

การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเก็บฝุ่นจากงานเจียร



นางสาวชญกัศ วิสุทธิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6865-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF CYCLONE SCRUBBER FOR COLLECTING
DUST FROM GRINDING WHEEL



Miss Thanlapas Visuti

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6865-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเก็บฝุ่นจากงานเจียร
โดย	นางสาวธัญลภัส วิสุทธิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ อมรกิจบำรุง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริกร ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ อมรกิจบำรุง)

..... กรรมการ
(อาจารย์ อนุรักษ์ โทณานนท์)

ชัยภักดิ์ วิสุทธิ : การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเก็บฝุ่นจากงานเจียร (DEVELOPMENT OF CYCLONE SCRUBBER FOR COLLECTING DUST FROM GRINDING WHEEL) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.รัชชัย ชรินพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, ผศ.ดร.มานะ อมรกิจบำรุง, จำนวนหน้า 85 หน้า. ISBN 974-17-6865-6.

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างและทดสอบอุปกรณ์การจับฝุ่นชนิดไซโคลนสกรับเบอร์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ โดยอาศัยหลักการจับฝุ่นขนาดเล็กด้วยหยดละอองน้ำ และใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาแยกหยดละอองน้ำออกจากกระแสก๊าซ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ (10 – 25 เมตรต่อวินาที) ความเข้มข้นฝุ่น 0.3 - 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่ออากาศ (0.44 - 4.37 ลิตรน้ำต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ) และมีการออกแบบเฮดเดอร์ที่ใช้ในการฉีดน้ำต่างๆ คือ 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีด ซึ่งตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดจะเป็นแบบสลับฟันปลา (4 หัวฉีดต่อ 1 แถว, หัวฉีดชนิดกรวยเต็ม (Full Cone) มุม 90 °) ฝุ่นที่ใช้ทดสอบคือแคลเซียมคาร์บอเนตแบบเคลือบผิว (ความหนาแน่น 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) มีการกระจายขนาดอยู่ในช่วง 0.05-22.5 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.27 ไมครอน

จากผลการทดลองพบว่า เฮดเดอร์ 4 หัวฉีดมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 93.97-97.52 % เฮดเดอร์ 8 หัวฉีดมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 94.43 - 97.51 % เฮดเดอร์ 12 หัวฉีดมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 92.54 -96.75 % เฮดเดอร์ 16 หัวฉีดมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 93 – 97.68 % เฮดเดอร์ 20 หัวฉีดมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 91.85 – 96.75% โดยทำการทดลองที่ความเร็วลมตั้งแต่ 10 -25 เมตร/วินาที ที่ความเข้มข้นฝุ่นในช่วง 0.3 –1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นคือ ความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ เนื่องจากความเร็วลมทางเข้าส่งผลต่อการลอยหนีของหยดละอองน้ำที่ใช้จับฝุ่นที่ทางออกของก๊าซสะอาด และส่งผลต่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วก๊าซกับความเร็วของน้ำจากหัวฉีดภายในไซโคลนสกรับเบอร์ ซึ่งมีผลมากต่อขนาดและจำนวนหยดละอองน้ำที่ใช้ในการจับฝุ่น โดยเฮดเดอร์ 4 หัวฉีดที่ความเร็วลมทางเข้า 10 เมตรต่อวินาที ความเร็วน้ำที่ออกจากหัวฉีด 16.53 เมตรต่อวินาที มีความเร็วสัมพัทธ์ 19.32 เมตรต่อวินาที มีขนาดหยดน้ำเฉลี่ย 259 ไมครอนเมตร จำนวนหยด 19,599,000 หยดต่อวินาที และที่ความเร็วลมทางเข้า 15 เมตรต่อวินาที มีความเร็วสัมพัทธ์ 22.32 เมตรต่อวินาที มีขนาดหยดน้ำเฉลี่ย 224 ไมครอนเมตร จำนวนหยด 30,224,000 หยดต่อวินาที อนึ่งตัวแปรที่สำคัญถัดไปจากมากไปน้อยคือ การซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด ระยะห่างจากหัวฉีดถึงทางออกก๊าซสะอาด ค่าอัตราส่วนน้ำต่ออากาศ ความเข้มข้นฝุ่น มีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ทั้งสิ้น

จากการผลวิเคราะห์พบว่าเฮดเดอร์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์คือเฮดเดอร์แบบ 4 หัวฉีด เนื่องจากใช้ปริมาณน้ำน้อย (10.67 ลิตรต่อวินาที) และมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุดเป็น 95.75 % เมื่อเทียบกับเฮดเดอร์อื่นๆ (เฮดเดอร์ 8 : 95.61 %, เฮดเดอร์ 12 : 96.65 %, เฮดเดอร์ 16 : 95.54 %, เฮดเดอร์ 20 : 94.41 %)

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470346121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : CYCLONE SCRUBBER/ DUST COLLECTION / EFFICIENCY/ NOZZLE/ WATER SPRAY

THANLAPAS VISUTI: DEVELOPMENT OF CYCLONE SCRUBBER FOR COLLECTING DUST FROM GRINDING WHEEL. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. TAWATCHAI CHARINPANITKUL, D.Eng., THESIS CO-ADVISOR: PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: ASST. PROF. MANA AMORNKITBAMRUNG, D.Eng. , 85 pp. ISBN 974-17-6865-6.

The objectives of this research are to construct and to test a cyclone scrubber as dust collection equipment. Various factors influencing the efficiency of cyclone scrubber were investigated using the concept of collecting fine dust particles by water droplets influent and separating the water droplets from air flow by the centrifugal force. The investigated parameters were air velocity (10-25 m/s), dust concentration (0.3-1.5 g/m³), water to air ratio (L/G: 0.44-4.37 lit H₂O/m³ air) and the number of nozzles for spraying water (4, 8, 12, 16 and 20 nozzles). The nozzles were arranged in zigzag alignment on the header pipe (4 nozzles to 1 row, full cone nozzle with 90°). Fine particles used in the experiment were calcium carbonate (CaCO₃) of coated surface type (density 2.7 g/cm³). The size distribution ranged from 0.05- 22.5 micron and the average diameter was 1.89 micron.

The experimental results are : 4 nozzles had efficiency of 93.97-97.52%, 8 nozzles had efficiency of 94.43-97.51%, 12 nozzles, efficiency of 92.54-96.75%, 16 nozzles, efficiency of 93-97.68% and 20 nozzles, efficiency of 91.85-96.75% when the inlet velocity ranged from 10-25 m/s and dust concentration, 0.3-1.5 g/m³.

The factors that had high effect on the collection efficiency of the cyclone scrubber were the inlet velocity since the velocity of gas inlet had direct effect on the entrainment of water droplets from the gas outlet and affected the relative velocity between the gas inlet velocity and water spray velocity, which affected the number and size of water droplets. For example, the 4 - nozzles header had Sauter mean diameter of 259 micron and 19,599,000 water droplet/s at gas inlet velocity 10 m/s. When the gas velocity increased to 15 m/s, the Sauter mean diameter became 224 micron and the number 30,224,000 droplet/s. The other factors with decreasing effect on the collection efficiency were: the water droplet overlap, distance from nozzles to gas outlet, L/G ratio and dust concentration.

The dust collection efficiency of the cyclone scrubber revealed that the suitable header pipe should be equipped with 4 nozzles because of low water consumption (10.67 lit/min) and high mean efficiency (95.75%) compared with the other header (8 nozzles: 95.61 %, 12 nozzles: 96.65 %, 16 nozzles: 95.54 %, 20 nozzles: 94.41 %)

Department.....Chemical.Engineering.....Student's signature.....
 Field of study...Chemical Engineering.....Advisor's signature.....
 Academic year.....2004..... Co-advisor's signature.....
 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, รองศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย ชรินพานิชกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ อมรกิจบำรุง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนชี้แนะความรู้ความเข้าใจต่างๆ มากมายในการทำวิจัยตลอดระยะเวลาที่ศึกษาทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร งามวิศาล ประธานกรรมการ และ อาจารย์ณัฐพร โทณานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ธนิต สวัสดิ์เสวี และเจ้าหน้าที่ในโรงประลองทุกท่านคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ และสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์แก่ผู้ทำวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำอันมีประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะพลังงานและวัสดุ และศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความสะดวกด้านเครื่องมือวิเคราะห์วิจัยเกี่ยวกับวัสดุอนุภาคที่จำเป็นสำหรับงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม สกว. ฝ่าย 5) และบริษัท K.M.&A.Co.Ltd. จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ แมกซ์, พีธนา, สามารณ, มานะ, หนู และพีประธาน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอันมีประโยชน์แก่ผู้วิจัย รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติเทคโนโลยีอนุภาค และกระบวนกรวัสดุ

ขอขอบคุณ เป็น โป้ง โอ้ จีบและเพื่อนๆ สตรีวิทย์ ที่คอยกระตุ้นเตือน สนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีต่อผู้ทำวิจัยตลอดมา

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา หลวงพ่อ คุณยาย และบุคคลในครอบครัวข้าพเจ้าที่ช่วยสร้างโอกาสที่ดีแก่ข้าพเจ้า ให้ความรัก ความเอาใจใส่ กำลังใจ ข้อคิดที่ดี และสนับสนุนปัจจัยมากมายตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1. บทนำ

1.1 มูลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3

2. ความรู้พื้นฐานงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	7
2.1.1 นิยามและคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1.2 สภาพของการไหลและรูปแบบการไหลในท่อ.....	9
2.1.3 การเลือกระบบบำบัดอนุภาคฝุ่น.....	9
2.2 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแห้งชนิดไซโคลน.....	13
2.2.1 หลักการทำงานของไซโคลน.....	13
2.2.2 ส่วนประกอบของไซโคลน.....	14
2.3 เครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก.....	15
2.3.1 กลไกการเก็บอนุภาคฝุ่นในเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก.....	17
2.3.2 ไซโคลนสกรับเบอร์.....	18

3. วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 ผู้ที่ใช้ในงานทดลอง.....	20
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานทดลอง.....	20
3.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์.....	20
3.2.2 อุปกรณ์ทดลอง.....	23
3.2.3 สภาพการทดลอง.....	30
3.2.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	30
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นภายในไซโคลนสกรับเบอร์.....	32
4.1.1 อิทธิพลของความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์.....	32
4.1.2 ตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด.....	36
4.1.3 ความเข้มข้นฝุ่น.....	40
4.1.4 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศ (L/G).....	41
4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลองที่เฮดเดอร์จำนวนหัวฉีดต่างๆ.....	42
4.2.1 ผลการทดลองที่เฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ.....	42
4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่เฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ.....	44
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.1.1 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของ ไซโคลนสกรับเบอร์.....	50
5.1.2 กลไกการจับฝุ่น.....	51
5.1.3 เฮดเดอร์ที่เลือกใช้งานจริง.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
เอกสารอ้างอิง.....	54

ภาคผนวก.....	55
ก. ข้อมูลฝุ่นแกลเชื่อมคาร์บอน.....	56
ข. เครื่องป้อนฝุ่น.....	59
ค. ออร์ฟิส.....	61
ง. สัดส่วนชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	63
จ. ข้อมูลหัวฉีดน้ำ.....	76
ฉ. ข้อมูลเฮดเดอร์.....	78
ช. ข้อมูลผลการทดลองประสิทธิภาพการจับฝุ่นที่เฮดเดอร์ต่างๆ.....	83
ซ. ค่าความเร็วบับปลาของหยดน้ำตกในอากาศนิ่ง.....	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	85



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ประเภทของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นในแบบต่างๆ..... 11
2.2	ข้อดีและข้อเสียของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นในแบบต่าง..... 12
2.3	ประเภทของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบเปียก..... 16
4.1	ความเร็วตรงช่องทางออกของก๊าซที่ผ่านการบำบัดของไซโคลนสกรับเบอร์..... 33
4.2	ข้อมูลขนาดหยดน้ำและจำนวนหยดน้ำที่ความเร็วลมสัมพัทธ์ของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีด.... 35
4.3	ข้อมูลหยดน้ำที่ได้จากเฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ..... 47
5.1	อัตราการไหลของน้ำแต่ละเฮดเดอร์หัวฉีด..... 51
ก-1	แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของฝุ่นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃)..... 56
ข-1	ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องป้อนฝุ่นกับอัตราการปล่อยฝุ่นของเครื่องป้อนฝุ่น..... 59
ข-2	ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเบอร์เครื่องป้อนฝุ่นกับความเข้มข้นฝุ่นที่ความเร็วลมต่างๆ.... 60
ค-1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลด(cm) กับอัตราการไหลภายในท่อ(m ³ /s) เมื่อใช้ออริฟิซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร..... 61
จ-1	ข้อมูลหัวฉีด..... 76
ฉ-1	ข้อมูลความดันน้ำต่อ 1 หัวฉีดของเฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ..... 78
ฉ-2	ข้อมูลความเร็วของน้ำในแต่ละเฮดเดอร์..... 79
ฉ-3	ข้อมูลจำเพาะของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีด..... 80
ฉ-4	ข้อมูลจำเพาะของเฮดเดอร์ 8 หัวฉีด..... 80
ฉ-5	ข้อมูลจำเพาะของเฮดเดอร์ 12 หัวฉีด..... 80
ฉ-6	ข้อมูลจำเพาะของเฮดเดอร์ 16 หัวฉีด..... 81
ฉ-7	ข้อมูลจำเพาะของเฮดเดอร์ 20 หัวฉีด..... 81
ฉ-8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Sauter Mean Diameter กับจำนวนอนุภาคฝุ่นที่เฮดเดอร์ต่างๆ.... 82
ช-1	ข้อมูลประสิทธิภาพการจับฝุ่นจากการทดลองที่เงื่อนไขต่างๆ..... 83
ช-1	แสดงความเร็วปั่นปลาของหยดน้ำที่ขนาดต่างๆ..... 84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ภาพถ่าย Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 1000 เท่า ของตัวอย่างฝุ่น เก็บจากโรงงานบริษัท K.M.&A.A. Co., Ltd. แผนกหินเจียร..... 1
2.1	อุปกรณ์ไซโคลน..... 13
2.2	แสดงลักษณะการไหลของกระแสหลักภายในไซโคลน 14
2.3	อุปกรณ์ไซโคลนสกรับเบอร์..... 19
3.1	เครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Analyzer..... 20
3.2	เครื่องวัดความเร็วลม (Air Velocity Measuring Instrument)..... 21
3.3	มาโนมิเตอร์รูปตัวยูและออริฟิส..... 21
3.4	เกจวัดความดันน้ำ..... 22
3.5	โรตารีเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ..... 22
3.6	เครื่องเป่าลม (Blower)..... 23
3.7	เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (Inverter)..... 23
3.8	เครื่องป้อนอนุภาคฝุ่นแบบตั้งโต๊ะ (Table Feeder)..... 24
3.9	การติดตั้งชุดเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยระบบไอโซโคเนติก..... 25
3.10	ไซโคลนสกรับเบอร์..... 26
3.11	ถังตกตะกอน..... 27
3.12	ปั้มน้ำ..... 27
3.13	เฮดเดอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 28
3.14	หัวฉีดแบบ Full cone ที่ใช้ในการทดลอง..... 28
3.15	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 29
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Terminal Settling Velocity กับหยดน้ำที่ขนาดต่างๆ 32
4.2	สัดส่วนของระยะห่างระหว่างตำแหน่งสุดท้ายของการติดตั้งหัวฉีดถึงปากทาง ออกของก๊าซสะอาดที่ระยะ 93 และ 104 เซนติเมตร..... 36
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วมุมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ที่ระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงปากทางออกของ ก๊าซสะอาดต่างๆ..... 36

รูปที่	หน้า
4.4	ระยะห่างจากหัวฉีดปากทางออกก๊าซสะอาด และช่วงระยะการซ้อนทับของ หยดละอองน้ำจากหัวฉีด37
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ที่ระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำ 44 และ 51 cm. โดยพิจารณาที่ห่างจากหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซเท่ากัน.....38
4.6	การซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำที่ออกมาจากเฮดเดอร์ 20 หัวฉีด.....39
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเข้มข้นฝุ่นของ เฮดเดอร์ 4 หัวฉีด.....40
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ กับ L / G ของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีด.....41
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 20 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ42
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 16 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ.....42
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 12 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ.....43
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 8 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ.....43
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ.....44
4.14	แสดงระยะห่างระหว่างตำแหน่งสุดท้ายของการติดตั้งหัวฉีดกับปากทาง ออกของก๊าซสะอาด.....44
4.15	แสดงช่วงระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด.....45
4.16	การติดตั้งหัวฉีดในท่อเฮดเดอร์ 20, 16, 12, 8 และ 4 หัวฉีด45
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นเฉลี่ยกับความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ต่างๆ.....46
5.1	การไหลวนภายในไซโคลนสกรับเบอร์ ที่ความเร็วลมทางเข้าต่างๆ ของ เฮดเดอร์ 8 หัวฉีด.....50

รูปที่	หน้า
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสครับเบอร์ของเฮคเตอร์ 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ.....	51
ข-1. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นก่อนเข้าไซโคลนสครับเบอร์กับรอบของเครื่องป้อนฝุ่น	59
ค-1. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศในท่อกับความดันลดเมื่อวัดด้วยออริฟิตเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร.....	62
ง-1 สัดส่วนไซโคลนสครับเบอร์อะคริลิกใส.....	63
ง-2 สัดส่วนช่วงกรวยบนของไซโคลนสครับเบอร์อะคริลิกใส.....	64
ง-3 สัดส่วนช่วงทรงกระบอกของไซโคลนสครับเบอร์อะคริลิกใส.....	64
ง-4. สัดส่วนช่วงกรวยล่างของไซโคลนสครับเบอร์อะคริลิกใส	65
ง-5 สัดส่วนแกนภายในกรวยล่างของไซโคลนสครับเบอร์อะคริลิกใส.....	65
ง-6 สัดส่วนทรงกระบอกล่างของไซโคลนสครับเบอร์ ต่อจากกรวยล่าง.....	65
ง-7 สัดส่วนรังผึ้งของกรวยบนไซโคลนสครับเบอร์.....	66
ง-8 สัดส่วนออริฟิต เมื่อมองจากด้านบน	66
ง-9 สัดส่วนออริฟิต เมื่อมองจากด้านข้าง	66
ง-10 สัดส่วนเฮคเตอร์ 20 หัวฉีด	67
ง-11 สัดส่วนเฮคเตอร์ 16 หัวฉีด.....	67
ง-12 สัดส่วนเฮคเตอร์ 12 หัวฉีด.....	68
ง-13 สัดส่วนเฮคเตอร์ 8 หัวฉีด.....	68
ง-14 สัดส่วนเฮคเตอร์ 4 หัวฉีด.....	69
ง-15 สัดส่วนหัวลูกศรของเฮคเตอร์อะคริลิกใส.....	69
ง-16 เฮคเตอร์ 4 8 16 20 หัวฉีด.....	70
ง-17 สัดส่วนถังตกตะกอน มองจากด้านบน.....	71
ง-18 สัดส่วนถังตกตะกอน มองจากด้านข้าง(ซ้าย).....	71
ง-19 สัดส่วนถังตกตะกอน มองจากด้านข้าง(ขวา).....	72
ง-20 ท่อคูดน้ำของถังตกตะกอน.....	72
ง-21 สัดส่วนของท่อลมต่างๆ.....	73

รูปที่		หน้า
จ-1	ลักษณะหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง.....	76
จ-2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับขนาดหยดน้ำของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง.....	77
จ-3	สัดส่วนหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง.....	77
ฉ-1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดกับอัตราการไหลต่อ 1 หัวฉีดในแต่ละเซกเตอร์....	78



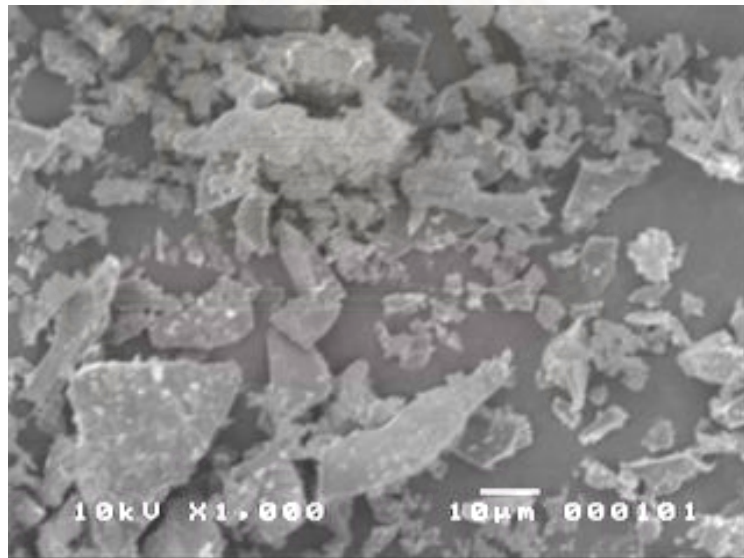
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มุลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการเก็บรวบรวมอนุภาคฝุ่นมีหลายชนิดหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับขนาดลักษณะของอนุภาคและคุณสมบัติของอนุภาครวมถึงรูปแบบและความเหมาะสมในใช้งาน เครื่องเก็บฝุ่นที่มีใช้ในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น ถังกรอง เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เครื่องสครับเบอร์ ทั้งนี้ในแต่ละชนิดนั้นจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องเก็บรวบรวมฝุ่นนั้นจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ เช่น พื้นที่ในการติดตั้ง ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น การซ่อมบำรุงงบประมาณ การบำบัดอนุภาคภายหลังการเก็บรวบรวมฝุ่น



รูปที่ 1.1 ภาพถ่าย Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 1000 เท่า ของตัวอย่างฝุ่น เก็บจากโรงงานบริษัท K.M.&A.A. Co., Ltd. แผนกหินเจียร

จากรูปที่ 1.1 จากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่าฝุ่นที่มาจากกระบวนการผลิตภายในโรงงานบริษัท K.M.&A.A. Co., Ltd. แผนกหินเจียร มักมีมุมหรือปลายแหลม และมีรูปทรงหลากหลายและหลายขนาด มีทั้งฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตรขึ้นไปและเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ซึ่งถ้าสูดหายใจเข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้เกิดอันตรายต่อทางเดินหายใจและปอดได้

ในการผลิตอุปกรณ์ประเภทหินขัด หินเจียร ในกระบวนการนั้นจะมีฝุ่นละอองจำนวนมากเกิดขึ้นและฟุ้งกระจายไปในบริเวณใกล้เคียง ฝุ่นที่มาจากกระบวนการผลิตนั้นจะมีลักษณะที่คมซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกซิลิกา อะลูมินา ดังนั้นหากสูดดมเข้าไปอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลานานจะมีผลต่อสุขภาพของคนงานและชาวบ้านบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการศึกษาวิธีการเก็บรวบรวมฝุ่นจากกระบวนการผลิตวัสดุประเภทหินขัด หินเจียร ซึ่งอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการเก็บรวบรวมอนุภาคฝุ่นคือ ไซโคลน และไซโคลนสกรับเบอร์ โดยใช้ไซโคลนในการจับฝุ่นหยาบและใช้ไซโคลนสกรับเบอร์ในการจับฝุ่นละเอียด ทั้งนี้เนื่องจากไซโคลนธรรมดาที่มีข้อดีคือราคาถูก ต้องการพื้นที่ติดตั้งไม่มาก ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องค่อนข้างถูกตลอดจนทำการบำรุงรักษาง่าย ส่วนไซโคลนสกรับเบอร์ มีข้อดีคือมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นที่มีอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรได้ดีถึง 90 % และมีราคาเครื่องไม่แพงนัก ใช้พื้นที่ในการติดตั้งไม่มากนัก การบำรุงรักษาง่าย ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมฝุ่นจากโรงงานงานเจียรของไซโคลนสกรับเบอร์

บริษัท K.M.&A.A. Co., Ltd. เป็นบริษัทผู้ผลิตสินค้าหินเจียร ประเภท Resinoid Grinding Wheel เช่น หินลับมีด หินเจียรบ่อวาล์ว หินแท่งสำหรับขัดกระบอกสูบและแม่พิมพ์ฯ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีตั้งแต่เกรด A – Z โดยจะแบ่งชนิดตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหินเจียร ความหนา ลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์ และชนิดของอุตสาหกรรมที่ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสร้างและทดสอบอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นชนิดไซโคลนสกรับเบอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมฝุ่นของอุปกรณ์นี้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ฝุ่นที่ทดสอบจะใช้ตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต
- 1.3.2 ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่

- ความเร็วลมที่ทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ในช่วง 10-25 m/s
- ความเข้มข้นของฝุ่นแคลเซียมคาร์บอเนตในช่วง 0.3 - 1.5 g/m³
- อัตราการฉีดน้ำ 0.4– 4.3 litre H₂O/m³ air
- จำนวนหัวฉีดละอองน้ำที่ติดตั้ง 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบปัจจัยหลักๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสครับเบอร์เพื่อใช้ในการออกแบบและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมให้มีความสามารถในการเก็บรวบรวมอนุภาคฝุ่น

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Horn และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการจับฝุ่นละอองในอากาศด้วยหยดน้ำฝน โดยเน้นเกี่ยวกับลักษณะของหยดน้ำฝนและรูปแบบการไหลของอากาศรอบ ๆ หยดน้ำฝนโดยอาศัย Solid Particle Model อนุภาคเม็ดของแข็งที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Lycopodium Spores ซึ่งมีสองขนาดคือ 3.4 ไมครอน และ 32 ไมครอน แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของการจับฝุ่นด้วยหยดน้ำฝนที่ทราบขนาดและตกลงมาด้วยความเร็วคงที่

Krames และ Buttner [2] ได้ทำการศึกษาการแยกอนุภาคโดยการใช้หยดของเหลวเป็นตัวจับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพสูงสำหรับการจับอนุภาคระดับย่อย (Submicron Particle Size) โดยมีการเลือกใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่เหมาะสม เช่น อัตราการไหล เวลาที่อนุภาคอยู่ในไซโคลนสครับเบอร์ ขนาดการกระจายของอนุภาค (Size Distribution) และอัตราการไหลของของเหลว โดยไซโคลนสครับเบอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีพื้นฐานมาจากไซโคลน ซึ่งการจับฝุ่นนี้จะใช้หยดของเหลวเป็นตัวจับและแยกอนุภาคออกมาโดยจะมีหัว Nozzle เป็นตัวฉีดน้ำแบบอัดโนมัติ และจะมีการจัดเรียงตัวภายในไซโคลนโดยทฤษฎีจะอธิบายถึงการทดลองแบบสามเฟส Three Dimensional และที่สภาวะการไหลเป็นแบบ Turbulent จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพจะไม่น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งการวัดจะใช้วิธี Optical Particle Counter และในการวิเคราะห์แบบ Gravimetric Analysis ของน้ำหนักฝุ่นจะคำนวณประสิทธิภาพได้ 99.2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ในการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน VDI 2066

Hesketh [3] ได้ทำการศึกษากลไกการจับฝุ่นของหยดของเหลวภายในหอสเปรย์ทั้งแบบที่อากาศและหยดของเหลวไหลสวนทางกัน (Counter current) และไหลทางเดียวกัน (Co current) โดยพบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการจับฝุ่นเมื่อการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ได้แก่ ขนาดของของเหลวที่ใช้จับฝุ่น อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ต่ออากาศที่เข้าหอ ความสูงของหอสเปรย์ และความเร็วของอากาศตามลำดับ ส่วนการไหลแบบทางเดียวกัน พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญตามลำดับได้แก่ ขนาดของอนุภาคฝุ่น ความเร็วของอากาศที่เข้าหอสเปรย์ ขนาดของของเหลวที่ใช้จับฝุ่น อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ต่ออากาศที่เข้าหอ และความสูงของหอสเปรย์

ส่วนขนาดเฉลี่ยของของเหลวที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวที่ใช้ อุณหภูมิ ชนิดของหัวฉีด และความดันของของเหลวที่พ่นออกจากหัวฉีด โดยพบว่าเมื่อความดันเพิ่ม อัตราการไหลของของเหลวและความเร็วเริ่มต้นของของเหลวจะมีค่าเพิ่ม แต่ขนาดของหยดของเหลวมีค่าเฉลี่ยลดลง นอกจากนี้ได้นำเสนอสมการคำนวณประสิทธิภาพการจับฝุ่นในหอสเปรย์โดยกลไกการเก็บฝุ่นสำคัญที่พิจารณาได้แก่ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย และพบว่าเมื่อให้การไหลเป็นแบบสวนทางกันหยดละอองน้ำขนาดเล็กจะจับฝุ่นได้ดีกว่า แต่อาจเกิดปัญหาคือ ถ้าหยดละอองน้ำมีขนาดเล็กเกินไปจนถึงค่าวิกฤต (Critical Small Size) หยดละอองน้ำจะไม่ตกลงมา และถ้าต้องการให้หยดของเหลวตกลงมาที่ระยะมากกว่า 4.5 ฟุตจากหัวฉีด และหยดของของเหลวทุกขนาดสามารถกำจัดฝุ่นได้ หยดของเหลวต้องมีขนาดใหญ่กว่า 1400 ไมครอน ส่วนถ้าการไหลเป็นแบบทางเดียวกัน อนุภาคฝุ่นส่วนใหญ่จะถูกจับเมื่อเคลื่อนที่ลงมาต่ำกว่าระดับที่ติดตั้งหัวฉีดอันล่างสุด ในบริเวณที่ใกล้หัวฉีดหยดของเหลวจะจับฝุ่นได้ดีกว่า แต่หยดของเหลวใหญ่ซึ่งตกลงมาเร็วกว่าจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสูงสเปรย์เพิ่มขึ้น

วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล [4] ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่คำนวณออกแบบและควบคุมการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นในโรงโม่บดย่อยหิน ซึ่งรวมถึงการออกแบบและควบคุมการติดตั้ง Cyclone แบบแห้ง และ Cyclone Scrubbers ที่โรงโม่หินในจังหวัดสระบุรี แม้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบดังกล่าว จะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือสูงกว่า 80 % โดยน้ำหนัก แต่ยังคงผลการทดลองวิจัยเพื่อทำนายประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของ Cyclone Scrubber ในเงื่อนไขต่าง ๆ

Tanthapanichakoon, Limpaseni และ Meechuman [5] นำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกเครื่องเก็บฝุ่นประเภทต่างๆ ความรู้พื้นฐานของการจับฝุ่นโดยหยดของเหลว และวิธีการใหม่สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของระบบบำบัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำในที่เปิดโล่ง ณ สภาวะการทำงานที่คงตัว ขนาดของหยดละอองน้ำที่พ่นออกมาจากหัวฉีดและขนาดของฝุ่นในที่เปิดโล่ง ณ สภาวะการทำงานที่คงตัว ขนาดของหยดละอองน้ำที่พ่นออกมาจากหัวฉีด และขนาดของฝุ่นที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ย พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่น ทั้งนี้การพิจารณาผลกระทบเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ การกระจายขนาดของฝุ่น รวมทั้งทิศทางและความเร็วของลมนั้นยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ซับซ้อน และขึ้นกับระบบที่ทำการศึกษา

Limpaseni, Tanthapanichakoon และ Narinsakchai [6] ได้นำแบบจำลองของ Tanthapanichakoon, Limpaseni และ Meechuman [5] มาพัฒนาเพิ่มเติมจากแบบจำลองเดิมที่เคยใช้ ค่าเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำสำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพการเก็บ ฝุ่นของระบบบำบัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำในที่ปิดโล่ง ณ สภาวะการทำงานที่คงตัวมาใช้ในการ กระจายขนาดของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นและทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับ ข้อมูลจริงจากโรงโม่หินพบว่าประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นมีค่าผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่า 5%

ทรงวุฒิ ศรีสว่าง [7] ทำการศึกษาเครื่องสครับเบอร์แบบหมุนวน ซึ่งพัฒนาเพื่อใช้กำจัดฝุ่น ละอองในไอเสียจากระบบเตาเผาไหม้ เครื่องสครับเบอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.245 เมตร สูง 0.903 เมตร และฝุ่นที่ใช้ศึกษาคือเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการ ทำงานของเครื่องสครับเบอร์นี้คือ อัตราส่วนการไหลของน้ำต่ออากาศ (L/G) ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของรูเจาะบนแผ่นกระจายน้ำ และอัตราการป้อนเถ้าลอยในกระแสอากาศเข้าเครื่องสครับ เบอร์ โดยค่า L/G ที่ใช้คือ 4, 6, 8 และ 10 โดยหัวกระจายน้ำมี 3 ขนาดคือ 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร และอัตราการป้อนคือ 2.8, 10.0, 15.0, และ 20.0 กรัม/วินาที โดยอากาศที่มีเถ้าลอยจะ ถูกปล่อยให้ผ่านขึ้นไปในคอลัมน์สครับเบอร์ด้วยลักษณะแบบไซโคลน และทำการฉีดน้ำในแนวตั้ง สวนกับกระแสอากาศที่มีเถ้าลอยผสมอยู่ ซึ่งน้ำจะปะทะกับอนุภาคเถ้าลอยในอากาศ และทำการชะ ล้างออกมาทางด้านล่างของเครื่องสครับเบอร์ ส่วนอากาศที่บำบัดแล้วออกทางด้านบน ผลการ ทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเถ้าลอยของเครื่องสครับเบอร์สูงถึง 97.2 % ที่ L/G เท่ากับ 10 อัตราการป้อนเถ้าลอยเท่ากับ 2.8 กรัม/วินาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวกระจายน้ำเล็กลง (0.5 มิลลิเมตร) และจากการถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่า อนุภาคเถ้า ลอยที่ต่ำกว่า 5 ไมครอนไม่สามารถกำจัดได้ด้วยเครื่องสครับเบอร์

สุชาดา ณรินทร์ศักดิ์ชัย [8] ทำการศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับใช้คำนวณหา ประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำ และศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆที่มีต่อ ประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบควบคุมฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำ เช่น การกระจายขนาดของ หยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น ทิศทางและความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่าการฉีด พ่นละอองน้ำในที่เปิดโล่งในช่วงที่กลไกการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำเกิดจากกลไกการกระทบ ด้วยแรงเฉื่อยเป็นสำคัญ นอกจากนี้ได้จำลองการวางเรียงหัวฉีดในรูปแบบต่างๆ เพื่อเลือกรูปแบบที่ เหมาะสมกับทิศทางลมจากสิ่งแวดล้อม และพบว่าหากหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นมีขนาดอยู่ ในช่วง 80 –1000 ไมครอน และ 1-10 ไมครอนตามลำดับ (ความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วง

0-2 เมตร/วินาที) ประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเมื่อหยดละอองน้ำมีขนาดเล็กลง และประสิทธิภาพการจับฝุ่นมีค่าสูงสุดเมื่อหยดละอองน้ำมีขนาดประมาณ 100 ไมครอน สำหรับกระแสลมเวดล้อมมีผลทำให้ค่าความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจับฝุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าความเร็วลมเวดล้อมสูงเกินไป ทั้งหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นจะเคลื่อนที่ไปกับกระแสลม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจับอนุภาคฝุ่นมีค่าลดลง

สามารถ พรเจริญ [9] ทำการศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นต้นแบบชนิดไซโคลนสกรับเบอร์ โดยคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 cm สูง 1 m ทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์กว้าง 15 cm สูง 7.5 cm ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่น ได้แก่ จำนวน (8,16) และตำแหน่งของหัวฉีดน้ำ(ติดตรงกลาง, สลับฟันปลา, บน-ล่าง) L/G (2.8, 3.4, 4.4 lit H₂O/m³ air) ความเข้มข้นฝุ่นทางเข้า 2, 4, 6, 8 g/m³ โดยฝุ่นที่ทดลองคือ อนุภาคเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ. ลำปาง จากการทดลองพบว่าค่า L/G เท่ากับ 4.4 ที่ 16 หัวฉีด ความเข้มข้นทางเข้า 2 g/m³ ที่ขนาดอนุภาคฝุ่นเถ้าลอยมากกว่า 1.2 ไมครอน จะมีประสิทธิภาพการจับฝุ่น 99 % และที่ 16 หัวฉีดจะมีประสิทธิภาพการจับฝุ่นสูงกว่า 8 หัวฉีดอยู่เพียง 1.84 % ส่วนตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดแบบสลับฟันปลาจะให้ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นดีที่สุด

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1 นิยามและคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

สารมลพิษอากาศ (Air Pollutant) คือ สารใดๆ ที่ตามในอากาศซึ่งมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ หรือสารที่เป็นที่น่ารังเกียจหรือไม่พึงปรารถนาต่อมนุษย์ รวมทั้งสารที่มีผลเสีย ต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์โดยทางตรงหรือทางอ้อม

อนุภาค (Particulates) คือ มลสารใดๆ ในบรรยากาศหรือไอเสียดังกล่าว ซึ่งอยู่ในสภาพของแข็ง หรือของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ทั้งนี้ยกเว้นไอน้ำในขอบเขตอย่างกว้างๆ อนุภาคมลสารมีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอน ลงไปถึงต่ำกว่า 0.1 ไมครอน ดังนั้นทำให้สามารถจำแนกอนุภาคมลสารออกเป็นชนิด ต่างๆ ได้ดังนี้

ฝุ่นขนาดใหญ่ (Grit) เป็นของแข็งที่สามารถลอยปะปนอยู่ได้ในอากาศและมีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอน

ฝุ่น (Dust) เป็นอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการแตกตัว การถูกบดอัด หรือการสลายตัวที่ เกิดจากกระบวนการทางกล โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึงหลายร้อยไมครอน อนุภาคฝุ่นโดยทั่วไปมี รูปร่างของอนุภาคที่ไม่แน่นอน

ละออง (Mist) คือ อนุภาคที่เป็นของเหลวซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอหรือก๊าซบางอย่าง หรือเกิดจากการแยกตัวของของเหลวออกจากกระบวนการบางอย่าง เมื่อความเข้มข้นของละอองไอ สูงจนทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง จะเรียกว่า หมอก (fog)

ควัน (Smoke) คืออนุภาคของคาร์บอนที่รวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ไมครอน

ไอควัน (Fume) คือของแข็งที่มีขนาดเล็กมีขนาดระหว่าง 0.001- 1 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิด จากการควบแน่น (condensation) ของไอจากปฏิกิริยาเคมีบางอย่าง

ละอองลอย (Aerosol) คืออนุภาคของแข็งหรือของเหลวขนาดเล็กซึ่งแขวนลอยอยู่ใน อากาศได้ โดยทั่วไปได้แก่อนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอน เล็กลงไปจนถึง 1 ไมครอน ซึ่งสิ่งนี้ ถูกจัดรวมเป็นละอองไอได้แก่ ฝุ่น หมอก ฟุ้ง ควัน ละอองน้ำ และเมฆหมอก

หมอกควัน (Smog) เป็นสภาวะที่ใช้เรียกการเกิด smoke และ fog ร่วมกันซึ่งเป็นผล สืบเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี

มลภาวะอากาศ(Air pollution) คือการดำรงอยู่ของสสารหรือวัตถุผิดปกติ (abnormal) ในอากาศหรือบรรยากาศที่เป็นผลให้เกิดอันตรายหรือผลร้ายต่อสุขภาพหรือสวัสดิภาพของสิ่งมีชีวิต

PM-10 คืออนุภาคฝุ่นผงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน

IP (ฝุ่นที่สามารถหายใจเข้าไปได้, Inhalable Particulate) คือฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์เล็กกว่า 15 ไมครอน บางครั้งจะใช้สัญลักษณ์เป็น PM-15

FP (ฝุ่นละเอียด, Fine Particulate) คือฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ เล็กกว่า 2.5 ไมครอน PM-2.5

ความดันลด (pressure drop) ในอุปกรณ์จับเก็บฝุ่น หมายถึง ความดันของอากาศที่สูญเสียในระหว่างการไหลเข้าและออกจากอุปกรณ์จับเก็บฝุ่น (Collectors) ถ้ามีความดันตกสูงจะต้องการเครื่องดูดอากาศหรือก๊าซที่มีขนาดใหญ่ เพื่อดึงหรือผลักดันให้ก๊าซที่ปล่อยออกมาผ่านระบบดักเก็บอนุภาค บางอุปกรณ์ดักเก็บ เช่น เครื่องพ่นจับแบบเวนจูรี (venturri scrubbers) ถูกออกแบบขึ้นมาให้ทำงานที่มีความดันตกได้ (มากกว่า 10 นิ้วน้ำ) ในทางตรงกันข้ามเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electro Precipitator) จะใช้กับระบบที่มีความดันตกต่ำ (โดยปกติน้อยกว่า 1.0 นิ้วน้ำ) โดยที่ประสิทธิภาพในการดักเก็บเท่ากับกับเครื่องพ่นจับแบบเวนจูรี

ของไหล (Fluid) หมายถึงสสารที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อมีแรงเฉือน (Shear Force) มากระทำ โดยปกติของแข็งและของไหลจะมีการจัดตัวของโมเลกุลที่ต่างกันคือ โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและใกล้ชิดในของแข็งมากกว่าของไหล ดังนั้นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Attractive Force) ของของแข็งจึงมีมากกว่าของของไหล

คุณสมบัติของของไหล (Fluid Properties)

ความหนาแน่น (Density, ρ)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg.m}^{-3}]$$

น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight, γ)

$$\gamma = \rho g \quad [\text{N/m}^3]$$

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, s)

$$s = \frac{\rho}{\rho_{\text{water}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{water}}} \quad [-]$$

ความหนืด (Viscosity, μ)

$$\mu = \frac{\tau}{du / dz} \quad [\text{Pa.s}]$$

2.1.2 สภาพของการไหลและรูปแบบการไหลในท่อ (Flow Condition and Flow Pattern) [10]

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เป็นการไหลที่จุดภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ตามกันเป็นชั้นบาง ๆ และมีการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างชั้นน้อย
2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) จะมีจุดภาคของการไหลเคลื่อนตัวในทิศทางที่ไม่แน่นอน ไม่เป็นระเบียบ มีการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหลมาก
3. การไหลแบบคงตัว (Steady Flow) เป็นการไหลที่มีสภาพการไหล ณ จุดใดๆ ในของไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
4. การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) เป็นการไหลที่มีความเร็ว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในของไหลมีค่าเท่ากันหมด ทั้งขนาดและทิศทางที่เวลาใด ๆ

ในการศึกษาหรือการออกแบบเครื่องมือกำจัดอนุภาคจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะสมบัติของอนุภาคแต่ละอนุภาคที่อยู่ในแอร์โรโซลก่อน ลักษณะสมบัติที่สำคัญที่สุดของอนุภาคคือ ขนาดของอนุภาค รูปร่างและความหนาแน่น (อนุภาคที่มีขนาดรูปร่างและความหนาแน่นเหมือนกัน รวมเรียกว่า เกรด (Grade) หรือชั้นของอนุภาค ลักษณะสมบัติอื่นที่มีความสำคัญด้วย คือพื้นที่ผิว ปริมาตร มวล และส่วนประกอบทางเคมีของอนุภาค

อนุภาคที่มีอยู่ในแอร์โรโซลจะบอกปริมาณหรือจำนวนในเทอมของความเข้มข้นรวม นั่นคือ มวลทั้งหมดต่อหน่วยปริมาตร หรือจำนวนอนุภาคทั้งหมดต่อหน่วยปริมาตร นอกจากนั้น จำเป็นต้องทราบการแจกแจงขนาดของอนุภาคในเทอมของสัดส่วน (Fraction) โดยจำนวนปริมาตร หรือมวลของแต่ละเกรด

ขนาดของอนุภาคจะแทนด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการวัด ซึ่งอาจวัดเทียบ กับ Projected Area, พื้นที่ผิว ปริมาตร มวล เป็นต้น ในการให้นิยามว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเป็นขนาดของอนุภาคนั้นใช้ได้เฉพาะกรณีที่อนุภาคนั้นเป็นทรงกลม แต่อนุภาคโดยทั่วไปไม่เป็นทรงกลมเสมอไป ดังนั้นในการเกี่ยวข้องกับอนุภาคที่ไม่ใช่ทรงกลม จำเป็นต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent Diameter) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเหล่านั้น

2.1.3 การเลือกระบบบำบัดอนุภาคฝุ่น

เมื่อปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากแหล่งผลิตมีค่าเกินกว่าระดับที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องประยุกต์ใช้วิธีการเก็บอนุภาคฝุ่นที่เหมาะสม การเลือกระบบเก็บอนุภาคฝุ่นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. กระบวนการเก็บอนุภาคฝุ่น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ลักษณะสมบัติของอนุภาคฝุ่นที่จะเก็บ และลักษณะสมบัติการไหลของก๊าซที่พุ่ง ลักษณะสมบัติของอนุภาคฝุ่นได้แก่ การแจกแจงขนาดของอนุภาค ความหนาแน่น รูปทรงของอนุภาค ลักษณะการเกาะติด การรวมก้อน การเสียดถู และคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าสถิต ลักษณะสมบัติดูดความชื้น อุณหภูมิติดไฟ และความเข้มข้นในก๊าซ ลักษณะสมบัติของการไหลของก๊าซที่ต้องตรวจสอบในการเลือกเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นคือ อัตราการไหล อุณหภูมิ ความชื้น ฤทธิ์กัดกร่อน กลิ่น ความหนืด ลักษณะสมบัติการเกิดระเบิดของอนุภาคฝุ่น และอื่น ๆ

2. ความต้องการอุปกรณ์ ปัจจัยที่ต้องคำนึงในการติดตั้งเครื่องเก็บฝุ่นได้แก่ การใช้น้ำในกระบวนการเก็บอนุภาคฝุ่น การเก็บความร้อนที่กลับมาใช้ การกำจัดฝุ่นที่เก็บรวบรวมได้ การเก็บอนุภาคฝุ่นเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ และพื้นที่ในการติดตั้ง

3. ค่าใช้จ่ายของกระบวนการ ค่าใช้จ่ายของกระบวนการควรรวมค่าพลังงานไฟฟ้า ค่ากำจัดของทิ้ง ค่าน้ำกระบวนการ ค่าวัสดุ ค่าบำบัดก๊าซสกปรกก่อนเข้าเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่น ค่าแรงงาน ค่าประกันภัยและค่าเสื่อมราคา นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายการศึกษาทางวิศวกรรม ค่าออกแบบหน่วยหลัก และหน่วยฟวง ค่างานก่อสร้าง และงานวิศวกรรมโยธา ตลอดจนค่าทดสอบการทำงานในการประเมินระบบทำความสะอาดก๊าซที่ประหยัดที่สุดและในการเลือกเครื่องเก็บฝุ่นที่เหมาะสมที่สุด

การแบ่งประเภทเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นและลักษณะสมบัติของอนุภาคฝุ่น เป็นดังตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นประเภทต่าง ๆ มีรวบรวมไว้ในตารางที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ประเภทของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นในแบบต่างๆ [11]

ประเภทของเครื่อง เก็บอนุภาคฝุ่น	อนุภาค ขนาดเล็กสุด ที่เก็บได้ (μm)	ความดัน สูญเสียบ (mmH_2O)	อุณหภูมิใช้ งานได้ สูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	ความ เข้มข้นที่ ทางเข้า (g/m^3)	หมายเหตุ
แบบแรงโน้มถ่วง	20	~ 15	1,000	~ 10	ใช้ติดตั้งหน้าเครื่องแบบอื่น
แบบแรงเฉื่อย	20	~ 50	1,000	~ 10	ใช้ติดตั้งหน้าเครื่องแบบอื่น
ไซโคลอน	1	~ 200	1,000	~ 5	โครงสร้างแบบง่าย
แบบถุงกรอง	0.01	~ 200	250	0.1-20	ใช้กับก๊าซควบแน่นไม่ได้
แบบชั้นของวัสดุเม็ด	0.1	~ 300	1,000	0.1-20	ยังใช้กันไม่แพร่หลาย
แบบสกรับเบอร์	0.2	~ 2,000	-	1-100	ต้องมีอุปกรณ์บำบัดน้ำทิ้ง
แบบไฟฟ้าสถิต	0.02	~ 30	1,000	1-50	ห้ามใช้กับก๊าซที่ระเบิดได้

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นในแบบต่าง ๆ

ประเภท	ข้อดี	ข้อเสีย
เครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง	ความดันสูญเสียมีน้อย โครงสร้างง่าย ๆ และบำรุงรักษาง่าย	ใช้พื้นที่ติดตั้งมาก ประสิทธิภาพต่ำ
เครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง	โครงสร้างง่าย บำรุงรักษาง่าย ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย ปล่อยอนุภาคฝุ่นที่เก็บได้ออกอย่างต่อเนื่อง ความดันสูญเสียไม่สูง มีผลกระทบจากอุณหภูมิของก๊าซน้อย เหมาะกับเก็บอนุภาคหยาบ และก๊าซที่มีภาระของอนุภาคฝุ่นสูง	จำเป็นต้องมีห้องทางเข้าของก๊าซหลายห้อง ประสิทธิภาพต่ำในการเก็บอนุภาคฝุ่นละเอียด วัตถุประสงค์การแปรเปลี่ยนของภาระของอนุภาคฝุ่นและอัตราการไหลของก๊าซ
เครื่องสครับเบอร์	ดูดกลืนก๊าซและเก็บอนุภาคฝุ่นได้ในขั้นตอนเดียว สามารถลดอุณหภูมิและชะล้างก๊าซอุณหภูมิสูงและความชื้นสูง เหมาะกับการกำจัดและทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ของก๊าซฤทธิ์กัดกร่อนและหมอกน้ำค้าง (Mist) มีอันตรายน้อยจากการระเบิดของฝุ่น สามารถควบคุมประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่น	มีปัญหาการผุกร่อนและสึกหรอ เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับการกำจัดน้ำทิ้งและการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ของเหลวที่ใช้บำบัด อันตรายเมื่อเกิดการแข็งตัวในเขตหนาวจัด แรงลอยตัวของก๊าซลดลง และกำลังของการลอยขึ้นและการกระจายตัวของก๊าซลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ มองเห็นควันขาวของไอน้ำในสภาวะบรรยากาศบางเงื่อนไข
เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	มีประสิทธิภาพสูงถึง 99% หรือสูงกว่า เก็บอนุภาคละเอียดได้ ประยุกต์ใช้ได้กับทั้งกระบวนการแห้งและเปียก ความดันสูญเสียต่ำกว่าและใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องเก็บฝุ่น ประสิทธิภาพสูงประเภทอื่น การบำรุงรักษาปานกลาง ยกเว้นเวลาบำบัดฝุ่นฤทธิ์กัดกร่อนหรือเหนียวเหนอะ มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยกว่า สามารถบำบัดก๊าซอุณหภูมิสูงได้	ค่าใช้จ่ายแรกเริ่มสูง วัตถุประสงค์การแปรเปลี่ยนของภาระฝุ่นและอัตราการไหล มีความคุ้มทางเศรษฐศาสตร์น้อยกว่า ในกรณีของฝุ่นประเภทที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง ต้องมีวิธีป้องกันสำหรับไฟฟ้าความดันสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นมีแนวโน้มลดลงน้อยตามอายุการใช้งาน
ถุงกรอง	เป็นกระบวนการแห้ง ตรวจสอบการทำงานผิดปกติได้ง่าย เก็บอนุภาคละเอียดได้ มีประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นสูง	รับผลกระทบมากจากความเร็วในการกรอง ต้องลดอุณหภูมิของก๊าซร้อนให้เหลือ 90–250 °C ก่อนที่จะบำบัด รับผลกระทบจากความชื้น (เกิดการรวมก้อนของฝุ่นในก๊าซชื้น)

2.2 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแห้งชนิดไซโคลน



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ไซโคลน

2.2.1 หลักการทำงานของไซโคลน

อนุภาคที่แขวนลอยในก๊าซจะมีความเฉื่อยและโมเมนตัม จะได้รับแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วงของโลก ลักษณะสมบัติเหล่านี้ของอนุภาคจะก่อให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เมื่อมีการบังคับให้กระแสก๊าซไหลหมุนวน แรงหนีศูนย์กลางเป็นกลไกหลักในการเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงเฉื่อยส่วนใหญ่ อนึ่งแรงเฉื่อยของอนุภาคและแรงหนีศูนย์กลางยังมีบทบาทส่วนหนึ่งในการกรอง การสครับ (Scrubbing) และวิธีทำความสะอาดก๊าซอื่น ๆ ด้วย

ชิ้นส่วนสำคัญของโครงสร้างของไซโคลนคือทางเข้าของก๊าซที่ช่วยชักนำให้เกิดกระแสวน (Vortex) ทางออกในแนวแกน (Axial Outlet) ของก๊าซสะอาด และช่องเปิดด้านล่างสำหรับปล่อยอนุภาคฝุ่นออก ลักษณะการไหลในไซโคลนแบบทั่วไป ก๊าซที่ไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสสัณฐานด้านบนของตัวทรงกระบอกจะชักนำให้เกิดวอร์เท็กซ์ หรือการไหลเวียนแบบก้นหอยในย่านระหว่างผนังของตัวไซโคลนและผนังท่อทางออกของก๊าซในลักษณะที่หมุนวนลงข้างล่าง วอร์เท็กซ์นี้ซึ่งเป็นวอร์เท็กซ์แบบกึ่งอิสระ (Semi-Free Vortex) จะหมุนวนและเครื่องลงจนต่ำกว่าผนังของท่อทางออกของก๊าซ แต่เมื่อไปถึงย่าน ๆ หนึ่งใกล้กับก้นของกรวย วอร์เท็กซ์นี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวแกนจากเคลื่อนลงเป็นเคลื่อนขึ้นโดยที่ยังคงไว้ซึ่งการไหลหมุนวน นั่นคือจะเปลี่ยนเป็นวอร์เท็กซ์แบบบังคับ (Forced Vortex) ซึ่งเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งใน

ย่านระหว่างประมาณครึ่งหนึ่งของรัศมีของท่อทางออกของก๊าซกับแกนกลางของท่อทางออก วอร์เท็กซ์ด้านในนี้จะเป็ย่านความดันต่ำและมีชื่อเรียกว่า แก่น (Core) รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะทั่วไปของวอร์เท็กซ์และการไหลวนย้อนกระแสหลัก (Eddy flow) ภายในไซโคลนธรรมดา



รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลของกระแสหลักภายในไซโคลน

2.2.2 ส่วนประกอบของไซโคลน

1. ท่อลำเลียงก๊าซ (Dust Laden Gas) เป็นท่อที่ต่อจากท่อส่งก๊าซออกของกระบวนการผลิตเพื่อรับก๊าซเข้าสู่ไซโคลน
2. ท่อทางเข้าสัมผัส (Tangential Inlet) เป็นท่อติดตั้งในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของทรงกระบอกใช้บังคับให้ก๊าซเปลี่ยนทิศทางการไหลจากการไหลในแนวตรงเป็นการไหลเวียนแบบก้นหอย (Spiral Flow)
3. เรือนทรงกระบอก (Cylindrical Body) เป็นท่อกว้างรูปทรงกระบอกใช้เป็นส่วนกีดขวางของฝุ่น (Barrier) เพื่อลดพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่
4. กรวยส่วนล่าง (Conical Base) เป็นกรวยกลวงยอดตัดช่วยให้ก๊าซที่หมุนเวียนเปลี่ยนทิศทางการไหลย้อนกลับขึ้นบนได้
5. ก่อรองรับฝุ่น (Dust Hopper) ใช้รองรับฝุ่นที่แยกจากก๊าซเพื่อนำออกจากไซโคลนไปกำจัดทิ้งต่อไป
6. ท่อทางออกก๊าซ (Cleaned Gas Discharge) ใช้ระบายก๊าซที่ได้แยกฝุ่นส่วนใหญ่ออกแล้ว

2.3 เครื่องเก็บฝุ่นแบบเป็ยก

เครื่องเก็บฝุ่นแบบเป็ยกใช้ของเหลวหรือน้ำเป็นตัวจับอนุภาคฝุ่น แล้วจึงแยกน้ำที่จับฝุ่นออกจากกระแสก๊าซโดยน้ำอาจถูกทำให้เป็นฝอยละอองในกระแสก๊าซ เพื่อเพิ่มให้มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดน้ำมากขึ้น หรือกระแสก๊าซอาจถูกชักนำให้ผ่านม่านน้ำหรือผ่านชั้นวัสดุซึ่งมีน้ำเคลือบที่ผิว การทำน้ำให้เป็นฝอยละอองขนาดเล็กอาจทำได้โดยการสเปรย์ด้วยหัวฉีด (Nozzles) หรือทำให้กระแสก๊าซมีความเร็วสูงขึ้นเพื่อกระแทกหรือเฉือนให้แผ่นฟิล์มน้ำแตกกระจายตัวออกเป็นละอองหยดน้ำ นอกจากนี้เครื่องเก็บฝุ่นแบบเป็ยกนี้สามารถกำจัดมลสารที่อยู่ในสถานะก๊าซหรือไอออกจากกระแสก๊าซไปพร้อม ๆ กันด้วย

ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของเครื่องเก็บฝุ่นแบบเป็ยกสามารถจะแปรเปลี่ยนให้สูงหรือต่ำได้โดยขึ้นอยู่กับพลังงาน (ในรูปของ Pressure Drop) ที่ใช้ไปในระบบ กล่าวคือยิ่งใช้พลังงานไปในระบบมากขึ้น โดยทั่วไปประสิทธิภาพจะยิ่งสูงขึ้น

ตารางที่ 2.3 ประเภทของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบเปียก

ชื่อเครื่อง	ความเร็ว ก๊าซ(ในทิศ ไหลผ่าน) (m/s)	อัตราการ ไหลสูงสุด ของก๊าซ (m ³ /min)	ความดัน สูญเสีย (mm H ₂ O)	ปริมาณ น้ำที่ใช้ (lit /m ³)	ความ ดัน ของ น้ำ	ขนาด เล็กสุดที่ กำจัดได้ µm	หมายเหตุ
หอสเปรย์	0.5-2	10,000	5-50	0.05-1	สูง	3-5	ประหยัดและใช้กับ ความดันสูงได้ ใช้ได้ ทั้งการไหลแบบสวน ทางและแบบขนาน
หอไถ่วัสดุ	1-2	300	100-300	1-10	ต่ำ	1-2	ได้เฉพาะการไหล สวนทาง มีปัญหาอุด ตัน ความดันสูญเสีย 50 mm H ₂ O/m ความ สูง
ไซโคลนสกรับเบอร์	1-2	5,000	50-150	0.5-5	ปาน กลาง	1	ทำงานภายใต้ความ ดันบรรยากาศ
Theisen Washet	1-2	1,000	200-400	0.5-2	ต่ำ	0.2	ประมาณ 1000 rpm ใช้กำลังไฟมาก พื้นที่ ติดตั้งน้อย
สกรับเบอร์ แบบอิมพิน เจอร์	5-100	5,000	50-200	1-5	ต่ำ	0.3	ใช้ได้ทั้งสูญญากาศ และความดันสูง
เจ็ตสกรับ เบอร์	5-20	1,000	0-200	5-50	สูง	0.5-1	ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง สูง พื้นที่ติดตั้งน้อย
โรโตคอน	10-30	1,000	50-150	0.1-0.2	ต่ำ	0.5-1	มีปัญหาถ้าเกิด ฟองอากาศขึ้น ประหยัด ง่าย ๆ
เวนทูริส กรับเบอร์	30-150	1,500	300- 2,000	0.3-2	ปาน กลาง	0.1-0.3	ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง สูง สมรรถนะสูงสุด พื้นที่ติดตั้งน้อย

2.3.1 กลไกการเก็บอนุภาคฝุ่นในเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก

1. แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force)

ในกระแสก๊าซอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูง จะตกลงค่อนข้างเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และจะถูกแยกออกจากกระแสก๊าซไปในที่สุด แรงโน้มถ่วงจะมีบทบาทมากสำหรับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอนเท่านั้น

2. แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force)

เมื่อมีการบังคับกระแสก๊าซให้เกิดการไหลหมุนวน (Spiral Motion) ในเครื่องเก็บฝุ่น แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้อนุภาคฝุ่นมีวิถีการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนและแยกออกจากวิถีการไหลของกระแสก๊าซ อนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีโมเมนตัมมากจะเบี่ยงเบนออกจากกระแสก๊าซได้มากกว่าอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก

3. การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial Impaction)

เมื่อมีกระแสก๊าซไหลเข้าไปใกล้หยดน้ำ ที่ระยะทางหนึ่งก่อนหน้าที่จะถึงหยดน้ำ กระแสก๊าซจะเริ่มไหลเบี่ยงเบนออกไปรอบ ๆ หยดน้ำ เฉพาะอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กเท่านั้นที่จะเคลื่อนที่เบี่ยงไปตามกระแสก๊าซที่เบี่ยงเบนออกไป ส่วนอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงเฉื่อย (Inertial) มากจะไม่เคลื่อนที่ไปตามกระแสก๊าซที่ไหลเบี่ยงเบนออกไป แต่จะเคลื่อนที่ในแนวตรงต่อไปกระทบกับหยดน้ำและถูกหยดน้ำจับเอาไว้ในที่สุด

4. การสกัดกั้น โดยตรง (Direct Interception)

แม้ว่าอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ตามกระแสก๊าซที่ไหลเบี่ยงเบนไปรอบ ๆ หยดน้ำ อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กเหล่านี้มีโอกาสที่จะเข้าสัมผัสและเกาะติดกับหยดน้ำได้ด้วยกลไกของการสกัดกั้น โดยตรงหากว่าจุดศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นซึ่งเคลื่อนที่ไปกับกระแสก๊าซอยู่ห่างจากผิวของหยดน้ำเป็นระยะทางน้อยกว่ารัศมีของอนุภาคฝุ่นนั้น

5. การแพร่แบบบราวน์ (Brownian Diffusion)

อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมาก ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1 ไมครอน (Submicron Particles) และแขวนลอยอยู่ในกระแสก๊าซ จะมีการเคลื่อนที่ซิกแซกแบบที่เรียกว่า Brownian Motion เนื่องจากถูกชนโดยโมเลกุลจำนวนมากของก๊าซที่อยู่รอบ ๆ การเคลื่อนที่ซิกแซกอย่างไม่มีการเบี่ยงเบนนี้เองทำให้อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กเคลื่อนที่เบี่ยงเบนออกจากกระแสก๊าซที่กำลังไหลผ่านไปรอบ ๆ หยดน้ำส่งผลให้อนุภาคฝุ่นสัมผัสกับหยดน้ำได้

6. แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)

อนุภาคฝุ่นบางชนิดมีประจุไฟฟ้าอยู่ในตัวโดยธรรมชาติ หรืออาจจะได้รับการเติมประจุไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออนุภาคฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าไปในย่าน

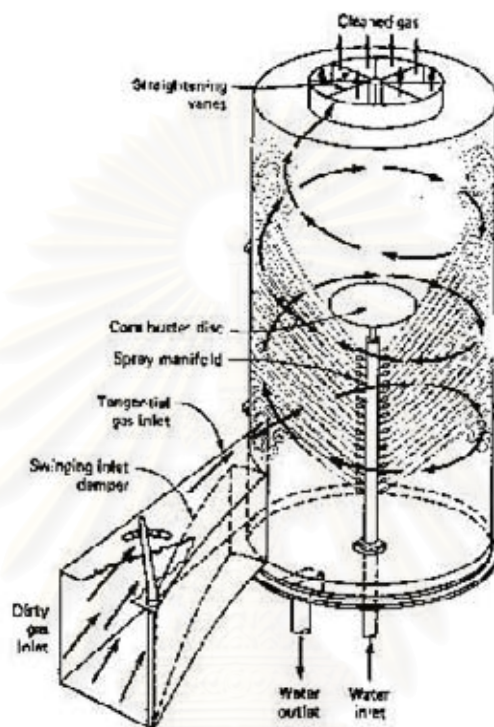
สนามไฟฟ้าที่ใช้เก็บฝุ่น แรงไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะชักนำอนุภาคฝุ่นให้เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเก็บฝุ่นซึ่งมีประจุตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่ในอนุภาคฝุ่น

การแยกอนุภาคฝุ่นออกจากกระแสก๊าซในเครื่องเก็บฝุ่นแต่ละประเภทอาจจะเกิดจากกลไกเก็บฝุ่นที่กล่าวถึงกลไกใดกลไกหนึ่ง หรืออาจเกิดจากผลของกลไกหลายกลไกร่วมกันได้สำหรับเครื่องเก็บฝุ่นแบบเป็ยกนั้น กลไกเก็บฝุ่นที่มีบทบาทสำคัญมี 3 กลไกด้วยกัน คือ การกระทบโดยแรงเฉื่อย การสกัดกั้นโดยตรง และการแพร่แบบบราวน์ ความสำคัญของแต่ละกลไกในการเก็บฝุ่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคฝุ่นที่สนใจ

2.3.2 ไซโคลนสครับเบอร์

ไซโคลนสครับเบอร์ (Cyclone Scrubber) มีท่อเฮดเดอร์ (Header) หรือท่อฉีดเจ็ต ซึ่งติดตั้งอยู่หัวฉีดสเปรย์จำนวนมาก ติดตั้งอยู่ที่ใจกลางด้านล่างของเครื่องโดยจะอาศัยละอองหยดน้ำขนาดเล็กที่ฉีดออกจากหัวฉีดจำนวนมากบนท่อเฮดเดอร์ โดยส่วนใหญ่ความสูงของท่อเฮดเดอร์จะมีค่าความสูงประมาณ $1/3$ ถึง $2/5$ เท่าของความสูงรวม มีหลักการทำงานดังนี้คือ ก๊าซสกปรกจะถูกส่งเข้าเครื่องเก็บฝุ่นในแนวสัมผัส (Tangential Flow) เหมือนกับที่ใช้ในเครื่องเก็บฝุ่นแบบไซโคลนทั่วไปเพื่อทำให้ก๊าซเกิด Cyclonic Action ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเร็วสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับอนุภาคฝุ่น หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มโมเมนตัมของอนุภาคฝุ่น ทำให้อนุภาคฝุ่นแยกตัวออกจากกระแสก๊าซเข้าสู่สัมผัสกับหยดน้ำได้ง่ายขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นโดยการฉีดน้ำ ในขณะที่ก๊าซสกปรกไหลวนขึ้นภายในเครื่องหยดน้ำที่สเปรย์ออกจากหัวฉีดจะชะล้างอนุภาคฝุ่นสกปรกออกจากกระแสก๊าซ หยดละอองน้ำที่ชนกับอนุภาคฝุ่นและไม่ชนกับอนุภาค รวมถึงอนุภาคฝุ่นที่อาจจะเล็ดลอดจากการชนกับหยดละอองน้ำจะถูกเหวี่ยงไปชนกับผนังด้านข้างของไซโคลนสครับเบอร์ โดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้เหลือแต่กระแสก๊าซที่สะอาดไหลออกจากท่อแกนกลางที่ด้านบน หยดละอองน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับฝุ่น แต่ในขณะเดียวกันจะทำให้การไหลวนของกระแสอากาศมีประสิทธิภาพด้อยลงและความดันสูญเสียภายในตัวไซโคลนเพิ่มสูงขึ้น นอกจากอนุภาคฝุ่นจะถูกแยกออกจากกระแสก๊าซด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) แล้ว ยังถูกกำจัดโดยการกระทบ (Impaction) กับหยดน้ำซึ่งมีขนาดใหญ่และสามารถถูกแยกออกจากที่ผิวด้านในของเครื่องเก็บฝุ่น เป็นการขจัดปัญหาการฟุ้งกระจายกลับ (Reentrainment) ของฝุ่นที่ถูกแยกออกจากกระแสก๊าซแล้ว ข้อดีของไซโคลนสครับเบอร์คือ สามารถจับฝุ่นขนาดเล็กถึง $0.1-0.2$ ไมครอนได้โดยอาศัยหยดน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก โดยทั่วไปอัตราการฉีดน้ำจะประมาณ 1-2 ลิตรน้ำต่อ

ลูกบาศก์เมตรของกระแสลม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดรูเปิดของหัวฉีดน้ำและความดันที่ฉีด หยดน้ำจะมีขนาดเฉลี่ยในช่วง 30-40 ไมครอนจนถึง 100-150 ไมครอน



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์ไซโคลนสครับเบอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลองวิจัย

3.1 ฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

ฝุ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตแบบเคลือบผิว เนื่องจากฝุ่นหินจากโรงงานงานเจียรมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะทำการทดลองและมีหลายขนาด ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยต้องการฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เนื่องจากทางโรงงานงานเจียรมีไซโคลนแห้งสำหรับดักฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจะเหลือแต่ฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถหลุดรอดจากการจับเก็บด้วยไซโคลนแห้ง หนึ่งฝุ่นที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ปูนคุณภาพจำกัด

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือวัดและวิเคราะห์

- เครื่องวิเคราะห์การแจกแจงขนาดอนุภาค โดย Particle Size Analyzer: วัดการแจกแจงขนาดอนุภาคของฝุ่นแคลเซียมคาร์บอเนต



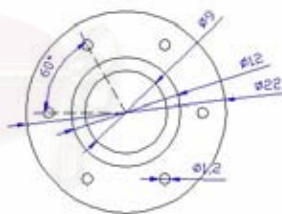
รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์การแจกแจงขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)

- เครื่องวัดความเร็วลม (Air Velocity Measuring Instrument): วัดความเร็วของลมในท่อสำหรับสอบเทียบอัตราการไหล



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเร็วลม (Air Velocity Measuring Instrument)

- มาตรฐานวัดความดันของไหลรูปตัวยู (Manometer) และออริฟิส: วัดความดันลมในท่อแต่ละอัตราการไหล



รูปที่ 3.3 มาตรฐานวัดความดันของไหลรูปตัวยูและออริฟิส

- เครื่องวัดความดันน้ำ (Gauge): วัดความดันน้ำในท่อแต่ละเซกเตอร์หัวฉีด



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความดันน้ำ

- มาตรวัดอัตราการไหลแบบลูกกลอย (Rota meter): วัดอัตราการไหลของน้ำในท่อในแต่ละเซกเตอร์หัวฉีด



รูปที่ 3.5 มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำ

3.2.2 อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์การทดลองหลักแบ่งได้เป็น 5 ส่วนดังนี้

- เครื่องเป่าลม (Blower)

เครื่องดูดและเป่าอากาศ รุ่น PB-24 ต่อตรง ปริมาณลม 20 m³/min แรงดัน 550 mm H₂O มอเตอร์ 10HP 2P 380 V



รูปที่ 3.6 เครื่องเป่าลม (Blower)

- เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (Inverter)

Inverter “ABB” 7.5 KW ACS 401-011-3-2 3P 380 V



รูปที่ 3.7 เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (Inverter)

- เครื่องป้อนอนุภาคฝุ่นแบบตั้งโต๊ะ (Table Feeder)

เครื่องป้อนอนุภาคใช้สำหรับป้อนอนุภาคแห้งที่มีลักษณะต่าง ๆ เช่น แกรนูล เกล็ด อนุภาคละเอียด เป็นต้น ใช้หลักการของ Table Feeder มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้อัตราการป้อนที่เที่ยงตรง และคงที่ โดยอนุภาคออกจาก Hopper Gate ลงบนบริเวณรอบๆ จุดกึ่งกลางของจานหมุน ด้านคุณสมบัติการไหลที่อนุภาคนั้นๆ มีอยู่จะถูกเกลี่ยให้เรียบโดย Coarse Scraping Plate ทำให้ได้ชั้นอนุภาคที่มีความหนาสม่ำเสมอเหมาะสมตามที่กำหนด จากนั้นชั้นอนุภาคจะถูกกวาดออกตามอัตราการป้อนที่ต้องการด้วยการปรับระยะของ Fine Scraping โดยมีอัตราการป้อนระหว่าง 0.1 –20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และสามารถปรับอัตราการป้อนได้ตั้งแต่ 0-10 รอบหมุน



รูปที่ 3.8 เครื่องป้อนอนุภาคฝุ่นแบบตั้งโต๊ะ (Table Feeder)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling)



- 1 - หัวเก็บตัวอย่าง
- 2 - ส่วนลดความเร็ว
- 3 - เครื่องวัดอัตราการไหล
- 4 - ปั๊มสุญญากาศ

รูปที่ 3.9 การติดตั้งชุดเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยระบบไอโซไคเนติก

- โดย
1. หัวเก็บตัวอย่างจะทำหน้าที่สอดเข้าไปในปล่องหรือท่อ เพื่อทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น
 2. ส่วนลดความเร็ว จะเป็นส่วนที่ช่วยให้อนุภาคที่เก็บตัวอย่างมาด้วยความเร็วที่เหมาะสมก่อนผ่านสู่กระดาษกรอง
 3. เครื่องวัดอัตราการไหล เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของการเก็บตัวอย่างฝุ่น
 4. ปั๊มสุญญากาศ เป็นเครื่องที่ใช้ในการดูดเพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่น

- Cyclone Scrubber แบบอะคริลิกใสเพื่อดูปรากฏการณ์ภายใน



รูปที่ 3.10 ไซโคลนสครับเบอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ถังตกตะกอน



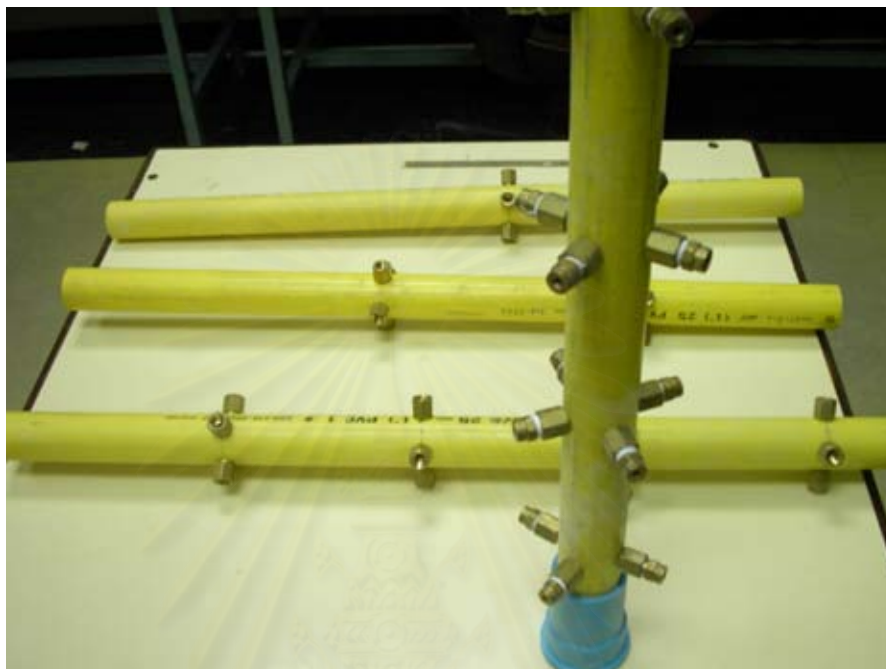
รูปที่ 3.11 ถังตกตะกอน

- ปั๊มน้ำ (Pump) เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนน้ำจากถังตกตะกอนไปสู่ชุดเครื่องเพื่อฉีดน้ำจับฝุ่นในไซโคลนสกรับเบอร์โดยปั๊มน้ำที่ใช้มีขนาด 0.5 HP



รูปที่ 3.12 ปั๊มน้ำ

- เซกเตอร์ 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีด ซึ่งหัวฉีดแบบ Full Cone มุมในการฉีด 90° อัตราการฉีดน้ำสูงสุดที่ 2.94 lit/min ที่ความดันสูงสุด 2 bar และติดตั้งหัวฉีดแบบสลับฟันปลา



รูปที่ 3.13 เซกเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.14 หัวฉีดแบบ Full Cone ที่ใช้ในการทดลอง

หมายเหตุ ข้อมูลหัวฉีดแบบ Full Cone อ้างอิงจากภาคผนวก จ.



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 สภาวะในการทดลอง

สารที่ใช้ในการทดลอง : แคลเซียมคาร์บอเนตแบบเคลือบผิว

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ความเร็วทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ (m/s)	อัตราการป้อนฝุ่น (g/s)	เฮคเตอร์ (หัวฉีด)
10	0.1238 (เครื่องป้อนรอบเบอร์ 4)	4
15	0.1736 (เครื่องป้อนรอบเบอร์ 6)	8
20	0.2106 (เครื่องป้อนรอบเบอร์ 8)	12
25	0.2348 (เครื่องป้อนรอบเบอร์ 10)	16
		20

หมายเหตุ ทำการศึกษาที่ความเร็วลม 10, 15, 20 และ 25 เมตร/วินาที ของทุกๆ อัตราการป้อนฝุ่น ที่เฮคเตอร์ 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีด

3.2.4 ขั้นตอนการทดลอง

- นำกระดาษกรองที่ดูดความชื้นแล้วไปชั่งน้ำหนักแล้วใส่ในชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไอโซไคเนติก โดยใช้กระดาษกรองทั้งหมด 3 แผ่น ณ สภาวะการทดลองหนึ่งๆ (สามารถทำซ้ำเกินกว่า 3 ครั้งได้ในกรณีที่ค่าประสิทธิภาพที่ได้แตกต่างกันมาก)
- ปรับอัตราการไหลของชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ดังนี้

ความเร็วลมทางเข้า (m/s)	อัตราการไหลของชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (lit/min)
10	19
15	28
20	38
25	47

- นำผงแคลเซียมคาร์บอเนตแบบเคลือบผิวอบในตู้อบที่ 150°C นาน 15 นาที แล้วป้อนเข้าเครื่อง Table Feeder
- ปรับรอบของเครื่องป้อนฝุ่นเป็นรอบเบอร์ 4 (อัตราการป้อนฝุ่น 0.14 g/s)

5. เปิดสวิตช์ Blower, Pump และ Feeder
6. ปรับรอบของ Inverter เพื่อปรับความเร็วลมที่ป้อนเข้าไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับแต่ละการทดลอง (ทดลองที่ 10, 15, 20 และ 25 m/s)
7. จับเวลาให้ไซโคลนสกรับเบอร์ทำงาน 10 นาที เพื่อให้เข้าสู่สภาวะคงตัว
8. เปิดสวิตช์ปั๊มของชุดเก็บตัวอย่างไอโซไคนดิก เพื่อเก็บตัวอย่างนาน 20 นาที
9. นำกระดาษกรองจากชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไปดูความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึก
10. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-9 จนครบ 3 ครั้ง
11. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-10 แต่ปรับรอบของเครื่องป้อนฝุ่นเป็น 6, 8 และ 10 รอบตามลำดับ
12. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-11 แต่เปลี่ยนความเร็วลมที่เข้าสู่ไซโคลนสกรับเบอร์ โดยการเปลี่ยนรอบของเครื่อง Inverter (ตามข้อ 2)
13. เปลี่ยนสเกลเตอร์จาก 4 หัวฉีด เป็น 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีดตามลำดับ โดยอัตราการไหลของน้ำที่ Rotameter สำหรับแต่ละสเกลเตอร์ ดังนี้

สเกลเตอร์ (หัวฉีด)	อัตราการไหลของน้ำ (lit/hr)
4	640
8	1270
12	1790
16	2350
20	2550

14. ทำการทดลองจนครบทุกสภาวะการทดลอง นำค่าน้ำหนักที่จดบันทึกไปคำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์

บทที่ 4

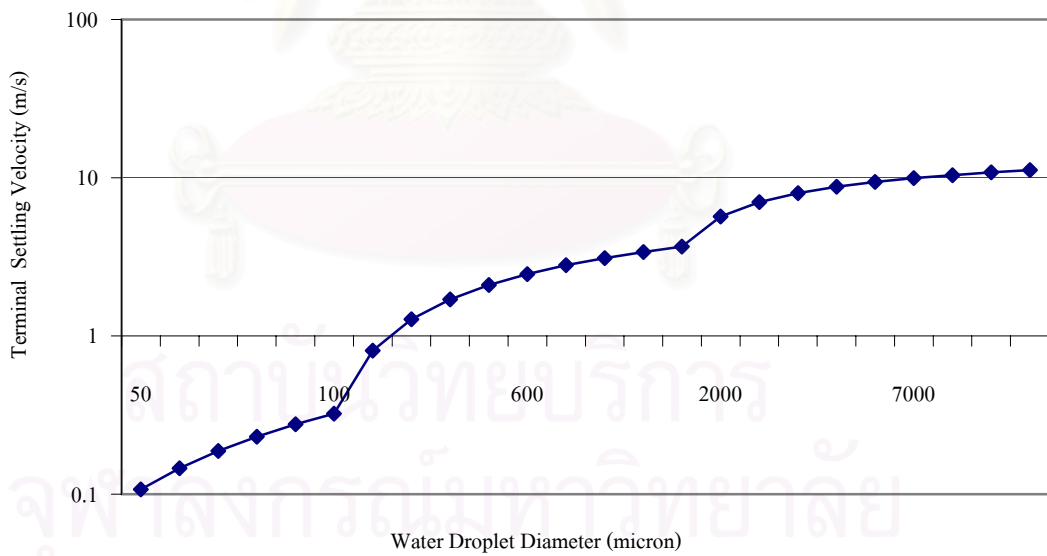
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นภายในไซโคลนสกรับเบอร์

4.1.1 อิทธิพลของความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์

ก. อิทธิพลของความเร็วลมต่อการลอยหนีของหยดน้ำ

หยดน้ำที่ตกออกมาจะตกภายใต้การกระทำของแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจากสมมูลของ Drag Force และ Gravitational Force จะมีความเร็วสุดท้ายในการตกในอากาศนี้เท่ากับ Terminal Settling Velocity ดังนั้นถ้าความเร็วที่ทางออกของก๊าซสะอาดของไซโคลนสกรับเบอร์ มีค่าสูงเกินกว่าค่า Terminal Settling Velocity ของหยดละอองน้ำที่ใช้ในการจับอนุภาคฝุ่นแล้ว จะทำให้หยดละอองน้ำถูกพัดพาให้หลุดลอยออกไปพร้อมกับก๊าซที่ผ่านการบำบัด ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ เนื่องจากอนุภาคฝุ่นที่ถูกจับจะหลุดไปพร้อมกับหยดละอองน้ำ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Terminal Settling Velocity กับหยดน้ำที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อขนาดหยดน้ำเพิ่มมากขึ้นจาก 50 ถึง 500 ไมครอน จะทำให้มีค่าความเร็วตกบั้นปลาย (Terminal Settling Velocity) ของหยดน้ำเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.1- 2.1 เมตร/วินาที อนึ่งถ้าความเร็วลมทางออกเท่ากับ 8.5 เมตร/วินาที ขนาดหยดละอองน้ำที่เล็กกว่า 750 สามารถหลุดลอยออกไปพร้อมกับความเร็วของก๊าซที่ทางออกได้

ตารางที่ 4.1 ความเร็วตรงช่องทางออกของก๊าซที่ผ่านการบำบัดของไซโคลนสกรับเบอร์

ความเร็วลมทางเข้า ไซโคลนสกรับเบอร์ (m/s)	ความเร็วช่วง ทรงกระบอก (m/s)	ความเร็วทางออก ก๊าซสะอาด (m/s)	ขนาดหยดน้ำที่สามารถลอยหนี ที่ทางออกของก๊าซสะอาด (micron)
10	1.5	4.3	< 350
15	2.3	6.4	< 550
20	3.0	8.5	< 750
25	3.8	10.7	< 1050

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ ความเร็วช่วงทรงกระบอกและความเร็วลมทางออกของก๊าซสะอาดที่มีขนาดหยดน้ำที่สามารถลอยหนีออกไปพร้อมกับก๊าซสะอาด จากการคำนวณอัตราการการไหลของอากาศในไซโคลนสกรับเบอร์ พบว่าที่ความเร็วลมทางเข้า 10 เมตร/วินาที มีความเร็วช่วงทรงกระบอกเท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที จะมีความเร็วทางออกเท่ากับ 4.3 เมตร/วินาที และมีขนาดหยดน้ำที่เล็กกว่า 350 ไมครอนสามารถลอยหนีไปพร้อมกับก๊าซที่มีความเร็วลมทางออก 4.3 เมตร/วินาที

หมายเหตุ ความเร็วลมทางเข้า 10 เมตร/วินาที เมื่อไหลเข้าตัวไซโคลนสกรับเบอร์ช่วงทรงกระบอก ความเร็วลมจะลดลงเหลือ 1.5 เมตร/วินาที หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 4.3 เมตร/วินาที ที่ปากทางออกของก๊าซสะอาด ดังนั้นในช่วงความเร็วลมช่วงทรงกระบอก 1.5 เมตร/วินาที เพิ่มเป็น 4.3 เมตร/วินาที ทำให้ขนาดหยดละอองน้ำที่มีค่า Terminal Settling Velocity น้อยกว่า 1.5 เมตร/วินาที มีโอกาสถูกพัดพาให้หลุดไปพร้อมกับก๊าซที่มีความเร็วลม 4.3 เมตร/วินาที ที่ทางออกของก๊าซสะอาด

ข. อิทธิพลของความเร็วสัมพัทธ์ต่อขนาดของหยดน้ำที่ใช้ในการจับฝุ่น

จากสมการของ Sauter Mean Drop Size (Nukiyama –Tanasawa Equation, 1938) [12]

$$2r = \frac{585}{v_R} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l}} + 597 \left(\frac{\mu_l}{\sqrt{\sigma \rho_l}} \right)^{0.45} \left(\frac{L}{G} \right)^{1.5} \quad (4.1)$$

- r คือรัศมีเฉลี่ย (ตามพื้นที่ผิว) ของหยดน้ำ (ไมโครเมตร)
 v_R คือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างของเหลวและก๊าซ (เมตร/วินาที)
 σ คือแรงตึงผิวของของเหลว (ไดน์/เซนติเมตร)
 ρ_l คือความหนาแน่นของของเหลว (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 μ_l คือความหนืดของของเหลว (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 L/G คืออัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซ (ลิตร/ลูกบาศก์เมตร)

สมการ Sauter Mean Drop Size ใช้ในกรณีที่ไม่ทราบการแจกแจงขนาดของอนุภาค (Size Distribution) และเป็นการประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในทอมของมวลต่อพื้นที่ผิว ดังนั้นในการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยนี้มีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากใช้ขนาดของหยดน้ำเฉลี่ยโดยรวม ทั้งนี้การวิเคราะห์ปัจจัยนี้ทำให้ทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยประมาณของค่าประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นด้วยไซโคลนสกรับเบอร์

การคำนวณหาความเร็วสัมพัทธ์ (v_R) ภายในไซโคลนสกรับเบอร์

$$v_R = \sqrt{(v_\theta)^2 + (v_r)^2 + (v_z)^2} \quad (4.2)$$

- v_r ความเร็วในแนวแกน r
 v_θ ความเร็วในแนวแกน θ
 v_z ความเร็วในแนวแกน z

Assume: $v_\theta = v_{Inlet \ Velocity}$: เนื่องจากลมหมุนในไซโคลนสกรับเบอร์หมุนตามแนวแกนเส้นรอบวง ดังนั้นความเร็วในแนวแกน θ นี้จึงใช้ความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์

$v_r = v_{Water\ Velocity}$: ความเร็วในแนวแกน r ใช้ความเร็วของกระแสน้ำที่ผ่านรูหัวฉีด (คำนวณได้จาก อัตราการไหลของน้ำ / พื้นที่หน้าตัดของรูหัวฉีด)

$v_z = 0$: ไม่มีความเร็วในแนวแกนนี้

จากสมการ 4.1 พบว่าความเร็วสัมพัทธ์แปรผกผันกับค่าขนาดรัศมีเฉลี่ย ดังนั้นถ้าความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์สูง ทำให้มีความเร็วสัมพัทธ์ในไซโคลนสกรับเบอร์มีค่ามาก ส่งผลให้หยดละอองน้ำที่ใช้ในการจับฝุ่นมีขนาดเล็กและมีจำนวนมากกว่าที่ความเร็วลมต่ำกว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่เท่ากัน (เฮคเตอร์ขนาดเดียวกัน) แสดงดังตารางที่ 4.2 จำนวนหยดละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากันทุกหยดเมื่อคำนวณจากสมการ 4.1 (Sauter mean diameter) จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการจับฝุ่นของไซโคลน สกรับเบอร์

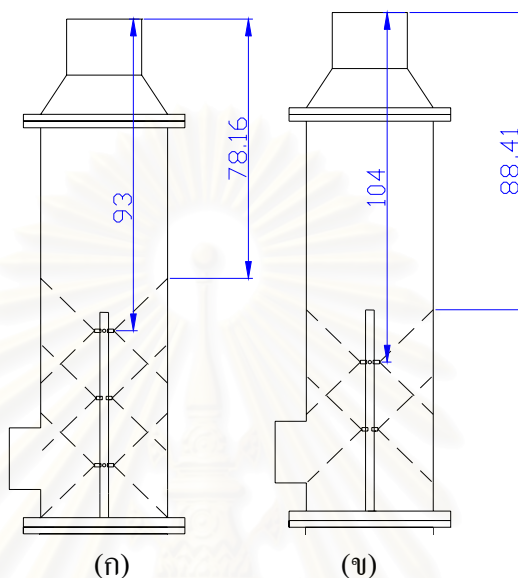
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลขนาดหยดน้ำและจำนวนหยดน้ำที่ความเร็วลมสัมพัทธ์ของเฮคเตอร์ 4 หัวฉีด

ความเร็วน้ำเมื่อผ่านหัวฉีด (m/s)	ความเร็วก๊าซ (m/s)	ความเร็วสัมพัทธ์ (m/s)	Diameter (micron)	ปริมาตรหยดน้ำ 1 หยด (m ³)	จำนวนหยด/วินาที
16.53	10	19.32	259	9.07092E-12	19,599,251
16.53	15	22.32	224	5.88227E-12	30,223,580
16.53	20	25.95	193	3.74543E-12	47,466,716
16.53	25	29.97	167	2.43056E-12	73,144,993

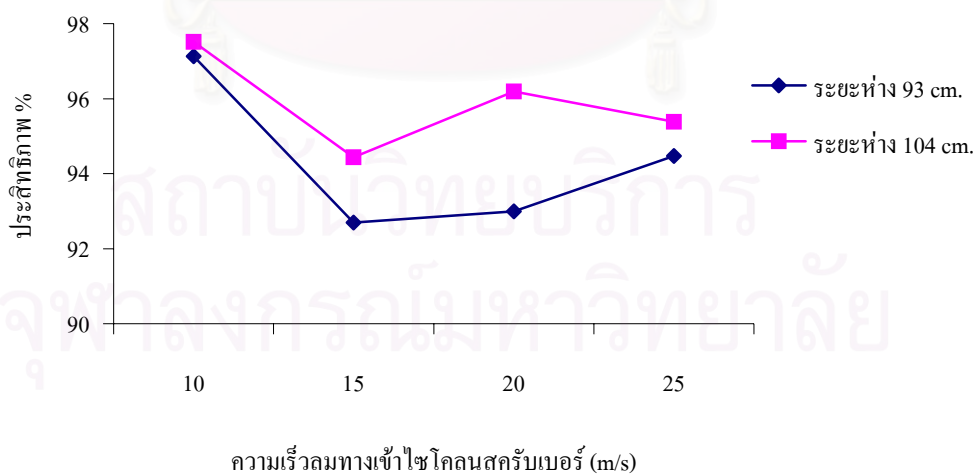
จากตารางที่ 4.2 กรณีเฮคเตอร์ 4 หัวฉีด พบว่าเมื่อความเร็วลมทางเข้าสูงขึ้นจาก 10 เมตร/วินาที ถึง 25 เมตร/วินาที ขนาดหยดละอองน้ำที่ได้มีขนาดเล็กลงจาก 259 ไมโครเมตรถึง 167 ไมโครเมตร และมีจำนวนหยดต่อวินาทีเพิ่มขึ้นจาก 19,599,251 หยด/วินาที ถึง 73,144,993 หยด/วินาที (อ้างอิงจากภาคผนวก ฉ.)

4.1.2 ตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด

4.1.2.1 ระยะห่างจากปลายหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซสะอาด



รูปที่ 4.2 สัดส่วนของระยะห่างระหว่างตำแหน่งสุดท้ายของการติดตั้งหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซสะอาดที่ระยะ 93 และ 104 เซนติเมตร

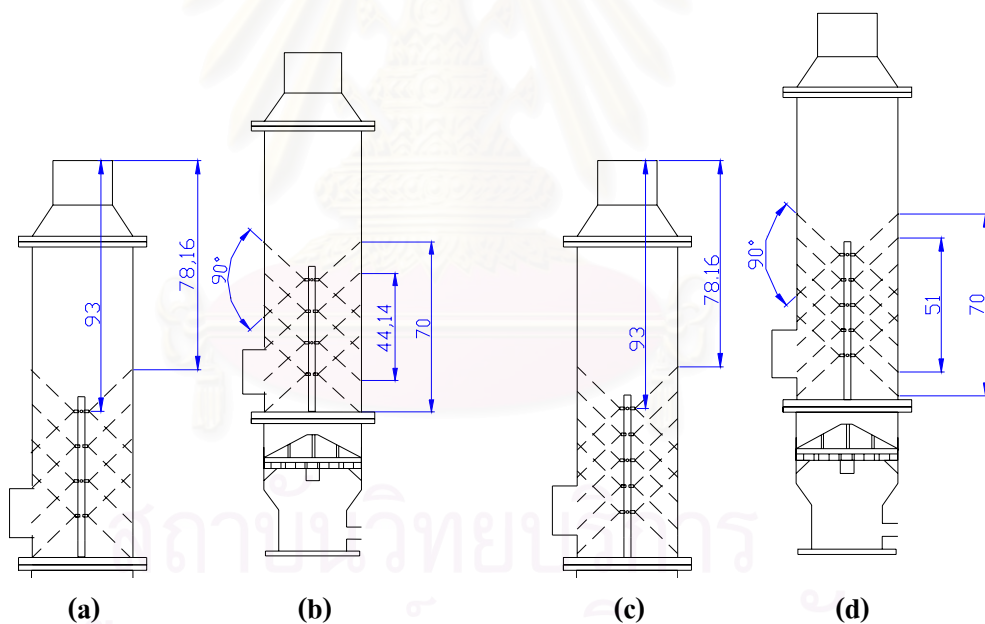


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ที่ระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซสะอาดต่างๆ

รูปที่ 4.2 แสดงสัดส่วนระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงปากทางออกก๊าซสะอาด (ก) เสดเดอร์ 12 หัวฉีด ซึ่งมีระยะห่าง 93 เซนติเมตร (ข) เสดเดอร์ 8 หัวฉีด ซึ่งมีระยะห่าง 104 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.3 พบว่าการติดตั้งหัวฉีดโดยระยะห่างจากตำแหน่งสุดท้ายของการติดตั้งหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซสะอาดมีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลน สกรับเบอร์ โดยจากรูปแสดงให้เห็นว่าระยะห่างมาก มีประสิทธิภาพการจับฝุ่นสูงกว่าที่ระยะห่างน้อย ทั้งนี้ เนื่องจาก ที่ระยะห่างน้อย มีตำแหน่งหัวฉีดอยู่ใกล้กับปากทางออกของก๊าซมากกว่า จึงมีโอกาสที่หยดละอองน้ำเมื่อหลุดออกจากหัวฉีดจะถูกพัดพาให้หลุดลอยไปพร้อมกับกระแสก๊าซมีมากกว่า อีกทั้งระยะเวลาที่หยดละอองน้ำจะสามารถจับฝุ่นในไซโคลนสกรับเบอร์มีน้อยกว่า

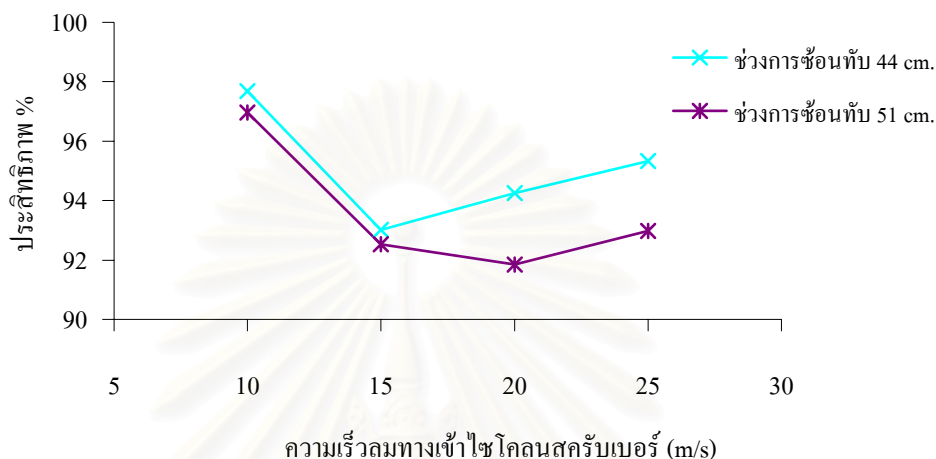
4.1.2.2 ช่วงระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำที่ออกจากหัวฉีด



รูปที่ 4.4 ระยะห่างจากหัวฉีดปากทางออกก๊าซสะอาดและ ช่วงระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด

รูปที่ 4.4 แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงการซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด โดยมีระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงระยะปากทางออกของก๊าซสะอาดเท่ากัน คือ เสดเดอร์ 16 หัวฉีด (a) ซึ่งมีระยะห่าง 93 เซนติเมตร, (b) ซึ่งมีการซ้อนทับของหยดละอองน้ำ 44 เซนติเมตร :

เฮดเดอร์ 20 หัวฉีด (c) ซึ่งมีระยะห่าง 93 เซนติเมตร, (d) ซึ่งมีการซ้อนทับของหยดละอองน้ำ 51 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ที่ระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำ 44 และ 51 cm ของเฮดเดอร์ 16 และ 20 หัวฉีด

กราฟรูปที่ 4.5 แสดงความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นที่ระยะการซ้อนทับ 44 และ 51 เซนติเมตร ของเฮดเดอร์ 16 และ 20 หัวฉีดตามลำดับ โดยมีระยะห่างจากหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซเท่ากัน พบว่าที่ระยะการซ้อนทับกัน (Overlap) ของหยดละอองน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ โดยจากกราฟแสดงช่วงการซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำที่ 51 เซนติเมตรของเฮดเดอร์ 20 หัวฉีด มีประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นลดต่ำกว่าช่วงการซ้อนทับที่ 44 เซนติเมตร ของเฮดเดอร์ 16 หัวฉีด ทั้งนี้เนื่องมาจาก หยดละอองน้ำที่ออกจากหัวฉีดมีช่วงการซ้อนทับกันระหว่างหัวฉีดยิ่งมาก ทำให้โอกาสรวมตัวเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่สูง ซึ่งส่งผลต่อการจับอนุภาคฝุ่นในไซโคลน สกรับเบอร์



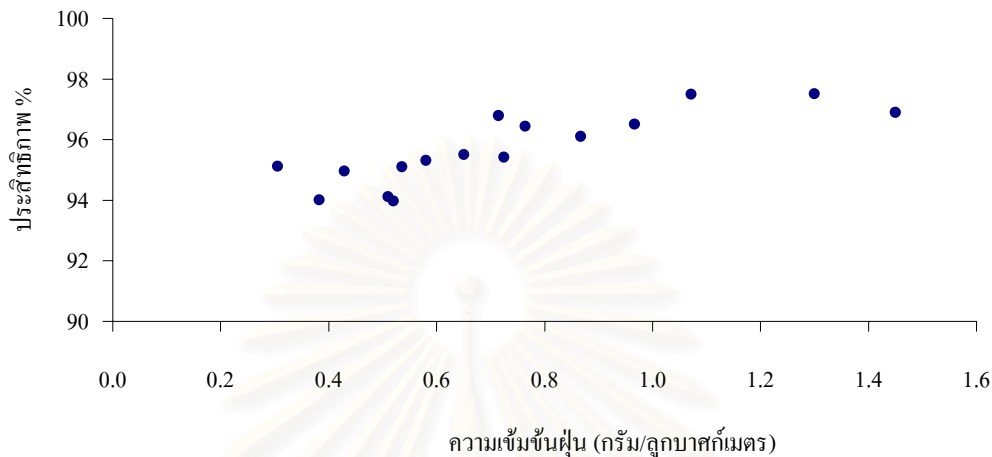
รูปที่ 4.6 การซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำที่ออกมาจากสเปคเตอร์ 20 หัวฉีด

จากรูปที่ 4.6 แสดงการซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำของสเปคเตอร์ 20 หัวฉีด โดยมีระยะห่างการติดตั้งหัวฉีดน้อยกว่าช่วงการกระจายหยดละอองน้ำแต่ละหัวฉีด ทำให้หยดละอองน้ำที่ออกจากหัวฉีดมีโอกาสรวมตัวเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่มีมาก

หมายเหตุ จากงานวิจัยสามารถ พรเจริญ [9] พบว่าตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดแบบสลับฟันปลาจะมีผลให้ประสิทธิภาพการจับประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับ การติดตั้งแบบในแนวเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

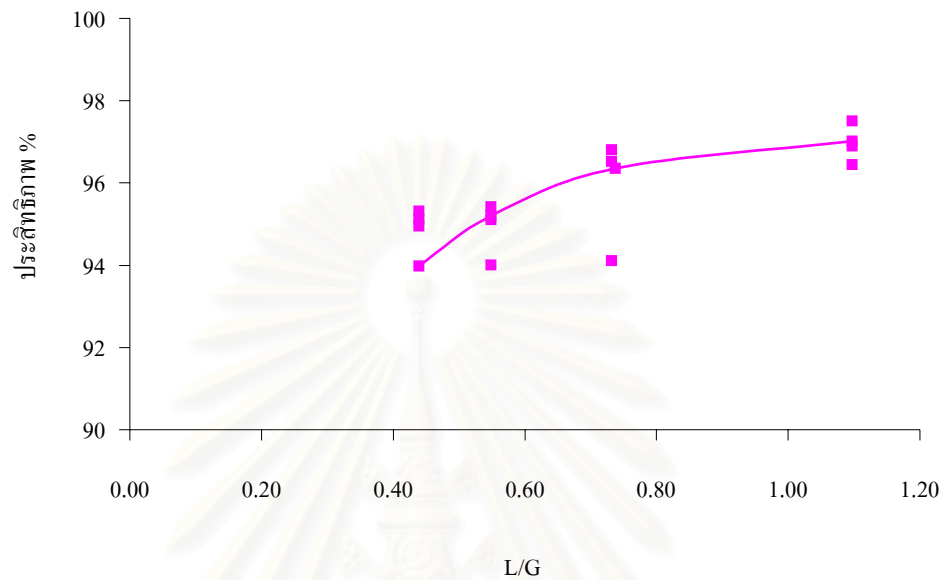
4.1.3 ความเข้มข้นฝุ่น



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเข้มข้นฝุ่นของเฮคเตอร์ 4 หัวฉีด

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับค่าความเข้มข้นฝุ่นของเฮคเตอร์ 4 หัวฉีด อัตราการไหลของน้ำ 10.67 lit/min จากกราฟพบว่าที่ความเข้มข้นต่ำ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นฝุ่นมากขึ้น ประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสครับเบอร์มีค่าสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นฝุ่นเพิ่มสูงเกินกว่า 1 กรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่าเส้นประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสครับเบอร์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ เนื่องอัตราการไหลของน้ำคงที่ ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นฝุ่นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้จับฝุ่นต่อจำนวนอนุภาคฝุ่นลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการจับฝุ่นเพิ่มสูงในช่วงความเข้มข้นต่ำ และความสัมพันธ์กราฟประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น วิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยด้านความเข้มข้นฝุ่นแปรผันตรงกับประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสครับเบอร์ โดยปัจจัยนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นที่ความเข้มข้นต่ำมากกว่าที่ความเข้มข้นสูง และผลกระทบของปัจจัยด้านความเข้มข้นฝุ่นนี้มีไม่มากนักเนื่องจากกราฟที่ได้มีความชันน้อย

4.1.4 อัตราส่วนน้ำต่ออากาศ (L/G)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์กับ L / G ของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีด

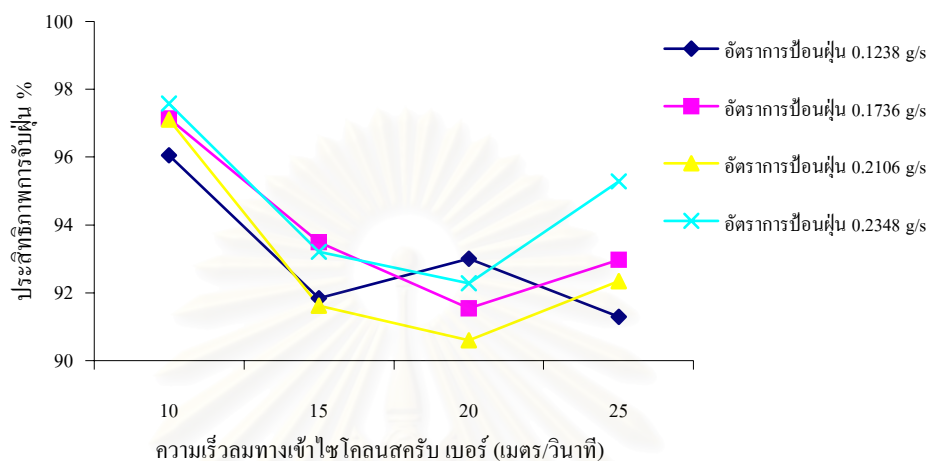
จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับค่า L / G (lit H₂O/ m³ air) ของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีด จากกราฟมีประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นเพิ่มขึ้นตามค่า L/G ที่สูงขึ้น เนื่องจากค่า L/G คืออัตราส่วนของน้ำที่ใช้จับฝุ่นต่อปริมาณอากาศที่มีฝุ่น ดังนั้นที่ค่า L/G

สูงแสดงถึงปริมาณน้ำที่ใช้จับฝุ่นต่อปริมาณอากาศ 1 หน่วยปริมาตรมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการจับฝุ่นสูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

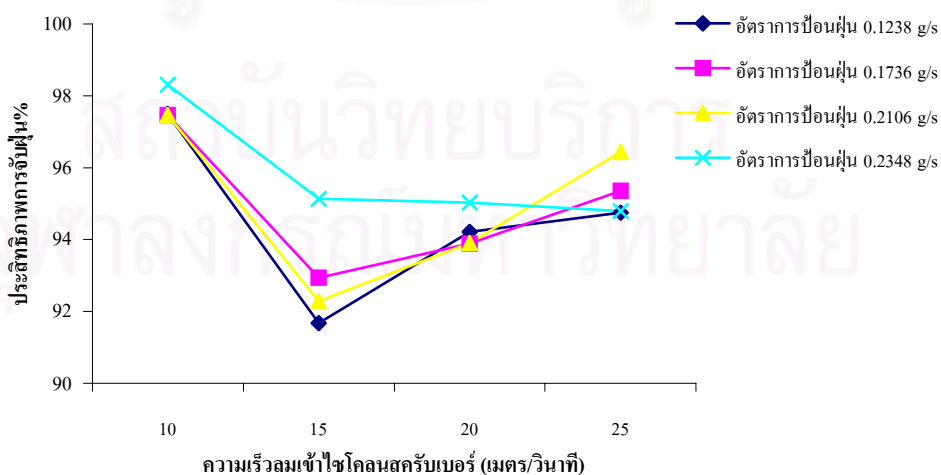
4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลองที่เฮดเดอร์จำนวนหัวฉีดต่างๆ

4.2.1 ผลการทดลองที่เฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ



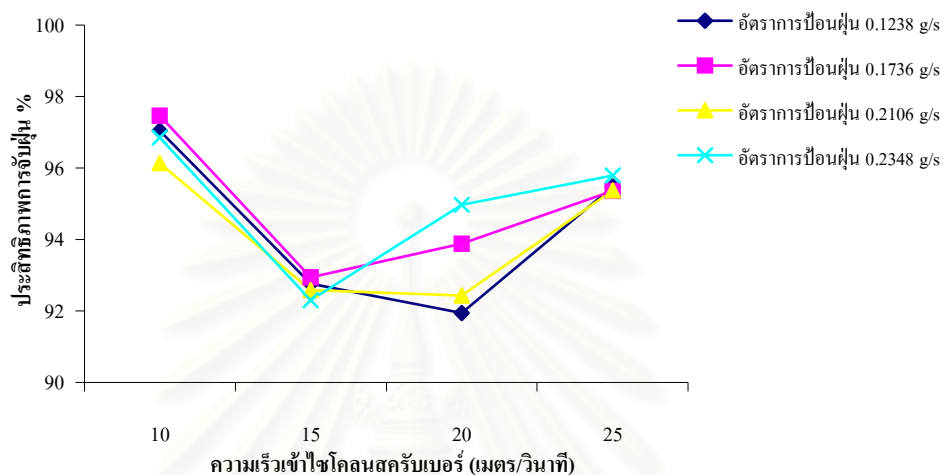
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 20 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 20 หัวฉีด อัตราการไหลของน้ำ 42.5 lit/min ประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 90.59 - 97.14 %



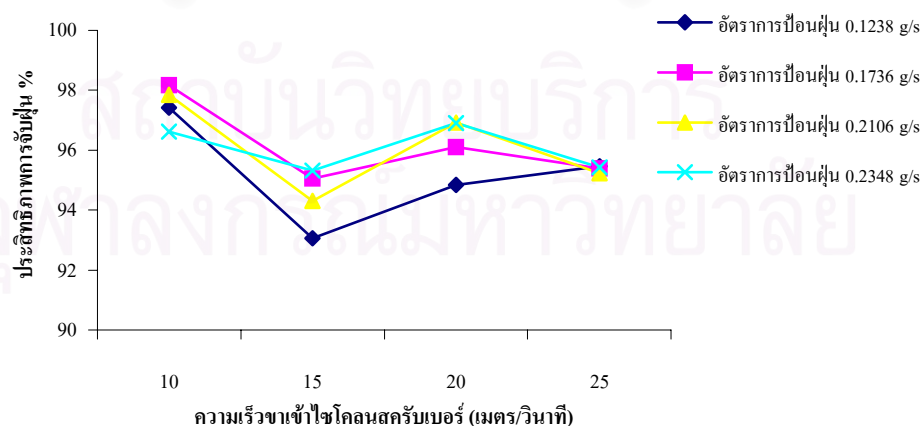
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเดอร์ 16 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเคอร์ 16 หัวฉีด อัตราการไหลของน้ำ 39.17 lit/min ประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 91.68 - 98.31 %



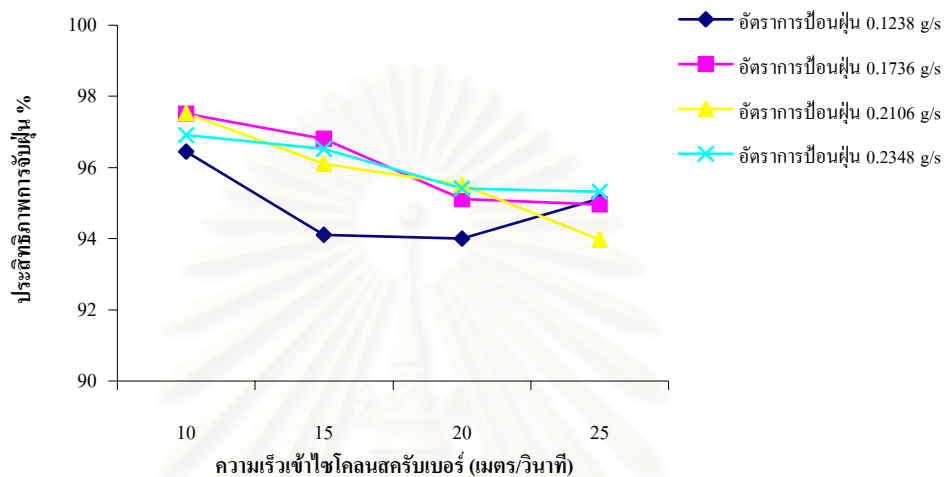
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเคอร์ 12 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเคอร์ 12 หัวฉีด อัตราการไหลของน้ำ 29.83 lit/min ประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 91.94 - 97.04 %



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮดเคอร์ 8 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ

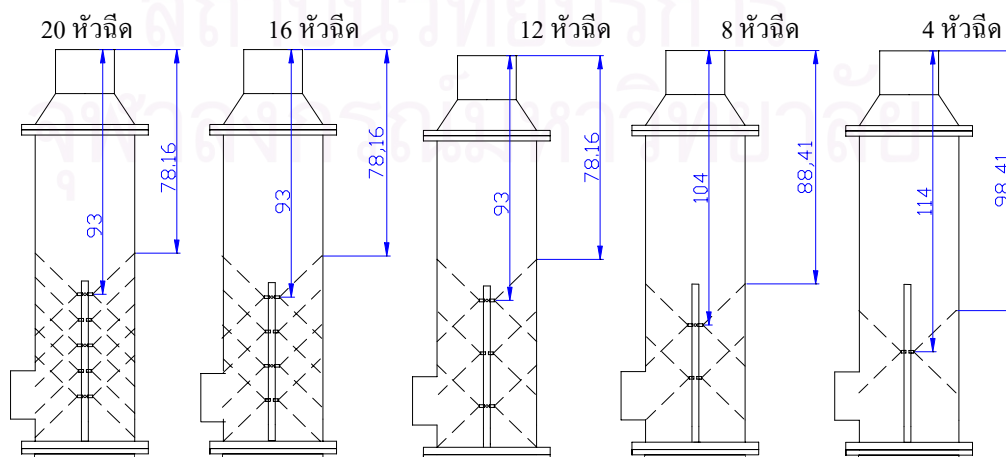
จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮคเตอร์ 8 หัวฉีด อัตราการไหลของน้ำ 21.17 lit/min ประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 93.05 - 98.17 %



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮคเตอร์ 4 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ

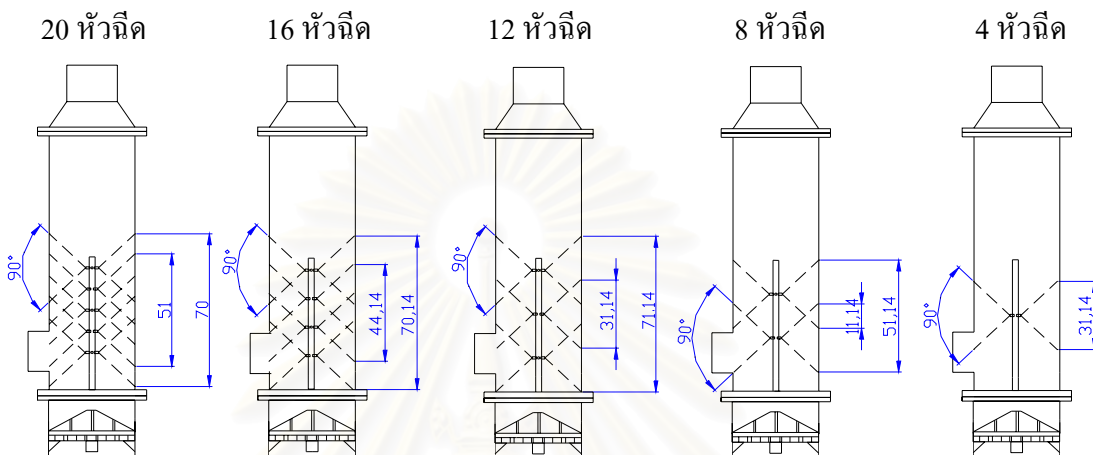
จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเฮคเตอร์ 4 หัวฉีด อัตราการไหลของน้ำ 10.67 lit/min ประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 93.97 - 97.52 %

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่เฮคเตอร์หัวฉีดต่างๆ



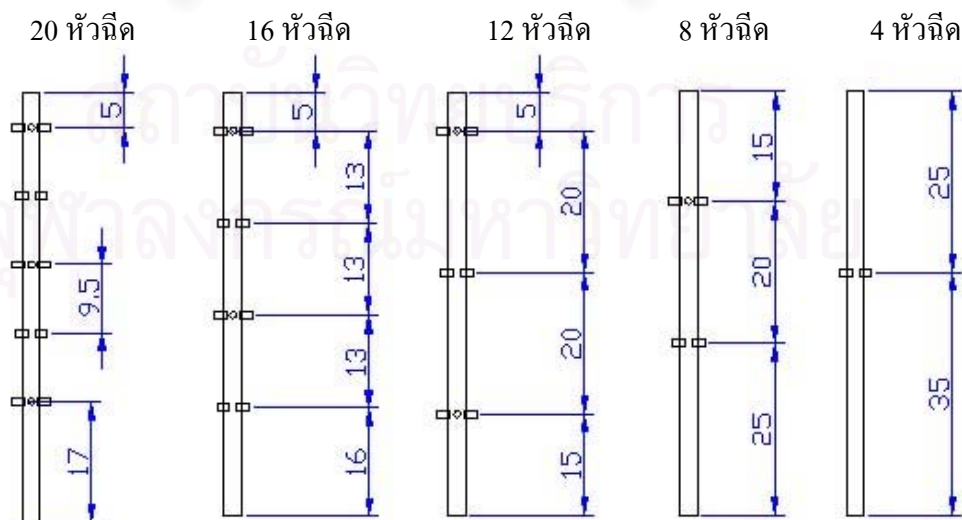
รูปที่ 4.14 ระยะห่างระหว่างตำแหน่งสุดท้ายของการติดตั้งหัวฉีดกับปากทางออกของก๊าซสะอาด

จากรูปที่ 4.14 แสดงระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงปากทางออกของก๊าซสะอาดที่
 เฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ : เฮดเดอร์ 20, 16 และ 12 หัวฉีดมีระยะห่าง 93 เซนติเมตร : เฮดเดอร์ 12 หัวฉีด
 มีระยะห่าง 104 เซนติเมตร : เฮดเดอร์ 4 หัวฉีดมีระยะห่าง 114 เซนติเมตร



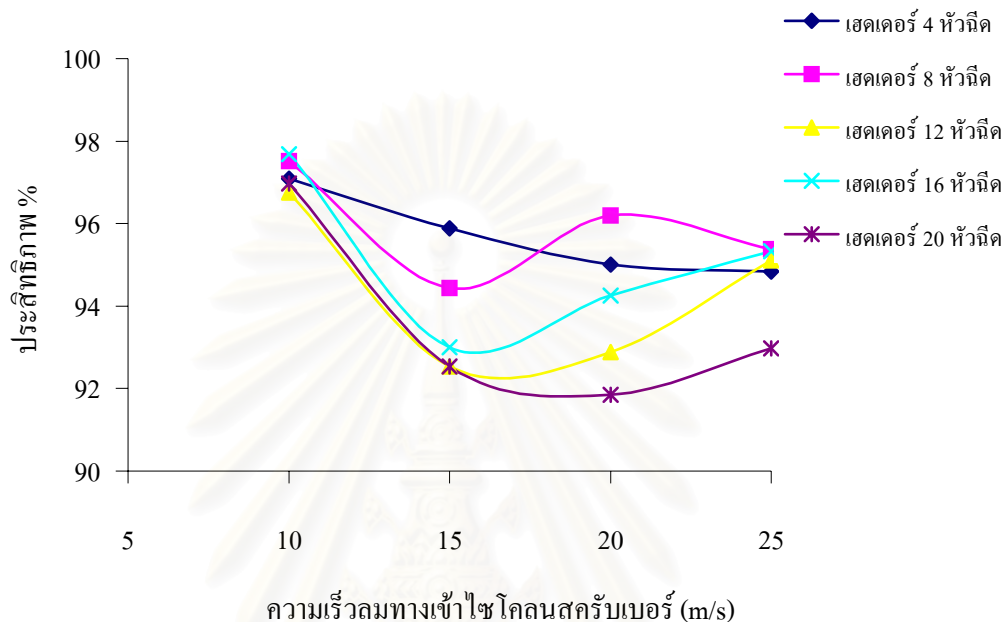
รูปที่ 4.15 ช่วงระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด

จากรูปที่ 4.15 แสดงช่วงระยะการซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด มีมุมการฉีดน้ำ
 90 องศา : เฮดเดอร์ 20 หัวฉีดมีช่วงระยะการซ้อนทับ 51 เซนติเมตร : เฮดเดอร์ 16 หัวฉีดมีช่วงระยะ
 การซ้อนทับ 44 เซนติเมตร : เฮดเดอร์ 12 หัวฉีดมีช่วงระยะการซ้อนทับ 31 เซนติเมตร : เฮดเดอร์ 8
 หัวฉีดมีช่วงระยะการซ้อนทับ 11 เซนติเมตร : เฮดเดอร์ 4 หัวฉีดไม่มีช่วงระยะการซ้อนทับเพราะ
 ติดตั้งหัวฉีด 1 แถว



รูปที่ 4.16 การติดตั้งหัวฉีดในท่อเฮดเดอร์ 20, 16, 12, 8 และ 4 หัวฉีด

จากรูปที่ 4.16 แสดงตำแหน่งและระยะห่างการติดตั้งหัวฉีดในสเตเดออร์ 20, 16, 12, 8 และ 4 หัวฉีด ตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดแบบสลับพื้นปลา และหัวฉีดแบบชนิด Full Cone, มุม 90°



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นเฉลี่ยกับความเร็วมทางเข้าไซโคลน สกรับเบอร์ของสเตเดออร์ต่างๆ

จากรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจับฝุ่นกับความเร็วมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของสเตเดออร์หัวฉีดต่างๆ ประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยเฉลี่ย : สเตเดออร์ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 94.84– 97.09 % : สเตเดออร์ 8 มีค่าอยู่ในช่วง 94.43 – 97.51 % : สเตเดออร์ 12 มีค่าอยู่ในช่วง 92.54 – 96.75 % : สเตเดออร์ 16 มีค่าอยู่ในช่วง 93 – 97.68 % : สเตเดออร์ 20 มีค่าอยู่ในช่วง 91.85 – 96.97 %

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลหยดน้ำที่ได้จากเฮดเดอร์หัวฉีดต่างๆ

ความเร็ว ก๊าซ ทางเข้า (m/s)	เฮดเดอร์ 4 หัวฉีด		เฮดเดอร์ 8 หัวฉีด		เฮดเดอร์ 12 หัวฉีด		เฮดเดอร์ 16 หัวฉีด		เฮดเดอร์ 20 หัวฉีด	
	Diameter	จำนวนหยด	Diameter	จำนวนหยด	Diameter	จำนวนหยด	Diameter	จำนวนหยด	Diameter	จำนวนหยด
	(micron)	/วินาที	(micron)	/วินาที	(micron)	/วินาที	(micron)	/วินาที	(micron)	/วินาที
10	259	19,599,251	259	38,891,661	272	47,125,537	275	59,891,628	302	48,978,016
15	224	30,223,580	224	59,973,987	232	75,588,653	234	96,919,294	250	86,125,806
20	193	47,466,716	193	94,190,304	198	122,311,500	199	157,854,059	209	148,676,139
25	167	73,144,993	167	145,144,845	170	192,467,194	171	249,512,708	177	244,242,733

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลของหยดละอองน้ำจากเฮดเดอร์ 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีดเมื่อความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสครับเบอร์สูงขึ้น หยดละอองน้ำที่ได้จากเฮดเดอร์หัวฉีดมีขนาดเล็กและขนาดหยดละอองน้ำเมื่อเทียบแต่ละหัวฉีดที่ความเร็วลมทางเข้าเท่ากัน พบว่า ขนาดหยดจากเฮดเดอร์ 4 หัวฉีด เล็กกว่าขนาดหยดจากเฮดเดอร์ 20 หัวฉีด เนื่องจาก ความดันต่อหัวฉีดของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีดมีค่ามากกว่า 20 หัวฉีดถึง 0.45 บาร์ (อ้างอิงจากภาคผนวก ข)

วิเคราะห์กราฟจากรูปที่ 4.17

เฮดเดอร์ 4 หัวฉีด : จากรูปที่ 4.17 เส้นกราฟประสิทธิภาพของเฮดเดอร์ 4 หัวฉีดมีค่าลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมทางเข้าเพิ่มขึ้นจาก 10 – 25 เมตร/วินาที ส่งผลให้หยดละอองน้ำมีขนาดเล็กและจำนวนเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.4 ทำให้การหยดละอองน้ำหลุดลอยออกไปพร้อมกับก๊าซที่ทางออกของก๊าซสะอาด ทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสครับเบอร์เพิ่มขึ้น

เฮดเดอร์ 8 หัวฉีด : จากรูปที่ 4.17 เส้นกราฟประสิทธิภาพมีค่าสูงที่สุดที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที หลังจากนั้นลดลงที่ 15 เมตร/วินาที แล้วสลับกลับไปเพิ่มที่ 20 เมตร/วินาที และลดที่ 25 เมตร/วินาที เนื่องจากที่จากความเร็วลม 10-15 เมตร/วินาที อิทธิพลความเร็วลมที่มีผลต่อการลอยหนีของหยดละอองน้ำมีผลมากกว่าทำให้ประสิทธิภาพลดลง ในช่วงความเร็วลม 15-20 เมตร/วินาที ความเร็วลมทางเข้าเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์เพิ่ม ส่งผลให้ขนาดหยดละอองน้ำมีขนาดเล็กและมีจำนวนมากขึ้น ถึงแม้ว่าหยดละอองน้ำที่ได้จะมีโอกาสถูกพัดให้ลอยไปพร้อมกับก๊าซที่ทางออกมากก็ตาม แต่ทั้งนี้จำนวนหยดละอองน้ำที่จับฝุ่นเพิ่มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในช่วงนี้สูงขึ้น และ

ในช่วงความเร็วลม 20 - 25 เมตร/วินาที รับอิทธิพลของความเร็วลมต่อการลอยหนีมากกว่าจำนวนหยดน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของความเร็วลมแล้ว เฮดเดอร์ 8 หัวฉีดได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การซ้อนทับของหยดละอองน้ำ ระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงปากทางออกก๊าซสะอาด ความเข้มข้น และค่า L/G อาจมีผลทำให้การวิเคราะห์หาค่าคลื่อนได้

เฮดเดอร์ 12 หัวฉีด : จากรูปที่ 4.17 พบว่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นมีค่าสูงที่ 10 เมตร/วินาที หลังจากนั้นประสิทธิภาพลดลงที่ 15 เมตร/วินาที และกลับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ที่ 20, 25 เมตร/วินาทีตามลำดับ เนื่องจากที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาทีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เพราะช่วงนี้การหลุดลอยหนีของหยดละอองน้ำไม่มากนัก เพราะความเร็วลมที่ทางออกของก๊าซสะอาดต่ำที่สุด หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วลมทางเข้า 15 เมตร/วินาที ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นหยดละอองน้ำจึงมีขนาดเล็กและมีจำนวนเพิ่มขึ้น แต่มีความเป็นไปได้ว่าหยดน้ำที่เล็กและเพิ่มขึ้นนี้ถูกพัดพาให้หลุดลอยไปพร้อมกับก๊าซที่ทางออกมากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพลดลง และเมื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้นเป็น 20, 25 เมตร/วินาที หยดละอองน้ำมีขนาดเล็กและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในช่วงนี้กราฟประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากช่วงความเร็วนี้ ปัจจัยด้านขนาดและจำนวนหยดละอองน้ำมีผลมากกว่าการลอยหนีของหยดละอองน้ำ แต่ทั้งนี้เฮดเดอร์ 12 หัวฉีดนี้ได้รับผลจากปัจจัยด้าน การซ้อนทับของหยดละอองน้ำ และ ระยะห่างจากตำแหน่งปลายหัวฉีดถึงปากทางออกก๊าซสะอาด อาจมีผลทำให้การวิเคราะห์หาค่าคลื่อนได้

เฮดเดอร์ 16 หัวฉีด : จากรูปที่ 4.17 พบว่าลักษณะกราฟประสิทธิภาพเหมือนกับเฮดเดอร์ 12 หัวฉีด ซึ่งผลกระทบแต่ละช่วงของความเร็วลมน่าจะมีลักษณะเหมือนกับเฮดเดอร์ 12 หัวฉีด แต่ทั้งนี้ เฮดเดอร์ 16 หัวฉีดมีค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 95.54% สูงกว่า เฮดเดอร์ 12 หัวฉีดที่มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 94.64 % ทั้งนี้เนื่องมาจากเฮดเดอร์ 16 หัวฉีด ได้รับปัจจัยด้านการซ้อนทับของหยดละอองน้ำมีมากกว่า 13 เซนติเมตร ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดเกิดการซ้อนทับกันและรวมเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่า Terminal Setting Velocity ของหยดน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เฮดเดอร์ 16 หัวฉีดได้รับผลกระทบของปัจจัยลอยหนีของหยดละอองน้ำน้อยกว่าที่เฮดเดอร์ 12 หัวฉีด ประสิทธิภาพจึงดีกว่า

เฮดเดอร์ 20 หัวฉีด : จากรูปที่ 4.17 พบว่าลักษณะกราฟประสิทธิภาพเหมือนกับเฮดเดอร์ 12 หัวฉีด และ 16 หัวฉีด ซึ่งผลกระทบแต่ละช่วงของความเร็วลมน่าจะมีลักษณะเหมือนกัน เพียงแต่กราฟประสิทธิภาพเฉลี่ยของเฮดเดอร์ 20 หัวฉีด (94.41%) ต่ำกว่าที่ 12 หัวฉีด (94.64 %)

และ 16 หัวฉีด (95.54 %) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเสดเดอร์ 20 หัวฉีดนี้ได้รับผลกระทบจากการ
ซ้นทับของหยดละอองน้ำมากที่สุด 51 เซนติเมตร และมีระยะห่างจากตำแหน่งสุดท้ายของหัวฉีด
ใกล้กับทางออกของก๊าซเสดอากาศมาก (93 เซนติเมตร) ทำให้ถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณน้ำในการจับฝุ่น
มากแต่ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าเสดเดอร์อื่นๆ ที่ใช้ปริมาณน้ำในการจับฝุ่นน้อยกว่า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

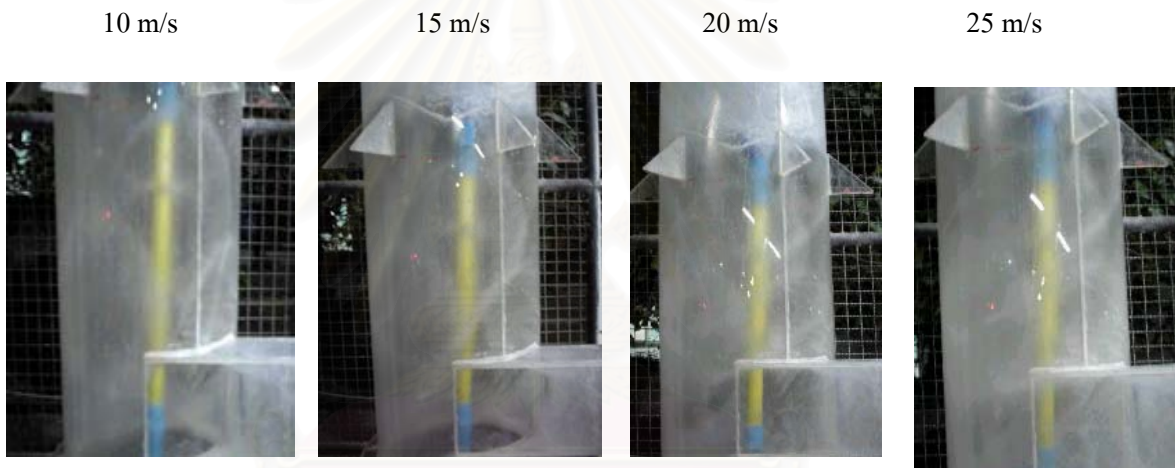
บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์

ความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่น ปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาคือ การซ้อนทับของหยดละอองน้ำ จำนวนหยดละอองน้ำ ตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด และความเข้มข้นฝุ่น



รูปที่ 5.1 การไหลวนภายในไซโคลนสกรับเบอร์ ที่ความเร็วลมทางเข้าต่างๆ ของเฮดเดอร์ 8 หัวฉีด

จากรูปที่ 5.1 พบว่า ความเร็วลมยิ่งมาก การไหลแบบปั่นป่วนภายในไซโคลนสกรับเบอร์ ยิ่งสูง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที สังเกตเห็นวงของการซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดได้คร่าวๆ ที่ความเร็วลม 15 เมตร/วินาที พบว่า วงของการซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำชัดเจนขึ้น ส่วนที่ความเร็วลม 20 เมตร/วินาที เริ่มเห็นกระแสการไหลวนภายในไซโคลนสกรับเบอร์และสังเกตเห็นวงของการซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำอย่างคร่าวๆ และที่ความเร็วลม 25 เมตร/วินาที เห็นกระแสไหลวนภายในไซโคลนสกรับเบอร์ได้อย่างชัดเจน และไม่สามารถเห็นการซ้อนทับกันของหยดละอองน้ำจากหัวฉีดได้

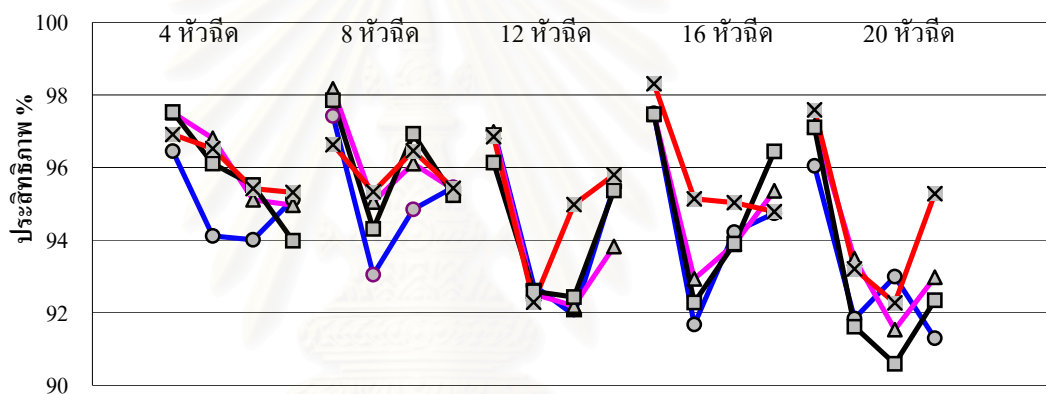
5.1.2 กลไกการจับฝุ่น

กลไกที่ใช้ในการเก็บฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์นี้มี 2 กลไกหลักคือ

1. กลไกการจับแบบไซโคลน มีกลไก แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) และ แรงโน้มถ่วง (Gravity Force)

2. กลไกการจับฝุ่นด้วยหยดน้ำแบบสกรับมีกลไกหลักคือ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Impaction by Inertia) ส่วนกลไกการสกัดกั้น (Interception) การแพร่ (Diffusion) เป็นกลไกเสริม

5.1.3 เซกเตอร์ที่เลือกใช้งานจริง



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นกับความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ของเซกเตอร์ 4, 8, 12, 16 และ 20 หัวฉีดที่อัตราการป้อนฝุ่นต่างๆ

ตารางที่ 5.1 อัตราการไหลของน้ำแต่ละเซกเตอร์หัวฉีด

เซกเตอร์	L(lit/min)
4 หัวฉีด	10.67
8 หัวฉีด	21.17
12 หัวฉีด	29.83
16 หัวฉีด	39.17
20 หัวฉีด	42.50

- อัตราการป้อนฝุ่น 0.1238 g/s
- ▲ อัตราการป้อนฝุ่น 0.1736 g/s
- อัตราการป้อนฝุ่น 0.2106 g/s
- ⊗ อัตราการป้อนฝุ่น 0.2348 g/s

จากรูปที่ 5.2 พบว่าเสดเคอร์ 4 หัวฉีดมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 93.97 – 97.52 % คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ย 95.75 % ซึ่งมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเสดเคอร์อื่นๆ (8 หัวฉีด 95.61 %, 12 หัวฉีด 94.65 %, 16 หัวฉีด 95.54 % และ 20 หัวฉีด 94.41%) และใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด 10.67 lit/min เมื่อเทียบเสดเคอร์อื่นๆ ดังตารางที่ 5.1

กราฟประสิทธิภาพของเสดเคอร์ 4 หัวฉีดจากรูป 5.2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันและมีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเสดเคอร์อื่นๆ เนื่องจากได้รับอิทธิพลหลักจากความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์โดยส่วนมาก และตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดอยู่ในแนวเดียวกันทำให้ไม่เกิดการช้อนทับกับของหยดละอองน้ำที่ออกจากหัวฉีด อีกทั้งการหลุดลอดของหยดละอองน้ำที่ใช้จับฝุ่นออกไปพร้อมกับกระแสก๊าซทางออกมีน้อยกว่าเสดเคอร์อื่นๆ เพราะมีระยะตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดอยู่ห่างจากปากทางออกของก๊าซสะอาดมากที่สุด อนึ่งประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ที่ได้จากการทดลองนี้เหมาะสมสำหรับขนาดอนุภาคฝุ่นอยู่ในช่วง 0.05 – 22.5 ไมครอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ในการออกแบบไซโคลนสกรับเบอร์นี้ สามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นได้ดีขึ้นโดยการลดผลกระทบต่างๆ ที่มีผลต่อปัจจัยการจับเก็บฝุ่นของไซโคลนสกรับเบอร์ เช่น

1. ออกแบบให้ตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำอยู่ห่างจากปากทางออกก๊าซสะอาด เพื่อลดโอกาสที่หยดละอองน้ำจะถูกพัดพาไปพร้อมกับกระแสก๊าซ
2. ติดหัวฉีดน้ำในระยะที่ห่างกันพอที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการช้อนทับกันของหยดละอองน้ำที่ออกมาจากหัวฉีด
3. ทำการออกแบบในส่วนของทรงกระบอกให้ยาวขึ้นเพื่อเพิ่มระยะเวลาให้หยดน้ำได้จับฝุ่นเพิ่มมากขึ้นและเป็นการเพิ่มโมเมนตัมให้กับหยดละอองน้ำมากขึ้นเพื่อช่วยในการแยกหยดน้ำออกจากก๊าซ
4. ขยายปากทางออกของก๊าซสะอาดเพิ่มขึ้นเพื่อให้ความเร็วลมทางออกของก๊าซสะอาดลดลง ทำให้ลดการลอยหนีของหยดละอองน้ำที่ใช้การจับฝุ่น

อนึ่งในการตรวจวัดประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นนั้น โดยหลักการจะทำการวัดความเข้มข้นฝุ่นของอากาศแห่งที่เข้าและออกจากชุดอุปกรณ์ การทดลองชุดอุปกรณ์ไซโคลนสกรับเบอร์ ในรายงานนี้ ทางออกของก๊าซสะอาดจะมีหยดละอองน้ำขนาดเล็กที่ใช้ในการจับฝุ่นปนออกมาพร้อมกับก๊าซสะอาด

อีกวิธีหนึ่งสำหรับการลดหยดละอองน้ำที่ลอยหลุดออกมาพร้อมกับก๊าซสะอาด คือ การติดไซโคลน หรือ ติด Mist Eliminator ที่ทางออกของสกรับเบอร์ เพื่อกำจัดหยดละอองน้ำที่ออกมาพร้อมกับก๊าซสะอาด จะได้อากาศแห่งที่สามารถทำการวัดความเข้มข้นเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพได้ต่อไป แต่เนื่องจากการติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังกล่าว ประสิทธิภาพที่วัดได้อาจไม่ใช่ค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของไซโคลนสกรับเบอร์เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์คัดแยกหยดน้ำเพื่อให้ได้อากาศแห่งอาจทำให้ฝุ่นที่มาพร้อมกับก๊าซเกิดการคัดแยกด้วยเช่นกัน

หมายเหตุ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การชั่งน้ำหนักกระดวยกรองที่อบแห้งก่อนและหลังทำการทดลอง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ผลที่ได้จากการทดลองคำนวณประสิทธิภาพอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากการชั่งน้ำหนัก ซึ่งมีเลขนัยสำคัญสี่ตำแหน่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Horn, H.G., Bonka, H., Gerhards, E., Hieronimus, B., Kalinowski, M., Kranz, L. and Maqua, M.. Collection Efficiency of Aerosol Particles by Raindrops. J. Aerosol Science. (1988) : Vol. 19, No.7: 855-858
- [2] Krames, J., Buttner, H.. A High Efficiency Wet Separator. Chemical Engineering & Technology. (1994) : Vol 17, (Apr 1994): 73-80
- [3] Hesketh, H.E., Predict particle collection in spray towers. Chemical Engineering Progress. 6. (1995) :98 –100
- [4] วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล. เรื่องการแก้ไขปัญหามลภาวะจากการทำเหมืองหินและโรงโม่หินกรณีศึกษาโครงการการแก้ไขปัญหามลภาวะจากอุตสาหกรรม หินก่อสร้างในพื้นที่ทดลอง ต.หน้าพระลาน และบริเวณใกล้เคียง จ.สระบุรี. 2541. กรมทรัพยากรธรณี และคณะวิศวกรรมศาสตร์
- [5] Tanthapanichkoon, W. , Limpaseni, W. and Meechuman, P.. Dust Control via Water Spray at Rock Crushing Plant . The 14th Symposium on AEROSAL SCIENCE & TECHNOLOGY.(1997) .Kitakyushu, Japan : 208-210
- [6] Limpaseni, W., Tanthapanichkoon, W. and Narinsakchai., S.. Prediction of inertia interceptional collection efficiency of polydisperse dust particles using polydisperse liquid droplet. Forst Asos Aerosol Conference Program.(1999). Nagoya, Japan : 109-110
- [7] ทรงวุฒิ ศรีสว่าง. การกำจัดเถ้าลอยด้วยเครื่องสครับเบอร์แบบหมุนวน.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2540

- [8] สุชาดา ฌรินทร์ศักดิ์ชัย. แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2542
- [9] สามารถ พรเจริญ. การจับเก็บฝุ่นขนาดเล็กด้วยไซโคลนสกรับเบอร์. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2546
- [10] ธวัชชัย ชรินพานิชกุล. เอกสารประกอบวิชา กลศาสตร์ของไหลและอนุภาค. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541
- [11] ศิริกัลยา สุจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล, ชิกาโอะ กานาโอกะ, จุฑามาศ เกตุทัต . มลภาวะอากาศ . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :กรุงเทพฯ, 2542
- [12] วิจิตรา จงวิศาล. เอกสารประกอบวิชา Source Control of Particulate Emissions. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542
- [13] Costa, M.A.M. , Henrique, P.R. , Goncalves, J.A.S. and Coury , J.R.. Brazilian J. Chem.Eng. Droplet size in a rectangular venturi scrubber (2004): Vol.21 no.2



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลฝุ่นแคลเซียมคาร์บอเนต

ตาราง ก-1. การกระจายขนาดอนุภาคของฝุ่นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃)

Size Range(micron)	Cumulative Percent %	Percent%	d _p
0.05 - 0.06	0.24	0.24	0.055
0.06 - 0.07	0.8	0.56	0.065
0.07 - 0.08	1.72	0.92	0.075
0.08 - 0.09	3.01	1.29	0.085
0.09 - 0.11	4.69	1.68	0.1
0.11 - 0.13	6.77	2.08	0.12
0.13 - 0.15	9.28	2.51	0.14
0.15 - 0.17	12.2	2.92	0.16
0.17 - 0.20	15.55	3.35	0.185
0.20 - 0.23	19.25	3.7	0.215
0.23 - 0.27	23.18	3.93	0.25
0.27 - 0.31	27.09	3.91	0.29
0.31 - 0.36	30.71	3.62	0.335
0.36 - 0.42	33.88	3.17	0.39
0.42 - 0.49	36.55	2.67	0.455
0.49 - 0.58	38.72	2.17	0.535
0.58 - 0.67	40.39	1.67	0.625
0.67 - 0.78	41.68	1.29	0.725
0.78 - 0.91	42.86	1.18	0.845
0.91 - 1.06	44.02	1.16	0.985
1.06 - 1.24	45.25	1.23	1.15
1.24 - 1.44	46.67	1.42	1.34

Size Range(micron)	Cumulative Percent %	Percent%	d _p
1.44 - 1.68	48.37	1.7	1.56
1.68 - 1.95	50.44	2.07	1.815
1.95 - 2.28	52.94	2.5	2.115
2.28 - 2.65	55.86	2.92	2.465
2.65 - 3.09	59.21	3.35	2.87
3.09 - 3.60	62.95	3.74	3.345
3.60 - 4.19	67.03	4.08	3.895
4.19 - 4.88	71.39	4.36	4.535
4.88 - 5.69	75.98	4.59	5.285
5.69 - 6.63	80.49	4.51	6.16
6.63 - 7.72	84.78	4.29	7.175
7.72 - 9.00	88.68	3.9	8.36
9.00 - 10.48	92.09	3.41	9.74
10.48 - 12.21	94.91	2.82	11.345
12.21 - 14.22	97.07	2.16	13.215
14.22 - 16.57	98.61	1.54	15.395
16.57 - 19.31	99.57	0.96	17.94
19.31 - 22.49	100	0.43	20.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

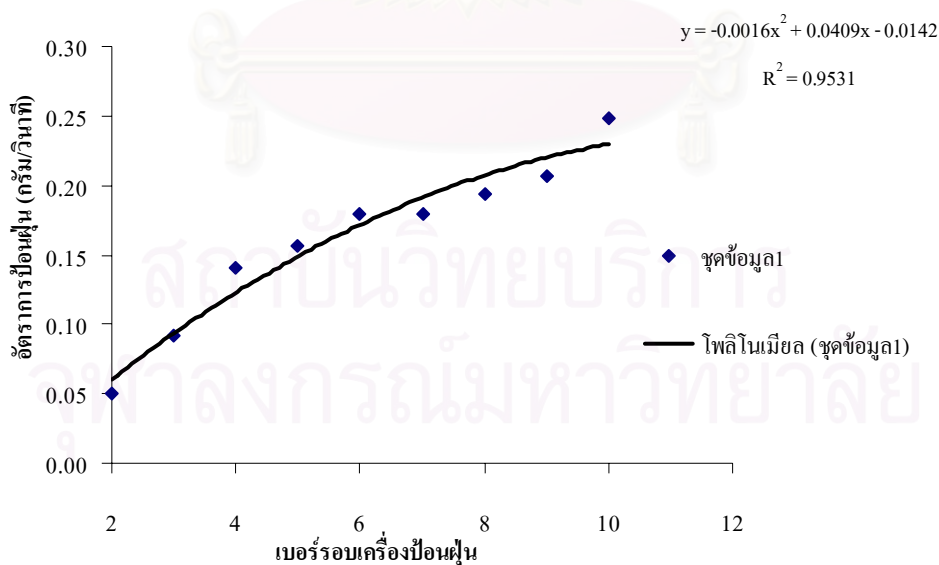
ภาคผนวก ข.

เครื่องป้อนฝุ่น

การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อย ฝุ่น (g/s) กับรอบของเครื่องป้อนฝุ่นแบบ Table feeder

ตาราง ข-1. ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องป้อนฝุ่นกับอัตราการปล่อยฝุ่น ของเครื่องป้อนฝุ่น

รอบ	อัตราการปล่อย ฝุ่น (g/s)
2	0.0505
3	0.0914
4	0.1409
5	0.1565
6	0.1789
7	0.1793
8	0.1939
9	0.2073
10	0.2477



รูปที่ ข-1. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่น ก่อนเข้าไซโคลนสกรับเบอร้กับรอบของเครื่องป้อนฝุ่น

ตาราง ข-2. ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเบอร์เครื่องป้อนฝุ่นกับความเข้มข้นฝุ่นที่ความเร็วลมต่างๆ

รอบ	ความเข้มข้นฝุ่น (g/m ³)ที่ความเร็วลม 10 m/s	ความเข้มข้นฝุ่น (g/m ³)ที่ความเร็วลม 15 m/s	ความเข้มข้นฝุ่น (g/m ³)ที่ความเร็วลม 20 m/s	ความเข้มข้นฝุ่น (g/m ³)ที่ความเร็วลม 25 m/s
4	0.7642	0.5095	0.3821	0.3057
6	1.0716	0.7144	0.5358	0.4286
8	1.3000	0.8667	0.6500	0.5200
10	1.4494	0.9663	0.7247	0.5798

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

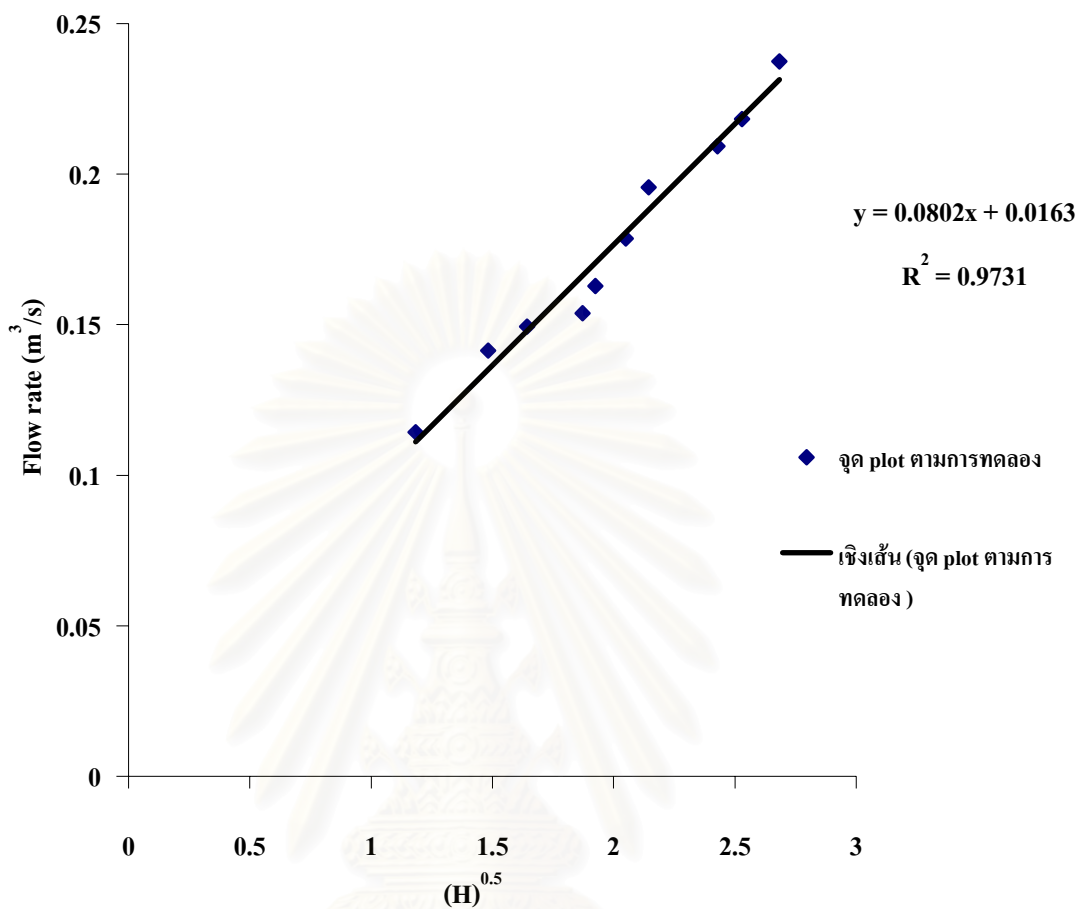
ภาคผนวก ค.

ออริฟิส

การสอบเทียบความเร็วลมในท่อสำหรับออริฟิสมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 0.12 m และใช้ Anemometer เป็นอุปกรณ์ในการวัดความเร็วลม

ตาราง ค-1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลด(cm) กับอัตราการไหลภายในท่อ(m^3/s)
เมื่อใช้ออริฟิสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร

Height (cm)	Flow rate (m^3/s)
1.4	0.114222249
2.2	0.141364169
2.7	0.149280563
3.5	0.153804216
3.7	0.162851523
4.2	0.17868431
4.6	0.19564801
5.9	0.209218971
6.4	0.218266278
7.2	0.237491805



รูปที่ ค-1. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศในท่อกับความดันลด
เมื่อวัดด้วยออร์ฟิสเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร

จากกราฟจะได้อสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flow rate (m³/s) กับ ΔP : Pressure drop (cmH₂O) คือ

$$y = 0.0802 H^{0.5} + 0.0163$$

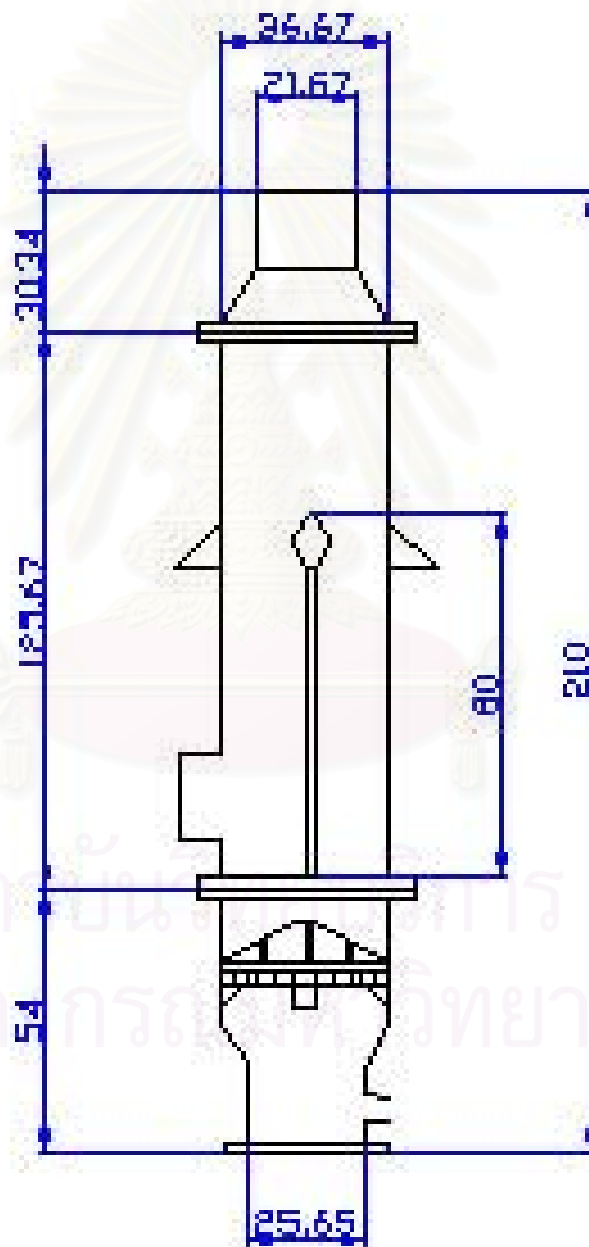
$$y = \text{Flow rate (m}^3/\text{s)}$$

$$H = \Delta P(\text{cm})$$

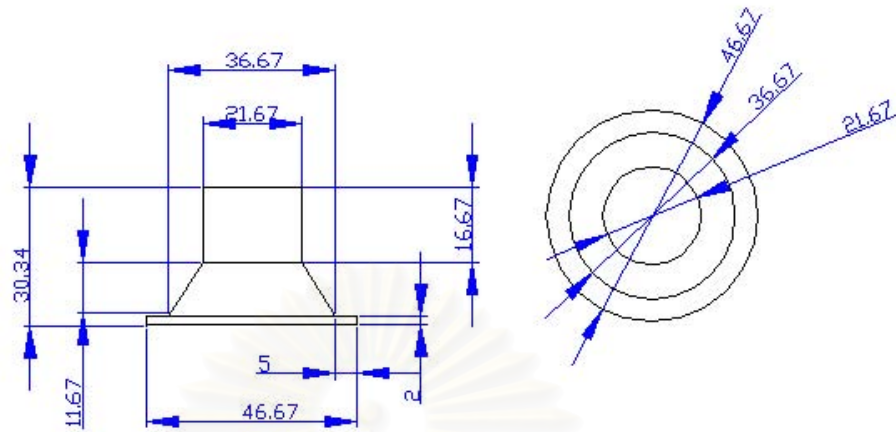
ภาคผนวก ง.

ข้อมูลแสดงสัดส่วนชุดอุปกรณ์การทดลอง

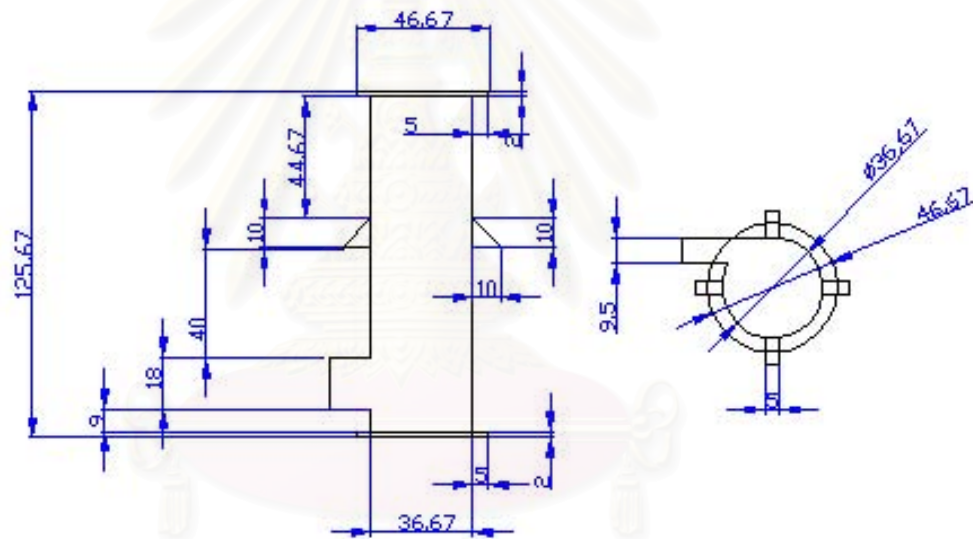
การออกแบบ Cyclone Scrubber แบบอะคริลิกใสเพื่อดูปรากฏการณ์ภายใน



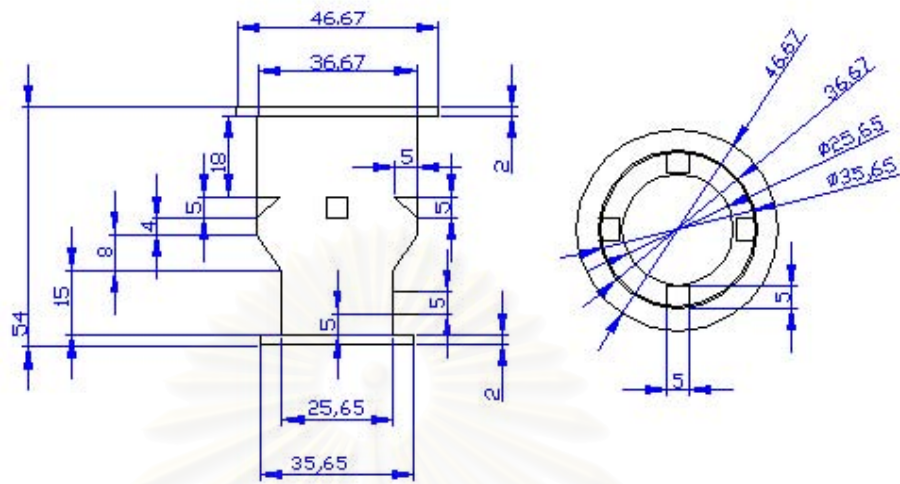
รูปที่ ง-1. สัดส่วนไซโคลนสกรับเบอร์อะคริลิกใส



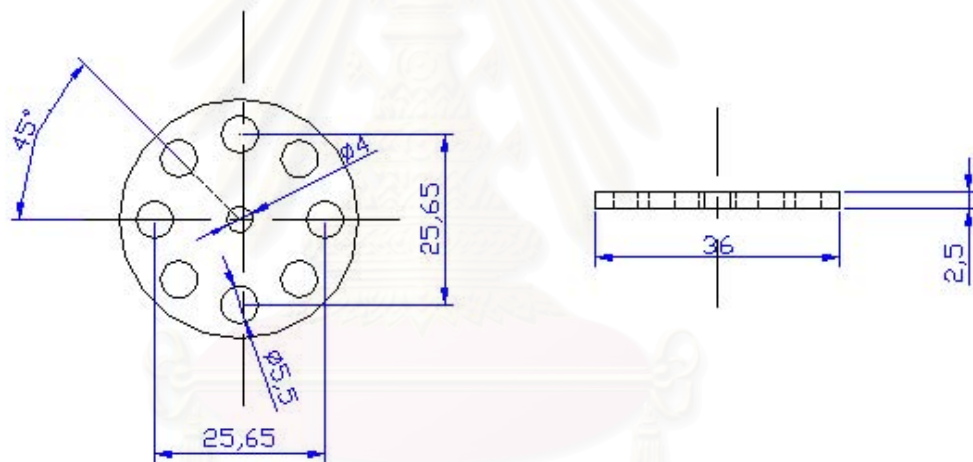
รูปที่ 3-2. สัดส่วนช่วงกรวยบนของไซโคลนสกรับเบอร์อะคริลิกใส



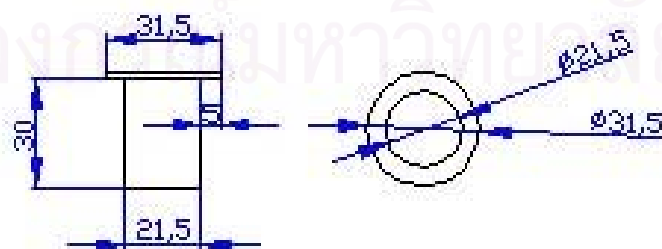
รูปที่ 3-3. สัดส่วนช่วงทรงกระบอกของไซโคลนสกรับเบอร์อะคริลิกใส



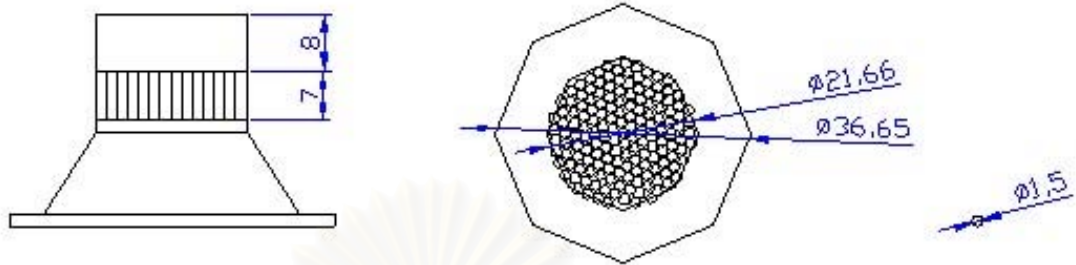
รูปที่ ง-4. สัดส่วนช่วงกรวยล่างของไซโคลนสกรับเบอร์อะคริลิกใส



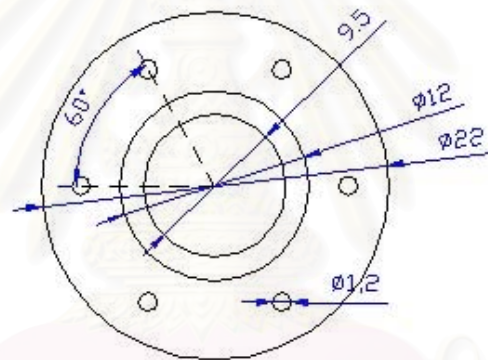
รูปที่ ง-5. สัดส่วนแกนภายในกรวยล่างของไซโคลนสกรับเบอร์อะคริลิกใส



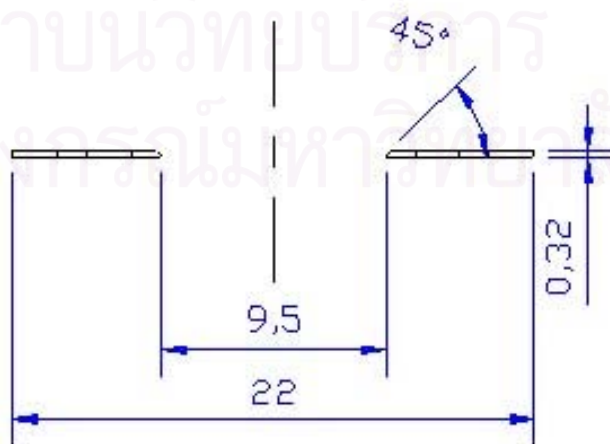
รูปที่ ง-6. สัดส่วนทรงกระบอกกลางของไซโคลนสกรับเบอร์ ต่อจากกรวยล่าง



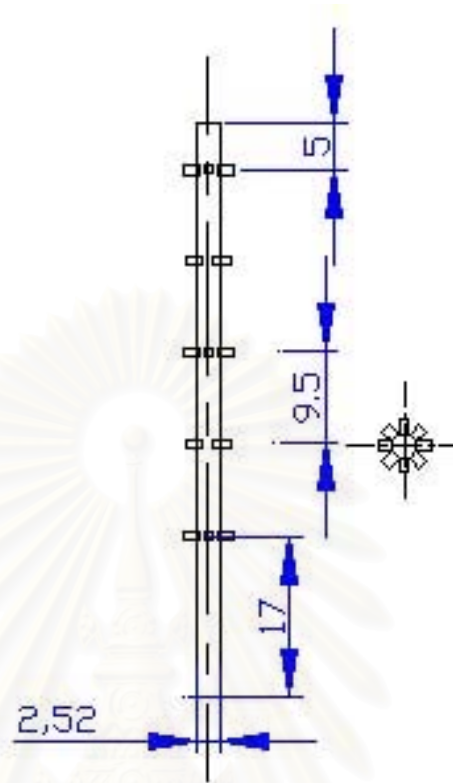
รูปที่ ง-7. สัดส่วนรังผึ้งของกรวยบนไซโคลนสกรับเบอร์



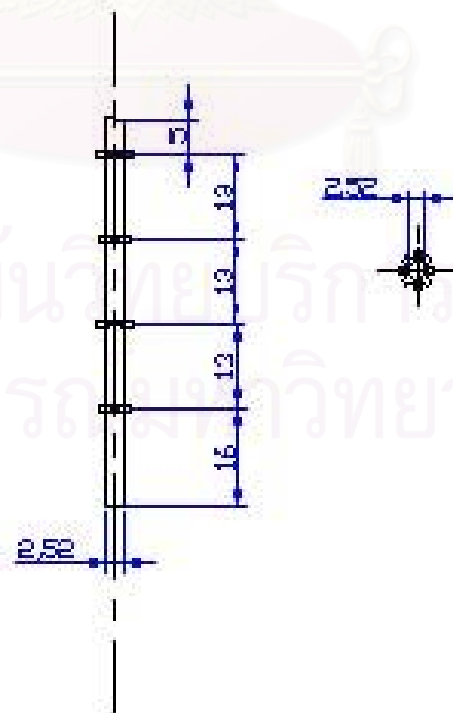
รูปที่ ง-8. สัดส่วนออริฟิส เมื่อมองจากด้านบน



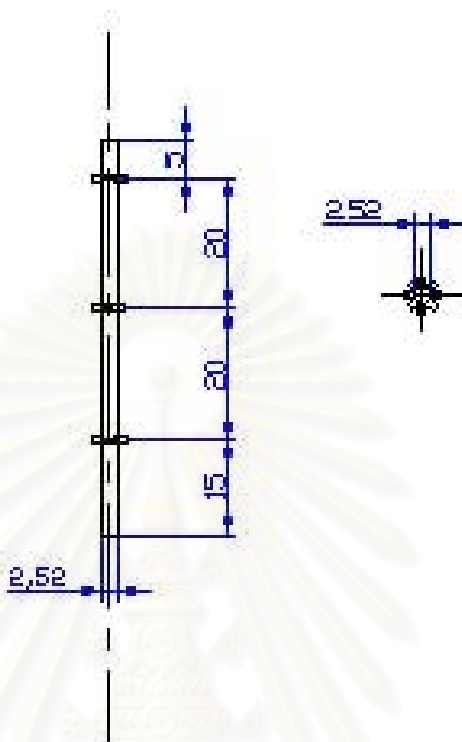
รูปที่ ง-9. สัดส่วนออริฟิส เมื่อมองจากด้านข้าง



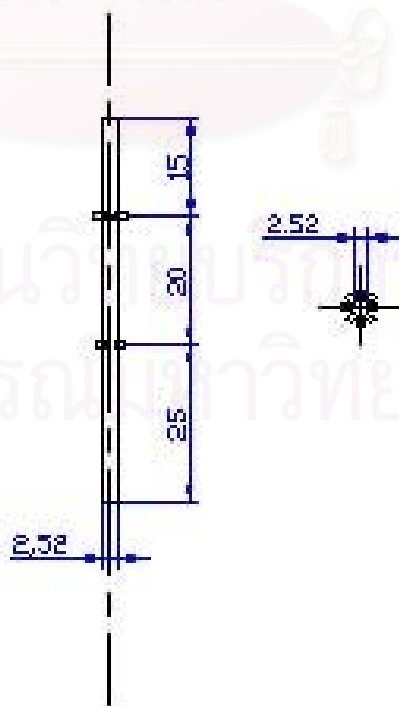
รูปที่ ง-10. สัสด่วนเฮดเดอร์ 20 หัวน็ด



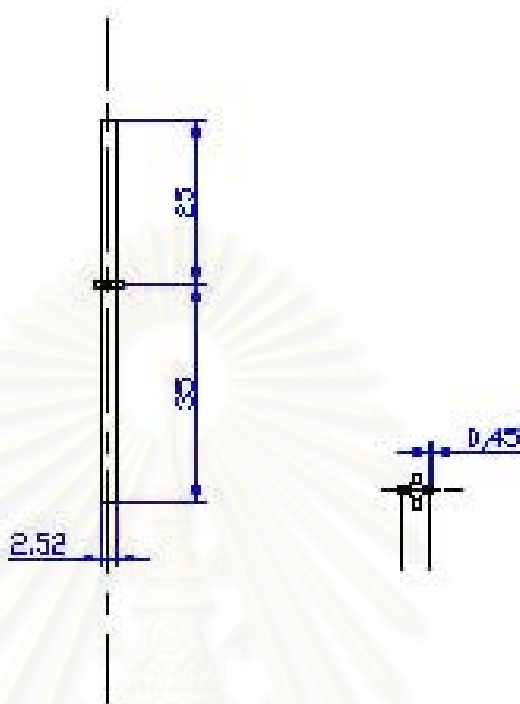
รูปที่ ง-11. สัสด่วนเฮดเดอร์ 16 หัวน็ด



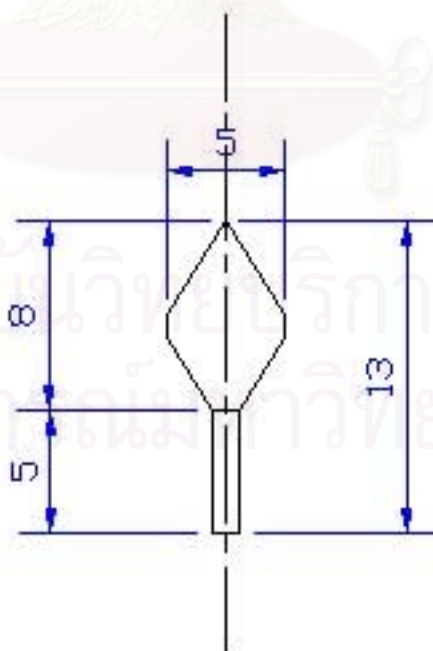
รูปที่ ง-12. ตัดส่วนเฮดเดอร์ 12 หัวนียด



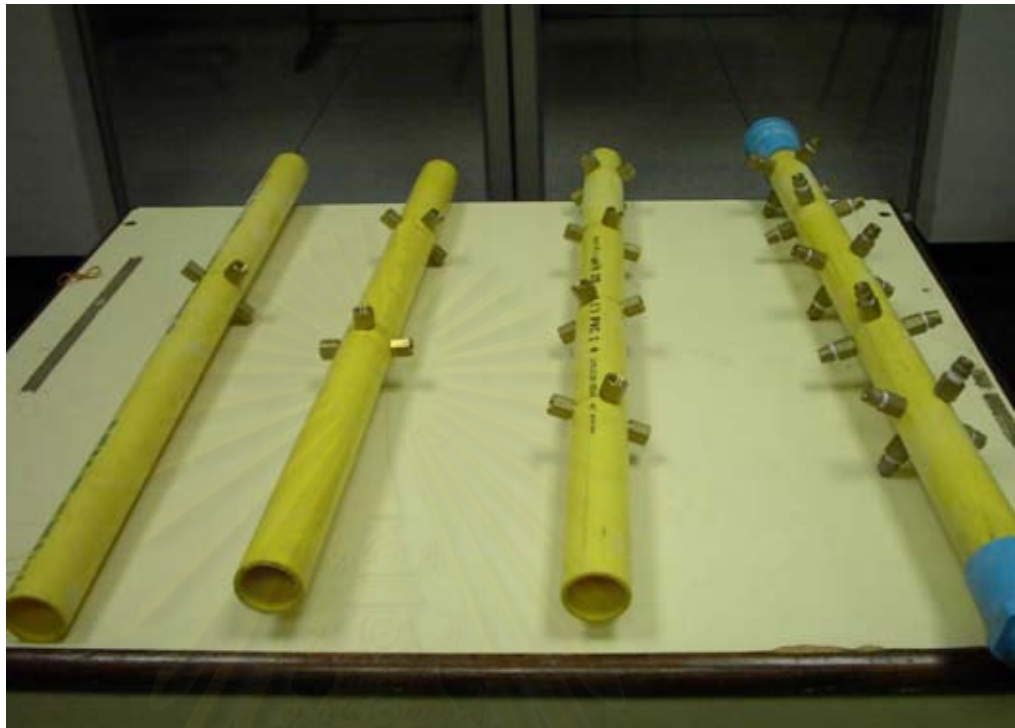
รูปที่ ง-13. ตัดส่วนเฮดเดอร์ 8 หัวนียด



รูปที่ ง-14. สัดส่วนเซคเตอร์ 4 หัวฉีด

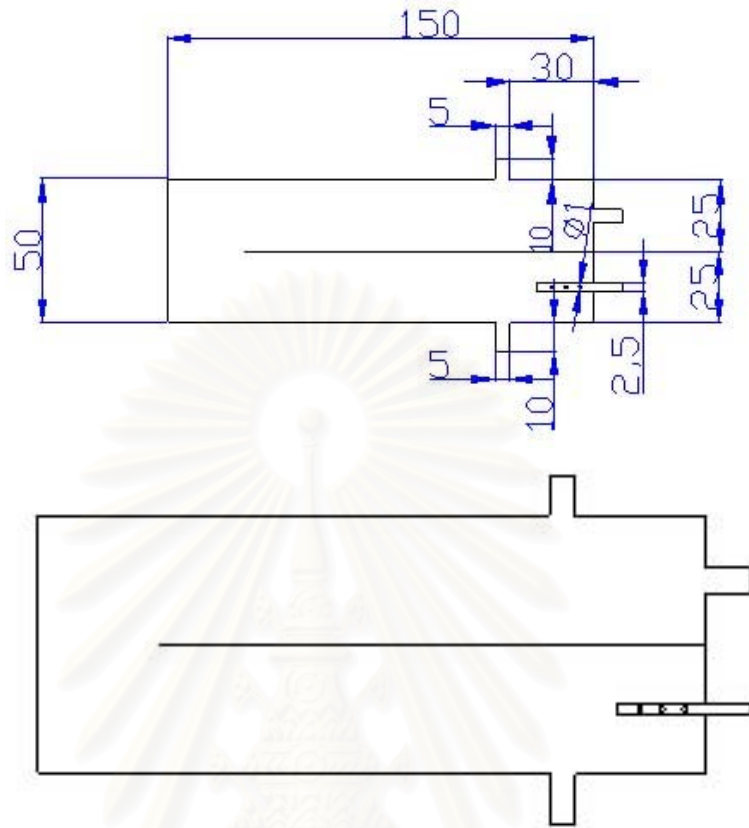


รูปที่ ง-15. สัดส่วนหัวลูกศรของเซคเตอร์อคริลิกใส

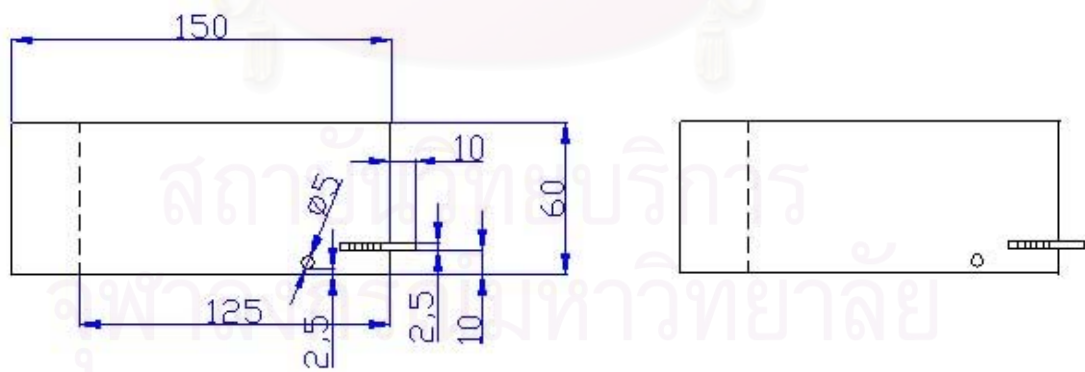


รูปที่ ง-16. เซดเดอร์ 4 , 8 , 16 , 20 หัวฉีด

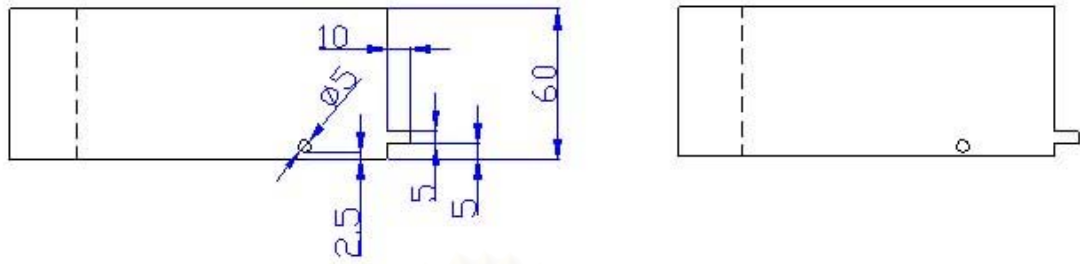
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



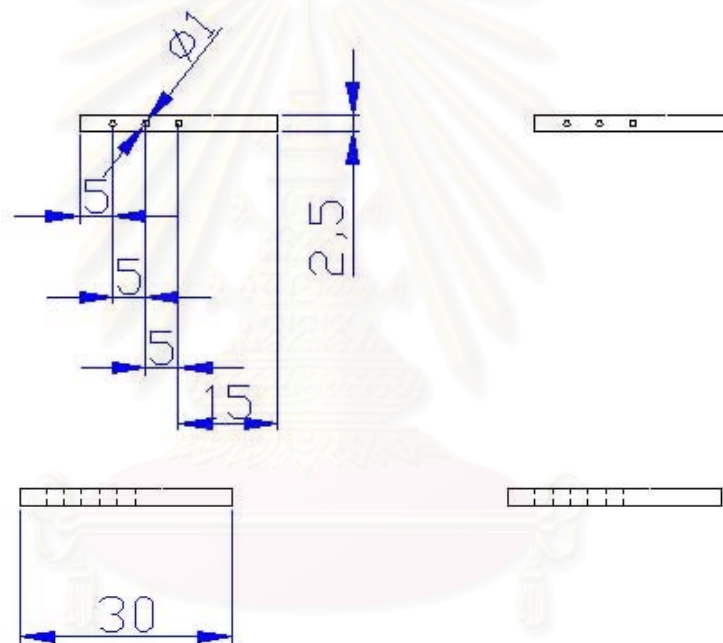
รูปที่ ง-17. สัดส่วนถึงตตะกอน มองจากด้านบน



รูปที่ ง-18. สัดส่วนถึงตตะกอน มองจากด้านข้าง(ซ้าย)

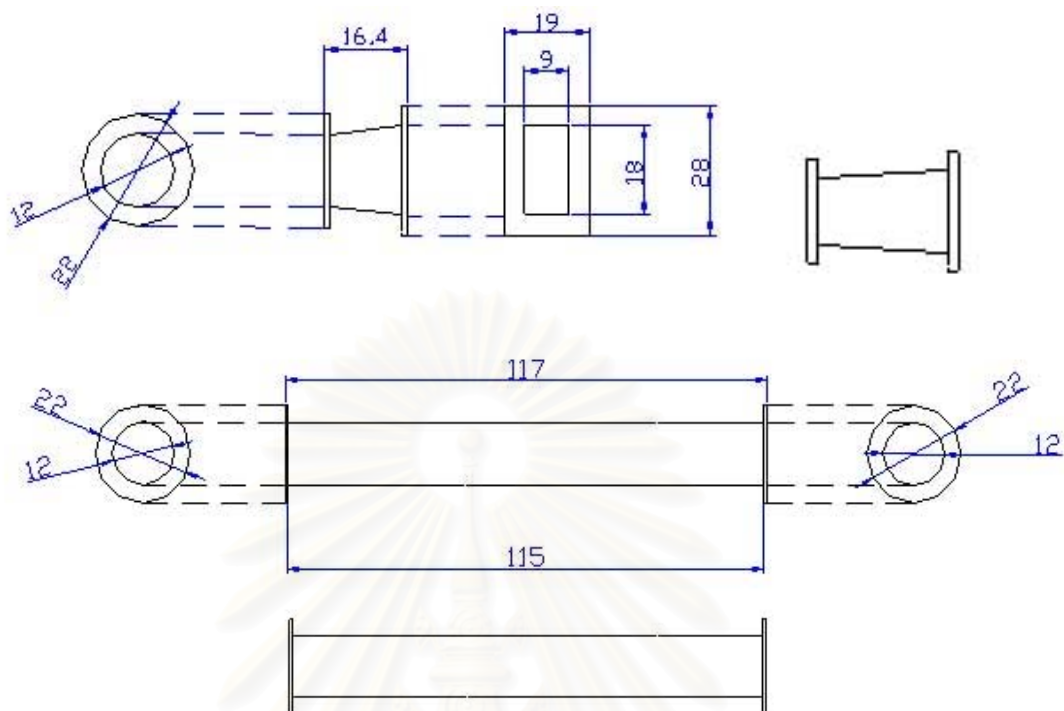


รูปที่ ง-19. สัดส่วนถังตกตะกอน มองจากด้านข้าง(ขวา)



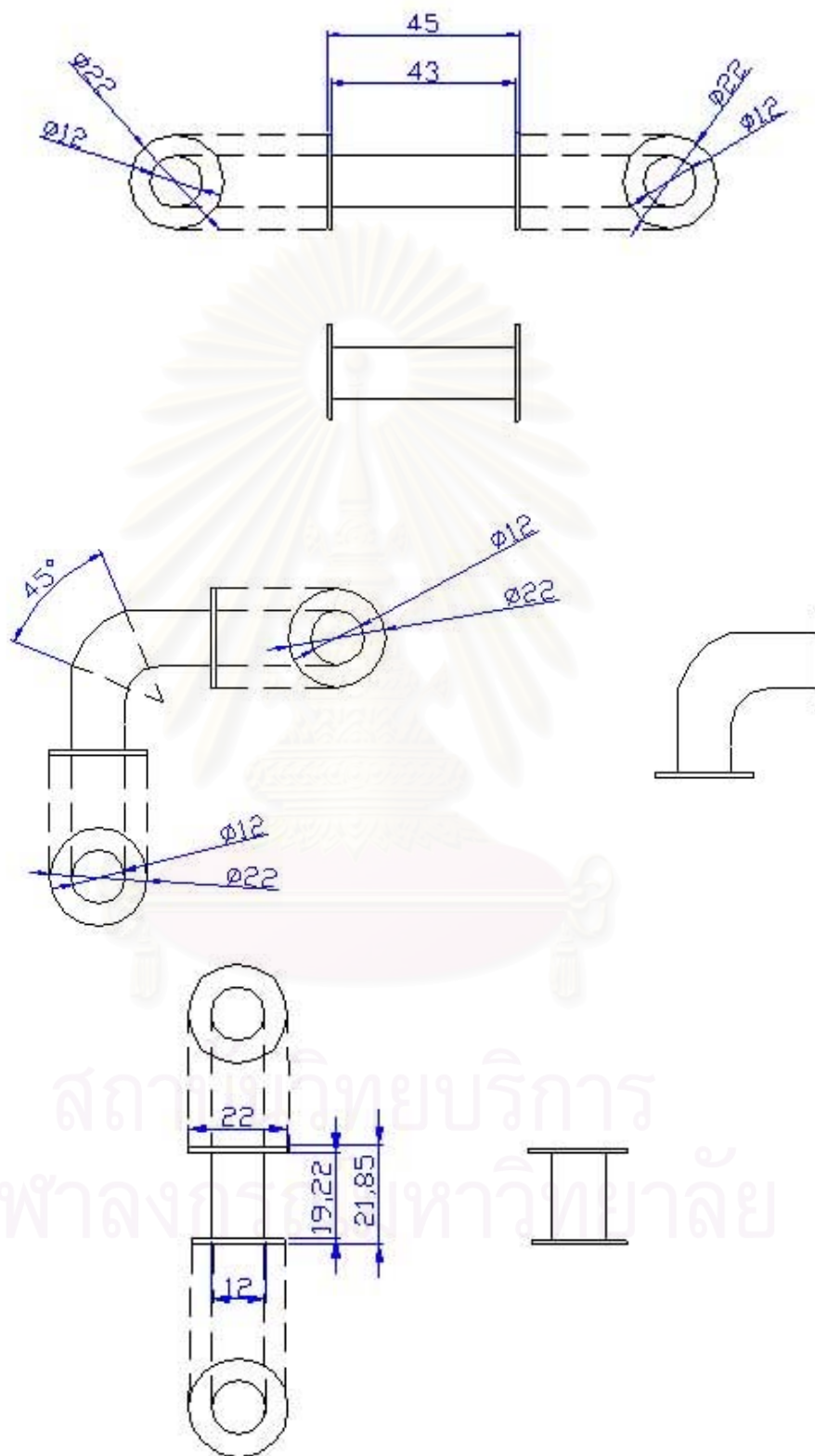
รูปที่ ง-20. ท่อคูดน้ำของถังตกตะกอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

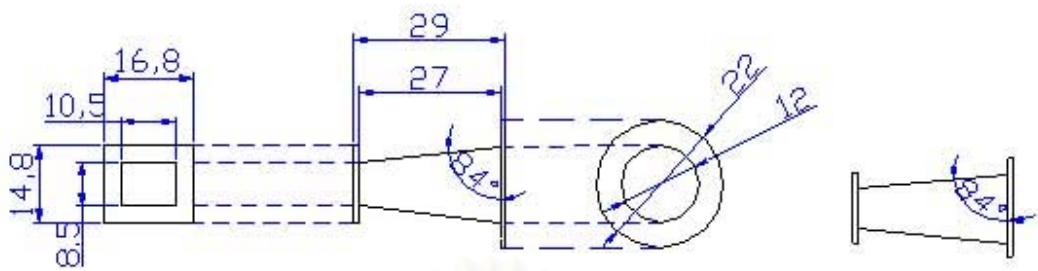


รูปที่ ง-21. สัดส่วนของทอลมต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-21. สัดส่วนของท่อลมต่างๆ (ต่อ)



รูปที่ ง-21. แสดงตัดส่วนของท่อลมต่างๆ(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลหัวฉีด



รูปที่ จ-1. ลักษณะหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

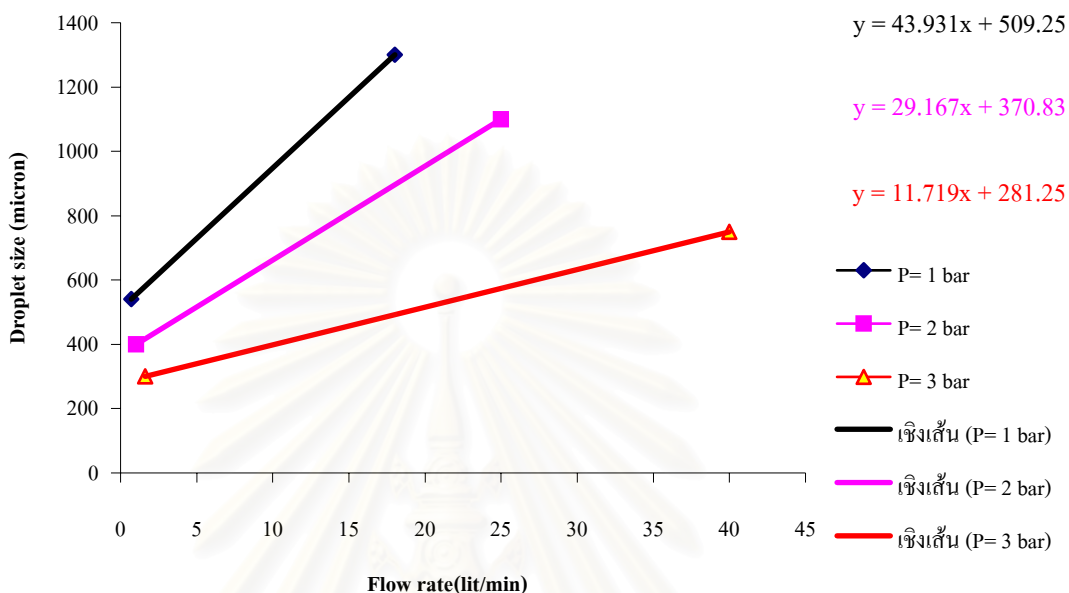
Droplet size range according to nozzle type (Sauter Diameter d_{32}) *

ตาราง จ-1. ข้อมูลหัวฉีด

1(bar)		2 (bar)		3 (bar)	
Flow Rate (lit/min)	Droplet Size* (micron)	Flow Rate (lit/min)	Droplet Size* (micron)	Flow Rate (lit/min)	Droplet Size* (micron)
0.7	540	1	400	1.6	300
18	1300	25	1100	40	750

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับขนาดของหยดน้ำของหัวฉีด

แบบ Full cone model Series 460

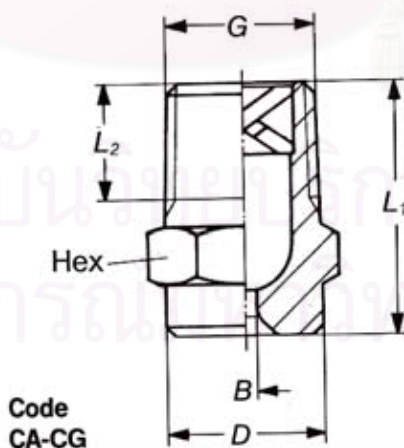


รูปที่ จ-2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับขนาดของหยดน้ำของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

x = Flow Rate (lit/min)

y = Droplet Size (micron)

หมายเหตุ ข้อมูลจาก ตารางที่ จ-1 และรูปที่ จ-2. เป็นข้อมูลจากบริษัท Lecher Co.Ltd.



รูปที่ จ-3. สัดส่วนหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

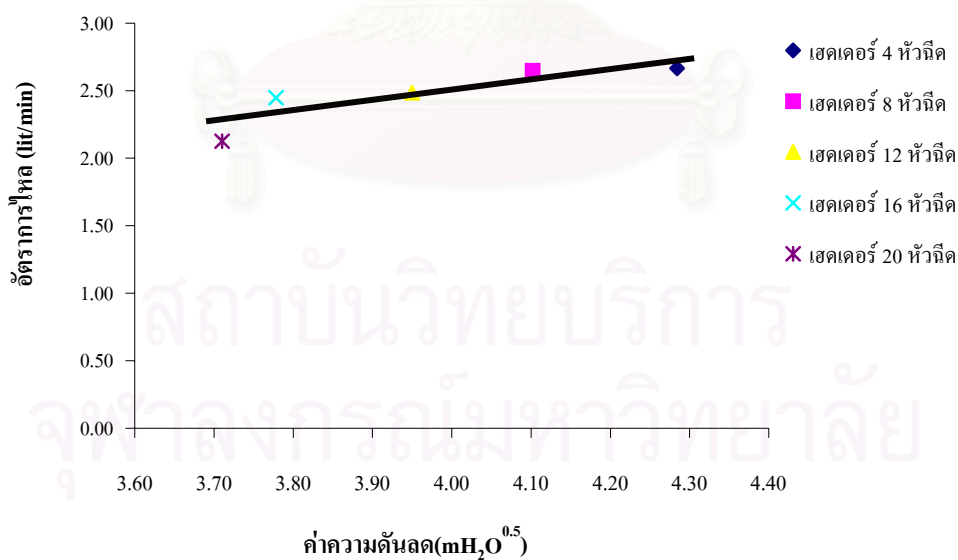
G = 1/8 BSPT , L₁ = 18mm, L₂ = 6.5 mm, D = 10 mm, Hex = 11 mm, Weight Brass 15 g

ภาคผนวก ฉ.

ข้อมูลเฮดเคอร์

ตาราง ฉ-1 ข้อมูลความดันน้ำต่อ 1 หัวฉีดของเฮดเคอร์หัวฉีดต่างๆ

เฮดเคอร์	Flow rate (lit/min)	อัตราการ ฉีดน้ำต่อ 1 หัวฉีด (lit/min)	Pressure Drop (bar)	Pressure Drop(m.H2O) ^{0.5}
4 หัวฉีด	10.67	2.67	1.8	4.28
8 หัวฉีด	21.17	2.65	1.65	4.10
12 หัวฉีด	29.83	2.49	1.55	3.95
16 หัวฉีด	39.17	2.45	1.4	3.78
20 หัวฉีด	42.50	2.13	1.35	3.71



รูปที่ ฉ-1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดกับอัตราการไหลต่อ 1 หัวฉีดในแต่ละเฮดเคอร์

$$Y = 0.8096x - 0.7359$$

$$R^2 = 0.764$$

การหาขนาดหยดเฉลี่ยของของเหลว

ก. Sauter mean drop size (Nukiyama –Tanasawa Equation) [13]

$$2r = \frac{585}{u} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l}} + 597 \left(\frac{\mu_l}{\sigma \rho_l} \right)^{0.45} \left(\frac{L}{G} \right)^{1.5}$$

- r คือรัศมีเฉลี่ย (ตามพื้นที่ผิว)ของหยดน้ำ (ไมโครเมตร)
 u คือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างของเหลวและก๊าซ(เมตร/วินาที)
 σ คือแรงตึงผิวของของเหลว(ดาเยน/เซนติเมตร)
 ρ_l คือความหนาแน่นของของเหลว(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 μ_l คือความหนืดของของเหลว (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 L คืออัตราส่วนของของเหลวและก๊าซ(ลิตร/ลูกบาศก์เมตร)

ในกรณีของน้ำและอากาศที่สภาวะห้อง สมการข้างต้นแปรรูปได้เป็น

$$2r = \frac{5000}{u} + 29 \left(\frac{L}{G} \right)^{1.5}$$

Diameter of Nozzle = 0.185 cm

Area = 0.026880252 cm²

ตาราง ฉ-2. ข้อมูลความเร็วของน้ำในแต่ละเฮคเตอร์

เฮคเตอร์ (หัวฉีด)	L (lit/min)	flow rate(m ³ /s)	flow rate แต่ละหัวฉีด (m ³ /s)	ความเร็วผ่าน หัวฉีด(m/s)
4	10.667	0.000177783	4.44458E-05	16.5348
8	21.167	0.000352783	4.40979E-05	16.4053
12	29.833	0.000497217	4.14347E-05	15.4146
16	39.167	0.000652783	4.0799E-05	15.1780
20	42.500	0.000652783	3.26392E-05	12.1424

ตาราง ก-3. ข้อมูลจำเพาะของสเปคเตอร์ 4 หัวฉีด

ความเร็วน้ำ เมื่อผ่าน หัวฉีด(m/s)	ความเร็ว ก๊าซ(m/s)	ความเร็ว สัมพัทธ์ (m/s)	L (lit/min)	G(cm ³ /min)	Diameter (micron)	หยดน้ำ1 หยด มีปริมาตร (m ³)	จำนวนหยด/ วินาที
16.53	10	19.32	10.667	9720000	259	9.07092E-12	19,599,251
16.53	15	22.32	10.667	14580000	224	5.88227E-12	30,223,580
16.53	20	25.95	10.667	19440000	193	3.74543E-12	47,466,716
16.53	25	29.97	10.667	24300000	167	2.43056E-12	73,144,993

ตาราง ก-4. ข้อมูลจำเพาะของสเปคเตอร์ 8 หัวฉีด

ความเร็วน้ำ เมื่อผ่าน หัวฉีด(m/s)	ความเร็ว ก๊าซ(m/s)	ความเร็ว สัมพัทธ์ (m/s)	L (lit/min)	G (cm ³ /min)	Diameter (micron)	หยดน้ำ1 หยด มีปริมาตร (m ³)	จำนวนหยด/ วินาที
16.41	10	19.21	21.167	9720000	259	9.07092E-12	38,891,661
16.41	15	22.23	21.167	14580000	224	5.88227E-12	59,973,987
16.41	20	25.87	21.167	19440000	193	3.74543E-12	94,190,304
16.41	25	29.90	21.167	24300000	167	2.43056E-12	145,144,845

ตาราง ก-5. ข้อมูลจำเพาะของสเปคเตอร์ 12 หัวฉีด

ความเร็วน้ำ เมื่อผ่าน หัวฉีด(m/s)	ความเร็ว ก๊าซ (m/s)	ความเร็ว สัมพัทธ์ (m/s)	L (lit/min)	G(cm ³ /min)	Diameter (micron)	หยดน้ำ1 หยด มีปริมาตร (m ³)	จำนวนหยด/ วินาที
15.41	10	18.37	29.833	9720000	272	1.05509E-11	47,125,537
15.41	15	21.51	29.833	14580000	232	6.57793E-12	75,588,653
15.41	20	25.25	29.833	19440000	198	4.06517E-12	122,311,500
15.41	25	29.37	29.833	24300000	170	2.58338E-12	192,467,194

ตาราง น-6. ข้อมูลจำเพาะของเฮคเตอร์ 16 หัวฉีด

ความเร็วน้ำ เมื่อผ่าน หัวฉีด(m/s)	ความเร็ว ก๊าซ (m/s)	ความเร็ว สั้มพัทซ์ (m/s)	L (lit/min)	G (cm ³ /min)	Diameter (micron)	หยดน้ำ1 หยด มีปริมาตร (m ³)	จำนวนหยด/ วินาที
15.18	10	18.18	39.167	9720000	275	1.08994E-11	59,891,628
15.18	15	21.34	39.167	14580000	234	6.73533E-12	96,919,294
15.18	20	25.11	39.167	19440000	199	4.13536E-12	157,854,059
15.18	25	29.25	39.167	24300000	171	2.61623E-12	249,512,708

ตาราง น-7. ข้อมูลจำเพาะของเฮคเตอร์ 20 หัวฉีด

ความเร็วน้ำ เมื่อผ่าน หัวฉีด(m/s)	ความเร็ว ก๊าซ (m/s)	ความเร็ว สั้มพัทซ์ (m/s)	L (lit/min)	G (cm ³ /min)	Diameter (micron)	หยดน้ำ1 หยด มีปริมาตร (m ³)	จำนวนหยด/ วินาที
12.14	10	16.54	42.5	9720000	302	1.44623E-11	48,978,016
12.14	15	19.96	42.5	14580000	250	8.2244E-12	86,125,806
12.14	20	23.95	42.5	19440000	209	4.76427E-12	148,676,139
12.14	25	28.26	42.5	24300000	177	2.90012E-12	244,242,733

ตาราง จ-8. ความสัมพันธ์ระหว่าง Sauter Mean Diameter กับจำนวนอนุภาคฝุ่นที่เฮคเตอร์ต่างๆ

ลำดับ	ความเข้มข้นฝุ่น (g/m ³)	ความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสกรับเบอร์ (m/s)	เฮคเตอร์ 20 หัวฉีด		เฮคเตอร์ 16 หัวฉีด		เฮคเตอร์ 12 หัวฉีด		เฮคเตอร์ 8 หัวฉีด		เฮคเตอร์ 4 หัวฉีด	
			จำนวน particle ต่อหยดน้ำ 1 หยด	หยดน้ำ Diameter (micron)	จำนวน particle ต่อหยดน้ำ 1 หยด	หยดน้ำ Diameter (micron)	จำนวน particle ต่อหยดน้ำ 1 หยด	หยดน้ำ Diameter (micron)	จำนวน particle ต่อหยดน้ำ 1 หยด	หยดน้ำ Diameter (micron)	จำนวน particle ต่อหยดน้ำ 1 หยด	หยดน้ำ Diameter (micron)
1	0.7642	10	2,648	302	2,166	275	2,752	272	3,335	259	6,618	259
2	0.5095	15	1,506	250	1,338	234	1,716	232	2,163	224	4,292	224
3	0.3821	20	872	209	822	199	1,060	198	1,377	193	2,733	193
4	0.3057	25	531	177	520	171	674	170	894	167	1,773	167
5	1.0716	10	3,714	302	3,037	275	3,860	272	4,677	259	9,280	259
6	0.7144	15	2,112	250	1,877	234	2,406	232	3,033	224	6,018	224
7	0.5358	20	1,223	209	1,152	199	1,487	198	1,931	193	3,832	193
8	0.4286	25	745	177	729	171	945	170	1,253	167	2,487	167
9	1.3000	10	4,505	302	3,684	275	4,682	272	5,674	259	11,258	259
10	0.8667	15	2,562	250	2,277	234	2,919	232	3,679	224	7,301	224
11	0.6500	20	1,484	209	1,398	199	1,804	198	2,343	193	4,649	193
12	0.5200	25	903	177	884	171	1,146	170	1,520	167	3,017	167
13	1.4494	10	5,023	302	4,108	275	5,220	272	6,325	259	12,552	259
14	0.9663	15	2,856	250	2,538	234	3,255	232	4,102	224	8,140	224
15	0.7247	20	1,655	209	1,558	199	2,011	198	2,612	193	5,183	193
16	0.5798	25	1,007	177	986	171	1,278	170	1,695	167	3,363	167

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลองประสิทธิภาพการจับฝุ่นที่เฮดเดอร์ต่างๆ

ตาราง ข-1. ข้อมูลประสิทธิภาพการจับฝุ่นจากการทดลองที่เงื่อนไขต่างๆ

ลำดับ	ความเข้มข้น (g/m ³)	ความเร็วลมทางเข้าไซโคลน (m/s)	20 หัวฉีด		16 หัวฉีด		12 หัวฉีด		8 หัวฉีด		4 หัวฉีด	
			L/G	ประสิทธิภาพ %	L/G	ประสิทธิภาพ %	L/G	ประสิทธิภาพ %	L/G	ประสิทธิภาพ %	L/G	ประสิทธิภาพ %
1	0.7642	10	4.37	96.0472	3.94	97.4925	3.09	97.0391	2.18	97.4228	1.10	96.4469
2	0.5095	15	2.91	91.8371	2.63	91.6764	2.06	92.7544	1.45	93.0521	0.73	94.1129
3	0.3821	20	2.19	92.9982	1.97	94.2188	1.54	91.9358	1.09	94.8457	0.55	94.0084
4	0.3057	25	1.75	91.2913	1.58	94.7412	1.23	95.4715	0.87	95.4553	0.44	95.1231
5	1.0716	10	4.37	97.1439	3.94	97.4584	3.09	96.9776	2.18	98.1683	1.10	97.5075
6	0.7144	15	2.91	93.4914	2.63	92.9383	2.06	92.5226	1.45	95.0452	0.73	96.8037
7	0.5358	20	2.19	91.5372	1.97	93.8821	1.54	92.1810	1.09	96.1070	0.55	95.1062
8	0.4286	25	1.75	92.9781	1.58	95.3557	1.23	93.8200	0.87	95.3991	0.44	94.9571
9	1.3000	10	4.37	97.1031	3.94	97.4614	3.09	96.1298	2.18	97.8504	1.10	97.5222
10	0.8667	15	2.91	91.6145	2.63	92.2818	2.06	92.5872	1.45	94.3086	0.73	96.1093
11	0.6500	20	2.19	90.5941	1.97	93.8992	1.54	92.4285	1.09	96.9291	0.55	95.5155
12	0.5200	25	1.75	92.3415	1.58	96.4378	1.23	95.3670	0.87	95.2299	0.44	93.9796
13	1.4494	10	4.37	97.5853	3.94	98.3106	3.09	96.8470	2.18	96.6213	1.10	96.9052
14	0.9663	15	2.91	93.2043	2.63	95.1339	2.06	92.2951	1.45	95.3267	0.73	96.5225
15	0.7247	20	2.19	92.2737	1.97	95.0299	1.54	94.9767	1.09	96.8967	0.55	95.4175
16	0.5798	25	1.75	95.2797	1.58	94.7850	1.23	95.7940	0.87	95.4277	0.44	95.3165

ภาคผนวก ข.

ค่าความเร็วปั่นปลายน (Terminal Settling Velocity (m/s)) ของหยดน้ำ เมื่อดกในอากาศนิ่ง

ตาราง ข-1 แสดงความเร็วปั่นปลายนของหยดน้ำที่ขนาดต่างๆ

Median Size Diameter	Ga	Re/Cd	Ut(m/s)	Renold number
50	5.38796	0.00161	0.10702	0.33046
60	9.31040	0.00408	0.14599	0.54094
70	14.78457	0.00868	0.18772	0.81150
80	22.06909	0.01628	0.23153	1.14384
90	31.42260	0.02784	0.27689	1.53896
100	43.10370	0.04437	0.32342	1.99729
200	344.82958	0.69232	0.80819	9.98204
300	1163.79983	2.72029	1.27531	23.62729
400	2758.63663	6.51197	1.70601	42.14232
500	5387.96216	12.15852	2.10074	64.86612
600	9310.39861	19.60263	2.46329	91.27329
700	14784.56817	28.72031	2.79774	120.94337
800	22069.09301	39.36278	3.10771	153.53459
900	31422.59532	51.37733	3.39627	188.76465
1000	43103.69728	64.61737	3.66602	226.39704

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรัชฎลภัส วิสุทธิ เกิดเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2522 จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสตรีวิทยา จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาบัณฑิต ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2540 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย