

การศึกษาการกระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ชื่อ "CRSTER" และ "VALLEY"



นางสาว ชันทอง สุนทรภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-416-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015792

I 10302785

**AN INVESTIGATION OF SULFUR DIOXIDE DISPERSION WITH
MATHEMATICAL MODELS "CRSTER" AND "VALLEY"**

Miss Khantong Soontrapa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduated School
Chulalongkorn University

1989



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการกระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแบบจำลอง
คณิตศาสตร์ชื่อ "CRSTER" และ "VALLEY"

โดย

นางสาวชั้นทอง สุนทรภา


ภาควิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

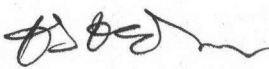
อาจารย์ที่ปรึกษา

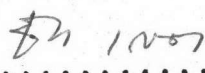
รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์


บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

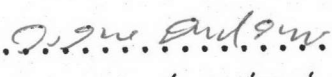
.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรารักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อ วิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชั้นทอง สุนทรภา : การศึกษาการกระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ชื่อ "CRSTER" และ "VALLEY" (An Investigation of Sulfur Dioxide Dispersion with Mathematical Models "CRSTER" and "VALLEY") อ.ที่ปรึกษา : รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 98 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้แบบจำลองสำเร็จรูปชื่อ "VALLEY" และ "CRSTER" กับการแพร่กระจายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระบายออกจากโรงกลั่นน้ำมันตัวอย่างที่มีกำลังการผลิต 65,000 บาร์เรล/วัน ณ บริเวณแหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี แนวการศึกษาแบบจำลอง "VALLEY" เป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากตัวแปรต่างๆ คือ ความสูงต่ำของพื้นดิน ความเร็วลม ประเภทความคงตัวของบรรยากาศ ความสูงปล่อง อุณหภูมิก๊าซระบายออก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง แนวการศึกษาแบบจำลอง "CRSTER" เป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากตัวแปร ความสูงต่ำของพื้นดิน ความสูงปล่อง อุณหภูมิก๊าซระบายออก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง ในพื้นที่ใช้โปรแกรม "STAWIRO" จัดการข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อหาสภาพความคงตัวของบรรยากาศรายชั่วโมง ผังลม และ Stability-Windrose ของพื้นที่ศึกษาลำหรับใช้ในแบบจำลองทั้งสอง

ผลการศึกษาแสดงว่า เปอร์เซนต์ความถี่ในการเกิดช่วงความเร็วลม 0.5-1, 1-2 และ 2-3 ม./วท. เป็น 31.9%, 22.8% และ 21.1% ตามลำดับ เปอร์เซนต์ความถี่ในการเกิดสภาพความคงตัวแบบ F, B และ D ประมาณ 27.5%, 19.5% และ 18.9% ตามลำดับ

จากแบบจำลอง "VALLEY" เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจากช่วงตั้งแต่ 0.5-2.5 ม./วท. ระยะลอยขึ้นของพุ่มจะลดลงทำให้ตำแหน่งที่เกิดมลสารสูงสุด เขียบเข้ามาใกล้แหล่งกำเนิดมากขึ้นและที่ตำแหน่งเดียวกันระดับความเข้มข้นจะสูงขึ้น เมื่อความคงตัวของบรรยากาศมีความเสถียรมากขึ้นตำแหน่งจุดรับมลสารสูงสุดที่ระดับพื้นดินจะไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดมากขึ้น ระดับความเข้มข้นของมลสารสูงสุดเมื่อคำนึงถึงความสูงต่ำของพื้นดินจะสูงกว่าเมื่อไม่คำนึงถึงความสูงต่ำของระดับพื้นดิน พื้นที่ใต้ลมจากทิศ SSW เป็นเขาโพธิ์ใบทำให้พบระดับความเข้มข้นของมลสารสูงมากกว่าตำแหน่งจุดรับมลสารอื่นๆ ชุมชนบ้านปากทาง-อ่าวอุดมเป็นชุมชนที่ได้รับมลสารสูงสุดเท่ากับ 80 มคก./ลบ.ม. ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงปล่องทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงไปโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1% ต่อทุกๆ 1% ของการเปลี่ยนแปลง การลดอุณหภูมิก๊าซระบายออกมากเกินกว่า 10% ขึ้นไปจะให้ความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นดินสูงขึ้น 1.2% ต่อทุกๆ 1%

จากแบบจำลอง "CRSTER" ชุมชนบ้านอ่าวอุดมเป็นชุมชนที่ได้รับมลสารสูงสุดเท่ากับ 69 มคก./ลบ.ม. ระดับความเข้มข้นของมลสารสูงสุดเมื่อคำนึงถึงความสูงต่ำของพื้นดินจะสูงกว่าเมื่อไม่คำนึงถึงความสูงต่ำของระดับพื้นดิน ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงปล่องทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงไปโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.2% ต่อทุกๆ 1% ของการเปลี่ยนแปลง การลดอุณหภูมิก๊าซระบายออกเกินกว่า 10% ขึ้นไปจะให้ความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นดินสูงขึ้น 3.7% ต่อทุกๆ 1%

โดยลักษณะของพื้นที่ศึกษาซึ่งมีภูเขาล้อมรอบและผลการประเมินคุณภาพอากาศจากแบบจำลองทั้งสองใกล้เคียงกัน ทำให้สรุปได้ว่าอาจใช้แบบจำลอง "VALLEY" ในขั้นต้นได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา

ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิติ *สุนทรภา*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *อ. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์*



พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

KHANTONG SOONTRAPA : AN INVESTIGATION OF SULFUR DIOXIDE DISPERSION WITH MATHEMATICAL MODELS "CRSTER" AND "VALLEY".
THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.WONGSEPUN LIMPASENI, 98 pp.

This research is an investigation of sulfur dioxide dispersion with mathematical models "VALLEY" and "CRSTER" from an example oil refinery with 65,000 barrel/day at Laem Chabang, Amphoe Sriracha, Cholburi. The study centers on the sensitivity analysis of both models. The parameters concerned in "VALLEY" are terrain adjustment, wind speed and wind direction, stability class, stack height, stack exit temperature and stack diameter. But the parameters concerned in "CRSTER" are terrain adjustment, stack height, stack exit temperature and stack diameter. "STAWIRO" is used in preparing meteorological data required in both models, such as hourly stability class, wind rose and stability-windrose.

It was found that percentage frequency of occurrence for wind speed range of 0.5-1, 1-2 and 2-3 m./sec. are 31.9%, 22.8% and 21.1%, respectively. The percentage frequency of occurrence for stability class F, B and D are 27.5%, 19.5% and 18.9%, respectively.

From "VALLEY", it shows that by increasing wind speed from 0.5-2.5 m./sec., plume rise is decreased, accordingly, maximum ground level concentration occurred at shorter distance and at the receptor the concentration is higher. More stable the atmosphere is, the further the distance is found. The higher concentration is found at elevated receptor point than at the ground level. SSW downwind receptor is POBAI mountain, accordingly, the concentration is highest. The most impacted community is Ban Pak Tan Ao-Udom with the level of 80 ug/cu.m. The change in stack height causes the change in result of SO₂ concentration about 1% to 1% change in height. The change in stack exit temperature becomes more critical as the temperature becomes lower than 10% in which the maximum ground level concentration increases 1.2%.

From "CRSTER", it shows that the most impacted community is Ban Ao-Udom with SO₂ concentration of 69 ug/cu.m. Similarly, the higher concentration is found at elevated receptor point than at the ground level. The change in stack height causes the change in SO₂ concentration about 1.2% to 1% change in height. The change in stack exit temperature becomes more critical as the temperature becomes lower than 10% in which the maximum ground level concentration increases 3.7% to 1% change in temperature.

Because of the valley-like of the study area, one can use "VALLEY" to estimate the annual as well as the short term mode of SO₂ concentration downwind from the plant with less input data and shorter computer time comparing with "CRSTER".

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา

ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต *ขันทอง สอนตรา*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ว.ว. อุดม*



ฉ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์
ลิมปเสนีย์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นตลอดจนเอาใจใส่ติดตามการวิจัยอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความ
อนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในด้านต่างๆรวมทั้งการถ่ายทอดวิชาความรู้ให้

ขอขอบคุณ คุณอมรพันธุ์ ทรงประเสริฐ ที่มีส่วนสนับสนุนและให้กำลังใจ

และเนื่องจากทุนการวิจัยนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิต-
วิทยาลัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฏ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ที่มาของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 การศึกษาด้านเอกสาร	
2.1 บทนิยามพื้นฐาน	3
2.2 กระบวนการที่ใช้ในการกลั่นน้ำมัน	7
2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	
2.3.1 ผลของสารประกอบซัลเฟอร์ในบรรยากาศต่อคน	9
2.3.2 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในด้านระบาดวิทยา	12
2.4 แบบจำลองคุณภาพอากาศ	14
2.4.1 รายละเอียดแบบจำลองชื่อ "PTMAX"	
2.4.1.1 ลักษณะและจุดมุ่งหมาย	16
2.4.1.2 ข้อสมมติฐาน	16
2.4.2 รายละเอียดแบบจำลองชื่อ "VALLEY"	
2.4.2.1 ลักษณะและจุดมุ่งหมาย	17
2.4.2.2 ข้อจำกัดของแบบจำลอง	24

2.4.3	รายละเอียดแบบจำลองชื่อ "CRSTER"	
2.4.3.1	ลักษณะและจุดมุ่งหมาย	27
2.4.3.2	ข้อจำกัดของแบบจำลอง	36
3	วิธีการศึกษา	
3.1	การรวบรวมข้อมูล	
3.1.1	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	40
3.1.2	ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ	40
3.1.3	ข้อมูลแหล่งกำเนิด	42
3.2	การใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ชื่อ "VALLEY" และ "CRSTER" ...	42
3.3	ขั้นตอนการศึกษา	47
4	ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1	ลักษณะภูมิอากาศของบริเวณแหลมฉบัง	48
4.2	แบบจำลอง "PTMAX"	55
4.3	แบบจำลอง "VALLEY"	55
4.3.1	การเปรียบเทียบกรณีเมื่อคำนึงถึงและเมื่อ ไม่คำนึงถึงความสูงต่ำของระดับพื้นดิน	55
4.3.2	การเปรียบเทียบกรณีเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในสภาวะบรรยากาศที่ไม่เสถียร (แบบ B)	57
4.3.3	การเปรียบเทียบกรณีเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในสภาวะบรรยากาศแบบสะเทิน (แบบ D)	58
4.3.4	การเปรียบเทียบกรณีเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในสภาวะบรรยากาศแบบมีเสถียร (แบบ F)	58
4.3.5	การเปรียบเทียบกรณีเมื่อประเภทความคงตัวของ บรรยากาศเปลี่ยนไป	58
4.3.6	การศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงของความสูงปล่อง , อุณหภูมิก๊าซระคายออก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง .	59
4.4	แบบจำลอง "CRSTER"	60
4.4.1	การเปรียบเทียบกรณีเมื่อคำนึงถึงและเมื่อไม่คำนึงถึง ความสูงต่ำของระดับพื้นดิน	64

4.4.2 การศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงของความสูงปล่อง ,
 อุณหภูมิก๊าซระบายออก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง . 64

5 สรุปลงการวิจัย 66

6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 68

เอกสารอ้างอิง 69

ภาคผนวก ก. ผังลมบริเวณแหลมฉบัง 74

ภาคผนวก ข. ผลการตรวจสอบอากาศโดยใช้ Tethersonde 77

ภาคผนวก ค. ผลการใช้แบบจำลอง "PTMAX" 91

ภาคผนวก ง. ผลการใช้แบบจำลอง "VALLEY" 94

ภาคผนวก จ. ผลการใช้แบบจำลอง "CRSTER" 96

ประวัติ 98

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	Potential Sources of Specific Emissions from Oil Refinery	11
ตารางที่ 2.2	ลักษณะเฉพาะของโปรแกรมสำเร็จรูป UNAMAP	15
ตารางที่ 2.3	ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การกระจายในแนวตั้ง ...	23
ตารางที่ 2.4	ค่ายกกำลังความเร็วลม	31
ตารางที่ 3.1	เกณฑ์ในการจัดประเภทความคงตัวของบรรยากาศ	41
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลปล่องและปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	43
ตารางที่ 3.3	กรณีศึกษาแบบจำลอง "VALLEY"	44
ตารางที่ 3.4	กรณีศึกษาแบบจำลอง "CRSTER"	46
ตารางที่ 4.1	ตารางผังลมสถานีโรงกลั่นน้ำมันไทย, แหลมฉบัง ปีพ.ศ.2530 .	49
ตารางที่ 4.2	สภาพคงตัวของบรรยากาศที่สถานีโรงกลั่นน้ำมันไทย ปีพ.ศ.2530	51
ตารางที่ 4.3	โอกาสความถี่ในการเกิดสภาพความคงตัวของบรรยากาศที่แต่ละคลาสที่แต่ละชั่วโมง ปีพ.ศ.2530	52
ตารางที่ 4.4	Frequency of Occurence	54

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	หน่วยผลิตในโรงกลั่นน้ำมันศึกษา 10
รูปที่ 2.2	Depiction of Plume Height in Complex Terrain , as in the "VALLEY" Model 20
รูปที่ 2.3	ความล้มพันธ์ระหว่างล้มประสิทธิ์การกระจายทางแนวนอนกับระยะทาง ตามลมจากแหล่งเกิดการคงตัวของบรรยากาศแบบต่างๆ 30
รูปที่ 2.4	ความล้มพันธ์ระหว่างล้มประสิทธิ์การกระจายตามแนวตั้งกับระยะทาง ตามลมจากแหล่งเกิดการคงตัวของบรรยากาศแบบต่างๆ 30
รูปที่ 2.5	The Method of Multiple Plume Images Used to Simulate Plume Reflections in the Single Source Model 32
รูปที่ 2.6	Determination of Hourly Mixing Heights 34
รูปที่ 2.7	Illustration of the Method for Terrain Adjustment in the Single Source (CRSTER) Model 37
รูปที่ 4.1	เส้นแสดงความเข้มข้นของมลสารที่เท่ากันจากผลของ แบบจำลอง "VALLEY" 56
รูปที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์เชิงเซนต์ิตีวิติในลักษณะ Long Term ของแบบจำลอง "VALLEY" จากแหล่งกำเนิดทุกแหล่ง 61
รูปที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์เชิงเซนต์ิตีวิติในลักษณะ Long Term ของแบบจำลอง "VALLEY" จากหน่วย C-H1,C-H2 61
รูปที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์เชิงเซนต์ิตีวิติในลักษณะ Short Term ของแบบจำลอง "VALLEY" จากแหล่งกำเนิดทุกแหล่ง 62
รูปที่ 4.5	เส้นแสดงความเข้มข้นของมลสารที่เท่ากันจากผลของ แบบจำลอง "CRSTER" 63
รูปที่ 4.6	ผลการวิเคราะห์เชิงเซนต์ิตีวิติของแบบจำลอง "CRSTER" จาก แหล่งกำเนิดทุกแหล่ง 65
รูปที่ 4.7	ผลการวิเคราะห์เชิงเซนต์ิตีวิติของแบบจำลอง "CRSTER" จาก หน่วย C-H1,C-H2 65



คำอธิบายสัญลักษณ์

- X = ความเข้มข้นของมลสาร, ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือส่วนในล้านส่วน
- x = ระยะทางตามแนวลมระหว่างแหล่งกำเนิดกับจุดรับมลสาร สำหรับแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดแบบจุดประสิทธิ์ถึงจุดรับมลสาร, เมตร
- y = เป็นระยะทางตามแนวขวางลมของจุดรับมลสาร, เมตร
- H = ความสูงของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางปลุ่มเหนือจุดรับมลสาร, เมตร
- L = ชั้นความสูงที่เกิดการผสมเหนือระดับพื้นดิน, เมตร
- Q = อัตราเฉลี่ยของการระบายมลสารจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที
- c = ความยาวของส่วนโค้งในแนวขวางลมของมุม 22.5°
- D = ผลต่างระหว่างระดับความสูงของพื้นดินที่ตำแหน่งจุดรับมลสารกับความสูงของปลุ่ม, เมตร
- สำหรับสภาวะความคงตัวของบรรยากาศแบบมีเสถียร $1 < D < 401$ เมตร
- สำหรับสภาวะความคงตัวของบรรยากาศแบบสะเทินและไม่มีเสถียร
- D = 1 เมตร
- C = ค่าคงที่เปลี่ยนหน่วยของ X โดยที่
- C = 1 ถ้า X เป็นไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- C = 0.0831 T/(MP) ถ้า X เป็นส่วนในล้านส่วน
- โดยที่ T เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ, °K
- M เป็นน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ, กรัม/โมล
- P เป็นความดันบรรยากาศ, มิลลิบาร์
- K = ค่าคงที่สำหรับเปลี่ยนหน่วยเป็นที่สภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน
- K = 1013.2 T/(298 P)
- |NI| = จำนวนของการสะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์ (perfect reflection) ของลำอากาศก่อนที่จะถึงตำแหน่งจุดรับมลสาร
- ϕ_y, ϕ_z = สัมประสิทธิ์การกระจายในแนวแกน y และ z, เมตร
- x_p = ระยะทางจากจุดรับมลสารถึงแหล่งกำเนิดแบบจุด หรือถึงจุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ในแนวตามลม, เมตร
- สำหรับแหล่งกำเนิดแบบจุด $x_p = x$
- u = ความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลต่อปลุ่ม, เมตร/วินาที

- I = ครึ่งชีวิตของมลสาร, ชั่วโมง
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, 9.8 เมตร/วินาที²
 d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปล่อง, เมตร
 F = Buoyancy Flux Parameter
 x^* = ระยะทางที่ซึ่งความปั่นป่วนของบรรยากาศเริ่มที่จะเข้ามามีบทบาทต่อการพา
 พลุมนไป
 Δh = ระยะลอยขึ้นของพลุมน, เมตร
 T_u = อุณหภูมิของก๊าซระบายออก, °K
 v = ความเร็วของก๊าซระบายออก, เมตร/วินาที
 $\partial\theta/\partial z$ = แกรเดียนท์อุณหภูมิในแนวตั้งจากปากปล่องถึงยอดพลุมน
 s = ตัววัดการคงตัว
 V_f = อัตราการไหลของก๊าซระบายออก, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
 T = อุณหภูมิบรรยากาศ, °K
 u_o = ความเร็วลมที่ความสูง h_o , เมตร/วินาที
 h_o = ความสูงของเครื่องวัดลม, เมตร
 p = ค่ายกกำลังของความเร็วลม
 m = เมตร
 มคก. = ไมโครกรัม
 วท. = วินาที
 °ซ = องศาเซลเซียส
 °K = องศาเคลวิน
 ลบ.ม. = ลูกบาศก์เมตร