

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดพ่นละอองน้ำ

นางสาว สุชาดา ณรินทร์ศักดิ์ชัย



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-385-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**MATHEMATICAL MODEL OF OPEN-AIR DUST REMOVING SYSTEM
USING WATER SPRAYING**



Miss Suchada Narinsakchai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-385-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีด
หยดละอองน้ำ

โดย

นางสาวสุชาดา ณรินทร์ศักดิ์ชัย

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตั่นทะพานิชกุล

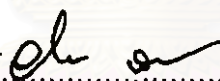
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)



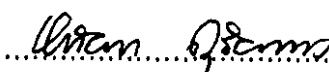
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตั่นทะพานิชกุล)



.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. หทัยชนก ตูริยะบรรเลง)

สุชาติา ณรินทร์ศักดิ์ชัย : แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดพ่นละอองน้ำ
(MATHEMATICAL MODEL OF OPEN-AIR DUST REMOVING SYSTEM USING WATER SPRAYING)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม ศ.ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, 216 หน้า,
ISBN 974-333-385-1

ระบบควบคุมฝุ่นโดยการฉีดพ่นละอองน้ำในที่เปิดโล่งเป็นระบบควบคุมฝุ่นแบบหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดฝุ่นที่เกิดจากเหมืองหินและโรงโม่หิน ในอดีตมีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองการทำงานของหัวฉีดซึ่งใช้ในการจับฝุ่นและการคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบควบคุมฝุ่นแบบอื่นๆ เนื่องจากระบบควบคุมฝุ่นดังกล่าวมักถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ในพื้นที่เปิดโล่ง มีผลทำให้การออกแบบการคำนวณมีความยุ่งยากมากขึ้น อีกทั้งการใช้ค่าเฉลี่ยของขนาดพ่นละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การประมาณประสิทธิภาพในการจับฝุ่นเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับใช้คำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำ และเพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบควบคุมฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำ เช่น การกระจายขนาดของพ่นละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น ทิศทางและความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองดังกล่าวนี้มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยการฉีดพ่นละอองน้ำในที่เปิดโล่งในช่วงที่กลไกการจับฝุ่นด้วยพ่นละอองน้ำเกิดจากกลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อยเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังสามารถจำลองการวางเรียงหัวฉีดในรูปแบบต่างๆเพื่อเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับทิศทางลมจากสิ่งแวดล้อม อนึ่งจากการศึกษาผลกระทบเนื่องจากขนาดต่างๆของพ่นละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น พบว่าหากพ่นละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นที่พิจารณา มีขนาดอยู่ในช่วง 80-1000 ไมโครเมตร และ 1-10 ไมโครเมตรตามลำดับ (ความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วง 0-2 เมตร/วินาที) ประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเมื่อพ่นละอองน้ำมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นมีค่าสูงสุดเมื่อพ่นละอองน้ำมีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร

สำหรับกระแสลมแวดล้อมมีผลทำให้ค่าความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างพ่นละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น(U_r)มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจับฝุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามถ้าความเร็วลมแวดล้อมสูงเกินไป ทั้งพ่นละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นจะเคลื่อนที่ไปกับกระแสลม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจับอนุภาคฝุ่นมีค่าลดลง สรุปแล้วตัวแปรที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่น ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น การกระจายขนาดพ่นละอองน้ำ และความสูงของลำสเปรย์ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของฝุ่นและความเร็วลมแวดล้อมมีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นไม่มากนัก

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

3972106421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : DUST / WATER SPRAY / ROCK CRUSHING PLANT / INERTIAL IMPACTION / SIMULATION / OPEN-AIR

SUCHADA NARINSAKCHAI : MATHEMATICAL MODEL OF OPEN-AIR DUST REMOVING SYSTEM USING WATER SPRAYING. THESIS ADVISOR: ASS.PROF.TAWATCHAI CHARINPANITKUL, D.Eng., THESIS COADVISOR: PROF.WIWUT TANTAPANICHAKOON, Ph.D., 216 pp. ISBN 974-333-385-1

Water spraying is one practical method for dust removing in stone mining and crushing plants. So far there have been few investigations on the water spray system and the estimation of dust removing efficiency using water spray. Since this system is usually designed for operation in open air, the design calculation is quite complicated. Furthermore, the use of average sizes of water droplets and dust particles could lead to inaccurate estimate of dust removing efficiency. Therefore, the purpose of this work is to develop a mathematical model for calculating dust removing efficiency and investigating the effect of controlling factors, for instance, the size distribution of water droplets and dust particles and the ambient wind on the dust removing efficiency.

The result shows that this mathematical model is suitable for estimating the efficiency of the open-air dust removing system using water spray when the dust removal is dominated by inertial impaction mechanism. Additionally, this model can simulate various patterns of nozzle arrangement in order to select a suitable pattern with respect to the ambient wind direction. It is found that when the water droplet size and dust particle size are varied from 80-100 micrometer and 1-10 micrometer, respectively (ambient wind velocity in a range of 0-2 m/s), the collection efficiency rises as the dust particle size increases or the water droplet size decreases. The efficiency reaches a maximum when the water droplet size is about 100 micrometer.

Ambient wind increases the relative velocity between water droplet and dust particle and thus the dust removing efficiency. However, if the ambient wind velocity becomes too high, both water droplets and dust particles will be entrained with the wind. This results in a decrease of the dust removing efficiency. In conclusion, the important factors affecting dust removing efficiency are particle size distribution, followed by droplet size distribution and collecting height of spray. In contrast, particle concentration and ambient wind velocity have not much effect on efficiency.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ศุภมาส นรินทร์ศักดิ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนถึงแนะนำความรู้ความเข้าใจต่างๆมากมาย ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาค้นคว้า และขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล และอาจารย์ ดร.หทัยชนก ดุริยะบรรเลง สำหรับความช่วยเหลือตั้งแต่การตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ตลอดจนถึงข้อเสนอแนะต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลเอกสารผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นซึ่งเป็นหนึ่งของโครงการพัฒนาและสร้างระบบสถิติการกำจัดฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรมไม่บด และย่อยหิน กรมควบคุมมลพิษ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆ รุ่นน้องภาควิชาวิศวกรรมเคมี และสมาชิกทุกคนของห้องวิจัย Particle technology and material processing ที่คอยให้ความรัก ความเอาใจใส่ และกำลังใจเสมอมาในระหว่างที่ศึกษาตามขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์สำหรับการวิจัยเป็นระยะเวลา 1 ปี

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวข้าพเจ้าที่ช่วยสร้างโอกาสที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า ให้ความรัก ความเอาใจใส่ กำลังใจ และสนับสนุนปัจจัยมากมายตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป	ด
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ธ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1. มุลเหตุจริงใจ	1
1.2. วัตถุประสงค์	4
1.3. ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์.....	4
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมลภาวะทางอากาศเนื่องจากฝุ่น.....	7
2.1 คำศัพท์และความหมาย.....	7
2.2 อันตรายของฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการไม่ บด และย่อยหิน.....	9
2.2.1 อันตรายของฝุ่นต่อสภาพแวดล้อม การทำงาน และการดำเนินชีวิต.....	9
2.2.2 อันตรายของฝุ่นต่อสุขภาพของคนในบริเวณที่มีมลภาวะ.....	10
2.2.3 ผลกระทบในส่วนของเกี่ยวกับขนาดอนุภาคของฝุ่น.....	11
2.2.3.1 อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน	11
2.2.3.2 อนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.1 ถึง 10 ไมครอน.....	12
2.2.3.3 อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน	12
2.3 โรงโม่หิน และกระบวนการผลิต.....	13

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง.....	20
2.4.1 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศทั่วไป.....	20
2.4.2 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นจากโรงไม้ บด และย่อยหิน	20
2.5 การปล่อยฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรมไม้ บด และย่อยหิน.....	22
2.5.1 การปล่อยฝุ่นละอองจากการทำเหมืองหิน.....	23
2.5.2 จุดที่เป็นแหล่งปล่อยฝุ่นในกระบวนการไม้ บด และย่อยหิน	23
2.5.3 ฝุ่นละอองที่เกิดระหว่างเส้นทางลำเลียงขนส่ง	25
2.6 แนวทางการควบคุมปริมาณฝุ่นจากโรงไม้หิน.....	29
2.7 การกำจัดฝุ่นจากโรงไม้หิน.....	29
2.8 หัวฉีดหยดละอองน้ำ (Spray nozzle)	31
2.9 ระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ.....	34
2.10 กลไกของการกำจัดฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำ.....	39
2.10.1 การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction).....	40
2.10.2 การแพร่ (Brownian diffusion).....	41
2.10.3 การสกัดกั้น (Interception)	43
2.10.4 การหาประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่น	44
2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
3 แบบจำลองคณิตศาสตร์คำนวณหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำ.....	48
3.1 สมมติฐานของแบบจำลอง (Model Assumptions).....	51
3.2 สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณหาพื้นที่ที่หัวฉีดหยดละอองน้ำ 1 หัว สามารถครอบคลุมบริเวณแหล่งกำเนิดฝุ่น.....	52
3.2.1 สมการการหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำ	52
3.2.2 สมการความเร็วบั้นปลายของหยดละอองน้ำ.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	55
3.3.1 ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (Input Data)	56
3.3.2 ขั้นตอนการประมวลผลของโปรแกรม	56
3.3.3 ขั้นตอนการแสดงผลข้อมูล (Output Data)	59
3.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม และผลที่ได้รับ.....	59
3.4.1 อิทธิพลของความกว้างช่วงการคำนวณ (Step size of Integration).....	60
3.4.2 พิจารณาค่าความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของหยดละอองน้ำ	63
3.4.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมกับข้อมูลจาก เอกสารอ้างอิง.....	63
4 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ.....	67
4.1 สมมติฐานของแบบจำลอง	68
4.2 สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีด ละอองน้ำ.....	68
4.2.1 สมการสมดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดย การฉีดหยดละอองน้ำ.....	69
4.2.1.1 สมการสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด j ในปริมาตรควบคุม	70
4.2.1.2 สมการดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม	71
4.2.2 สมการสมดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมหลังติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการ ฉีดหยดละอองน้ำ.....	72
4.2.2.1 สมการคำนวณหาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในลำสเปร์ยในแนวตั้ง.....	75
4.2.2.2 สมการคำนวณหาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในลำสเปร์ยในแนวระดับ ...	80
4.2.2.3 สมการดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด j ในปริมาตรควบคุม.....	85
4.2.2.4 สมการดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม.....	86

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.3 สมการประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยด ละอองน้ำ.....	86
4.2.3.1 ประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของอนุภาคฝุ่นขนาด j	86
4.2.3.2 ประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยรวม.....	87
4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	89
4.3.1 ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (Input Data).....	89
4.3.2 ขั้นตอนการประมวลผล (Process).....	94
4.3.3 ขั้นตอนการแสดงผล (Output Data).....	95
4.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และผลที่ได้รับ.....	97
4.4.1 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับอุปกรณ์ของโรงโม่หินแห่งที่ 1.....	97
4.4.2 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับอุปกรณ์ของโรงโม่หินแห่งที่ 2.....	101
5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองและวิจารณ์ผล.....	109
5.1 อิทธิพลของการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำ.....	110
5.1.1 กรณีอนุภาคฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบและหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจาก หัวฉีดมีขนาดเดียว.....	110
5.1.2 วิเคราะห์ผลกรณีอนุภาคฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบและหยดละอองน้ำที่ถูก พ่นออกจากหัวฉีดมีขนาดเดียว.....	123
5.1.3 กรณีอนุภาคฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบและหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจาก หัวฉีดมีการกระจายขนาด.....	127
5.1.3.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำของ หัวฉีดต่างประเภท.....	127
5.1.3.2 เปรียบเทียบการใช้ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำและ อนุภาคฝุ่นกับขนาดเฉลี่ย.....	129

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.1.4	5.1.4 วิจารณ์ผลกรณีอนุภาคฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบ และหยดละอองน้ำที่ถูก พัดออกจากหัวฉีดมีการกระจายขนาด 141
5.1.4.1	5.1.4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำของ หัวฉีดต่างประเภท 141
5.1.4.2	5.1.4.2 เปรียบเทียบการใช้ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำและ อนุภาคฝุ่น กับขนาดเฉลี่ย 141
5.2	5.2 อิทธิพลของความเร็ว และทิศทางลมจากสิ่งแวดล้อม..... 143
5.2.1	5.2.1 อิทธิพลของความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม 143
5.2.2	5.2.2 วิจารณ์ผลอิทธิพลของความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม 149
5.2.3	5.2.3 อิทธิพลของทิศทางลมจากสิ่งแวดล้อม และการติดตั้งหัวฉีด..... 150
5.2.4	5.2.4 วิจารณ์ผลอิทธิพลของทิศทางลมจากสิ่งแวดล้อม และการติดตั้งหัวฉีด 151
5.3	5.3 ความว่องไวของประสิทธิภาพการจับฝุ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรควบคุม ต่างๆ ของแบบจำลอง 151
6	6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม..... 155
6.1	6.1 สรุปผลการศึกษา..... 155
6.2	6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม..... 157
รายการอ้างอิง.....	รายการอ้างอิง..... 159
ภาคผนวก.....	ภาคผนวก..... 162
ก.	ก. วิธีรุนแรง-คุดตา อันดับที่ 4..... 163
ข.	ข. การติดตั้งและการใช้งานโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นในที่เปิดโล่ง โดยการฉีดหยดละอองน้ำ..... 165
ค.	ค. ตัวอย่างผลการคำนวณ 175
ง.	ง. ข้อมูลพื้นฐานของโรงโม่หินที่ใช้ทดสอบ 181
จ.	จ. ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำของหัวฉีดประเภทต่างๆ 198

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
จ. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่เปลี่ยนแปลงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอนุภาคและหยดละอองน้ำ	203
ข. แนวทางการเลือกหัวข้อจัดที่เหมาะสมในการใช้งาน	207
ประวัติผู้เขียน.....	216



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	คุณภาพอากาศบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน จ.สระบุรี พ.ศ. 2539 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)	14
2.2	คุณภาพอากาศบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน จ.สระบุรี เดือน มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2540 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540).....	15
2.3	จุดกำเนิดฝุ่นสำคัญและลักษณะการเกิดฝุ่นในกระบวนการผลิตของโรงโม่หิน	27
2.4	ตารางสรุปลักษณะของหัวฉีด	32
2.5	แหล่งปล่อยฝุ่นและการควบคุมฝุ่นของโรงโม่หิน	38
3.1	แสดงความเร็วของหยดละอองน้ำในแนวแกน x ที่เวลาต่างๆ.....	61
3.2	แสดงความเร็วของหยดละอองน้ำในแนวแกน y ที่เวลาต่างๆ.....	61
3.3	แสดงระยะทางในการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำในแนวแกน x ที่เวลาต่างๆ.....	62
3.4	แสดงระยะทางในการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำในแนวแกน y ที่เวลาต่างๆ.....	62
3.5	ค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำ.....	63
3.6	แสดงข้อมูลจากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคำนวณหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีดด้วยความดันกับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง โดยกำหนดให้ $\bar{D}_w = 100$ ไมครอน $U_i = 70$ เมตร/วินาที และ มุม β มีขนาด 45° , 35° และ 25°	64
4.1	แสดงข้อมูล default ของโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ.....	93
4.2	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากไม้ 1 ของโรงโม่หินหินแห่งที่ 1	98
4.3	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากขอยทั้ง 4 เครื่อง ของโรงโม่หินแห่งที่ 1	99
4.4	แสดงค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นระหว่างข้อมูลจริงจากเอกสารอ้างอิงกับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ของโรงโม่หินแห่งที่ 1	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.5	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับ ฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากโม 1 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2 102
4.6	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับ ฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากปากโม 2 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2..... 103
4.7	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับ ฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือตระแกรงชั้นที่ 1 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2..... 104
4.8	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับ ฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือตระแกรงชั้นที่ 2 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2..... 105
4.9	แสดงค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นระหว่างข้อมูลจริงจากเอกสารอ้างอิงกับผลจาก การคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ของโรงโม่หินแห่งที่ 2 106
5.1	แสดงค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการจับฝุ่น ด้วยหยดละอองน้ำ เมื่ออนุภาคฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบและหยดละอองน้ำที่ ถูกพ่นออกจากหัวฉีดมีขนาดเดียว 110
5.2	แสดงข้อมูลผลการประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยด(η_1) เมื่อขนาดหยดละอองน้ำที่พิจารณาอยู่ในช่วง 80 – 1000 ไมครอน และขนาด อนุภาคฝุ่นที่พิจารณาอยู่ในช่วง 0.5 – 10 ไมครอน 112
5.3	แสดงข้อมูลผลการคำนวณประสิทธิภาพการจับฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยด(η_1) โดยขนาดหยดละอองน้ำที่พิจารณาอยู่ในช่วง 80 – 1000 ไมครอน และขนาด อนุภาคฝุ่นที่พิจารณาอยู่ในช่วง 0.5 – 10 ไมครอน และค่าพารามิเตอร์การสกັดกัน..... 114
5.4	แสดงข้อมูลผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) โดยขนาดหยดละอองน้ำที่พิจารณาอยู่ในช่วง 80 – 1000 ไมครอน และ ขนาดอนุภาคฝุ่นที่พิจารณาอยู่ในช่วง 0.5 – 10 ไมครอน..... 118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.5 แสดงข้อมูลผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) โดยขนาดหยดละอองน้ำที่พิจารณาอยู่ในช่วง 80 – 1000 ไมครอน และขนาดอนุภาคฝุ่นที่พิจารณาอยู่ในช่วง 0.5 – 10 ไมครอน กับค่าพารามิเตอร์การสกัดกัน	120
5.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมของการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) เมื่อใช้หัวฉีดแต่ละประเภทซึ่งมีการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่แตกต่างกัน	127
5.7 แสดงข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดประเภทที่ 1-1 , 1-2 และ 1-3 ตามลำดับ	130
5.8 แสดงข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นรูปแบบ ก-1, ก-2 และ ก-3.....	134
5.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) เมื่อใช้หัวฉีดประเภทที่ 1-1, 1-2, 1-3 การกระจายขนาดอนุภาคฝุ่นรูปแบบ ก - 1, ก - 2, ก - 3 และขนาดเฉลี่ยของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น	138
5.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) โดยใช้ขนาดเฉลี่ยของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น และข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นเมื่อมีการติดตั้งหัวฉีดมากกว่า 1 หัวฉีด เหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น.....	138
5.11 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) และค่าตัวแปรอื่นๆที่สำคัญ เมื่อความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม (U_{amb}) มีค่าต่างๆ.....	144
5.12 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น เมื่อความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมมีค่าต่างๆ โดยอาศัยข้อมูลจริงของโรงโม่หินแห่งที่ 1 จากเอกสารอ้างอิง	146
5.13 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรควบคุมต่างๆ.....	147

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.14 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำจากตัวอย่างการติดตั้งหัวฉีดหยดละอองน้ำเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งหัวฉีดคลุมพื้นที่กำเนิดฝุ่นทั้งหมด	151
5.15 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรควบคุมต่างๆ.....	152

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังแสดงขั้นตอนของโรงไม่หิน และการเกิดฝุ่นละออง	6
2.1	แสดงผังการไม่หินของโรงไม่หินทั่วไป	18
2.2	จุดกำเนิดและลักษณะการเกิดฝุ่นภายในโรงไม่หิน.....	26
2.3	แสดงลักษณะของหัวฉีด(spray nozzle) แบบต่างๆ.....	34
2.4	หลักการที่ฝุ่นในกระแสก๊าซตกปรกชน และเกาะติดกับหยดของเหลวเนื่องจากแรงเฉื่อย	42
2.5	แสดงการเคลื่อนไหวของอนุภาคฝุ่นแบบบราวเนียน (Brownian diffusion)	42
2.6	ลักษณะที่อนุภาคสัมผัส และเกาะติดกับสิ่งกีดขวางโดยกลไกการสกัดกั้น.....	45
2.7	แสดงผลที่การสกัดกั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (การคำนวณ).....	45
3.1	แสดงลักษณะของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดด้วยความดัน.....	49
3.2	แสดงภาพแสดงเส้นโคจรของหยดละอองน้ำ ภาพมุมมองสูง (top view) และภาพด้านข้าง (side view) ของแหล่งกำเนิดฝุ่นเมื่อติดตั้งหัวฉีด	50
3.3	แสดงลักษณะของสเปรย์ที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีด และโมเดลสำหรับหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดด้วยความดัน.....	50
3.4	แสดงวิธีการคำนวณอย่างง่ายของโปรแกรมสำหรับคำนวณหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำ.....	58
3.5	แสดงข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง (เรียวโซ โทเฮ, 2539: 118)	65
3.6	แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมการคำนวณหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำที่พ่นออกจากหัวฉีดด้วยความดันกับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง โดยกำหนดให้ $U_i = 100$ ไมครอน $U_i = 70$ เมตรวินาที และ มุม β มีขนาด 45° , 35° และ 25°	66
4.1	แหล่งกำเนิดฝุ่นก่อนการติดตั้งระบบบำบัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ.....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.2	แหล่งกำเนิดฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งระบบบำบัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ.....	73
4.3	แสดงภาพด้านข้าง(side view) การเคลื่อนที่แบบ counter flow ระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำ.....	74
4.4	แสดงภาพด้านข้าง(side view) การเคลื่อนที่แบบ cross flow ระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำ	74
4.5	ผังการคำนวณอย่างง่ายของโปรแกรมสำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ	88
4.6	แสดงภาพด้านบน (top view) การติดตั้งหัวฉีดเหนือ (ก) ปากไม้ และ (ข) ปากชอยของโรงไม้หินแห่งที่ 1	101
4.7	แสดงภาพด้านบน(top view) การติดตั้งหัวฉีดเหนือ (ก) ปากไม้ 1 (ข) ปากไม้ 2 และ (ค) ตระแกรงชั้นที่ 1 และ 2 ของโรงไม้หินแห่งที่ 2.....	107
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยด(η_d) กับขนาดของอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำ	113
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยด(η_d) กับขนาดของอนุภาคฝุ่นและค่าพารามิเตอร์การสกัดกัน.....	116
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยด(η_d) กับขนาดของหยดละอองน้ำและค่าพารามิเตอร์การสกัดกัน	117
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{total}) กับขนาดของอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำ.....	119
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{total}) กับขนาดของอนุภาคฝุ่นและค่าพารามิเตอร์การสกัดกัน.....	122
5.6	แสดงข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกฉีดพ่นออกจากหัวฉีดประเภทที่ 1 และหัวฉีดประเภทที่ 2	128

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดละอองน้ำกับร้อยละสะสมของหยดละอองน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าของหัวฉีดประเภทที่ 1-1, 1-2 และ 1-3 ซึ่งมีขนาดหยดละอองน้ำเฉลี่ย(\bar{D}_w) เท่ากับ 193.14 ไมครอน.....	131
5.8	แสดงข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดประเภทที่ 1-1, 1-2 และ 1-3.....	132
5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคฝุ่นกับร้อยละสะสมของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่าของการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นรูปแบบ ก-1, ก-2 และ ก-3 ซึ่งมีขนาดอนุภาคฝุ่นเฉลี่ย(\bar{D}_p) เท่ากับ 10.41 ไมครอน.....	135
5.10	แสดงข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นรูปแบบ ก-1, ก-2 และ ก-3.....	136
5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{total}) เมื่อใช้หัวฉีดประเภทที่ 1-1, 1-2, 1-3 จับฝุ่นที่มีการกระจายขนาดรูปแบบ ก-1, ก-2, ก-3.....	139
5.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{total}) เมื่อใช้ขนาดเฉลี่ยของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น หัวฉีดประเภทที่ 1-1 จับอนุภาคฝุ่นรูปแบบ ก-1 และหัวฉีดประเภทที่ 1-3 จับอนุภาคฝุ่นรูปแบบ ก-3 เมื่อมีการติดตั้งหัวฉีดมากกว่า 1 หัวฉีด เหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น	140
5.13	ก. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุมก่อนและหลังการติดตั้งหัวฉีดหยดละอองน้ำ ค่าความเร็วสัมพันธ์ระหว่างหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น(U_{Rg}) และประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{total}) กับความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม(U_{amb}) ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วสัมพันธ์ของหยดละอองน้ำกับอนุภาคฝุ่นต่อความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม(U_{Rg}/U_{amb}) กับความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม(U_{amb}) เมื่อหยดละอองน้ำมีขนาดเฉลี่ย(\bar{D}_w) = 193.14 μm และอนุภาคฝุ่นมีขนาดเฉลี่ย(\bar{D}_p) = 10.41 μm	145

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยด ละอองน้ำ(η_{total})กับความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม(U_{amb})โดยอาศัยข้อมูลปากโม 1 ปากโม 2 (คิดรวม 4 เครื่อง) ของโรงโมหินแห่งที่ 1 และข้อมูลปากโม 1 ปากโม 2 ตะแกรงชั้นที่ 1 และตะแกรงชั้นที่ 2 ของโรงโมหินแห่งที่ 2 จากเอกสารอ้างอิง	148
5.15	แสดงภาพด้านบน(top view) การติดตั้งหัวฉีด (n) รูปแบบที่ 1 (ข) รูปแบบที่ 2 และ (ค) รูปแบบที่ 3	150
5.16	กราฟแสดงความไวของค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่น (η_{total}) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ตัวแปรควบคุมต่างๆ	153

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

A_{ic}	คือ	พื้นที่ด้านบนของปริมาตรควบคุม	$[m^2]$
A_{sc}	คือ	พื้นที่ด้านข้างที่ลมจากสถานะแวดล้อมพัดเข้ามาในปริมาตรควบคุม	$[m^2]$
A_{bc}	คือ	พื้นที่ด้านล่างโดยรอบแหล่งกำเนิดฝุ่นในปริมาตรควบคุม	$[m^2]$
A_{is}	คือ	พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	$[m^2]$
A_w	คือ	พื้นที่หน้าตัดของลำสเปร์ย์	$[m^2]$
A_{sp}	คือ	พื้นที่ผิวด้านข้างของลำสเปร์ย์ด้านรับลม	$[m^2]$
C_D	คือ	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหล	$[-]$
C_0	คือ	ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุมก่อนได้รับการบำบัด	$[kg/m^3]$
C_{amb}	คือ	ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในสถานะแวดล้อม	$[kg/m^3]$
C_g	คือ	ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นก่อนเข้าลำสเปร์ย์ในแนวอน	$[kg/m^3]$
C_s	คือ	ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากแหล่งกำเนิดก่อนเข้าลำสเปร์ย์ในแนวตั้ง	$[kg/m^3]$
D_p	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่น	$[\mu m]$
D_w	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดละอองน้ำ	$[\mu m]$
F_D	คือ	แรงต้านการเคลื่อนที่การไหลโดยอากาศต่อการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำ	$[kg.m/s^2]$
f	คือ	ปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดฝุ่น และสามารถถูกกำจัดโดยหยดละอองน้ำขนาดต่างๆ ในลำสเปร์ย์	$[m^3/s]$
g	คือ	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$[m/s^2]$
H	คือ	ความสูงของแหล่งกำเนิดฝุ่น	$[m]$
L	คือ	ความยาวของแหล่งกำเนิดฝุ่น	$[m]$
L_w	คือ	ความสูงเฉลี่ยของลำสเปร์ย์ หรือระยะการติดตั้งหัวฉีดเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น	$[m]$
m	คือ	จำนวนขนาด(size) ทั้งหมดของอนุภาคฝุ่น	$[-]$
n	คือ	จำนวนขนาด(size) ทั้งหมดของหยดละอองน้ำ	$[-]$
Q	คือ	อัตราการเกิดอนุภาคฝุ่นที่พุ่งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดฝุ่น	$[kg/s]$
Δq	คือ	อัตราการกำจัดฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในลำสเปร์ย์	$[kg/s]$

R	คือ พารามิเตอร์การสกัดกั้น (Interception parameter)	[-]
R_w	คือ รัศมีของลำสเปรย์	[m]
Re	คือ ตัวเลขเรย์โนลด์	[-]
t	คือ เวลา	[s]
U_1	คือ ความเร็วฝุ่นที่พุ่งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด	[m/s]
U_{wt}	คือ ความเร็วปั่นป่วนของหยดละอองน้ำขนาด	[m/s]
U_{pt}	คือ ความเร็วปั่นป่วน (Terminal velocity) ของอนุภาคฝุ่นขนาด	[m/s]
U_{amb}	คือ ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม	[m/s]
U_r	คือ ความเร็วลมสัมพัทธ์ระหว่างหยดละอองน้ำกับกระแสม	[m/s]
W	คือ ความกว้างของแหล่งกำเนิดฝุ่น	[m]
w	คือ อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์	[m ³ /s]
β	คือ มุมฉีดออกของหัวฉีดจากแนวกึ่งกลาง	[องศา]
ρ	คือ ความหนาแน่น	[kg/m ³]
φ	คือ พารามิเตอร์แรงเฉื่อย (Inertial parameter)	[-]
μ	คือ ความหนืด	[kg/m.s]
η_1	คือ ประสิทธิภาพการจับอนุภาคฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยด	[-]
η_{coj}	คือ ประสิทธิภาพการจับอนุภาคฝุ่นขนาด j ด้วยหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดที่เลือกใช้	[-]
η_{total}	คือ ประสิทธิภาพรวมการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดที่เลือกใช้	[-]
K_s	คือ กลุ่มตัวแปรไร้มิติ $= \frac{3}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{ji} w_i U_{wt} L_w}{D_{wi} Q_s (U_{wt} - U_1)}$	[-]
K_g	คือ กลุ่มตัวแปรไร้มิติ $= \frac{3}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{ji} w_i U_{Rg} L_w}{D_{wi} Q_g U_{wt}}$	[-]
X_i	คือ เศษส่วนจำนวนหยดละอองน้ำขนาด i เมื่อเทียบกับจำนวนหยดละอองน้ำทั้งหมด $= F_{wi} / \sum_{i=1}^n F_{wi}$	[-]

G_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดจากสภาวะแวดล้อม $= C_{ambj} / \sum_{i=1}^m C_{ambi}$ [-]

Z_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุมก่อนได้รับการบำบัด $= C_{0j} / \sum_{i=1}^m C_{0i}$ [-]

Y_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดก่อนเข้าลำสเปร์ยในแนวตั้ง $= C_{sj} / \sum_{i=1}^m C_{si}$ [-]

V_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดก่อนเข้าลำสเปร์ยในแนวนอน $= C_{sj} / \sum_{i=1}^m C_{si}$ [-]

Z'_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุมหลังได้รับการบำบัด $= C'_{0j} / \sum_{i=1}^m C'_{0i}$ [-]

Y'_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดที่ออกจากลำสเปร์ยในแนวตั้ง $= C'_{sj} / \sum_{i=1}^m C'_{si}$ [-]

V'_{dj} คือ เศษส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาด j เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นทั้งหมดที่ออกจากลำสเปร์ยในแนวนอน $= C'_{sj} / \sum_{i=1}^m C'_{si}$ [-]

ตัวห้อย (Subscript)

- a คือ อากาศ
- amb คือ สภาพแวดล้อม
- g คือ พารามิเตอร์ของอนุภาคฝุ่น เมื่อพิจารณาในแนวราบ
- i คือ ขนาดหยดละอองน้ำโดยเฉลี่ยในชั้นภาคชั้นที่ i
- j คือ ขนาดของอนุภาคฝุ่นโดยเฉลี่ยในชั้นภาคชั้นที่ j
- 0 คือ ปริมาตรควบคุม (control volume)
- p คือ อนุภาคฝุ่น
- s คือ แหล่งกำเนิดฝุ่น (dust source) หรือ พารามิเตอร์ของอนุภาคฝุ่น เมื่อพิจารณาในแนวตั้ง
- sp คือ หัวฉีด (spray)
- w คือ หยดละอองน้ำ
- x คือ แนวแกน x
- y คือ แนวแกน y
- z คือ แนวแกน z

ตัวโหน (superscript)

- คือ ค่าเฉลี่ย
- ' คือ ผลหลังติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย