อิทธิพลของสารแต่งผิวต่อการควบคุมฝุ่นโรงโม่หิน

The Effect of Surfactants on Dust Suppression in Limestone Crushing Plant

เสาวลักษณ์ มุสิกะรังษี

Saowalak Musikarangsi

เลขหมู่ TD884.5 ส๗๕ 2543 ฉ.๒
Order Key 28869
Bib Key 177763
12 ก.ค. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management

Prince of Songkla University

2543

ชื่อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของสารแต่งผิวต่อการควบคุมฝุ่นโรงโม่หิน
ผู้เขียน	นางเสาวลักษณ์ มุสิกะรังษี
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)

.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พนิต เชิดชูพงษ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ บำรุงรักษ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของสารแต่งผิวต่อการควบคุมฝุ่นโรงโม่หิน
ผู้เขียน	นางเสาวลักษณ์ มุสิกะรังษี
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารแต่งผิว ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นโรงโม่หินด้วยฝอยละอองน้ำ โดยใช้สารแต่งผิว 4 ชนิด คือ Triton X-100, Triton N-101 Aerosol OT Solution และ Armac 12-d ทดสอบความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 2% พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารแต่งผิว หยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100, Triton N-101 และ Aerosol OT Solution จะสามารถจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มความสามารถในการจับฝุ่นได้ถึงค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.01%, 0.05% และ 1% หรือ 0.50, 0.51 และ 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สำหรับหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d กลับจับฝุ่นได้ลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร และในการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว และฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และ Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.01% ที่ระดับแรงดัน 20 - 60 psi โดยการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง 3 ชนิด พบว่า ฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution และ Triton X-100 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำได้จาก 30.3 - 73.6 % เป็น 42.2 - 92.1 % และ 39.6 - 90.2 % ตามลำดับ

พลตรี ดุสฎี บุณยพิมลกลาง อรรถกระวีสุนทร
มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
วิทยาเขตกาญจนบุรี
ได้รับไว้
1 - 8 ก.ค. 2543
หมายเลข

Thesis Title	The Effect of Surfactants on Dust Suppression in Limestone Crushing Plant
Author	Mrs. Saowalak Musikarangsi
Major Program	Environmental Management
Academic Year	1999

Abstract

The objective of this research is to study the effect of surfactants on dust suppression in limestone crushing plant by water sprays. Four surfactants were used in this study which were Triton X-100, Triton N–101, Aerosol OT Solution and Armac 12-d. Dust capture and collection efficiency by droplets of water containing 0.0001 – 2% surfactant were studied. The results revealed that increasing concentration of Triton X-100, Triton N–101 and Aerosol OT Solution increased the collection efficiency. The collection efficiency reached the ultimate values when the concentration of Triton X-100, Triton N–101 and Aerosol OT Solution were increased to 0.01, 0.05 and 1% respectively. The ultimate amount of dust captured for Triton X–100, Triton N–101 and Aerosol OT Solution were 0.50, 0.51 and 0.78 mg/ml respectively. However, the dust capture decreased for the addition of Armac 12-d. The collection efficiency of water sprays at 20 – 60 psi water pressure using water with no surfactant, with 0.01% Triton X–100 and with 0.01% Aerosol OT Solution were studied using 3 types of nozzles. The results showed that the addition of 0.01% Aerosol OT Solution and 0.01% Triton X–100 could improve dust collection efficiency from 30.3 - 73.6 % to 42.2 - 92.1 % and 39.6 - 90.2 % respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทาง และแก้ไขข้อบกพร่องจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ พนิต เชิดชูพงษ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบ พร้อมทั้งคำเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อความสะดวกเกี่ยวกับสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ขอขอบคุณ คุณณชพร รัตนาภรณ์ และคุณสุจริต สิงหพันธ์ แผนกวิชาช่างกลโรงงาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ ที่ให้ความช่วยเหลือสร้างอุปกรณ์ในการทดลอง และขอขอบคุณ คุณยุพิน จันทรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ คุณวิจารณ์ ลีลาพงศ์ ผู้อำนวยการศูนย์ระบาดวิทยาภาคใต้ จังหวัดสงขลา ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการศึกษาต่อครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ น้องทุกคน และคุณชัยยันต์ มุสิกะรังษี สำหรับกำลังใจที่มีให้มาตลอด ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เสาวลักษณ์ มุสิกะรังษี

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการตารางผนวก	(10)
รายการภาพประกอบ	(16)
รายการภาพประกอบผนวก	(20)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	29
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	29
2 วิธีการวิจัย	30
วัสดุ	30
อุปกรณ์	31
ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย	32
3 ผลและการอภิปรายผล	40
3.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น	40
3.2 การศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว	49
3.3 การสรุปเลือกสารแต่งผิว เพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ	59

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่	
3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ	62
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง	83
ภาคผนวก ข ผลการทดลองหาขนาดของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว	86
ภาคผนวก ค แสดง Calibration chart สำหรับคำนวณปริมาณฝุ่นจากการทดลอง	89
ภาคผนวก ง ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ	92
ภาคผนวก จ ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ	98
ภาคผนวก ฉ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	127
ประวัติผู้เขียน	130

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ความเร็วของการตกตัวของฝุ่นหินปูน ที่อุณหภูมิ 20°C	10
3.1 ค่าแรงตึงผิวของน้ำที่ผสมสารแต่งผิวที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	41
3.2 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100	45
3.3 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101	46
3.4 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution	47
3.5 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d	48
3.6 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100	50
3.7 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101	52
3.8 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution	53
3.9 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d	54
3.10 แสดงความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	65
3.11 แสดงความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	65
3.12 แสดงความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	66
3.13 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	68
3.14 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	68
3.15 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	69

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.16 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	70
3.17 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	70
3.18 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	71
3.19 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	72
3.20 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	72
3.21 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	73

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	แสดงการกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง	84
2	ผลการทดลองหาจำนวนของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิวใน 1 มิลลิลิตร	87
3	แสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นกับค่าความขุ่น	90
4	ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100	94
5	ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101	95
6	ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution	96
7	ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d	97
8	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	100
9	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	100
10	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	101
11	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	101
12	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	102
13	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	103
14	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	103

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
15	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	104
16	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	104
17	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	105
18	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	106
19	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	106
20	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	107
21	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	107
22	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4	108

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
23	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	109
24	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	109
25	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	110
26	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	110
27	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	111
28	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	112
29	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	112
30	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	113
31	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	113
32	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	114

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
33	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	115
34	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	115
35	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	116
36	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	116
37	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507	117
38	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	118
39	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	118
40	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	119
41	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	119
42	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	120

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
43 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	121
44 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	121
45 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	122
46 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	122
47 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	123
48 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	124
49 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	124
50 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	125

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
51	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	125
52	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5	126

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นและระยะเวลาที่สัมผัสฝุ่นกับสัดส่วนของคนงานที่เป็นโรคปอดที่เกิดจากฝุ่น	7
1.2	คุณสมบัติบางอย่างของอนุภาคแขวนลอยในอากาศที่สัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค	9
1.3	การชนกันระหว่างอนุภาคและหยดน้ำ	13
1.4	สัดส่วนมาตรฐานของไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวสัมผัส	20
1.5	ไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวแกน	20
1.6	มัลติ - ไซโคลน (แบบไหลเข้าในแกนและไหลย้อนออก)	21
1.7	มัลติ - ไซโคลน (แบบไหลเข้าในแนวนอนและไหลตรงออก)	21
1.8	เครื่องสครับเบอร์แบบชักน้ำสเปรย์ขึ้นเอง	24
1.9	เครื่องอินเจ็คเตอร์สครับเบอร์แบบ 2 ชั้น	24
1.10	หอสเปรย์ (Spray tower)	25
1.11	ไซโคลนสครับเบอร์	25
1.12	เครื่องกำจัดฝุ่นแบบหอใส่วัสดุ (สเปรย์สวนทาง)	26
1.13	เครื่องกำจัดฝุ่นแบบหอใส่วัสดุ (สเปรย์ขนานและสวนทาง)	26
1.14	โครงสร้างของถุงกรองที่ใช้ทั่วไป	28
2.1	แบบจำลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ	36
2.2	ภาพชุดการทดลอง ที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ ในห้องปฏิบัติการ	37
2.3	อุปกรณ์สร้างละอองฝุ่น (Packed bed aerosol generator)	37
2.4	แบบจำลองระบบพ่นฝอยละอองน้ำที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ	38
2.5	ภาพชุดการทดลอง ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ในห้องปฏิบัติการ	39

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Triton X-100	42
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Triton N-101	42
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Aerosol OT Solution	43
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Armac 12-d	43
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Triton X-100	45
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Triton N-101	46
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Aerosol OT Solution	47
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Armac 12-d	48
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100	50
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101	52
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution	53
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d	54

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100	56
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101	56
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution	58
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d	58
3.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100, Triton N-101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d	60
3.18 แสดงตำแหน่งติดตั้งหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8GG-1507	63
3.19 แสดงตำแหน่งติดตั้งหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8HH-KY4 และ FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8GG-SS1.5	64
3.20 ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ, ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8HH-KY4	69
3.21 ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ, ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8GG-1507	71

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.22	ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ, ฝอยละอองน้ำที่ผสม0.01% Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8GG-SS1.5	73

รายการภาพประกอบผนวก

ภาพประกอบผนวก	หน้า
1 การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง	85
2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นกับค่าความขุ่น	91
3 เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (Turbidimeter)	128
4 เครื่องมือวัดแรงตึงผิว (Tensiometer)	128
5 เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal particle size analyzer)	129

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ฝุ่นเป็นมลสารประเภทหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ กำลังเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากหลายฝ่ายทั้งภาครัฐบาลและเอกชน ผลกระทบของฝุ่นต่อมนุษย์ ได้แก่ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ เกิดภาวะภูมิแพ้ ทำให้เกิดพยาธิสภาพของถุงลมและเนื้อปอด จากการสะสมของฝุ่น เกิดการเสื่อมสมรรถภาพของปอด และก่อให้เกิดโรคมะเร็งในปอดได้ (สุปราณี ผลชีวิน, 2540) นอกจากนี้ยังทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง และยังก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง

โรงโม่หินเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูง โดยเฉพาะปัญหาเรื่องฝุ่น ในหลายพื้นที่เกิดความขัดแย้งระหว่างผู้ประกอบการและชุมชนรอบข้าง จากตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ ปัญหาฝุ่นบริเวณพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี และบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีกิจการโรงโม่หินตั้งอยู่หนาแน่น ก่อให้เกิดปัญหาเดือดร้อนรำคาญเป็นอันตรายต่อชุมชน และมีเรื่องร้องเรียนจากประชาชนผู้อยู่อาศัยในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวตลอดเวลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

ถึงแม้ว่าปัญหาฝุ่นจากกิจการโรงโม่หิน จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงก็ตาม แต่ความต้องการใช้หินเพื่อการก่อสร้างก็ยังคงมีเพิ่มขึ้น ตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ และการเร่งรัดพัฒนาโครงการสาธารณูปโภคพื้นฐานของรัฐ โดยเฉพาะถนนและเส้นทางคมนาคมต่างๆ ทั่วประเทศ ดังนั้นการผลิตหินเพื่อการก่อสร้างก็ยังคงต้องดำเนินต่อไปเพื่อสนองตอบต่อความต้องการใช้ของประเทศในระยะยาว และในทุกภูมิภาคของประเทศ ขณะเดียวกันการดำเนินการดังกล่าว จะต้องมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำสุดในระดับที่สังคมยอมรับได้เช่นกัน

วิธีการควบคุมฝุ่นตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะใช้เครื่องเก็บฝุ่น ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชิงกล ในการแยกอนุภาคของแข็งหรือละอองของเหลวเล็กๆ ที่กระจายอยู่ในก๊าซ ออกเป็นส่วนของก๊าซกับส่วนของอนุภาค เครื่องเก็บฝุ่นมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน ได้แก่ เครื่องเก็บฝุ่นแบบ

แรงโน้มถ่วง เครื่องเก็บฝุ่นแบบกรอง เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย เครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับเบอร์ เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เป็นต้น โดยอาศัยหลักการทำงาน คือ อาศัยพัดลมเป่าหรือดูดจากที่เกิดฝุ่นในตำแหน่งต่างๆ ของโรงงานให้ไหลไปรวมกัน แล้วป้อนเข้าสู่ระบบกำจัดฝุ่น ซึ่งวิธีการดังกล่าวถ้านำไปใช้ในโรงโม่หิน จะค่อนข้างยุ่งยากในการออกแบบ และต้องเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับระบบดูดฝุ่นค่อนข้างสูง เพราะตำแหน่งที่เกิดฝุ่นในโรงโม่หินนั้นกระจายอยู่ไกลกัน และอยู่ในระดับต่างๆกัน วิธีที่นิยมปฏิบัติกันทั่วไปในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ คือ การพ่นฝอยละอองน้ำเพื่อจับฝุ่นให้ตกลงพื้น ไม่ให้มีโอกาสฟุ้งกระจายออกไป อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ การพ่นฝอยละอองน้ำดังกล่าวในปัจจุบันยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะน้ำจากการพ่นก่อให้เกิดปัญหาต่อเนื่องจากการที่ต้องใช้น้ำค่อนข้างมากเกินไป ทำให้สายพานลำเลียงลื่น เกิดการสะสมของฝุ่นบริเวณลูกกลิ้งของสายพานลำเลียงเป็นก้อนโต เกิดการปีนของสายพานและฉีกขาดได้ง่าย นอกจากนี้ยังเกิดการสะสมของฝุ่นเปียกบริเวณตะแกรงคัดขนาด ทำให้ตะแกรงอุดตัน ประสิทธิภาพการคัดแยกลดลง ดังนั้นโรงโม่หินหลายแห่งจึงมักจะพยายามหลีกเลี่ยงการพ่นละอองน้ำ และปล่อยให้ฝุ่นฟุ้งกระจายต่อไป และจะเปิดน้ำพ่นละอองเฉพาะเมื่อมีเจ้าหน้าที่ของรัฐเข้าไปตรวจสอบเท่านั้น

ในการกำจัดฝุ่นจากงานเหมืองแร่ มีการใช้ระบบพ่นฝอยละอองน้ำกันอย่างแพร่หลาย ได้มีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นของระบบพ่นฝอยละอองน้ำในเหมืองถ่านหิน และพบว่า การใช้สารแต่งผิว (Surfactants) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับฝุ่น และสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการกำจัดฝุ่นอีกด้วย (Alaboyun,1989 ; Anderson, Evans and Peluso, 1963 ; Bughdadi, 1973 ; Chander, Alaboyun and Aplan, 1991 ; Chander, Mohal and Aplan, 1988 ; Cheng and Emmerling, 1974 ; Jayaraman, Schroeder and Kissel, 1986 ; Kobrick,1970 ; Tomb, Emmerling and Kellner, 1972) จากการค้นคว้า ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดฝุ่นโรงโม่หิน โดยการใช้สารแต่งผิวในระบบพ่นฝอยละอองน้ำ จึงเป็นที่น่าสนใจว่า การใช้สารแต่งผิวน่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ ในการกำจัดฝุ่นโรงโม่หินด้วยฝอยละอองน้ำ และสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการกำจัดฝุ่นด้วย ซึ่งจะเป็นการลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น และลดปัญหาการขาดแคลนน้ำ สำหรับระบบควบคุมฝุ่นในช่วงหน้าแล้งด้วย และยังเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมในการทำงาน ให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ที่ต้องทำงานเกี่ยวข้อง ตลอดจนประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย นอกจากนั้นยังอาจพัฒนาต่อไปได้อีก สำหรับการควบคุมฝุ่นจากโรงโม่หินด้วยฝอยละอองน้ำ ในหอสเปรย์หรือสครับเบอร์

การตรวจเอกสาร

1. ฝุ่น

ฝุ่น (Dust) หมายถึง ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เป็นของแข็ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นจากการแตกตัวของของแข็ง เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากการขัดถู ฝุ่นจากการขุดเจาะหรือผ่า เป็นต้น ขนาดของฝุ่นจะมีช่วงขนาดหลากหลายตั้งแต่ขนาดไมครอน จนถึงขนาดมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Perkins, 1974)

1.1 ประเภทของฝุ่น

ฝุ่นสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับการพิจารณาคุณสมบัติด้านใด โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น

1.1.1 แบ่งตามความเป็นพิษ

ก. ฝุ่นเฉื่อย (Inert dust) ส่วนใหญ่จะเป็นฝุ่นจากสารอินทรีย์ (Organic dust) ไม่ค่อยก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย หรือจะเป็นอันตรายก็เพียงเล็กน้อย เช่น เกิดการแพ้ ได้แก่ พวกละอองเกสร เปลือกข้าว

ข. ฝุ่นที่เป็นพิษ (Toxic dust) ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นอนินทรีย์ (Inorganic dust) เมื่อร่างกายได้รับเข้าไปและสะสมในร่างกายแล้ว จะทำให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรงขึ้น เช่น ตะกั่ว แคดเมี่ยม ซิลิกา แอสเบสตอส

1.1.2 แบ่งตามขนาดที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้

ก. ฝุ่นที่หายใจเข้าระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) เป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ 10 ไมครอนลงไป ซึ่งเป็นฝุ่นที่หายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้

ข. ฝุ่นที่ไม่สามารถหายใจเข้าระบบทางเดินหายใจได้ (Non-respirable dust) เป็นฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนขึ้นไป ฝุ่นชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะหายใจเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายได้ ส่วนใหญ่จะติดค้างอยู่ที่ทางเดินหายใจส่วนต้น

1.1.3 แบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี

1.1.3.1 ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ (Organic dust) แบ่งเป็น

ก. ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เช่น ละอองเกสรของพืชหรือหญ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดอาการแพ้พิษได้

ข. ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่มีชีวิต เช่น แบคทีเรีย ฟังไจ เป็นต้น ซึ่งสามารถก่อให้เกิดโรคในคนและสัตว์

1.1.3.2 ฝุ่นละอองจากสารอนินทรีย์ (Inorganic dust) เช่น Flint dust ที่เกิดจากการบดหิน Hematite dust ที่เกิดจากโรงงานหลอมโลหะ และ Asbestos dust เป็นต้น

1.1.4 แบ่งตามขนาดของอนุภาคมลสาร

U.S.EPA (U.S. Environmental Protection Agency, 1989) ได้กำหนดขนาดของฝุ่นละอองไว้ คือ จาก 0.005 ไมครอน ถึงประมาณ 100 ไมครอน และจำแนกประเภทของฝุ่นไว้ 2 ชนิด ได้แก่

ก. ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก (Fine particulate matter) กำหนดขนาดไว้ว่า มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองประเภทนี้จะเป็นอันตรายอย่างมากต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

ข. ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (Coarse particulate matter) กำหนดขนาดไว้ว่า มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 2.5 ไมครอน

1.2 ผลกระทบจากฝุ่น

ผลกระทบจากฝุ่น สามารถแบ่งเป็น

1.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.1.1 ต่อพืช ฝุ่นละอองจะจับบนใบพืช ทำให้ก๊าซเข้าสู่ใบได้น้อยลง ในที่สุดเกิดเป็นใบเหลืองและเฉา นอกจากนี้ฝุ่นยังทำให้รังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีความยาวคลื่น 400 – 760 nm. สะท้อนออกเพิ่มขึ้น เป็นผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง ในทางตรงข้ามกลับดูดซึมรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 1,750 – 1,850 nm. มากขึ้น ทำให้ความร้อนภายในใบเพิ่มมากขึ้น (เณริน วิศิษศักดิ์วาสิน , 2535)

1.2.1.2 ต่อทัศนวิสัยในการมองเห็น ฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว สามารถดูดซับ (Absorption) และหักเห (Scattering) แสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้นๆ (Hinds, 1982)

1.2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

ปกติแล้วอากาศที่มนุษย์หายใจเข้าไปนั้นประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน 78% ก๊าซออกซิเจน 20.9% นอกนั้นเป็นอาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ นีออน ฮีเลียม มีเทน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนไดออกไซด์ และโอโซน รวมกันประมาณ 1.1% ดังนั้นสิ่งที่ปนเปื้อนเข้ามาในอากาศจะทำให้คุณภาพของอากาศเปลี่ยนไป สิ่งแปลกปลอมต่างๆเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปของฝุ่นละอองควัน ไอ หรือปริมาณก๊าซที่ผิดปกติไป ถ้าสิ่งปนเปื้อนมีปริมาณมากพอ และมีระยะเวลาในการ

สัมผัสเพียงพอ ก็อาจจะก่อให้เกิดความรำคาญ หรือเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรือรบกวนการดำรงชีวิตของมนุษย์ได้

อวัยวะสำคัญของร่างกายที่ทำหน้าที่ในการหายใจและแลกเปลี่ยนก๊าซอยู่ตลอดเวลา คือ ปอด ดังนั้นปอดจึงต้องได้รับการสัมผัสกับอากาศที่อยู่รอบตัวเราตลอดเวลา ทำให้ได้รับสิ่งปนเปื้อนอยู่ในอากาศต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง ควันพิษ ก๊าซพิษ ตลอดจนเชื้อโรคมากมาย ดังนั้นระบบหายใจจึงต้องมีกลไกพิเศษที่ป้องกันตัวเองให้ปลอดภัย อย่างไรก็ตามหากได้รับสิ่งปนเปื้อนเหล่านั้นมากเกินไป หรือกลไกการป้องกันมีความผิดปกติ ก็อาจจะทำให้ปอดได้รับอันตรายได้ นอกจากนี้กลไกการป้องกันของปอดนั้น อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการทำลายปอดเองได้

กลไกการป้องกันของปอดมี 2 ระบบ คือ

1. กลไกทางกายภาพ ได้แก่ การกรอง ซึ่งเป็นกลไกด่านแรกที่จะทำให้อากาศที่หายใจเข้าไปนั้นสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปน ปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ เช่น การไอ การจาม การหดตัวของหลอดลม การที่มีน้ำมูกเกิดขึ้น ก็เป็นการกันไม่ให้สารตกลงไปอยู่ในหลอดลม ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะติดอยู่ในจมูก และทางเดินหายใจส่วนบนเกือบทั้งหมด (ระบบทางเดินหายใจส่วนบน ได้แก่ โพรงจมูก ปาก คอหอย และกล่องเสียง)

2. กลไกการทำให้สารพิษหมดสภาพไป หรือการทำลายสารพิษ ได้แก่ การหลั่งเอ็นไซม์ออกมาจับกินสิ่งแปลกปลอม การสร้างภูมิคุ้มกันขึ้นมา หรือมีเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการทำลายสิ่งแปลกปลอม เช่น Alveolar macrophage

อย่างไรก็ตามถ้ามีสิ่งแปลกปลอมมากเกินไป กลไกการป้องกันอาจจะทำงานผิดปกติไป และอาจจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ปอดได้ เช่น ถ้าหลั่งเอ็นไซม์ออกมามากจนเกินไป ก็อาจจะทำลายเนื้อเยื่อปอดได้ หรือการทำลายซิลิกาของ Alveolar macrophage ทำให้เกิดพังผืดที่ถุงลมปอด

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จะมีความรุนแรงมากน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษนั้น ปริมาณที่ร่างกายได้รับ ระยะเวลาที่ได้รับ และความต้านทานของร่างกาย ผลของสารเหล่านั้นอาจเกิดขึ้นทันทีทันใด หรือให้ผลต่อเนื่องจนเกิดเป็นโรคเรื้อรังก็ได้ สามารถแบ่งอันตรายจากฝุ่นที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ได้ ดังนี้ (สุปรานี ผลชีวิน, 2540)

1. กลุ่มโรคปอดจากฝุ่นละออง (Pneumoconiosis) เนื่องจากฝุ่นที่หายใจเข้าไปเมื่อเข้าไปถึงปอดแล้ว จะทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อในปอด ทำให้บริเวณนั้นเกิดเนื้อเยื่อที่มีลักษณะเหนียวแบบพังผืด (Fibrosis) ซึ่งทำให้บริเวณนั้นเสียหน้าที่การแลกเปลี่ยนก๊าซไป และทำให้

ความสามารถในการขยายตัวของปอดลดลง โรคปอดแข็งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปตามลักษณะของฝุ่นที่เป็นสาเหตุ ได้แก่

ก. ฝุ่นซิลิกา (Silica หรือ SiO_2) ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นจากหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) อาจก่อให้เกิดโรคซิลิโคซิส (Silicosis)

ข. ฝุ่นแอสเบสตอส (Asbestos) อาจก่อให้เกิดโรคแอสเบสโตซิส (Asbestosis)

ค. ฝุ่นซิลิเกตอื่นๆ (Other Silicate) อาจก่อให้เกิดโรคซิลิเกโตซิส (Silicatosis)

ง. ฝุ่นเหล็กหรือฝุ่นแร่เหล็ก อาจก่อให้เกิดโรคซิเดอโรซิส (Siderosis)

จ. ฝุ่นถ่านหิน (จากทั้งบิทูมินัสและแอนทราไซท์) อาจก่อให้เกิดโรคปอดดำ (Black Lung) หรือแอนทราโคซิลิโคซิส (Anthracosilicosis)

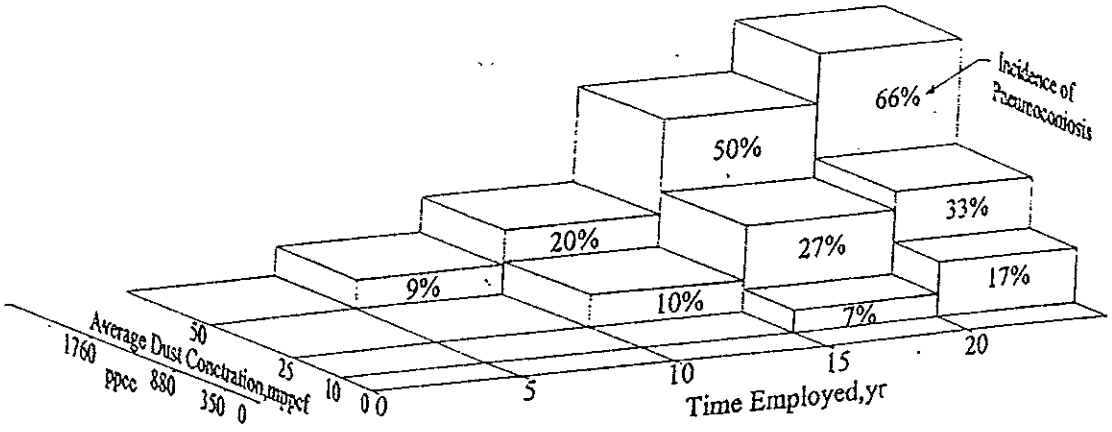
ในจำพวกโรคปอดที่เกิดจากฝุ่นเหล่านี้ โรคซิลิโคซิสถือว่าร้ายแรงที่สุด จากภาพประกอบ 1.3 แสดงให้เห็นโอกาสที่จะเกิดโรคปอดที่เกิดจากฝุ่นโดยประมาณ โดยจะเห็นได้ว่าทั้งความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ และระยะเวลาที่บุคคลได้สัมผัสกับฝุ่นนั้น มีอิทธิพลต่อโอกาสที่จะเกิดโรค เช่น ฝุ่นที่มีความเข้มข้น 10 – 25 micro-pound / cu.ft. (160 - 400 mg / cu.m.) จะไม่ก่อให้เกิดโอกาสที่จะเกิดโรคปอดที่เกิดจากฝุ่น หากบุคคลสัมผัสกับฝุ่นน้อยกว่า 15 ปี แต่ถ้าบุคคลสัมผัสกับฝุ่นที่มีความเข้มข้นช่วงนี้ตั้งแต่ 15 ถึง 20 ปี จะมีโอกาสเป็นโรคปอดที่เกิดจากฝุ่นได้ประมาณ 7% ในทำนองเดียวกันหากบุคคลสัมผัสกับฝุ่นที่มีความเข้มข้นมากกว่า 50 micro-pound / cu.ft. (800 mg / cu.m.) เป็นเวลามากกว่า 20 ปี จะมีโอกาสที่จะเป็นโรคที่เกิดจากฝุ่นประมาณ 66%

2. ภาวะการแพ้ (Allergic effects) ส่วนใหญ่เกิดจากฝุ่นของพวกสารอินทรีย์ เช่น ฝุ่นฝ้าย ฝุ่นซานอ้อย เกสรดอกไม้ เมื่อเกิดภาวะแพ้ มักจะปรากฏอาการออกมาในรูปของหอบหืด ถุงลมอักเสบ

3. การระคายเคือง (Irritant effects) ในที่นี้รวมถึงการระคายเคืองต่อตา และเยื่อบุทางเดินหายใจด้วย ซึ่งถ้าเกิดการระคายเคือง อาการที่ปรากฏจะมีอาการหลอดลมตีบ มีเสมหะ จาม ไอ เป็นต้น

4. เป็นพิษต่อระบบของร่างกาย (Systemic toxic effects) ฝุ่นเมื่อเข้าปอดสามารถเข้าสู่ระบบเลือดได้ และสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้ โดยการกลืนฝุ่นเข้าไปในน้ำลายหรือเสมหะ ซึ่งจะทำให้กระจายเข้าสู่ระบบต่างๆของร่างกาย เช่น ตับ หรือไต

5. ผลต่อผิวหนัง (Skin effects) อนุภาคฝุ่นจากพวกฉนวนกันความร้อน เช่น พวก Fiber glass เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผิวหนังอักเสบแบบผื่นแดงได้



ภาพประกอบ 1.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นและระยะเวลา
ที่สัมผัสฝุ่นกับสัดส่วนของคนงานที่เป็นโรคปอดที่เกิดจากฝุ่น

ที่มา : สุปราณี ผลชีวิน, 2540

องค์การอนามัยโลก ได้กำหนดค่าอันตรายที่เกิดจากฝุ่นไว้ดังนี้ (WHO, 1987)

1. ผลระยะสั้น

ผลต่อสุขภาพ	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฝุ่นควัน (มคก./ลบ.ม.)
- คนสูงอายุหรือผู้ป่วยเรื้อรัง ตายเพิ่มขึ้น	500
- ผู้ใหญ่ที่มีโรคระบบทางเดินหายใจ มีอาการรุนแรงขึ้น	250

2. ผลระยะยาว

ผลต่อสุขภาพ	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของฝุ่นควัน(มคก./ลบ.ม.)
- ผู้ใหญ่หรือเด็กทั่วไปมีอาการของระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น	100

ดังนั้นองค์การอนามัยโลกได้กำหนด Exposure limit ไว้ดังนี้

	ความเข้มข้น (มคก./ลบ.ม.)	
	ฝุ่นควัน	ฝุ่นแขวนลอย
- ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	125	120
- ค่าเฉลี่ยเลขคณิตตลอดปี	50	-

ฝุ่นควัน (Smoke) : เป็นค่าที่วัดฝุ่นโดยวิธี Reflectance method

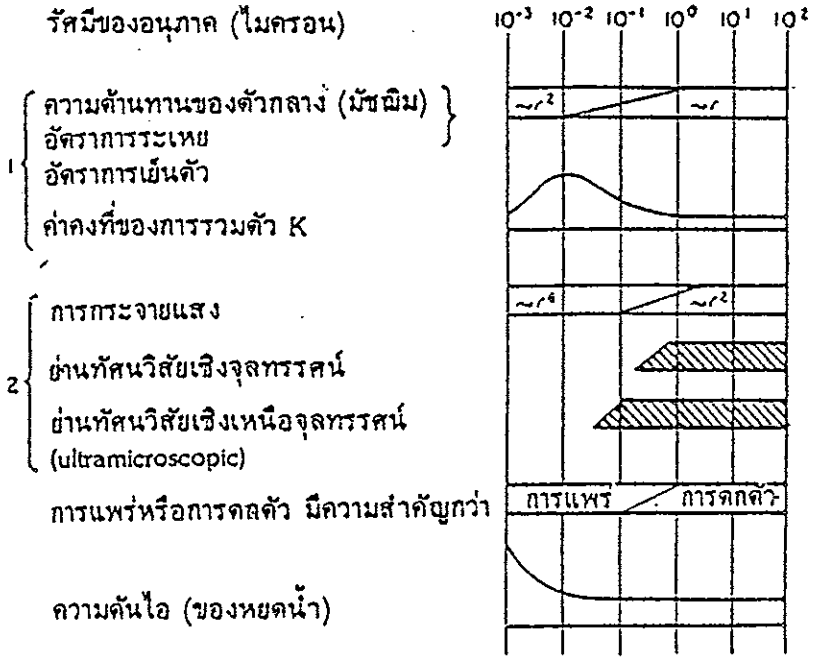
ฝุ่นแขวนลอย (Total suspended particulates) : เป็นค่าที่วัดฝุ่นโดยวิธี High volume air sampler

2. ลักษณะและสมบัติของอนุภาค

2.1 ขนาด พื้นที่ น้ำหนัก และความหนาแน่นของอนุภาคเดี่ยว

อนุภาคแขวนลอยในอากาศ (Aerosol) มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 6×10^{-4} ถึง 10^{3} ไมครอน คุณสมบัติของอนุภาคจะขึ้นกับขนาดของอนุภาค และในช่วงขนาดอนุภาคนี้ สมบัติบางอย่างจะเปลี่ยนมากขึ้นหรือน้อยลงตามขนาดอนุภาค ในภาพประกอบ 1.1 สมบัติกลุ่ม 1 จะสัมพันธ์กับระยะทางอิสระเฉลี่ย (Mean free path) λ ของโมเลกุลอากาศ (อากาศ มี λ เท่ากับ

0.0653 ไมครอน ที่ 20^0 C และ 760 mm.Hg) ส่วนสมบัติกลุ่ม 2 จะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นเฉลี่ยของแสงที่เห็นได้ (visible light) โดยเฉลี่ย 0.55 ไมครอน การเปลี่ยนแปลงระหว่างคุณสมบัติ 2 กลุ่มนี้ เกิดขึ้นที่ช่วงขนาดอนุภาคประมาณ 0.5 ถึง 1.0 ไมครอน สำหรับสมบัติอื่นๆ ที่เหลือ ความสัมพันธ์นั้นเกิดขึ้นโดยบังเอิญ



ภาพประกอบ 1.2 คุณสมบัติบางอย่างของอนุภาคแขวนลอยในอากาศที่สัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล , 2535

ความเร็วของการตกตัวของอนุภาคในอากาศ (Vt) จะขึ้นกับน้ำหนักของอนุภาคและขนาดของอนุภาค ตามทฤษฎีของ Stokes (Stokes, 1891) ดังนี้

$$Vt = \frac{1}{18} \times \frac{\rho s - \rho a}{\mu} \times gd^2$$

เมื่อ Vt คือ ความเร็วในการตกตัวของอนุภาค (ซ.ม./วินาที)

ρs คือ ความหนาแน่นของวัสดุอนุภาค (กรัม/ซ.ม.^{3})

ρa คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กรัม/ซ.ม.^{3})

g คือ อัตราความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดโลก (ซ.ม./วินาที^{2})

μ คือ ความหนืดของอากาศ (กรัม/ซ.ม./วินาที)

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (ซ.ม.)

ตาราง 1.1 ความเร็วของการตกตัวของฝุ่นหินปูน ที่อุณหภูมิ 20^0 C

ฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง (ไมครอน)	ความเร็วในการตกตัว (เมตร/วินาที)
0.1	8.17×10^{-7}
1.0	8.17×10^{-5}
10	8.17×10^{-3}
100	0.82
1000	81.71

2.2 พลวัตศาสตร์ (Dynamics) ของอนุภาคในบรรยากาศ

อนุภาคในอากาศมีขนาดตั้งแต่โตมากๆกว่าจนถึงเล็กกว่า ระยะทางอิสระเฉลี่ย (Mean free path) ของโมเลกุลก๊าซ อนุภาคที่มีขนาดโตมากกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะเข้าสู่ความเร็วการตกตัวที่คงที่ (Constant settling velocity) อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่าความเร็วนี้จะกำหนดโดยสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลก และแรงต้านทาน ซึ่งเกิดจากแรงเสียดลากเชิงแอโรไดนามิก (Aerodynamic drag) ในทางตรงกันข้าม อนุภาคที่มีขนาดพอๆกับหรือเล็กกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ย จะมีน้ำหนักน้อยมาก และมีความเร็วการตกตัวบั้นปลาย (Terminal settling velocity) ที่ช้า ในขณะเดียวกันโมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบอนุภาค จะกระหน่ำชนอนุภาคนี้อย่างไม่มีกฎเกณฑ์ (Randomly) และทำให้ความเร็วการตกตัวบั้นปลายของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ อนุภาคจะเกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่มีกฎเกณฑ์ (Random motion) หรือการเคลื่อนไหวแบบ

บราวเนียน (Brownian motion) ซ้อนกับการเคลื่อนตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก กลไกหลักของการกำจัดอนุภาคโตจากบรรยากาศ คือ การตกตัวหรือตกตะกอน (Sedimentation) ส่วนอนุภาคเล็กจะถูกกำจัดโดยการแพร่ไปยังพื้นผิว และโดยการรวมตัว (Coagulation) กับอนุภาคเล็กและโตอื่นๆ ทำให้ได้อนุภาคที่โตขึ้นและมีค่าความเร็วการตกตัวบั้นปลายที่สูงพอ

3. ประสิทธิภาพของการจับฝุ่น

3.1 การจับอนุภาคฝุ่นโดยหยดน้ำ

ในการจับอนุภาคฝุ่นโดยหยดน้ำจะเกี่ยวข้องกับ 3 กระบวนการสำคัญ ดังนี้ (Chander, Alaboyun and Aplan , 1991)

1. การชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นและหยดน้ำ
2. การเกาะติดกับหยดน้ำหลังการชน
3. การกลืนตัวของอนุภาคกับหยดน้ำ

กลไกการชนกันที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้ ได้แก่ อิมแพคชั่นเชิงเฉื่อย (Inertial impaction) การสกัดกั้น (Interception) และการแพร่ (Diffusion) ซึ่งกลไกเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยมวลของอนุภาค และระบบแอโรไดนามิก (Aerodynamic) อย่างไรก็ตามการเกาะติดและการกลืนตัวของอนุภาคกับหยดน้ำ จะขึ้นกับลักษณะของแรงเกาะติดของทั้งอนุภาคและหยดน้ำ

อัตราการจับอนุภาคฝุ่นของหยดน้ำ จะแปรผันโดยตรงกับประสิทธิภาพการชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดน้ำ และความถี่ในการชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นและหยดน้ำ

อัตราการจับอนุภาคฝุ่นของหยดน้ำ แปรผันตรงกับ ประสิทธิภาพการชนกันและความถี่ในการชนกัน

การชนกันระหว่างอนุภาคและหยดน้ำ

การชนกันระหว่างอนุภาคและหยดน้ำเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความเร็วระหว่างอนุภาคขนาดเล็กและหยดน้ำขนาดใหญ่ กลไกนี้จะถูกควบคุมโดยมวลของอนุภาคและระบบแอโรไดนามิก

การไหลโค้งของกระแสแอโรโซล สามารถปล่อยให้อนุภาคไหลไปตามเส้นทางที่ผิดแผกจากเส้นทางไหลของก๊าซรอบๆได้ ทำให้หยดน้ำที่ขวางกั้นเส้นทางไหลของกระแสแอโรโซลสามารถเกาะจับอนุภาคฝุ่นไว้ได้ ซึ่งมี 3 ลักษณะด้วยกัน ดังนี้ (Crawford, 1976)

1. **อิมแพคชั่นเชิงเฉื่อย** (Inertial impaction) คือการที่อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กเกาะตัวกับหยดน้ำขนาดใหญ่กว่า โดยการกระทบกัน เนื่องจากอนุภาคฝุ่นไม่สามารถเคลื่อนไปตามกระแสอากาศรอบๆหยดน้ำได้ จากการที่อนุภาคฝุ่นมีความเฉื่อย (Inertia) มากกว่า จึงไม่อาจเลี้ยวโค้งได้ทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของการไหล หยดน้ำจึงชนและเกาะจับอนุภาคฝุ่นได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 ในตำแหน่ง a,b

2. **การสกัดกั้น** (Interception) คือ การที่อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กเกาะตัวกับหยดน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากแรงในการเคลื่อนตัวของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กนั้นสิ้นสุดลงจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสแอโรโซล ทำให้อนุภาคฝุ่นเกาะติดกับหยดน้ำได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 ในตำแหน่ง c

3. **การแพร่** (Diffusion) คือการที่อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กเคลื่อนตัวด้วยทิศทางไม่คงที่ (Brownian motion) ทำให้แรงในการเคลื่อนหมดลง ในขณะที่มีหยดน้ำขนาดใหญ่ขวางอยู่ ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 ในตำแหน่ง d

อนุภาคฝุ่นทั้งหมดจะถูกจับโดยหยดน้ำจากกลไกอิมแพคชั่นเชิงเฉื่อย หรือการสกัดกั้น ถ้าอนุภาคเหล่านั้น อยู่ในพื้นที่วงกลมของเส้นผ่าศูนย์กลาง d ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2

จากแนวคิดข้างต้นจึงได้ความสัมพันธ์ (Crawford, 1976)

$$\eta = \frac{d^2}{D^2} \times g$$

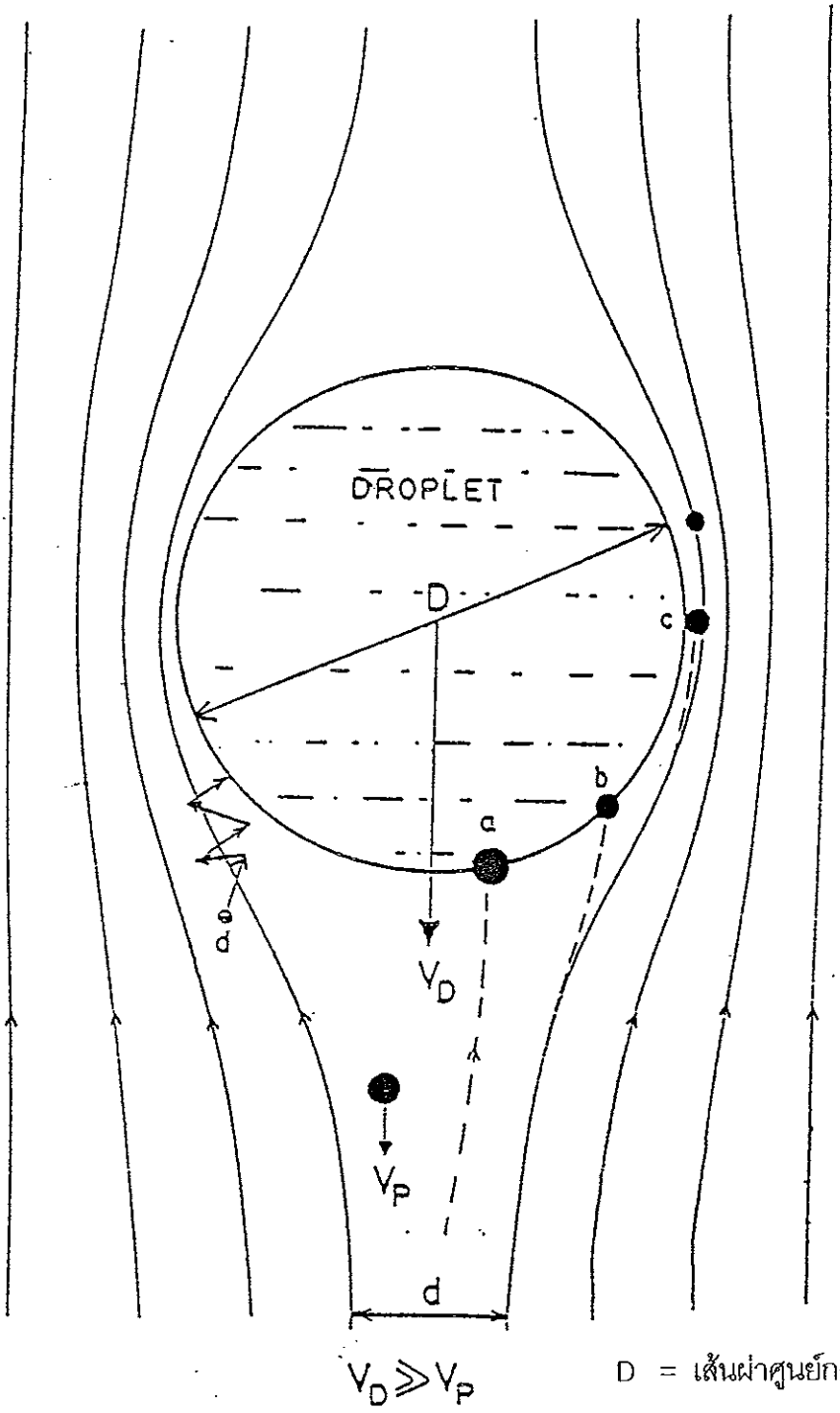
เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพในการจับอนุภาคฝุ่น

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของภาพตัดขวาง การชนกัน

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ

g คือ สัมประสิทธิ์การเกาะติด

ค่าของสัดส่วน d / D จะขึ้นกับปัจจัยทางกายภาพ เช่น ขนาดหยด, ขนาดอนุภาค, ความหนาแน่นของอนุภาค, ความสัมพันธ์ของความเร็ว สำหรับปัจจัย g จะขึ้นอยู่กับผลของแรงเกาะติดของอนุภาคบนผิว



D = เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ

V_D = ความเร็วของหยดน้ำ

Vp = ความเร็วของอนุภาค

ภาพประกอบ 1.3 การชนกันระหว่างอนุภาคและหยดน้ำ

ที่มา : Crawford , 1976

3.2 การพ่นฝอยละอองและการฟอร์มหยดน้ำ

กระบวนการพ่นฝอยละอองน้ำ จะเกี่ยวข้องกับการแตกตัวอย่างต่อเนื่องของของเหลวเป็นหยดน้ำจำนวนมาก การฟอร์มตัวของหยดน้ำจะเป็นผลจากหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง หรือแรงต้านอากาศของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง ขนาดของหยดน้ำจะขึ้นกับลักษณะของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง และการตั้งเงื่อนไข เช่น แรงดัน อัตราการไหล เป็นต้น และคุณสมบัติทางกายภาพของของเหลว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด แรงตึงผิว เป็นต้น

Nukiyama and Tanasawa (1938) ได้พัฒนาสมการความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยหยดน้ำในเวนทูรี สครับเบอร์ ที่แปรผันตรงกับรากที่สองของแรงตึงผิวระหว่างของเหลว - อากาศ ดังนี้

$$d = \frac{5.85}{Va} \times \frac{(\gamma_{LA})^{1/2}}{\rho_e} + 1888 \left(\frac{\eta}{\sqrt{\gamma_{LA}\rho_e}} \right)^{0.45} \times (L)^{1.5}$$

เมื่อ Va คือ ความเร็วของอากาศบริเวณคอของเวนทูรี

γ_{LA} คือ แรงตึงผิวระหว่างของเหลว - อากาศ

ρ_e คือ ความหนาแน่นของของเหลว

η คือ ความเร็วของของเหลว

L คือ สัดส่วนของเหลว / อากาศ (Gallon / 1000 cf air)

d คือ ขนาดหยดน้ำเฉลี่ย

ต่อมา Calvert (1968) ได้พัฒนาสมการสำหรับใช้กับน้ำ จากสมการข้างต้น ดังนี้

$$d = \frac{16400}{Va} + 1.45 (L)^{1.5}$$

สมการสำหรับทำนายขนาดหยดน้ำเหล่านี้ ซึ่งได้จากการทดลองของเวนทูรี สครับเบอร์ ในเวนทูรี สครับเบอร์เอง หัวฉีดพ่นฝอยละอองไม่ได้สร้างหยดน้ำ แต่จะพ่นน้ำในลักษณะของกระแสน้ำเข้าไปในเวนทูรี ซึ่งกระแสของเหลวนี้จะแตกตัวเป็นหยดน้ำ โดยความเร็วที่สูงของอากาศ ดังนั้นกลไกการสร้างหยดน้ำในเวนทูรี สครับเบอร์ จะแตกต่างจากหัวสเปรย์พ่นฝอย

ละอองน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างมาก อย่างไรก็ดี สมการ Nukiyama - Tanasawa ก็มีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำนายขนาดหยด บนพื้นฐานของคุณสมบัติของของเหลว

จากสมการ Nukiyama - Tanasawa ของเหลวที่มีแรงตึงผิวสูงกว่า จะสร้างขนาดหยดน้ำที่ใหญ่กว่า ในลักษณะเดียวกันนี้ได้มีการทดลองอิทธิพลของแรงตึงผิวต่อขนาดหยดน้ำเฉลี่ย จากหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองสองหัว พบว่า ขนาดหยดน้ำเฉลี่ยจะแปรผันโดยตรงกับแรงตึงผิว ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$d \quad \alpha \quad \gamma_{LA} \qquad 0.2 < n < 0.6$$

Giffen and Massey (1961) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงตึงผิวต่อขนาดหยดน้ำและหยดน้ำมัน โดยใช้หัวสเปรย์พ่นฝอยละออง พบว่า ถึงแม้ว่าค่าแตกต่างระหว่างแรงตึงผิวของน้ำ (73 dyne/cm) และน้ำมัน (24 dyne/cm) จะมาก แต่ผลของแรงตึงผิวต่อขนาดหยดเฉลี่ยของหยดละอองน้ำมันมีความสัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อย และยังได้ศึกษาผลของความหนืดต่อขนาดหยด พบว่า ถ้าความหนืดต่างกันเพียงเล็กน้อย ขนาดหยดจะไม่เปลี่ยนแปลง

Newman, Pellow and Clarke (1987) ได้ทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงตึงผิวและความหนืด พบว่า การกระจายของขนาดหยดไม่มีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและความหนืด

3.3 การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

การแก้ปัญหาฝุ่นในเหมืองถ่านหิน ได้มีการศึกษามาเป็นเวลายาวนานพอสมควร พบว่า การใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น ซึ่งมีงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Walker, Peterson and Wright (1952) ศึกษาพบว่า การใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจับฝุ่น โดยสารแต่งผิวจะทำหน้าที่หลายกลไก ได้แก่ การเพิ่มภาวะเปียกน้ำให้กับอนุภาคฝุ่น การเพิ่มภาวะการเกาะติดฝุ่นให้กับหยดน้ำ

McCully *et al.* (1956) ศึกษาภาวะการเปียกน้ำและแรงตึงผิวในการกำจัดฝุ่นโดยหยดฝน พบว่า อนุภาคฝุ่นจะเปียกน้ำและถูกกลืนโดยหยดน้ำ ถ้าแรงตึงผิวของน้ำมีค่าต่ำ และถ้าแรงตึงผิวของน้ำมีค่าสูง อนุภาคฝุ่นจะไม่เปียกน้ำ และไม่สามารถเข้าไปในหยดน้ำได้ ถ้าพลังงานจลน์ไม่เพียงพอ

Walton and Woolcock (1960) ศึกษาการกำจัดฝุ่นโดยฝอยละอองน้ำ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นด้วยความเร็วที่สูงของหยดน้ำ จากแรงดันหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำ

จะมากกว่าการปล่อยให้หยดโดยอิสระ ในการทดลองได้เปรียบเทียบการใช้หยดน้ำกับการใช้หยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ปรากฏว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของหยดน้ำทั้ง 2 ชนิด

Anderson, Evans and Peluso (1963) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการลดปริมาณฝุ่นของอากาศที่หมุนเวียนในเหมืองถ่านหิน พบว่า การใช้สารแต่งผิวสามารถลดปริมาณฝุ่นลงได้ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว

Goldshmid and Calvert (1963) ศึกษาประสิทธิภาพการเก็บฝุ่น โดยสังเกตจากการใช้หยดของเหลว พบว่า ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นเกิดจากภาวะการเปียกน้ำมากกว่าแรงตึงผิวของของเหลว และประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นที่มีค่า Contact angle กับน้ำสูง จะต่ำกว่าอนุภาคฝุ่นซึ่งมีค่า Contact angle ต่ำ

Godard and Massey (1967) ได้ตั้งข้อสังเกตการลดปริมาณฝุ่นที่เห็นได้ด้วยตาบริเวณพื้นที่ด้านหน้าเหมือง โดยการพ่นฝอยละอองน้ำ พบว่า การพ่นฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิวจะลดปริมาณฝุ่นได้ดีกว่าการพ่นฝอยละอองน้ำเพียงอย่างเดียว

Kobrick (1970) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการกำจัดฝุ่น บริเวณสายพานลำเลียง โดยการพ่นฝอยละอองน้ำ พบว่า การพ่นฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว สามารถลดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นได้ดีกว่าการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว และลดปริมาณน้ำที่ใช้อีกด้วย

Tomb, Emmerling and Kellner (1972) ศึกษาผลของสารแต่งผิวต่อการกำจัดฝุ่นในเหมืองถ่านหิน พบว่า การใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น แต่ไม่ได้ศึกษาถึงผลจากชนิดของสารแต่งผิวที่ใช้ในการทดลอง

Bughdadi (1973) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นใน Venturi scrubber โดยการใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำ พบว่า การใช้สารแต่งผิวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น

Cheng and Emmerling (1974) ศึกษาการใช้สเปรย์น้ำในการกำจัดฝุ่น พบว่า การใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำ จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นได้ประมาณ 14% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สเปรย์น้ำอย่างเดียว

Courtney and Cheng (1976) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการกำจัดฝุ่นหายใจระหว่างการใช้น้ำกับน้ำที่ผสมสารแต่งผิว พบว่า การใช้น้ำที่ผสมสารแต่งผิวจะสามารถกำจัดฝุ่นได้มากกว่าการใช้น้ำอย่างเดียว ประมาณ 10–15%

Brauer and Varma (1981) พบว่า กระบวนการลดปริมาณฝุ่นไม่ขึ้นกับแรงตึงผิวของน้ำ ถ้าอนุภาคฝุ่นเปียกน้ำ อนุภาคฝุ่นจะถูกกลืนไว้ในหยดน้ำ แต่ถ้าอนุภาคฝุ่นไม่เปียกน้ำ

อนุภาคฝุ่นจะเกาะติดที่ผิวของหยดน้ำ อย่างไรก็ตามไม่ว่าอนุภาคฝุ่นจะติดที่ผิวของหยดน้ำ หรือเข้าไปในหยดน้ำ ก็จะสามารถกำจัดฝุ่นได้ทั้ง 2 กรณี

McCoy *et al.* (1985) ได้ศึกษาการกำจัดฝุ่นของหยดน้ำ และตั้งข้อสังเกตว่า หยดน้ำที่มีประจุจะทำให้สามารถกำจัดฝุ่นได้เพิ่มขึ้น

Jayaraman, Schroeder and Kissel (1986) ศึกษาการกำจัดฝุ่นโดยการพ่นฝอยละอองน้ำ พบว่า การเพิ่มแรงดันน้ำจะเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในการพ่นฝอยละอองน้ำ และทำให้ประสิทธิภาพการจับฝุ่นสูงขึ้น แต่ไม่ได้มีการพูดถึงรูปแบบของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองที่ใช้ในการทดลอง

Ott, Wu and Crowder (1987) ศึกษาโมเดลสำหรับทำนายผลของแรงตึงผิวใน Venturi scrubber พบว่า ค่าแรงตึงผิวที่ต่ำกว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการจับฝุ่น สำหรับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน

Chander, Mohal and Aplan (1988) ศึกษาพบว่า การใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำ จะเพิ่มอัตราการเปียกน้ำให้กับอนุภาคฝุ่น และช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเพิ่มขึ้น

Chander, Alaboyun and Aplan (1991) พบว่า การลดขนาดของหยดน้ำที่ใช้ในการกำจัดฝุ่น จะเพิ่มประสิทธิภาพในการจับฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญ

Glaville and Haley (1991) ศึกษาโดยการใช้สารแต่งผิวเปรียบเทียบกับการใช้น้ำอย่างเดียว พบว่า การใช้สารแต่งผิวผสมในน้ำจะช่วยลดปัญหาฝุ่นหายใจ (Respirable dust) ลงประมาณ 27% และลดฝุ่นทั้งหมด (Total dust) ประมาณ 36%

4. แหล่งกำเนิดฝุ่นในโรงโม่หิน

กิจกรรมหลักในโรงโม่หินคือ การโม่ บด ย่อยหิน ให้ได้ขนาดตามที่ตลาดต้องการ กับขบวนการขนย้าย เก็บกอง และขนส่งไปจำหน่าย ซึ่งขบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นและเสียงจากโรงโม่หิน และปัญหาฝุ่นจากการขนส่งหิน รวมทั้งมีเศษหินร่วงหล่นอยู่บนทางหลวง ซึ่งพอสรุปแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในโรงโม่หินได้ดังนี้

1. ยุ้งรับหิน (Feed hopper) เนื่องจากรถบรรทุกหินจากเหมืองเทป้อนหินเข้ายุ้งก่อนเข้าเครื่องย่อยขั้นแรก (หรือปากโม่ขั้นแรก) ในโรงโม่หิน
2. อุปกรณ์ย่อยหินต่างๆ ขณะที่หินถูกย่อย
3. ตะแกรงคัดขนาดขณะทำงาน

4. จุดที่หินมีการเปลี่ยนถ่าย (Transfer point) เช่น ตรงปลายสายพาน
5. บริเวณที่รถตักทำการตักผลิตภัณฑ์หินใส่รถบรรทุกเพื่อจำหน่าย
6. บริเวณลานหินและกองหิน เมื่อมีลมพัดให้ฝุ่นปลิว
7. บริเวณที่มีการลำเลียงขนส่งด้วยรถบรรทุกในเขตโรงโม่หิน ก่อนออกสู่ถนนใหญ่
8. บริเวณพื้นที่อื่นๆในโรงโม่หินที่มีฝุ่นอยู่ และเมื่อมีลมพัดให้ฝุ่นปลิว

5. การควบคุมฝุ่นในอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน

ปฏิบัติการที่แยกอนุภาคของแข็ง หรือละอองของเหลวเล็กๆที่กระจายอยู่ในก๊าซออกเป็นส่วนของก๊าซกับส่วนของอนุภาค มีชื่อเรียกว่า "การเก็บฝุ่น (Dust collection)" อุปกรณ์เชิงกลที่ใช้ทำการแยกนี้มีชื่อว่า "เครื่องเก็บฝุ่น"

ในการเลือกประเภทของเครื่องเก็บฝุ่น ปัจจัยสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงมีอาทิเช่น ขนาดของอนุภาค ความเข้มข้นของอนุภาคในก๊าซ คุณสมบัติของก๊าซ เป็นต้น

กลไกที่ใช้เก็บฝุ่นมีหลากหลาย ตั้งแต่เครื่องเก็บฝุ่นที่อาศัยแรงโน้มถ่วง, ที่อาศัยแรงเฉื่อย, ที่อาศัยแรงหนีศูนย์กลาง, ที่อาศัยการชน(ปะทะ)กับหยดของเหลว, ที่อาศัยการกรอง, ที่อาศัยปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิต, ที่เร่งให้เกิดการรวมก้อน (Agglomerate) เป็นต้น

เครื่องเก็บฝุ่นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน มีดังนี้ คือ

เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Dust Collector)

อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในก๊าซจะมีความเฉื่อยและโมเมนตัม และได้รับแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วงของโลก คุณสมบัติเหล่านี้จะก่อให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ขึ้นกับอนุภาค เมื่อมีการบังคับให้กระแสก๊าซไหลหมุนวน แรงหนีศูนย์กลางเป็นกลไกหลักในการเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง และยังเป็นกลไกหลักของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อยส่วนใหญ่ด้วย

ก๊าซสกปรกจะถูกทำให้เกิดการไหลหมุนวนในเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง เพื่อแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซ โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่ออนุภาค เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลางสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ แบบไซโคลน (Cyclone type) และแบบหมุน (Rotary type) โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบไซโคลน

ภาพประกอบ 1.4 แสดงสัดส่วนมาตรฐานของไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet type) โดยแสดงเป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกของก๊าซสะอาด ไซโคลนแบบนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดดังแสดงในภาพประกอบ 1.4 คือ (a) ชนิดปากทางเข้าในแนวสัมผัส และ (b) ชนิดมีห้องวงแหวนเพื่อให้ไหลวนเข้าตลอดเส้นรอบวง

โดยปกติ ความเร็วที่ทางเข้าของก๊าซจะใช้ประมาณ 10 ถึง 20 เมตรต่อวินาที และความเร็วในช่วงนี้จะมีผลน้อยต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น ถ้าใช้ความเร็วสูงเกินไป ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นอาจกลับลดลงได้

ภาพประกอบ 1.5 แสดงไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet type) ซึ่งยังแบ่งได้เป็น (a) ชนิดไหลย้อนออก และ (b) ชนิดไหลตรงออก

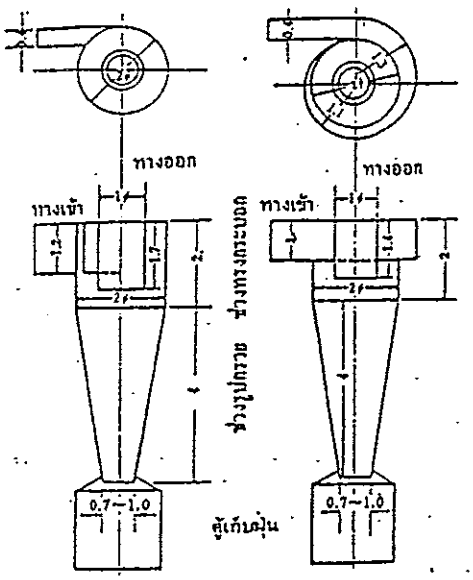
ไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวแกน สามารถบำบัดก๊าซในปริมาณสูงถึงสามเท่าของแบบไหลเข้าในแนวสัมผัส โดยที่ความดันสูญเสียมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงมักใช้ในลักษณะวางขนานกันหลายๆลูก คือ มัลติ-ไซโคลน (Multi-cyclone)

ไซโคลนจะจับอนุภาคละเอียดได้ก็ต่อเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของทรงกระบอกมีขนาดเล็กพอ แต่เมื่อไซโคลนมีขนาดเรียวลง ปริมาณของก๊าซที่ไซโคลนหนึ่งลูกจะบำบัดได้ก็น้อยลงด้วย ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการบำบัดก๊าซปริมาตรมาก และมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นสูงด้วย จะติดตั้งไซโคลนรูปเรียวจำนวนมากในลักษณะขนานกัน ผลที่ได้ก็คือ ไซโคลนที่มีชื่อเรียกว่า มัลติ-ไซโคลน ดังแสดงในภาพประกอบ 1.6 และ1.7

เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุดของแบบมัลติ-ไซโคลน คือ 150 มิลลิเมตร ในกรณีที่กำจัดเขม่าและควันจากการเผาไหม้น้ำมัน และ 100 มิลลิเมตร ในกรณีที่กำจัดเขม่า ควัน หรืออนุภาคฝุ่นทั่วไป

เครื่องไซโคลนแบบเป่าลง (Blowdown type) ไม่แตกต่างไปกับไซโคลนธรรมดา หรือมัลติ-ไซโคลน ในแง่โครงสร้าง แต่จะดูด 5 - 10% ของก๊าซที่บำบัดผ่านออกด้านฮอบเบอร์ (Hopper) สำหรับสะสมฝุ่นของไซโคลนเดี่ยวหรือ มัลติ-ไซโคลน เพื่อป้องกันการหลุดหนีของฝุ่นละเอียดที่แยกได้ออกไปกับกระแสก๊าซที่ไหลวกขึ้น ผลก็คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะสูงขึ้น

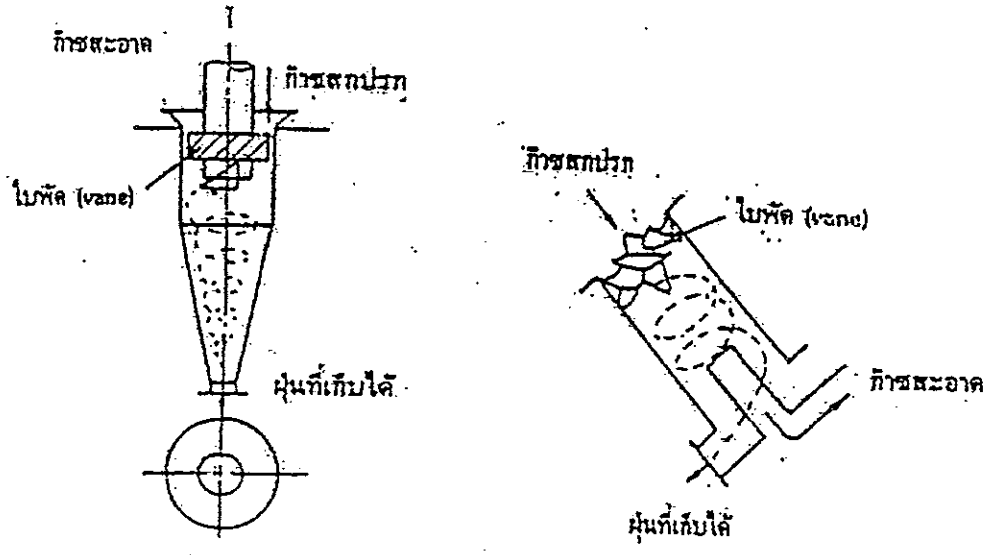
CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY



(a) แบบปากทางเข้าในแนวสัมผัส (b) แบบมีวงแหวนเพื่อให้ไหลวนเข้าตลอดเส้นรอบวง

ภาพประกอบ 1.4 สัดส่วนมาตรฐานของไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวสัมผัส

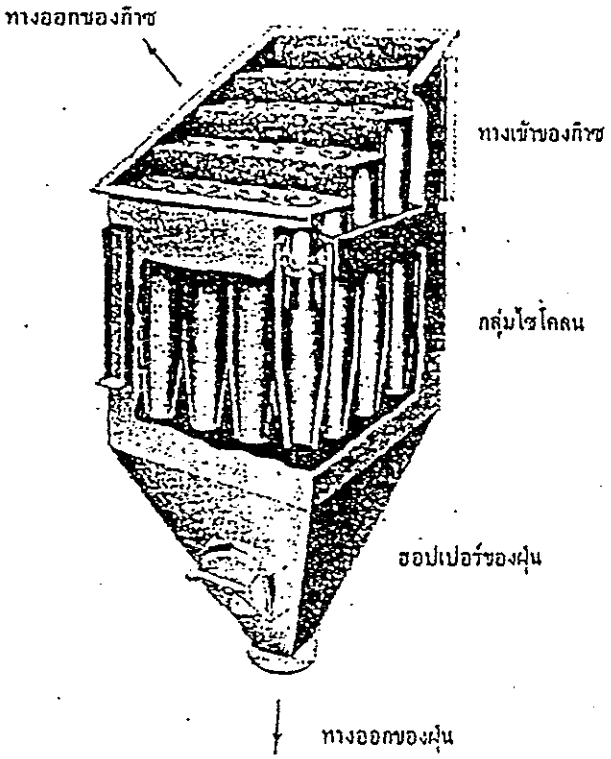
ที่มา ; ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



(a) ชนิดไหลย้อนออก (b) ชนิดไหลตรงออก

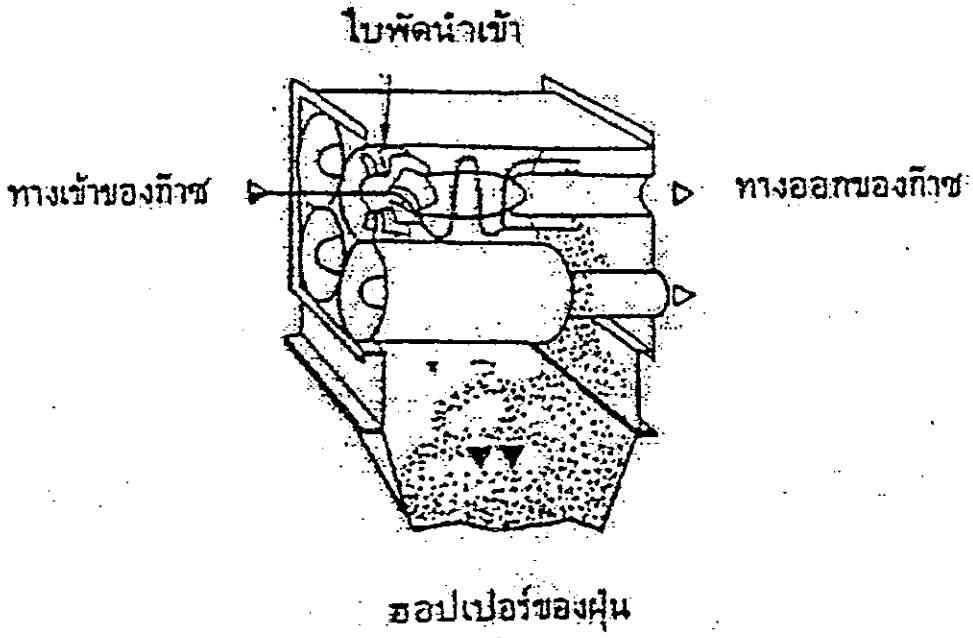
ภาพประกอบ 1.5 ไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวแกน

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



ภาพประกอบ 1.6 มัลติ-ไซโคลน (แบบไหลเข้าในแกนและไหลย้อนออก)

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



ภาพประกอบ 1.7 มัลติ-ไซโคลน (แบบไหลเข้าในแนวนอน และไหลตรงออก)

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535

เครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับเบอร์ (แบบเปียก)

การควบคุมมลภาวะที่แหล่งเกิดโดยวิธีการจับด้วยของเหลว (liquid scrubbing) เป็นการกำจัดมลสารทั้งในสภาวะก๊าซ ไอ และ/หรืออนุภาค ออกจากก๊าซทิ้ง โดยอาศัยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว สิ่งที่แตกต่างกับวิธีเก็บฝุ่นวิธีอื่นๆก็ในแง่การทำงาน จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเก็บมลสารด้วยของเหลวที่ใช้ และการแยกของเหลวที่ใช้แล้วออกจากกระแสก๊าซออก เนื่องจากใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการเก็บมลสาร จึงสามารถใช้บำบัดก๊าซทิ้งอุณหภูมิสูงมากได้

ความสามารถ (Capacity) ของเครื่องสครับเบอร์จะถูกกำหนดโดยอัตราการไหลสูงสุดที่เครื่องสครับเบอร์ไม่อาจทำงานได้ เพราะเกิดการพัดพาของเหลวหนีโดยก๊าซความเร็วสูงมากเกินไป หรือเพราะความดันสูญเสียมีค่ามากเกินไป กฎทั่วไปก็คือ ความสูง (หรือความยาว) ของเส้นทางที่ใช้สครับก๊าซจะต้องเพิ่มขึ้น ถ้าต้องการประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่วนพื้นที่หน้าตัดของเครื่องจะต้องใช้โตขึ้น ถ้าต้องการความสามารถสูงขึ้น

เครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับเบอร์ สามารถจำแนกประเภทได้กว้างๆเป็น

1. ประเภทชักนำสเปรย์ขึ้นเอง (Self – induced spray type) เช่น เครื่องสครับเบอร์แบบโรโตคอน N

2. ประเภทความดันน้ำ (Water pressure type) เช่น เครื่องสครับเบอร์เวนทูรี เครื่องเจ็ตสครับเบอร์ (เครื่องอินเจคเตอร์สครับเบอร์) หอสเปรย์ เครื่องไซโคลนสครับเบอร์ เป็นต้น

3. ประเภทหอใส่วัสดุ (Packed tower type)

4. ประเภทฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized bed type)

5. ประเภทหมุน (Rotary type) เช่น เครื่องสครับเบอร์แบบอิมพัลซ์ (หรือจานหมุน), Theisen washer เป็นต้น

6. ประเภทอิมพินเจอร์ (Impinger type) เช่น Peabody scrubber

ในจำพวกเครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับเบอร์ทั้งหมด เครื่องเวนทูรี สครับเบอร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นสูงสุด เส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤตของอนุภาคที่กำจัดได้ 50% คือ ประมาณ 0.1 ไมครอน

ในกรณีของเครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับเบอร์แบบซักนำสเปรย์ขึ้นเอง (ภาพประกอบ 1.8) ก๊าซสกปรกเป็นตัวพัดพาน้ำขึ้นข้างบน ดังนั้นถ้าความเร็วของก๊าซที่ตำแหน่งเกิดฟิล์มมีค่ายิ่งสูง หยดน้ำที่ได้จะละเอียดขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะสูงขึ้นด้วย

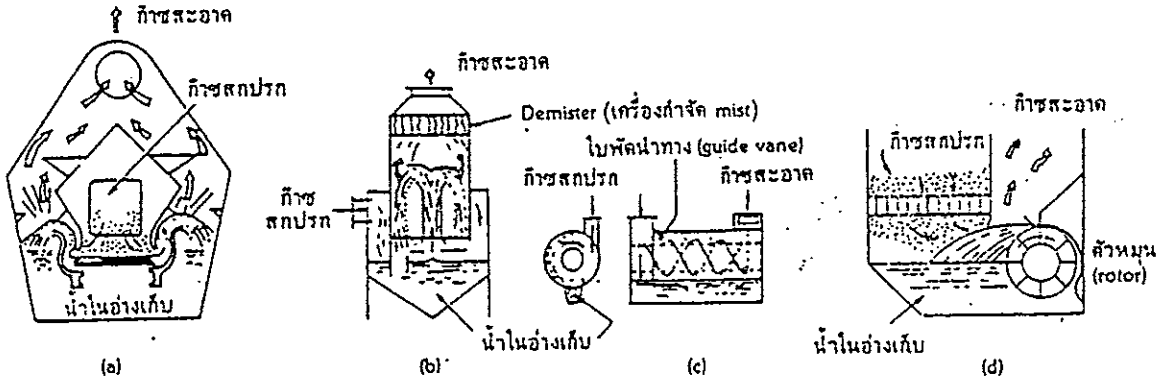
ในกรณีของเครื่องเวนทูรี สครับเบอร์ หรือเครื่องเจ็ตสครับ (ภาพประกอบ 1.9) ซึ่งเป็นแบบอาศัยความดันน้ำ ถ้าความเร็วของก๊าซในช่วงคอคอดมีค่ายิ่งสูง หยดน้ำที่ได้จะละเอียดขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะสูงขึ้นด้วย

ในกรณีของสครับเบอร์แบบหอสเปรย์ (ภาพประกอบ 1.10) และเครื่องไซโคลนสครับเบอร์ (ภาพประกอบ 1.11) ถ้าความเร็วปรากฏของก๊าซในหอยิ่งต่ำ นั่นคือ เวลาสัมผัสระหว่างก๊าซกับหยดน้ำจะยิ่งนาน และถ้าอัตราส่วนระหว่างของเหลวและก๊าซมีค่ายิ่งสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะสูงขึ้นด้วย เมื่อความดันของน้ำที่ฉีดสเปรย์มีค่ายิ่งสูง และหยดน้ำที่ได้ยิ่งละเอียด อนุภาคฝุ่นที่กำจัดได้จะละเอียดขึ้นด้วย

ในกรณีของเครื่องสครับเบอร์แบบหมุน ถ้าความเร็วการหมุนยิ่งสูง และอัตราส่วนระหว่างของเหลวและก๊าซยิ่งมาก ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นและค่าไฟฟ้าจะยิ่งมากด้วย

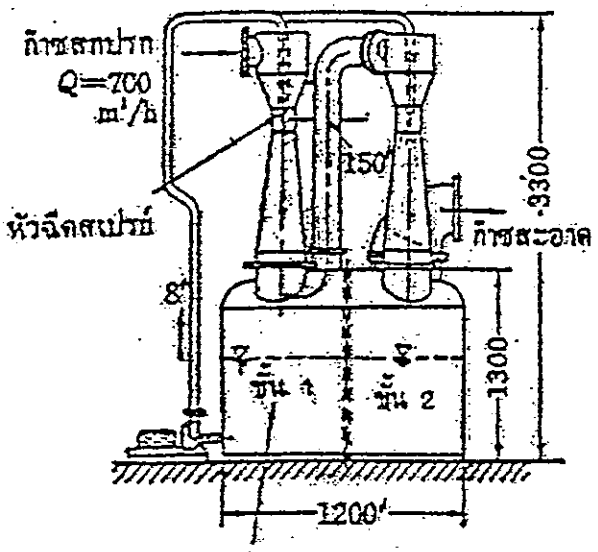
ในกรณีของเครื่องสครับเบอร์แบบหอใส่วัสดุ (ภาพประกอบ 1.12 และ1.13) ถ้าความเร็วปรากฏของก๊าซในหอยิ่งน้อย และเวลาที่ก๊าซสกปรกไหลอยู่ในชั้นวัสดุยิ่งนาน ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะยิ่งสูงด้วย

โดยทั่วไปแล้ว ถ้าเครื่องแยกก๊าซและของเหลวที่ทางออกของเครื่องสครับเบอร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดหยดละอองน้ำยิ่งสูง ประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำจัดฝุ่นแบบสครับเบอร์จะสูงตามด้วย อนึ่ง ความเข้มข้นของฝุ่นที่มีอยู่ในก๊าซสกปรกที่เข้าเครื่องกำจัดฝุ่นแบบสครับเบอร์ทั่วไป ควรมีน้อยกว่า 10 g/m^3 ของก๊าซ



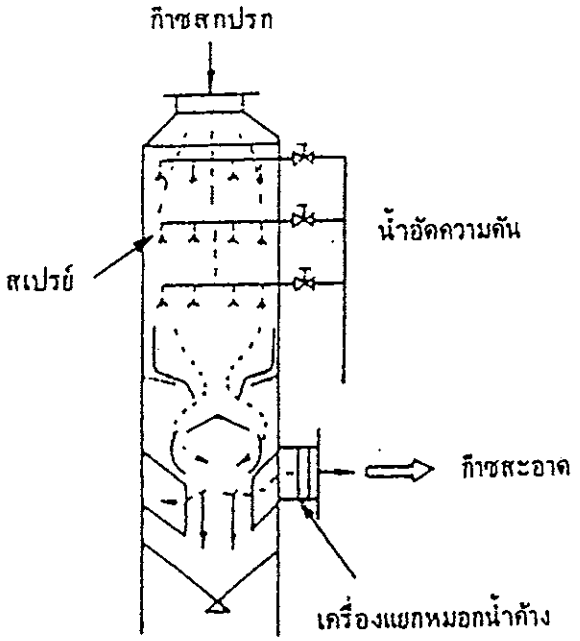
ภาพประกอบ 1.8 เครื่องสครับเบอร์แบบชักน้ำสเปรย์ขึ้นเอง

ที่มา: ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



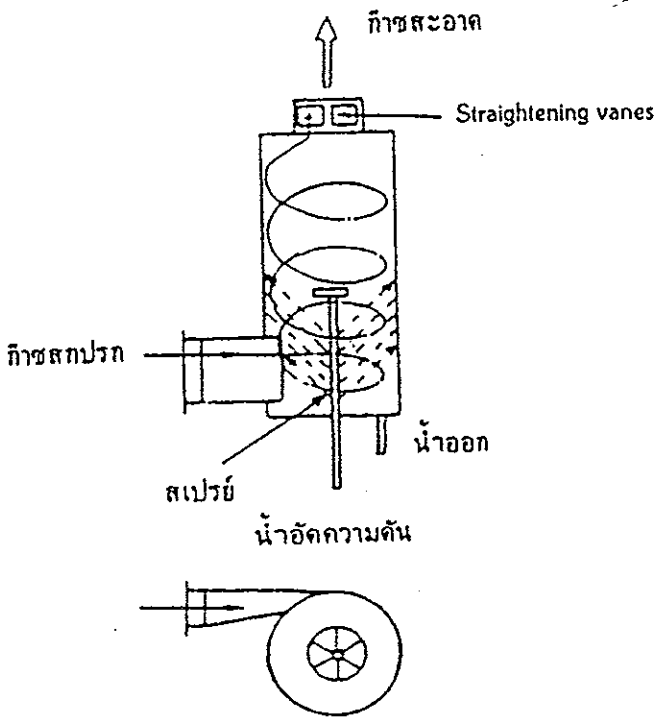
ภาพประกอบ 1.9 เครื่องอินเจ็คเตอร์สครับเบอร์ แบบ 2 ชั้น

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



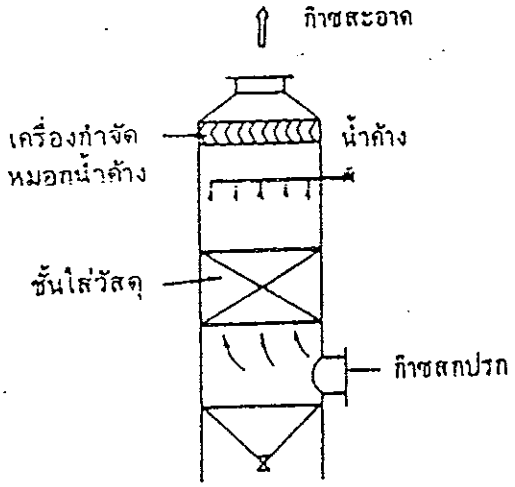
ภาพประกอบ 1.10 หอสเปรย์ (Spray Tower)

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



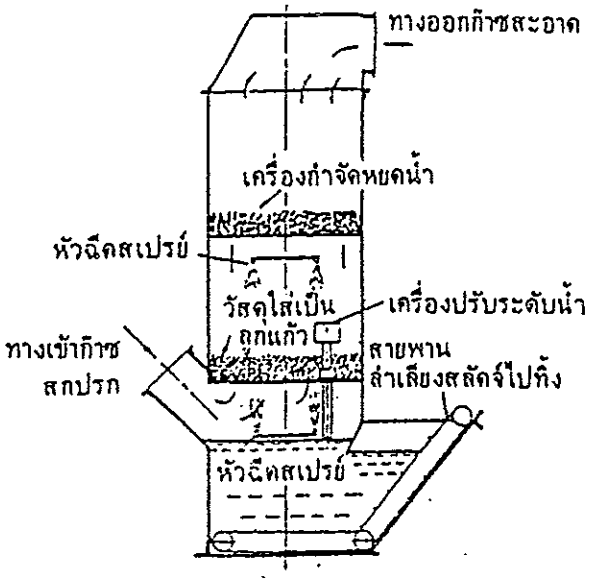
ภาพประกอบ 1.11 ไซโคลนสครับเบอร์

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



ภาพประกอบ 1.12 เครื่องกำจัดฝุ่นแบบหอใส่วัสดุ (สเปรย์สวนทาง)

ที่มา: ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535



ภาพประกอบ 1.13 เครื่องกำจัดฝุ่นแบบหอใส่วัสดุ (สเปรย์ขนานและสวนทาง)

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535

เครื่องเก็บฝุ่นแบบสเปรย์น้ำในที่โล่ง

ฝุ่นผงที่แห้งจะเกิดการฟุ้งกระจายได้ง่าย แต่ฝุ่นผงที่มีความชื้นสูงกว่าระดับหนึ่งจะฟุ้งกระจายได้ลำบาก เนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดอนุภาคจะเพิ่มแรงเกาะติดระหว่างอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดโตกว่าหลายสิบไมครอนจะมีความเร็วตกตัวบั้นปลาย (Terminal settling velocity) ในอากาศถึงหลายสิบเซนติเมตรต่อวินาที ดังนั้นอนุภาคเหล่านี้จึงตกลงถึงพื้นดินหรือพื้นด้านล่างภายในเวลาอันสั้น แต่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าสองสามไมครอนจะมีความเร็วตกตัวบั้นปลายในอากาศช้ามาก โอกาสที่จะตกลงถึงพื้นดินเองจึงมีน้อย ถ้ามีการไหลของกระแสลมเพียงเบาๆ โดยการฉีดละอองน้ำจำนวนมหาศาลที่มีขนาดหยด 100-200 ไมครอน อนุภาคฝุ่นจะมีโอกาสที่จะชนและถูกจับโดยหยดน้ำเพิ่มขึ้น หยดน้ำที่จับฝุ่นไว้จะตกลงถึงพื้นที่ความเร็วตกตัวบั้นปลายของหยด

เครื่องเก็บฝุ่นแบบสเปรย์น้ำนอกจากจะช่วยกำจัดฝุ่นโดยตรง โดยการกระทำของละอองน้ำที่ฉีดแล้ว ยังช่วยป้องกันการเกิดฝุ่นในกระบวนการด้านหลัง โดยการเพิ่มความชื้นให้กับอนุภาคด้วย ข้อดี คือ เป็นระบบที่ง่ายๆ ลงทุนน้อย ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ และติดตั้งบำรุงรักษาได้เองโดยไม่ยุ่งยาก แต่ข้อเสีย คือ ไม่สามารถใช้กับอนุภาคบางชนิดที่จะเกิดความเสียหายหรือก่อปัญหาเมื่อเปียกชื้น มีประสิทธิภาพในการจับฝุ่นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องเก็บฝุ่นประเภทอื่นๆ เพราะฉีดในที่โล่ง ไม่เหมาะกับบริเวณที่ขาดแคลนน้ำ

เครื่องเก็บฝุ่นแบบกรอง

การกรองเป็นวิธีกำจัดอนุภาคออกจากก๊าซที่มีประสิทธิภาพ มีความไว้ใจได้และความคุ้มทางเศรษฐศาสตร์สูงสุดวิธีหนึ่ง การกรองยังเป็นวิธีหนึ่งในจำนวนเพียงไม่กี่วิธีที่สามารถบรรลุมาตรฐานปล่อยออกที่เข้มงวดของสารอนุภาคด้วย

ในงานควบคุมมลภาวะอากาศในอุตสาหกรรม เครื่องกรองก๊าซสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ คือ

ก. เครื่องกรองแบบผ้า (Fabric or cloth filters)

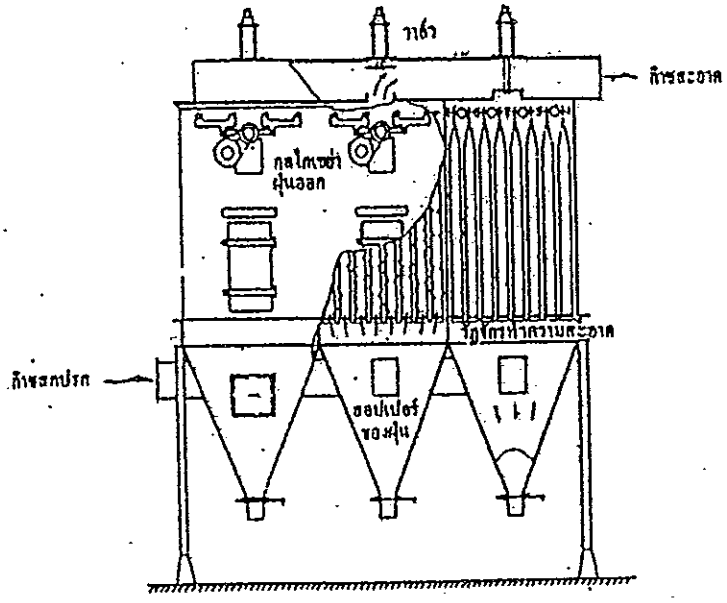
ข. เครื่องกรองแบบเนื้อลึกหรือชั้น (In-depth or bed filters)

ตัวแทนที่พบเห็นทั่วไปของเครื่องกรองแบบแรกคือ ถุงกรอง (bag filter) หรือบ้านถุงกรอง (bag house) ส่วนตัวแทนของเครื่องกรองแบบที่สองที่พบเห็นกันบ่อย คือ ชั้นเส้นใย กระดาษกรอง และในบางครั้ง ชั้นหนาของก้อนวัสดุ

เครื่องกรองแบบผ้าโดยทั่วไปจะใช้บำบัดก๊าซ หรืออากาศสกปรกที่มีความเข้มข้นของฝุ่นในย่าน 1 g/m^3 ส่วนชั้นเส้นใย กระดาษกรอง และชั้นใส่วัสดุจะใช้กับความเข้มข้นของอนุภาคที่มีค่าน้อยกว่าเป็นหลายร้อยหรือพันเท่า คือ ในย่าน 1 mg/m^3 ภาพประกอบ 1.14 แสดงโครงสร้างของถุงกรองที่ใช้ทั่วไป

ความเร็วปรากฏของการกรองจะมีผลกระทบสูงสุดต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นของถุงกรอง ความเร็วที่เหมาะสมนี้จะขึ้นกับคุณสมบัติของฝุ่น และโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีเขย่าฝุ่นออก โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 10 เซนติเมตรต่อวินาที ความเร็วนี้จะมีค่าสูงในกรณีของผ้าทอและค่าต่ำในกรณีของผ้ากรองอื่นๆ ในกรณีที่ต้องการกำจัดอนุภาคละเอียดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ไมครอน ความเร็วนี้ควรใช้ค่าประมาณ 1 ถึง 2 เซนติเมตรต่อวินาที

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤตของอนุภาคที่กำจัดได้ 50% โดยถุงกรองคือประมาณ 0.1 ไมครอน ค่าวิกฤตนี้จะขึ้นกับประเภทของฝุ่นและการออกแบบถุงกรอง หลังจากที่เกิดชั้นฝุ่นปฐมภูมิเรียบร้อยแล้ว ภาระของฝุ่นจะแทบไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นของถุงกรอง



ภาพประกอบ 1.14 โครงสร้างของถุงกรองที่ใช้ทั่วไป

ที่มา : ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2535

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการเติมสารแต่งผิว ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นโรงโม่หินของฝอยละอองน้ำ

2. เพื่อศึกษาชนิดของสารแต่งผิว ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นโรงโม่หินของฝอยละอองน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการนำประยุกต์ใช้ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมฝุ่นโรงโม่หินด้วยฝอยละอองน้ำ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศต่อไป

2. สามารถใช้เป็นข้อมูลในการวางแผน หรือการจัดการเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศสำหรับอุตสาหกรรมที่มีลักษณะปัญหาฝุ่นใกล้เคียงกัน ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาให้ได้มาซึ่งเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมสำหรับกรณีเฉพาะต่อไป

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ตัวอย่างฝุ่น และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ตัวอย่างฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

เตรียมฝุ่นหินปูน จากหินปูนบดละเอียดขนาดผ่านตะแกรง 300 เมช จากโรงโม่หินตรังยูซี จังหวัดตรัง โดยมีการกระจายของขนาดฝุ่นดังแสดงในภาคผนวก ก

1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง อยู่ในระดับคุณภาพวิเคราะห์ มี 4 ชนิด ดังนี้

- Triton X-100 (Ethoxylated octyl phenol)

$$t - Oct - C_6H_4 - (OCH_2CH_2)_xOH,\ X : 9 - 10$$

- Triton N-101 (Ethoxylated nonyl phenol)

$$H_{19}C_9 - C_6H_4 - (OCH_2CH_2)_xOH,\ X : 9 - 10$$

- Aerosol OT Solution (Sodium dioctyl sulfosuccinate)

$$\begin{array}{l} \quad\quad\quad\quad\quad\quad C_2H_5 \\ \quad\quad\quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad CH_2COOCH_2CH(CH_2)_3CH_3 \\ \quad\quad\quad\quad | \\ NaO_3S - CHOOCH_2CH(CH_2)_3CH_3 \\ \quad\quad\quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad\quad\quad\quad\quad C_2H_5 \end{array}$$

- Armac 12-d (Dodecylamine)

$$CH_3(CH_2)_{11}NH_2$$

2. อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

2.1 อุปกรณ์สำหรับใช้ทดสอบความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ (ภาพประกอบ 2.1 และ 2.2) ประกอบด้วย

- เครื่องอัดลม สำหรับปล่อยแรงดันลมเข้าทางด้านข้างตอนล่างของหอฝุ่น และทางด้านล่างของขวดสร้างละอองฝุ่น

- หอฝุ่น สร้างด้วยท่อพลาสติกใสทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 105 เซนติเมตร มีระบบสร้างกระแสลมไหลขึ้นภายในหอที่สม่ำเสมอ ด้วยการปล่อยลมเข้าทางด้านข้างตอนล่างของหอ 12 รูรอบๆหอ ด้วยความดันลมที่ควบคุมให้คงที่ กระแสลมที่ได้จะเป็นตัวพาละอองฝุ่นที่ป้อนเข้าสู่ระบบขึ้นไปทางตอนบนของท่อ สวนกับทิศทางของหยดน้ำที่ปล่อยลงมาจากด้านบนของท่อ

- อุปกรณ์สร้างละอองฝุ่น (Packed bed aerosol generator) ประกอบด้วย ขวดพลาสติกขนาดปริมาตรบรรจุ 50 มิลลิลิตร บรรจุเม็ดเซรามิก ประมาณ 75 % ของปริมาตรขวด และฝุ่นที่ทราบปริมาณ ทางตอนล่างของภายในขวดมีชั้นตะแกรงรอง เพื่อกันให้เม็ดเซรามิกอยู่สูงจากก้นขวดประมาณ 1 เซนติเมตร และมีท่อลมเข้าที่ก้นขวด โดยควบคุมปริมาณลมและความดันลม ด้วยวาล์วและมาโนมิเตอร์ และมีเครื่องสั่นขวด เพื่อให้เม็ดเซรามิก และผงฝุ่นเคลื่อนไหว และสร้างละอองฝุ่นได้สม่ำเสมอ (ภาพประกอบ 2.3)

- ตู้อบความร้อน (Drying oven) ; Memmert UE 400 Germany

- บิวเรท ขนาด 50 มิลลิลิตร มีขนาดรู 1 มิลลิเมตร สำหรับสร้างหยดน้ำปล่อยลงมาจากข้างบนของหอฝุ่น

- เครื่องชั่งอย่างละเอียด 0.01 กรัม ; B3100S

- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ

2.2 อุปกรณ์สำหรับใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ (ภาพประกอบ 2.5) ประกอบด้วยอุปกรณ์ชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ โดยเปลี่ยนตอนบนของหอฝุ่น จากการปล่อยหยดน้ำจากบิวเรท มาเป็นระบบการพ่นฝอยละอองน้ำ

ระบบพ่นฝอยละอองน้ำ (ภาพประกอบ 2.4) ประกอบด้วย

- เครื่องสูบน้ำและพ่นฝอยละอองน้ำ

- ถังพลาสติก ขนาด 20 ลิตร
- หัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำ (Nozzles) 3 ชนิด คือ
  : FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4 ขนาดรู 1.9 มิลลิเมตร มุมการพ่น 52°- 65°
  : FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8GG-1507 ขนาดรู 1.6 มิลลิเมตร มุมการพ่น 13°- 15°
  : FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS 1.5 ขนาดรู 1.2 มิลลิเมตร มุมการพ่น 52°- 65°
- เครื่องควบคุมแรงดันน้ำ (Pressure regulator) ; SSCO : 11438 - 252
- หัวกรองน้ำ (Liquid strainer) ; SSCO : AA122 – 1/2 NYC-80

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (Turbidimeter) ; 2100P-HACH ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เครื่องมือวัดแรงตึงผิว (Tensiometer) ; CSC 1-800-458-2558 ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างฝุ่น

- Jar mill
- Ball mill
- ตะแกรงขนาด 300 เมช
- เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal particle size analyzer) ; SA-CP2 ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3. ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีขอบเขตการวิจัยดังนี้ คือ

ก. ศึกษาเฉพาะฝุ่นประเภทหินปูนและโดโลไมท์ เท่านั้น

ข. ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาฝุ่นเฉพาะในโรงโม่หิน

ค. ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ด้วยการเติมสารเคมีในห้องปฏิบัติการ

ง. จำกัดชนิดของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำ (Nozzles) เฉพาะที่มีขายตามท้องตลาดเท่านั้น โดยไม่ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาหัวพ่นโดยเฉพาะ

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน หลังจากการเตรียมตัวอย่างฝุ่นที่ใช้ในการทดลองแล้ว โดยขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงคุณสมบัติของน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ โดยการวัดค่าแรงตึงผิว และหาขนาดของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสรุปเลือกสารแต่งผิว ระดับความเข้มข้นของสาร ที่จะนำไปใช้ทดลองในขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ได้สรุปเลือกจากขั้นตอนที่ 2 ซึ่งรายละเอียดของวิธีการศึกษามีดังนี้

3.2.1 เตรียมตัวอย่างฝุ่นสำหรับใช้ในการทดลอง และวิเคราะห์การกระจายของขนาดฝุ่น

3.2.2 ศึกษาค่าแรงตึงผิวของน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ

- Triton X-100
- Triton N-101
- Aerosol OT Solution
- Armac 12-d

โดยทำการวัดแรงตึงผิว (Surface tension) น้ำที่ผสมสารแต่งผิวที่ระดับความเข้มข้น 0.0001%, 0.0005%, 0.001%, 0.005%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1% และ 2% ด้วยเครื่องมือ Tensiometer ความเข้มข้นละ 3 ครั้ง

3.2.3 ศึกษาขนาดของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ

- Triton X-100
- Triton N-101
- Aerosol OT Solution
- Armac 12-d

โดยทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 0.0001%, 0.0005%, 0.001%, 0.005%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1% และ 2% จากการปล่อยให้หยดจากบิวเรท ขนาด 50 มิลลิลิตร นับจำนวนหยดที่ได้จากปริมาตรรวมของหยดน้ำ แล้วคำนวณขนาดของหยดน้ำ

3.2.4 ศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ

- Triton X-100
- Triton N-101
- Aerosol OT Solution
- Armac 12-d

3.2.4.1 สร้าง Calibration chart โดยการเตรียมฝุ่นที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ100 มิลลิกรัม /1000 มิลลิลิตร นำไปหาค่าความขุ่น โดยเตรียมและวัดที่แต่ละความเข้มข้นละ 3 ครั้ง แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในน้ำกับค่าความขุ่นที่วัดได้

3.2.4.2 ทำการทดลองโดยเตรียมน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ความเข้มข้น 0.0001%, 0.0005%, 0.001%, 0.005%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1% และ 2% ใส่บิวเรทขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอดๆ ละ 20 มิลลิลิตร แล้วปล่อยหยดน้ำลงในหอฝุ่นจนหมด โดยที่ควบคุมหอฝุ่นด้วยพารามิเตอร์ ดังนี้

- แรงดันลมพยุงในหอฝุ่น 3 psi
- แรงดันลมที่เครื่องกำเนิดฝุ่น 2 psi
- ปริมาณฝุ่นในขวดเซรามิก 2 กรัม
- เวลาที่ทำการทดลอง 5 นาที

ก่อนการทดลอง ทำการอบฝุ่นที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิ 100°c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ฝุ่นแห้ง และในแต่ละความเข้มข้นจะทำการทดลอง 5 ครั้ง

หลังการทดลองเก็บน้ำที่ผ่านการจับฝุ่น ที่ตกลงไปในภาชนะรองรับข้างใต้หอฝุ่นมาวัดค่าความขุ่น แล้วหาปริมาณฝุ่นที่จับได้ จากตาราง Calibration chart ที่จัดทำไว้ นำไปคำนวณหาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ

3.2.4.3 สรุปเลือกสารแต่งผิวและความเข้มข้นของสาร เพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่ผสมสารแต่งผิวจากการเลือกในข้อ 3.2.4.3 โดยการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำ 3 ชนิด คือ

- FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4
- FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8GG - 1507
- FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG - SS 1.5

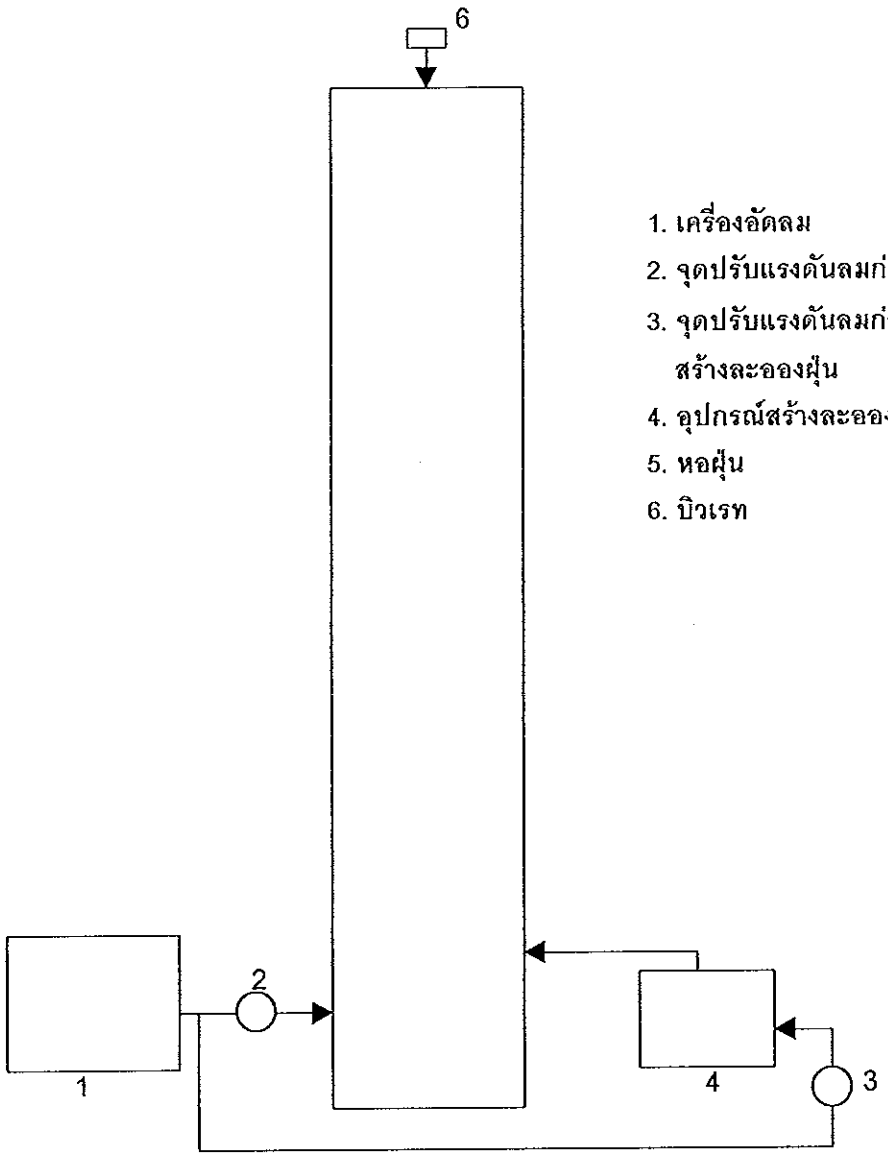
3.2.5.1 ทดลองหาตำแหน่งของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำทั้ง 3 ชนิด จากการพ่นฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ระดับแรงดันน้ำ 20, 30, 40, 50 และ 60 psi

3.2.5.2 หาความสามารถในการพ่นฝอยละอองต่อหน่วยเวลาของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำทั้ง 3 ชนิด จากการพ่นฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ระดับแรงดันของเครื่องสูบอัดน้ำ 20, 30, 40, 50 และ 60 psi

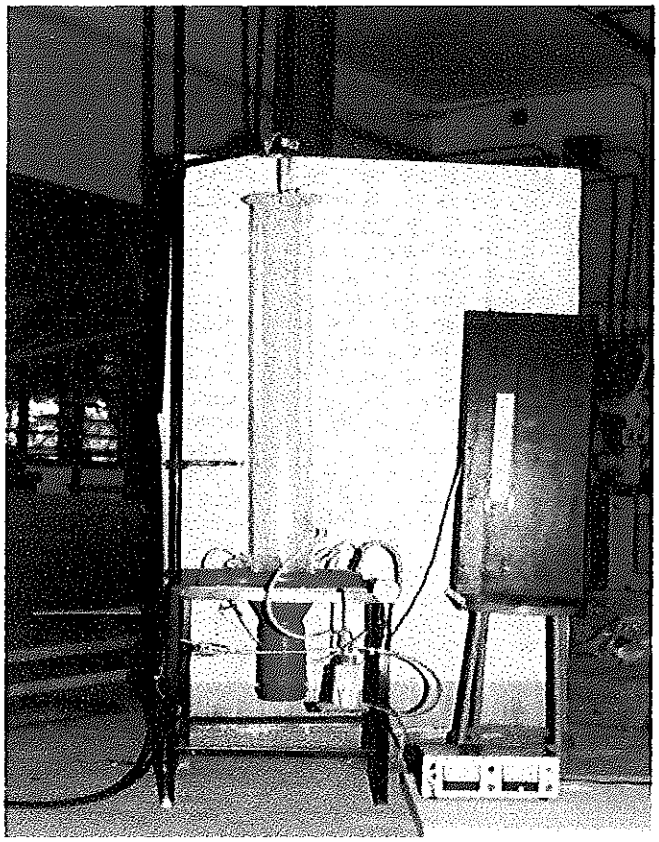
3.2.5.3 ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่ระดับแรงดันของเครื่องสูบอัดน้ำ 20, 30, 40, 50 และ 60 psi โดยทดลองแรงดันละ 5 ครั้ง และควบคุมหอฝุ่นด้วยพารามิเตอร์ ดังนี้

- แรงดันลมพยุงในหอฝุ่น 3 psi
- แรงดันลมที่เครื่องกำเนิดฝุ่น 2 psi
- ปริมาณฝุ่นในขวดเซรามิก 2 กรัม
- เวลาที่ทำการทดลอง 2 นาที
- กำหนดระยะที่ฝอยละอองน้ำเริ่มถูกขอบหอฝุ่นได้ที่ 45 เซนติเมตร จากจุดปล่อยฝุ่น

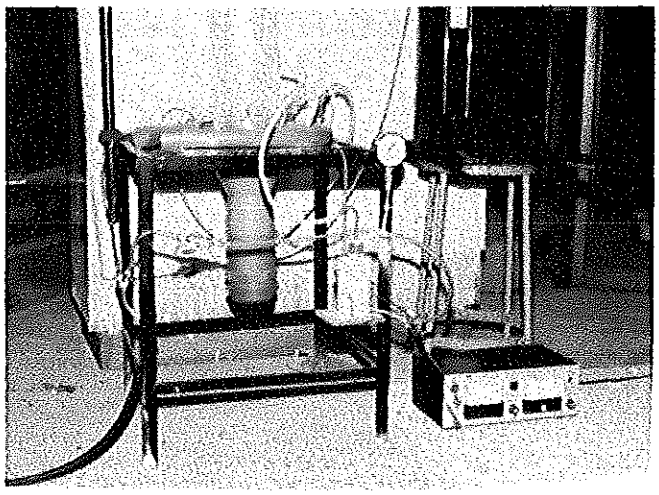
หลังจากนั้นเก็บน้ำที่ผ่านการจับฝุ่น ที่ตกลงไปในภาชนะรองรับข้างใต้หอฝุ่นมาวัดค่าความขุ่น แล้วเทียบหาปริมาณฝุ่นจาก Calibration chart ที่จัดทำไว้ นำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ



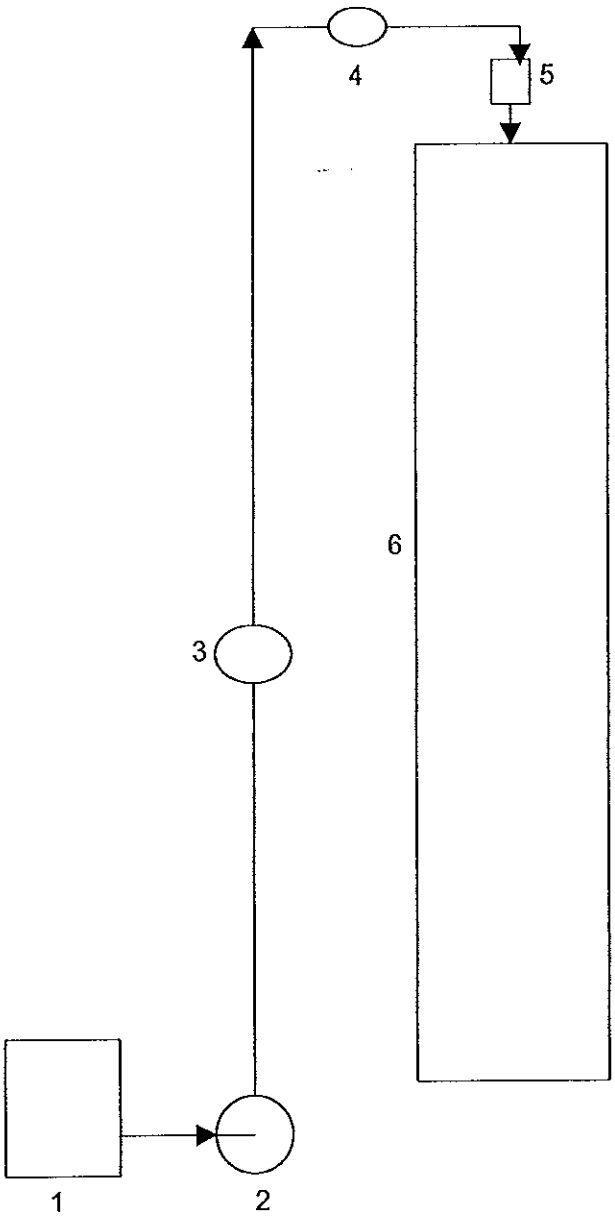
ภาพประกอบ 2.1 แบบจำลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ



ภาพประกอบ 2.2 ภาพชุดการทดลองที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ ในห้องปฏิบัติการ

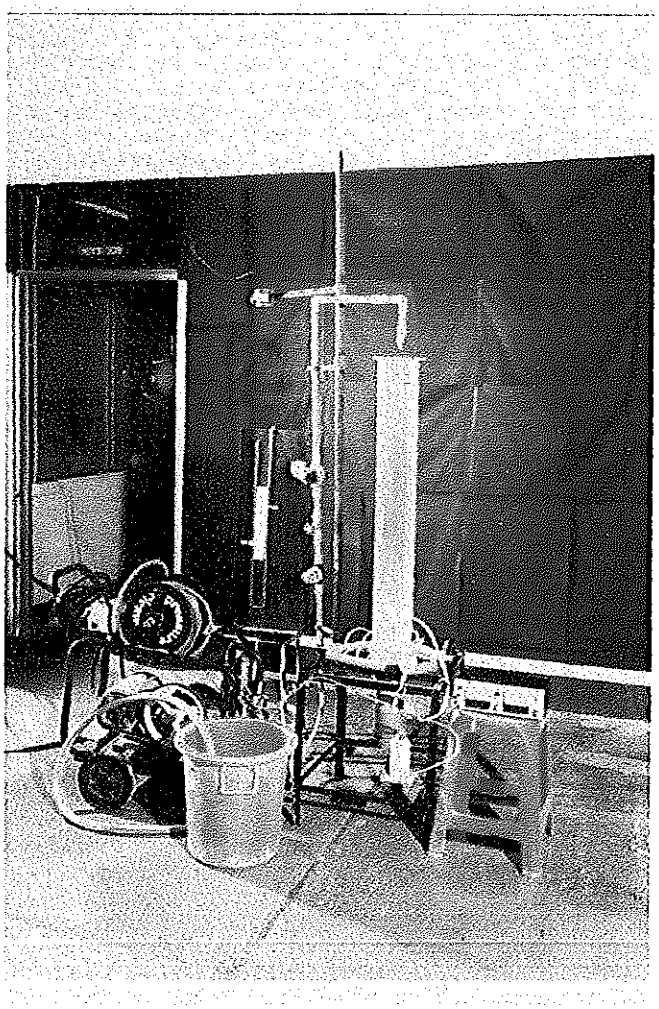


ภาพประกอบ 2.3 อุปกรณ์สร้างละอองฝุ่น (Packed bed aerosol generator)



1. น้ำผสมสารแต่งผิว
2. เครื่องสูบอัดน้ำ
3. จุดกรองน้ำผสมสารแต่งผิว
4. จุดปรับแรงดันน้ำ
5. หัวพ่นฝอยละอองน้ำ
6. หอฝุ่น

ภาพประกอบ 2.4 แบบจำลองระบบพ่นฝอยละอองน้ำที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ



ภาพประกอบ 2.5 ภาพชุดการทดลองที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่น
ของฝอยละอองน้ำ ในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 3

ผลและการอภิปรายผล

การศึกษาอิทธิพลของสารแต่งผิวต่อการควบคุมฝุ่นโรงโม่หิน แบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ การศึกษาเบื้องต้นถึงคุณสมบัติของน้ำที่ผสมสารแต่งผิว การศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว สรุปเลือกสารแต่งผิว และความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการทดลองขั้นต่อไป และการศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว โดยการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง

3.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น

การศึกษาเบื้องต้นเป็นการศึกษาคุณสมบัติของน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ Triton X–100, Triton N-101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยทำการวัดค่าแรงตึงผิวด้วยเครื่องมือ Tensiometer และหาขนาดหยดน้ำ จากการคำนวณโดยการนับจำนวนหยด จากการปล่อยให้หยดจากปลายของบิวเรทขนาด 50 มิลลิลิตร

3.1.1 ผลของสารแต่งผิวต่อค่าแรงตึงผิวของน้ำ

การศึกษานี้เป็นการวัดค่าแรงตึงผิวของน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ Triton X–100 Triton N-101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d ที่ความเข้มข้น 0.0001%, 0.0005% 0.001%, 0.005%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1% และ 2% ด้วยเครื่องมือ Tensiometer

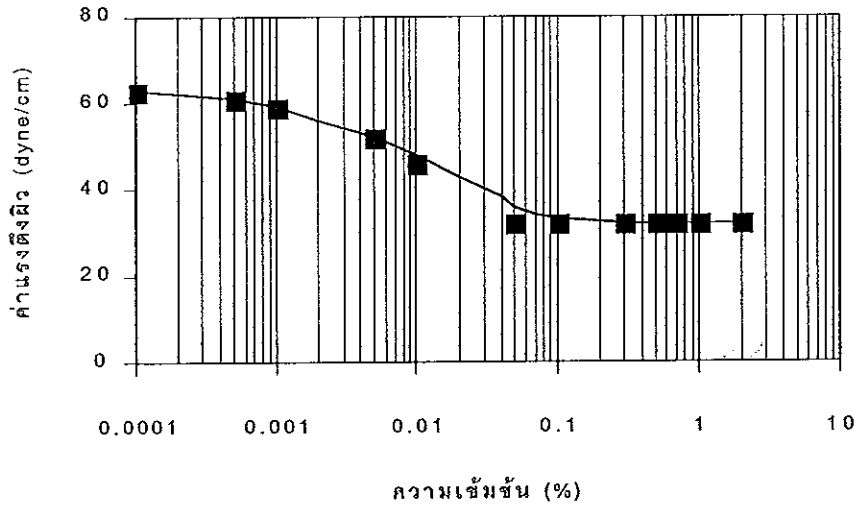
ในการเติมสารแต่งผิวทั้ง 4 ชนิดที่ศึกษา สามารถลดค่าแรงตึงผิวของน้ำ จากค่าประมาณ 63 - 72 ดายน์ต่อเซนติเมตร ลงไปเป็นประมาณ 29 - 35 ดายน์ต่อเซนติเมตร ดังแสดงในตาราง 3.1

จากตาราง 3.1 และภาพประกอบ 3.1 และ 3.2 จะเห็นว่าสาร Triton X-100 และ Triton N-101 มีค่าแรงตึงผิวเท่ากันที่ทุกระดับความเข้มข้นของสาร และสามารถลดค่าแรงตึงผิวได้ถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นเพียง 0.05% โดยมีค่าแรงตึงผิว 32 ดายน์ต่อเซนติเมตร ในขณะที่

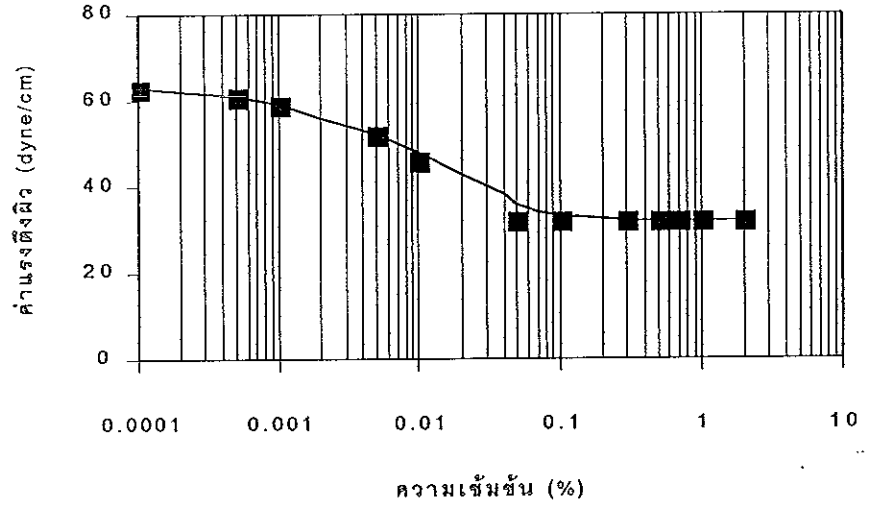
เข้มข้นสูงขึ้น โดยที่สาร Aerosol OT Solution สามารถลดค่าแรงตึงผิวมาที่ค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 1% ซึ่งมีค่าแรงตึงผิว 30 ดายน์ต่อเซนติเมตร (ภาพประกอบ 3.3) และสาร Armac 12-d ลดค่าแรงตึงผิวมาที่ค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 0.7% โดยมีค่าแรงตึงผิว 35 ดายน์ต่อเซนติเมตร (ภาพประกอบ 3.4)

ตาราง 3.1 ค่าแรงตึงผิวของน้ำที่ผสมสารแต่งผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

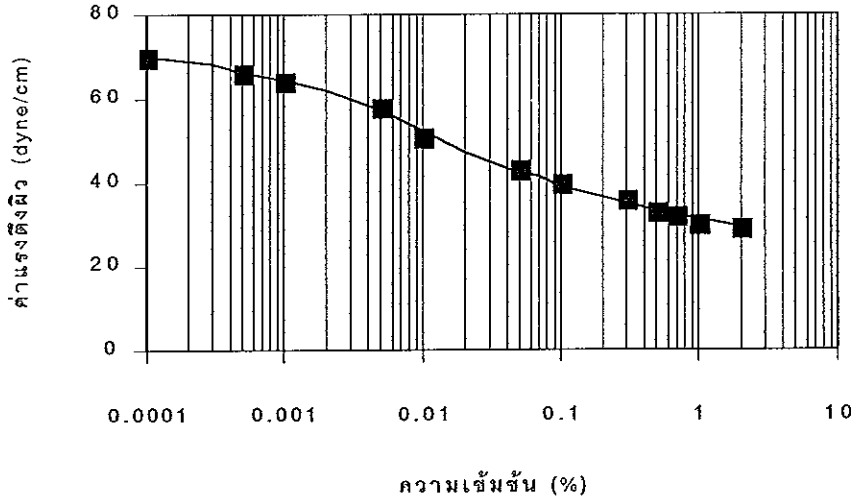
ความเข้มข้นสาร (%)	ค่าแรงตึงผิว (dyne/cm)			
	Triton X-100	Triton N-101	Aerosol OT Solution	Armac 12-d
0.0001	63	63	70	72
0.0005	61	61	66	71
0.001	59	59	64	70
0.005	52	52	58	67
0.01	46	46	51	64
0.05	32	32	43	50
0.1	32	32	40	43
0.3	32	32	36	37
0.5	32	32	33	36
0.7	32	32	32	35
1	32	32	30	35
2	32	32	29	35



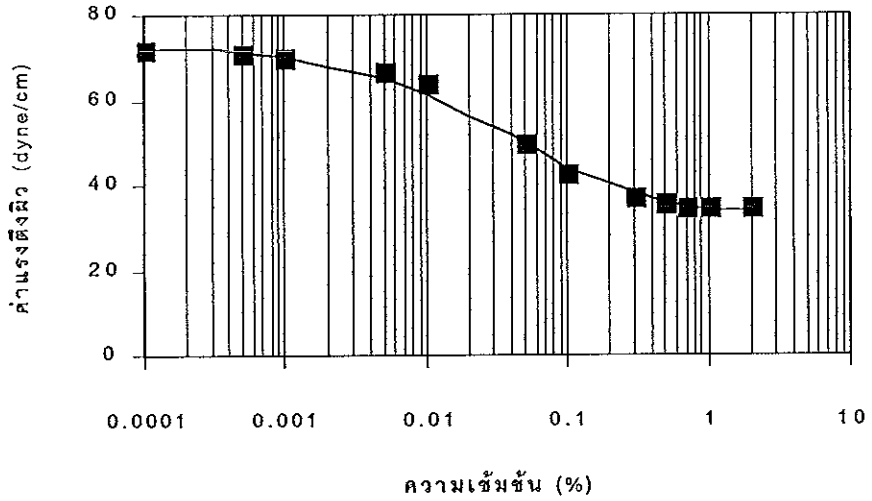
ภาพประกอบ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Triton X-100



ภาพประกอบ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Triton N-101



ภาพประกอบ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Aerosol OT Solution



ภาพประกอบ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสาร Armac 12-d

3.1.2 ผลของสารแต่งผิวต่อขนาดหยดน้ำ

การศึกษานี้เป็นการหาขนาดของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ Triton X–100, Triton N-101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d ที่ความเข้มข้น 0.0001%, 0.0005% 0.001%, 0.005%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1% และ 2% โดยการนับจำนวนหยด จากการปล่อยให้หยดจากปลายของบิวเรทขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำค่าขนาดหยดน้ำไปคำนวณค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ (Specific surface area) น้ำหนักของหยดน้ำ และความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำนั้นๆ ภายใต้สมมุติฐานว่าหยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลม (การคำนวณในภาคผนวก ข)

จากการศึกษาพบว่า ขนาดของหยดน้ำเล็กลงเมื่อความเข้มข้นของสารแต่งผิวสูงขึ้น โดยที่พื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในขณะที่ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำลดลง (ตาราง 3.2 – 3.5 และภาพประกอบ 3.5 – 3.8) นั่นคือ หยดน้ำมีพื้นที่ผิวสำหรับจับฝุ่นได้มากขึ้น และหยดน้ำขนาดที่เล็กลงสามารถลอยค้างอยู่ในอากาศได้นาน หรืออีกนัยหนึ่ง คือ หยดน้ำมีโอกาสนานขึ้นในการจับฝุ่นก่อนที่จะตกลงถึงพื้น

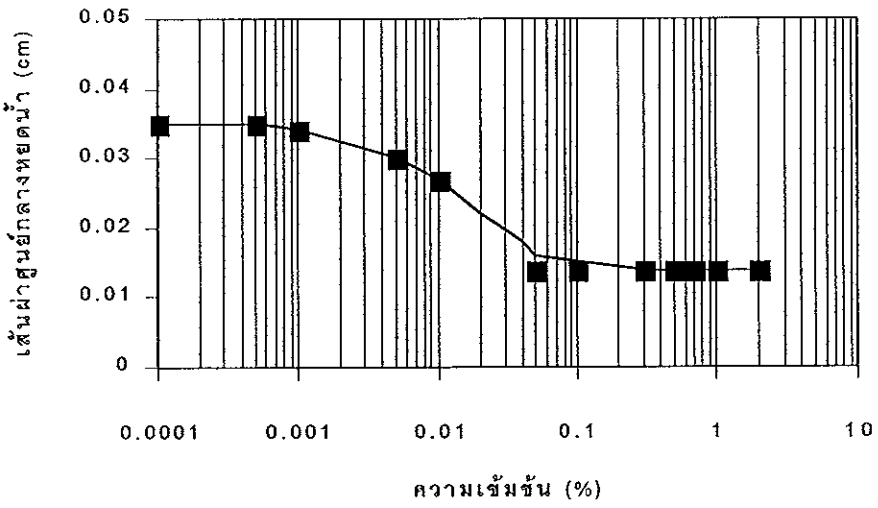
หยดน้ำเมื่อไม่มีสารแต่งผิวมีขนาด 0.035 เซนติเมตร และเมื่อเติมสารแต่งผิวแล้วหยดน้ำมีขนาดเล็กลงไปได้ต่ำสุดถึงประมาณ 0.013 - 0.015 เซนติเมตร ทั้งนี้สาร Triton X-100 และ Triton N-101 สามารถลดขนาดของหยดน้ำลงได้เมื่อผสมที่ความเข้มข้น 0.001% และจะลดลงอย่างรวดเร็วและถึงค่าต่ำสุดเมื่อผสมไปเพียง 0.05% ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าแรงตึงผิวที่ผ่านมา ในขณะที่สาร Aerosol OT Solution จะเริ่มลดขนาดของหยดน้ำลงไปเมื่อผสมในความเข้มข้น 0.01% และค่อยๆลดขนาดหยดน้ำลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น จนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 1%

ผลของการเติมสาร Armac 12-d ก็เช่นกัน จะมีผลให้ขนาดของหยดน้ำเริ่มเล็กลงเมื่อผสมที่ความเข้มข้น 0.01% และลดลงถึงขนาดต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 1%

เมื่อเปรียบเทียบผลของสารแต่งผิวแต่ละชนิดแล้ว จะเห็นว่าสาร Triton X-100 และ Triton N-101 เริ่มมีผลต่างการลดขนาดของหยดน้ำที่ความเข้มข้น 0.001% ซึ่งต่ำกว่าสารตัวอื่น โดยที่สาร Aerosol OT Solution และ Armac 12-d เริ่มมีผลต่างการลดขนาดของหยดน้ำที่ความเข้มข้นสูงกว่าคือ 0.01% และหากต้องการให้ได้ขนาดของหยดน้ำเล็กที่สุด ก็ต้องเติมสาร Triton X-100 และ Triton N-101 ในปริมาณที่น้อยกว่าสาร Aerosol OT Solution และ Armac 12-d

ตาราง 3.2 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100

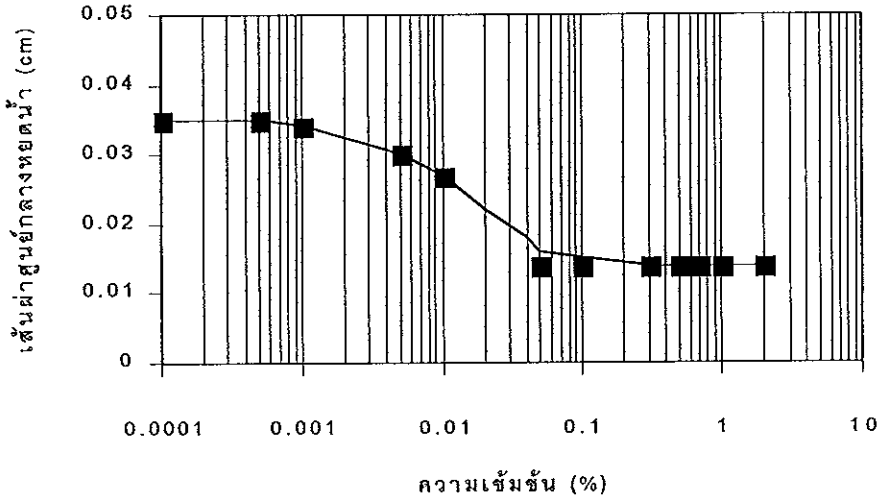
ความเข้มข้นสาร (%)	เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ (cm)	พื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ (cm^2/cm^3)	น้ำหนักหยดน้ำ (mg)	ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ (cm/s)
0.0001	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.0005	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.001	0.034	176.47	0.0206	306.77
0.005	0.030	200.00	0.0141	288.16
0.01	0.027	222.22	0.0103	273.38
0.05	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.1	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.3	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.5	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.7	0.014	428.57	0.0014	196.85
1	0.014	428.57	0.0014	196.85
2	0.014	428.57	0.0014	196.85



ภาพประกอบ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Triton X-100

ตาราง 3.3 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101

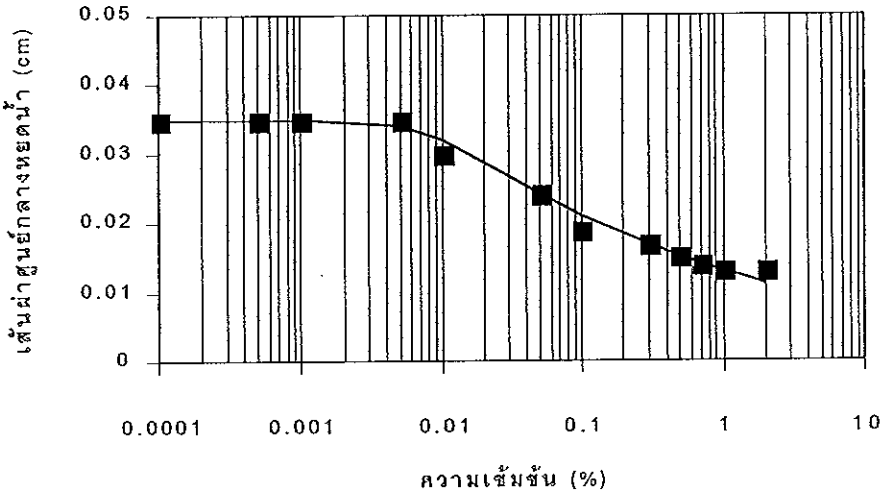
ความเข้มข้นสาร (%)	เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ (cm)	พื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ (cm^2/cm^3)	น้ำหนักหยดน้ำ (mg)	ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ (cm/s)
0.0001	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.0005	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.001	0.034	176.47	0.0206	306.77
0.005	0.030	200.00	0.0141	288.16
0.01	0.027	222.22	0.0103	273.38
0.05	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.1	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.3	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.5	0.014	428.57	0.0014	196.85
0.7	0.014	428.57	0.0014	196.85
1	0.014	428.57	0.0014	196.85
2	0.014	428.57	0.0014	196.85



ภาพประกอบ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Triton N-101

ตาราง 3.4 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution

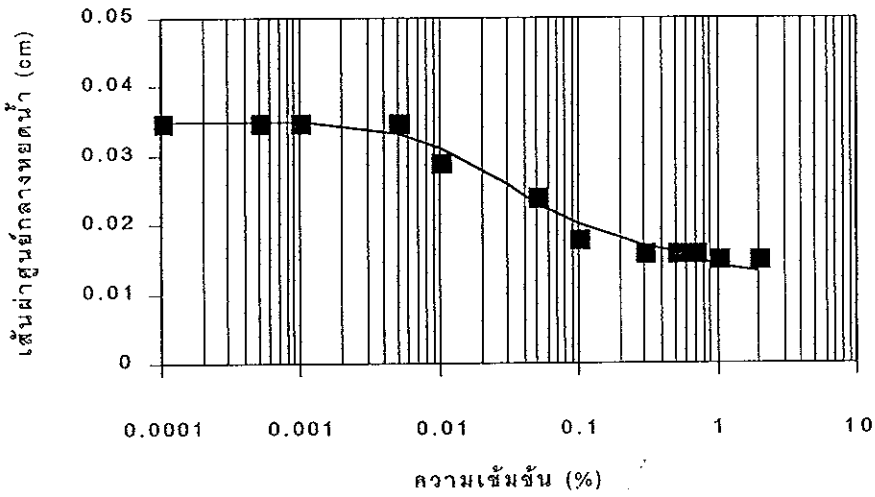
ความเข้มข้นสาร (%)	เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ (cm)	พื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ (cm^2/cm^3)	น้ำหนักหยดน้ำ (mg)	ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ (cm/s)
0.0001	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.0005	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.001	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.005	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.01	0.029	206.90	0.0128	283.32
0.05	0.024	250.00	0.0072	257.74
0.1	0.018	333.33	0.0031	223.21
0.3	0.017	352.94	0.0026	216.92
0.5	0.015	400.00	0.0018	203.76
0.7	0.014	428.57	0.0014	196.85
1	0.013	461.54	0.0011	189.69
2	0.013	461.54	0.0011	189.69



ภาพประกอบ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Aerosol OT Solution

ตาราง 3.5 คุณสมบัติของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d

ความเข้มข้นสาร (%)	เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ (cm)	พื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ (cm^2/cm^3)	น้ำหนักหยดน้ำ (mg)	ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ (cm/s)
0.0001	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.0005	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.001	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.005	0.035	171.43	0.0224	311.25
0.01	0.029	171.43	0.0224	283.32
0.05	0.024	206.90	0.0128	257.74
0.1	0.018	333.33	0.0031	223.21
0.3	0.016	375.00	0.0021	210.44
0.5	0.016	375.00	0.0021	210.44
0.7	0.016	375.00	0.0021	210.44
1	0.015	400.00	0.0018	203.76
2	0.015	400.00	0.0018	203.76



ภาพประกอบ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับความเข้มข้นของสาร Armac 12-d

3.2 การศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความสามารถในการจับฝุ่น ของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว 4 ชนิด คือ Triton X–100, Triton N-101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d ที่ความเข้มข้น 0.0001%, 0.0005%, 0.001%, 0.005%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1% และ 2% โดยทำการทดลองในหอฝุ่นตามวิธีการทดลองที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 และควบคุมหอฝุ่นด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

แรงดันลมที่เครื่องกำเนิดฝุ่น 2 psi

แรงดันลมพยุงในหอฝุ่น 3 psi

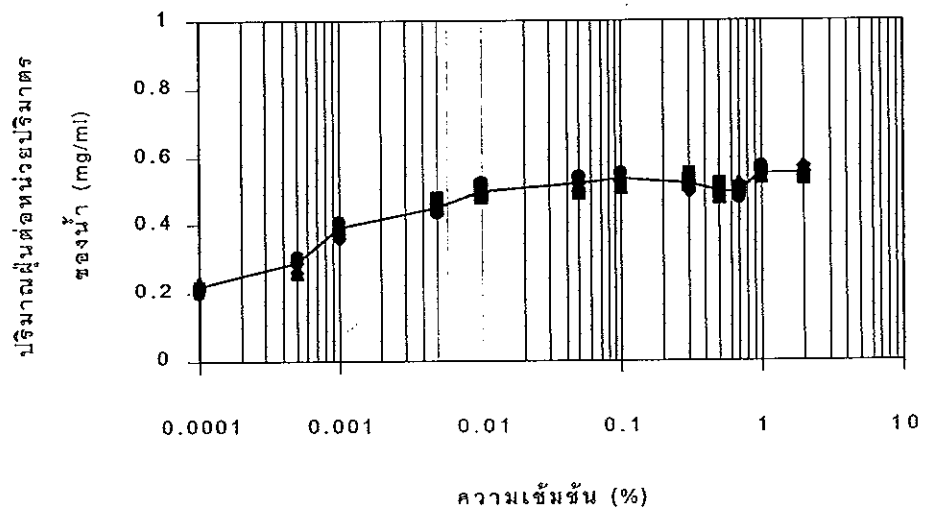
การวัดปริมาณฝุ่นที่จับได้อาศัยการวัดทางอ้อม โดยการเก็บน้ำที่ผ่านการจับฝุ่นที่ตกลงไปในภาชนะรองรับข้างใต้หอฝุ่นมาวัดค่าความขุ่น แล้วคำนวณหาปริมาณฝุ่นที่จับได้จากตาราง Calibration chart ที่จัดทำไว้ก่อนหน้านี้ (ภาคผนวก ค)

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ

จากผลการทดลองในตาราง 3.6 และภาพประกอบ 3.9 แสดงให้เห็นว่าสาร Triton X-100 ช่วยเพิ่มความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำได้ โดยเพิ่มจาก 0.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.0001% ไปเป็น 0.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.01% โดยที่ความเข้มข้นมากกว่านี้ ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำอยู่ในช่วง 0.50 - 0.55 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรไม่ได้ช่วยเพิ่มความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำขึ้นอีก ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อหยดน้ำมีขนาดเล็กลง พื้นที่ผิวสำหรับการจับฝุ่นต่อหยดลดลง แม้ว่าจะมีจำนวนหยดมากขึ้นก็ตาม ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหยดจึงไม่เพิ่มขึ้นอีก เมื่อเติมสาร Triton X-100 สูงกว่าความเข้มข้น 0.01% ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะหยดน้ำมีขนาดเล็กมาก ทำให้เงื่อนไขการไหล (Aerodynamics condition) ไม่เอื้อให้เกิดการชนกันระหว่างหยดน้ำกับอนุภาคฝุ่นได้

ตาราง 3.6 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X–100

ความเข้มข้นสาร (%)	ความสามารถในการจับฝุ่น			
	ปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นต่อน้ำ 1 หยด (mg/drop)	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	0.20 - 0.23	0.22	0.011 – 0.013	0.012
0.0005	0.26 - 0.31	0.29	0.015 – 0.017	0.016
0.001	0.36 – 0.41	0.39	0.019 – 0.022	0.020
0.005	0.44 – 0.48	0.45	0.021 – 0.023	0.022
0.01	0.48 – 0.52	0.50	0.020 – 0.022	0.021
0.05	0.49 – 0.54	0.52	0.011 – 0.013	0.012
0.1	0.51 – 0.55	0.53	0.011 – 0.012	0.012
0.3	0.50 – 0.55	0.52	0.011 – 0.012	0.012
0.5	0.48 – 0.52	0.50	0.010 – 0.012	0.011
0.7	0.48 – 0.52	0.50	0.011 – 0.012	0.011
1	0.54 – 0.57	0.55	0.012 – 0.013	0.012
2	0.53 – 0.57	0.55	0.012 – 0.013	0.012



ภาพประกอบ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100

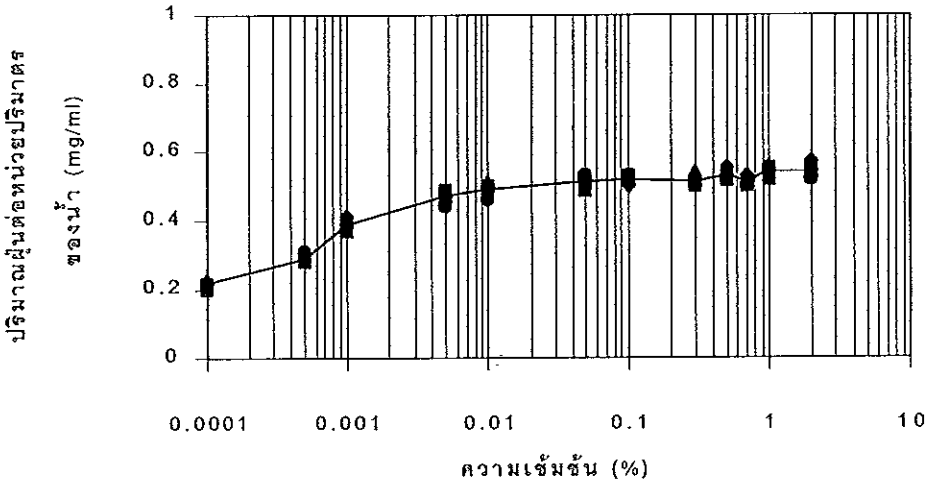
จากผลการทดลองในตาราง 3.7 และภาพประกอบ 3.10 พบว่า ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101 ได้ผลในทำนองเดียวกับสาร Triton X-100 โดยที่ความเข้มข้น 0.0001% สามารถจับฝุ่นได้ 0.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารจนถึง 0.05% จะสามารถจับฝุ่นได้เพิ่มขึ้นเป็น 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อความเข้มข้นมากกว่านี้ สาร Triton N-101 จะไม่ช่วยให้ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำเพิ่มขึ้นอีก

สำหรับผลการทดลองของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ดังแสดงในตาราง 3.8 และภาพประกอบ 3.11 พบว่า จะมีความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารจนถึงความเข้มข้นประมาณ 1% โดยสามารถจับฝุ่นได้ 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อเติมสารมากกว่านี้ ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำจะไม่เพิ่มขึ้นอีก และเมื่อเปรียบเทียบกับสาร Triton X-100 และ Triton N-101 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 0.01% จะมีความสามารถในการจับฝุ่นได้ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 0.49 – 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

จากผลการทดลองหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d ดังแสดงในตาราง 3.9 และภาพประกอบ 3.12 พบว่า มีความสามารถในการจับฝุ่นมากกว่าหยดน้ำที่ไม่ผสมสารเพียงเล็กน้อย ที่ความเข้มข้น 0.0001% ถึงความเข้มข้น 0.005% คือ 0.23 ถึง 0.24 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร ตั้งแต่ความเข้มข้น 0.01% ถึงความเข้มข้น 0.3% ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d กลับลดลง คือ 0.22 มิลลิกรัม ถึง 0.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก น่าจะเป็นเพราะสาร Armac 12-d ไม่เปียกน้ำ จึงทำให้ความสามารถในการจับฝุ่นลดลง

ตาราง 3.7 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101

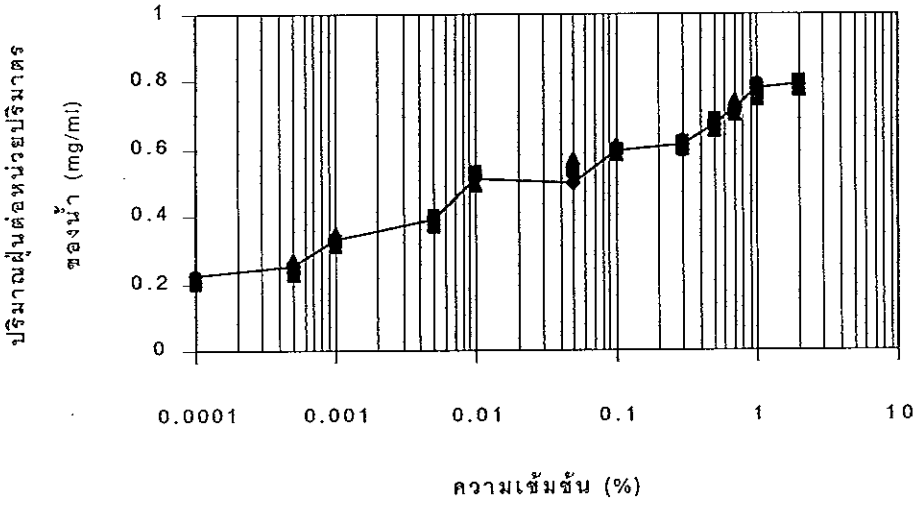
ความเข้มข้นสาร (%)	ความสามารถในการจับฝุ่น			
	ปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นต่อน้ำ 1 หยด (mg/drop)	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	0.20 - 0.23	0.22	0.011 – 0.013	0.012
0.0005	0.28 - 0.31	0.29	0.015 – 0.017	0.016
0.001	0.37 – 0.41	0.39	0.020 – 0.022	0.020
0.005	0.44 – 0.49	0.47	0.021 – 0.023	0.022
0.01	0.46 – 0.51	0.49	0.019 – 0.021	0.020
0.05	0.49 – 0.53	0.51	0.011 – 0.012	0.012
0.1	0.50 – 0.53	0.52	0.011 – 0.012	0.012
0.3	0.50 – 0.54	0.51	0.011 – 0.012	0.011
0.5	0.52 – 0.55	0.53	0.011 – 0.012	0.012
0.7	0.50 – 0.53	0.51	0.011 – 0.012	0.011
1	0.52 – 0.56	0.54	0.012 – 0.013	0.012
2	0.52 – 0.57	0.54	0.012 – 0.013	0.012



ภาพประกอบ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101

ตาราง 3.8 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution

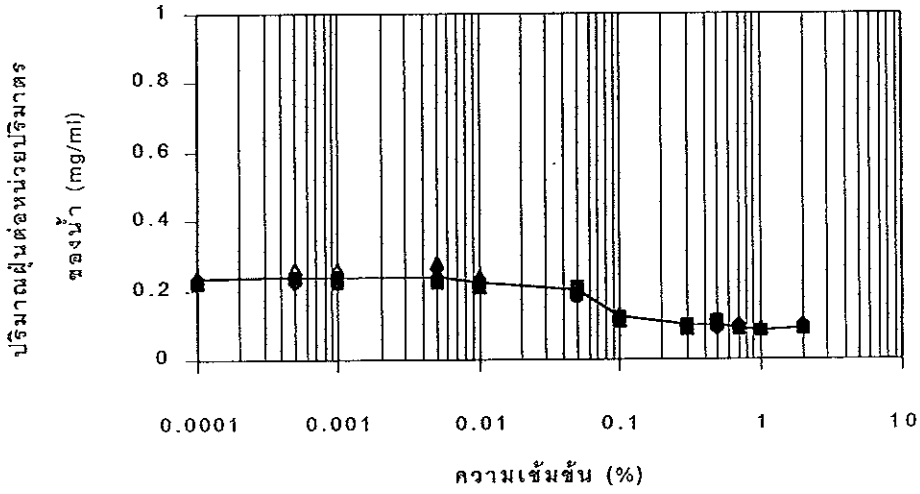
ความเข้มข้นสาร (%)	ความสามารถในการจับฝุ่น			
	ปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นต่อน้ำ 1 หยด (mg/drop)	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	0.20 - 0.22	0.22	0.011 – 0.013	0.012
0.0005	0.23 - 0.27	0.25	0.013 – 0.015	0.014
0.001	0.31 – 0.35	0.33	0.017 – 0.020	0.018
0.005	0.37 – 0.40	0.39	0.021 – 0.022	0.022
0.01	0.48 – 0.53	0.51	0.025 – 0.028	0.027
0.05	0.53 – 0.58	0.55	0.027 – 0.028	0.028
0.1	0.58 – 0.61	0.59	0.026 – 0.028	0.027
0.3	0.59 – 0.63	0.61	0.020 – 0.022	0.021
0.5	0.65 – 0.69	0.67	0.017 – 0.018	0.018
0.7	0.70 – 0.74	0.72	0.017 – 0.018	0.017
1	0.74 – 0.79	0.78	0.016 – 0.017	0.017
2	0.77 – 0.80	0.79	0.015 – 0.016	0.016



ภาพประกอบ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution

ตาราง 3.9 ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d

ความเข้มข้นสาร (%)	ความสามารถในการจับฝุ่น			
	ปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นต่อน้ำ 1 หยด (mg/drop)	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	0.22 - 0.24	0.23	0.012 – 0.013	0.013
0.0005	0.22 - 0.26	0.24	0.012 – 0.015	0.014
0.001	0.22 – 0.26	0.24	0.012 – 0.015	0.014
0.005	0.22 – 0.28	0.24	0.012 – 0.015	0.014
0.01	0.21 – 0.24	0.22	0.011 – 0.013	0.012
0.05	0.18 – 0.21	0.20	0.009 – 0.010	0.010
0.1	0.11 – 0.13	0.12	0.004 – 0.005	0.005
0.3	0.09 – 0.10	0.10	0.001 – 0.002	0.002
0.5	0.09 – 0.11	0.10	0.001 – 0.002	0.002
0.7	0.09 – 0.10	0.09	0.001 – 0.002	0.002
1	0.08 – 0.09	0.08	0.001 – 0.002	0.001
2	0.09 – 0.10	0.09	0.001 – 0.002	0.002

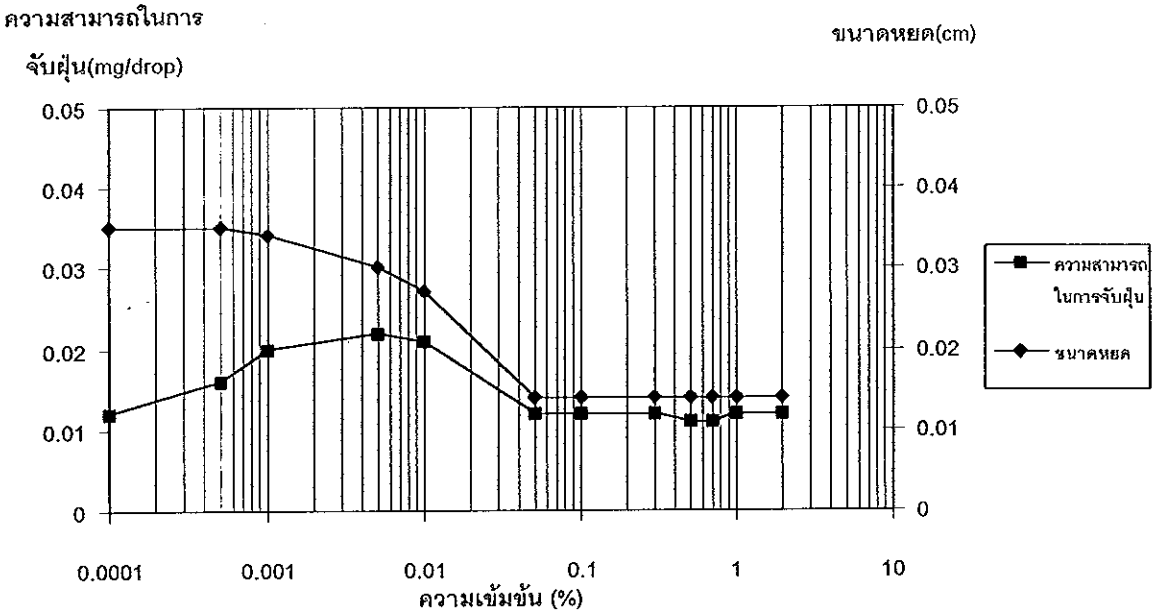


ภาพประกอบ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d

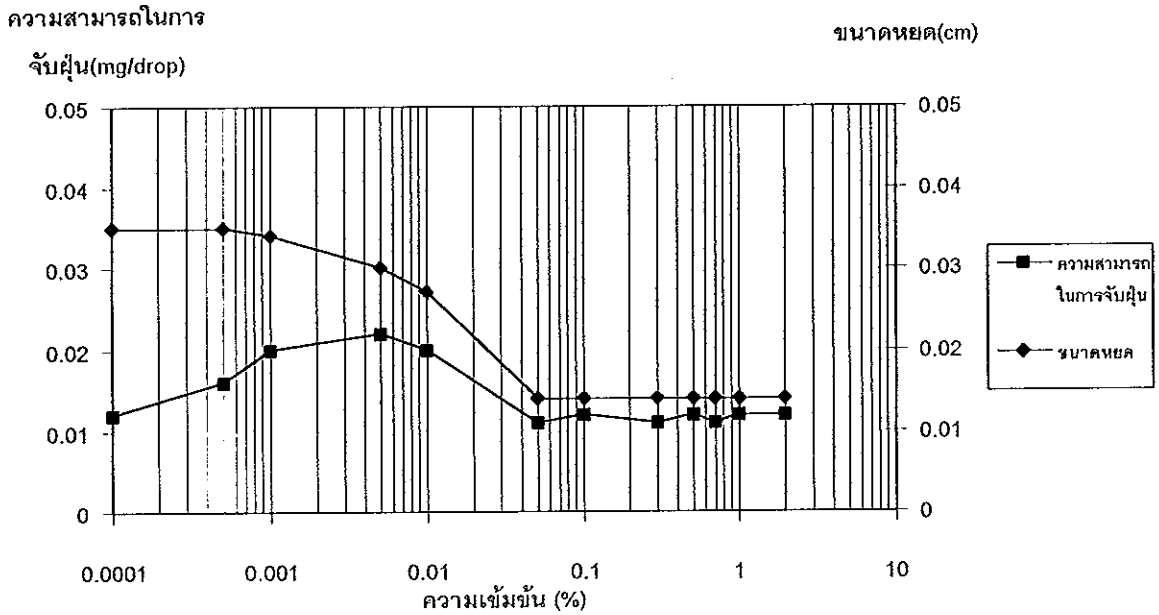
จากการศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 Triton N-101 และ Aerosol OT Solution พบว่า ปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น เมื่อผสมสารแต่งผิวที่ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยที่สาร Triton X-100 และ Triton N-101 ที่ความเข้มข้น 0.01% และ 0.05% สามารถจับฝุ่นได้จุดสูงสุดแล้ว คือ ประมาณ 0.50 และ 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ในขณะที่สาร Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.01% มีความสามารถในการจับฝุ่นได้เท่าๆกัน คือ 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่เมื่อผสมสารในความเข้มข้นสูงขึ้นจะยังทำให้จับฝุ่นได้เพิ่มขึ้นอีกจนถึงค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น 1% คือประมาณ 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และที่ความเข้มข้น 2% สามารถจับฝุ่นได้ 0.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับการทดลองโดยใช้สาร Armac 12-d กลับได้ผลตรงข้าม คือ เมื่อเติมสาร Armac 12-d เพียงเล็กน้อยที่ความเข้มข้น0.0001% สามารถจับฝุ่นได้มากขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารไปเรื่อยๆ กลับสามารถจับฝุ่นได้น้อยลง

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ

จากการศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 เมื่อคิดต่อหยด (ตาราง 3.6 และภาพประกอบ 3.13) พบว่า มีความสามารถในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นตั้งแต่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.005% คือ 0.012 มิลลิกรัมถึง 0.022 มิลลิกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำที่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.005% จากตาราง 3.2 และภาพประกอบ 3.13 จะมีขนาด 0.035 เซนติเมตร และลดลงถึง 0.030 เซนติเมตร เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.01% หยดน้ำจะมีขนาดลดลงเป็น 0.027 เซนติเมตร ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดเริ่มลดลงเล็กน้อย คือ 0.021 มิลลิกรัม และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นตั้งแต่ 0.05% ถึง 2% ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำก็ไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน



ภาพประกอบ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่น ของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100

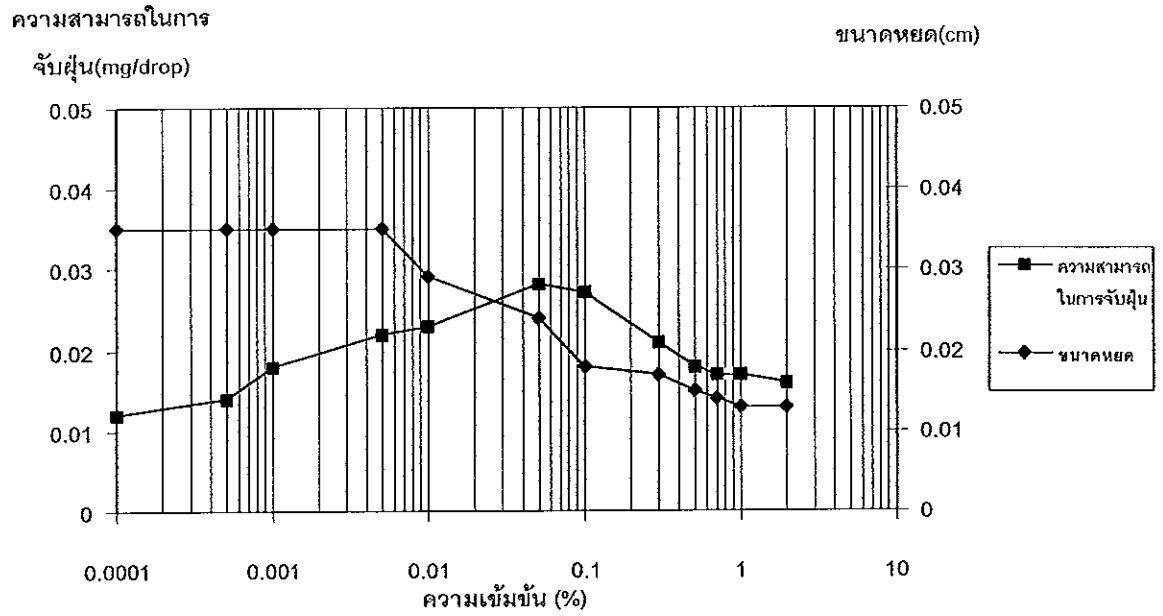


ภาพประกอบ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่น ของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101

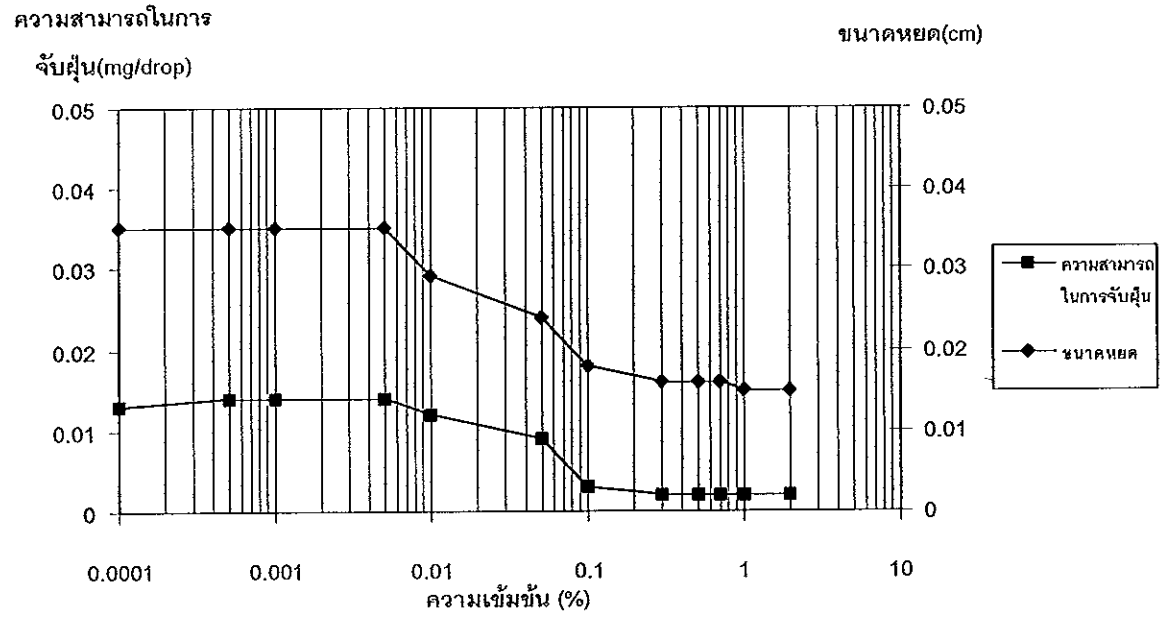
เมื่อพิจารณาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101 เมื่อคิดต่อหยด (ตาราง 3.7 และภาพประกอบ 3.14) พบว่า ตั้งแต่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.005% ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดจะเพิ่มขึ้นจาก 0.012 มิลลิกรัมถึง 0.022 มิลลิกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำจากตาราง 3.3 ที่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.005% จะมีขนาด 0.035 เซนติเมตรลดลงถึง 0.030 เซนติเมตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.01% หยดน้ำจะมีขนาดลดลงเป็น 0.027 เซนติเมตร ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดเริ่มลดลงเล็กน้อย คือ 0.020 มิลลิกรัม และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นตั้งแต่ 0.05% ถึง 2% ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยด และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution เมื่อคิดต่อหยด (ตาราง 3.8 และภาพประกอบ 3.15) พบว่า ตั้งแต่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.05% เพิ่มขึ้นจาก 0.012 มิลลิกรัมถึง 0.028 มิลลิกรัม เมื่อพิจารณาขนาดของหยดน้ำช่วงความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.05% จากตาราง 3.4 พบว่า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ 0.035 เซนติเมตร ลดลงถึง 0.024 เซนติเมตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.1% ที่ขนาดหยดน้ำเท่ากับ 0.018 เซนติเมตร ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนถึงช่วงความเข้มข้น 1 % ถึง 2% มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d เมื่อคิดต่อหยดจากตาราง 3.9 และภาพประกอบ 3.16 พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.0001% ถึง 0.005% เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.013 มิลลิกรัมเป็น 0.014 มิลลิกรัม จากตาราง 3.5 จะเห็นว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำมีขนาด 0.035 เซนติเมตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.01% ขนาดของหยดน้ำลดลงเป็น 0.029 เซนติเมตร ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดลดลงเล็กน้อยเป็น 0.012 มิลลิกรัม และมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ความเข้มข้น 0.3% โดยตั้งแต่ความเข้มข้น 0.05% ของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำเท่ากับ 0.024 เซนติเมตร ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดมีค่าต่ำกว่าหยดน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว



ภาพประกอบ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่น ของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution



ภาพประกอบ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่น ของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d

จากการศึกษาขนาดของหยดน้ำและความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร ซึ่งจะทำให้หยดน้ำมีขนาดเล็กลง ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดจะเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าพื้นที่ผิวต่อหยดน้ำจะเล็กลง แต่ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดที่ลดลง จะช่วยให้หยดน้ำมีโอกาสในการจับฝุ่นได้นานขึ้น และสารแต่งผิวซึ่งมีปริมาณมากขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเกาะติดหลังจากฝุ่นชนกับหยดน้ำ ทำให้ความสามารถในการจับฝุ่นเมื่อคิดต่อหยดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่งที่ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหยดเริ่มลดลง เพราะขนาดของหยดน้ำที่ลดลงมากเกินไป จึงมีพื้นที่ที่จะจับฝุ่นได้จำกัด ถึงแม้ว่าหยดน้ำจะสามารถค้างอยู่ในอากาศได้นานขึ้น และปริมาณสารแต่งผิวที่จะช่วยในการเกาะติดหลังชนได้เพิ่มขึ้น

สำหรับจุดที่หยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และ Triton N-101 สามารถจับฝุ่นได้สูงสุดเมื่อคิดต่อหยด เมื่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยด 0.030 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้น 0.005% และสาร Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.05% จะจับฝุ่นได้สูงสุดเมื่อคิดต่อหยดที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหยด 0.024 เซนติเมตร

3.3 การสรุปเลือกสารแต่งผิว เพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ จากการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอย (Nozzles)

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100, Triton N-101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d ในตาราง 3.6 – 3.9 และภาพประกอบ 3.17 พบว่า

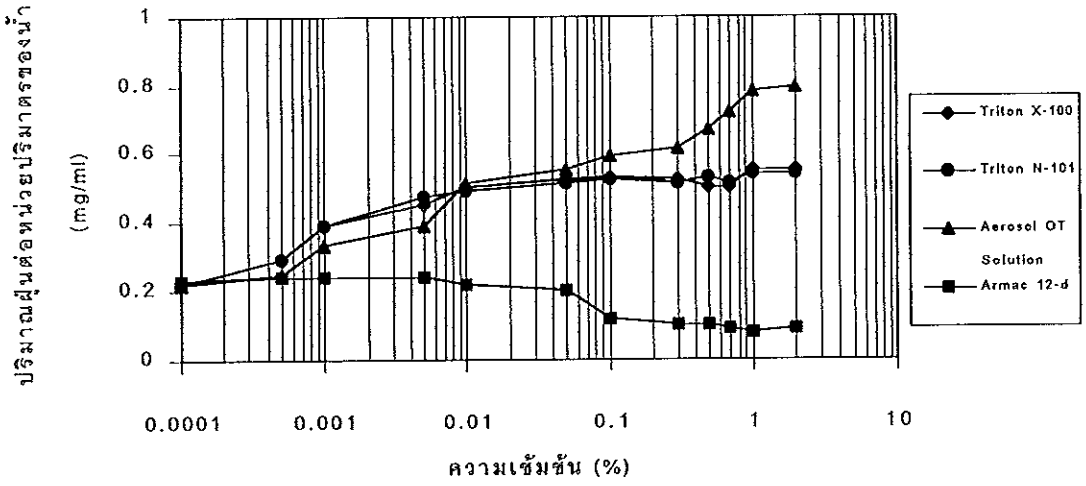
- หยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 มีความสามารถในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารจากความเข้มข้น 0.0001% ถึงความเข้มข้น 0.01% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่านี้ ความสามารถในการจับฝุ่นมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

- หยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101 มีความสามารถในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากความเข้มข้น 0.0001% จนถึงความเข้มข้น 0.05% หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารอีก ความสามารถในการจับฝุ่นมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

- หยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution มีความสามารถในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากความเข้มข้น 0.0001% จนถึงความเข้มข้น 1% และที่ความเข้มข้น 2% ความสามารถในการจับฝุ่นมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

- หยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d มีความสามารถในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากความเข้มข้น 0.0001% จนถึงความเข้มข้น 0.0005% และความสามารถในการจับฝุ่นเริ่มลดลงที่ความเข้มข้น 0.01% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารอีก ความสามารถในการจับฝุ่นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงความเข้มข้น 0.7% ความสามารถในการจับฝุ่นมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว คือ 0.22 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิวทั้ง 4 ชนิด จะเห็นว่าหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100, Triton N-101 และ Aerosol OT Solution มีความสามารถในการจับฝุ่นมากกว่าหยดน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว แต่หยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d มีความสามารถในการจับฝุ่นน้อยกว่าหยดน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว



ภาพประกอบ 3.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำและความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100, Triton N-101,Aerosol OT Solution และ Armac 12-d

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า หยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และ Triton N-101 มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ไม่ว่าจะเป็นผลของสารแต่งผิวต่อค่าแรงตึงผิว หรือผลต่อขนาดของหยดน้ำ และจากผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และ Triton N-101 จะเห็นว่าได้ผลใกล้เคียงกันมาก จึงสามารถเลือกสารตัวใดตัวหนึ่งไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไปได้ จากภาพประกอบ 3.17 จะเห็นว่า ค่าสูงสุดของความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 อยู่ที่ความเข้มข้น 0.01% และค่าสูงสุดของความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101 อยู่ที่ความเข้มข้น 0.05% ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า และความสามารถในการจับฝุ่นหลังค่าสูงสุดของความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำของทั้งสองสารได้ผลใกล้เคียงกันมาก จึงเลือกสาร Triton X-100 เป็นตัวแทนในการทดลองต่อไป

สำหรับหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution จะเห็นว่าความสามารถในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัดตั้งแต่ความเข้มข้น 0.0001% ถึงความเข้มข้น 0.01% หลังจากนั้นความสามารถในการจับฝุ่นก็ยังเพิ่มขึ้นอีก จนถึงความเข้มข้นประมาณ 1%

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกสารแต่งผิว 2 ชนิดคือ Triton X-100 และ Aerosol OT Solution ไปทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ จากการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอย โดยจะทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.01% เพื่อสามารถนำผลเปรียบเทียบกันได้ และที่ความเข้มข้น 0.01% สาร Triton X-100 และ Aerosol OT Solution มีความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำใกล้เคียงกันมาก คือ อยู่ในช่วง 0.50 – 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึงแม้ว่าที่ความเข้มข้น 1% สาร Aerosol OT Solution จะสามารถจับฝุ่นได้มากกว่านี้ คือ 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ต้องใช้ปริมาณสารมากกว่าถึง 100 เท่า

3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว และฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และ Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.01% ซึ่งได้เลือกจากการทดลองในข้อ 3.3 โดยการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง 3 ชนิด คือ

- FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4
- FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG - 1507
- FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG – SS1.5

3.4.1 หัวสเปรย์พ่นฝอยละออง (Nozzles)

3.4.1.1 การทดลองหาตำแหน่งของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง

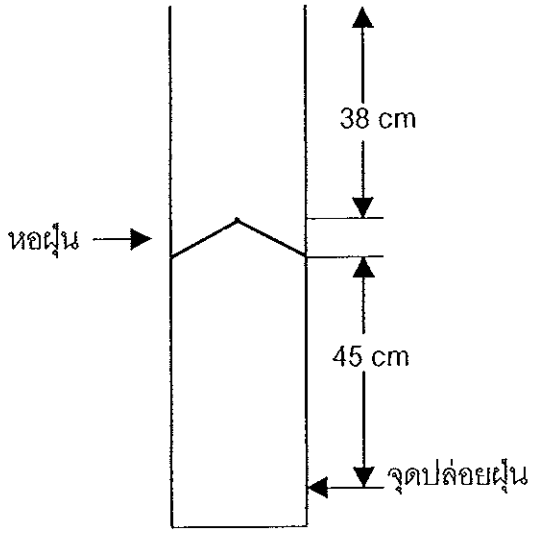
ในการทดลองหาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ตำแหน่งที่ติดตั้งหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองจะแตกต่างกัน เนื่องจากหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองทั้ง 3 ชนิดมีมุมพ่นที่แตกต่างกัน จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาตำแหน่งของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองทั้ง 3 ชนิด เพื่อลด Side effect ของการที่ฝอยละอองน้ำไปถูกด้านข้างของหอฝุ่นทดลอง และพาฝุ่นที่เกาะอยู่ด้านข้างไหลลงไปรวมกับฝุ่นที่ถูกจับโดยฝอยละอองน้ำจริงๆ จึงกำหนดระยะที่ฝอยละอองน้ำเริ่มถูกขอบหอฝุ่นที่ระยะเดียวกันทุกหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง และที่การทดลองทุกระดับแรงดัน ผลการทดลองหาตำแหน่งของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง โดยทำการพ่นฝอยละอองน้ำ ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ที่ระดับแรงดัน 20, 30, 40, 50 และ 60 psi มีดังนี้ คือ

1. FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG - 1507

เมื่อกำหนดตำแหน่งติดตั้งหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง อยู่ที่ขอบบนตรงกลางของหอฝุ่น ระยะที่รัศมีของรูปทรงกรวย (Cone shape) ของฝอยละอองน้ำจากการพ่นแตะขอบหอฝุ่นอยู่ที่ 48 เซนติเมตร จากขอบบนหอฝุ่น โดยอยู่ห่างจากจุดปล่อยฝุ่นขึ้นไป 45 เซนติเมตร (ภาพประกอบ 3.18)

ผลการทดลองการพ่นฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ได้ผลเช่นเดียวกันกับฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ที่ทุกระดับแรงดัน

หัวสเปรย์พ่นฝอยละออง



ภาพประกอบ 3.19 แสดงตำแหน่งติดตั้งหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง
FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4 และ
FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG – SS1.5

3.4.1.2 ความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง

จากการทดลองพ่นฝอยละอองน้ำ ฝอยละอองที่ผสม 0.01%Triton X-100 และฝอยละอองที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ในเวลา 1 นาที เพื่อหาความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองทั้ง 3 ชนิด ที่ทุกระดับแรงดัน พบว่า ความสามารถในการพ่นฝอยละอองของ FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG – 1507 จะน้อยกว่าอีก 2 หัวพ่นฝอยละออง ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกัน และจะเห็นว่าเมื่อเติมสารแต่งผิวแล้ว ความสามารถในการพ่นฝอยละอองของทั้ง 3 หัวพ่นฝอยละอองจะมากขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในตาราง 3.10– 3.12

ตาราง 3.10 แสดงความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอย
FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4

แรงดัน (psi)	ความสามารถในการพ่นฝอยละออง (ml/min)		
	น้ำ	0.01%Triton X-100	0.01%Aerosol OT Solution
20	1830	1880	1900
30	2535	2585	2605
40	2880	2930	2950
50	3180	3230	3250
60	3450	3500	3520

ตาราง 3.11 แสดงความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอย
FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG - 1507

แรงดัน (psi)	ความสามารถในการพ่นฝอยละออง (ml/min)		
	น้ำ	0.01%Triton X-100	0.01%Aerosol OT Solution
20	780	830	850
30	930	980	1000
40	1060	1110	1130
50	1190	1240	1260
60	1310	1360	1380

ตาราง 3.12 แสดงความสามารถในการพ่นฝอยละอองของหัวสเปรย์พ่นฝอย
FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG – SS1.5

แรงดัน (psi)	ความสามารถในการพ่นฝอยละออง (ml/min)		
	น้ำ	0.01%Triton X-100	0.01%Aerosol OT Solution
20	1630	1680	1700
30	2340	2390	2410
40	2680	2730	2750
50	2980	3030	3050
60	3250	3300	3320

3.4.2 การทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

การทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ จะทำการทดลองในหอฝุ่นตามวิธีการทดลองที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 และทำการทดลองที่ระดับแรงดัน 20, 30, 40, 50 และ 60 psi โดยควบคุมหอฝุ่นด้วยพารามิเตอร์ ดังนี้

- แรงดันลมพยุงในหอฝุ่น 3 psi
- แรงดันลมที่เครื่องกำเนิดฝุ่น 2 psi
- ปริมาณฝุ่นในขวดเซรามิก 2 กรัม
- เวลาที่ทำการทดลอง 2 นาที
- กำหนดระยะที่ฝอยละอองน้ำเริ่มถูกขอบหอฝุ่นได้ที่ 45 เซนติเมตรจากจุดปล่อยฝุ่น

การวัดปริมาณฝุ่นที่จับได้อาศัยการวัดทางอ้อม เช่นเดียวกับการทดลองหาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิวในข้อ 3.2

3.4.2.1 ผลของสารแต่งผิวต่อประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4 ดังแสดงในตาราง 3.13 – 3.15 และภาพประกอบ 3.20 จะเห็นว่า ที่ระดับแรงดันเดียวกัน ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution สามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ประมาณ 0.65 – 2.17% และสามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ประมาณ 12.85 – 19.29%

การเพิ่มระดับแรงดันของการพ่นฝอยละออง จะทำให้ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิวและน้ำที่ผสมสารแต่งผิว

ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ จากการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507 ดังแสดงในตาราง 3.16 – 3.18 และภาพประกอบ 3.21) พบว่า ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution สามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ประมาณ 1.4 – 4.57% และสามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ประมาณ 12.59 – 19.47% และเมื่อเพิ่มระดับแรงดันของการพ่นฝอยละออง ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นจะเพิ่มขึ้น

สำหรับผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ จากการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5 ดังแสดงในตาราง 3.19 – 3.21 และภาพประกอบ 3.22 พบว่า ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution สามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ประมาณ 1.16 – 2.82% และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution สามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ประมาณ 11.88 – 21.72% และประสิทธิภาพในการจับฝุ่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระดับแรงดันของการพ่นฝอยละออง

ตาราง 3.13 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4

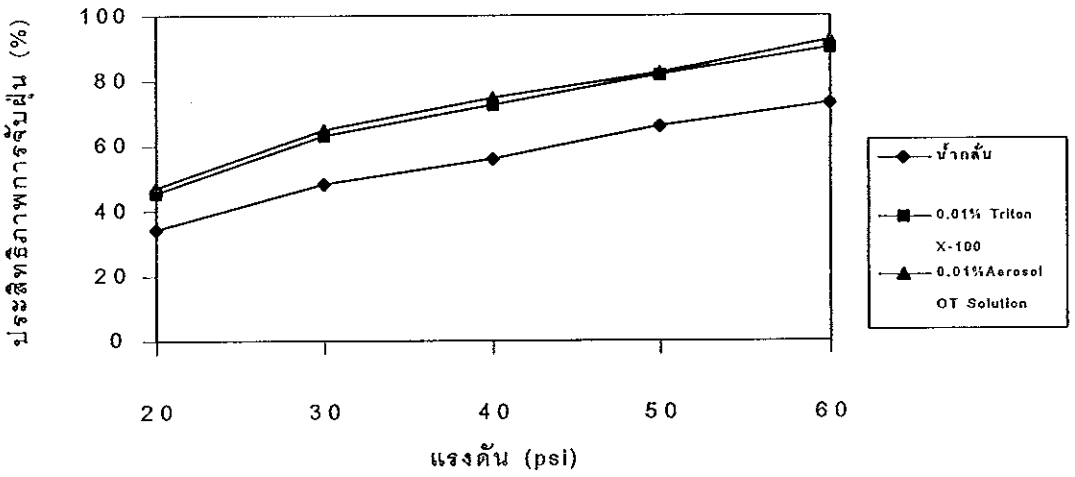
แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	35.09	33.93	32.73	34.62	33.33	33.94
30	49.09	48.21	49.09	46.43	47.17	47.99
40	57.41	54.72	53.70	56.36	57.41	55.92
50	66.04	64.81	66.04	67.86	64.81	65.91
60	74.07	72.73	71.70	72.73	72.73	72.79

ตาราง 3.14 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4

แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	45.45	44.83	46.43	44.23	44.83	45.15
30	62.26	62.00	60.00	64.71	64.71	62.74
40	71.43	76.36	70.18	75.00	68.97	72.39
50	78.57	81.82	81.48	83.33	83.02	81.64
60	92.59	88.46	90.57	88.89	90.57	90.22

ตาราง 3.15 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4

แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	45.45	48.28	47.37	46.30	46.55	46.79
30	66.67	62.26	65.38	66.00	64.15	64.89
40	78.57	74.55	71.93	74.55	73.21	74.56
50	81.48	84.62	82.69	83.02	79.63	82.29
60	92.31	90.57	94.00	92.59	90.91	92.08



ภาพประกอบ 3.20 ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ, ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01%Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01%Aerosol OT Solution ของ FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH - KY4

ตาราง 3.16 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG–1507

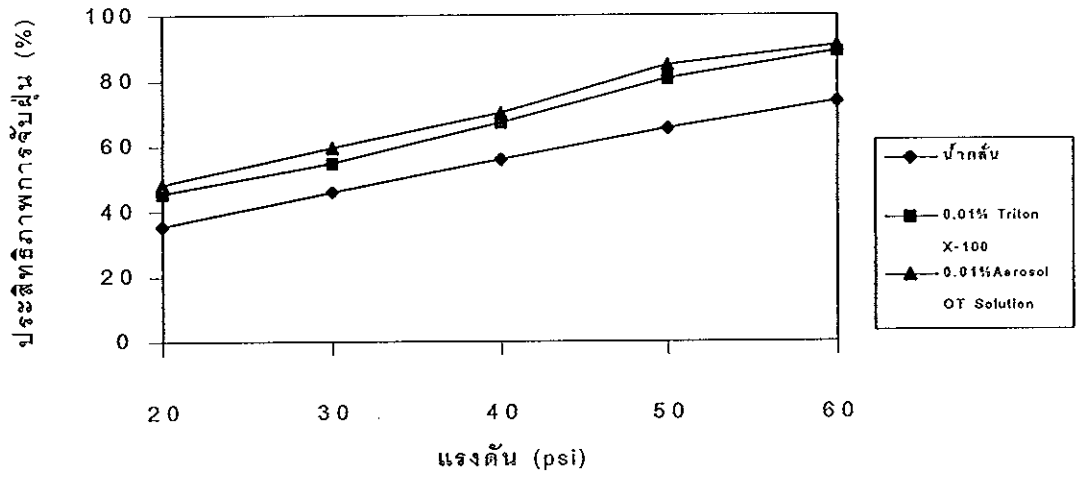
แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	37.04	35.19	34.55	34.55	35.85	35.44
30	47.06	44.23	45.28	45.28	46.15	45.60
40	54.90	55.77	55.77	55.77	55.77	55.60
50	66.04	64.15	65.38	66.04	64.81	65.28
60	73.08	73.08	74.51	73.58	74.00	73.65

ตาราง 3.17 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	46.00	45.45	43.86	45.28	46.15	45.35
30	54.72	54.90	53.70	56.86	53.85	54.81
40	65.45	64.29	68.52	67.27	68.52	66.81
50	79.25	79.25	80.77	81.13	81.48	80.38
60	90.38	90.38	88.68	87.04	88.68	89.03

ตาราง 3.18 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	45.10	47.06	50.00	50.00	48.00	48.03
30	58.82	60.78	60.00	57.69	59.62	59.38
40	67.31	68.52	70.59	71.15	71.15	69.74
50	84.62	84.91	86.27	83.02	84.91	84.75
60	88.46	90.20	90.74	90.20	92.59	90.44



ภาพประกอบ 3.21 ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ, ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01%Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01%Aerosol OT Solution ของ FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

ตาราง 3.19 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

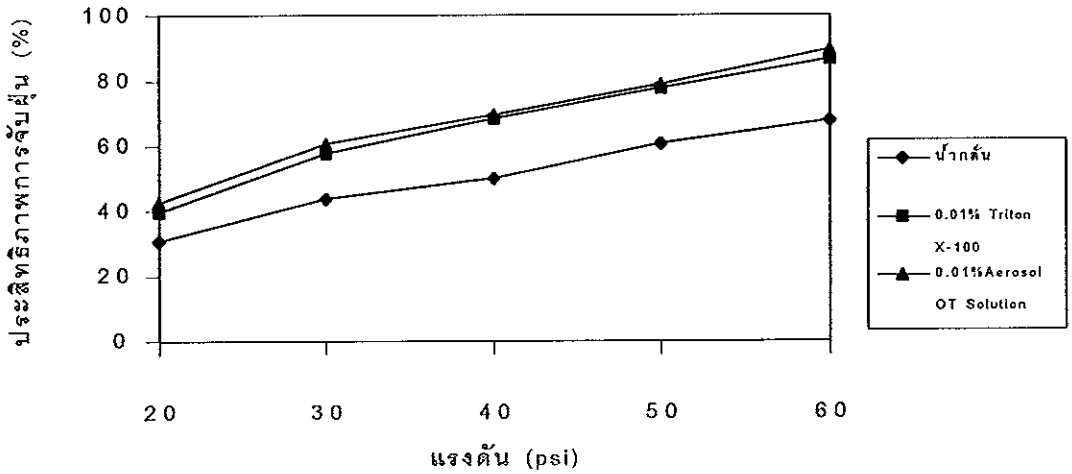
แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	30.91	29.82	30.91	29.09	30.91	30.33
30	43.64	45.45	44.44	42.59	41.82	43.59
40	51.85	48.15	48.15	50.00	50.94	49.82
50	61.82	62.26	60.00	59.26	60.38	60.74
60	67.92	68.52	67.27	66.67	68.52	67.78

ตาราง 3.20 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Triton X-100 ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	38.60	40.00	41.07	38.60	40.00	39.65
30	56.36	57.72	54.72	60.78	60.00	57.92
40	67.92	70.00	66.67	66.04	71.15	68.36
50	76.36	78.95	79.25	77.19	76.36	77.62
60	88.68	87.27	84.91	86.27	86.27	86.68

ตาราง 3.21 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01% Aerosol OT Solution ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

แรงดัน (psi)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
20	44.44	42.86	42.31	41.07	40.35	42.21
30	59.62	58.49	59.62	62.96	61.82	60.50
40	68.63	68.52	67.31	70.91	72.22	69.52
50	78.85	78.18	81.48	80.00	75.44	78.79
60	90.38	90.57	88.89	90.38	87.27	89.50



ภาพประกอบ 3.22 ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ, ฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01%Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสม 0.01%Aerosol OT Solution ของ FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตาราง 3.13 – 3.21 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิวทั้ง Triton X-100 และ Aerosol OT Solution จะสูงกว่าประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ที่ระดับแรงดันเดียวกัน โดยฝอยละอองน้ำที่ผสม0.01% Triton X-100 และ 0.01% Aerosol OT Solution สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจับฝุ่นได้จาก 30.33 – 73.65 % เป็น 39.65 – 90.22 % และ 42.21 – 92.08 % ตามลำดับ

ในระบบพ่นฝอยละอองน้ำ ซึ่งเป็นการแตกตัวอย่างต่อเนื่องของของเหลวเป็นหยดน้ำจำนวนมาก ขนาดของหยดน้ำจากการพ่นฝอยละอองจะขึ้นกับลักษณะของหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง และการตั้งเงื่อนไข เช่น แรงดันอากาศ อัตราการไหลของของเหลว เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของของเหลว ซึ่งได้แก่ แรงตึงผิวของของเหลวนั้นด้วย โดยในการทดลองครั้งนี้ได้ตั้งเงื่อนไขของแรงดันการพ่นฝอยละอองไว้เท่ากัน แต่จะแตกต่างกันที่ค่าแรงตึงผิวของน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดลองข้างต้นในข้อ 3.1 ซึ่งได้ค่าแรงตึงผิว ดังนี้

น้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว = 73 dyne/cm

น้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่ความเข้มข้น 0.01% = 46 dyne/cm

น้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.01% = 51 dyne/cm

จากการสังเกตขนาดของหยดน้ำในการทดลอง พบว่า หยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิวทั้ง 2 ชนิด จะมีขนาดหยดเล็กกว่าหยดน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ซึ่งสอดคล้องกับสมการของ Nukiyama and Tanasawa (Nukiyama and Tanasawa, 1938) ที่ว่า ขนาดของหยดน้ำจะแปรผันโดยตรงกับแรงตึงผิวของของเหลวนั้น คือ หยดน้ำของน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิวซึ่งมีค่าแรงตึงผิวมากกว่าหยดน้ำของน้ำที่ผสมสารแต่งผิวทั้ง 2 ชนิด ย่อมมีขนาดของหยดใหญ่กว่า

ในการทดลองที่ใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน ขนาดของหยดน้ำที่เล็กกว่าย่อมมีจำนวนหยดมากกว่าขนาดของหยดน้ำที่ใหญ่กว่า ดังนั้นน้ำที่ผสมสารแต่งผิว Triton X-100 จะมีจำนวนหยดน้ำมากกว่าน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution และมากกว่าน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว ตามลำดับ น้ำที่มีจำนวนหยดมากกว่าจะมีพื้นที่ผิวในการจับฝุ่นมากกว่าด้วย ฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิวจึงมีประสิทธิภาพในการจับฝุ่นมากกว่าฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว จากปัจจัยของขนาดและจำนวนหยดน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสการชนกันของหยดน้ำและอนุภาคฝุ่น

นอกจากปัจจัยความถี่ในการชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นและหยดน้ำแล้ว ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชนกันของอนุภาคฝุ่นและหยดน้ำ ถ้าอนุภาคฝุ่นชนกับหยดน้ำแล้วเกาะติดหยดน้ำดี อนุภาคฝุ่นก็จะถูกกำจัดออกจากอากาศได้มาก จะเห็นได้ว่าหยดน้ำที่

ผสมสาร Triton X-100 มีขนาดของหยดเล็กกว่าหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution แต่ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองที่ผสม Aerosol OT Solution ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ผสม Triton X-100

3.4.2.2 ผลของแรงดันการพ่นฝอยละอองต่อประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

จากผลการทดลองในตาราง 3.13 – 3.21 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มระดับแรงดันของการพ่นฝอยละออง ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นจะเพิ่มขึ้นทุกหัวสเปรย์พ่นฝอยละออง ด้วยเหตุผลที่ว่าขนาดของหยดน้ำเล็กลง เมื่อเพิ่มระดับแรงดันการพ่นฝอยละอองน้ำ โดยมีรายงานการศึกษาถึงผลของการเพิ่มแรงดันการพ่นฝอยละอองน้ำ ต่อขนาดของหยดน้ำ พบว่า ขนาดของหยดน้ำจะเล็กลง เมื่อเพิ่มแรงดันของการพ่นฝอยละออง (Alaboyun ,1989) และอีกเหตุผลหนึ่งคือ เมื่อแรงดันของการพ่นฝอยละอองเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำจากการพ่นจะมากขึ้นด้วย ดังผลการทดลองในตาราง 3.10 – 3.12 จึงสามารถจับฝุ่นได้ดีขึ้น

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

การศึกษาอิทธิพลของสารแต่งผิวต่อการควบคุมฝุ่นโรงโม่หิน โดยการใช้สารแต่งผิว 4 ชนิด คือ Triton X-100, Triton N -101, Aerosol OT Solution และ Armac 12-d โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมสารแต่งผิว และชนิดของสารแต่งผิวต่อประสิทธิภาพในการจับฝุ่นโรงโม่หินของฝอยละอองน้ำ ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การศึกษาเบื้องต้นถึงคุณสมบัติของน้ำที่เติมสารแต่งผิวที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ศึกษาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว และศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ได้เลือกจากการทดลองขั้นที่ 2 โดยการพ่นผ่านหัวสเปรย์พ่นฝอย 3 ชนิด

1. ผลของสารแต่งผิวต่อค่าแรงตึงผิวของน้ำ

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารแต่งผิวจะสามารถลดค่าแรงตึงผิวของน้ำจากค่าประมาณ 63 - 72 ดายน์ต่อเซนติเมตร ลงไปเป็น 29 - 35 ดายน์ต่อเซนติเมตร โดยสาร Triton X-100 และ Triton N -101 สามารถลดค่าแรงตึงผิวได้ถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นเพียง 0.05% โดยมีค่าแรงตึงผิว 32 ดายน์ต่อเซนติเมตร ในขณะที่สาร Aerosol OT Solution และ Armac 12-d จะค่อยๆลดค่าแรงตึงผิวของน้ำ เมื่อผสมที่ความเข้มข้นสูงขึ้น และลดค่าแรงตึงผิวมาที่ค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 1% ซึ่งมีค่าแรงตึงผิว 30 และ 35 ดายน์ต่อเซนติเมตร

2. ผลของสารแต่งผิวต่อขนาดของหยดน้ำ

จากการศึกษา พบว่า สาร Triton X-100 และ Triton N -101 สามารถลดขนาดของหยดน้ำลงได้ เมื่อผสมที่ความเข้มข้น 0.001% และลดลงจนถึงค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.05% ในขณะที่สาร Aerosol OT Solution จะเริ่มลดขนาดหยดน้ำลงไปเมื่อผสมในความเข้มข้น 0.01% และค่อยๆลดขนาดหยดน้ำลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น จนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 1% สำหรับสาร Armac 12-d ขนาดของหยดน้ำเล็กลงเมื่อผสมที่ความเข้มข้น 0.01% และลดลงถึงถึงขนาดต่ำสุดที่ความเข้มข้นประมาณ 1%

3. ความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารแต่งผิว หยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100, Triton N-101 และ Aerosol OT Solution จะสามารถจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่สาร Triton X-100 และ Triton N-101 ที่ความเข้มข้น 0.01% และ 0.05% สามารถจับฝุ่นได้จุดสูงสุด คือประมาณ 0.50 และ 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่สาร Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.01% มีความสามารถในการจับฝุ่นได้เท่าๆกันคือ 0.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่เมื่อผสมในความเข้มข้นสูงขึ้น จะยังทำให้จับฝุ่นได้เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น 1% คือประมาณ 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนสาร Armac 12-d ความสามารถในการจับฝุ่นต่อหน่วยปริมาตรของน้ำกลับลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร ดังนั้นในการทดลองขั้นที่ 3 จึงเลือกสาร Triton X-100 และ Aerosol OT Solution ที่ความเข้มข้น 0.01% ไปทำการทดลองต่อไป

4. ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

จากการศึกษา พบว่า ฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution สามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 สามารถจับฝุ่นได้ดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสาร ที่ทุกระดับแรงดันของหัวสเปรย์พ่นฝอยละอองน้ำทั้ง 3 ชนิด โดยฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 และ Aerosol OT Solution สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำได้จาก 30.33 - 73.65% เป็น 39.65 - 90.22% และ 42.21 - 92.08% ตามลำดับ

5. ค่าสารแต่งผิวต่อน้ำ 1 ลูกบาศ์เมตร

ในการศึกษาประสิทธิภาพการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ซึ่งทำการทดลองที่ความเข้มข้น 0.01% ค่าใช้จ่ายสำหรับสารแต่งผิวต่อน้ำที่ใช้ 1 ลูกบาศ์เมตร มีดังนี้

ราคาสาร Aerosol OT Solution เกรดวิเคราะห์ = 2,250 บาท / 100ml

ราคาสาร Triton X-100 เกรดวิเคราะห์ = 1,100 บาท / 250ml

$$\text{ในน้ำ 1 ลูกบาศ์เมตรใช้สารแต่งผิว} = \frac{0.01\ \text{ml}}{100\ \text{ml}} \times \frac{1{,}000\ \text{ml}}{1\ \text{L}} \times \frac{1000\ \text{L}}{1\ \text{ลบ.ม.}}$$

$$= 100\ \text{ml}$$

∴ ค่าสาร Aerosol OT Solution เกรดวิเคราะห์ ต่อน้ำ 1 ลูกบาศ์เมตร = 2,250 บาท

$\therefore$ ค่าสาร Triton X-100 เกรดวิเคราะห์ ต่อน้ำ 1 ลูกบาศ์เมตร $= \frac{100\ ml \times 1{,}100 บาท}{250ml}$

$= 440$ บาท

อนึ่ง ในการประยุกต์ใช้งานจริงๆ จะเป็นสารเคมีเกรดการค้า (Commercial grade) ซึ่งโดยทั่วไปราคาจะต่ำกว่านี้มาก แต่ทั้งนี้จากการสอบถามจากผู้ค้าสารเคมีต่างๆ ยังไม่มีการนำเข้าสารเคมีเหล่านี้มาใช้ในประเทศไทย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อนำผลไปใช้ในการพ่นฝอยละอองในที่โล่ง แต่ผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของ Wet Scrubber ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการใช้หัวสเปรย์พ่นฝอยละอองใน Wet Scrubber จะใช้หลายหัว และฝอยละอองน้ำจะถูกใช้ในการจับฝุ่นได้ทั้งหมด โดยไม่ติดด้านข้างของ Scrubber

2. ควรนำไปทดลองที่โรงโม่หินจริง ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของโรงโม่หิน แล้ววัดผลด้วย High volume air sampler

3. โดยภาพรวมแล้ว ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นโรงโม่หิน ด้วยฝอยละอองน้ำที่ผสมสารแต่งผิว จะดีกว่าฝอยละอองน้ำที่ไม่ผสมสารแต่งผิว แต่ควรวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจากการใช้การควบคุมฝุ่นด้วยวิธีการอื่นๆมาเปรียบเทียบด้วย ถ้าวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายไม่มากกว่าวิธีอื่นๆ ก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้ดำเนินกิจการโรงโม่หิน

4. ถึงแม้ว่าการใช้สารแต่งผิวจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น ทั้งสาร Aerosol OT Solution และ Triton X-100 มีผลข้างเคียงในการก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผู้ที่สัมผัสได้ ดังนั้นผู้ที่ต้องทำงานเกี่ยวข้องต้องให้ความระมัดระวัง ในเรื่องของการเตรียมสาร การขนย้าย และการเก็บรักษาสารด้วย (Sigma – Aldrich Pte Ltd., 1999)

บรรณานุกรม

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2538. สรุปข่าวสิ่งแวดล้อม 2537. กรุงเทพฯ.

ชิคาโอะ คานาโอกะ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2535. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

เณริน วิศิษศักดิ์วาสิน และคณะ. 2535. "มลพิษอากาศ (ฝุ่นหิน) บริเวณชุมชนโรงโม่หิน จังหวัดสระบุรี", การอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 13 (ม.ค.-มี.ค.2535), 41-50.

สุปราณี ผลชีวิน. 2540. โรคปอดจากงานอาชีพ : แนวทางป้องกันและการควบคุม. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

Alaboyun, Ali Riza. 1989. "The effect of Surfactants on Suppression of Coal Dust Particle", M.S. Thesis in Mineral Engineering. The Pennsylvania State University.

Anderson, F.G., Evans, R.L. and Peluso, R.G. 1963. "A Study of Dust Control Methods for Continuous Mining of Coal", USBM Information Circulation. 8205 (1963), 1-14.

Brauer, H. and Varma, Y.B.G. 1981. Air Pollution Control Equipment. New York : Springer Verlag.

Bughdadi, S.M. 1973. "Effect of Surfactants on Venturi Scrubber Particle Collection Efficiency", M.S. Thesis in Mineral Engineering. Southern Illinois University at Carbondale.

Calvert, S. 1968. Air Pollution. 2nd Ed. New York : Mc Graw – Hill,Inc.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Chander, S. ; Mohal, B.R. and Aplan, F.F. 1988. "Wetting Characteristics of Particles and Thair Significance in Dust Abatement", in The International Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries.14-16. Frantz, R.L. and Ramani, R.V.,eds. Pennsylvania : Littleton, Co.

Chander, S. ; Alaboyun, A.R. and Aplan, F.F. 1991. "On the Mechanism of Capture of Coal Dust Particles by Sprays", in The International Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries.193-202. Frantz, R.L. and Ramani, R.V.,eds. Pennsylvania : Littleton, Co.

Cheng, L. and Emmerling, J.E. 1974. "Collection of Airborne Coal Dust by Steam", USBM Report of Investigation. 7819 (1974), 45-61.

Courtney, W.G. and Cheng, L. 1976. "Control of Respirable Dust by Improved Water Sprays", USBM Information Circular. 8753 (1976), 92-108.

Crawford, M. 1976. Air Pollution Control Theory. New York : McGraw – Hill, Inc.

Giffen, E. and Massey, B.S. 1961. "Some Observation on Flow in Spray Nozzle ", USBM Information Circular. 5783 (1961), 122-134.

Glaville, J.O. and Haley, L.H. 1991. "Studies of Coal Dust Wetting by Surfactant Solution", Colloids and Surfaces. 4 (1991), 213-227.

Godart, R.R. and Massey, B.S. 1967. "Dust Abatement Activities within United States Steel Coal Operation ", Coal Age. 72 (1967), 102-117.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Goldmid, Y. and Calbert, S. 1963. "Small Particle Collection by Supported Liquid Drops ", AIChEJ. 3 (1963), 352-358.

Hinds, William C. 1982. Aerosol Technology : Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles. New York : John Wiley, Inc.

Jayaraman, N.I. ; Schroeder, W.E. and Kissel, F.N. 1986. "Studies of Dust Knockdown by Water Sprays Using a Full-Scale Mine Entry ", Trans. SME of AIME. 278 (1986), 1875-1882.

Kobrick, T. 1970. "Water as a Control Method-State of the Art-Spray and Wetting Agents ", USBM Information Circular. 8458 (1970), 123-132.

McCoy, J.F., *et al.* 1985. "New Laboratory Measurement Method for Water Sprays Dust Control Effectiveness ", AM.Ind.Hyg.Assoc.J. 46 (1985), 735-740.

McCully, C.R., *et al.* 1956. "Scavenging Action of Rain on Airborne Particulate Matter ", Ind.& Eng.Chem. 9 (Sept 1956), 1512-1516.

Merck Co. Ltd. 1999. The Merck Index. N.J. : Rahway.

Newman, S.P.; Pellow, P.G.D. and Clarke, S.W. 1987. "Dropsizes From Medical Atomizers for Drug Solutions with Different Viscosities and Surface Tensions ", Atomization and Spray Tech. 3 (1987), 1-11.

Nukiyama, S. And Tanasawa, Y. 1938. "An Experiment on the Atomization of Liquid by Means of Air Stream ", Trans.Soc.Mech. 14 (April 1938), 64-86.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Ott, R.M.; Wu, K.L. and Crowder, J.W. 1987. "Modelling of Surface Tension Effects in Venturi Scrubbing ", Atmospheric Environment. 21 (March 1987), 479-482.

Perkins, Henry C. 1974. Air Pollution. Tokyo : Mc.Graw-Hill.

Sigma – Aldrich Pte Ltd. 1999. Laboratory Chemicals and Analytical Reagents. Singapore : Citilink Warehouse.

Stokes' Sir.G.G. 1891. Mathematical and Physical Paper 3. Canada : Technomic, Inc.

Tomb, F.F.; Emmerling, J.E. and Kellner, R.H. 1972. "Collection of Airborne Coal Dust by Water Spray in a Horizontal Dust ", Am.Ind.Hyg.Assoc.J. 18 (Nov 1972), 715-721.

U.S.Environmental Protection Agency, 1982a. 1989. Environmemtal Science Living Within the System of Nature. New-York.

Walker, Jr. ; Peterson, E.E. and Wright, C.C. 1952. "Surface Action Agent Phenomena in Dust Abatement ", Ind.and Eng.Chem. 44 (1952), 2389-2393.

Walton, W.H. and Woolcock, A. 1960. "The Suppression of Airborne Dust by Water Spray", Am.Ind.Hyg.Assoc.J. 74 (1960), 129-153.

World Health Organization. 1987. Environmental Health Criteria 8 : Sulfur Oxides and Suspended Particulate Matter. Geneva.

ภาคผนวก ก
การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง

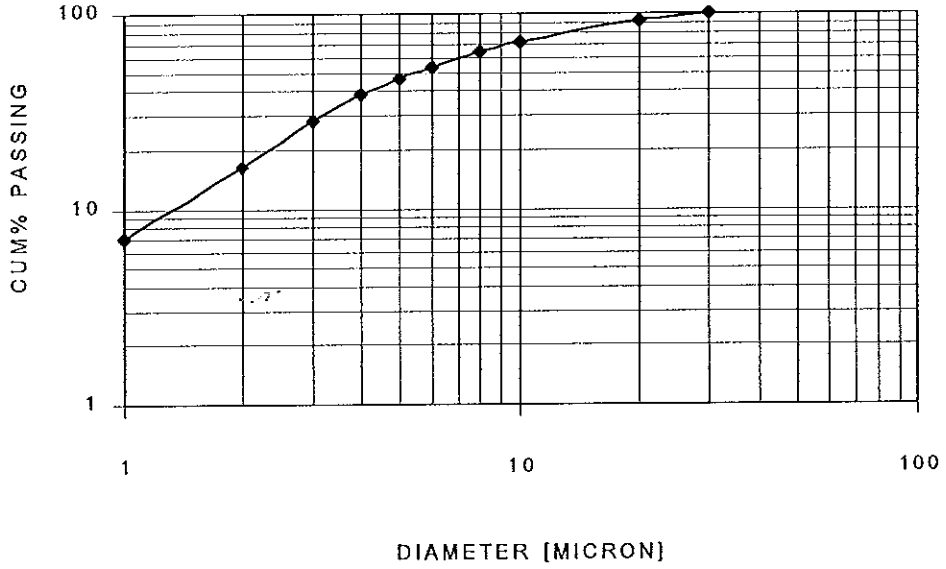
การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง

การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง จากการวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal particle size analyzer) มีดังนี้ (ตารางผนวก 1 และภาพประกอบผนวก 1)

- ฝุ่นมีขนาด 5 - 6 ไมครอน ที่ 50% Cumulative % passing
- ฝุ่นมีขนาด 10 - 15 ไมครอน ที่ 75% Cumulative % passing

ตารางผนวก 1 การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง

DIAMETER [MICRON]	CUMULATIVE % PASSING
1	7.10
2	16.30
3	27.80
4	38.20
5	46.70
6	53.30
8	63.80
10	70.90
20	92.00
30	100.00



ภาพประกอบผนวก 1 การกระจายของขนาดฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองหาขนาดของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว

ผลการทดลองหาขนาดของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว

จากการทดลองโดยการปล่อยให้หยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิว ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ หยดจากบิวเรทขนาด 50 มิลลิลิตร นับจำนวนหยดที่ได้จากปริมาตรรวมของหยดน้ำ ดังแสดงในตารางผนวก 2 แล้วนำไปคำนวณหาขนาดของหยดน้ำ, พื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ, น้ำหนักของหยดน้ำ และความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ จากสูตรที่แสดงไว้ข้างล่างนี้

ตารางผนวก 2 ผลการทดลองหาจำนวนของหยดน้ำที่ผสมสารแต่งผิวใน1 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นสาร (%)	จำนวนหยดต่อมิลลิลิตร			
	Triton X-100	Triton N-101	Aerosol OT Solution	Armac 12-d
0.0001	18	18	18	18
0.0005	18	18	18	18
0.001	19	19	18	18
0.005	21	21	18	18
0.01	24	24	22	18
0.05	45	45	26	22
0.1	45	45	35	35
0.3	45	45	38	40
0.5	45	45	42	40
0.7	45	45	45	40
1	45	45	48	42
2	45	45	50	42

คำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำ

<u>จากสูตร</u>

$$V = \pi d^3 / 6$$

$$N = 1 / V = 6 / (\pi d^3)$$

$$d = (6 / \pi N)^{1/3}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของหยดน้ำ

N คือ จำนวนหยดใน 1 มิลลิลิตร d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำ (cm)

คำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะของหยดน้ำ (specific surface area)

จากสูตร

$$\text{พื้นที่ผิวจำเพาะ} = \text{พื้นที่ผิว} / \text{ปริมาตร}$$

$$\text{พื้นที่ผิวจำเพาะ} = \pi d^2 / (\pi d^3 / 6)$$

$$\text{พื้นที่ผิวจำเพาะ} = 6 / d \qquad (cm^2 / cm^3)$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำ (cm)

คำนวณน้ำหนักของหยดน้ำ

จากสูตร

$$\text{น้ำหนัก} = \text{ปริมาตร} \times \text{ความถ่วงจำเพาะ}$$

$$\text{น้ำหนักหยดน้ำ} = (\pi d^3 / 6) \times 1$$

$$\text{น้ำหนักหยดน้ำ} = \pi d^3 / 6 \qquad (gm)$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำ (cm)

ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ (Settling velocity)

จากสูตร

$$Vt = \left[\frac{4}{3C_D} \times \frac{\rho s - \rho e}{\rho e} \times gd \right]^{1/2}$$

เมื่อ Vt = ความเร็วในการตกค้างในอากาศของหยดน้ำ (cm/s)

C_D = Drag coefficient = 0.4

ρs = ความถ่วงจำเพาะของหยดน้ำ (1 gm/cm^3 ที่ 20 °C)

ρe = ความถ่วงจำเพาะของอากาศ (1.18×10^{-3} gm/cm^3 ที่ 20 °C)

g = อัตราความเร่งบนผิวโลก (981 cm/s^2)

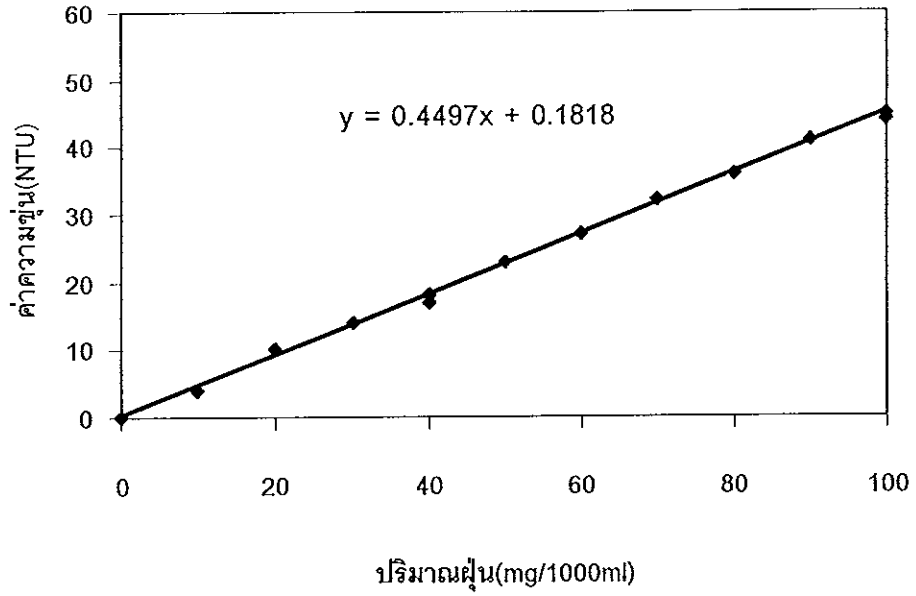
d = เส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำ (cm)

ภาคผนวก ค
แสดง Calibration chart สำหรับคำนวณปริมาณฝุ่นจากการทดลอง

Calibration chart สำหรับคำนวณปริมาณฝุ่นจากการทดลอง

ตารางผนวก 3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นกับค่าความขุ่น

ปริมาณฝุ่น (mg/1000ml)	ค่าความขุ่น (NTU)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	0
10	4	4	4
20	10	10	10
30	14	14	14
40	18	17	18
50	23	23	23
60	27	27	27
70	32	31	32
80	36	36	36
90	41	41	41
100	45	44	45



ภาพประกอบผนวก 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นกับค่าความขุ่น

สมการเส้นตรงคือ Y = 0.4497x + 0.1818

ภาคผนวก ง
ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ

ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ

ในการหาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำ โดยการนำค่าความขุ่นที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณฝุ่นจาก Calibration chart ที่จัดทำไว้ในภาคผนวก ค จะได้ปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อลิตร แล้วคำนวณหาปริมาณฝุ่นต่อมิลลิลิตร และต่อหยด ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง จากการทดลองหาความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100 ที่ความเข้มข้น 0.0001% ทดลองโดยหยดน้ำผสมสารแต่งผิว 40 ml และใช้น้ำกลั่นฉีดล้าง เพื่อถ่ายน้ำปนฝุ่นจากท่อรองรับหยดน้ำผสมสารแต่งผิวอีก 160 ml รวมน้ำที่นำไปวัดค่าความขุ่น 200 ml และวัดค่าความขุ่นได้ 20 NTU

การคำนวณหาปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อมิลลิลิตร (mg/ml)

จากสมการ $Y = 0.4497X + 0.1818$

แทนค่าความขุ่น (Y) ในสมการ

$$X = (20 - 0.1818) / 0.4497 = 44.07 \text{ mg/L}$$

$\therefore$ ปริมาณฝุ่นที่จับได้จากการทดลอง $= (44.07 \times 200) / 1000 = 8.84$ mg

ปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อหน่วยปริมาตรน้ำผสมสารแต่งผิว $= 8.84 / 40 = 0.22$ mg/ml

การคำนวณหาปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อหยด (mg/drop)

จากค่าปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/ml) ข้างต้น นำค่าจำนวนหยดใน 1 มิลลิลิตรจากตารางผนวก 2 มาหาร ในที่นี้ คือ 18 หยด

$\therefore$ ปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อหยด $= 0.22 / 18 = 0.012$ mg/drop

ตารางผนวก 4 ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton X-100

ความเข้มข้น (%)	ค่าความขุ่น (NTU)						ปริมาณฝุ่น (mg/L) จากการเทียบ calibration chart		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/drop)	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	22	21	19	18	20	20	39.62-46.29	44.07	0.20-0.24	0.22	0.011-0.013	0.012
0.0005	27	24	24	28	26	26	52.96-61.86	57.41	0.26-0.31	0.29	0.015-0.017	0.016
0.001	34	35	33	34	37	35	72.98-81.87	77.43	0.36-0.41	0.39	0.019-0.021	0.020
0.005	43	41	40	42	40	41	88.54-95.22	90.77	0.44-0.49	0.45	0.021-0.023	0.022
0.01	43	45	44	49	46	45	95.22-108.56	99.66	0.46-0.54	0.50	0.019-0.023	0.021
0.05	44	49	45	49	49	47	97.44-108.56	104.11	0.49-0.54	0.52	0.011-0.013	0.012
0.1	47	46	48	50	47	48	101.89-110.78	106.33	0.51-0.55	0.53	0.011-0.012	0.012
0.3	50	47	45	48	44	47	97.44-110.78	104.11	0.49-0.57	0.52	0.011-0.013	0.012
0.5	47	43	43	45	46	45	95.22-104.11	99.66	0.44-0.55	0.50	0.010-0.012	0.011
0.7	46	47	45	43	45	45	95.22-104.11	99.66	0.48-0.52	0.50	0.011-0.012	0.011
1	50	49	51	51	51	50	108.56-113.00	110.78	0.52-0.60	0.55	0.011-0.013	0.012
2	48	51	51	49	49	50	106.33-113.00	110.78	0.52-0.59	0.55	0.011-0.013	0.012

ตารางผนวก 5 ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Triton N-101

ความเข้มข้น (%)	ค่าความขุ่น (NTU)						ปริมาณฝุ่น (mg/L) จากการเทียบ calibration chart		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/drop)	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	20	18	20	21	20	20	39.62-46.29	44.07	0.20-0.23	0.22	0.011-0.013	0.012
0.0005	25	26	27	25	28	26	55.19-61.86	57.41	0.28-0.31	0.29	0.015-0.017	0.016
0.001	35	35	37	34	34	35	75.20-81.87	77.43	0.35-0.41	0.39	0.019-0.022	0.020
0.005	44	44	44	44	40	44	88.54-97.44	92.99	0.44-0.49	0.47	0.021-0.023	0.022
0.01	44	45	44	46	42	44	92.99-101.89	97.44	0.46-0.51	0.49	0.019-0.021	0.02
0.05	47	45	47	44	48	46	97.44-106.33	101.89	0.49-0.53	0.51	0.011-0.012	0.012
0.1	46	48	43	47	48	47	95.22-106.33	104.11	0.48-0.55	0.52	0.011-0.012	0.012
0.3	45	46	45	49	47	46	99.66-108.56	101.89	0.49-0.58	0.51	0.011-0.013	0.011
0.5	45	49	50	47	47	48	104.11-110.78	106.33	0.50-0.55	0.53	0.011-0.012	0.012
0.7	45	45	48	46	45	46	104.11-106.33	101.89	0.50-0.53	0.51	0.011-0.012	0.011
1	47	51	49	51	50	49	104.11-113.00	108.56	0.50-0.57	0.54	0.011-0.013	0.012
2	45	51	51	49	47	49	104.11-113.00	108.56	0.50-0.60	0.54	0.011-0.013	0.012

ตารางผนวก 6 ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Aerosol OT Solution

ความเข้มข้น (%)	ค่าความขุ่น (NTU)						ปริมาณฝุ่น (mg/L) จากการเทียบ calibration chart		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/drop)	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	18	19	22	20	20	20	39.62-48.52	44.07	0.20-0.24	0.22	0.011-0.013	0.012
0.0005	24	25	23	24	25	23	49.29-52.96	57.41	0.23-0.29	0.25	0.013-0.016	0.014
0.001	30	28	30	32	30	30	61.86-70.75	77.43	0.28-0.40	0.33	0.015-0.022	0.018
0.005	36	34	35	34	35	35	75.20-79.65	90.77	0.33-0.42	0.39	0.018-0.023	0.022
0.01	48	43	44	48	48	46	95.22-106.33	99.66	0.38-0.61	0.51	0.020-0.032	0.027
0.05	49	48	48	51	49	50	106.33-113.00	104.11	0.53-0.58	0.55	0.027-0.029	0.028
0.1	54	55	52	52	53	53	115.23-121.90	106.33	0.58-0.61	0.59	0.026-0.028	0.027
0.3	56	57	54	55	53	55	117.45-126.35	104.11	0.59-0.63	0.61	0.020-0.022	0.021
0.5	62	59	60	61	60	60	130.79-137.47	99.66	0.65-0.69	0.67	0.017-0.018	0.018
0.7	64	66	67	63	63	65	139.69-148.58	99.66	0.70-0.74	0.72	0.016-0.018	0.017
1	67	69	71	70	71	70	148.58-157.48	110.78	0.74-0.79	0.78	0.016-0.017	0.017
2	72	70	71	69	71	71	153.03-159.70	110.78	0.77-0.80	0.79	0.015-0.016	0.016

ตารางผนวก 7 ผลการทดลองความสามารถในการจับฝุ่นของหยดน้ำที่ผสมสาร Armac 12-d

ความเข้มข้น (%)	ค่าความขุ่น (NTU)						ปริมาณฝุ่น (mg/L) จากการเทียบ calibration chart		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/ml)		ปริมาณฝุ่นที่จับได้ (mg/drop)	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
0.0001	20	21	20	22	20	21	44.07-48.52	46.29	0.22-0.24	0.23	0.012-0.013	0.013
0.0005	21	20	24	22	21	22	44.07-52.96	48.52	0.22-0.26	0.24	0.012-0.015	0.014
0.001	20	20	24	23	22	22	44.07-52.96	48.52	0.22-0.26	0.24	0.012-0.015	0.014
0.005	20	24	25	21	20	22	44.07-55.19	48.52	0.22-0.28	0.24	0.012-0.015	0.014
0.01	20	20	22	19	19	20	44.07-48.52	44.07	0.21-0.24	0.22	0.011-0.013	0.012
0.05	19	17	18	18	16	18	35.18-41.85	39.62	0.16-0.22	0.20	0.008-0.011	0.01
0.1	11	11	10	12	10	11	21.83-26.28	24.06	0.11-0.13	0.12	0.004-0.005	0.005
0.3	9	9	9	8	8	9	17.39-19.61	19.61	0.09-0.10	0.10	0.001-0.002	0.002
0.5	10	8	10	9	10	9	19.61-21.83	19.61	0.09-0.11	0.10	0.001-0.002	0.002
0.7	8	9	9	8	8	8	17.39-19.61	17.39	0.09-0.10	0.09	0.001-0.002	0.002
1	7	7	8	8	7	7	15.16-17.39	15.16	0.08-0.09	0.08	0.001-0.002	0.001
2	8	9	8	8	8	8	17.39-19.61	17.39	0.09-0.10	0.09	0.001-0.002	0.002

ภาคผนวก จ
ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ

ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ คำนวณได้จาก

ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%) = (ปริมาณฝุ่นที่จับได้ / ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง) × 100

ปริมาณฝุ่นที่จับได้

คำนวณโดยการนำค่าความขุ่นของน้ำที่จับฝุ่นได้หลังการทดลอง เทียบกับ Calibration chart ในภาคผนวก ข ซึ่งจะได้ปริมาณฝุ่นที่จับได้ต่อลิตร แล้วคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง ดังตัวอย่าง

จากการทดลองที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์ฟ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO: 1/8 HH-KY4 วัดค่าความขุ่นได้ 25 NTU

จากสมการ $Y = 0.4497X + 0.1818$

แทนค่าความขุ่น (Y)ในสมการ

$X = (25 - 0.1818) / 0.4497 = 55.19$ mg / L

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง = 3660 ml

$\therefore$ ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง = $(55.19 \times 3660) / 1000 = 201.99$ mg

= 0.202 gm

ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

ก่อนการทดลองชั่งน้ำหนักขวดที่เตรียมซึ่งใส่ฝุ่นเรียบร้อยแล้ว และชั่งน้ำหนักหลังการทดลอง น้ำหนักที่หายไปจะเป็นน้ำหนักของฝุ่นที่ปล่อยเข้าสู่หอฝุ่น โดยในการนำผลการทดลองมาใช้ จะเลือกผลการทดลองที่ใช้ปริมาณฝุ่นอยู่ในช่วง 0.50 – 0.60 กรัม

ตารางผนวก 8 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	3660	25	0.20	0.57	35.09
2	20	3660	23	0.19	0.56	33.93
3	20	3660	22	0.18	0.55	32.73
4	20	3660	22	0.18	0.52	34.62
5	20	3660	22	0.18	0.54	33.33

ตารางผนวก 9 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	5070	24	0.27	0.55	49.09
2	30	5070	24	0.27	0.56	48.21
3	30	5070	24	0.27	0.55	49.09
4	30	5070	23	0.26	0.56	46.43
5	30	5070	22	0.25	0.53	47.17

ตารางผนวก 10 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	5760	24	0.31	0.54	57.41
2	40	5760	23	0.29	0.53	54.72
3	40	5760	23	0.29	0.54	53.70
4	40	5760	24	0.31	0.55	56.36
5	40	5760	24	0.31	0.54	57.41

ตารางผนวก 11 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	6360	25	0.35	0.53	66.04
2	50	6360	25	0.35	0.54	64.81
3	50	6360	25	0.35	0.53	66.04
4	50	6360	27	0.38	0.56	67.86
5	50	6360	25	0.35	0.54	64.81

ตารางผนวก 12 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	6900	26	0.40	0.54	74.07
2	60	6900	26	0.40	0.55	72.73
3	60	6900	25	0.38	0.53	71.70
4	60	6900	26	0.40	0.55	72.73
5	60	6900	26	0.40	0.55	72.73

ตารางผนวก 13 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	3760	30	0.25	0.55	45.45
2	20	3760	31	0.26	0.58	44.83
3	20	3760	31	0.26	0.56	46.43
4	20	3760	28	0.23	0.52	44.23
5	20	3760	31	0.26	0.58	44.83

ตารางผนวก 14 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	5170	29	0.33	0.53	62.26
2	30	5170	27	0.31	0.50	62.00
3	30	5170	29	0.33	0.55	60.00
4	30	5170	29	0.33	0.51	64.71
5	30	5170	29	0.33	0.51	64.71

ตารางผนวก 15 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	5860	31	0.40	0.56	71.43
2	40	5860	32	0.42	0.55	76.36
3	40	5860	31	0.40	0.57	70.18
4	40	5860	32	0.42	0.56	75.00
5	40	5860	31	0.40	0.58	68.97

ตารางผนวก 16 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	6460	31	0.44	0.56	78.57
2	50	6460	32	0.45	0.55	81.82
3	50	6460	31	0.44	0.54	81.48
4	50	6460	32	0.45	0.54	83.33
5	50	6460	31	0.44	0.53	83.02

ตารางผนวก 17 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	7000	32	0.50	0.54	92.59
2	60	7000	30	0.46	0.52	88.46
3	60	7000	31	0.48	0.53	90.57
4	60	7000	31	0.48	0.54	88.89
5	60	7000	31	0.48	0.53	90.57

ตารางผนวก 18 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	3800	30	0.25	0.55	45.45
2	20	3800	33	0.28	0.58	48.28
3	20	3800	32	0.27	0.57	47.37
4	20	3800	30	0.25	0.54	46.30
5	40	3800	32	0.27	0.58	46.55

ตารางผนวก 19 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	5210	30	0.34	0.51	66.67
2	30	5210	29	0.33	0.53	62.26
3	30	5210	30	0.34	0.52	65.38
4	30	5210	29	0.33	0.50	66.00
5	30	5210	30	0.34	0.53	64.15

ตารางผนวก 20 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	5900	31	0.44	0.56	78.57
2	40	5900	32	0.41	0.55	74.55
3	40	5900	32	0.41	0.57	71.93
4	40	5900	32	0.41	0.55	74.55
5	40	5900	31	0.41	0.56	73.21

ตารางผนวก 21 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	6500	31	0.44	0.54	81.48
2	50	6500	31	0.44	0.52	84.62
3	50	6500	30	0.43	0.52	82.69
4	50	6500	31	0.44	0.53	83.02
5	50	6500	30	0.43	0.54	79.63

ตารางผนวก 22 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 HH-KY4

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	7040	31	0.48	0.52	92.31
2	60	7040	31	0.48	0.53	90.57
3	60	7040	30	0.47	0.50	94.00
4	60	7040	32	0.50	0.54	92.59
5	60	7040	32	0.50	0.55	90.91

ตารางผนวก 23 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	1560	57	0.20	0.54	37.04
2	20	1560	56	0.19	0.54	35.19
3	20	1560	55	0.19	0.55	34.55
4	20	1560	56	0.19	0.55	34.55
5	20	1560	56	0.19	0.53	35.85

ตารางผนวก 24 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	1860	58	0.24	0.51	47.06
2	30	1860	56	0.23	0.52	44.23
3	30	1860	57	0.24	0.53	45.28
4	30	1860	58	0.24	0.53	45.28
5	30	1860	57	0.24	0.52	46.15

ตารางผนวก 25 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	2120	60	0.28	0.51	54.90
2	40	2120	62	0.29	0.52	55.77
3	40	2120	61	0.29	0.52	55.77
4	40	2120	62	0.29	0.52	55.77
5	40	2120	61	0.29	0.52	55.77

ตารางผนวก 26 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	2380	67	0.35	0.53	66.04
2	50	2380	65	0.34	0.53	64.15
3	50	2380	65	0.34	0.52	65.38
4	50	2380	66	0.35	0.53	66.04
5	50	2380	66	0.35	0.54	64.81

ตารางผนวก 27 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	2620	66	0.38	0.52	73.08
2	60	2620	66	0.38	0.52	73.08
3	60	2620	65	0.38	0.51	74.51
4	60	2620	67	0.39	0.53	73.58
5	60	2620	64	0.37	0.50	74.00

ตารางผนวก 28 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	1660	63	0.23	0.50	46.00
2	20	1660	68	0.25	0.55	45.45
3	20	1660	68	0.25	0.57	43.86
4	20	1660	65	0.24	0.53	45.28
5	20	1660	66	0.24	0.52	46.15

ตารางผนวก 29 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	1960	66	0.29	0.53	54.72
2	30	1960	65	0.28	0.51	54.90
3	30	1960	67	0.29	0.54	53.70
4	30	1960	66	0.29	0.51	56.86
5	30	1960	65	0.28	0.52	53.85

ตารางผนวก 30 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	2220	74	0.36	0.55	65.45
2	40	2220	75	0.36	0.56	64.29
3	40	2220	76	0.37	0.54	68.52
4	40	2220	76	0.37	0.55	67.27
5	40	2220	76	0.37	0.54	68.52

ตารางผนวก 31 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%TRITON X-100 ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	2480	77	0.42	0.53	79.25
2	50	2480	77	0.42	0.53	79.25
3	50	2480	77	0.42	0.52	80.77
4	50	2480	78	0.43	0.53	81.13
5	50	2480	79	0.44	0.54	81.48

ตารางผนวก 32 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	2720	77	0.47	0.52	90.38
2	60	2720	78	0.47	0.52	90.38
3	60	2720	78	0.47	0.53	88.68
4	60	2720	78	0.47	0.54	87.04
5	60	2720	77	0.47	0.53	88.68

ตารางผนวก 33 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	1700	60	0.23	0.51	45.10
2	20	1700	64	0.24	0.51	47.06
3	20	1700	66	0.25	0.50	50.00
4	20	1700	65	0.25	0.50	50.00
5	20	1700	63	0.24	0.50	48.00

ตารางผนวก 34 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	2000	68	0.30	0.51	58.82
2	30	2000	70	0.31	0.51	60.78
3	30	2000	67	0.30	0.50	60.00
4	30	2000	68	0.30	0.52	57.69
5	30	2000	69	0.31	0.52	59.62

ตารางผนวก 35 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	2260	69	0.35	0.52	67.31
2	40	2260	73	0.37	0.54	68.52
3	40	2260	71	0.36	0.51	70.59
4	40	2260	73	0.37	0.52	71.15
5	40	2260	74	0.37	0.52	71.15

ตารางผนวก 36 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	2520	79	0.44	0.52	84.62
2	50	2520	80	0.45	0.53	84.91
3	50	2520	78	0.44	0.51	86.27
4	50	2520	79	0.44	0.53	83.02
5	50	2520	80	0.45	0.53	84.91

ตารางผนวก 37 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-1507

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	2760	75	0.46	0.52	88.46
2	60	2760	76	0.46	0.51	90.20
3	60	2760	80	0.49	0.54	90.74
4	60	2760	75	0.46	0.51	90.20
5	60	2760	81	0.50	0.54	92.59

ตารางผนวก 38 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	3260	23	0.17	0.55	30.91
2	20	3260	24	0.17	0.57	29.82
3	20	3260	23	0.17	0.55	30.91
4	20	3260	22	0.16	0.55	29.09
5	20	3260	23	0.17	0.55	30.91

ตารางผนวก 39 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	4680	23	0.24	0.55	43.64
2	30	4680	24	0.25	0.55	45.45
3	30	4680	23	0.24	0.54	44.44
4	30	4680	22	0.23	0.54	42.59
5	30	4680	22	0.23	0.55	41.82

ตารางผนวก 40 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	5360	24	0.28	0.54	51.85
2	40	5360	22	0.26	0.54	48.15
3	40	5360	22	0.26	0.54	48.15
4	40	5360	22	0.26	0.52	50.00
5	40	5360	23	0.27	0.53	50.94

ตารางผนวก 41 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	5960	26	0.34	0.55	61.82
2	50	5960	25	0.33	0.53	62.26
3	50	5960	25	0.33	0.55	60.00
4	50	5960	24	0.32	0.54	59.26
5	50	5960	24	0.32	0.53	60.38

ตารางผนวก 42 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำ ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย

FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	6500	27	0.36	0.53	67.92
2	60	6500	28	0.37	0.54	68.52
3	60	6500	28	0.37	0.55	67.27
4	60	6500	27	0.36	0.54	66.67
5	60	6500	28	0.37	0.54	68.52

ตารางผนวก 43 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	3360	30	0.22	0.57	38.60
2	20	3360	31	0.22	0.55	40.00
3	20	3360	31	0.23	0.56	41.07
4	20	3360	30	0.22	0.57	38.60
5	20	3360	29	0.22	0.55	40.00

ตารางผนวก 44 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	4780	30	0.31	0.55	56.36
2	30	4780	30	0.31	0.54	57.41
3	30	4780	27	0.29	0.53	54.72
4	30	4780	30	0.31	0.51	60.78
5	30	4780	28	0.30	0.50	60.00

ตารางผนวก 45 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	5460	30	0.36	0.53	67.92
2	40	5460	29	0.35	0.50	70.00
3	40	5460	30	0.36	0.54	66.67
4	40	5460	29	0.35	0.53	66.04
5	40	5460	31	0.37	0.52	71.15

ตารางผนวก 46 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	6060	31	0.42	0.55	76.36
2	50	6060	34	0.45	0.57	78.95
3	50	6060	31	0.42	0.53	79.25
4	50	6060	33	0.44	0.57	77.19
5	50	6060	31	0.42	0.55	76.36

ตารางผนวก 47 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Triton X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	6600	32	0.47	0.53	88.68
2	60	6600	33	0.48	0.55	87.27
3	60	6600	31	0.45	0.53	84.91
4	60	6600	30	0.44	0.51	86.27
5	60	6600	30	0.44	0.51	86.27

ตารางผนวก 48 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 20 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	20	3400	32	0.24	0.54	44.44
2	20	3400	32	0.24	0.56	42.86
3	20	3400	29	0.22	0.52	42.31
4	20	3400	30	0.23	0.56	41.07
5	20	3400	30	0.23	0.57	40.35

ตารางผนวก 49 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 30 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	30	4820	29	0.31	0.52	59.62
2	30	4820	29	0.31	0.53	58.49
3	30	4820	29	0.31	0.52	59.62
4	30	4820	32	0.34	0.54	62.96
5	30	4820	32	0.34	0.55	61.82

ตารางผนวก 50 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 40 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	40	5500	29	0.35	0.51	68.63
2	40	5500	31	0.37	0.54	68.52
3	40	5500	29	0.35	0.52	67.31
4	40	5500	32	0.39	0.55	70.91
5	40	5500	32	0.39	0.54	72.22

ตารางผนวก 51 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%Aerosol OT Solution ที่แรงดัน 50 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

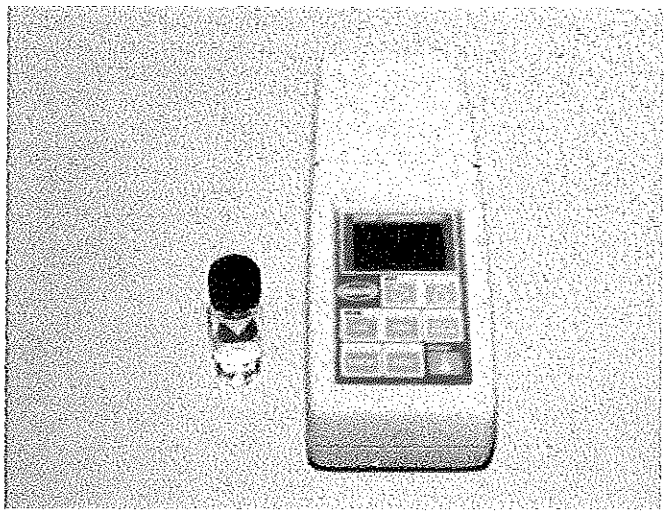
การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	50	6100	30	0.41	0.52	78.85
2	50	6100	32	0.43	0.55	78.18
3	50	6100	33	0.44	0.54	81.48
4	50	6100	33	0.44	0.55	80.00
5	50	6100	32	0.43	0.57	75.44

ตารางผนวก 52 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการจับฝุ่นของฝอยละอองน้ำที่ผสมสาร 0.01%TRITON X-100 ที่แรงดัน 60 psi ของหัวสเปรย์พ่นฝอย FullJet Spray Nozzle SSCO : 1/8 GG-SS1.5

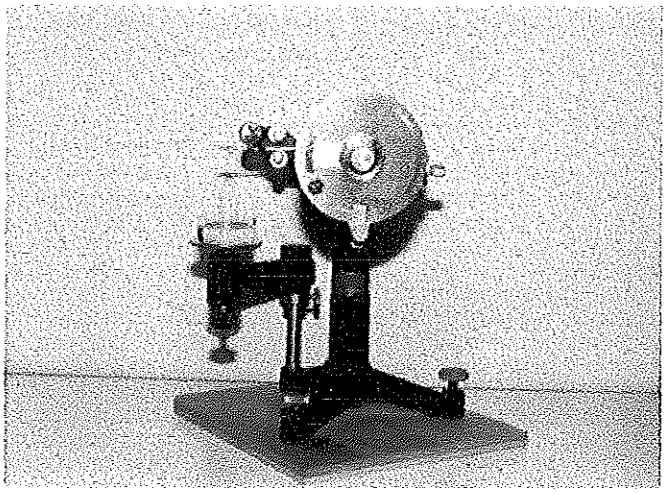
การทดลองครั้งที่	แรงดัน (psi)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ml)	ค่าความขุ่น (NTU)	ปริมาณฝุ่นในน้ำที่ทดลอง (g)	ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง (g)	ประสิทธิภาพการจับฝุ่น (%)
1	60	6640	32	0.47	0.52	90.38
2	60	6640	33	0.48	0.53	90.57
3	60	6640	33	0.48	0.54	88.89
4	60	6640	32	0.47	0.52	90.38
5	60	6640	33	0.48	0.55	87.27

ภาคผนวก ฉ
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

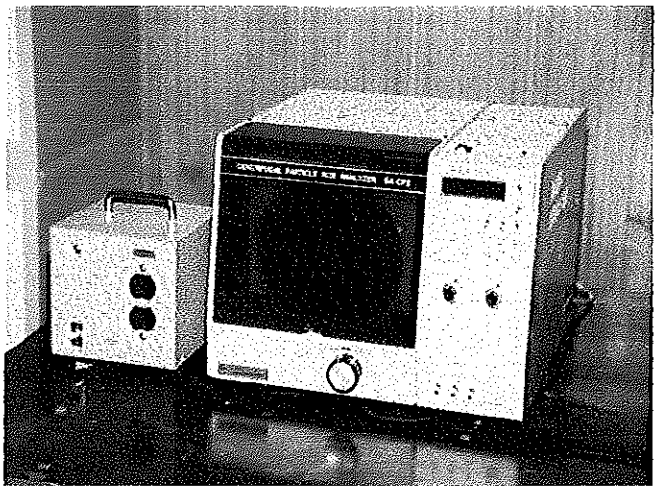
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์



ภาพประกอบผนวก 3 เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (Turbidimeter)



ภาพประกอบผนวก 4 เครื่องมือวัดแรงตึงผิว (Tensiometer)



ภาพประกอบผนวก 5 เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้แรงเหวี่ยง
(Centrifugal particle size analyzer)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางเสาวลักษณ์ มุสิกะรังษี

วัน เดือน ปีเกิด 15 ตุลาคม 2501

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (พยาบาล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	พ.ศ.2524

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

นักวิชาการควบคุมโรค 6 ศูนย์ระบาดวิทยาภาคใต้ จังหวัดสงขลา