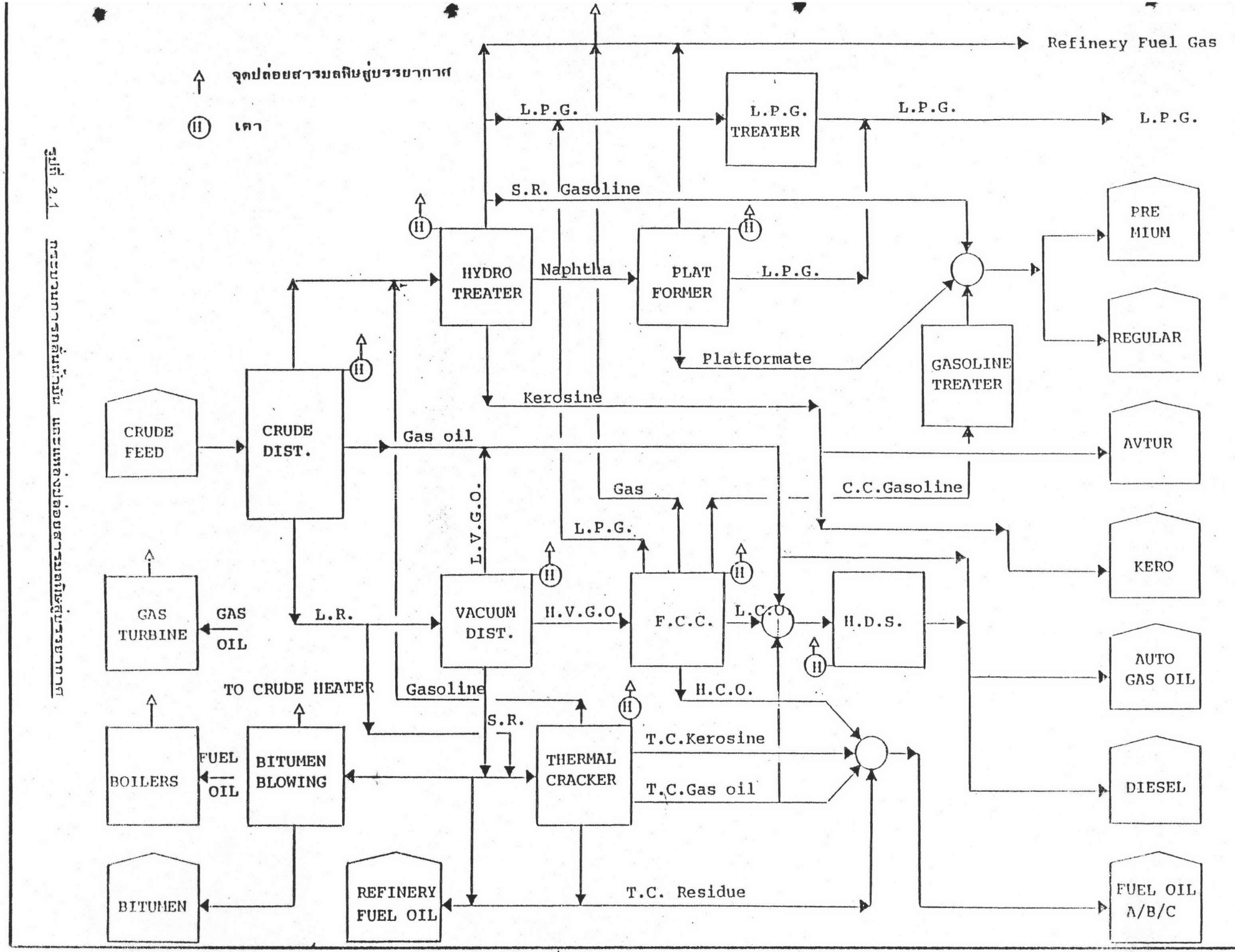
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกเติมออกซิเจนในบรรยากาศ แล้วเกิดเป็นซัลเฟอร์-ไตรออกไซด์ เมื่อมีความชื้นเพียงพอในบรรยากาศก็จะรวมตัวกันโดยไวเกิดเป็นกรดซัลฟูริก

เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เปลี่ยนรูปไปเป็นกรดซัลฟูริก จะเป็นเหตุให้โลหะผุกร่อนเร็วกว่าปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะเหล็ก และสังกะสี เมื่อมีฝุ่นละออง ความชื้น

2.3.1 ผลของสารประกอบซัลเฟอร์ในบรรยากาศต่อคน

เมื่อร่างกายได้รับก๊าซนี้จะเกิดผลต่อ

ก. ประสาทสัมผัส Dubroskaya (1957 : 37-51) รายงานว่าจะเริ่มได้กลิ่นที่ระดับ 0.8-1 ส่วนในล้านส่วน แต่ Manufacturing Chemists Association รายงานค่าที่คนเริ่มได้กลิ่นต่ำถึง 0.47 ส่วนในล้านส่วน



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตและจุดปล่อยสารมลพิษสู่บรรยากาศ

ตารางที่ 2.1 Potential Sources of Specific Emissions from Oil Refinery

Emission	Potential Sources
Oxide of Sulfur	Boiler, process heater, catalytic cracking unit, regenerator, treating unit, H2S flare, decoking operation.
Hydrocarbon	Loading facility, turnaround, sampling, storage tank, wastewater separator, blowdown system, catalyst regenerator, pump, valve, blind changing, cooling tower, vacuum jet, barometric condensor, air-blowing, high pressure equipment handling volatile hydrocarbon, process heater, boiler, compressor engine.
Oxide of nitrogen	Process heater, boiler, compressor engine, catalyst regenerator, flare.
Particulate matter	Catalyst regenerator, boiler, process heater, decoking operation, incinerator.
Aldehyde	Catalyst regenerator
Ammonia	Catalyst regenerator
Odor	Treating unit (air-blowing, steam-blowing), drain, tank vent, barometric condensor sump, wastewater separator.
Carbon monoxide	Catalyst regenerator, decoking, compressor engine, incinerator.

ที่มา : Jones H.R.,Pollution Control in the Petroleum Industry,1973

นอกจากนี้ Bushtueva et al.(1961 : 72-79) ยังรายงานการเกิดความผิดปกติกับสายตาและการทำงานของประสาทส่วนอื่นๆอีกด้วย

ข. การทำงานของปอด Sim และ Pattle (1957 : 1908-1913) ได้รายงานการเกิดแรงต้านทานในระบบทางเดินอากาศเพิ่มขึ้น โดยพบว่าบางรายมีอาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของชีพจร การหายใจ ปริมาณอากาศในการหายใจ หรือความดันโลหิต เมื่ออยู่ในภาวะดังกล่าวนานถึงเดือน บางคนจะเกิดอาการแพ้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และละอองไอกรดซัลฟูริก หรือเริ่มเจ็บหน้าอกกลายเป็นโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง และมีอาการทรุดลงพร้อมกับไอและหอบ

Frank et al.(1962 : 252-258) กล่าวว่าแรงต้านในทางเดินหายใจจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซเมื่อรับก๊าซนั้นในระยะเวลาอันสั้น ไม่ได้สัมพันธ์กับค่าผลคูณระหว่างความเข้มข้นกับระยะเวลา

ค. การดูดซึมในจมูก Frank และ Speizer (1964 : 132) รายงานว่าเยื่อหุ้มจมูกจะดูดซึมก๊าซนี้และลดความเข้มข้นของก๊าซในจมูกลง

ง. การขับเสมหะในทางเดินหายใจ Cralley (1942 : 193-198) รายงานว่าอัตราการขับเสมหะออกจากทางเดินหายใจจะลดลง

2.3.2 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในด้านระบาดวิทยา

Joosting (1967 : A739-A747) ระบุค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะเป็นอันตรายถึงชีวิตและเกิดเป็นโรคไว้ เมื่อเกิน 400-500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.15-0.19 ส่วนในล้านส่วน) ทั้งนี้เมื่อมีเขม่าปนอยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก

McCarroll and Bradley (1967 : 178-184) ศึกษาภัยพิบัติเรื่องอากาศเป็นพิษ ณ กรุงนิวยอร์ค และรายงานว่า อัตราผู้ตายมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และควัน และผู้ที่มีอายุระหว่าง 45 ถึง 64 ปี และผู้มีอายุสูงกว่า 65 ปี เป็นกลุ่มคนที่มีอัตราตายสูงที่สุด

จากผลการศึกษาในอังกฤษ Lawther (1963 : 341-344) ระบุว่าอัตราการตายจะเพิ่มขึ้นพอเป็นที่สังเกตได้ เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 715 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ประมาณ 0.25 ส่วนในล้านส่วน) เมื่อมีควันอยู่ 750 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรด้วย และผู้ที่ได้รับอันตราย คือ ผู้สูงอายุ, ผู้ป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจ และโรคหัวใจ

Sterling et al (1966 : 158-170) แจ้งว่าโรคแพ้ , ตาอักเสบ , ทางเดินหายใจส่วนบนอย่างเฉียบพลัน , ไข้หวัดใหญ่ , หลอดลม จะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นประจำวันของออกซิแดนท์ , คาร์บอนมอนอกไซด์ , ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ , กรดไนตริก , ออกไซด์ของไนโตรเจน , โอโซน และฝุ่นละออง

McCarrol et al (1967 : 178-184) ระบุว่า ก๊าซนี้และฝุ่นละอองจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอาการระคายตามากกว่าอาการไอ

Buck and Wicken (1964) สรุปไว้ว่า มีแนวความสัมพันธ์ระหว่างอากาศเสียกับการเกิดโรคมะเร็งในปอด และโรคหลอดลม ที่ย่าน Eston ในอังกฤษ

Dohan (1961 : 387-395) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคทางเดินหายใจในสตรี กับความเข้มข้นของซัลเฟตในเมือง ไม่พบว่าโรคปอดบวม, หืด และไซนัสมีความสัมพันธ์กันกับซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ British Ministry of Pensions and National Insurance (1965) รายงานเพิ่มเติมอีกว่า นอกเหนือจากโรคหลอดลมอักเสบแล้ว ไข้หวัดใหญ่, ไขข้ออักเสบ, และรูมาติซึ่ม ยังมีความสัมพันธ์กับอากาศเสียอีกด้วย

การศึกษาในเรื่องผลระยะยาวที่เกิดขึ้นต่อเด็ก Douglas และ Waller (1966 : 1-8) ในประเทศอังกฤษ ได้ผลสรุปมีสาระสำคัญดังนี้

1. โรคทางเดินหายใจส่วนบน ไม่มีความสัมพันธ์กับอากาศเสีย ยกเว้นแต่โรคทางเดินหายใจส่วนล่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์ Lunn et al (1967 : 7-16) ได้ทำการวิจัยและได้ผลสอดคล้องกัน

2. ความบ่อยและความรุนแรงของโรคทางเดินหายใจส่วนล่างนั้นเพิ่มขึ้น เมื่ออากาศเสียมากขึ้น เกิดขึ้นทั้งเพศหญิงและชาย โดยไม่แสดงความแตกต่าง ระหว่างเด็กในครอบครัวชนชั้นกลางกับชนผู้ใช้แรงงาน

อย่างไรก็ตาม Lunn et al (1967 : 7-16) ยังได้สรุปความเพิ่มเติมอีกว่า ระดับอากาศเสียสัมพันธ์กับโรคทางเดินหายใจส่วนบนเรื้อรัง และยังส่งผลต่อการทำงานของปอดอีกด้วย

2.4 แบบจำลองคุณภาพอากาศ

วิธีการหนึ่งของการศึกษาการกระจายความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ คือ การใช้แบบจำลอง แบบจำลองคุณภาพอากาศ มี 2 ประเภท คือ แบบจำลองทางกายภาพ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เองยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบสถิติ (Statistical) และแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) แบบจำลองที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปใน UNAMAP (User's Network for Applied Modelling of Air Pollution) ของ USEPA ซึ่งมีทั้งหมด 31 โมเดล ทุก ๆ โมเดลใช้หลักการพื้นฐานเดียวกัน คือ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติ (Statistical Mathematical Model) อย่างไรก็ดี แบบจำลองคุณภาพอากาศ (Air Quality Model) มิใช่มีไว้เพื่อแทนที่การตรวจวัดจริง แต่ทำให้เกิดความเข้าใจที่ดีขึ้นว่าถ้าเกิดสภาพการณ์ต่างๆเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ความเข้มข้นของสารมลพิษที่จุดต่าง ๆ จะเป็นอย่างไร และการตั้งจุดตรวจวัดควรจะเป็นที่จุดไหน เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วไม่มีข้อจำกัดว่าควรจะใช้แบบจำลองใดหรือของประเทศใด เนื่องจากว่ายังไม่มีแบบจำลองใดในโลกซึ่งสามารถใช้ได้กับทุกสถานการณ์

ตารางที่ 2.2 สรุปลักษณะเฉพาะของโปรแกรมสำเร็จรูปใน UNAMAP ซึ่งชี้ว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ "CRSTER" และ "VALLEY" เป็นแบบจำลองประเภท "Guideline Models" ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดทางอุตสาหกรรมและกับลักษณะภูมิประเทศซึ่ง

ต่อจากนี้ไปจะได้อธิบายถึงรายละเอียดแบบจำลอง "PTMAX" , "VALLEY" และ "CRSTER" ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะของโปรแกรมสำเร็จรูปใน UNAMAP

TYPE	MODEL	TYPE OF SOURECS				TIME PERIOD		STATUS		REMARKS
		SINGLE STACK	MULTIPLE STACKS	AREA & STACKS	POINT-LINE-AREA	1-24 HR	ANNUAL	URBAN	RURAL	
GUIDELINE MODELS	RAM			*		*		*		
	RAMMET									MET. PROG.
	CRSTER		*			*	*		*	
	CDM			*			*			
	CDMQC			*			*			
	APRAC									FOR CO
	HIWAY									FOR HIGHWAY
	VALLEY			*		*	*	*	*	
	TEM8			*		*				
	TCM2			*			*			
NON-GUIDELINE MODELS	PAL				*	*				
	PTPLU	*				*				
	MPTER		*			*			*	
	HIWAY2									FOR HIGHWAY
	COMPLEXII		*			*				
	COMPLEXI		*			*				
	BLP									STATIONARY LINE SOURCE
	ISCST				*	*				
	ISCLT				*		*			
	MPTDS		*			*				
	PALDS				*	*				
	APRAC3									VEHICULAR TRAFFIC
	SHORTZ			*		*		*	*	
	LONGZ			*			*	*	*	
	COMPLEX/ PLF		*			*				
	MESOPAC									MET. PROG. FOR REGIONAL SCALE
	MESOPUFF									
	MESOPLUME									
	MESOFILE									
	ROADWAY									ROADWAY APPLICATION
	ROADCHEM									

015792

2.4.1 รายละเอียดแบบจำลอง ชื่อ "PTMAX"

2.4.1.1 ลักษณะและจุดมุ่งหมาย

PTMAX เป็นแบบจำลองเกาส์เสียนพลูมที่สภาวะคงที่ (Steady-state Gaussion plume model) กับลักษณะภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ ใช้วิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับพื้นดินในเวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จากแหล่งกำเนิดแบบจุดเพียงแหล่งเดียวเป็นฟังก์ชั่นของสภาพความคงตัวของบรรยากาศ (มี 6 แบบตามการแบ่ง โดย Turner (1970) และความเร็วลม สำหรับกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแบบจุดหลาย ๆ แหล่ง แบบจำลองนี้จะคำนวณหาความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับพื้นดินเนื่องจากแต่ละแหล่ง โดยไม่สามารถให้ผลลัพธ์รวมเนื่องจากทุก ๆ แหล่งได้

สมการการแพร่กระจายที่ใช้เป็นดังนี้ คือ

$$\chi(x,0,0;H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp[-1/2\ (H/\sigma_z)^2\ ]$$

โดยที่ $\chi(x,y,z;H)$ = ความเข้มข้นของมลสารที่จุด x,y,z ; มคก./ลบ.ม.

Q = อัตราการระบายมลสารจากแหล่งกำเนิด , มคก./วท.

σ_y , σ_z = สัมประสิทธิ์ของการกระจายในแนวแกน y และ z , ม.

2.4.1.2 ข้อสมมุติฐาน

1) การหาระยะลอยขึ้นของพลูม (Plume rise) ใช้สมการของบริกกส์ (1969)

2) ลมมีทิศทางพัดจากแหล่งกำเนิดไปยังจุดรับมลสาร โดยสมมุติให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอ และไม่แปรไปตามความสูง

3) ใช้กับมลสารเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมีในบรรยากาศ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4) ไม่ได้คำนึงถึงความเข้มข้นมลสารเดิม (Background concentration)

5) คิดว่าพื้นดินเป็นแนวขอบเขต (Boundary) ที่ให้การสะท้อนกลับของมลสารได้อย่างสมบูรณ์ และคิดว่าระยะความสูงของการผสม (mixing height) สูงมากจนไม่ต้องคำนึงถึงการสะท้อนกลับของมลสารเนื่องจากแนวขอบเขตนี้

2.4.2 รายละเอียดแบบจำลอง ชื่อ "VALLEY"

2.4.2.1 ลักษณะและจุดมุ่งหมาย

แบบจำลอง "VALLEY" เป็นแบบจำลองแสดงการแพร่กระจายพลูมแบบเกาส์เสียนที่สภาวะคงที่ (Steady-state Gaussian plume dispersion model) สำหรับแหล่งกำเนิดแบบจุดหรือแบบพื้นที่ซึ่งอยู่กับที่ (stationary source) แบบจำลองนี้คำนวณผลความเข้มข้นจากมลสารที่ระดับพื้นดิน สำหรับช่วงเวลา 24 ชั่วโมง หรือ 1 ปี ตามแต่ผู้ใช้จะระบุจาก array สภาพการคงตัวของบรรยากาศทั้งหมด 6 แบบ ทิศทางลม 16 ทิศทาง และความเร็วลม 6 แบบ ที่มีต่อจุดรับมลสารทั้งหมด 112 จุด ตามแนวทิศทางลม 16 ทิศทาง และในแนวทิศทางหนึ่ง ๆ กำหนดตำแหน่งจุดรับมลสารตามระยะทาง (radial grid) ได้สูงสุด 7 จุด

ขอบเขตการใช้งานแบบจำลองนี้ ประกอบด้วยแฟกเตอร์ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อใช้ประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในระยะเวลา 24 ชั่วโมงกับลักษณะภูมิประเทศซึ่งไม่เป็นที่ราบในชนบท แต่อย่างไรก็ตามอาจใช้ประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในช่วงระยะเวลา 1 ปี สำหรับลักษณะภูมิประเทศ

ซึ่งไม่เป็นที่ราบ หรือเลือกใช้กับโมด (mode) เมือง ซึ่งคิดว่าลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและอาจใช้กับกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแบบจุดหลายแหล่งอยู่ใกล้ ๆ กันได้ ถ้ามีการแปลความหมายผลลัพธ์ที่ได้อย่างระมัดระวัง

2) ข้อมูลของปริมาณการระบายอากาศเสีย เป็นค่าเฉลี่ยตามช่วงระยะเวลาที่สนใจ เช่น 24 ชั่วโมง หรือ 1 ปี และสมมุติว่า ข้อมูลของปริมาณการระบายกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ในกรณีที่มีสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาหลาย ๆ ลักษณะ

3) จำกัดจำนวนแหล่งระบายอากาศเสียได้สูงสุด 50 แหล่ง โดยอาจเป็นแหล่งกำเนิดแบบจุดหรือแบบพื้นที่

4) แบบจำลองนี้ใช้ได้กับมลสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาและอัตราการตกแยกตัวออก (Deposition Rate) มีน้อยมากจนตัดทิ้งได้ แต่อย่างไรก็ตามอาจเลือกใช้ค่าครึ่งชีวิตของมลสารซึ่งความเข้มข้นของมลสารลดลงอย่างเอ็กซ์โพเนนเชียลกับเวลา ทั้งนี้มิใช่เป็นการลดลงเนื่องจากการแพร่กระจาย

5) จำกัดจำนวนจุดรับมลสารไว้ 112 ตำแหน่ง

ลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองนี้ คือ การคำนึงถึงระดับความสูงต่ำของพื้นดินต่อค่าความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นดิน ในสภาวะอากาศแบบมีเสถียร แบบจำลองนี้ได้สมมุติว่า ความสูงของพลูมเหนือฐานปล่องมีค่าคงที่ตลอดระยะที่พลูมเคลื่อนที่ไป ดังนั้นเมื่อตำแหน่งจุดรับมลสารที่ไกลออกไปมีระดับความสูงของพื้นดินที่สูงกว่า จะเป็นผลให้ความสูงของพลูมลดลง เนื่องจากว่าระดับความสูงต่ำของพื้นดินที่ตำแหน่งจุดรับมลสารแต่ละตำแหน่งอาจแตกต่างกันได้ ฉะนั้นจึงต้องคำนวณความสูงของพลูมประสิทธิ์ที่แต่ละตำแหน่งของจุดรับมลสาร ค่าความเข้มข้นของมลสารจะได้รับการประเมินราวกับว่าจุดรับมลสารอยู่ที่ระดับความสูงนั้นจริงๆ อย่างไรก็ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของพลูมต้องอยู่ห่างจากระดับพื้นดินไม่น้อยกว่า 10 เมตร ถ้าพลูมปะทะภูเขา แนวเส้นผ่านศูนย์กลางของพลูมจะปรับแต่งเพื่อทำให้คงอยู่ห่างจากพื้นเขา 10 เมตร และถ้าความสูงของพลูมเริ่มแรกอยู่ภายใน 10 เมตรจากระดับพื้นดินแล้ว ในระหว่างสภาพความคงตัวของบรรยากาศแบบมีเสถียร แบบจำลองนี้สมมุติว่า ความสูงของพลูมจะคงที่เท่าเดิมโดยไม่คำนึงถึงระดับของพื้นดินใต้ลม ดังแสดงในรูปที่

2.2 ล่าง ได้สมมุติว่า พลูมมีทิศทางหักขึ้นบนและลอยขนานไปกับสันเขา ไม่มีการคิดว่าความเข้มข้นของมลสารอาจมีการเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการหักของพลูม ผลจากการหักของพลูมทำให้ความเข้มข้นของมลสารตามสันเขาที่สูงขึ้นลดลงด้วยแฟกเตอร์ค่าหนึ่งโดยที่มีค่าเป็นหนึ่ง ณ ตำแหน่งที่พลูมเริ่มปะทะกับภูเขาและมีค่าเป็นศูนย์ ณ ตำแหน่งที่เท่ากับ 400 เมตรจากระดับแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของพลูมที่เป็นอิสระ การลดลงของค่าความเข้มข้นของมลสารนี้ไม่ได้หมายถึงการสลายตัวของมลสาร หรือเนื่องจากการแพร่ซึมของมลสารเข้าสู่เนื้อดิน แต่เป็นการแสดงผลเชิงเอ็มไพริกัลของการกันการไหล(Blocking)ของอากาศเนื่องจากลักษณะความสูงต่ำของพื้นดิน

ในสภาวะแบบสะเทินหรือแบบไม่เสถียร แบบจำลองนี้คิดว่าความสูงของพลูมเหนือระดับพื้นดินมีค่าคงที่ตลอดระยะที่พลูมเคลื่อนที่ไป โดยที่พลูมลอยขนานไปกับพื้นดิน ไม่ว่าลักษณะของพื้นดินจะเป็นอย่างไรก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 บน

สมการการแพร่กระจายที่ใช้ในแบบจำลองพัฒนามาจากสมการการแพร่กระจายแบบเกาส์เสียน

$$\chi(x,y,0;H,L) = 2.03 * 10^{6} Q K ((c-y)/c) ((401-D)/400)C * \sum_{N=-J}^{+J} \exp\{-0.5[(H+2NL)/\sigma_z]^2\} * \{\exp[-(0.693x_p)/(3600 u I)]\}/(\sigma_z ux) \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

χ = ความเข้มข้นของมลสาร, ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือส่วนในล้านส่วน

x = ระยะทางตามแนวลมระหว่างแหล่งกำเนิดกับจุดรับมลสาร สำหรับแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดแบบจุดประสิทธิ์ถึงจุดรับมลสาร, เมตร

y = เป็นระยะทางตามแนวขวางลมของจุดรับมลสาร, เมตร

H = ความสูงของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางพลูมเหนือจุดรับมลสาร, เมตร

L = ชั้นความสูงที่เกิดการผสม, เมตร

Q = อัตราเฉลี่ยของการระบายมลสารจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที

c = ความยาวของส่วนโค้งในแนวขวางลมของมุม 22.5°

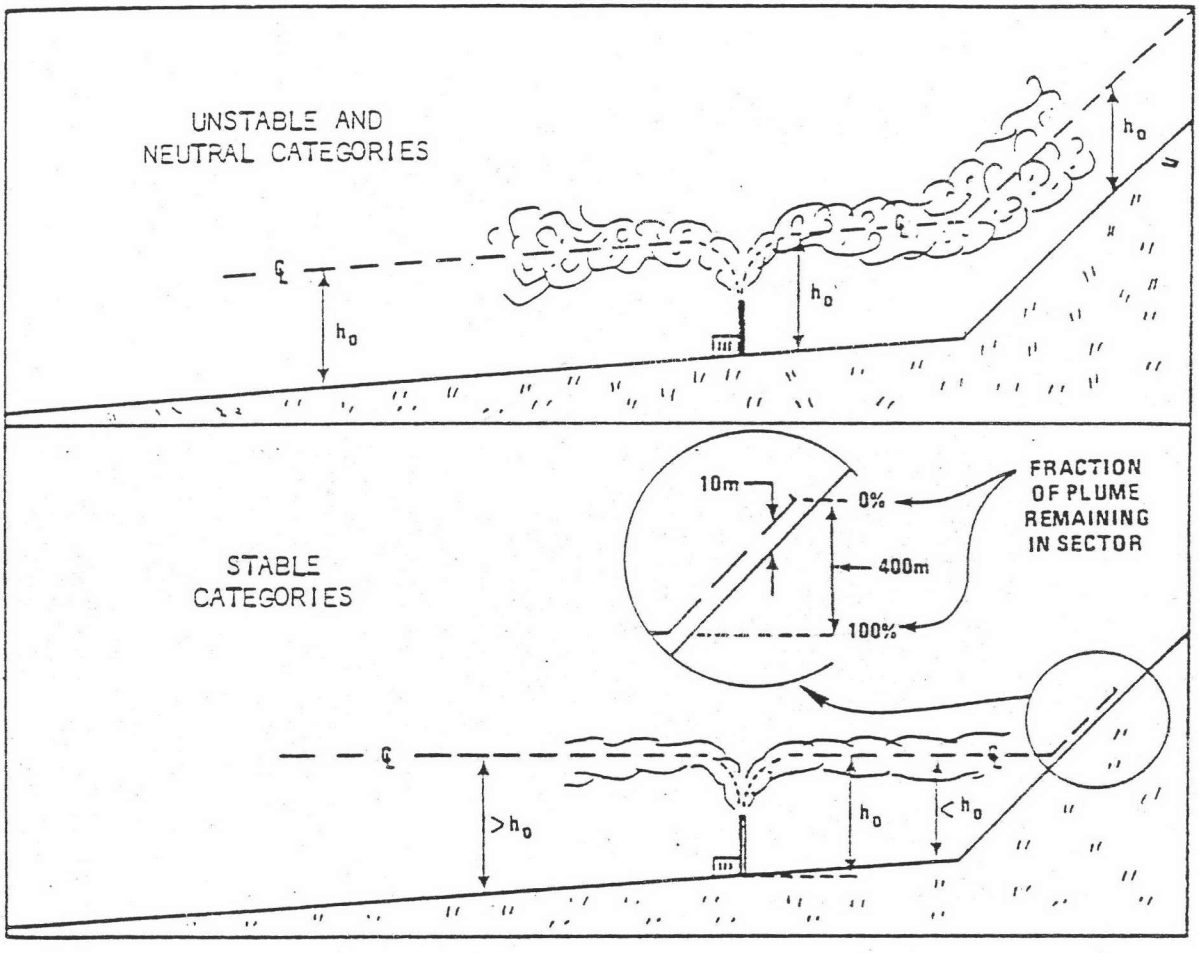


Figure 2.2 Depiction of Plume Height in Complex Terrain, as in the Valley Model. h_o is the Height of the Plume at Final Rise Above Ground for the Unstable and Neutral Cases and Above Stack Base for the Stable Cases. Plumes are Shown for Flows Toward and Away from Elevated Terrain.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

D = ผลต่างระหว่างระดับความสูงของพื้นดินที่ตำแหน่งของจุดรับมลสารกับความสูงของพลูม, เมตร
สำหรับสภาวะความคงตัวของบรรยากาศแบบมีเสถียร $1 \leq D \leq 401$ เมตร
สำหรับสภาวะความคงตัวของบรรยากาศแบบสะเทินและไม่มีเสถียร D = 1 เมตร

C = ค่าคงที่เปลี่ยนหน่วยของ χ โดยที่
C = 1 ถ้า χ เป็นไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
$C = 0.0831\ T/(MP)$ ถ้า χ เป็นส่วนในล้านส่วน
โดยที่ T เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ, °k
M เป็นน้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส, กรัม/โมล
P เป็นความดันบรรยากาศ, มิลลิบาร์

K = ค่าคงที่สำหรับเปลี่ยนหน่วยเป็นที่สภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน
$K = 1013.2\ T/(298\ P)$

$|N|$ = จำนวนของการสะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์ (perfect reflection) ของลำอากาศก่อนที่จะถึงตำแหน่งจุดรับมลสาร

σ_z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายมลสารตามแบบเกาส์เสียนในแนวดิ่ง

x_p = ระยะทางจากจุดรับมลสารถึงแหล่งกำเนิดแบบจุดหรือถึงจุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ในแนวตามลม, เมตร
สำหรับแหล่งกำเนิดแบบจุด $x_p = x$

u = ความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลต่อพลูม, เมตร/วินาที

I = ครึ่งชีวิตของมลสาร, ชั่วโมง

$J \leq 5$

เทอมผลบวกในสมการที่ (1) อธิบายถึงความเข้มข้นในระหว่างสภาวะที่การกระจายของพลูมมีลักษณะเป็นแบบแทร็พพิง (trapping) ที่ระยะทางใต้ลมซึ่งมี $\sigma_z \geq 2L$ แบบจำลองจะใช้สมการที่ (2) ประมาณค่าความเข้มข้นของมลสารแทนสมการที่ (1) เพราะในสภาพดังกล่าว ผลการคำนวณความเข้มข้นของมลสารจากสมการที่ (1) จะได้ต่ำกว่าที่เป็นจริง หรือมิฉะนั้นแล้วจะต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้น

$$\chi(x,y,0;H,L) = 2.55 * 10^{6}\ Q\ K\ ((c-y)/c)\ ((401-D)/400)C$$
$$*\{\exp[-(0.693\ x_p)/(3600\ u\ I)]\}/(Lux) \qquad (2)$$

ค่าคงที่ 2.03 ในสมการที่ (1) ประกอบขึ้นด้วยแฟกเตอร์ $\frac{2}{\sqrt{2\pi}\ 2\pi/16}$ แฟกเตอร์นี้ได้มาจากการแปลงสมการการกระจายแบบเกาส์เสียนในแนวนอนและแนวตั้งไปเป็นมุมกวาด 22.5° (กล่าวคือ $2\pi/16$) การแปลงนี้เป็นผลให้ได้ความเข้มข้นที่สม่ำเสมอตลอดเซกเตอร์ของลมที่ระยะห่างและความสูงที่กำหนดให้

เพื่อการขจัดความไม่ต่อเนื่องของความเข้มข้นระหว่างเซกเตอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเซกเตอร์ที่อยู่ติดกันมีความถี่ของลมต่างกัน จึงทำให้จำเป็นต้องมีแฟกเตอร์ $(c-y)/c$ โดยที่ $y \leq c$ ผลที่เกิดขึ้น คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดเซกเตอร์ลดลงจากค่า 100 % ที่แนวศูนย์กลางเซกเตอร์ จนเป็น 0 ที่ประมาณแนวศูนย์กลางของเซกเตอร์ที่อยู่ติดกันทั้งสองข้าง

σ_z คำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$\sigma_z = ax_p^{b} + d \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

โดยที่ a, b และ d เป็นค่าคงที่ขึ้นกับสภาพการคงตัวของบรรยากาศ และที่ระยะทางตามลมต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ค่า σ_z สำหรับความสูงของปล่องที่น้อยกว่า 50 เมตร จะเป็น σ_z' โดยที่

$$\sigma_z' = (\sigma_z^{2} + SIGI^{2})^{1/2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$
$$SIGI = (50 - \text{ความสูงของปล่อง}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$0 \leq SIGI \leq 30$ เมตร ในระหว่างสภาพความคงตัวของบรรยากาศแบบไม่เสถียรและแบบสะเทิน

ในแบบจำลองนี้ สมการหาระยะลอยขึ้นของพลูม (Plume Rise) เป็นไปตามสมการซึ่งบริกกส์ ได้ให้ไว้ ซึ่งอาจให้เป็นฟังก์ชั่นขึ้นกับสภาพการคงตัวของบรรยากาศหรือเป็นค่า

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวดิ่ง

$x_p \geq 1000$ m

STABILITY	A	B	C	D	E	F
a	0.001	0.0476	0.119	2.61	52.6	33.6
b	1.89	1.11	0.915	0.45	0.15	0.14
d	9.6	2.0	0	-25.5	-126.0	-75.0

100 m $\leq x_p <$ 1000 m

STABILITY	A	B	C	D	E	F
a	0.001	0.0476	0.119	0.187	0.1345	0.362
b	1.89	1.11	0.915	0.755	0.745	0.55
d	9.6	2.0	0	-1.4	-1.1	-2.7

$x_p <$ 100 m

STABILITY	A	B	C	D	E	F
a	0.1742	0.1426	0.1233	0.0804	0.06	0.0434
b	0.936	0.922	0.905	0.881	0.854	0.814
d	0	0	0	0	0	0

ที่มา : VALLEY Model User's Guide

คงที่ซึ่งผู้ใช้กำหนดขึ้นแบบใดแบบหนึ่ง

ความเข้มข้นของมลสารในลำอากาศที่กำหนดให้ลำหนึ่ง จะถูกลดลง 50 % ตามค่าครึ่งชีวิต I โดยการลดลงนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปไป (Transformation) ของมลสาร มิใช่เป็นผลจากการเจือจางหรือการแพร่กระจายของมลสาร

ในสมการที่ 1 เมื่อ N = 0 จะหมายถึงสภาวะที่บรรยากาศมีสภาพความคงตัวแบบไม่เสถียร ผลบวกของ N อื่น ๆ จะเป็นผลเนื่องจากพลูมถูกกักไว้ระหว่างฐานของชั้นอินเวอร์ชันกับผิวโลก ซึ่งสภาวะนี้เรียกว่า พลูมแทร็พพิง (Plume Trapping) สมการที่ 2 จะถูกนำมาใช้เมื่อโพร์ไฟล์ความเข้มข้นในแนวดิ่งมีค่าเท่ากันตลอด แบบจำลองนี้จะไม่คำนึงถึงแนวศูนย์กลางของพลูมที่อยู่เหนือชั้นที่เกิดการผสมในการหาความเข้มข้นของมลสารเนื่องจากแหล่งกำเนิดนั้นที่ระดับพื้นดินในช่วงเวลาเฉลี่ย 1 ปี แต่ในช่วงเวลาสั้น ๆ แบบจำลองนี้จะจำกัดความสูงของพลูมไม่ให้เกินกว่าชั้นความสูงที่เกิดการผสม (Mixing Height)

ชั้นความสูงที่เกิดการผสมในสภาวะการคงตัวของบรรยากาศแบบสะเทินในเวลากลางวัน ทั้งสภาพภูมิประเทศแบบชนบทหรือแบบเมือง จะเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาบ่าย แต่สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบชนบทในเวลากลางคืน ชั้นความสูงที่เกิดการผสมเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเฉลี่ยของเวลาบ่าย และสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบเมืองในเวลากลางคืนจะเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาบ่ายและของเวลากลางคืน และในสภาวะการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัวสำหรับภูมิประเทศแบบเมืองจะเป็นค่าชั้นความสูงที่เกิดการผสมของเวลากลางคืน

2.4.2.2. ข้อจำกัดของแบบจำลอง

(1) ใช้สมการพื้นฐานเกาส์เสียนเป็นหลักในการแสดงพฤติกรรมของพลูม ข้อมูลสนามที่ใช้สำหรับหาพารามิเตอร์การกระจายของพลูม ได้มาจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ โล่ง ไม่มากกว่า 2-3 กิโลเมตร ทำให้แบบจำลองนี้มีจุดอ่อน คือ

ก. พฤติกรรมของพลูมที่ลอยผ่านไปเป็นระยะทางเกินกว่า 2 - 3 กิโลเมตร ไม่ชัดเจน

ข. ไม่สามารถคาดการณ์พฤติกรรมของพลูมในบริเวณที่มีลักษณะของอุณหภูมิ และมีความขรุขระของพื้นดินแปรเปลี่ยนไปไม่แน่นอน

ค. แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ถูกจำลองอย่างไม่สมบูรณ์ เป็นแหล่งกำเนิดแบบจุดประสิทธิ์

ง. มีแหล่งกำเนิดแบบจุดที่แท้จริงน้อยมาก

(2) การใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากบริเวณอื่น ซึ่งไกลออกไปจากบริเวณที่ศึกษามาก จะทำให้ความเชื่อถือได้ของผลลัพธ์น้อยลง เพราะว่าลักษณะของบรรยากาศทั้ง 2 บริเวณ อาจแตกต่างกันอย่างมาก

(3) การใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ระดับพื้นดิน เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ไปและการแพร่กระจายของมลสารจากปล่อง ในระหว่างสภาพการคงตัวของบรรยากาศแบบมีเสถียรในพื้นที่ซึ่งไม่ใช่ที่ราบ ทำให้ความเชื่อถือได้ของผลลัพธ์น้อยลง

(4) ข้อมูลปริมาณการระบายและข้อมูลแหล่งกำเนิด เป็นข้อมูลเฉลี่ยตลอดทั้งปี ถ้าข้อมูลทั้งสองมีการแปรเปลี่ยนไปอย่างมาก และเกิดขึ้นเป็นประจำวันหรือประจำฤดู โดยการแปรเปลี่ยนดังกล่าวอาจมีความสัมพันธ์อย่างมากกับสภาพความคงตัวของบรรยากาศและข้อมูลลม จะทำให้ผลการประเมินผิดไป

(5) จำกัดจำนวนจุดรับมลสารไว้เพียง 112 ตำแหน่ง ในระหว่างสภาพความคงตัวของบรรยากาศแบบมีเสถียรในภูมิประเทศซึ่งไม่ใช่ที่ราบ อาจเกิดเกรเดียนท์ความเข้มข้นที่ต่างกันมากในแนวดิ่งบริเวณที่เป็นทางลาด ผู้ใช้ควรตระหนักว่า ความเข้มข้นสูงสุดจริงอาจไม่ได้ตกอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งใน 112 ตำแหน่งดังกล่าวก็ได้

(6) แบบจำลองมิได้ให้ผลการประเมินที่จะต้องเท่ากับผลการตรวจวัดจริงที่ตำแหน่งเดียวกัน

(7) เป็นหลักความจริงที่ว่า ถ้าความเข้มข้นมลสารในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศแล้ว ค่าความเข้มข้นมลสารในช่วงเวลา 1 ปี จะไม่มีทางเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับช่วงระยะเวลาเท่ากัน ดังนั้นแบบจำลอง "VALLEY"

มีจุดมุ่งหมายการใช้งานที่สำคัญที่สุดเพื่อประเมินค่าความเข้มข้นมลสารสูงสุด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับพื้นที่ที่มิใช่ที่ราบ

(8) ตามความจริงแล้ว ถ้าความสูงของพลูมสูงเกินกว่าพื้นที่ที่สนใจเพียงเล็กน้อย มลสารอาจลอยไปตกและก่อปัญหาภาวะมลพิษขึ้นที่บริเวณหลังเขานั้นได้ แต่แบบจำลอง "VALLEY" มิได้จำลองการแพร่กระจายของมลสารในสภาพดังกล่าวนี้

(9) ได้สมมุติว่ามลสารมีการเคลื่อนที่ไปเป็นเส้นตรง ซึ่งตามจริงแล้วลักษณะของพลูมจะเป็นเส้นโค้งตามเกรเดียนท์ความดัน

(10) แบบจำลองนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของ σ_z สำหรับลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ราบกับพื้นที่ซึ่งไม่เป็นที่ราบ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ค่า σ_z สำหรับลักษณะภูมิประเทศซึ่งไม่เป็นที่ราบ มีค่าใหญ่กว่าค่า σ_z สำหรับลักษณะภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ

(11) เนื่องจากลักษณะการสมมุติของพลูมสำหรับสภาพการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่มีเสถียรและแบบสะเทิน ซึ่งคิดเสมือนว่าพื้นที่ด้านใต้ลมเป็นที่ราบ ทำให้ได้ผลการประเมินที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

(12) การแสดงสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของค่าความเข้มข้นจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาหนึ่งไปอีกสภาพหนึ่ง ซึ่งแบบจำลองนี้ได้แก้ไขความไม่ต่อเนื่องนี้เฉพาะในด้านทิศทางลมเท่านั้น

(13) แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสำหรับการประเมินคุณภาพอากาศคาบเกี่ยวทั้งพื้นที่แบบเมืองและแบบชนบท เมื่อพื้นที่แบบชนบทนั้นมีสภาพการคงตัวของบรรยากาศแบบมีเสถียร

(14) จากแนวความคิดว่า พลูมมีลักษณะลาดตามบริกกส์ ทำให้ในการประเมินคุณภาพอากาศช่วงเวลา 1 ปี ถ้าความสูงของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางพลูมเกินกว่าชั้นความสูงที่เกิดการผสมแล้ว จะคิดว่า พลูมของมลสารนั้นจะไม่มีผลกระทบต่อจุดรับที่ระดับพื้นดินทางด้านใต้ลม ทำให้ผลการประมินต่ำไป เนื่องจากว่ามีมลสารจำนวนหนึ่งยังคงอยู่ในชั้นที่เกิดการผสม และจะมีผลต่อจุดรับทางด้านใต้ลมที่อยู่ภายในชั้นที่เกิดการผสมนั้น ในขณะที่มล

สารส่วนที่เหลือจะเคลื่อนที่ไปในหรือสูงกว่าชั้นผิวของบรรยากาศที่มีเสถียรนั้น และยังคงมีศักยภาพที่จะส่งผลกระทบแก่จุดรับมลสารที่อยู่เหนือชั้นผิวของบรรยากาศที่มีเสถียรดังกล่าว

(15) แบบจำลองนี้ไม่สามารถใช้ประเมินลักษณะพลูมแบบฟูมมิเกชั่น (Fumigation) ได้ ซึ่งในบางพื้นที่สภาพพลูมแบบฟลูมมิเกชั่นสามารถเกิดขึ้นได้บ่อย

(16) การปะทะของพลูมแบบเสถียรต่อภูเขา จะได้รับการคำนึงถึงราวกับว่าจุดรับมลสารยืนอยู่บนสันเขา และหันหน้าเข้าหาแหล่งระบายนั้น โดยไม่คำนึงว่าตามจริงแล้วสันเขานั้นมีทิศทางหันไปอย่างไร

2.4.3. รายละเอียดแบบจำลอง ชื่อ "CRSTER"

2.4.3.1. ลักษณะและจุดมุ่งหมาย

แบบจำลอง "CRSTER" เป็นแบบจำลองการกระจายของพลูมแบบเกาส์เสียนที่สภาวะคงที่เพื่อใช้กับแหล่งกำเนิดแบบจุด ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วจะใช้เพื่อการจำลองพฤติการณ์ของพลูมจากปล่องได้สูงสุดจนถึง 19 ปล่อง โดยแบบจำลองนี้จะคำนึงถึงราวกับว่าปล่องต่าง ๆ ทั้งหมดอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน และเหมาะใช้กับลักษณะภูมิประเทศซึ่งไม่เป็นที่ราบ

แบบจำลอง "CRSTER" สมมุติว่า การระบายมลสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง พลูมใต้ลมอยู่ในสภาวะที่คงที่ และสมมุติการกระจายของความเข้มข้นมลสารภายในพลูมทั้งทางด้านขวางลม (cross-wind direction) และแนวดิ่ง (vertical direction) เป็นแบบเกาส์เสียน การลอยขึ้นของพลูมประมาณจากสมการของบริกจ์สำหรับพลูมลอยตัวซึ่งร้อน ในขณะที่พลูมขยายตัวออกเนื่องจากการแพร่กระจายแบบเอ็ดดี้ (eddy diffusion) ความเข้มข้นของมลสารจะเจือจางลง และจะเคลื่อนที่ไปทางใต้ลมด้วยอิทธิพลของลมเฉลี่ย อัตราในการแผ่ขยายตัวเป็นไปตามค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเอ็มไพริกัล ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพความคงตัวของบรรยากาศตามผลการศึกษาของพาสกิลล์และกิฟฟอร์ดและรายงานโดยเทอร์เนอร์ ลักษณะซึ่งถูกดัดแปลงไปจากสมการเกาส์เสียนพื้นฐาน ได้แก่

- พลูมถูกกักไว้อยู่ระหว่างพื้นดินกับผิวชั้นบนของชั้นที่เกิดการผสม

- มีการผสมของพลูมในแนวดิ่งอย่างสม่ำเสมอตลอดชั้นที่เกิดการผสมเมื่อเลยพ้นระยะวิกฤตไปแล้ว
- ไม่คิดถึงผลของพลูมที่ระบายออกเหนือชั้นที่เกิดการผสมขึ้นไปต่อจุดรับมลสารที่พื้นดิน

สมการของพลูมแบบเกาส์เสียนที่ใช้ในแบบจำลอง

$$\chi(x,y,H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \{\exp[-1/2 (y/\sigma_y)^2]\}\{\exp[-1/2 (H/\sigma_z)^2]\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

โดยมีข้อสมมุติฐานดังนี้

1) อยู่ในสภาวะที่คงที่ ซึ่งหมายถึงว่า

- เป็นก๊าซอุดมคติ
- อัตราการระบายมลสารสม่ำเสมอและต่อเนื่อง
- กระแสลมในแนวราบสม่ำเสมอ
- ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง
- ไม่คำนึงถึงแรงเสียดทานลมในแนวดิ่ง
- เป็นพลูมต่อเนื่อง
- ไม่คำนึงถึงพลูมที่ผ่านไปแล้ว

2) ลักษณะของมลสาร

- มลสารที่ระบายออกเป็นก๊าซหรือแอโรซอล มีเสถียรซึ่งจะยังคงแขวนลอยอยู่ในอากาศ และเข้าไปมีส่วนร่วมในการเคลื่อนที่อย่างปั่นป่วนของบรรยากาศ
- เนื้อมลสารไม่มีการสูญหายไปในขณะที่พลูมเคลื่อนที่ไปเนื่องจากกระแสลมและมีการแพร่กระจายทางด้านใต้ลม
- สะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์เมื่อปะทะกับพื้นดิน

3) มีการกระจายแบบเกาส์เสียน

มลสารในพลูมมีการกระจายแบบเกาส์เสียนทั้งในแนวราบขวางลม และในแนวดิ่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์การกระจายเชิงเอ็มไพริกัล และตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การกระจาย σ_y และ σ_z ที่ใช้ในแบบจำลองเป็นไปตามที่พาสกิลล์และกิฟฟอร์ดเสนอไว้และเทอร์เนอร์ (Turner) ได้นำมารายงานไว้ ดังรูป 2.3 และ 2.4 ค่า σ_y และ σ_z เป็นค่าขึ้นอยู่กับระยะทางใต้ลมจากแหล่งระบายมลสารและสภาพความมีเสถียรของบรรยากาศ ค่าเหล่านี้เป็นค่าตัวแทนสำหรับระยะเวลาการวัดตัวอย่างจนถึงประมาณ 1 ชั่วโมง และเป็นค่าที่ได้มาจากการตรวจวัดในสภาพภูมิประเทศเป็นที่โล่ง ราบจนถึงเป็นเนินเขาเล็กน้อย

ความมีเสถียรของบรรยากาศหาได้โดยทางอ้อมจากปริมาณรังสีที่ส่องมาถึงพื้นดินและความเร็วลม พาสกิลล์ได้เสนอไว้ 6 แบบ จาก A สำหรับสภาพบรรยากาศที่ไม่เสถียรอย่างมาก จนถึง F สำหรับสภาพบรรยากาศที่มีความเสถียรปานกลาง แต่เนื่องจากว่าปริมาณรังสีที่ส่องมาถึงพื้นดินไม่อาจจะวัดได้โดยง่าย เทอร์เนอร์จึงได้พัฒนาวิธีการแบ่งคลาสความมีเสถียรของบรรยากาศจากข้อมูลปริมาณเมฆ, ความสูงของฐานชั้นอินเวอร์ชันและมุมยกของดวงอาทิตย์

ข้อมูลความเร็วลมที่ใช้ในแบบจำลอง ถือว่าเป็นตัวแทนของสภาวะตลอดช่วงความสูงแนวดิ่งที่พลูมกระจายไป ฉะนั้นจึงมักใช้ความเร็วลมที่ปากปล่องเพื่อการประมาณนี้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังนี้

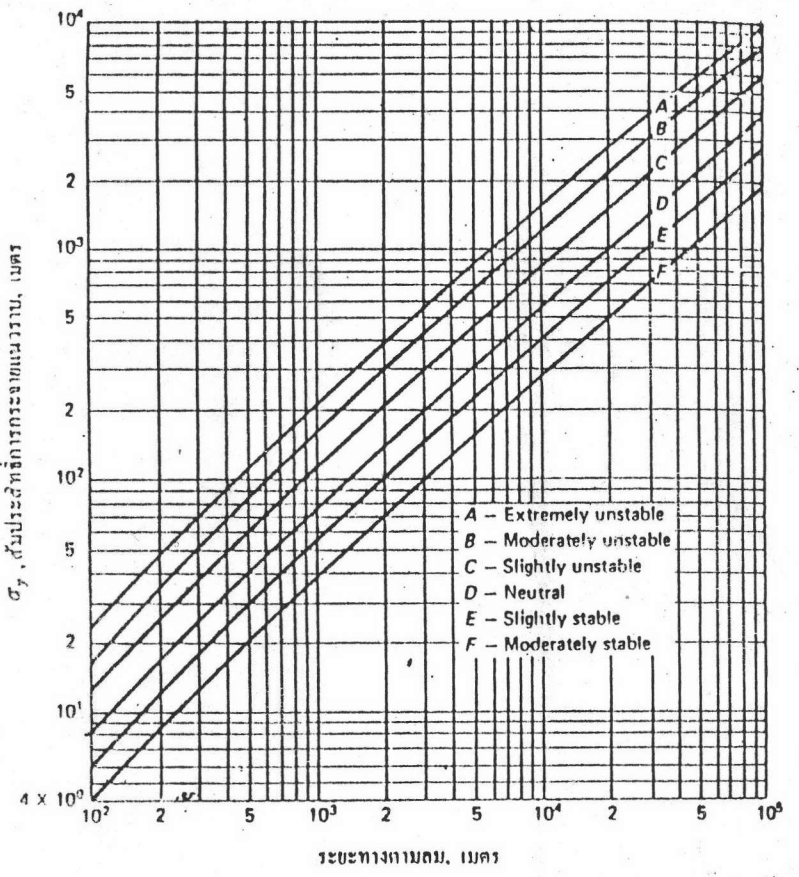
$$u = u_o(h/h_o)^p$$

โดยที่ u = ความเร็วลมรายชั่วโมงที่ปากปล่อง, เมตร/วินาที

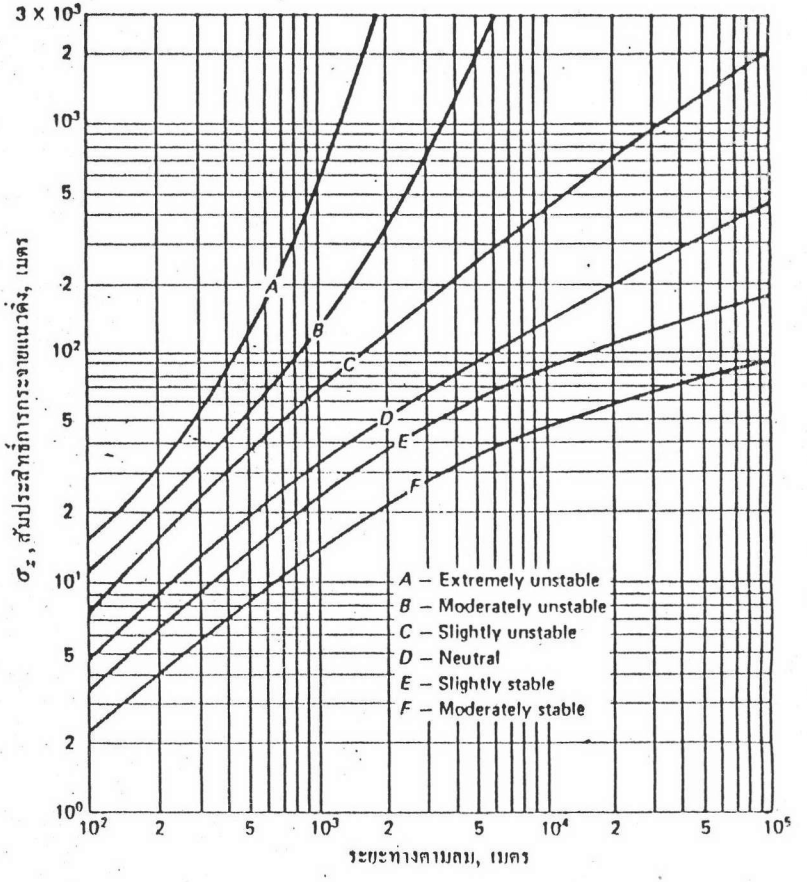
u_o = ความเร็วลมรายชั่วโมงที่ความสูง h_o, เมตร/วินาที

h = ความสูงของปล่อง, เมตร

h_o = ความสูงของเครื่องวัดลม, เมตร



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายทางแนวนอนกับระยะทางตามลมจากแหล่งเกิดที่การคงตัวของบรรยากาศแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายทางแนวดิ่งกับระยะทางตามลมจากแหล่งเกิดที่การคงตัวของบรรยากาศแบบต่าง ๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

p = ค่ายกกำลังของความเร็วลม ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความมีเสถียรของบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่ายกกำลังความเร็วลม

คลาสความมีเสถียรของบรรยากาศ	ค่ายกกำลังความเร็วลม, p
A = ไม่เสถียรอย่างมาก	0.10
B = ไม่เสถียรปานกลาง	0.15
C = ไม่เสถียรเล็กน้อย	0.20
D = สะเทิน	0.25
E = เสถียรเล็กน้อย	0.30
F = เสถียรปานกลาง	0.30

ความสูงประสิทธิ์ของอากาศเสียที่ระบายออก (H) ในสมการพลูมเกาส์เสียน (6) เป็นผลบวกของความสูงปล่อง (h) กับระยะลอยขึ้นของพลูม (plume rise) (Δh) โดยระยะลอยขึ้นของพลูมในแบบจำลองเป็นไปตามสมการของบริกกส์

ระยะลอยขึ้นของพลูมสุดท้ายตามบริกกส์นี้ใช้ไม่ได้กับพลูมเย็น และไม่ได้คำนึงถึงผลของแอโรไดนามิก (aerodynamic effect) ของสนามการไหลรอบ ๆ ปล่องหรือตึกสูง ๆ ข้าง ๆ และที่เป็นภูเขาสูง

บางครั้งการผสมและการแพร่กระจายในแนวดิ่งของพลูมถูกจำกัด โดยฐานของชั้นบรรยากาศมีเสถียร ผลของการผสมอย่างจำกัด (หรือ พลูม "แทร็พพิง") ต่อการกระจายของพลูมได้รวมเข้าไว้ในแบบจำลอง โดยการสมมุติว่า พลูมมีการสะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์ที่เพดานของชั้นผสม (mixing height ; L) รวมทั้งที่พื้นดิน เนื่องจากว่าอาจเกิดการสะท้อนไป-มาหลายครั้งได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 การแทร็พพิงจึงถูกจำลองโดยใช้วิธีการของภาพซ้อน ตามแบบที่เบียลีและฮิวสัน (Bierly and Hewson) ได้เสนอ

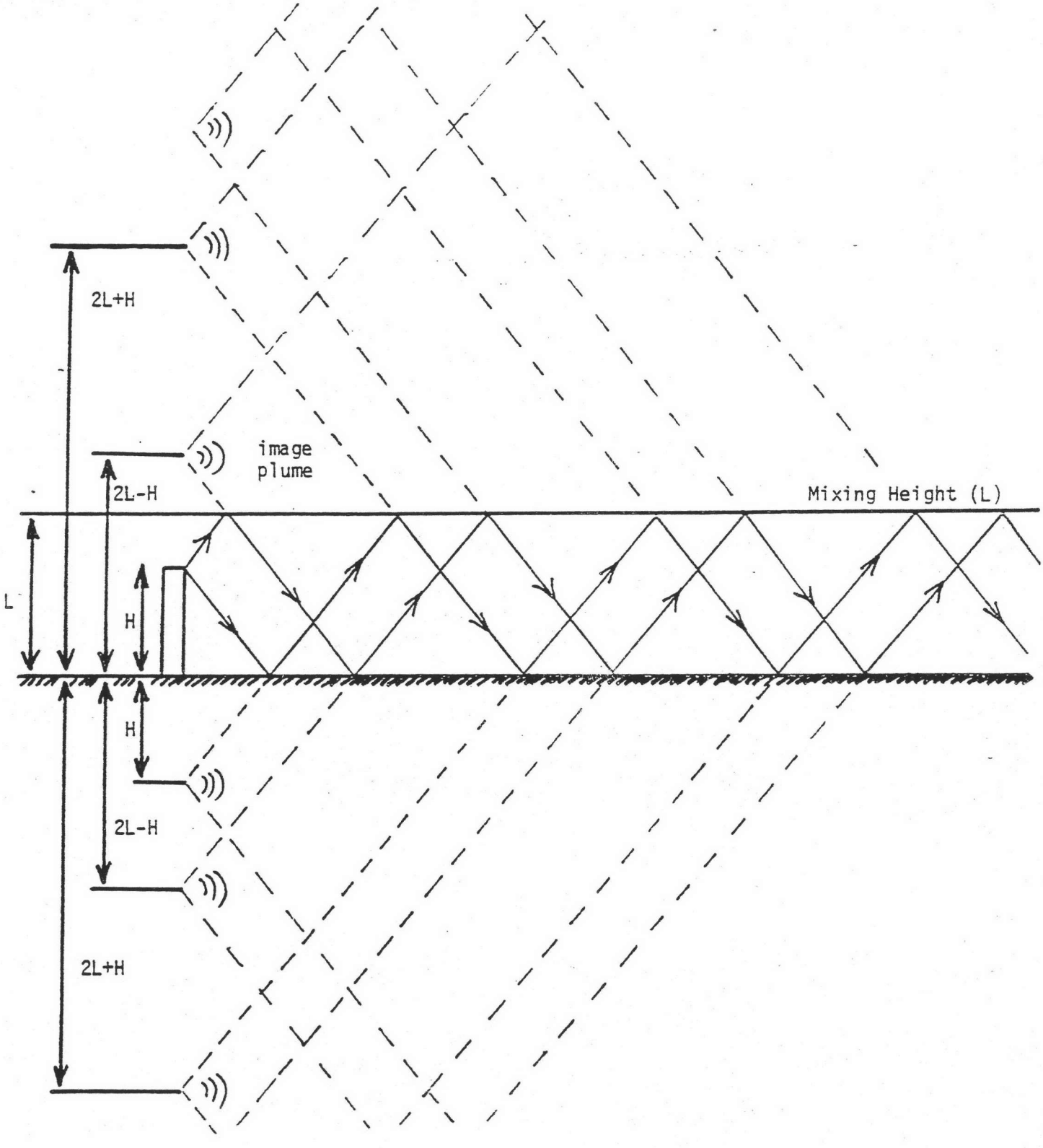


FIGURE 2.5

THE METHOD OF MULTIPLE PLUME IMAGES USED TO SIMULATE PLUME REFLECTIONS IN THE SINGLE SOURCE MODEL

ไว้ การสะท้อนไป-มาระหว่างเพดานของชั้นผสมกับพื้นดินสามารถแสดงได้ด้วยสมการ (7) ถึง (9) เมื่อผลบวกความเข้มข้นของเทอมต่อไปในอนุกรมการบวก มีผลทำให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 0.01 การบวกนั้นจะหยุด ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆค่า K จะถูกจำกัดไว้สูงสุดเท่ากับ 45 ที่ระยะใต้ลมซึ่งเลยจากระยะที่ซึ่ง $\sigma_z = 1.6\ L$ การสะท้อนกลับดังกล่าวเป็นผลให้มีการกระจายความเข้มข้นในแนวดิ่งเกือบจะสม่ำเสมอ จึงให้ใช้สมการ (8) ซึ่งเป็นสมการแบบง่ายแทน เมื่อแนวเส้นผ่านศูนย์กลางพลูม (H) สูงกว่าเพดานของชั้นผสม (L) ณ ตำแหน่งจุดรับมลสารใด ๆ ที่ตำแหน่งนั้น จะไม่ได้รับมลสาร

ถ้า $H \leqslant L$ และ $\sigma_z \leqslant 1.6\ L$

$$\chi = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp[-1/2(y/\sigma_y)^2] \sum_{N=-\infty\ (-k)}^{+\infty\ (+k)} \exp\{-1/2\ [(H + 2\ N\ L)/\sigma_z]^2\} \quad \ldots\ldots\ldots\ (7)$$

ถ้า $H < L$ และ $\sigma_z > 1.6\ L$

$$\chi = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\ \sigma_y L u} \exp\ [-1/2\ (y/\sigma_y)^2] \quad \ldots\ldots\ldots\ (8)$$

ถ้า $H > L$ $\qquad \chi = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ (9)$

แบบจำลองนี้สมมุติให้ค่าเพดานของชั้นผสมมีค่าคงที่

วิธีการหาค่าเพดานของชั้นผสมรายชั่วโมงเพื่อใช้ในแบบจำลอง ได้แสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ 2.6 โดยการใช้ค่าเพดานของชั้นผสม ณ เวลา 19.00 น. ของประเทศไทย ของวันก่อนหน้านี้ (i-1), วันนี้ (i) และของวันพรุ่งนี้ (i+1) และใช้ค่าเพดานของชั้นผสมของเวลา 7.00 น. ของประเทศไทย ของวันนี้ (i) และของวันพรุ่งนี้ (i+1) สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบเมือง ตั้งแต่เที่ยงคืนจนถึง 7.00 น. ภายใต้สภาพบรรยากาศแบบสะเทิน (คลาส D) ค่าเพดานของชั้นผสมรายชั่วโมงได้จากการอินเตอร์โพเลชัน ระหว่างค่าเพดานของชั้นผสมสูงสุดที่เวลา 19.00 น. ของวันก่อน (MAX_{i-1}) กับค่าเพดานของชั้นผสมสูงสุดที่เวลา 19.00 น.ของวันนี้ (MAX_i) แต่ภายใต้สภาวะบรรยากาศแบบมีเสถียร (คลาส E หรือ F) จะใช้เพดานของชั้นผสมต่ำสุดของวันนั้น

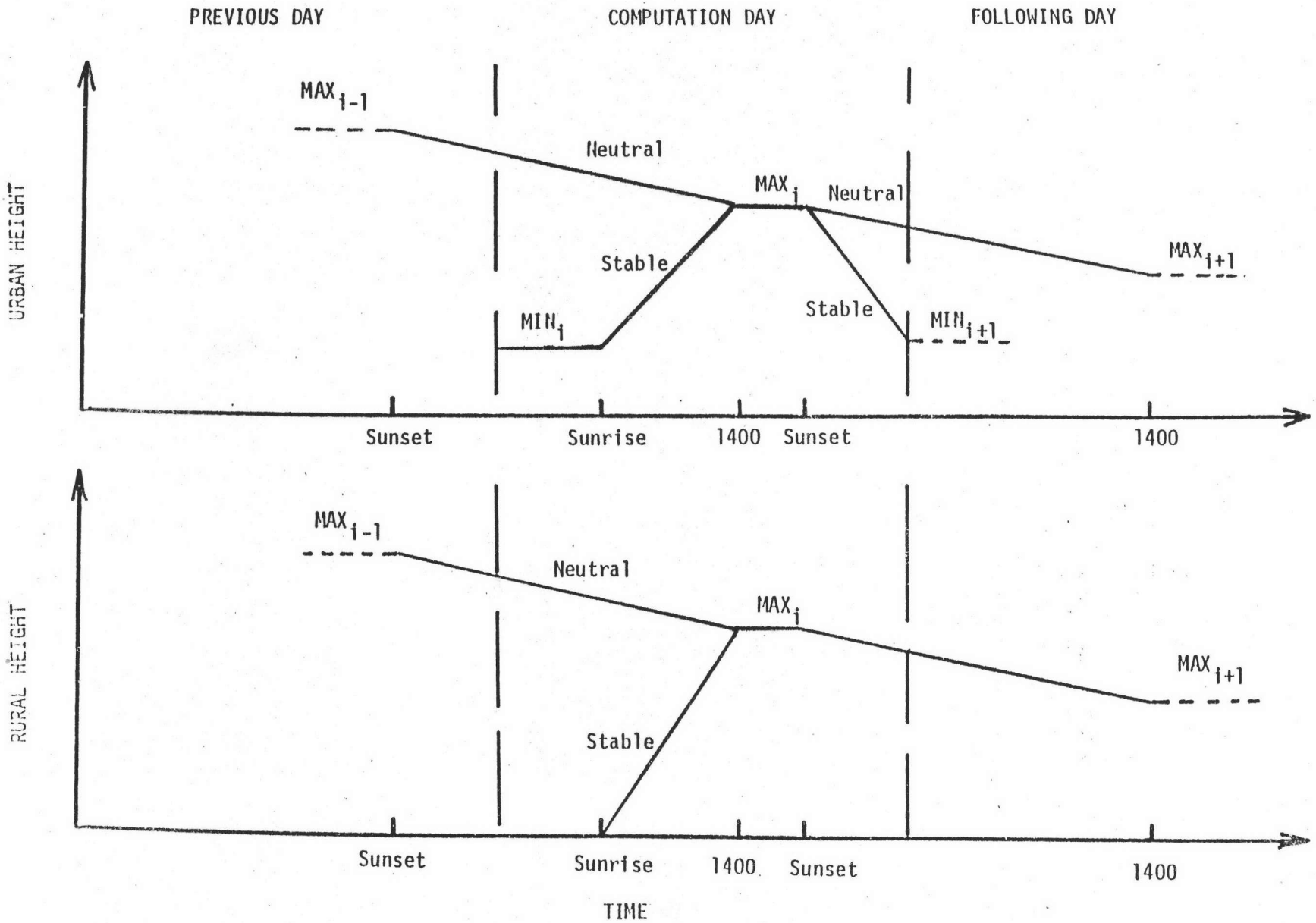


FIGURE 2.6

DETERMINATION OF HOURLY MIXING HEIGHTS BY THE SINGLE SOURCE (CRSTER) MODEL PREPROCESSOR

(MIN_i) ในระหว่างช่วงเวลาจาก 7.00 ถึง 14.00 น. ถ้าสภาพของบรรยากาศที่เวลา 6.00 น. ยังคงจัดอยู่เป็นแบบสะเทินให้ใช้ค่าเพดานของชั้นผสมจากการอินเตอร์โพเลชัน ค่าเพดานของชั้นผสมสูงสุดที่เวลา 19.00 น. ของวันก่อน (MAX_{i-1}) กับที่เวลา 19.00 น. ของวันนี้ (MAX_i) ข้างต้นต่อไป แต่ถ้าสภาวะบรรยากาศที่เวลา 6.00 น. จัดอยู่เป็นแบบมีเสถียร จะใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมงระหว่างค่าเพดานของชั้นผสมต่ำสุดของเวลา 7.00 น.(MIN_i) กับค่าเพดานของชั้นผสมสูงสุด (ของเวลา 19.00 น.; MAX_i) ของวันนั้น สำหรับช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 19.00 น. ใช้ค่าเพดานของชั้นผสมสูงสุด (ของเวลา 19.00 น. ; MAX_i) ของวันนั้น ในระหว่างเวลา 19.00 น. ถึง เที่ยงคืน ภายใต้สภาวะบรรยากาศแบบสะเทินให้ใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมงของ MAX_i ที่เวลา 19.00 น. ของวันนี้กับ MAX_{i+1} ที่เวลา 19.00 น.ของวันพรุ่งนี้ แต่ถ้าสภาพบรรยากาศจัดเป็นแบบมีเสถียร ให้ใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมงของ MAX_i ที่เวลา 19.00 น. ของวันนี้กับค่า MIN_{i+1} ที่เวลา 7.00 น. ของวันพรุ่งนี้

สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบชนบท ระหว่างเวลาเที่ยงคืนจนถึง 7.00 น ใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมงของ MAX_{i-1} ที่เวลา 19.00 น. ของวันก่อนกับ MAX_i ที่เวลา 19.00 น.ของวันนี้ ในระหว่างเวลา 7.00 น. ถึง 14.00 น. ถ้าสภาพบรรยากาศเมื่อเวลา 6.00 น. จัดเป็นแบบสะเทิน ก็ให้ใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมงข้างต้นต่อไป แต่ถ้าจัดเป็นแบบมีเสถียรให้ใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมง จาก 0 ถึง MAX_i ที่เวลา 19.00 น. ของวันนี้ จากช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 19.00 น. ให้ใช้ค่า MAX_i ในระหว่างเวลา 19.00 น. ถึง เที่ยงคืน ใช้ค่าอินเตอร์โพเลชันรายชั่วโมงของ MAX_i ที่เวลา 19.00 น. ของวันนี้กับ MAX_{i+1} ที่เวลา 19.00 น.ของวันพรุ่งนี้

เนื่องจากว่าแบบจำลอง "CRSTER" มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้กับลักษณะภูมิประเทศที่ไม่ราบเรียบ ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงมีการคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงต่ำจากแหล่งปล่อยมลสารกับตำแหน่งจุดรับมลสารใด ๆ วิธีการซึ่งใช้ในการปรับแต่งพลูมตามลักษณะภูมิประเทศ แสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่า ความสูงของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของพลูม (H) จะต่ำลงเป็นระยะเท่ากับผลต่างระหว่างความสูงของระดับพื้นดินที่ตำแหน่งจุดรับมลสารกับฐานปล่อง การปรับแต่งพลูมตามลักษณะภูมิประเทศที่ตำแหน่งจุดรับมลสารหนึ่ง ๆ จะไม่มีผลต่อความเข้มข้นที่ตำแหน่งจุดรับมลสารอื่น เมื่อความสูงของระดับพื้นดินที่ตำแหน่งจุดรับมลสารสูงกว่าความสูงของปล่องที่ต่ำที่สุด โปรแกรมจะหยุดดำเนิน

I10302785

การ ถ้าตำแหน่งจุดรับมลสารอยู่ต่ำกว่าฐานปล่อง ดังเช่นจุดรับมลสาร R1 ในรูปที่ 2.7 โปรแกรมจะคิดเสมือนว่าตำแหน่งนั้นอยู่ในระดับเดียวกับฐานปล่อง

อะเร (array) ของตำแหน่งจุดรับมลสารมีทั้งหมด 80 จุด โดยแบ่งเป็น 16 ทิศทางตามแนวทิศทางลม และในแต่ละทิศทางกำหนดตำแหน่งจุดรับมลสารได้ 5 จุด

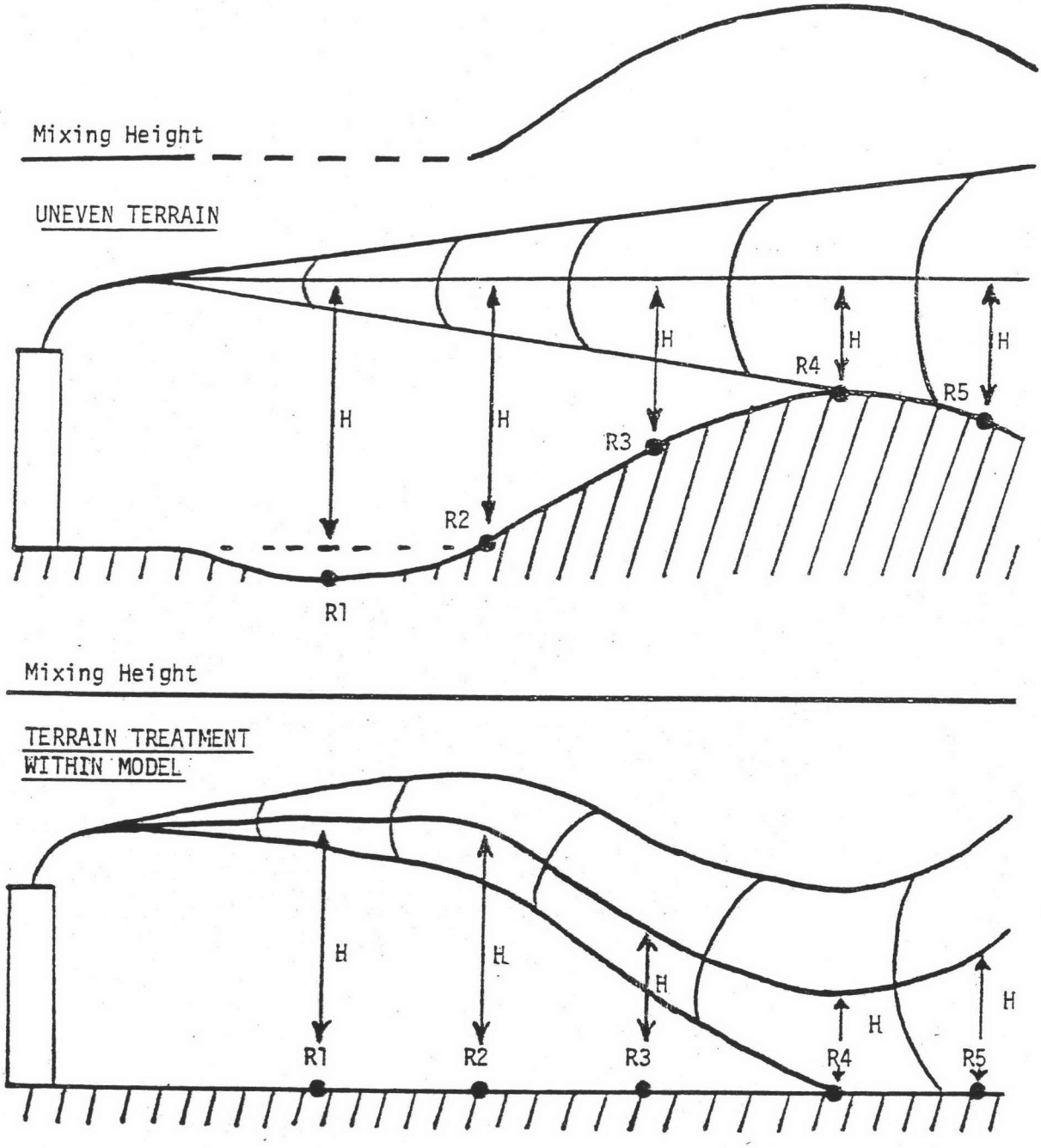
2.4.3.2. ข้อจำกัดของแบบจำลอง

1) สมการพลูมเกาส์เสียนใช้ในสภาวะที่คงที่ และสภาวะบรรยากาศที่มีความสม่ำเสมอตลอด โดยที่สามารถแจกแจงเป็นแฟกเตอร์เนื่องจากแหล่งกำเนิด และแฟกเตอร์เนื่องจากสภาพอุตุนิยมวิทยา ดังต่อไปนี้

- มีอัตราการระบายที่สม่ำเสมอและต่อเนื่อง
- มีกระแสลมในแนวราบที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอด
- ต้องมีความเร็วลมเฉลี่ย และทิศทางลมในรายชั่วโมงซึ่งเป็นตัวแทนได้
- ไม่มีแรงเฉือนเนื่องจากลมในแนวดิ่ง
- มีการแพร่กระจายแบบเอ็ดดี้ (eddy diffusitivity) ที่คงที่
- ไม่คำนึงถึงพลูมที่ผ่านไปแล้ว
- ไม่มีการสูญหายของมลสารหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างลอยอยู่ในบรรยากาศ

ถ้าแฟกเตอร์เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วกับระยะเวลา หรือระยะทาง การใช้สมการพลูมเกาส์เสียนจะให้ผลที่ไม่ถูกต้อง

2) ระดับความสูงต่ำของพื้นดินมีผลอย่างมากต่อการลอยไปของพลูมทางด้านใต้ลม หรืออาจเกิดเอ็ดดี้ขนาดใหญ่ขึ้นทางด้านหลังเขา เป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนและการแพร่กระจายเพิ่มขึ้น แต่แบบจำลองนี้ไม่ได้ทำการปรับแต่งเวคเตอร์การไหลของพลูมและการแพร่กระจายสำหรับผลของลักษณะภูมิประเทศดังกล่าว แบบจำลองนี้มีการปรับแต่งตามลักษณะภูมิประเทศเพียงแต่ทำให้แนวเส้นผ่านศูนย์กลางของพลูมต่ำลงหรือสูงขึ้น เมื่อระดับความสูงของพื้นดินที่ตำแหน่งจุดรับมลสารสูงกว่าหรือต่ำกว่าตามลำดับจากระดับความสูงของ



Note: R1-R5 are receptor points at 5 ring distances.

FIGURE 2.7

ILLUSTRATION OF THE METHOD FOR TERRAIN ADJUSTMENT
IN THE SINGLE SOURCE (CRSTER) MODEL

พื้นดินที่ฐานปล่อง ดังนั้นความเชื่อถือได้ของแบบจำลองจึงถูกจำกัดกับตำแหน่งจุดรับมลสาร ซึ่งมีระดับความสูงของพื้นดินต่างกันอย่างมาก

3) แบบจำลองนี้สมมุติว่า ค่าความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นดินเป็นศูนย์ เมื่อความสูงประสิทธิ์ของปล่อง H มากกว่าค่าเพดานของชั้นผสม L ที่ตำแหน่งจุดรับมลสารใด ๆ เป็นผลให้ประเมินได้ต่ำกว่าความเป็นจริง โดยสมมุติว่า ไม่มีการระบายมลสารจากแหล่งกำเนิดนั้น

4) ค่าความเข้มข้นของมลสารจากการใช้สมการเกาส์เสียน เป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วลมเฉลี่ย (สมการ 6 ถึง 9) ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้จะได้ว่า ค่าความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นดินจะมีค่าอินฟินิต (infinite) ถ้าความเร็วลมเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งไม่เป็นจริง ด้วยเหตุนี้แบบจำลอง "CRSTER" จึงไม่สามารถจำลองกรณีที่ไม่มีลมให้มีการกระจายแบบไอโซโทรนิคได้ ดังนั้นถ้าค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงต่ำกว่า 1 เมตรต่อวินาที จะต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1 เมตรต่อวินาที เพื่อทำให้หมดข้อสงสัยในการใช้งาน

สำหรับทิศทางลมซึ่งจะเลือกใช้ ถ้าความเร็วลมน้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที แต่มากกว่ากรณีของลมสงัด (น้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที) ให้ใช้ทิศทางลมที่วัดได้ อย่างไรก็ตามในกรณีเป็นลมสงัดที่ไม่มีทิศทางลม (ความเร็วลมเท่ากับ 0 เมตรต่อวินาที) แบบจำลองจะใช้ทิศทางลมของชั่วโมงก่อนหน้านี้ ซึ่งไม่เป็นลมสงัดในการคำนวณการแพร่กระจาย ปัญหาเกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งถ้ามีชั่วโมงลมสงัดเกิดขึ้นติดต่อกันหลายชั่วโมง เพราะว่าแบบจำลองสมมุติทิศทางลมว่า พัดมาจากทิศทางเดียวกันติดต่อกันหลายชั่วโมงในระหว่างช่วงเวลาลมสงัด ซึ่งการสมมุติเช่นนี้อาจทำให้ได้ผลความเข้มข้นของมลสารสูงกว่าความเป็นจริง

5) การแพร่กระจายของมลสารที่ระบายจากปล่องมักจะน้อยกว่าในกรณีอุดมคติ เนื่องจากผลทางแอโรไดนามิกของลมต่อปล่อง ลักษณะภูมิประเทศทางด้านเหนือลม หรือเนื่องจากความเร็วกระแสก๊าซปล่อยออกที่ต่ำ ๆ โดยกรณีที่เลวที่สุดทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า "ดาวน์วอช (downwash)" ซึ่งแบบจำลอง "CRSTER" ไม่ได้พิจารณาถึงความซับซ้อนเนื่องจากผลทางแอโรไดนามิกเหล่านี้

6) ในกรณีที่มีหลายปล่อง แบบจำลองไม่ได้คำนึงถึงผลของการแยกอยู่ห่างกันของปล่องเหล่านั้น เนื่องจากว่าถูกสมมุติว่า ทุก ๆ ปล่องอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นผลลัพธ์อาจสูงกว่าความเป็นจริงได้เมื่อระยะห่างของปล่องเหล่านั้น มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในแนวขวางลม σ_y

7) สูตรหาระยะลอยขึ้นของพลูมตามบริกกส์ที่ใช้ในแบบจำลอง ใช้กับพลูมที่ลอยขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัว อันเป็นผลมาจากการที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ ฉะนั้นถ้าพลูมที่ปล่อยออกจากปล่องนั้น ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศไม่มากนักจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากหาระยะลอยขึ้นของพลูมได้ต่ำกว่าความเป็นจริง