การนำระบบไซโคลนมาใช้เพื่อคักวัตถุดิบนำกลับมาใช้ใหม่ และลคปัญหาการอุคตันในระบบท่อ สำหรับการเทวัตถุดิบในสภาวะสุญญากาศ

นายพิบูรณ์ จริยาธนาพล

สถาบนวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548 ISBN 974-17-6101-5 ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CYCLONE SYSTEM TO RECOVER RAW MATERIAL AND REDUCE PIPE CLOGGING FOR MANUAL RAW MATERIAL UNLOADING IN VACUUM CONDITION

Mr. Piboon Jariyathanapol

สถาบนวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering Chulalongkorn University Academic Year 2005

ISBN 974 – 17 – 6101 - 5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำระบบไซโคลนมาใช้เพื่อดักวัตถุดิบนำกลับมาใช้ใหม่ และลด			
	ปัญหาการอุดตันในระบบท่อ สำหรับการเทวัตถุดิบในสภาวะสูญญากาศ			
โดย	นายพิบูรณ์ จริยาธนาพล			
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ			

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

on -คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

Dem Unit ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์.ดร.ปียะสาร ประเสริฐธรรม)

วง......อาจารย์ที่ปรึกษา

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

(รองศาสตราจารย์.ดร.ม.ล.ศุภกนก ทองใหญ่)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร. วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา)

นายพิบูรณ์ จริยาธนาพล : การนำระบบไซโคลนมาใช้เพื่อคักวัดถุดิบนำกลับมาใช้ไหม่ และ ถดปัญหาการอุดดันในระบบท่อ สำหรับการเทวัดถุดิบในสภาวะสุญญากาศ. (CYCLONE SYSTEM TO RECOVER RAW MATERIAL AND REDUCE PIPE CLOGGING FOR MANUAL RAW MATERIAL UNLOADING IN VACUUM CONDITION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ตร. อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : - 123 หน้า. ISBN 974-17-6101-5

การขนถ่ายวัดถุดิบของแข็งชนิดผงจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นวัดถุดิบได้ การป้องกัน คือการติดถมดูดฝุ่น ซึ่งหน่วยหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแขกฝุ่นนั้นมีมาก แต่ที่มีราคาถูกและง่ายต่อ การบำรุงรักษาคือ ไซโดลน ไซโดลน จึงถูกนำมาทดลองใช้เพื่อแยกฝุ่นที่เกิดจากขนถ่ายวัดถุดิบใน การทดลองครั้งนี้ เพื่อดูประสิทธิภาพในการดักฝุ่น ความสามารถในการลดปัญหาเรื่องฝุ่นและ ปริมาณฝุ่นวัดถุดิบที่นำกลับมาใช้ไหน่ได้มาถน้อยเท่าใด

ในการทดลองนี้ขังเพิ่มปัจจัขใหม่ คือ การหมุนของดัวไซโดลน โดขหมุนสวนทางกับ การหมุนของของไหลในดัวไซโดลน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างดัวไซโดลนที่อยู่นิ่ง กับ ดัวไซโดลนที่หมุนสวนทางกับการไหลของของไหล ซึ่งผลสรุปได้คือ ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย แต่ ความสะอาดภายในดัวไซโดลน ดีขึ้น

ประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจาก ถ้ามีการหมุนของตัวไซโคลนจะทำให้ขอบเขตการไหลแบบ ลามินาร์ภายในดัวไซโคลนนั้นถูกทำลาย และมีการข้ามขั้นเกลียวของไซโคลน ซึ่งทำให้การแยก อนุภาคออกจากของไหลไม่ดี เมื่อเทียบกับการไหลเป็นลามินาร์ที่แบ่งแขกขอบเขตชั้นเกลี่ยวที่คงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลย

ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี	ถายมือชื่อนิสิค	Pland.
สาขาวิชา	.วิศวกรรมเคมี	ถาขมือชื่ออาจารซ์ที่ปรึกษา	6
ปีการศึกษา		ถาขมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่	າມ

##4571439121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING KEY WORD: CYCLONE / VACUUM CONDITION

> PIBOON JARIYATHANAPOL : CYCLONE SYSTEM TO RECOVER RAW MATERIAL AND REDUCE PIPE CLOGGING FOR MANUAL RAW MATERIAL UNLOADING IN VACUUM CONDITION. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc, THESIS COADVISOR : - 123 pp. ISBN 974-17-6101-5.

Solid raw material transportation will generate dust of raw material, the prevention of this event is suction to vacuum and separate dust that there are many separation unit to separate solid from fluid but the low cost & maintenance is only cyclone. Cyclone is used to separate raw material dust that occurred from unloading, in this experiment. Efficiency is factor to measured and compared in term of cyclone capability to reduce dust and recover raw material.

In this experiment new factor is cyclone body counter flow that counter with fluid flow in cyclone. Result compare between normal or fixed cyclone body with counter flow of cyclone body that the new is lower efficient than the normal but cleaning in body cyclone is cleaner than the normal.

Efficiency reduction due to cyclone body rotation that overlap boundary layer of laminar flow in cyclone and shift of vortex. This affect to solid-fluid separation when compare with consist laminar flow boundary and vortex or fix cyclone body

Department....CHEMICAL ENGINEERING...Student's signature...... Field of study..CHEMICAL ENGINEERING...Advisor's signature..... Academic year2005......Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดี ยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ คร. อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ คุณสุขุม ความมานะ สำหรับคำปรึกษา รวมทั้งขอบคุณ ศาสตราจารย์.คร.ปียะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.คร.ม.ล.ศุภกนก ทองใหญ่ และ คร. วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา กรรมการการสอบ วิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทดลอง ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงงานมีนบุรี บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ ที่ได้ให้ความ อนุเคราะห์สถานที่การทดลองและความร่วมมือจากฝ่ายบริหารแผนก NSD และ NTR ในการใช้ อุปกรณ์ เพื่อการทดลองครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิคามารคาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ สนับสนุนทุนการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาตลอดจนสำเร็วการศึกษา ขอขอบคุณอาจารย์ทุก ท่านที่สอนให้ความรู้ตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายขอบคุณเพื่อน ๆ ในภากวิชาวิศวกรรม เคมี (ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความช่วยเหลือจน การเรียน และข้อมูลงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างคื

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

			หน้า
บท	เค้ดย่อ	กาษาไทย	٩
บท	เค้ดย่อ:	ภาษาอังกฤษ	າ
กิต	ติกรรม	มประกาศ	นิ
สา	รบัญ		R
สา	รบัญต	าราง	ฌ
สา	ទប័ល្យភ្លា	ปภาพ	សូ
สักุ	ຸເດັກນາ	í	ปิ
บท	ที่		
1.	บทเ	ຳ	1
	1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2	งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	4
	1.3	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
	1.4	ขอบเขตของกา <mark>รวิจัย</mark>	8
	1.5	ข้อตกลงการวิจัย	8
	1.6	ข้อจำกัดของการวิจัย	9
	1.7	คำจำกัดกวามที่ใช้ในการวิจัย	9
	1.8	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
2.	ทฤษ	ฏีย	10
	2.1	แนวกิดและทฤษฎี	10
	2.2	หลักเกณฑ์การแยกอนุภาคด้วยระบบหมุนวน	12
	2.3	การแยกอนุภาคในช่วงโคน	
	2.4	การกำนวณก่ากวามเร็วต่ำสุดและกวามเร็วสูงสุดในไซโกลน	
	2.5	ประเภทของไซโคลน	17
	2.6	การกระจายตัวของอนุภาค(ฝุ่น)	21
	2.7	ประสิทธิภาพของไซโคลน (Collection Efficiency)	21
	2.8	การวัคค่า pressure drop	25
3.	วิธีดำ	าเนินการวิจัย	26
	3.1	ประชากร	26

บทที่ หน้า	หน้า
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย27	27
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	
3.4 เริ่มการทคลองตามวิชีการทคลอง30	
3.5 การเกี่บรวบรวมข้อมูล35	
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	
3.7 เกณฑ์เทียบระดับความ <mark>คิดเห็น</mark>	
4. ผลการทคลองและวิจารณ์ผลการทคลอง	
4.1 ผลการทดลอง	
4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย46	46
5. สรุปผลการทคลองและข้อเสนอแนะ47	
5.1 สรุปผลการทุดลอง47	
5.2 ข้อเสนอแนะ	
รายการอ้างอิง	50
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก. (การคำนวณ <mark>ออกแบบและการป</mark> ระกอบไซโคลน)53	้โคลน)53
ภาคผนวก ข. (ผลการวัดขนาดของวัตถุดิบ)57	
ภาคผนวก ค. (ข้อมูลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี กรณี ความเร็วคงที่	ษฎี กรณี ความเร็วคงที่
ที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซคาแอช แกลไซต์ และ STPP)70	ไซต์ และ STPP)70
ภาคผนวก ง. (ข้อมูลการทคลองและการกำนวณทางทฤษฎี กรณีความเร็วไม่คงที่	ปฏี กรณีความเร็วไม่คงที่
ที่ความเร็ว 15.7 และ 25.1 m/s ของ STPP)101	P)101
ภาคผนวก จ. (กราฟผลการทคลอง)114	
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์123	

...

պ

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดง characteristic ของไซโกลนชนิดต่าง ๆ	12
ตารางที่ 3.1 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีเปลี่ยนแปลงชนิดวัตถุดิบ	26
ตารางที่ 3.2 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลองเพิ่ม กรณีเปลี่ยนแปลงความเร็วทางเข้า	27
ตารางที่ 3.3 ใซโคลนที่ประกอบขึ้น <mark>ตามภาคผน</mark> วก	31
ตารางที่ 3.4 ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลใน Excel program	35



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบขนถ่ายวัตถุดิบจากถุง bigbag เข้า silo โดยมีระบบดูดฝุ่น
รูปที่ 1.2 วัตถุดิบในถุง bigbag2
รูปที่ 1.3 พนักงานใช้รอกในการยกถุง bigbag2
รูปที่ 1.4 ระบบลมดูดและ bag filter3
รูปที่ 1.5 วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่จะงนถ่ายด้วยระบบ pneumatic conveyor
รูปที่ 1.6 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน แต่เป็นจุดที่เครื่องจักร Filling machine
รูปที่ 1.7 ไซโคลนที่ติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วจริงบริเวณเครื่องบรรจุ ซึ่งเป็น Model อื่น
ที่ไม่ใช่ Lapple's model5
รูปที่ 2.1 การใช้แรงเหวี่ยงเพื่อทำให้เกิดแรงเสียดทานและลดความเร็วของอนุภาค
และเกิดการแ <mark>ยก อนุภาคออกจากก๊าซ</mark> 10
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของไซโคลน Lapple11
รูปที่ 2.3 การกำหนดขนาดของไซโกลนมาตรฐานทั่วไป11
รูปที่ 2.4 ไซโคลนทางเข้าชนิ <mark>ดตามแกน Axial type</mark>
รูปที่ 2.5 ไซโคลนทางเข้าชนิดตามแนวเส้นสัมผัส Tangential type17
รูปที่ 2.6 รูปแบบทางเข้าแบบเส้นสัมผัสทั้ง 4 ชนิด18
รูปที่ 2.7 ไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้น
รูปที่ 2.8 ไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่แบ่งตาม commercial types
รูปที่ 2.9 กราฟการกระจายของฝุ่น (Frequency distribution curve) [Logarithmic size scale]21
รูปที่ 2.10 กราฟประสิทธิภาพของ Lapple ซึ่งสามารถ Fit curve โดย Theodore and De Paola22
รูปที่ 2.11 กระคาษกราฟ log-normal เพื่อวัคค่า dp5023
รูปที่ 2.12 กราฟฮิส โตแกรมของความถี่ กับ ขนาดของอนุภาค
รูปที่ 2.13 กราฟฮิส โตแกรมของความถี่ต่อขนาดอนุภาค กับ ขนาดของอนุภาค
รูปที่ 3.1 เครื่องวัคความเร็วลม (Anemometer)
รูปที่ 3.2 ตาชั่งวัดปริมาณฝุ่น
รูปที่ 3.3 มานอมิเตอร์ (น้ำ)
รูปที่ 3.4 ไซโคลนตัวจริงที่ประกอบขึ้น
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาค32
รูปที่ 3.6 แสดงจุดติดตั้งไซโคลนในระบบกำจัดฝุ่น33

หน้า
รูปที่ 3.7 เปลี่ยนท่อยืดหยุ่นเพื่อต่อเข้ากับไซโคลน34
รูปที่ 3.8 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน
รูปที่ 3.9 นำผงฝุ่นที่ได้จากไซโคลนและ bag filter ไปชั่งน้ำหนัก
รูปที่ 4.1 การต่ออุปกรณ์เข้าสถานที่ทำการทคลองจริง
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจั <mark>ดฝุ่น ที่</mark> ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ
โซคาแอช แกลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโกลน <u>ไม่หมุน</u>
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประส <mark>ิทธิภาพการ</mark> กำจัดฝุ่น ที <mark>่ความเร็วคงที่</mark> 20.2 m/s ของวัตถุดิบ
โซดาแอช แคลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโคลน <u>หมุน</u>
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบโซดาแอช
แคลไซต์และ STPP ทั้งผลจากทฤษฎีและการทดลองโดยไม่หมุนและหมุนไซโคลน40
รูปที่ 4.5 แสคงฝุ่นที่เกาะบริเวณตัวไซ โคลน (เกาะตัวตามแนวการใหลของ laminar flow)41
รูปที่ 4.6 แสคงปริมาณฝุ่นที่เกาะที่น้อยกว่าเมื่อตัวไซโกลนหมุน (เกาะบาง ๆ แต่เกาะทั่วไป)41
รูปที่ 4.7 กราฟแสดง pres <mark>sure drop ที่ความเร็วกงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซดาแอช</mark>
แคลไซต์ และ STPP ผลจากทางทฤษฎี และ การทดลอง
ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่ <mark>หมุนและหมุน</mark> 42
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP
ในกรณีที่ไซโคลน <u>ไม่หมุน</u> 43
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผ _{ลก} ารทคลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP
ในกรณีที่ไซโคลน <u>หมุน</u> 43
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPPซึ่งแสดง
ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทคลองทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน44
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า pressure drop ตามความเร็วทางเข้าค่าต่าง ๆ กัน ของ STPP
แสดงผลจากการคำนวณทางทฤษฎีและผลการวัดจริง
ทั้งกรณีที่ไม่หมุนและหมุนตัวโซโคลน45
รูปที่ 5.1 แสดงการใหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนและการรบกวนรูปแบบการไหล
จากการหมุนตัวไซโคลน48

Ŋ

สัญลักษณ์

dp, dp(cut), dp50	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค , อนุภาควิกฤต (um)
η	ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น (%)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวไซโคลน (m)
Н	ความสูงของทางเข้าของไซโคลน (m)
W	ความกว้างของทางเข้าของไซโคลน (m)
De	<mark>เส้นผ่านศูนย์กลางของทา</mark> งออกของไซโคลน (m)
S	<mark>ความ</mark> ยางของส่วนของทางออกของไซโคลนที่ยื่นเข้าไปในตัว
	ใซโคลน (m)
Lb	ความยาวของตัวไซโคลน (m)
Le	<mark>ความยาวของท่อทางออกของใ</mark> ซโคลน (m)
Dd	เส้นผ่าน ศูนย์กลางของทางออกของ ฝุ่นที่ดักได้ (m)
F _c	แรงสู่ศูนย์กลางทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบโค้ง (N)
М	มวลของวัตถุ (Kg)
V _p , V _{f,g}	<mark>ความเร็วของอนุภาค</mark> , ของใหล (m/s)
R	รัศมีการเข้าโค้ง (m)
ρ	ความหนาแน่นของอนุภาค (Kg/m³)
π	ค่าคงที่
μ	ความหนืด (Kg/m/s)
S	พื้นที่ผิวของอนุภาค (m²)
C _D	ค่ากงที่ของ Drag force
G	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง (m/s²)
θ	องศาของมุม (Degree, Radius)
Ne	จำนวนรอบการหมุนวน (-)
Δ P	Pressure drop ความคันที่สูญเสียไป (Pa)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด เป็นบริษัทที่มีโรงงานอยู่ในนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งมี การผลิตสินด้าอุปโภคและบริโภค โดยโครงสร้างมีการแบ่งการทำงานอย่างชัดเจนของกลุ่มอุปโภค (HPC Home & Personal Care) และกลุ่มบริโภค (Ice cream & Food)

ในกลุ่มบริโภค จ<mark>ะแบ่งเป็นกลุ่</mark>มผลิตภัณฑ์ไอศกรีม และอาหาร คือ ไอศกรีมวอลล์ และ เบสท์ฟู๊ด, คนอร์

ในกลุ่มอุปโภค จะแบ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ส่วนบุคคล (PC Personal Care) และผลิตภัณฑ์ ในครัวเรือน (HC Home Care) โดยในกลุ่ม PC คือ เครื่องสำอางพอนค์ สบู่ลักซ์ ฮาโมนี โดฟ แชมพูซันซิล ออกานิก โดฟ ครีมนวดผม ซันซิล โดฟ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน ซิตร้า เฮซาลีน ใน กลุ่ม HC คือ ผงซักฟอกบรีส โอโม ผงซักฟอกเข้มข้นบรีสเอ็กเซล น้ำยาล้างจานซันไลต์ น้ำยาทำ ความสะอาดห้องน้ำวิม น้ำยาปรับผ้านุ่มคอมฟอร์ท น้ำยาขจัดคราบบรีสเพรสโต้

โดยการทำวิจัยในครั้งนี้จะทำที่โรงงานผลิตผงซักฟอก หรือ NTR (Non Tower Route) ใน ส่วนของการขนถ่ายวัตถุดิบเข้าไซโลซึ่งใช้ระบบลมขนส่ง (Pneumatic conveyor) และมีระบบลม ดูดเพื่อป้องกันฝุ่น





สภาพในปัจจุบันนี้พนักงานต้องใช้รอกยกถุง bigbag ขึ้นจากค้านล่าง platform

รูปที่ 1.2 วัตถุดิบในถุง bigbag



รูปที่ 1.3 พนักงานใช้รอกในการยกถุง bigbag

เพื่อนำไปวางบนแท่นถ่ายวัตถุดิบ โดยก่อนที่จะถ่ายวัตถุดิบเข้าระบบขนส่ง pneumatic conveyor ด้อง เปิดระบบถมดูด เพื่อดูดฝุ่นที่ฟุ้งเข้า bag filter กรอกฝุ่นไว้ และปล่อยอากาศไร้ฝุ่นออกไป





รูปที่ 1.4 ระบบลมดูดและ bag filter วัตถุดิบที่ใช้ระบบ manual มีดังนี้

ุณมหาวทยาลย

1. โซคาแอซ	(1772)	ขนาด 1000 - 55 um,	BD 1300 - 1500 kg/m3
2. แคลไซต์	(1710)	ขนาด 1000 - 45 um,	BD 800 - 1000 kg/m3
3. แอสทีพีพี	(1709)	ขนาด 1000 - 63 um,	BD 400 - 650 kg/m3
4. ซีโอไลต์	(1750)	ขนาด 45-38 um,	BD 300 - 500 kg/m3

โดยข้อมูลที่ได้จะได้จากผู้ส่งวัตถุดิบให้ (Supplier) โดยออกใบ COA (Certificate Of Analysis)



รูปที่ 1.5 วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่จะขนถ่ายด้วยระบบ pneumatic conveyor

ปัญหาที่พบในกระบวนการขนส่งวัตถุดิบโดยระบบ manual

- วัตถุดิบสูญเสียในระบบลมดูด
- 2. ระบบลมดูดตันทำให้ประสิทธิภาพการขนส่งต่ำลง
- พนักงานที่ปฏิบัติงานทำงานยากและต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดมากขึ้น
- 4. เมื่อระบบลมดูดตันทำให้เกิดฝุ่นวัตถุดิบฟุ้งกระจายไปทั่วโรงงาน

1.2 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่พบเห็นใกล้ตัว

ในบริษัทฯ ได้มีการประดิษฐ์ไซโคลนเพื่อใช้ในการดักฝุ่นมาแล้วที่แผนกผงซักฟอกเข้มข้น แต่รูปทรงและการออกแบบอาจไม่ได้เป็นไปตามแบบมาตรฐาน แต่การทำงานก็สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงเป็นมูลเหตุจูงใจในการใช้ไซโคลนกับจุดขนส่งวัตถุดิบนี้



รูปที่ 1.6 บริเวณที่ติดตั้งไซโกลน แต่เป็นจุดที่เครื่องจักร Filling machine



รูปที่ 1.7 ไซโกลนที่ติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วจริงบริเวณเกรื่องบรรจุ ซึ่งเป็น Model อื่น ที่ไม่ใช่ Lapple's model

งานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้จากการค้นข้อมูล

ในส่วนของอธิบายประสิทธิภาพไซโคลน, หลายทฤษฎีของการสะสมอนุภาคในไซโคลน ถูกพัฒนาโดยผู้สนับสนุนหลายคนใช้วิธีการต่างกันกับการสมมติอย่างง่าย ๆ. ผลงานวิจัยที่ใช้ กว้างขวาง เช่น ทฤษฎีของ Lapple ถูกใช้อย่างกว้างขวางเป็นตัวอย่างของทฤษฎี Cut,

 Lapple
 สมมติว่าอนุภาคเข้าไซโคลนถูกกระจายตัวเท่ากันตลอดหน้าตัดของทางเข้า.

 อนุภาคเคลื่อนจากครึ่งหนึ่งของความกว้างทางเข้าไปยังผนังระหว่างเวลาในไซโคลนถูกสะสมเป็น

 50% ประสิทธิภาพ.

Barth เป็นอีกหนึ่งทฤษฎีของทฤษฎี Cut size. Barth คำนวณ terminal settling velocity สำหรับ อนุภาคที่นิ่ง, บนพื้นฐานสมดุลที่แน่ชัดระหว่าง แรงเหวี่ยง(centrifugal force) และ แรงฉุด ลาก (drag force). ประสิทธิภาพสะสมสำหรับแต่ละขนาดอนุภาคถูกกำหนดจากสัดส่วนของ settling velocity ต่อ terminal settling velocity ของอนุภาคที่นิ่ง.

Dirgo และ Leith ประยุกต์ทฤษฎีของ Barth และพบการอธิบายง่าย ๆ สำหรับวิธี Barth ที่ ใช้กราฟระหว่างประสิทธิภาพสะสมกับสัดส่วน.

Iozia และ Leith, บนพื้นฐานทฤษฎีของ Lapple และ Barth, เสนอ logistic function เพื่อ อธิบาย ประสิทธิภาพส่วน ๆ สำหรับไซโคลน ด้วยคุณลักษณะกายภาพ ซึ่งมีความหลากหลายมาก ของ ไซโคลนประสิทธภาพสูง Stairmand. สมการนี้มีตัวแปรโดยประมาณซึ่งอนุโลมให้ปรับแต่ง ของความคมชัดของ Cut ของไซโคลน

Leith และ Licht พัฒนาการเข้าใกล้เคียงที่โด่งดังสำหรับการออบแบบไซโคลน สมมติว่า กวามปั่นป่วนทำให้ความเข้มข้นอนุภาคในที่สูงของไซโคลนผสมเข้ากันดี. ทฤษฎีอนุโลมการ กำนวณโดยตรงของประสิทธิภาพสะสมของทุกขนาดของอนุภาคและสำหรับไซโคลนที่ออกแบบที่ สอดกล้องกัน (arbitrary). แต่โชคไม่อำนวย, มีหลักฐานการทดลองที่สนับสนุนความจริงที่ว่ามี, อย่างจริง,การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในทิศทางแนวรัศมีของไซโคลน

Clift et al ประชุกต์ ประเมิน ค่าเฉลี่ยเวลากักเก็บก๊าซ (gas residence time) และ ทำให้ได้ สมการประสิทธิเกรด (grade efficiency) บนพื้นฐานการสมมติดั่งเดิมของทฤษฎี Leith และ Licht และความเกี่ยวพันที่แตกต่างของขนาดอนุภาคเกิดขึ้น, ทำให้เข้าใกล้เคียงของเส้นโค้งรูป S ที่ได้จาก หลายผู้วิจัย.

ทฤษฎีสะสมที่ผสมผสานกันพัฒนาโดย Dietz แบ่งไซโกลนเป็น 3 ขอบเขต : ขอบเขต ทางเข้า, ขอบเขตไหลลง หรือ วงแหวน (annular) และขอบเขตไหลขึ้น หรือ แกน (core). Dietz เสนอการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคระหว่าง ขอบเขตวงแหวน และ แกน. แต่ Dietz สมมติว่าการ ปั่นป่วนทำให้รูปแบบความเข้มข้นแนวรัศมีเท่ากันสำหรับอนุภาคที่ไม่สะสมในแต่ละขอบเขต. การ สมมตินี้ดี, ควรพิจารณา. Mothes และ Loffler ได้ขยายใจความของ Dietz ของความแตกต่างของขอบเขตการไหล ภายในไซโคลน รวมทั้งขอบเขตที่สี่ ใกล้บริเวณฝุ่นออกที่ก้นไซโคลน, ที่ซึ่งผลกระทบของฝุ่นที่กัก เก็บสามารถถูกรวมเป็นหลักการ. มีความสำคัญมาก, อย่างไรก็ตาม, ดูเหมือนว่าเป็นการพิจารณา ของ การแพร่แบบปั่นป่วนสุดท้าย (finite turbulent diffusivity) ทั้งในขอบเขตการไหลลงและไหล ขึ้น. การเข้าใกล้เคียงนี้หลีกเลี่ยงสภาพไม่ต่อเนื่องของแบบจำลอง Dietz และการขนถ่ายอนุภาคใน ไซโคลนถูกแสดงเป็นความเป็นไปไม่ได้อย่างยิ่งของการเคลื่อนแบบแพร่ด้วย deterministic mean motion.

ทฤษฎีอื่น : Li และ Wang แม้ว่าปรับปรุงบทบาทของ finite turbulent particle diffusivity ในการแสดงความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแนวรัศมีแล้ว แต่หยุดสมมติฐานของความแตกต่างของ ขอบเขตการใหลในไซโคลน

Kim และ Lee เสนอทฤษฎีสำหรับไซโคลนประสิทธิภาพสูงบนพื้นฐานของคุณลักษณะ ขอบเขตชั้น ๆ. ทฤษฎีนี้แบ่งไซโคลนเป็น 2 ขอบเขต ขอบเขตปั่นป่วนและขอบเขตใกล้กำแพง. ทาง โคจรอนุภาคในขอบเขตปั่นป่วนถูกคำนวณจาก mean fluid motion และ ความน่าจะเป็นการสะสม ของอนุภาคในขอบเขตใกล้กำแพงถูกคำนวณโดย deposition velocity ซึ่งผลจากทั้ง การแพร่ ปั่นป่วนและแรงเหวี่ยง

ทฤษฎีอื่นพัฒนาโดย Muschelknautz et al. นานมาแล้ว, Muschelknautz ปรับปรุงทฤษฎี Barth โดยพิจารณาผลกระทบของ particle load, ความหยาบของกำแพง, การไหลอันดับสอง, และ การเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดอนุภาคภายในตัวไซโคลน ด้วยประสิทธิภาพสะสมและ pressure loss. ทฤษฎีนี้อาจจะเป็นแนวปฏิบัติมากที่สุดสำหรับแบบจำลองของไซโคลนที่ใช้ใน ปัจจุบัน

ใน paper ปัจจุบัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่สำหรับคาดเคาประสิทธิภาพไซโคลน ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการสืบค้นจากรูปแบบการไหล, ทฤษฎีการแยกขนาดอนุภาควิกฤด และทฤษฎีการแยกเป็นชั้น ๆ , ซึ่งพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอนุภาคแนวรัศมีที่ หลากหลายแทนที่จะให้เท่า ๆ กันของความเข้มข้นในแนวรัศมี สำหรับไซโคลนที่ไม่มีการสะสม อนุภาคภายในไซโคลน. ประสิทธิภาพสะสมคำนวณโดยแบบจำลองนี้ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก การทดลอง (Bingtao Zhao, 2005)

จะเห็นได้ว่าไซโคโคลนในปัจจุบันก็ยังคงมีการประยุกต์หรือการพัฒนาเพื่อให้ทราบถึง คุณลักษณะที่เกิดขึ้นภายในว่าเป็นอย่างไร บางการวิจัยก็เน้นที่ทางเข้าของไซโคลนอาจปรับเปลี่ยน ทางเข้าแบบ Tangential 2 ทางให้สวนกัน รวมทั้งมีการใช้สมการ Nawier & Stroke และใช้ระบบ คอมพิวเตอร์ (Computerized Fluid Dynamic) เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นสำหรับอนุภาค และของใหล ที่เกิดขึ้นภายในไซโคลนอยู่ แต่การทดลองนี้ มีจุดเด่นคือ ตัวไซโคลนที่สร้างขึ้น สามารถหมุนสวนทางการความเร็วลมทางเข้าได้ เพื่อเปรียบเทียบกับไซโคลนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะนำไปบวกเพิ่มให้กับความเร็วทางเข้า เพื่อใช้ในการคำนวณใน สูตรตามทฤษฎีข้างต้น และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อลดปัญหาเรื่องฝุ่นที่เกิดขึ้นในแผนกและบริเวณใกล้เคียง
- เพื่อลดปัญหาที่กระทบพนักงานอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง
- 3. เพื่อลดของเสีย(วัตถุดิบที่ถูกลมดูด กำจัดออกไปใน bag filter)
- 4. เพื่อลดการอุดตันของระบบลมดูดและยึดระยะเวลาในการบำรุงรักษา bag filter

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1. คำนวณรูปแบบของ cyclone เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสม
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ cyclone กับขนาดของอนุภาค ระหว่างผลการทดลองกับ การคำนวณ
- 3. เปรียบเทียบ pressure drop ของ cyclone ระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ
- 4. สรุปความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคกับขนาดของ cyclone ที่คำนวณไว้

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการทดลองครั้งนี้ความชื้นในอากาศได้สมมติให้คงที่ ซึ่งในช่วงการทดลองเป็นฤดูฝน กับฤดูหนาว ,ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (ไซโคลน) ให้ถือว่าเป็นค่าคงที่ แต่เป็นข้อดี ที่ช่วยในการดักฝุ่น (เป็นแรงที่ช่วยแรง centrifugal) , ความหยาบของผิวไซโคลนถือว่าเป็นค่าคงที่ เหมือนกัน และความเข้มข้นหรือปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการเทวัตถุดิบในแต่ละการทดลองมี คุณภาพทางกายภาพเหมือนกัน (ความเข้มข้น ขนาดและปริมาณ)

1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย

เนื่องจากฝุ่นเป็นสิ่งที่มีน้ำหนักเบามาก และในการทคลองจะต้องใช้น้ำหนักของฝุ่นเป็น ตัวแปรอ้างอิง (ค่าประสิทธิภาพ) ดังนั้นในการทคลองต้องทคลองให้มีปริมาณฝุ่นมากพอที่ทำให้ ข้อมูลน่าเชื่อถือ และฝุ่นที่เกิดขึ้นในการเทวัตถุดิบทุกครั้งเวลาไม่เท่ากันจึงต้องใช้เวลาในการคักฝุ่น เข้าระบบ (ไซโคลน) ใกล้เกียงกันดังนั้นความเข้มข้นฝุ่นที่ได้จะได้จากปริมาณ Fluid ที่ใกล้เกียงกัน

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ใซโคลน คือ Cyclone (เป็นภาษาอังกฤษ) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แบ่งแยกอนุภาคของแข็งออก จากของใหลโดยมีกลไกการแรง centrifugal เป็นหลัก

Centrifugal force คือ แรงที่เกิดขึ้นตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ทำให้มวลเปลี่ยนการ เคลื่อนที่จากตรงเป็นแนวโค้ง (แรงสู่ศูนย์กลาง)

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 ปัญหาการฟุ้งกระจายของวัตถุดิบลคลง ทำให้บรรยากาศการทำงานดีขึ้น
- 2 สุขภาพของพนักงานที่ทำงานอยู่และพนักงานในบริเวณใกล้เคียงดีขึ้น
- 3 การสูญเสียวัตถุดิบลดลงเพราะสามารถนำผงที่ได้จากการแยกมาเป็นวัตถุดิบได้

4 การอุดตันของระบบลมดูดลดลง และ ลดความถี่ในการทำความสะอาดระบบลมดูด bag filter เพราะมีปริมาณฝุ่นเข้าสู่ระบบน้อยลง

จุฬาลงกรณมหาวทยาลย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ใซโคลน (Cyclone)

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์แยกวัฏภาคโดยมากมักใช้แยกของแข็งขนาดเล็กออกจากก๊าซ โดย อาศัยแรงเหวี่ยงซึ่งเกิดจาการหมุนวนเป็นเกลียวในทิศทางลงตามแนวแรงดึงดูดของโลก





ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ในการกำจัดฝุ่นเบื้องด้นเพื่อให้มีปริมาณฝุ่นน้อยลง และส่งอากาศที่ บำบัด แล้วส่วนหนึ่ง ไปบำบัดต่อ (ซึ่งในระบบที่โรงงานจะเป็น Bag filter) ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ กำจัดฝุ่นได้ตั้งแต่อนุภาค ขนาดมากกว่า 15 ไมโครเมตรขึ้นไป โดยมีความเร็วในการไหลเข้า ไซโคลนประมาณ 15-30 เมตรต่อวินาที (ซึ่งจะใช้ในการคำนวณออกแบบ)



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของไซโคลน Lapple (D. Leith and D. mehta,1973.) จะเห็นได้ว่าไซโคลนมีรูปแบบที่มีการศึกษามากมายซึ่งสามารถสรุปเป็นแบบมาตรฐานรูปแบบ ต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง Characteristics of Cyclones



รูปที่ 2.3 การกำหนดขนาดของไซโคลนมาตรฐานทั่วไป (W.L.Olson, 1988)

ตารางที่ 2.1 แสดง characteristic ของไซโคลนชนิดต่าง ๆ

	Cyclone Type ^a					
	High Efficiency		Conventional		High Throughput	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Body diameter D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Height of inlet H/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Width of inlet W/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Diameter of gas exit, D_e/D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Length of vortex finder, S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Length of body L_b/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Length of cone L _c /D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Diameter of dust outlet, D _d /D	0.375	0.4	0.25	, 0.4	0.375	0.4

(column 1,5 from C. J. Stairmand, 1951), (column 3 from C. E. Lapple, 1951) (column 2,4,6 from P. Swift,1969),

Lapple, 1951) Lapple's Model

ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้จะออกแบบตามแบบที่ 3

2.2 หลักเกณฑ์การแยกอนุภาคด้วยระบบหมุนวน

อนุภากจะถูกแยกออกจากก๊าซโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะบังกับให้อนุภากเกลื่อนที่ ตามเส้นทางการใหลของแก๊สไปยังผนังของไซโกลน แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่ออนุภาก

$$F_{c} = \frac{mV_{P}^{2}}{R}$$
 ------ (1)
 $F_{c} = แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค (N)$

เมื่อ

คือ

- m = มวลของอนุภาค (Kg)
- V_P = ความเร็วของอนุภาค ซึ่งขึ้นกับรัศมี (m/s)
- *R* = รัศมีการหมุนวนของอนุภาค (m)

ถ้าคิดว่าความเร็วของแก๊สในแนวสัมผัสกับอนุภาคมีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส กับผนังของไซโคลน (นั่นคือ Vf = Vp) และพิจารณาว่าอนุภาคเป็นทรงกลมคังนั้น

$$m = \rho_P \left(\frac{d_P^3 \pi}{6} \right) \tag{2}$$

เมื่อ ho_{P} = ความหนาแน่นของอนุภาค (Kg/m³)

d_P = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m) ดังนั้น แรงจะส่งให้อนุภาคเข้าสู่ผนังไซโคลน [สมการที่ (2) แทนค่าในสมการที่ (1)]

$$F_C = \rho_P \left(\frac{d_P^3 \pi}{6}\right) \frac{V_P^2}{R} \tag{3}$$

เมื่ออนุภาคถูกทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแยกอนุภาคนั้นออก จากแก๊สที่เกิดจากการหมุนวน ขณะเดียวกันอนุภาคก็จะมีแรงด้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่าน กระแสแก๊สเข้าไปยังผนังของไซโคลน ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการโดยใช้กฎของสโตกส์ (Stoke's Law) ดังสมการ

F_c. = แรงต้านทานการเกลื่อนที่ของอนุภากในแนวรัศมี

[จากแกนกลางไซโคลนสู่ผนังของไซโคลน] (N)

(ปณตสรรค์ ,2541)

จากสมการข้างต้นจะพบว่าแรงที่ใช้สำหรับแยกอนุภากเป็นดังนี้ [สมการที่ (3) ลบ (4)]

F =
$$\rho_P \left(\frac{d_P^3 \pi}{6}\right) \frac{V_P^2}{R} - 3\pi \mu d_P V_f$$
 ------(5)
= $d_P \pi V \left(\frac{\rho_P d_P^2 V}{6R} - 3\mu\right)$ ------(6)

นั่นหมายความว่า อนุภาคจะเกิดการเกลื่อนที่ไปสู่ผนังได้เมื่อ [ค่าในวงเล็บสมการที่ (6)]

$$\left(\frac{\rho_P d_P^2 V}{6R} - 3\mu\right) > 0 \tag{7}$$

ในกรณีที่ ความเร็วแก๊ส และรัศมีคงที่ (Body) จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตของอนุภาคดังนี้ [จัดรูป สมการที่ (7)]

$$\frac{\rho_{P}d_{P_{cut}}^{2}V}{6R} = 3\mu \qquad ------(8)$$

$$d_{P_{Cut}}^{2} = \frac{18\mu R}{\rho_{P}V} \qquad ------(9)$$

$$d_{P_{Cut}} = \sqrt{\frac{18\mu R}{\rho_P V}} \tag{10}$$

จากสูตรการคำนวณจะเห็นได้ว่ากรณีที่ความเร็วแก๊ส และรัศมีคงที่ (Body) เส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤต ของอนุภาคขึ้นกับความหนืดของของไหล และ ความหนาแน่นของอนุภาค ซึ่งถ้าความหนืดของ ของไหลน้อยก็จะสามารถกำจัดอนุภาคที่เล็กได้ดีขึ้น เช่นเดียวกันกับถ้าความหนาแน่นของอนุภาค มากก็จะสามารถกำจัดอนุภาคที่เล็กได้ดีขึ้นเช่นเดียวกัน

ซึ่งโดยทั่วไปสมการของเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตก็ขึ้นกับ ความหนืดของของไหล ขนาด ของไซโคลน ความหนาแน่นของอนุภาค และความเร็วของของไหลเช่นเดียวกัน แต่จะมีค่าคงที่และ สัมประสิทธิ์อื่นรวมด้วย

2.3 การแยกอนุภาคในช่วง cone

2.3.1 ในกรณีส่วน Cone ที่เป็นรัศมีและแรงสู่ศูนย์กลางไม่คงที่ <u>แต่กำหนดให้ความเร็วของ</u> อนุภาคกงที่ แรงสู่ศูนย์กลางจะเปลี่ยนแปลงตามรัศมี โดยสมมติให้ของไหลส่วนที่เกินจะไหลออก ตรงทางออกของตัวไซโคลนด้านบนโดยมีความเร็วการไหลออกเท่ากับการไหลเข้า ดังนั้นผลของ แรงสู่ศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีจะเป็นดังนี้ที่ทางออกของผงฝุ่น (Cone) โดยใช้สมการที่ 1 จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$F_C R = m V_P^2 \tag{11}$$

ถ้าเราสมมติให้ความเร็วของอนุภาคไม่เปลี่ยนไม่เปลี่ยน

 $F_{Ci}R_i = F_{C0}R_o$ ------ (12)

โดยที่ F_{Ci} = แรงสู่สูนย์กลางทางเข้า (Body) (N)

R; = รัศมีของทางเข้ารอยต่อตัว Body กับ Cone (m)

F_{Co} = แรงสู่ศูนย์กลางทางออกปลายไซโคลน (Cone) (N)

R = รัศมีของปลายโคน (m)

นั่นหมายความว่าถ้าเราออกแบบตาม Lapple model ทางออกของฝุ่นจะลดลง 1 ใน 4 เท่า $(R_{i_{\sigma}} = 4R_{o})$

ดังนั้น $F_{Co} = 4F_{Ci}$, $(R_o = 0.25\,R_i)$ ------ (13) นั่นหมายถึงแรงเหวี่ยงอนุภาคสูงขึ้น 4 เท่าซึ่งจะทำให้กำจัดอนุภาคได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ขึ้น 2 เท่า จากสมการที่ 10

$$d_{P_{Cut}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{18\mu R}{\rho_P V}}$$
 ------ (14)

้นั่นคือช่วง cone สามารถคัดแยกอนุภาคที่เล็กลงได้อีก 2 เท่าถ้าความเร็วคงที่

14

2.3.2 ในกรณีส่วนที่เป็นรัศมีและความเร็วไม่คงที่ (Cone) ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงตามรัศมี โดยเราสามารถกำหนดให้เปรียมเสมือนการใหลในท่อแต่มีขนาดหน้าตัดเล็กลง โดยทางเข้าของท่อ มีขนาดเท่ารัศมีของตัวไซโคลน (Body) และท่อที่เล็กลงมีขนาดเท่ากับทางออกของผงฝุ่น (Cone) โดยใช้สมการดังนี้

$$\rho_i V_i A_i = \rho_o V_o A_o \tag{15}$$

ถ้าเราสมมติให้ความหนาแน่นไม่เปลี่<mark>ยน</mark>

$$V_i A_i = V_o A_o$$
 ------- (16)
โดยที่ V_i = ความเร็วจากทางเข้า (Body) (m/s)
 A_i = หน้าตัดตามแนวรัศมีของรอยต่อ (cm²)
 V_o = ความเร็วปลายไซโคลน (Cone) (m/s)
 A_o = หน้าตัดตามแนวรัศมีของปลายโคน (cm²)
 $V_i (2\pi R_i * R_i) = V_o (2\pi R_o * R_o)$ ------- (17)
 $V_i R_i^2 = V_o R_o^2$ ------- (18)

นันหมายความว่าถ้าเราออกแบบตาม Lapple model ทางออกของฝุ่นจะลดลง 1 ใน 4 เท่า

$$(R_i = 4R_o)$$

ดังนั้น $V_o = V_i \frac{R_i^2}{R_o^2} = 16V_i$, $(R_o = 0.25R_i)$ ------ (19)
 $d_{P_{Cut}} = \sqrt{\frac{18\mu(0.25R_i)}{\rho_P(16V_i)}}$ ------ (20)
 $d_{P_{Cut}} = \frac{1}{8}\sqrt{\frac{18\mu R}{\rho_P V}}$ ------ (21)

นั่นคือช่วง cone สามารถคัดแยกอนุภาคที่เล็กลงได้อีก 8 เท่า

จะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วง cone ไม่ว่าความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นหรือไม่อนุภาคก็ จะถูกแยกได้ดีขึ้นอย่างน้อนคืออนุภาคที่มีขนาดเล็กลงครึ่งหนึ่งอย่างดีที่สุดคือเล็กลง 1 ใน 8 ส่วน ของอนุภาควิกฤต

2.4 การคำนวณค่าความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดในไซโคลน

2.4.1 ความเร็วต่ำสุด

จากสมการที่ 10 ถ้าเปลี่ยนจุดสนใจไปที่ความเร็วของอนุภาค จะได้ค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำ ให้เกิดการแยกอนุภาคออกจากอากาศ (Vmin)

$$V_{Min} = \frac{18\mu R}{\rho_P d_P^2}$$
(22)

2.4.2 ความเร็วสูงสุด

ในขณะที่เกิดการแยกของฝุ่นและอากาศออกจะเกิด Drag force เพื่อดึงอนุภาคขึ้น ซึ่งถ้าแรง นั้นมีค่าพอดีกับแรงดึกดูดของโลกก็จะเกิดช่วง Fluidization แต่ถ้ามากกว่าก็จะพาให้อนุภาคนั้นออก จากโซโกลนไป นั่นหมายถึง Vmax

$$F_{D} = \frac{C_{D}V_{p-f}^{2}\cos^{2}\theta\rho_{f}s}{2g}, \cos\theta = \frac{H}{\sqrt{H^{2} + \pi^{2}R^{2}}}$$
(23)

ซึ่งแรงด้านการเกลื่อนที่ขึ้นสำหรับอนุภากที่ไม่ติดผนังคือแรงโน้มแถวโลก

$$F_G = mg \qquad -----(24)$$

ดังนั้นในกรณีที่ความเร็วสูงสุดที่ทำให้อนุภาคไม่หลดุออกจากไซโคลนแต่เกิดปรากฏการณ์ Fluidization นั่นคือ แรงทั้งสองเท่ากัน [แทนค่า m จากสมการที่ (2)]

$$\rho_{P}\left(\frac{\pi d_{P}^{3}}{6}\right)g = \frac{C_{D}V_{p-f}^{2}\cos^{2}\theta\rho_{f}s}{2g}$$
 ------(25)

จัดรูปสมการ 21 ใหม่

$$V_{Max} = \sqrt{\frac{\pi \rho_P d_P^3 g^2}{3C_D \cos^2 \theta \rho_f s}}$$
(26)

ดังนั้นความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละอนุภาคจะอยู่ระหว่าง

$$V_{Min} = \frac{18\mu R}{\rho_P d_P^2} \quad \text{max} \quad V_{Max} = \sqrt{\frac{\pi \rho_P d_P^3 g^2}{3C_D \cos^2 \theta \rho_f s}}$$

ปรับสมการ Vmax ให้รูปแบบใกล้เคียงกับ Vmin จะได้

$$V_{Max} = \frac{18\mu R}{\rho_P d_P^2} \sqrt{\frac{\pi \rho_P^3 d_P^7 g^2}{18*18*3\mu^2 R^2 C_D \cos^2 \theta \rho_f s}}$$
(27)

นั่นหมายความว่าก่าใต้รากต้องมากกว่า 1

$$1 <= \sqrt{\frac{\pi \rho_{P}^{3} d_{P}^{7} g^{2}}{972 \mu^{2} R^{2} C_{D} \cos^{2} \theta \rho_{f} s}}$$
(28)

หรือค่าของสมการข้างล่างเป็นจริง

972 $\mu^2 R^2 C_D \cos^2 \theta \rho_f s \ll \pi \rho_P^3 d_P^7 g^2$ ------ (29) ดังนั้นเราสามารถกาคเคาช่วงของกวามเร็วที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอนุภากได้

2.5 ประเภทของใซโคลน

ใซโคลนถ้าแบ่งจากรูปแบบทางเข้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Vane Axial Entry cyclone



รูปที่ 2.4 ไซโคลนทางเข้าชนิดตามแกน Axial type (C. J. Stairmand, 1951)

และ Axial type ยังได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ reverse flow types และ staight-through types [Otakar Storch et al, 1979 (ref. 10)]

2. Tangential Entry cyclone



รูปที่ 2.5 ไซโกลนทางเข้าชนิดตามแนวเส้นสัมผัส Tangential type (C.D. Cooper, 1974)

้โดยทางเข้าแบบแนวเส้นสัมผัสสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังภาพ

- 1. Tangential entry
- 2. Tangential entry with deflector vanes
- 3. Helical entry
- 4. Involute entry



รูปที่ 2.6 รูปแบบทางเข้าแบบเส้นสัมผัสทั้ง 4 ชนิด (C. J. Stairmand, 1951)

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ชนิคที่ 2 และมีทางเข้าแบบ 3 รวมกับ 4 เพื่อประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการ ดักฝุ่น

้ตัวอย่างไซโคลนประเภทต่าง ๆ ที่มีการออกแบบขึ้น



รูปที่ 2.7 ไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้น (Otakar Storch et al, 1979)

ประเภทของไซโคลนยังสามารถแบ่งตามลักษณะอื่นอีกได้เช่น แบ่งตาม commercial types โดยสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

- 1. Unilflow Cyclone
- 2. Duclone Cyclone
- 3. Sirrocco Type D collector

- 4. Van Tongeren Cyclone
- 5. Multiclone Collector
- 6. Dustex Miniature Collector Assembly
- 7. Rotatialna- Flow Dust Precipitator (Philip A. Schweitzer, 1970)



รูปที่ 2.8 ใชโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่แบ่งตาม commercial types (Robert H. Perry,6th)

2.6 การกระจายตัวของอนุภาค (ฝุ่น)

เนื่องจากการกระจากตัวของฝุ่น ได้สมมติให้การกระจายตัวเป็นแบบ Log-normal ดังนั้นจึง ใช้ทฤษฎีและกราฟ และวิธีกำนวณแบบ Lapple model



รูปที่ 2.9 กราฟการกระจายของฝุ่น (Frequency distribution curve) [Logarithmic size scale] (W.C.Hinds, 1999)

โดยฝุ่นของสารเคมีจะถูกสมมติให้มีการกระจายเป็นไปตามกราฟด้านบนเพื่อให้ง่ายต่อการ กำนวณหาขนาดของฝุ่นเพื่อใช้ในการกำนวณต่อไป

2.7 ประสิทธิภาพของไซโคลน (Collection Efficiency)

ในการทดลองครั้งนี้ประสิทธิภาพของไซโคลนที่ได้จะมี 2 ตัวเลขคือ

- 1. จากการทคลอง
- 2. จากการคำนวณ

- ประสิทธิภาพจากการทคลองจะคำนวณจาก

ประสิทธิภาพ(η) = <u>น้ำหนักฝุ่นที่ไซโคลนดักได้ * 100</u>. ------ (30) น้ำหนักฝุ่นที่ไซโคลนและถุงกรองดักได้รวมกัน - ประสิทธิภาพจากการคำนวณจะคำนวณจาก

วิธี Lapples'S graph (Equation from Theodore and De Paola) (L. Theodore and V. Depaola,1980)

ประสิทธิภาพ
$$\eta_j = 1/\left[1 + \left(d_{p50} / d_{pj}\right)^2\right]$$
 ------ (31)
โดยที่ d_{p50} คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีจำนวนอนุภาค 50 %
 d_{pj} คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีจำนวนอนุภาค % ใด ๆ



รูปที่ 2.10 กราฟประสิทธิภาพของ Lapple ซึ่งสามารถ Fit curve โดย Theodore and De Paola (W.L.Olson, 1988)

โดย dp50 (ขนาดอนุภากที่เป็นจุดวิกฤตในการกำจัด) สามารถหาได้ 2 วิธีกือ 1. dp 50 จากการคำนวณ (W.L.Olson, 1988)

ญัตร

$$d_{p50} = \left(\frac{9\mu W}{2\pi N_e \rho_p V_g}\right)^{1/2}$$
 ------ (32)
โดยที่
 $N_e \cong \frac{1}{H} \left(L_b + \frac{L_e}{2}\right)$ ------ (33)
 $N_e =$ จำนวนรอบการหมุนวน (Number of turns of the vortex) (-)

จำนวนรอบการหมุนวน (Number of turns of the vortex) (-)

- W = ความกว้างของทางเข้า ไซโคลน (m)
- H = ความยาวของทางเข้า ไซโคลน (m)
- L_b = ความยาวของ body ไซโคลน (m)

L_c = ความยาวของ cone ไซโคลน (m) μ = ความหนึดของของไหล/อากาศ (Kg/m/s)

 ho_{P} = ความหนาแน่นของอนุภาค (Kg/m³)

V ู = ความเร็วเชิงเส้นของของไหล (m/s)

2. dp 50 จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

(โดยการการ plot คู่ถำดับปริมาณฝุ่นที่ % ต่าง ๆ กับขนาดของอนุภาคในกระดาษกราฟ พิเศษ log-normal)

โดยในการทคลองกรั้งนี้เราจะใช้ค่า dp50 จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค แต่สูตรที่ใช้ ในการคำนวณจะนำมาเปรียบเทียบเท่านั้น



รูปที่ 2.11 กระคาษกราฟ log-normal เพื่อวัคค่า dp50

โดยคู่ลำคับที่ใช้ในการ plot กราฟนี้ต้องเปลี่ยนความสัมพันธ์ของแกนตั้งจากของฮีสโตแกรมจาก ความถี่ กับ ขนาดของอนุภาค



รูปที่ 2.12 กราฟฮีส โดแกรมของความถี่ กับ ขนาดของอนุภาค (W.C.Hinds, 1999)



ไปเป็น ความถี่ต่อขนาดของอนุภาค กับ ขนาดของอนุภาค

รูปที่ 2.13 กราฟฮีสโตแกรมของความถี่ต่อขนาดอนุภาค กับ ขนาดของอนุภาค (W.C.Hinds, 1999)

เมื่อนำค่าคู่ลำคับที่ได้ไป plot ใน log-normal graph จะได้เส้นตรงที่เกิดจากคู่ลำคับ ให้ลากเส้นจากแกนแนวนอนที่ 50 % ตรงขึ้นไปตัดเส้นตรงที่เกิดจากคู่ลำคับ และลากเส้นตรงแนวนอนไปยังแกนตั้ง จะได้ค่า dp50 จากกราฟ
2.8 การวัดค่า pressure drop

ในการทคลองครั้งนี้ pressure drop ของไซโคลนที่ได้จะมี 2 ตัวเลขคือ

- 1. จากการทคลอง
- 2. จากการคำนวณ

ระดับที่ต่างกันของทางเข้าและทางออก ซึ่งวัดความต่างของระดับน้ำจริง และใช้ สูตร Pressure drop (ΔP) = ความหนาแน่น * 9.8 * ความต่างของความสูงระดับน้ำ ------- (34)

- Pressure drop จากการคำนวณจาก (C.B. Shepherd and C.E.Lapple, 1940)

ମୁଗ୍ର Pressure drop
$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho_P V_g^2 H_V$$
 ------ (35)

โดยที่

$$H_{V} = K \frac{HW}{D_{e}^{2}}$$
 ------ (36)
 $K = ค่าคงที่ 16 สำหรับ tangential และ 7.5 สำหรับ vane
 $W = ความกว้างของทางเข้า ไซโคลน (m)$
 $H = ความยาวของทางเข้า ไซโคลน (m)$
 $D_{e} = เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของ ไซโคลน (m)$
 $\rho_{P} = ความหนาแน่นของอนุภาค (Kg/m3)$
 $V_{g} = ความเร็วเชิงเส้นของของไหล (m/s)$$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากร

การทดลองจะทดลองกับผงฝุ่นทั้งหมด 3 ชนิด (เนื่องจากซิโอไลต์ ระบบที่ต่อไว้ไม่ สมบูรณ์ ขณะทำการทดลองและผลการวัดขนาดอนุภาคของซิโอไลต์มีขนาดเล็กมาก) โดยแต่ละผง ฝุ่นจะทดลองที่กวามเร็วลมคงที่ ทดลองครั้งละ 3 ตัวอย่าง (โดย1 ตัวอย่าง คือ 1 ถุงวัตถุดิบ) และจะ หมุน Body ของไซโกลนด้วย ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมด 6 รูปแบบการทดลองตาม ตาราง ด้านล่าง

การทคลองที่	อนุภาค	Body cyclone	No. การทดลอง
1	โซคาแอช	ไม่หมุน	้ 3 ซ้ำ
2		หมุน	3 ซ้ำ
3	แคลไซต์	ไม่หมุน	3 ซ้ำ
4		หมุน	3 ซ้ำ
5	STPP	ไม่หมุน	3 ซ้ำ
6		หมุน	3 ซ้ำ

ตารางที่ 3.1 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีเปลี่ยนแปลงชนิดวัตถุดิบ

และเพิ่มการทคลองโดยปรับเปลี่ยนความเร็วของทางเข้าให้มากขึ้นและน้อยลงสำหรับตัวอย่าง STPP (เนื่องจากการเทวัตถุดิบมีน้อยลง จึงไม่สามารถเลือกชนิดของวัตถุดิบได้)

การทดลองที่	อนุภาค	Body cyclone	No. การทคลอง
7	STPP	ไม่หมุน	3 ซ้ำ
8	(Vin น้อยกว่า)	หมุน	3 ซ้ำ
9	STPP	ไม่หมุน	3 ซ้ำ
10	(Vin มากกว่า)	หมุน	3 ซ้ำ

ตารางที่ 3.2 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลองเพิ่ม กรณีเปลี่ยนแปลงความเร็วทางเข้า

รวมเป็นทั้งหมด 10 รูปแบบการทดลอง

3.2 วิชีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการคำเนินการวิจัยโครงงานนี้จะเน้นการวิจัยในโรงงาน วิธีการทคลองมี ดังต่อไปนี้

- 1. วัดความเร็วลมดูดเพื่อคำนวณพื้นที่หน้าตัดทางเข้าของไซโคลน
- 2. คำนวณเพื่อหาไซโกลนที่เหมาะสม
- 3. สร้างแบบจำลองของไซโคลนที่เหมาะสม
- 4. ส่งตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อหาขนาดของอนุภาก เป็นข้อมูลสำหรับทาง ทฤษฎี
- 5. ทคลองต่อไซโคลนต่อเข้ากับระบบ
- ตรวจสอบน้ำหนักฝุ่นที่ได้จากไซโคลนทั้ง 4 ชนิด และความดันตกที่เกิดขึ้น
- 7. คำนวณประสิทธิภาพและความดันตกจากสูตรในทฤษฎีเปรียบเทียบกับการทดลอง
- 8. สรุปและวิเคราะห์ผลการทคลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดความเร็วลม



2. ตาชั่งน้ำหนักของฝุ่น



รูปที่ 3.2 ตาชั่งวัดปริมาณฝุ่น

นาฬิกาจับเวลา

ใช้นาฬิกาจับเวลาทั่วไป

4. มานอมิเตอร์ (น้ำ)



รูปที่ 3.3 มานอมิเตอร์ (น้ำ)

3.4 เริ่มการทดลองตามวิธีการทดลอง

เมื่อวัดความเร็วของแรงลมดูดได้แล้วก็กำนวณตามภาคผนวก ก. ซึ่งจะได้รูปแบบของไซโคลนโดย แยกตามชิ้นต่าง ๆ ซึ่งตัดแล้วต้องนำมาต่อ ในการต่อนั้น อาจต้องใช้การลองผิดลองถูกสำหรับบาง ชิ้นส่วนถ้าติดแล้วไม่สมบูรณ์ เมื่อประกอบเสร็จไซโคลนจะมีองก์ประกอบตามตารางด้านล่างนี้ ตารางที่ 3.3 ไซโคลนที่ประกอบขึ้นตามภาคผนวก

เส้นผ่านศูนย์กลางของไซ โคลน		=	20.00เซนติเมตร	(D)
ความสูงทางเข้า	(0.5 *D)	=	10.00เซนติเมตร	(H)
ความกว้างทางเข้า	(0.25*D)	=	5.00เซนติเมตร	(W)
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกอากาศ	(0.5 *D)	=	10.00เซนติเมตร	(De)
ความยาวของ Vortex	(0.625*D)	=	12.50เซนติเมตร	(S)
ความยาวของตัวไซโคลน	(2.0 *D)	=	40.00เซนติเมตร	(Lb)
ความยาวของโคนไซโคลน	(2.0 *D)	=	40.00เซนติเมตร	(Lc)
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออ <mark>กฝุ่น</mark>	(0.25*D)	=	5.00เซนติเมตร	(Dd)



รูปที่ 3.4 ไซโคลนตัวจริงที่ประกอบขึ้น

ระหว่างออกแบบไซโคลน นำตัวอย่างวัตถุดิบไปส่งให้ศูนย์วิจัยวิเกราะห์ขนาดของอนุภากและจะ ได้กราฟการกระจายดังตัวอย่างข้างล่างนี้

-	13	1100		
4	20	125	ŝ.	
-2	The second	180	5	
-2	22	530	82	
1.2	125		ð.,	
100	100	22.	924	

ศูนษ์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ชอย 62 ณพฤกไท ปรุ่นวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 (ทรสาร 2540211 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University Building 2-3 Chula Soi 62 Phaye-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Sample ID: Calcite Sample File: OTHE Sample Path: C.\ Sample Notes: We Dis Te:	R13 It Analysis System persing medium sted by Kaew Kaj	n : Water ornchaiyakul	Sam Run Number: Record Number:	ple Details 5 477	Measur Analyse Result \$	ed: 28 Jun 2005 14:42P d: 28 Jun 2005 14:42P Source: Analysed	M
Range Lens: 300R Presentation: 30H Analysis Model: Pe	F mm D olydisperse	Beam Length: 2.40 [Particle R.I. = (1.5	Syst 1 mm 295, 0.1000);	em Details Dispersant R.I. = 1.3	Sampler: MS17 300]	Ot	oscuration: 15.9 % Residual: 0.278 %
Modifications: Activ	/e	Killed Data Channe Killed Result Channe	ls: Low 0; High nels: < 0.05 um;	2 > 120.67 um.			
Distribution Type: Mean Diameters: D [4, 3] = 16.40 u	Volume	Concentration = 0 D (v, 0.1) = 0.51 D [3, 2] = 1.71 ur	Resu .0094 %Vol um n	It Statistics Density = 1.000 D (v, 0.5) = 12. Span = 2.998E+0	g / cub. cm 55 um 00	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 38.12 u Uniformity = 9.547E-	= 3.5001 sq. m / (im 01
Size_Low (um)	ln %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (un	n) In %	Size_High (um)	Under%
0.05 0.06 0.07 0.08 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.67 0.78 0.67 1.24 1.44 1.85 1.24 1.44 1.85 2.28 2.65 3.60 4.19 4.88 5.69	0.02 0.04 0.07 0.10 0.28 0.28 0.28 0.28 0.29 1.48 1.49 1.37 1.30 1.25 1.13 1.07 1.04 1.04 1.06 1.10 1.15 1.21 1.29 1.38 1.51 1.88 1.89 2.14 2.14 2.71	0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.85 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69 6.63	0.06 0.08 0.13 0.22 0.36 0.56 0.84 1.27 4.03 5.52 7.01 8.38 9.68 10.93 12.06 13.13 14.16 15.20 16.26 17.35 18.51 19.72 21.00 16.26 17.35 18.51 22.38 23.89 25.57 27.46 29.60 32.01 34.72	0.63 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.66 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.56 163.77 190.80 222.28 258.95 301.88 351.46 409.45 477.01 65.571 647.41 754.23	3.40 3.40 4.24 4.71 5.18 5.64 6.07 6.11 5.82 5.20 4.322 3.29 2.27 1.36 0.65 0.20 0.000 0.00	9,00 10,48 12,21 14,22 16,57 19,31 22,49 26,20 30,53 35,56 41,43 46,27 56,23 65,51 76,32 88,91 103,58 120,67 140,58 103,58 120,67 140,58 103,58 122,28 225,895 301,68 351,46 409,45 477,01 555,71 647,41 754,23 878,67	41.16 44.95 49.20 53.90 64.72 70.79 76.90 82.72 92.23 95.52 97.79 99.15 99.80 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
10			Vo	olume %			100
							90
1 38							80
1							70
1 16					050		60
				1. 6 /			50
				/			40
					12		30
				0/00	in ha		20
04 1/8			1.1				20
d l		/					10
0 0.01	0	.1	1.0 Decticle I	10.0 Diameter (um.)	100	0.0 1	000.0

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาค

ซึ่งเราก็จะสามารถนำข้อมูลไปหาก่า dp 50 ได้

เมื่อประกอบขึ้นเสร็จก็นำไปติดตั้งบริเวณที่ทำการทดลอง โดยเชื่อตรงจุดที่เป็นท่อยืดหยุ่น นำท่อ ยืดหยุ่นจากท่อลมดูดต่อเข้ากับทางออกของไซโคลน และนำท่อยืดหยุ่นอีกอัน จากทางเข้าไซโคลน ต่อกับทางออกของชุดถ่ายวัตถุดิบดังรูป





รูปที่ 3.7 เปลี่ยนท่อยึคหยุ่นเพื่อต่อเข้ากับไซโคลน



รูปที่ 3.8 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน

เมื่อติดตั้งไซโคลนเสร็จก่อนเริ่มการทดลองต้องทำให้ฝุ่นที่ก้างใน bag filter ออกให้มากที่สุด โดย ทำการเปิดระบบลมดูด และสั่น bag filter รวมทั้งเคาะ จนมั่นใจว่าไม่มีฝุ่นเก่าตกก้างใน bag filter จึงเริ่มการทดลอง เมื่อทดลองแล้วจะได้ฝุ่นที่ได้จากตัวไซโคลนและจาก bag filter ให้นำไปชั่ง และ บันทึกในเอกสาร



รูปที่ 3.9 นำผงฝุ่นที่ได้จากไซโคลนและ bag filter ไปชั่งน้ำหนัก

3.5 การเก็บรวบรว<mark>มข้อมูล</mark>

ตารางที่ 3.4 ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลใน Excel program

วันที่								ผงฝุ่น						
Vin (m/s)	Vbody	Time Start	Time end	Time(s)	Q(m3/s)	dP (cmW)	Bag Cy(g)	Bag Cy+Dust	Dust Cy(g)	Bag BF(g)	Bag BF+Dust	Dust BF(g)	Tot Dust	CyEff
	ไม่หมุน					6					6			
	ไม่หมุน	<u>'n</u>	21	ก	57	19	198	77	9/1	217	าลเ			
	ไม่หมุน				00	NQ								
	หมุน													
	หมุน													
	หมุน													
	ไม่หมุน													
	ไม่หมุน													
	ไม่หมุน													
	หมุน													
	หมุน													
	หมุน													

ซึ่งข้อมูลที่ได้จัดเก็บไว้ในภาคผนวก ค. ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณ ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น จากการ ทดลอง และ Pressure drop จากการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบการ ผลการคำนวณทางทฤษฎี

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในกรณีที่ไซโคลนไม่หมุ<mark>น</mark>

จะเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นที่ได้จากการคำนวณ กับ ประสิทธิภาพที่
 ได้จากทดลองจริง

- และจะเปรียบเทียบ pressure drop ที่ได้จากการคำนวณ กับ ทดลองจริง
- และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นความเร็วน้อย และมากกว่าที่กำหนด

ในกรณีที่ไซโคลนหมุ*น*

จะเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นที่ได้จากการทดลองที่หมุน กับ ไม่หมุน
 Body ไซโดลน และ จะเปรียบเทียบกับ ประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณ (ซึ่งในการ
 คำนวณจะนำความเร็วของ Body ไซโดลนเพิ่มให้กับความเร็วทางเข้าของไซโดลน)

 และจะเปรียบเทียบ pressure drop ที่ได้จากการทดลองที่หมุน กับ ไม่หมุน Body ไซโคลน และ จะเปรียบเทียบกับ press drop ที่ได้จากการคำนวณ (ซึ่งในการคำนวณ จะนำความเร็วของ Body ไซโคลนเพิ่มให้กับความเร็วทางเข้าของไซโคลน)

และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นความเร็วน้อย และมากกว่าที่กำหนด

3.7 เกณฑ์เทียบระดับความคิดเห็น

ในกรณีของ Body ไซโคลนหยุดนิ่ง ถ้าข้อมูล (ทั้งประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น และ pressure drop) ที่ได้จากการทดลองแตกต่างจากทฤษฎีเกิน 10% แสดงว่าการทดลองมีความ ผิดพลาดมาก

ในกรณีของ Body ไซโคลนหมุน ถ้าข้อมูลประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นในกรณีที่หมุนมี ค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่หมุนเกิน 10% แสดงว่าประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ และ ถ้าข้อมูล pressure drop ในกรณีที่หมุนมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่หมุนน้อยกว่า 5% แสดงว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่าง pressure drop

ในกรณีเพิ่มและลดความเร็วทางเข้าของไซโกลนจะให้เห็นแนวโน้มว่าเมื่อลดหรือเพิ่ม ความเร็วแล้วประสิทธิภาพจะดีขึ้นหรือแย่ลง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าทดลองในพื้นที่จริงดังรูป ซึ่งจะให้ผลการทดลองตามตารางใน ภากผนวก ค.



รูปที่ 4.1 การต่ออุปกรณ์เข้าสถานที่ทำการทคลองจริง

จากการทคลองสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังนี้



ผลการทดลองที่ใช้วัตถุดิบต่างชนิดแต่ให้กวามเร็วทางเข้ากงที่

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซดาแอช แกลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน</u>



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซดาแอช แกลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโกลน <u>หมุน</u> จากกราฟแสดงให้เห็นการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีผลการทดลองใกล้เคียงกัน นั่นคือ ข้อมูลผลการ ทดลองสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งถ้าข้อมูลตรงกับความเป็นจริง ก็ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลได้ หรือ อาจสรุปว่าเกิดความผิดพลาดในการทดลองเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง ก็ได้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่กวามเร็วกงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซดาแอช แกลไซต์ และ STPP ทั้งผลจากทฤษฎีและการทดลอง โดยไม่หมุนและหมุนไซโกลน

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลการคำนวณประสิทธิภาพ จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาคกับสูตร คำนวณนั้นใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ทั้งกรณีที่ไซโคลนไม่หมุนและหมุน

ส่วนผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กับ ผลจากการทดลอง นั่นมีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ซึ่งเป็นทั้ง 2 กรณี คือทั้งกรณีที่ไม่หมุนไซโคลน และ หมุนไซโคลน ซึ่งอาจจะเกิดการ ผิดพลาดในการออกแบบ หรือการคำนวณในการออกแบบ รวมทั้งการขาดประสบการณ์ในการ ออกแบบไซโคลน จึงอาจเกิดความผิดพลาด ระหว่างทฤษฎี กับการทดลองจริง

จากกราฟ ผลการทดลองการหมุนไซโคลน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นลดลง ซึ่งให้ผล เหมือนกันทั้งทางทฤษฎี(คำนวณ) และผลจากการทดลอง ซึ่งการลดลงนี้อาจเกิดจาการเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์การไหลภายในตัวไซโคลน ทำให้เกิดการหมุนวน (ไม่เป็น laminar flow) จึงทำให้ ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นลดลง แต่จากการทดลองฝุ่นที่เกาะในตัวไซโคลนลดลงเมื่อหมุนตัวไซโคลน เมื่อเทียบกันตัวไซโคลนที่ หยุดนิ่งดังภาพ



รูปที่ 4.5 แสดงฝุ่นที่เกาะบริเวณตัวไซ โคลน (เกาะตัวตามแนวการไหลของ laminar flow)



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณฝุ่นที่เกาะที่น้อยกว่าเมื่อตัวไซโกลนหมุน (เกาะบาง ๆ แต่เกาะทั่วไป)

ซึ่งการเกาะของฝุ่นนั้นเกิดจากฝุ่นมีประจุไฟฟ้า และ ผิวของตัวไซโคลนก็มีประจุไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ทำให้มีแรงดึงดูดทางไฟฟ้า เป็นไปตามกฎของ Coulomb

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} - \dots - (37)$$
โดยที่ F = แรงดึงดูดหรือผลักของประจุไฟฟ้า (N)
K = 8.99*10⁹ (Nm²/C²)
q₁ และ q₂ = ประจุไฟฟ้าของฝุ่นและผิวของไซโคลน (C)
r = ระยะระหว่างฝุ่นกับผิวของฝุ่น(m) (Jess H. Brewer, 1999)
ซึ่งแรงดึงดูดทางไฟฟ้านั้นจะยิ่งมีค่ามากถ้าระยะทางน้อยลง หรืออนุภาคฝุ่นนั้นถ้าติดกับผนังแล้วจะ

มีแรงยึดเกาะที่สูงที่สุด และทำให้อนุภาคฝุ่นหลุดออกได้ยาก ประจุไฟฟ้าเป็นปริมาณที่คงที่ ซึ่งไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้หรือถูกทำลายไป แต่จะมีการ

เปลี่ยนแปลงหรือถ่ายเทได้ ซึ่งประจุไฟฟ้าจะมีขั้วบวกและขั้วลบ ถ้าขั้วของประจุเหมือนกันจะเกิด แรงผลักกัน แต่ถ้ามีขั้วต่างกันจะมีแรงดึงดูดกัน เป็นไปตามสมการ (Jess H. Brewer, 1999)

ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาก ขนาดของอนุภาก และพื้นผิวของอนุภาก ซึ่งทำให้กวามสามารถในการเปลี่ยนแปลงหรือถ่ายเทประจุได้ไม่เท่ากัน ส่งผลให้แรงดึงดูดหรือแรง เกาะติดที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันในแต่ละชนิดของอนุภาก



รูปที่ 4.7 กราฟแสดง ความคันลด ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซคาแอช แกลไซต์ และ STPP ผลจากทางทฤษฎี และ การทคลอง ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน จากกราฟผลการทดลอง ความดันลด จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองกับผลการกำนวณทาง ทฤษฎี เป็นไปในทำนองเดียวกันคือมีก่าความดันลดไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับกรณีที่หมุนหรือไม่หมุน ไซโกลน ส่วนกรณีที่ผลการกำนวณกับผลการทดลองแตกต่างกัน อาจเนื่องมากจาก ความเร็วที่วัด ได้อาจไม่ถูกต้องหรือความเร็วที่อยู่ภายในตัวไซโคลนไม่ถูกต้อง ซึ่งอาจเกิดจากกายภายของ ไซโกลนที่สร้างขึ้นอาจไม่ถูกต้องจึงทำให้ ก่า ความดันลด แตกต่าง จากทฤษฎีมาก และอาจเป็น เหตุผลเสริมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นไม่เป็นไปตามทฤษฎีด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นการวัดก่าความเร็วของของไหลในตัวไซโคลนที่ถูกต้อง ต้องวัดจากก่า ความดันลด และ กำนวณกลับเพื่อได้ก่าความเร็วทางเข้าของตัวไซโคลนและนำไปใช้ในการกำนวณประสิทธิภาพ ซึ่งถ้าเรากำนวณกลับจากก่า กวามดันลด = 5.3 cm Water ของการทดลอง STPP ที่มีความเร็ว สูงสุด 25.1 m/s โดยตัวไซโคลนไม่หมุน จะได้กวามเร็วทางเข้า เท่ากับ 10.6 m/s ซึ่งแตกต่างกับ เครื่องมือที่ใช้วัดหรือการใช้กนวัด

และถ้านำความเร็วเป็น 10.6 m/s ไปคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นจะได้เป็น 92.6% จากการ คำนวณทางทฤษฎี ซึ่งแตกต่างจากเดิมเป็น 94.04% แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังเห็นความแตกต่าง ระหว่าง 92.6% กับ 19.99% (จากการทดลองจริง) อย่างเห็นได้ชัด

นั่นอาจสรุปได้ว่าการออกแบบไซโคลนหรือการประกอบไซโคลนอาจมีข้อมูลหรือจุดที่ต้องระวัง มากกว่านี้ซึ่งผู้ประดิษฐ์อาจต้องใช้ประสบการณ์หรือการสังเกตที่ละเอียดอ่อนในการประดิษฐ์ ไซโคลน



ผลการทคลองที่ใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกันและเปลี่ยนความเร็วทางเข้า

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ในกรณีที่ไซโกลน<u>ไม่หมุน</u>



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ในกรณีที่ไซโคลน<u>หมุน</u>

จากกราฟ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งข้อมูลของ การทดลอง 3 ครั้งไม่แตกต่างกัน ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุน และ หมุน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ซึ่งแสดงผล จากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณในกรณีที่เปลี่ยนแปลงความเร็วเล็กน้อย ประสิทธิภาพไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งต่างกันกับผลการทดลองจะมีการเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพที่สามารถสังเกตได้ แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองเป็นไปในแนวกันกับทางทฤษฎี คือ มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วทางเข้า (inlet)

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเร็วขึ้นมาก ถ้ามากเกิน ความเร็วสูงสุดที่ตัวไซโคลนจะรับได้ จะทำให้ เกิด Re-entainment ซึ่งหมายถึงการนำเอาฝุ่นที่กักไว้ออกจากระบบไป นั่นหมายถึงประสิทธิภาพ ของไซโคลนลดลง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันความเร็วทางเข้าของไซโคลน มักจะอ้างอิงและกำหนด ความเหมาะสมอยู่ที่ 15-25 m/s (L. Theodore and V. Depaola,1980) ซึ่งยังไม่มีการกำหนดสูตร ความเร็วสูงสุดขึ้น เหมือนบทที่ 2 ที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องรอการทดลองเพื่อพิสูจน์ ต่อไป

ส่วนในกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน การหมุนจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงทุกความเร็ว ซึ่ง ให้ผลการทคลองไปในแนวเดียวกัน คือประสิทธิภาพลดลง แสดงให้เห็นว่าการหมุนไซโคลนจะทำ ให้รูปแบบการไหลแบบ ลามินาร์ (laminar) เปลี่ยนไป และทำให้การแยกอนุภาคออกจากของไหล ทำได้ไม่ดี เมื่อเทียบกันกรณีที่ตัวไซโคลนอยู่นิ่ง



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า ความคันลด ตามความเร็วทางเข้าค่าต่าง ๆ กัน ของ STPP แสดงผลจาก การคำนวณทางทฤษฎีและผลการวัดจริง ทั้งกรณีที่ไม่หมุนและหมุนตัวโซโคลน

จากกราฟ ความดันลด จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วทางเข้า ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ทั้งการ คำนวณทางทฤษฎี และการทดลอง และรวมทั้งกรณีที่หมุนและไม่หมุนตัวไซโคลน แต่จากการ กำนวณทางทฤษฎีการเพิ่มของ ความคันลด จะสูงมากกว่าเมื่อเทียบกับผลการวัคจริง สาเหตุที่ ค่า ความคันลด เพิ่มขึ้นเล็กน้อยของการวัคจริงอาจเนื่องมากจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไม่สามารถรักษา ระบบสุญญากาศ ได้จึงทำให้การวัค ค่าความคันลด ไม่ตรงตามทฤษฎี

4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทดลองในขณะที่ทดลองนั้น จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าไม่เท่ากันในการทดลองแต่ละครั้ง ซึ่งอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มี

อุณหมูมพาต เตมทา เมเพากน เนการ ทศสองแต่สะทรง ขึ่งอางเป็นอกบังงอคนงทม ผลกระทบในการทดลอง

ความชื้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ไม่ได้ถูกควบคุมหรือวัดซึ่งอาจมีผลต่อการเกาะของอนุภาค ทำให้อนุภาคใหญ่ขึ้นหรือเกาะกับผิวของไซโคลนได้

ลักษณะของอนุภาคซึ่งเรากำหนดให้เป็นทรงกลมทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงรูปร่างของ อนุภาคกี่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของไซโคลนเช่นเดียวกัน

วัสดุที่ใช้ทำตัวไซโคลนก็มีผลด้วยเพราะที่อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นพลาสติกอาจมีแรง ดึงดูดทางประจุซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นด้วยเป็นต้น

รูปร่างความโค้งของตัวไซโคลน ความได้รูปทรง

รอยต่อของวัสดุที่ใช้ทำตัวไซโกลนซึ่งถ้าต่อไม่ดีก็จะทำให้เกิดการขัดขวางการไหลได้ ซึ่ง ก่อนต่อต้องตรวจสอบทิศทางการไหลก่อน

ความสม่ำเสมอของปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นเพราะเป็นการเทวัตถุดิบจึงเกิดฝุ่นขึ้นด้วยความ เข้มข้นที่ไม่แน่นอน

และอาจจะมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่ถูกมองข้ามซึ่งรอการค้นคว้าวิจัยต่อเนื่องต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นขึ้นกับความเร็วทางเข้า ซึ่งทั้งผลการคำนวณและผลการทคลอง ให้ผลไปในแนวทางเคียวกัน (L. Theodore and V. Depaola, 1980) คือ ถ้าความเร็วทางเข้าเพิ่ม ขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นก็เพิ่มขึ้นตาม ซึ่งจะต้องไม่เพิ่มเกินขีดจำกัดของตัวโซโคลน หรือต้อง ไม่เกิดปรากฏการณ์ re-entainment (Bingtao Zhao, 2005)

ประสิทธิภาพการกำจัดฝนขึ้นกับขนาดของอนภากและความหนาแน่นของอนภากซึ่งส่งผล ต่อ แรงโน้มถ่วง (gravity force) และแรงฉุดลาก (drag force) (W.L.Olson, 1988) ทำให้กระทบ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น โดย ถ้าฝุ่นมีความหนาแน่นมากประสิทธิภาพการกำจัดก็ดี และถ้ามี อนุภาคขนาดใหญ่ก็สามารถกำจัดได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ในการทดลองครั้งนี้ จากกราฟ ้ประสิทธิภาพฝุ่นที่ความเร็วคงที่ ความสามารถในการแยกอนุภาคได้ดีกว่าวัตถุดิบอื่น คือ แคลไซต์ ซึ่งมีผลมาจากความหนาแน่นของอนุภาคและประจุไฟฟ้า ความหนาแน่นนั้นน้อยกว่าโซคาแอช เล็กน้อย แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะแรงคึงดูคทางไฟฟ้าสถิตของผิวไซโคลนกับอนุภาค ส่วน เอสทีพีพีนั้นแม้จะมีความหนาแน่นน้อยที่สุดแต่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโซดาแอช เพราะมี ประจุไฟฟ้าสูงที่สุดจึงเกิดแรงดึงดูดมากทำให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโซดาแอช ซึ่งจะเห็นได้จาก ผลการวัครประจุไฟฟ้าของอนุภาค โดยผลการวัดที่ระยะ 1 เซนติเมตร ผลของ โซคาแอช = +0.7 mV, เอสทีพีพี = +5.3 mV, แกลไซต์ = +2.5 mV, ผิวพลาสติกที่ขัดถู = - 2.1 mV และอากาศที่ 27 C = -1.2 mV ในการทดลองครั้งนี้สูตรในการคำนวณประสิทธิภาพทางทฤษฎีไม่มีปัจจัยจากแรง และก็ยังไม่มีผู้ใดเคยเสนอสูตรการคำนวณประสิทธิภาพที่มีแรงจากไฟฟ้าสถิต ทางประจุไฟฟ้า รวมอยู่ในสมการเช่นเดียวกัน โดยทั่วไปมักลดผลกระทบจากการเกาะติดของอนุภาคในไซโคลน โดยการต่อสายไฟลงดินเพื่อลดประจุไฟฟ้าของผิวไซโคลน

การหมุนของตัวไซโคลนทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นลดลง และทำให้ความดันลด สูงขึ้น ซึ่งไม่ส่งผลดีต่อการกำจัดฝุ่น แต่ ตัวไซโคลนสะอาดกว่ากรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุน ซึ่งการ หมุนของผิวไซโคลนจะทำให้ขอบเขตการไหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนนั้นถูกทำลาย และมี การข้ามขั้นเกลียวของไซโคลน ซึ่งทำให้การแยกอนุภาคออกจากของไหลไม่ดี เมื่อเทียบกับการ ไหลเป็นลามินาร์ที่แบ่งแยกขอบเขตชั้นเกลี่ยวที่คงที่ ดังรูป 5.1 จากรูป 5.1 การหมุนวนของของไหลในตัวไซโคลนจะหมุนเป็นชั้นตามลูกศรเล็กโดยจะวิ่ง แยกชั้นกันโดยมีขอบเขตที่ชัดเจน (ซึ่งสังเกตได้ขณะทดลอง) แต่เมื่อมีการหมุนที่ผิวไซโคลน ความเร็วที่ผิวไซโคลนจะทำให้เกิดแรงเฉือนซึ่งมีทิศทำมุมกับการไหลของของไหลภายในไซโคลน ซึ่งแรงเฉือนนี้ทำให้ภายในชั้นลามินาร์ที่หมุนวนที่มีขอบเขตที่ชัดเจนเสียรูปแบบไป โดยมีการข้าม ชั้นการหมุนวนตามลูกศรใหญ่ (ซึ่งสังเกตได้ขณะทดลอง) ซึ่งเหตุผลนี้ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการ แยกอนุภาคออกจากของไหลภายในไซโคลนลดลง



รูปที่ 5.1 แสดงการไหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนและการรบกวนรูปแบบการไหลจากการ หมุนตัวไซโคลน

การหมุนของตัวไซโคลนที่ความเร็วทางเข้าที่ต่างกัน ส่งผลกระทบทุกความเร็วเหมือนกัน คือ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง และ ความคันลด สูงขึ้น (C.B. Shepherd and C.E.Lapple, 1940)

ยังมีปัจจัยอื่นอีกหลายอย่างที่จะต้องควบคุมและจะต้องใช้ประสบการณ์ในการสร้าง ไซโคลนอีกมากเพื่อประดิษฐ์ไซโคลนที่สามารถกำจัดฝุ่นได้ตามทฤษฎี

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้ที่สนใจในไซโคลนและต้องการออกแบบหรือทคลองอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไป

 ไซโคลนถ้าออกแบบแล้วไม่สามารถคัดแปลงหรือแก้ไขได้ จะสามารถใช้กับปริมาณลม ทางเข้าหนึ่ง ๆ เท่านั้น เพราะมีหน้าตัดคงที่ และความเร็วที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-25 m/s นั่นหมายถึง ปริมาตรลมที่เข้าต่อหน่วยเวลาไม่สามารถขยายหรือย่อได้ ซึ่งถ้าปริมาตรลม

48

ต่อหน่วยเวลามากไปด้องแบ่งการไหลออกและสร้างไซโคลนเพิ่มแต่ถ้าการไหลน้อนไปไม่ สามารถปรับปรุงได้ (D.Leith and D. Mehta, 1973)

- ความโค้งและความเรียบของไซโคลนมีผลต่อรูปแบบการไหลของของไหลภายใน ไซโคลน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของไหลโดยตรง
- 3. ไซโคลนที่เป็นสุญญากาศ ต้องไม่มีการรั่วไหลทั่วไซโคลนเพราะการรั่วไหลจะทำให้มีการ ดูดอากาศข้างนอกเข้าสู่ตัวไซโคลน ถ้าเป็นบริเวณตัวไซโคลนก็จะทำให้การไหลแบบ ลามินาร์ เสียรูปแบบไป ถ้าเป็นบริเวณ โคน ก็ทำให้การแยกของอนุภาคไม่ดี และถ้าเป็น บริเวณปลายโคนจะทำให้ฝุ่นเกิดฟลูอิดไดเซชั่น หรือถ้ารั่วมากอาจเป็น การขนส่งด้วยลม คือไม่การแยกฝุ่นแต่จะปล่อยฝุ่นไปเพราะอากาศที่รั่วเป็นตัวพาไปจากแรงฉุดลาก.
- 4. การหมุนของไซโคลนไม่ดี การไม่หมุนก็ทำให้เกิดการเกาะติด ดังนั้นจึงควรเคลื่อนตัวไปที ละน้อย อย่างเช่น วันจันทร์อยู่ที่ 0 องศา วันอังการอยู่ที่ 15 องศา วันพุธอยู่ที่ 30 องศา วัน พฤหัสบดีอยู่ที่ 45 องศา วันศุกร์อยู่ที่ 60 องศา นั่นหมายถึงการขยับตัวไซโคลนไปเพื่อให้ เกิดการทำความสะอาดตัวเองไม่ให้มีแนวการไหลของลามินาร์ ที่ขอบการไหลซ้ำที่เดิม ซึ่ง แนวนั้นอาจเป็นแนวการสะสมฝุ่นได้
- ไซโคลนไม่ควรบุบหรือเสียรูป วัสดุที่ใช้ทำต้องแข็งแรงพอ
- 6. รูปแบบทางเข้าของไซโคลน (inlet) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของไซโคลนด้วย ทางเข้าของไซโคลนเป็นสี่เหลี่ยม แต่โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้ท่อทรง กระบอกในการทำระบบลมดูด จึงต้องมีข้อต่อที่เหมาะสม และทางเข้าของไซโคลนเป็นอีก หนึ่งจุดที่มีการสะสมฝุ่นจึงควรออกแบบให้ดีขึ้นหรือสะสมฝุ่นน้อยลง
- ชุดเก็บฝุ่นต้องใหญ่และมีปริมาตรเพียงพอต่อการเก็บฝุ่นหนึ่งครั้ง และที่สำคัญต้องไม่รั่ว (เป็นระบบปิด) และต้องมีความสะดวกในนำฝุ่นที่กรองแล้วกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้งไป เสนอให้ติดท่อที่มีวาล์วต่อถ่ายเข้าถังเก็บจะสะดวกในการนำกลับไปใช้และทำงาน
- 8. ช่องทางออกของอากาศที่แยกฝุ่นแล้วตามการออกแบบจะไม่มีตัวยึด (support) จะต้อง สร้างขึ้นเองเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และจะต้องได้แนวแกนเพราะเป็นแนวการแบ่งการหมุน วน ลงกับ การหมุนวน ขึ้นภายในตัวไซโคลน
- 9. ฝุ่นสารเคมีทุกตัวอันตรายต่อสุขภาพ
- 10. ความเร็วต่ำสุด กับ ความเร็วสูงสุด ควรมีการศึกษาต่อไป
- 11. แรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาคกับผิวไซโคลนควรมีการศึกษาต่อไป
- 12. อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดลองและปรากฏการณ์ภายในไซโคลนควรมี การศึกษาต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปณตสรรค์ สูงยานนท์. <u>โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบไซโคลน</u>. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

- Bingtao Zhao. <u>Development of a new method for evaluating cyclone efficiency</u>. p447-451. Chemical Engineering and Processing 44, 2005.
- Mechanical Collectors. Marsulex Environmental Technologies. LLC. Lebanon. Pa.
- D. Leith and D. mehta. <u>Cyclone performance and design</u>, p7:527-549. Atmospheric Environ, 1973.

Bulletin MC 581. Zurn Industries. Inc.

- W.L.Olson. <u>Upgrading mechanical collector performance with hopper aspiration</u>, p88-123. Wheelabrator Air Pollution Control Technical Paper, 1988.
- C. E. Lapple. Processes use many collector types, <u>Chem. Eng</u> (1951) : 58,144-151.
- C. J. Stairmand. The design and performance of cyclone separators. Trans. Ind. <u>Chem</u> Eng (1951) : 29
- P. Swift.<u>Dust control in industry</u>. Steam Heating Eng. 38, 1969.
- W.C.Hinds. <u>Aerosol Technology</u>. John Wiley. N.Y., 1999.
- Otakar Storch et al. <u>Industrial separators for gas cleaning</u>. Research institute for air Engineering, p93-125. Prague Czechoslovakia (Elsevier scientific publishing company. Amsterdam-Oxford-NewYork, 1979.
- Robert H. Perry. Don W. Green. <u>Perry's chemical engineers' handbook</u>. p20-83 20-89. six edition. New York : McGraw-Hill.
- Philip A. Schweitzer. <u>Handbook of separation techniques for chemical engineers</u>, p 6-10 – 6-17. New York : McGraw-Hill.
- Warren L. McCabe. <u>Unit operations of chemical engineering</u>, p1060-1063. fifth edition. New York : McGraw-Hill.

- James O. Wilkes. <u>Fluid mechanics for chemical engineers</u>, p203-205. Department of Chemical Engineering. The University of Michigan. Prentice Hall PTR. upper Saddle river. New jersey 07458.
- David S. Azbel & Nicholas P. Cheremisinoff. <u>Fluid mechanics and unit operations</u>, p528-609. Ann arbor science. the butterworth group.
- L. Theodore and V. Depaola. <u>Predicting cyclone dfficiency</u>. J.Air Pollution Cont. Assoc. 30(10), 1980.
- C.D. Cooper and F. C. Alley. <u>Air pollution Control: A Design Approach</u>. Second Edition, Waveland Press. Illinois, 1994.
- C.B. Shepherd and C.E.Lapple. Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. Ind. Eng. Chem. 31(8), 1939. 32(9), 1940.
- Jess H.Brewer. <u>The electrostatic force</u>, http://musr.physics.ubc.ca/~jess/hr/skept/E_M/ node2.html, 1999.

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การคำนวณออกแบบ และ การประกอบไซโคลน

ความเร็วลมที่วัดได้จากท่อลมดูด	=	11	เมตร/วินาที	(v)
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อลมดูด	=	11	เซนติเมตร	(D)
พื้นที่หน้าตัดของท่อ	=	22/7 * D ² / 4		
	= 🚄	95.07143	<mark>ตารางเซนติเมตร</mark>	
	=	0.009507	ตารางเมตร	(A)
อัตราการไหลของลม	=	A * v		
	=	0.104579	<mark>ลูกบากศ์</mark> เมตร/วินาที	
	=	0.001743	ลูกบากศ์เมตร/นาที	
	=	0.000029	<mark>ลูกบากศ์เม</mark> ตร/ชั่วโมง	
	=	1.742976	<mark>ลิตร/นา</mark> ที	
ต้องการความเร็วในการเข้าไซโค	ลนไม่ต่ำกว่า	ו <mark>20.91577</mark>	เมตร/วินาที (use goa	ıl seek tool)
พื้นที่ของทางเข้า	=	(ความเร็วลมท่อดูด*พิ่	เ้นที่หน้าตัดท่อ)	
10		ا ر		

	(113103833810110)	
ไซโค ลน	(ຄວາມເຮັ້ວລມຕໍ່	ำสุดที่เข้าไซโคลน)
=	= 50.00	ตารางเซ <mark>น</mark> ติเมตร

จากตารางการออกแบบไซโคลนในทฤษฎี	

โดยนำพื้นที่ของทางเข้าไซโคลนมาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน (D)

ความสูงทางเข้า	878	0.5 * D	เซนติเมตร	(H)
ความกว้างทางเข้า	PĪ V	0.25 * D	เซนติเมตร	(W)
พื้นที่ของทางเข้า	=	H * W		
ไซโคลน	=	$0.5 * 0.25 * D^2$		
50.00	=	$0.125 * D^2$		
เส้นผ่านศูนย์กลาง	=	20.00	เซนติเมตร	(D)

จากตารางจะได้กายภาพของไซโคลนเป็นดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของไซ โคลน		=	20.00 เซนติเมตร	(D)
ความสูงทางเข้า	(0.5 *D)	=	10.00 เซนติเมตร	(H)
ความกว้างทางเข้า	(0.25*D)	=	5.00 เซนติเมตร	(W)
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกอากาศ	1(0.5 *D)	=	10.00 เซนติเมตร	(De)
ความยาวของ Vortex	(0.625*D)	=	12.50 เซนติเมตร	(S)
ความยาวของตัวไซโคลน	(2.0 *D)	=	40.00 เซนติเมตร	(Lb)
ความยาวของโคนไซโคลน	(2.0 *D)	=	40.00 เซนติเมตร	(Lc)
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกฝุ่น	(0.25*D)	=	5.00 เซนติเมตร	(Dd)

การตัดชิ้นส่วนประกอบไซ โคลน



1. ชิ้นส่วนทางเข้าของไซโคลนค้านบน



2. ชิ้นส่วนทางเข้าของไซโคลนด้านล่าง



6. ชิ้นส่วนโคนของไซโคลน



* นำชิ้นส่วน 1 - 7 มาประกอบขึ้นเป็นไซโคลนในการทคลองครั้งนี้ตามรูป (โดยชิ้นส่วนตัวและโคนเป็นแบบใส)

* และจะต้องมีข้อต่อที่เป็นข้อต่อสี่เหลี่ยมปากทางเข้าไซโคลนกับท่อกลมของท่อลมดูด

ภาคผนวก ข.

ผลการวัดขนาดของวัตถุดิบ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โทรสาร 2540211

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาการสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ชอช 62 ธ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

58

			Analy	sis Result			
Sample ID: Soda ash Sample File: OTHER13 Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Ana Dispersi Tested I	alysis System ng medium by Kaew Kaj	n : Ethanol ornchaiyakul	Sam Run Number: 1 Record Number:	ple Details 3 499	Measure Analyse Result \$	ed: 28 Jun 2005 16:15PM d: 28 Jun 2005 16:15PM Source: Analysed	A L
Range Lens: 300RF mn Presentation: 30HD Analysis Model: Polydis Modifications: Active –	n sperse	Beam Length: 2.40 r [Particle R.I. = (1.529 Killed Data Channels	Syst nm 95, 0.1000); 1 ; Low 0; High	em Details Dispersant R.I. = 1.3300 2	Sampler: MS1]	Obs	scuration: 17.7 % esidual: 0.692 %
Distribution Type; Volur Mean Diameters: D [4, 3] = 155.86 um	ne	Concentration = 0.0 D (v, 0.1) = 10.22 u D [3, 2] = 5.07 um	Resu 435 %Vol m	It Statistics Density = 1.000 g / D (v, 0.5) = 132.06 Span = 2.496E+00	cub. cm um	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 339.80 u Uniformity = 7.784E-0	1.1842 sq. m / ç m 1
Size_Low (um)0.05	In % 0.02	Size_High (um) 0.06	Under% 0.02	Size_Low (um) 6.63	in % 0.70	Size_High (um) 7.72	Under% 8.55

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	0.70	7.72	8.55
0.06	0.05	0.07	0.07	7.72	0.76	9.00	9,31
0.07	0.07	0.08	0.15	9.00	0.83	10.48	10.14
0.08	0.10	0.09	0.25	10.48	0.92	12.21	11.07
0.09	0.13	0.11	0.37	12.21	1.04	14.22	12.10
0.11	0.15	0.13	0.53	14.22	1.17	16.57	13.28
0.13	0.18	0.15	0.71	16.57	1.33	19.31	14.60
0.15	0.22	0.17	0.93	19.31	1.48	22.49	16.09
0.17	0.25	0.20	1.17	22,49	1.64	26.20	17.72
0.20	0.28	0.23	1.45	26.20	1.78	30.53	19.50
0.23	0.30	0.27	1.76	30,53	1.91	35.56	21.41
0.27	0.30	0.31	2.06	35.56	2.04	41,43	23.45
0.31	0.29	0.36	2 35	41.43	2.20	48.27	25.64
0.36	0.26	0.42	2.60	48.27	2.41	56.23	28.06
0.42	0.23	0.49	2.83	56.23	2.72	65.51	30.78
0.49	0.20	0.58	3.02	65.51	3.13	76.32	33.91
0.58	0.17	0.67	3.19	76.32	3.66	88,91	37.57
0.67	0.15	0.78	3.34	88.91	4.27	103.58	41.85
0.78	0.15	0.91	3.48	103.58	4.93	120.67	46,78
0.91	0.15	1.06	3.64	120.67	5.58	140.58	52.36
1.06	0.17	1.24	3.80	140.58	6.15	163.77	58,51
1.24	0.18	1.44	3.98	163.77	6.65	190.80	65.16
1.44	0.20	1.68	4.18	190.80	7.10	222.28	72.26
1.68	0.22	1.95	4.41	222.28	6.96	258.95	79.22
1.95	0.25	2.28	4.66	258.95	6.42	301,68	85.64
2.28	0.29	2.65	4.95	301.68	5.48	351.46	91.12
2.65	0.34	3.09	5.28	351.46	4.25	409.45	95.37
3.09	0.39	3.60	5.67	409.45	2.90	477.01	98.27
3.60	0.45	4.19	6.12	477.01	1.54	555.71	99.81
4.19	0.52	4.88	6.64	555.71	0.19	647,41	100.00
4.88	0.58	5.69	7.22	647.41	0.00	754.23	100.00
5.60	0.64	0.00	7.00	754.00	0.00	979.67	100.00



p. 37 28 Jun 05 16:29

el:0684 892456 Fax:0684 892789



Chulalongkorn University Scientific and Technological Research Equipment Centre Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101

59

Analysis Result Sample Details Measured: 28 Jun 2005 14:42PM Sample ID: Calcite Run Number: -5 Analysed: 28 Jun 2005 14:42PM Record Number: 477 Sample File: OTHER13 Result Source: Analysed Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Water Tested by Kaew Kajornchaiyakul System Details Obscuration: 15.9 % Sampler: MS17 Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm [Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300] Presentation: 30HD Residual: 0.278 % Analysis Model: Polydisperse Killed Data Channels: Low 0; High 2 Killed Result Channels: < 0.05 um; > 120.67 um. Modifications: Active -**Result Statistics** Specific S.A. = 3.5001 sq. m / g Distribution Type: Volume Concentration = 0.0094 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm D (v, 0.5) = 12.55 um D (v, 0.9) = 38.12 um D (v, 0.1) = 0.51 um D [3, 2] = 1.71 um Mean Diameters: Uniformity = 9.547E-01 Span = 2.998E+00 D [4, 3] = 16.40 um Size_High (um) Under% Size_Low (um) In % Under% Size_High (um) Size_Low (um) In % 37.76 6.63 3.04 7.72 0.05 0.06 0.02 7.72 3.40 9.00 41.16 0.04 0.07 0.06 0.06 0.13 9.00 3.80 10.48 44.95 0.07 0.07 0.08 10.48 4.24 12.21 49.20 0.10 0.09 0.22 0.08 12.21 4.71 14.22 53.90 0.09 0.14 0.11 0.36 0.20 0.13 0.56 14.22 5.18 16 57 59.09 0.11 0.13 0.28 0.15 0.84 16.57 5.64 19.31 64 72 0.15 0.41 0.17 1.26 19.31 6.07 22.49 70.79 76.90 0.17 0.62 0.20 1.87 22.49 6.11 26.20 30.53 82.72 0.20 0.91 0.23 2.78 26.20 5.82 87.92 35.56 0.23 1 25 0.27 4.03 30.53 5.20 92.23 41.43 0.27 1.48 0.31 5.52 35.58 4.32 41.43 3.29 48.27 95.52 0.31 1.49 0.36 7.01 48.27 2.27 56.23 97.79 8.38 0.36 1.37 0.42 99.15 0.49 9.68 56.23 1.36 65.51 0.42 1.30 76.32 99.80 1.25 0.58 10.93 65.51 0.65 0.49 100.00 0.58 1.13 0.67 12.06 76.32 0.20 88.91 0.67 1.07 0.78 13.13 88.91 0.00 103.58 100.00 0.78 103.58 0.00 120.67 100.00 1.04 0.91 14.16 0.91 1.04 1.06 120.67 0.00 140.58 100.00 15.20 1.06 1.06 1.24 16.26 140.58 0.00 163.77 100.00 1.24 1.10 1.44 17.35 163.77 0.00 190.80 100.00 1.44 1.15 1.68 18.51 190.80 0.00 222.28 100.00 1.68 1.21 1.95 19.72 222.28 0.00 258 95 100.00 1.95 1.29 2 28 21.00 258.95 0.00 301.68 100.00 351.46 2.28 1.38 301.68 0.00 100.00 2.65 22.38 2.65 1.51 351.46 0.00 409.45 100.00 3.09 23.89 3.09 1.68 3.60 25.57 409.45 0.00 477.01 100.00 3.60 1,89 4.19 27.46 477.01 0.00 555.71 100.00 647.41 4.19 2.14 4.88 29.60 555.71 0.00 100.00 847.41 754.23 4.88 2.41 5.69 32.01 0.00 100.00 5.69 2.71 6.63 34.72 754.23 0.00 878.67 100.00 Volume % 10 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 0 0.01 0.1 1.0 10.0 100.0 1000.0 Particle Diameter (um.)

Mastersizer S long bed Ver. 2.11

Serial Number: 32734-89

Malvern Instruments Ltd. Malvern, UK Tel:0684 892456 Fax:0684 892789

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิว การกระกาบ 2 จุฬาลงกรณ์ ขอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10	ทยาลัย 1330 โทร 2188029-32, 2188101	โทรสาร	2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangko	Chulalongkorn University k 10330 Tel. 2188029-32, 2188101	Fax.	2540211



Analysis Result

System Details

Sample ID: STPP Sample File: OTHER13 Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Ethanol Tested by Kaew Kajornchaiyakul

Range Lens: 300RF mm Presentation: 30HD

Analysis Model: Polydisperse Modifications: Active --

Sample Details Run Number: 10 Record Number: 513

Beam Length: 2.40 mm [Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured: 28 Jun 2005 16:23PM Analysed: 28 Jun 2005 16:23PM Result Source: Analysed

Sampler: MS1

Obscuration: 18.0 %

Residual: 0.558 %

Killed Data Channels: Low 0; High 2

Distribution Type: Volume			11004	is westerning			
Distribution Type: Volume Mean Diameters: D [4, 3] = 49.22 um		Concentration = 0.0309 %Vol D (v, 0.1) = 7.58 um D [3, 2] = 5.48 um		Density = 1.000 g / cub. cm D (v, 0.5) = 37.48 um Span = 2.636E+00		Specific S.A. = 1.0946 sq. m / g D (v, 0.9) = 106.38 um Uniformity = 8.133E-01	
Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	0.96	7.72	10.13
0.06	0.02	0.07	0.02	7.72	1.25	9.00	11.37
0.07	0.03	0.08	0.05	9.00	1.61	10.48	12.99
0.08	0.04	0.09	0.09	10.48	2.07	12.21	15.06
0.00	0.05	0.11	0.14	12.21	2.61	14.22	17.67
0.11	0.07	0.13	0.21	14.22	3.25	16.57	20.91
0.13	0.10	0.15	0.31	16.57	3.95	19.31	24.87
0.15	0.14	0.17	0.44	19.31	4.69	22.49	29.56
0.17	0.19	0.20	0.63	22.49	5.42	26.20	34.98
0.20	0.26	0.23	0.90	26.20	6.08	30.53	41.07
0.20	0.34	0.27	1.23	30.53	6.59	35.56	47.66
0.27	0.38	0.31	1.61	35.56	6.88	41.43	54,53
0.27	0.36	0.36	1.97	41.43	6.93	48.27	61.47
0.31	0.31	0.42	2.29	48.27	6.77	56.23	68.24
0.36	0.31	0.49	2.57	56.23	6.49	65.51	74.73
0.42	0.20	0.58	2.83	65.51	5,73	76.32	80.46
0.49	0.20	0.50	3.06	76.32	4.88	88.91	85.34
0.58	0.23	0.79	3 30	88.91	4.04	103.58	89.38
0.67	0.24	0.01	3.57	103 58	3.24	120.67	92.62
0.78	0.27	0.91	2.00	120.67	2.55	140.58	95.17
0.91	0.31	1.06	3.00	140.58	1.95	163.77	97.11
1.06	0.36	1.24	4.25	163 77	1.45	190.80	98.57
1.24	0.40	1.99	4.03	190.80	0.96	222.28	99.53
1.44	0.42	1.00	5.40	222.28	0.47	258 95	100.00
1.68	0.42	1.95	5,45	258.95	0.00	301.68	100.00
1.95	0.40	2.26	0.09	200.85	0.00	351.46	100.00
2.28	0.37	2.65	0.20	351.66	0.00	409.45	100.00
2.65	0.36	3.09	0.02	409.45	0.00	477.01	100.00
3.09	0.36	3.60	0.99	405.45	0.00	555 71	100.00
3.60	0.40	4,19	7.36	477.01	0.00	847.41	100.00
4.19	0.47	4.88	7.85	000./1	0.00	754.23	100.00
4.88	0.58	5.69	8.43	254.00	0.00	878.67	100.00




			Analys	sis Result			
Sample ID: Zeolite Sample File: OTHEI Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Disp Test	R13 Analysis System ersing medium : ed by Kaew Kajo	R R Water rnchaiyakul	Samp un Number: 3 ecord Number:	ole Details 465	Measur Analyse Result \$	ed: 28 Jun 2005 14:34PM d: 28 Jun 2005 14:34PM Source: Analysed	4
Range Lens: 300RF Presentation: 30HD Analysis Model: Po Modifications: Active	mm ydisperse	Beam Length: 2.40 m [Particle R.I. = (1.529 Killed Data Channels:	Syste m 5, 0.1000); D Low 0: High 2	e m Details Se Dispersant R.I. = 1.3300]	mpler: MS17	Obs Re	curation: 17.0 %
Distribution Type: V Mean Diameters: D [4, 3] = 5.12 un	olume	Concentration = 0.00 D (v, 0.1) = 1.18 un D [3, 2] = 2.53 um	Resul 175 %Vol 1	t Statistics Density = 1.000 g / cu D (v, 0.5) = 4.67 um Span = 1.667E+00	b. cm	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 8.97 un Uniformity = 5.452E-0	2.3673 sq. m / { 1 1
Size Low (um) 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69	in % 0.00 0.01 0.48 0.63 0.60 0.99 1.20 1.29 1.55 1.90 2.25 2.41 3.76 4.89 6.27 7.85 9.38 10.75 10.47	Size High (um) 0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69 6.63	Under% 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.01 0.05 0.25 0.72 1.35 1.95 2.66 3.62 4.61 5.81 7.11 8.66 10.56 12.81 15.22 17.76 20.76 24.52 29.41 35.68 43.53 52.91 63.65 74.12	Size Low (um) 6.63 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 85.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23	in % 9.03 6.97 4.76 2.84 1.39 0.43 0.00 0.00 0.00 0.00 0.01 0.10 0.13 0.12 0.08 0.04 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	Size High (um) 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67	Under% 83.15 90.11 94.88 97.72 99.11 99.53 99.50 100.00
20	21	สลาย	านวิจ		าาร ทย		100 90 80 70 60 50 40
							30 20 10

Mastersizer S long bed Ver. 2.11

Serial Number: 32734-89

Malvern Instruments Ltd. Malvern, UK Tel:0684 892456 Fax:0684 892789

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาการสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ชอช 62 ธ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 ใกร 2188029-52, 2188101 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd, Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101

โทรสาร 2540211 62

Fax. 2540211

Sample ID: Soda ash Sample File: OTHER Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet J Dispo Teste	t 13 Analysis Syster ersing medium ed by Kaew Kaj	n : Ethanol iornchaiyakul	Samp tun Number: 13 lecord Number:	le Details 499	Measure Analyse Result S	d: 28 Jun 2005 16:15PM d: 28 Jun 2005 16:15PM ource: Analysed	
Range Lens: 300RF Presentation: 30HD malysis Model: Poly Modifications: Active	mm vdisperse	Beam Length: 2.40 m [Particle R.I. = (1.529 Killed Data Channels:	Syste im 5, 0.1000); Di Low 0; High 2	m Details Sar ispersant R.I. = 1.3300]	npler: MS1	Obs	curation: 17.7 s
	_		Result	t Statistics			
Distribution Type: Vo Mean Diameters: D [4, 3] = 155.86 ur	n	Concentration = 0.04 D (v, 0.1) = 10.22 u D [3, 2] = 5.07 um	135 %Vol n	Density = 1.000 g / cub D (v, 0.5) = 132.06 um Span = 2.496E+00	, cm	Specific S.A. = 1.1842 sq. n D (v, 0.9) = 339.80 um Uniformity = 7.784E-01	
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	0.70	7.72	8.55
0.06	0.05	0.07	0.07	7.72	0.76	9.00	9,31
0.07	0.07	0.08	0.15	9.00	0.83	10.48	10.14
0.08	0.10	0.09	0.25	10.48	0.92	12.21	11.07
0.09	0.13	0.11	0.37	12.21	1.04	14.22	12.10
0.11	0.15	0.13	0.53	14.22	1,17	16.57	13.28
0.13	0.18	0.15	0.71	16.57	1.33	19,31	14.60
0.15	0.22	0.17	0.93	19.31	1.48	22.49	16.09
0.17	0.25	0.20	1 17	22.49	1.64	26.20	17.72
0.20	0.20	0.20	1.45	26.20	1 78	30.53	19.50
0.20	0.20	0.23	1.45	20.20	1.01	35 56	21.41
0.23	0.30	0.27	1.70	30.53	2.04	41.43	23.45
0.27	0.30	0.31	2.00	33.50	2.04	41,43	25.45
0.31	0.29	0.36	2.35	41.43	2.20	40.27	20.04
0.36	0.26	0.42	2.60	48.27	2.41	00.23	20.00
0.42	0.23	0,49	2.83	56.23	2.72	65.51	30.78
0.49	0.20	0.58	3.02	65.51	3.13	76.32	33.91
0.58	0,17	0.67	3,19	76.32	3.66	88.91	37.57
0.67	0.15	0.78	3.34	88.91	4.27	103.58	41.85
0.78	0.15	0.91	3.48	103.58	4,93	120.67	46.78
0.91	0.15	1.06	3.64	120.67	5.58	140.58	52.36
1.06	0.17	1.24	3.80	140.58	6.15	163.77	58.51
1.24	0.18	1.44	3.98	163.77	6.65	190.80	65.16
1.44	0.20	1.68	4.18	190.80	7.10	222.28	72.26
1.68	0.22	1.95	4.41	222.28	6.96	258.95	79.22
1.95	0.25	2.28	4.66	258.95	6.42	301.68	85.64
2.28	0.29	2.65	4.95	301.68	5.48	351.46	91.12
2.65	0.34	3.09	5.28	351.46	4.25	409.45	95.37
3.09	0.39	3.60	5.67	409.45	2.90	477.01	98.27
3.60	0.45	4.19	6.12	477.01	1.54	555.71	99.81
4 19	0.52	4.88	6.64	555 71	0.19	647 41	100.00
4.88	0.58	5.69	7 22	647.41	0.00	754.23	100.00
4.00	0.00	0.00	5	941.41	0.00	101.40	100.00



p. 37 28 Jun 05 16:29

alvern, UK el:0684 892456 Fax:0684 892789

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ชอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101



โพรสาร 2540211 63

			Anary	sis Result			
Sample ID: Calcite Sample File: OTHE Sample Path: C:\ Sample Notes: We Disj Tes	R13 t Analysis Syster persing medium ted by Kaew Ka	m : Water jornchaiyakul	Samp Run Number: 5 Record Number:	ole Details 477	Measun Analyse Result 5	ed: 28 Jun 2005 14:42Pt d: 28 Jun 2005 14:42Ph Source: Analysed	M A
Cange Lens: 300Rf Presentation: 30HD Analysis Model: Po	F mm))lydisperse	Beam Length: 2.40 [Particle R.I. = (1.52	Syste mm 195, 0.1000); D	em Details Dispersant R.I. = 1.3300	Sampler: MS17	Ob R	scuration: 15.9 % esidual: 0.278 %
Additications: Activ	e	Killed Result Channel	els: < 0.05 um; >	120.67 um.			
Distribution Type: \ Mean Diameters: D [4, 3] = 16.40 u	/olume m	Concentration = 0.0 D (v, 0.1) = 0.51 u D [3, 2] = 1.71 um	Resul 0094 %Vol Im	t Statistics Density = 1.000 g / D (v, 0.5) = 12.55 u Span = 2.998E+00	cub. cm m	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 38.12 u Uniformity = 9.547E-0	3.5001 sq. m / m 11
Size_Low (um)	in %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	in %	Size_High (um)	Under%
0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69	0.02 0.04 0.07 0.10 0.28 0.41 0.62 0.91 1.25 1.48 1.49 1.37 1.30 1.25 1.13 1.07 1.04 1.04 1.04 1.04 1.04 1.04 1.05 1.15 1.21 1.29 1.38 1.51 1.68 1.89 2.14 2.71	0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.66 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69 6.63	0.02 0.06 0.13 0.22 0.36 0.56 0.84 1.28 1.87 2.78 4.03 5.52 7.01 8.38 9.68 10.93 12.06 13.13 14.16 15.20 16.26 17.35 18.51 19.72 21.00 22.389 23.89 25.57 27.46 29.60 32.01 34.72	6.63 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23	3.04 3.40 3.80 4.24 4.71 5.18 5.64 6.07 6.11 5.82 5.20 4.32 3.29 2.27 1.36 0.65 0.20 0.00	7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67	37.76 41.16 44.95 49.20 53.90 59.09 64.72 70.79 76.90 82.72 87.92 97.79 99.15 99.80 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
10		· 6 6	Vo	lume %	le la da		100
-							90
+ 5-							80
+ 38							70
4				6			60
				/			50
							40
				/			30
				/			20
		~					10
The second second		/	1 1				
0	- 10 Mar			I I I I I I I I I I I I I I I I I I I		Contraction of the second second	0

Mastersizer S long bed Ver. 2.11

Serial Number: 32734-89

Malvern Instruments Ltd. Malvern, UK Tel:0684 892456 Fax:0684 892789

สมพับครื่องมือวิจี	ัยวิทยาศาสตร์และเร	ทคโนโลยี	รหาล	งกรณมหา	วทยาล	E			Vicinitia	
กาลารสถาบัน 2	รหาดงกรณ์ ชอย 62	ก.พญาไท	ปทุมวัน	กรุงเทพฯ 1	10330	Ins	2188029-32,	2188101	730336.15	2040211
P In Isher Park								A Real Concerning of the second		

Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101

64

Fax. 2540211

	Analysis Result
--	-----------------

Sample ID: STPP Sample File: OTHER13 Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Ethanol Tested by Kaew Kajornchaiyakul

Range Lens: 300RF mm

Analysis Model: Polydisperse Modifications: Active --

Presentation: 3OHD

Sample Details Run Number: 10 Record Number: 513

System Details

[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured: 28 Jun 2005 16:23PM Analysed: 28 Jun 2005 16:23PM Result Source: Analysed

Sampler: MS1

Obscuration: 18.0 %

Residual: 0.558 %

Killed Data Channels: Low 0; High 2

Beam Length: 2.40 mm

Distribution Type: Volume Mean Diameters: D [4, 3] = 49.22 um		Concentration = 0.03 D (v, 0.1) = 7.58 un D [3, 2] = 5.48 un	Resu 309 %Vol n	Density = 1.000 g / cub. cm D (v, 0.5) = 37.48 um Span = 2.636E+00		Specific S.A. = 1.0946 sq. m / D (v, 0.9) = 106.38 um Uniformity = 8.133E-01	
Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	0.96	7.72	10.13
0.06	0.02	0.07	0.02	7.72	1.25	9.00	11.37
0.07	0.03	0.08	0.05	9.00	1.61	10.48	12.99
0.08	0.04	0.09	0.09	10.48	2.07	12.21	15.06
0.09	0.05	0.11	0.14	12.21	2.61	14.22	17.67
0.11	0.07	0.13	0.21	14.22	3.25	16.57	20.91
0.13	0.10	0.15	0.31	16.57	3.95	19.31	24.87
0.15	0.14	0.17	0.44	19.31	4.69	22.49	29.56
0.17	0.19	0.20	0.63	22.49	5.42	26.20	34,98
0.20	0.26	0.23	0.90	26.20	6.08	30.53	41.07
0.23	0.34	0.27	1.23	30.53	6.59	35.56	47.66
0.27	0.38	0.31	1.61	35.56	6.88	41.43	54.53
0.31	0.36	0.36	1.97	41.43	6.93	48.27	61.47
0.36	0.31	0.42	2.29	48.27	6.77	56.23	68.24
0.42	0.28	0.49	2.57	56.23	6.49	65.51	74.73
0.49	0.26	0.58	2.83	65.51	5.73	76.32	80.46
0.58	0.23	0.67	3.06	76.32	4.88	88.91	85.34
0.00	0.24	0.78	3.30	88,91	4.04	103.58	89.38
0.07	0.27	0.91	3.57	103.58	3.24	120.67	92.62
0.70	0.31	1.06	3.89	120.67	2.55	140,58	95.17
1.00	0.31	1.24	4.25	140.58	1.95	163.77	97.11
1.00	0.40	1.44	4.65	163.77	1.45	190.80	98.57
1.44	0.42	1.68	5.07	190.80	0.96	222.28	99.53
1 69	0.42	195	5.49	222.28	0.47	258.95	100.00
1.00	0.42	2.28	5.89	258.95	0.00	301.68	100.00
1.85	0.40	2.65	6.26	301.68	0.00	351.46	100.00
2.20	0.36	3.09	6.62	351.46	0.00	409.45	100.00
2.00	0.36	3.60	6.99	409.45	0.00	477.01	100.00
3.08	0.00	4 19	7.38	477.01	0.00	555.71	100.00
3.00	0.40	4.10	7.85	555.71	0.00	647.41	100.00
4,19	0.47	5.69	8.43	647.41	0.00	754.23	100.00
4.00	0.56	6.63	9.17	754.23	0.00	878.67	100.00



p. 35 28 Jun 05 16:27

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโบโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ธาลารธถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ธอย 62 ก.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 ใหรสาร 2540211 Fax. 2540211

			Analy	sis Result		and the second second		
			Sam	ple Details				
Sample ID: Zeolite Sample File: OTHER Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Dispo Teste	113 Analysis Syste ersing medium ed by Kaew Ka	F F : Water jornchaiyakul	Run Number: 3 Measured: 28 Jun 2005 14:34PM Record Number: 465 Analysed: 28 Jun 2005 14:34PM Result Source: Analysed Water mchaiyakul					
Range Lens: 300RF Presentation: 30HD Analysis Model: Poly	mm ydisperse	Beam Length: 2.40 n [Particle R.I. = (1.529	Syst 1m 5, 0.1000);	em Details Sa Dispersant R.I. = 1.3300]	mpler: MS17	Obs	scuration: 17.0 % esidual: 0.236 %	
Modifications: Active	-	Killed Data Channels:	Low 0; High	2				
			Resu	It Statistics			autors w	
Distribution Type: Vo Mean Diameters: D [4, 3] = 5.12 um	Concentration = 0.00 D (v, 0.1) = 1.18 un D [3, 2] = 2.53 um)75 %Vol n	Density = 1.000 g / cul D (v, 0.5) = 4.67 um Span = 1.667E+00	b. cm	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 8.97 un Uniformity = 5.452E-0	2.3673 sq. m / n 1		
Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	9.03	7.72	83.15	
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	6.97	9.00	90.11	
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.76	10.48	94.88	
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.84	12.21	97.72	
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	1.39	14.22	99.11	
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.43	16.57	99.53	
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	99.53	
0.15	0.00	0,17	0.00	19.31	0.00	22.49	99.53	
0.17	0.01	0.20	0.01	22.49	0.00	26.20	99.53	
0.20	0.04	0.23	0.05	26.20	0.00	30.53	99.53	
0.23	0.19	0.27	0.25	30.53	0.01	35.56	99.54	
0.27	0.48	0.31	0.72	35.56	0.10	41.43	99.64	
0.31	0.63	0.36	1.35	41.43	0.13	48.27	99.77	
0.36	0.60	0.42	1.95	48.27	0.12	56.23	99.89	
0.42	0.71	0.49	2.66	56.23	0.08	65.51	99.96	
0.49	0.96	0.58	3.62	65.51	0.04	76.32	100.00	
0.58	0.99	0.67	4.61	76.32	0.00	88.91	100.00	
0.67	1.20	0.78	5.81	88.91	0.00	103.58	100.00	
0.78	1.29	0.91	7.11	103.58	0.00	120.67	100.00	
0.91	1.55	1.06	8.66	120.67	0.00	140.58	100.00	
1.06	1.90	1.24	10.56	140.58	0.00	163.77	100.00	
1.24	2.25	1.44	12.81	163.77	0.00	190.80	100.00	
1.44	2.41	1.68	15.22	190.80	0.00	222.28	100.00	
1.68	2.54	1.95	17.76	222.28	0.00	258.95	100.00	
1.95	3.01	2.28	20.76	258.95	0.00	301.68	100.00	
2.28	3.76	2.65	24.52	301.68	0.00	351.46	100.00	
2.65	4.89	3.09	29.41	351.46	0.00	409.45	100.00	
3.09	6.27	3.60	35.68	409.45	0.00	477.01	100.00	
3.60	7.85	4.19	43.53	477.01	0.00	555.71	100.00	
4,19	9.38	4.88	52.91	555.71	0.00	647.41	100.00	
4.88	10.75	5.69	63.65	647.41	0.00	754.23	100.00	
	10.47	6.63	74.12	754.23	0.00	878.67	100.00	





Mastersizer S long bed Ver. 2.11 Serial Number: 32734-89

Name Field Offer 11 Beneficial Partic CLI State Road Analysis System Enter both X-base Magnetic State Tester by Name Kalonnon Magnetic Tester	
System Details Sample: M31 Characteristics	
Result Statistics Density = 1.000 g / coi. cm D (v. 0.7) = 1.18 um D (2. 2) = 2.23 um Density = 1.000 g / coi. cm D (v. 0.7) = 2.53 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 2.53 um Density = 1.000 g / coi. cm D (v. 0.7) = 2.53 um Density = 1.000 g / coi. cm D (v. 0.7) = 2.53 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 8.77 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 2.53 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 8.77 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 2.53 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 8.77 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 2.53 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 8.77 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 0.00 Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 8.77 um Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 0.00 Specific S.A. = 2.3873 D (v. 0.7) = 0.00 O (v. 0.7) Specific S.A. = 2.3873 Specif	: 17.0 0.236
Bit Cov (um) In % Size High (um) Under% 0.05 0.00 0.06 0.00 0.06 0.00 772 8.33 7.72 8 0.06 0.00 0.07 0.00 0.06 9.00 4.83 10.48 9 0.06 0.00 0.13 0.00 11.48 2.44 10.48 9 0.13 0.00 0.13 0.00 11.22 0.33 14.22 9 0.13 0.00 0.13 0.00 11.22 0.33 14.27 9 0.31 0.00 0.17 0.00 12.21 0.33 14.57 9 0.32 0.04 0.23 0.05 35.56 0.10 41.43 9 0.31 0.63 0.53 3.56 0.10 41.43 9 0.42 0.71 0.46 0.73 1.25 10.65 14.3 13 44.27 9 0.42 0.71 0.46 25.	sq. m
0.05 0.00 0.00 0.00 0.00 7.72 6.83 7.72 8 0.07 0.00 0.09 0.00 7.72 6.87 9.00 9 0.00 0.00 0.09 0.00 12.21 1.39 14.22 9 0.11 0.00 0.13 0.00 12.21 1.39 14.22 9 0.13 0.00 0.17 0.00 16.57 0.00 19.31 9 0.15 0.00 0.17 0.00 16.57 0.00 19.31 9 0.17 0.01 0.20 0.01 22.49 0.00 25.20 9 0.23 0.04 0.23 0.05 30.53 0.01 35.58 9 0.23 0.04 0.23 1.35 41.47 0.13 46.27 9 0.42 0.71 0.04 2.23 1.35 41.47 0.13 46.27 9 0.42 0.71 0.04 2.23 1.35 41.47 0.13 46.27 9 0.42 0.71 0.04 1.35 1.25 1.35 1.35 1.35 1.35 1.35 1.35 1.35 1.3	der%
0.077 0.00 0.08 0.00 10.46 2.66 122.47 0.049 9 0.00 0.00 0.00 0.09 0.00 10.46 2.26 12.27 9 0.11 0.00 0.15 0.00 14.22 0.43 18.57 9 0.15 0.00 0.17 0.00 18.37 0.00 22.49 9 0.20 0.01 0.02 0.01 22.41 0.00 22.49 9 0.20 0.01 0.02 0.00 12.2.41 0.00 22.49 9 0.20 0.01 0.02 0.00 12.2.41 0.00 25.20 9 0.20 0.04 0.20 0.01 22.43 0.00 35.56 9 0.21 0.03 0.03 0.042 1.95 44.03 0.00 35.56 9 0.38 0.03 0.042 1.95 44.03 0.00 35.56 9 0.42 0.71 0.449 2.66 46.23 0.00 85.51 0.00 66.51 9 0.42 0.71 0.449 2.66 46.23 0.00 60.55 10 0.42 0.71 0.449 1.95 44.03 0.00 10.55 10 0.76 5.61 76.52 0.00 140.55 10 0.76 1.20 0.76 5.61 76.52 0.00 140.55 10 0.76 1.20 0.76 5.61 16.57 0.00 140.55 10 0.76 1.20 0.76 5.61 16.52 10.00 140.55 10 0.76 1.20 0.76 5.61 160.57 0.00 140.55 10 0.76 1.20 0.76 5.61 160.57 0.00 140.55 10 1.04 1.90 1.24 10.56 140.56 140.56 100 120.67 100 0.55 0.00 120.67 100 1.44 2.44 1.66 15.22 190.00 120.67 100 1.44 2.44 1.66 15.22 190.00 120.67 100 1.48 2.55 1.44 12.81 143.51 40.55 10.00 140.58 10 1.65 3.01 2.28 20.76 226.55 30.00 255.571 100 1.66 3.00 2.55.71 0.00 155.771 100 1.66 3.00 2.55.71 0.00 667.74 10 3.50 7.55 4.19 3.09 29.41 351.46 0.00 407.45 10 3.50 7.55 4.19 43.53 477.01 0.00 555.71 100 4.88 10.75 5.69 53.69 53.69 54.50 447.41 0.00 477.41 10 3.50 7.55 4.19 43.53 477.01 0.00 555.71 100 4.88 10.75 5.69 53.65 44.52 301.47 100 66.77 100 3.50 7.55 4.19 43.53 477.01 000 555.71 100 4.88 10.75 5.69 53.65 44.52 301.47 100 5.50 10.47 0.63 761.22 1764.23 00.00 255.571 100 4.88 10.75 5.69 53.65 44.52 100.67 754.23 00.00 754.23 10 5.50 10.47 0.63 761.22 170.00 155.57 100 1.64 3.00 754.23 100 754.23 100 754.23 100 754.23 100 754.23 100 754.23 100 754.23 100 754.23 100 754.23 100	3.15
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.13 0.00 0.15 0.00 0.15 0.00 0.15 0.00 0.17 0.00 0.17 0.00 0.17 0.00 0.17 0.00 0.22 0.00 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25 0.23 0.04 0.25	4.88
111 0.00 132 0.00 14.22 0.43 18.57 9 0.13 0.00 0.15 0.00 18.57 0.00 19.31 9 0.15 0.00 0.17 0.00 19.31 0.00 19.31 9 0.17 0.01 0.229 0.05 224.90 0.00 28.70 9 0.23 0.18 0.27 0.26 30.53 9 35.56 9 0.27 0.48 0.31 0.72 35.86 0.10 41.43 9 0.31 0.63 0.34 1.35 44.43 0.31 46.27 9 0.42 0.76 0.46 1.35 14.63 0.06 65.51 9 0.42 0.76 5.81 0.06 46.57 10 10 10.55 10 0.42 0.77 1.20 0.76 5.81 10.00 103.59 10 0.42 0.77 1.00 <td< td=""><td>7.72</td></td<>	7.72
0.13 0.00 0.15 0.00 19.57 0.00 19.31 0.00 0.17 0.01 0.20 0.01 22.49 0.00 26.30 9 0.23 0.04 0.23 0.065 26.30 0.00 26.35 9 0.23 0.14 0.23 0.055 30.53 0.01 35.56 9 0.27 0.48 0.31 0.72 35.56 0.10 41.43 9 0.34 0.63 0.35 1.35 41.43 0.13 46.27 9 0.42 0.71 0.49 2.66 56.23 0.06 65.51 9 0.49 0.66 0.53 3.62 65.51 0.06 86.87 10 0.67 1.29 0.91 7.11 10.358 0.00 103.36 10 0.67 1.29 0.91 7.11 10.358 0.00 103.36 10 0.67 1.29 0.95 1.66<	9.53
0.13 0.00 0.17 0.00 19.31 0.00 22.49 0 0.20 0.04 0.23 0.05 22.60 0.00 30.53 9 0.23 0.19 0.27 0.28 30.53 0.01 35.56 9 0.27 0.48 0.31 0.72 35.56 0.10 41.43 9 0.38 0.80 0.42 1.35 44.43 0.13 48.27 9 0.42 0.71 0.49 2.66 56.23 0.06 65.51 9 0.42 0.71 0.49 0.86 0.55 3.62 65.51 9 0.49 0.86 0.55 3.62 65.51 9 9 10 10 10.55 10.00 103.58 10 0.76 1.29 0.71 11 10.55 10.00 100.67 10 0.77 0.00 190.80 10.00 120.67 0.00 140.56 160.57	9.53
0.23 0.04 0.23 0.05 26.20 0.00 30.53 9 0.27 0.48 0.31 0.72 2.55 0.01 35.56 9 0.31 0.63 0.36 1.35 46.27 0.12 48.27 9 0.42 0.71 0.49 2.66 96.53 0.04 76.32 9 0.42 0.71 0.49 2.66 96.53 0.06 65.51 9 0.42 0.71 0.49 2.66 96.23 0.06 65.51 9 0.42 0.71 0.49 2.66 95.63 0.06 85.91 100 0.87 1.20 0.76 5.81 8.81 0.00 100.53 100 0.87 1.20 0.91 7.11 103.58 0.00 120.67 100 12.44 10.85 100 12.457 100.140.58 100 12.44 12.85 100 12.28 100.0 120.67 0.00	9.53
0.23 0.19 0.27 0.28 30.53 0.01 35.56 9 0.31 0.63 0.36 1.35 41.43 0.13 44.27 9 0.42 0.71 0.49 2.66 56.53 0.06 65.51 9 0.42 0.71 0.49 2.66 56.53 0.06 65.51 9 0.42 0.71 0.49 2.66 56.51 0.04 76.32 0.00 65.51 9 0.47 1.20 0.76 5.61 98.61 0.00 103.58 10 0.87 1.29 0.91 7.11 103.68 0.00 163.58 10 0.81 1.28 0.91 7.11 103.68 0.00 163.58 10 0.81 1.55 1.06 8.66 120.67 0.00 140.58 10 1.66 1.90 1.24 10.56 160.59 0.00 168.57 10 122.28 10 <t< td=""><td>9.53</td></t<>	9.53
0.31 0.83 0.36 1.35 41.43 0.13 48.27 9 0.36 0.80 0.42 1.95 46.27 0.12 56.23 9 0.42 0.71 0.49 2.86 56.23 0.08 65.51 9 0.49 0.96 0.53 3.62 65.51 0.04 76.32 10 0.55 0.99 0.67 4.61 76.32 0.00 103.58 10 0.76 1.29 0.91 7.11 103.58 0.00 103.58 10 0.76 1.29 0.91 7.11 103.58 0.00 140.58 10 0.76 1.29 0.91 7.11 103.58 0.00 140.58 10 1.94 1.24 1.24 1.24 10.56 140.58 0.00 140.58 10 1.24 2.25 1.44 12.81 183.77 0.00 180.80 10 1.86 2.45 <	9.54
0.36 0.60 0.42 1.95 46.27 0.12 56.23 9 0.44 0.96 0.55 3.62 65.51 0.04 76.32 10 0.55 0.99 0.67 4.61 76.32 0.00 103.58 10 0.67 1.20 0.76 5.61 88.91 0.00 103.58 10 0.77 1.20 0.76 5.61 88.91 0.00 103.58 10 0.78 1.25 1.06 8.66 120.67 0.00 140.58 10 1.65 1.90 1.24 10.95 140.58 0.00 120.67 10 0.67 0.00 140.58 10 1.65 1.90 1.24 10.95 140.58 0.00 135.77 10 1.44 2.41 1.68 15.22 100.60 0.00 225.95 10 1.86 2.54 1.05 17.76 222.28 0.00 255.95 10 1.85 3.01 2.28 20.76 255.95 10 1.85 4.89 3.09 29.41 351.46 0.00 351.46 10 3.09 6.27 3.66 35.68 409.45 0.00 351.46 10 3.00 7.85 4.19 43.53 47.70 0.00 477.01 0. 3.60 7.85 4.19 43.53 47.70 0.00 477.41 10 4.88 10.75 5.66 55.68 409.45 0.00 477.41 10 4.88 10.75 5.66 63.85 64.72 0.00 677.41 10 5.89 10.47 6.83 74 12 74	9.77
0.46 0.86 0.58 3.62 65.51 0.04 76.32 10 0.56 0.99 0.67 4.61 76.32 0.00 88.91 10 0.67 1.20 0.76 5.61 88.91 0.00 103.58 10 0.76 1.20 0.76 5.61 71 10 10.58 0.00 100.67 10 0.81 1.55 1.06 6.66 120.67 0.00 140.56 10 1.24 1.25 1.44 10.56 140.58 0.00 183.77 10 1.44 2.41 1.66 15.22 100.80 0.00 222.85 10 1.85 3.01 2.28 20.76 225.95 0.00 351.66 10 2.85 3.76 2.85 2.44 351.46 0.00 351.46 10 3.60 7.85 4.19 43.53 477.01 0.00 351.46 10 3.60	9.89
0.56 0.67 1.20 0.77 1.20 0.77 1.20 0.77 1.20 0.97 1.29 0.91 1.55 1.06 1.06 1.00 1.00 1.00 1.00 1.44 2.44 1.44 2.44 1.68 1.55 1.66 1.68 1.60 1.68 1.68 1.60 1.68 1.68 1.60 1.68 1.68 1.60 1.68 1.68 1.60 1.68 1.68 1.60 1.68	0.00
0.76 1.22 0.76 7.11 103.58 0.00 103.58 100 0.91 1.55 1.06 6.66 120.67 0.00 140.58 10 1.24 2.25 1.44 12.81 163.77 0.00 190.80 10 1.44 2.41 1.66 15.22 163.77 0.00 190.80 10 1.44 2.41 1.66 15.22 10.60 0.00 222.83 10 1.89 2.54 1.96 17.76 222.28 0.00 238.85 10 2.265 3.66 24.52 301.88 0.00 301.88 10 3.60 7.55 4.19 43.53 477.01 0.00 49.45 10 3.60 7.55 4.19 43.53 477.01 0.00 555.71 10 4.19 9.38 4.88 52.91 555.71 0.00 754.23 0.00 978.67 10 5.69 <td< td=""><td>0.00</td></td<>	0.00
0.91 1.55 1.06 8.66 12067 0.00 140.58 10 1.24 2.25 1.24 10.56 140.58 0.00 163.77 10 1.44 2.25 1.44 12.81 163.77 0.00 183.77 10 1.44 2.41 1.66 15.22 10.00 0.00 222.28 10 1.44 2.41 1.66 17.76 220.22 0.00 228.95 10 1.66 2.54 1.95 77.76 220.28 0.00 301.88 10 2.265 4.89 3.09 29.41 351.46 0.00 301.88 10 3.60 7.85 4.19 43.53 477.01 0.00 555.71 10 4.19 0.38 4.88 52.91 351.46 0.00 756.97 10 5.69 10.47 6.63 74.12 0.00 754.23 0.00 878.97 10	0.00
1.20 1.24 10.30 163.77 0.00 163.77 00 1.44 2.41 1.66 15.22 100.80 0.00 222.26 10 1.66 2.54 1.95 17.76 222.26 0.00 285.95 10 2.65 3.69 3.76 2.65 24.52 30.168 0.00 351.46 10 3.09 6.27 3.60 35.68 409.45 0.00 409.45 10 3.09 7.85 4.19 43.53 477.01 0.00 555.71 10 4.88 10.75 5.69 63.65 647.41 0.00 764.23 10 5.69 10.47 0.63 74.12 754.23 0.00 678.67 10	0.00
1.44 2.41 1.68 15.22 100.60 0.00 222.28 100 1.95 3.01 2.28 20.76 28.95 100 208.95 100 2.65 4.89 3.09 29.41 351.46 0.00 351.46 100 3.60 7.85 4.19 43.53 477.01 0.00 477.01 100 4.19 9.38 4.88 52.91 355.71 0.00 647.41 10 5.69 10.47 6.63 74.12 0.00 678.67 10 0 % 96.33 74.12 0.00 678.67 10	0.00
1.95 2.34 1.95 17.76 222.28 0.00 238.95 10 2.85 3.76 2.65 24.52 301.68 0.00 351.46 10 2.65 4.89 3.09 29.41 351.46 0.00 409.45 10 3.69 6.27 3.60 356.68 409.45 0.00 409.45 10 4.19 9.38 4.86 52.91 0.00 409.45 10 4.88 10.75 5.69 63.65 647.41 0.00 647.41 10 4.88 10.75 5.69 63.65 74.12 647.41 0.00 678.67 10 0 % 9% <	0.00
2.28 3.76 2.85 24.52 301.68 0.00 351.46 10 3.09 6.27 3.60 35.68 351.46 0.00 409.45 10 3.80 7.85 4.19 43.53 477.01 0.00 477.01 10 4.19 9.38 4.68 52.91 655.71 0.00 647.41 10 5.89 10.47 6.63 74.12 643.4 0.00 878.67 10 0 % 96.83 74.12 96.83 74.12 0.00 878.67 10	0.00
2.53 4.99 3.09 29.41 351.46 0.00 409.45 10 3.69 7.85 4.19 43.53 409.45 0.00 477.01 10 4.19 9.38 4.86 52.91 555.71 0.00 647.41 10 5.89 10.75 5.89 63.65 63.65 647.41 0.00 764.23 10 0 %	0.00
3.60 7.85 4.19 43.53 477.01 0.00 555.71 10 4.19 9.38 4.88 52.91 555.71 0.00 647.41 10 4.88 10.75 5.69 63.65 74.12 754.23 0.00 764.23 10 5.69 10.47 6.63 74.12 754.23 0.00 678.67 10 0 %	0.00
4.88 10.75 5.69 63.65 647.41 0.00 647.41 10 5.89 10.47 6.63 74.12 754.23 0.00 754.23 10 0 %	0.00
	0.00
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0.00
จุฬาลงกรณมหาวทยาลย /\	100
	80
	70
	60
	50 40
	30
	20
	20
	10

Mastersizer S long bed Ver. 2.11 Serial Number: 32734-89

Instruments Ltd. UK -

4

p. 10 28 Jun 05 14:38

	ฐนธเตรองมือ อาคารสอาบัน 2 Solentific and Building 2-3	าหมวกมาศาสตรแล รูหาลงกรณ์ รอย 6 d Technological Chula Soi 62 Pha	ะเทคเนเลย I2 ถ.พญาไห Research Eq ya-ThaiRd, P	รุษาสงกรณมพรรม ปรุมรับ กรุณทพร 153 juipment Centre hetumwen Bangkok	Chulalongk 10330 Tet.	29-32, 2188161 orn University 2188029-32, 2188101	ไพรตาร 254021 Fax. 254021
			1				
			Analy	sis Result			
Sample ID: Zeolite Sample File: OTHEI Sample Path; C:1 Sample Notes: Wet Disp Test	R13 Analysis System sersing medium : ted by Kaew Kajo	Water mchaiyakul	Run Number: 8 Record Number:	467	Measur Analyse Result :	ed: 28 Jun 2005 14:34F ed: 28 Jun 2005 14:35P Source: Analysed	PM IM
Range Lens: 300RF resentation: 30HD inalysis Model: Pol Iodifications: Active	f mm) lydisperse 8	Beam Length: 2.40 [Particle R.I. = (1.52 Killed Data Channels	System mm 95, 0.1000); [;: Low 0; High 1	em Details Sispersant R.I. = 1.3300] 2	lampler: MS17	- 0	bscuration: 17.2 % Residual: 0.341 %
			Resul	It Statistics			
Tetribution Type: V lean Diameters: 3 [4, 3] = 4.93 um	Yolume	Concentration = 0.0 D (v, 0.1) = 1.11 u D [3, 2] = 2.43 um	1075 %Val m	Density = 1.000 g / c D (v, 0.5) = 4.66 un Span = 1.669E+00	ub. cm n	Specific S.A. D (v, 0.9) = 8.97 u Uniformity = 5.136E-	= 2,4680 sq.m /g m 01
Size Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size Low (um) 6.63	In %	Size_High (um)	Under% 82.98
0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.23 0.27 0.31 0.35 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.68 1.68 1.65 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.89 5.69	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.01 0.03 0.09 0.27 0.52 0.68 0.68 0.68 0.80 1.03 1.10 1.31 1.40 1.82 1.88 2.13 2.29 2.48 2.97 3.74 4.86 6.21 7.73 9.20 10.54 10.36	0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.56 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69 6.63	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.01 0.04 0.13 0.40 0.92 1.59 2.27 3.06 4.09 5.19 6.49 7.90 9.52 11.40 13.53 15.82 18.31 21.28 25.01 29.87 38.09 43.82 53.01 63.56 73.91	7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 256.95 301.68 351.46 409.45 407.01 555.71 847.41 754.23	7,13 4,96 3,00 1,48 0,45 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00	9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 85.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.88 259.95 301.88 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67	90.11 95.07 98.07 99.55 100.00
20			Vol	ume %			100
č.							90
-							80
1		101 113					70
(1.8)							60
10		and the		\wedge			50
2 - 1				/			40
÷			/				30
2			. /	- \			20
							10
0.01	0.1		1.0 Particle D	10.0	100	.0 1	000.0
nstruments Lt UK	td.	Ma	stersizer S I Serial Numb	long bed Ver. 2.11 ber: 32734-89		1 ²	28 Jun 05

สูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคในโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ขอย 62 ด.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 โทรตาร 2540211 Fax. 2540211

Sample ID: Zeolite Sample Details Sample File: OTHER13 Run Number: 12 Sample Path: C:\ Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Water Tested by Kaew Kajornchaiyakul				nple Details 12 468	Measured: 28 Jun 2005 14:35PM Analysed: 28 Jun 2005 14:35PM Result Source: Analysed			
ange Lens: 300F resentation: 3OH nalysis Modet: P odifications: Acti	RF mm D olydisperse ve	Beam Length: 2.40 m [Particle R.I. = (1.529 Killed Data Channels:	Syst 1m 5, 0.1000); Low 0; High	tem Details S Dispersant R.I. = 1.3300] 2	ampler: MS17	Obs	curation: 17.1 %	
stribution Type: ean Diameters: [4, 3] = 5.11 u	Volume	Concentration = 0.00 D (v, 0.1) = 1.06 un D [3, 2] = 2.39 um	Resu 074 %Vol n	It Statistics Density = 1.000 g / c D (v, 0.5) = 4.66 um Span = 1.717E+00	ub. cm I	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 9.06 um Uniformity = 5.582E-0	2.5124 sq. m / g 1 1	
ize_Low (um) 0.05	In % 0.00	Size High (um) 0.06	Under% 0.00	Size_Low (um) 6.63	In % 8.98	Size_High (um) 7.72	Under% 82.72	
0.007 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.01 0.07 0.26 0.59 0.75 0.74 0.86 1.12 1.16 1.38 1.44 1.66 1.94 2.19 2.30 2.43 2.88 3.61 4.71 6.07 7.61 9.13 10.51 10.31	0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69 6.63	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.02 0.09 0.34 0.93 1.68 2.42 3.28 4.40 5.56 6.94 8.38 10.04 11.98 14.17 16.48 18.91 21.79 25.40 30.12 36.18 43.80 52.92 63.43 73.74	7.12 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23	7.01 4.86 2.96 1.48 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0	10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67	89.72 94.59 97.54 99.02 99.50 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00	
0		<u>anı</u>	Vo	lume %	112		100	
				-			90	
							80	
-							70	
1							60	
0				\wedge	8 *		50	
-				/			40	
1			/				30	
				\			20	
				\			10	

Mastersizer S long bed Ver. 2.11 Serial Number: 32734-89

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี กรณี ความเร็วคงที่ ที่ 20.2 m/s ของวัตถุดิบ โซดาแอช แคลไซต์ และ STPP

	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ
อนุภาค	n ทฤษฎี (กราฟ)	n ทฤษฎี (คำนวณ)	n ୩øลอง 1	n ทดลอง 2	n ทดลอง 3	n เฉลี่ย
โซดาแอช	98.98	95.86	20.13	23.71	24.94	22.93
แคลไซต์	96.46	85.05	35.39	31.81	30.98	32.73
STPP	98.89	93.71	13.05	15.68	12.84	13.86

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลน**ไม่หมุน**)

	Pressure drop	Pressure drop		
อนุภาค	ทฤษฎี (คำนวณ)	การทดลอง (เฉลี่ย)		
โซดาแอช	19.43	4.77		
แคลไซต์	19.36	3.80		
STPP	19.43	4.77		

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลน**ไม่หมุน** แต่เปลี่ยนแปลงความเร็ว ของ STPP)

		ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	<mark>ประสิท</mark> ธิภาพ	ประสิทธิภาพ
Vin		n ทฤษฎี (กราฟ)	n ทฤษฎี (<mark>คำนวณ</mark>)	n ทดลอง 1	n ทดลอง 2	n ทดลอง 3	n เฉลี่ย
	15.7	98.89	93.30	10.57	13.18	14.08	12.61
	20.2	98.89	93.71	13.05	15.68	12.84	13.86
	25.1	98.89	94.04	19.70	20.24	20.03	19.99

	Pressure drop	Pressure drop			
อนุภาค	ทฤษฎี (คำนวณ)	การทดลอง (เฉลี่ย)			
15.7	11.66	3.57			
20.2	19.43	4.77			
25.1	30.15	5.30			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลย

	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ
อนุภาค	n ทฤษฎี (กราฟ)	n ทฤษฎี (คำนวณ)	n ୩øลอง 1	n ทดลอง 2	n ୩øลอง 3	n เฉลี่ย
โซดาแอช	98.98	95.86	11.71	9.19	11.29	10.73
แคลไซต์	96.46	85.08	23.76	19.29	22.85	21.97
STPP	98.89	93.72	11.59	11.14	10.52	11.09

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลน**หมุน**)

	Pressure drop	Pressure drop		
อนุภาค	ทฤษฎี (คำนวณ)	การทดลอง (เฉลี่ย)		
โซดาแอช	19.71	4.80		
แคลไซต์	19.65	3.80		
STPP	19.71	4.70		

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลน**หมุน** แต่เปลี่ยนแปลงความเร็ว ของ STPP)

		ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประสิทธิภาพ	ประ <mark>สิทธิภา</mark> พ	<mark>ประสิท</mark> ธิภาพ	ประสิทธิภาพ
Vin		n ทฤษฎี (กราฟ)	n ทฤษฎี (ค <mark>ำนวณ</mark>)	n ทดลอง 1	n ทดลอง 2	n ทดลอง 3	n เฉลี่ย
	15.7	98.89	<mark>93.31</mark>	11.54	12.76	9.39	11.23
	20.2	98.89	93.72	11.59	11.14	10.52	11.09
	25.1	98.89	94.05	15.45	18.31	13.29	15.68

	Pressure drop	Pressure drop
อนุภาค	ทฤษฎี (คำนวณ)	การทดลอง (เฉลี่ย)
15.7	11.88	3.57
20.2	19.71	4.70
25.1	30.15	5.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลย

วันที่ <mark>07/01/06</mark>

ผงฝุ่น

<mark>โซดาแอช</mark>

Vin (m/s)	V body	Start(Min)	End(Min)	Time(s)	Q(m3/s)	dP (cmW)	Bag Cy(g)	Bag Cy+Dust	Dust Cy(g)	Bag BF(g)	Bag BF+Dust	Dust BF(g)	Tot Dust(g)	Cy Eff	Conc.(mg/l)
	ไม่หมุน	0.0	11.3	677	0.1010	4.8	322.0	1129.1	807.1	59.7	3262.3	3202.6	4009.7	20.13	39700.00
	ไม่หมุน	0.0	12.4	745	0.1010	4.8	322.0	1330.8	1008.8	59.7	3305.6	3245.9	4254.7	23.71	42125.74
20.2	ไม่หมุน	0.0	10.8	645	0.1010	4.7	322.0	1291.3	969.3	59.7	2976.8	2917.1	3886.4	24.94	38479.21
	หมุน	0.0	10.8	648	0.1010	4.8	328.0	744.4	416.4	60.5	3201.5	3141.0	3557.4	11.71	35221.78
	หมุน	0.0	11.5	689	0.1010	4.8	328.0	644.4	316.4	60.5	3188.5	3128.0	3444.4	9.19	34102.97
	หมุน	0.0	12.8	765	0.1010	4.8	328.0	697.1	3 <mark>69</mark> .1	60.5	2960.9	2900.4	3269.5	11.29	32371.29
			ไม่หมุน	Overall	0.3030		13.02	We want	2785.2				12150.8	22.92	40101.65
อุณหภูมิ	30	С	หมุน	Overall	0.3030	2			1101.9	2			10271.3	10.73	33898.68

อนุภาค โซคาแอช



จากกราฟ Size distribution

ข้อมูลจากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

dp(min)	dp(max)	Count	Freq/um	Fraction	dp (Avg)	%สะสม
0.05	0.1	1	20.00	0.3191	0.075	31.91
0.1	0.2	2	20.00	0.3191	0.15	63.82
0.2	0.5	3	10.00	0.1595	0.35	79.77
0.5	1	2	4.00	0.0638	0.75	86.15
1	2	3	3.00	0.0479	1.5	90.94
2	5	4	1.33	0.0213	3.5	93.06
5	10	7	1.40	0.0223	7.5	95.30
10	20	10	1.00	0.0160	15	96.89
20	50	18	0.60	0.0096	35	97.85
50	100	30	0.60	0.0096	75	98.81
100	200	56	0.56	0.0089	150	99.70
200	500	55	0.18	0.0029	350	99.99
500	1000	2	0.00	0.0001	750	100.00
		Sum	62.68	1.0000		

นำข้อมูลไป plot กราฟ log-normal

gนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thal Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101

Fax. 2540211



istruments Ltd.

p. 37



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

50		1	12/21/10/12/20	a promo paga	i l'i intificiat	TAN MILTER	Lana	Different Ballinger and Barrelinger	n '
9					- TT 1				1 9
6	·····································			• • • • • • • •	1 14 1 14 14	1.201 1.001 1.001	1111 1 1 1 1 1 1		1 8
			i i i i min EF	11112 11	1 1:4:57	lizzbi kiniliti.	I FE LIF HERE		
1							1		- 1
÷				E FILL I					1 .
~				51.51.	Little Adda	LLL PHULLS			i °
5					10000	THE LEUMEN	LLERL -LEFT	1999 NOT REAL PROPERTY FORMER	1.
-				1 14411 1811	1	TTIS PERSEN			
						11			1
~	The second se								4
			12224141111				1 = + + = = =		1
		THE THEFT		11 11 21 21 21		1 FF	10075 AZ		1
3 -				- 11					1 3
			12:11 13:11 13:1				F		Ŧ
							1.i +		
						(11] 17] I	1.7.2.2.1		1
2			the second						1 .
~					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	المراجع المراجع والمراجع	1 4
					1.2.1		Intel and		1 .
		┝─┝─┬─│─┾┼┼┼							1
			1111.111		1				1
									1
11-1							11111		1
22									4
1						111 Ballin			1 1
9									9
8									
					I -la - a				1
7		4 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·							7
6						Strates-			
						ALLE HERITEL	2012141-1-12. L.U.	AST HERE TO A DECEMPTION OF A D	1°
5		The second secon	LEFE MORE DE				i teren berrenen		-
- 53	Commente a la commenta de la comment	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	TETRATEL HEL	1	EAST REEL				1
	the star and some the second balance being a second s								
4						The same and the set of the second se			4
		in the second	E HE		,		The second second		
3									3
					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		Part + 1		
						211 111			
	nancani dara terma nancan ki B. data ini dara m nancan peri peri penga ata ini dara tari tari terma ini dara tari								
2							111111		2
-			44-11-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1			111 19 19 19		high a state of the second second second	1
									0
		The second se					11111		1
- + ÷			111111	A start start		in Liver des 111 adult.	in a second second		
• •			<u>tiliti-ti</u>						
•••									
••									
									1

		it at the balance	111111	1122-1	ra res fes	11111	THE I	TTA E	instant and	1-paras. 1		117.0.1	111			117.0	arei	1
9								277 121		1				11121				5
ô								1				11.11		7.7				8
2				12:::	11 17 11	1.1		1441		1:23 21			==::	-1-1-				1 7
							11111	1-1-1-				F###7.	:1:1	1-1-1-1		=;;[10
ô									1111111	7121	1.6.51.40	1442		1.1.1.				6
							1111	THE LIFE	1211111			11 -1	1.721				1-1-1	1
5				1 10 2				1		1.1.1.1.1.1		1111						5
	The second secon		1					1111		1.1.1.1.1.1.1.1		1		1.4				i i
-				19155	1.12					1 1-112								4
			112571-1	1111				:=1		-=-								
		1	t	1997-1	.r: 21 01.			1:77.		11.7.5	32.	72111	11.51.1					1
3 -				11111	11		17 1											з
			12:1 12	1.1.1.1	11:1-1-1		1	t: L	11.1 1111	1 +						=1=	1 1	ŀ.
										1								
							11111						=:+	11-1-			1	
2														+-+	-			2
			1711	1777		1111	1.11	111-1	THE PLAN				111					
				++++	· · · · · ·			+	111	++-				\div		1 1	+++	~
			1 I THE		TTTT		FTTT	TIT				111	1.1	11	1		1	
				1111			11:11		: inthi	HITT	1 1 -	H	177	1	1	Tili	1	
		1 11	1111111		THE		111		111111	ilii		111	11,1	TI		111:	11	
2					1444	11111	1111	1111			1	.111	11:1		1_1	111		
1					111111	11 1111	1.11	[i]i]	(hilli)	1111	11	111	1141	1.	1			1
9					<u></u>			-				1.22	1		-			9
8				5.77			-			H=								8
2			1-1											ter stylet at				
1		The state is seen and an an array of the second sec					and the second sec		the second of the second second second			- 1					ma * as	-
							1											7
6							<u>]</u>			<u></u>		11.11 17.7			i Li			7
6												-11-11 - 11-11 - 11-11		1767			1.1.	7 6
5												-11. 11.1 1.77		17.64				7 6 5
5														17.6				7 6 5
6 5 4																		7 6 5
5 4																		7 6 5 4
5 4																		7 6 5 4
6 5 4 3																		7 6 5 4 3
6 5 4 3																		7 6 5 4 3
6 5 4 3																		7 6 5 4 3
6 5 4 3																		7 5 4 3
6 5 4 3 2																		7 6 5 4 3
6 5 4 3 2																		7 6 5 4 3
6 5 4 3 2																		7 6 5 4 3
6 5 4 3 2																		7 5 4 3
6 5 4 3 2																		7 6 5 4 3
6 5 4 3 2 2																		7 6 5 4 3
6 5 4 3 2 																		7 6 5 4 3
6 5 4 3 2 																		7 6 5 4 3 2 2

0.125 μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากกราฟคือ

0.125 μm

dp50 ที่ได้จากการคำนวถ

0.919 µm

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

η (j)

=

 $\begin{bmatrix} 1 + (dp50 / dp(j))^2 \end{bmatrix}$

dp (um)	η (j) graph	Frequency	Frequency	dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.2647	1.00	0.2647	0.075	0.0066	1.00	0.0066219
0.15	0.5902	2.00	1.1803	0.15	0.0260	2.00	0.051943
0.35	0.8869	3.00	2.6606	0.35	0.1268	3.00	0.3803031
0.75	0.9730	2.00	1.9459	0.75	0.4000	2.00	0.799952
1.5	0.9931	3.00	2.9793	1.5	0.7273	3.00	2.1817587
3.5	0.9987	4.00	<mark>3.9949</mark>	3.5	0.9356	4.00	3.7422193
7.5	0.9997	7.00	6. <mark>99</mark> 81	7.5	0.9852	7.00	6.8965415
15	0.9999	10.00	9.9993	15	0.9963	10.00	9.9626364
35	1.0000	18.00	17.9998	35	0.9993	18.00	17.987609
75	1.0000	30.00	29.9999	75	0.9999	30.00	29.9955
150	1.0000	56.00	56.0000	150	1.0000	56.00	55.9979
350	1.0000	55.00	55.0000	350	1.0000	55.00	54.999621
750	1.0000	2.00	2.0000	750	1.0000	2.00	1.999997
	Sum	193.00	191.02	109	Sum	193.00	185.00
	ľ	η (501)	98.98	PP 9 1		η (รวม)	95.86

98.98 (กราฟ)

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ

โซคาแอช

η (%)

=

95.86 (คำนวณ)

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

 $\Delta P = \frac{1/2 * \rho g * V g^2 * Hv}{1/2 * \rho g * V g^2 * Hv}$

Hv	=	K * H*W/D	e^2	
	Κ	=	16	Tangential
	Н	=	10	cm
	W	=	5	cm
	De	=	10	cm
Hv	=	8		
ho g	=	1.1664604	Kg/m3	30 C
Vg	=	20.2	m/s	

Δ P (cal)	=	1903.85	Kg/m/s2 (Pa)			
	=	19.427041	cm Water ;	ρ water =	1000	Kg/m3
	=	7.6484413	inch Water			



<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)

อนุภาค โซคาแอช

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

dp 50	=	(9 *µ* W) 1/2
		($2 * 22/7 * Ne * \rho_p * Vg$)
	μ air	=	2.00E-06 Kg/m/s	
	W	=	0.05 m	
			Ne =	1/H * (Lb + Lc/2)
			H =	10 cm
			Lb, Lc =	40 cm
	Ne	=	6	
	ρ_p	=	1400 Kg/m3	
	Vg	=	20.2 m/s	
	V body	=	14 rpm	
		=	0.1466667 m/s	
	V(g + body)	=	20.346667 m/s	

dp 50 (cut) =

0.9152878 µm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากการคำนวล

(ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

0.915 µm

 $[1 + (dp50 / dp(j))^{2}]$

dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency	
0.075	0.0067	1.00	0.0066696	
0.15	0.0262	2.00	0.0523103	
0.35	0.1276	3.00	0.3827122	
0.75	0.4017	2.00	0.803427	
1.5	0.7287	3.00	2.1860566	
3.5	0.9360	4.00	3.7439586	
7.5	0.9853	7.00	6.8972764	
15	0.9963	10.00	9.9629047	

35	0.9993	18.00	17.987699
75	0.9999	30.00	29.995533
150	1.0000	56.00	55.997915
350	1.0000	55.00	54.999624
750	1.0000	2.00	1.999997
	Sum	193.00	185.02
		η (531)	95.86

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ โซดาแอช η (%) = 95.86 (คำนวณ)

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

Δ p	=	$1/2 * \rho g * V g^{2} * H v$			
	Hv	=	$K * H*W/De^{2}$		
		к	=> (142 ())/2) /	16 Tangential	
		н	-	10 cm	
		W		5 cm	
		De	= 222 / 32/5	10 cm	
	Hv	=	8		
	ρg	=	1.1664604 Kg/m3	30 C	
	V(g+body)	=	20.346667 m/s		
Δ P (cal)	- র	1931.597	Kg/m/s2 (Pa)	(ที่แก้ค่าความเร็ว Body ແລ້ວ)	
	= 61 P	19.710174	cm Water; ρ wate	er = 1000 Kg/m3	
	พ้าล	7.759911	inch Water		

ผงฝุ่น

Vin (m/s)	V body	Start(Min)	End(Min)	Time(s)	Q(m3/s)	dP (cmW)	Bag Cy(g)	Bag Cy+Dust	Dust Cy(g)	Bag BF(g)	Bag BF+Dust	Dust BF(g)	Tot Dust(g)	Cy Eff	Conc.(mg/l)
	ไม่หมุน	0.0	15.2	914	0.1010	3.8	331.0	1154.3	823.3	60.5	1563.4	1502.9	2326.2	35.39	23031.68
	ไม่หมุน	0.0	14.4	864	0.1010	3.8	331.0	1224.6	893.6	60.5	1976.2	1915.7	2809.3	31.81	27814.85
20.2	ไม่หมุน	0.0	13.9	835	0.1010	3.8	331.0	1054.8	723.8	60.5	1673.2	1612.7	2336.5	30.98	23133.66
	หมุน	0.0	14.1	847	0.1010	3.8	331.0	856.2	525.2	60.5	1745.6	1685.1	2210.3	23.76	21884.16
	หมุน	0.0	15.8	945	0.1010	3.8	331.0	789.2	458.2	60.5	1977.3	1916.8	2375.0	19.29	23514.85
	หมุน	0.0	16.6	998	0.1010	3.8	331.0	873.7	542.7	60.5	1892.4	1831.9	2374.6	22.85	23510.89
			ไม่หมุน	Overall	0.3030			20.21.52/5	2440.7				7472.0	32.66	24660.07
อุณหภูมิ	31	С	หมุน	Overall	0.3030	8_			1526.1	S			6959.9	21.93	22969.97

แคลไซต์

หมายเหตุ ฝุ่นที่ Bag filter ในวันทดลองมีฝุ่นผงของ ซิโอไลต์ปนมา อาจเนื่องมาจากการตกค้างในระบบท่อ เพราะขณะทำการทดลองมีการเทซิโอไลต์ก่อนหน้าการทดลอง

<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนไม่หมุน)

อนุภาค แคลไซต์



จากกราฟ log-normal

ข้อมูลจากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

dp(min)	dp(max)	Count	Freq/um	Fraction	dp (Avg)	%สะสม
0.05	0.1	1	20.00	0.1350	0.075	13.50
0.1	0.2	4	40.00	0.2700	0.15	40.50
0.2	0.5	12	40.00	0.2700	0.35	67.51
0.5	1	10	20.00	0.1350	0.75	81.01
1	2	10	10.00	0.0675	1.5	87.76
2	5	16	5.33	0.0360	3.5	91.36
5	10	30	6.00	0.0405	7.5	95.41
10	20	48	4.80	0.0324	15	98.65
20	50	54	1.80	0.0122	35	99.86
50	100	10	0.20	0.0014	75	100.00
100	200	0	0.00	0.0000	150	100.00
200	500	0	0.00	0.0000	350	100.00
500	1000	0	0.00	0.0000	750	100.00
		Sum	148.13	1.0000		

นำข้อมูลไป plot กราฟ log-normal

Building 2-3 Chuia Soi 82 Phays-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101

Fax. 2540211

Analysis Result Sample Details Measured: 28 Jun 2005 14:42PM Sample ID: Calcite Run Number. 5 Analysed: 28 Jun 2005 14:42PM Sample File: OTHER13 Record Number: 477 Sample Path: C:\ Result Source: Analysed Sample Notes: Wet Analysis System **Dispersing medium : Water** Tested by Kaew Kajornchaiyakul System Details Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS17 Obscuration: 15.9 % Dispersant R.I. = 1.3300] Presentation: 3OHD [Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Analysis Model: Polydisperse Residual: 0.278 % Killed Data Channels: Low 0; High 2 Killed Result Channels: < 0.05 um; > 120.87 um. Modifications: Active **Result Statistics** Density = 1.000 g / cub. cm D (v, 0.5) = 12.55 um Distribution Type: Volume Concentration = 0.0094 %Vol Specific S.A. = 3.5001 sq. m / g Mean Diameters: D [4, 3] = 16.40 um D (v, 0.1) = 0.51 um D [3, 2] = 1.71 um D (v, 0.9) = 38.12 um Span = 2.998E+00 Uniformity = 9.547E-01 Size High (um) Under% Size Low (um) Size_High (um) Size Low (um) In % Under% In % 6.83 0.05 0.02 0.06 0.02 3.04 7.72 37.76 0.06 0.04 0.07 0.06 7.72 3.40 9.00 41.16 0.07 0.07 9.00 10 48 0.08 0.13 3.80 44 95 0.08 0.09 0.22 10.48 12.21 0.10 4.24 49.20 0.09 0.14 0.11 0.36 12.21 4.71 14.22 53.90 0.11 0.20 0.13 0.58 14.22 5.18 16.57 59.09 0.13 0.28 0.15 0.84 16.57 5.64 19.31 64.72 0.15 0.41 0.17 1.26 70,79 19.31 6.07 22.49 0.17 0.62 0.20 1.87 26.20 22.49 6.11 76.90 0.20 0.91 0.23 2.78 26.20 5.82 30.53 82.72 0 23 1 25 0.27 4.03 30.53 5.20 35.58 87.92 0.27 1.48 0.31 5.52 35.56 4.32 41.43 92.23 0.31 1.49 0.36 7 01 41.43 3.29 48.27 95.52 1.37 0.36 0.42 8.38 48 27 2 27 56.23 97.79 0.42 1.30 0.49 9.68 56 23 136 65 51 99 15 0.49 1.25 0.58 10.93 65.51 0.65 76 32 99.80 0.58 1.13 0.67 12.06 78.32 0.20 88.91 100.00 0.67 1.07 0.78 13.13 88.91 0.00 103.58 100.00 0.78 1.04 0.91 103 58 14.16 0.00 120 67 100.00 0.91 1.04 1.06 15.20 120.67 0.00 140.58 100.00 1.06 1.06 1.24 18.28 140.58 0.00 163.77 100.00 1.24 1.10 1.44 17.35 163.77 0.00 190.80 100.00 1.44 1.15 1.68 18.51 190.80 0.00 222.28 100.00 1.68 1.21 1.95 19.72 222.28 0.00 258.95 100.00 1.95 1.29 2.28 21.00 258.95 0.00 301.68 100.00 351.46 2 28 1.38 2.65 22.38 301.68 0.00 100.00 2 65 1.51 3.09 23.89 351.46 0.00 409.45 100.00 3.09 1.68 3 60 25 57 409.45 0.00 477.01 100.00 3.60 1.89 4.19 27.48 477.01 0.00 555.71 100.00 4.19 2 14 4.88 29.60 555 71 0.00 647.41 100.00 4 88 241 5 69 32 01 647.41 0.00 754.23 100.00 5.69 2.71 6.63 34.72 754.23 0.00 878.67 100.00 Volume % 10 100 90 80 .70 60 50 40 W 30 20 12 10 10 1 .10 з 0 0 0.01 0.1 1.0 2 10.0 20 100.0 1000.0 0.05 0.2 0.5 2 50 Particle Diameter (µm.)

Mastersizer S long bed Ver. 2.11





50	Name as a first of the first of	l'adalah katalah katal	1111111111111111	tero here i destrete	THE REPORT FOR LODGE	fallen in falses (about the state of the fallen in the	- 54
9							9
ô							8
2				-175 (d. 1) - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	LIFER BUILDER NET P		
2				1111 4.11 (111) 1111			1
ô							6
				dan in a state of the state of			
5							5
	The second secon				114 DIMENTE MERE		
			IFH HE STOP		ATTI BUTTHE TPLE		4
				27.14 (11) (12) (2)			
					1		
3 -			THE THE	tie fair this is			-
			Test itte star		1:17 1:17 1:15 1:1 5.22		-
			triling ty m	·····	men atting trans		
2							
2			Land Land		the second second states		2
	┟┯┾┽╝╬┿┿╅╼┝┽╿┿╬┠┍┿						
			- High	errer ertit ander inter			-
			11111. 11.1				
			THUR IT.				
		+-+++++++					
22							
1							1
9							9
8							8
			12111				1
1		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				7	1
6							
					1.		1
5		The second se					6
			17 m parent intra mi				-
-			4	and the set of the set			
-							
2						James	ł
			1 1 1 1				
			T				
2						2	Ł
			124. 111 7.1.1				
**			·	**	+10- 10 11 -1+ 1		
		[****			
-							
1							
	1.4 0.05 0.1 0.2 0.5 1 1	2 5 10	20 30) 40 50 ED T) 50 90 9	5	

<u>0.19</u> μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากกราฟคือ

0.19 µm

dp50 ที่ได้จากการคำนวล

1.146 µm

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

η (j)

=

 $\begin{bmatrix} 1 + (dp50 / dp(j))^2 \end{bmatrix}$

dp (um)	η (j) graph	Frequency	Frequency	dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.1348	1.00	0.1348	0.075	0.0043	1.00	0.004267
0.15	0.3840	4.00	1.5358	0.15	0.0169	4.00	0.0674091
0.35	0.7724	12.00	9.2686	0.35	0.0854	12.00	1.0242965
0.75	0.9397	10.00	9.3969	0.75	0.3000	10.00	2.99979
1.5	0.9842	10.00	9.8421	1.5	0.6316	10.00	6.3155568
3.5	0.9971	16.00	<mark>15.9530</mark>	3.5	0.9032	16.00	14.451473
7.5	0.9994	30.00	29. <mark>98</mark> 08	7.5	0.9772	30.00	29.315894
15	0.9998	48.00	47.9923	15	0.9942	48.00	47.721596
35	1.0000	54.00	53.9984	35	0.9989	54.00	53.942199
75	1.0000	10.00	9.9999	75	0.9998	10.00	9.997667
150	1.0000	0.00	0.0000	150	0.9999	0.00	0
350	1.0000	0.00	0.0000	350	1.0000	0.00	0
750	1.0000	0.00	0.0000	750	1.0000	0.00	0
	Sum	195.00	188.10	109	Sum	195.00	165.84
		η (5ວມ)	96.46	16 d V		η (รวม)	85.05

~ ດ ໂດ ມ

แคลไซต์

85.05 (คำนวณ)

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ η (%) = **96.46** (กราฟ)

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

 $\Delta P = 1/2 * \rho_g * V_g^2 * Hv$

H	Iv	=	K * H*W/D	e ²	
		К	=	1	6 Tangential
		Н	=	1	0 cm
		W	=	:	5 cm
		De	=	1	0 cm
H	Iv	=	8		
	ρg	=	1.1626234	Kg/m3	31 C
٧	√g	=	20.2	m/s	

Δ P (cal)	=	1897.5873 Kg/m/s2 (Pa)
	=	19.363136 cm Water ; ρ water = 1000 Kg/m3
	=	7.6232819 inch Water



<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)

อนุภาค โซคาแอช

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

dp 50	=	(9 * µ * W) 1/2
		(2 * 22/7 * Ne * P	p*Vg)
	μ air	=	2.00E-06	Kg/m/s	
	W	=	0.05	m	
			Ne	=	1/H * (Lb + Lc/2)
			Н	=	10 cm
			Lb, Lc	=	40 cm
	Ne	=	6		
	$ ho_p$	=	1400	Kg/m3	
	Vg	=	20.2	m/s	
	V body	=	14	rpm	
		=	0.1466667	m/s	
	V(g + body)	=	20.346667	m/s	

dp 50 (cut) =

0.9152878 µm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุน</u>

dp50 ที่ได้จากการคำนวล

(ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

0.915 µm

=

 $[1 + (dp50 / dp(j))^{2}]$

dn (um)	η (i) cal	Frequency	Frequency		
ap (uiii)		requeitey	riequency		
0.075	0.0067	1.00	0.0066696		
0.15	0.0262	2.00	0.0523103		
0.35	0.1276	3.00	0.3827122		
0.75	0.4017	2.00	0.803427		
1.5	0.7287	3.00	2.1860566		
3.5	0.9360	4.00	3.7439586		
7.5	0.9853	7.00	6.8972764		
15	0.9963	10.00	9.9629047		

35	0.9993	18.00	17.987699
75	0.9999	30.00	29.995533
150	1.0000	56.00	55.997915
350	1.0000	55.00	54.999624
750	1.0000	2.00	1.999997
	Sum	193.00	185.02
		η (5ວມ)	95.86

สรุป	ประสิทธิภาพกา	รเก็บส	ะสมฝุ่นจากการคำนวณของ	โซคาแอช
	η (%)	=	95.86 (คำนวณ)	

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

Δ p	=	1/2 * pg *	$Vg^2 * Hv$		
	Hv	=	$K * H*W/De^2$		
		К	=	16 7	Fangential
		н	=	10 c	cm
		W	=	5 c	cm
		De		10 c	cm
	Hv	=	8		
	ρg	-	1.1664604 Kg/m3		30 C
	V(g+body)	=	20.346667 m/s		
Δ P (cal)	- র	1931.597	Kg/m/s2 (Pa)	(ຼທີ່ແก้ค่าความเร็ว Body ແລ້ວ)
	- 010	19.710174	cm Water; ρ wate	er =	1000 Kg/m3
	ฬาล	7.759911	inch Water		

ผงฝุ่น

STPP

Vin (m/s)	V body	Start(Min)	End(Min)	Time(s)	Q(m3/s)	dP (cmW)	Bag Cy(g)	Bag Cy+Dust	Dust Cy(g)	Bag BF(g)	Bag BF+Dust	Dust BF(g)	Tot Dust(g)	Cy Eff	Conc.(mg/l)
	ไม่หมุน	0.0	10.2	611	0.1010	4.8	330.0	767.4	437.4	60.7	2974.5	2913.8	3351.2	13.05	33180.20
	ไม่หมุน	0.0	11.2	673	0.1010	4.8	330.0	881.0	551.0	60.7	3023.7	2963.0	3514.0	15.68	34792.08
20.2	ไม่หมุน	0.0	10.6	637	0.1010	4.7	330.0	780.8	450.8	60.7	3120.4	3059.7	3510.5	12.84	34757.43
	หมุน	0.0	10.6	633	0.1010	4.7	330.0	728.5	398.5	60.7	3099.2	3038.5	3437.0	11.59	34029.70
	หมุน	0.0	11.1	665	0.1010	4.7	330.0	711.0	381.0	60.7	3098.5	3037.8	3418.8	11.14	33849.50
	หมุน	0.0	12.4	741	0.1010	4.7	330.0	675.3	345.3	60.7	2997.3	2936.6	3281.9	10.52	32494.06
			ไม่หมุน	Overall	0.3030		497	and a second	1439.2				10375.7	13.87	34243.23
อุณหภูมิ	30	С	หมุน	Overall	0.3030	8_			1124.8	S			10137.7	11.10	33457.76

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2



จากกราฟ log-normal

ข้อมูลจากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

dp(min)	dp(max)	Count	Freq/um	Fraction	dp (Avg)	%สะสม
0.05	0.1	1	20.00	0.2885	0.075	28.85
0.1	0.2	2	20.00	0.2885	0.15	57.70
0.2	0.5	3	10.00	0.1443	0.35	72.13
0.5	1	3	6.00	0.0866	0.75	80.78
1	2	4	4.00	0.0577	1.5	86.56
2	5	4	1.33	0.0192	3.5	88.48
5	10	6	1.60	0.0231	7.5	90.79
10	20	30	3.00	0.0433	15	95.11
20	50	62	2.07	0.0298	35	98.10
50	100	54	1.08	0.0156	75	99.65
100	200	23	0.23	0.0033	150	99.99
200	500	3	0.01	0.0001	350	100.00
500	1000	0	0.00	0.0000	750	100.00
		Sum	69.32	1.0000		

นำข้อมูลไป plot กราฟ log-normal

	5		Analys	is Result			4
Sample ID: STPP Sample File: OTHI Sample Path: C:\ Sample Notes: We Dit Te	ER13 et Analysis System spersing medium : E sted by Kaew Kajor	F Ethanol nchaiyakul	Samp Run Number: 10 Record Number: 1	ed: 28 Jun 2005 16:23PM d: 28 Jun 2005 16:23PM Source: Analysed			
Range Lens: 300R Presentation: 30H Analysis Model: P Modifications: Activ	RF mm ID olydisperse ve	Beam Length: 2.40 n [Particle R.I. = (1.529 Killed Data Channels:	Syster nm 15, 0.1000); Dit Low 0; High 2	m Details spersant R.I. = 1.3300]	impler: MS1	Ob R	scuration: 18.0 % tesidual: 0.558 %
Distribution Type: Mean Diameters: D [4, 3] = 49.22 t	Volume um	Concentration = 0.03 D (v, 0.1) = 7.58 un D [3, 2] = 5.48 um	Result 309 %Vol n	Statistics Density = 1.000 g / cu D (v, 0.5) = 37.48 um Span = 2.636E+00	ib. cm	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 106.38 u Uniformity = 8.133E-0	1.0946 sq. m / g um 01
Size Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69	0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.07 0.10 0.14 0.19 0.26 0.34 0.38 0.36 0.31 0.28 0.23 0.24 0.27 0.31 0.38 0.40 0.42 0.58 0.38 0.38 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.42 0.45 0.58 0.44 0.45 0.58 0.46 0.47 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.40 0.47 0.58 0.47 0.58 0.74	0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.67 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.88 5.69 6.63	0.01 0.02 0.05 0.09 0.14 0.21 0.31 0.44 0.63 0.90 1.23 1.61 1.97 2.29 2.57 2.83 3.06 3.30 3.57 3.89 4.25 4.65 5.07 5.49 5.89 6.26 6.62 6.99 7.38 7.85 8.43 9.17	8.63 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 256.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23	0.96 1.25 1.61 2.07 2.61 3.25 3.95 4.89 5.42 6.08 6.59 6.88 6.93 6.77 6.49 5.73 4.88 4.04 3.24 2.55 1.95 1.45 0.96 0.47 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67	10.13 11.37 12.99 15.06 17.67 20.91 24.87 29.56 34.98 41.07 47.66 54.53 61.47 68.24 74.73 80.46 85.34 89.38 92.62 95.17 97.11 98.57 99.53 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
10	'a9/f'	าลงก	5019			ລະເ	
1			19 P199	A L H I A I		ЫС	80
							70
	1 1			57			60
	1 1	1	1		-f-	1	50
				X			40
	1		1	20/			40
			1 1			27	30
	1 1 1 1 2 1			8			20
-	1	3 3	4 4			1 2	10
0.01	0.1		10	10.0	100	0	0 000
0.01	0.1		Particle Dia	ameter (µm.)	100.		
Instruments	l td	Ma	etereizer S In	na hed Ver 2 11			

n 35





а): Г	Filmer to the first of the first of the	i interiori di la constante di	12/514140 12:20-1	nen hen hen hertetet	THE FURTHER DESIGNATION	laterated and the state of the	1
9					2" MI 1		1 9
ô							8
2				-17 d.a (1811)	1770 Ballister (127 P		1 ,
							1
ô		THE TARY BEALTER					1 6
							1
5	The local state of the second state of the sec						5
	The second secon						
-			TERNEL PLAT	2112 (H. 1 11 H 1) H		internet int	4
		TTTTTTTTTTTT	und trent and		I TTT LETTER LETTER		
3 -			ana tinita Linita				3
			दिसं सित्र सित्र		1017 1017 11 F.F.		
							1
2							2
					فتستجلج فالمتح والججج أحادهم		-
					to the later later later		1
				terr titt titte iner	TTTT - HTT: 1 Hiller		
			11111.1111	and the training the			Ē
							1
							1
* 			The second second second				1
3							9
ŝ							8
7					Coloring PERSON		7
							2
6					· ······	2" F. J. I.	6
							5
2	and the second	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					5
	A DESCRIPTION OF A DESC						
4							4
3				+			3
				nanista andaren izarren darra izar Regionale generati darra izarren darra izar			
2					++++++++++++++++++++++++++++++++++++++		2
					-1-++++++++++++++++++++++++++++++++++++		
			ान् नेव सीहत			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
1.1			+++++		÷10-4-11-4+11-		
		[*****			
						a part a la serie de la ser	
1							1
	LA C.05 0.1 0.2 0.5 1	2 5 10	20 30	0, 40 50 60 70	50 90 91	99.99 99.99 99.99 99.99	
<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากกราฟคือ

0.135 μm

dp50 ที่ได้จากการคำนวล

1.719 µm

93.71 (คำนวณ)

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

η (j)

=

 $\begin{bmatrix} 1 + (dp50 / dp(j))^2 \end{bmatrix}$

dp (um)	η (j) graph	Frequency	Frequency	dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.2358	1.00	0.2358	0.075	0.0019	1.00	0.001901
0.15	0.5525	2.00	1.1050	0.15	0.0076	2.00	0.0151214
0.35	0.8705	3.00	2.6115	0.35	0.0398	3.00	0.1194764
0.75	0.9686	3.00	2.9059	0.75	0.1600	3.00	0.4799597
1.5	0.9920	4.00	3. <mark>96</mark> 79	1.5	0.4324	4.00	1.7296316
3.5	0.9985	4.00	3.9941	3.5	0.8057	4.00	3.222959
7.5	0.9997	8.00	7. <mark>9</mark> 974	7.5	0.9501	8.00	7.6009122
15	0.9999	30.00	29.9976	15	0.9870	30.00	29.611313
35	1.0000	62.00	61.9991	35	0.9976	62.00	61.85088
75	1.0000	54.00	53.9998	75	0.9995	54.00	53.971662
150	1.0000	23.00	23.0000	150	0.9999	23.00	22.996981
350	1.0000	3.00	3.0000	350	1.0000	3.00	2.9999277
750	1.0000	0.00	0.0000	750	1.0000	0.00	0
	Sum	197.00	194.81	179	Sum	197.00	184.60
		η (501)	98.89	10 d V		η (521)	93.71

98.89 (กราฟ)

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

η (%) =

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

 $\Delta P = \frac{1/2 * \rho g * V g^2 * Hv}{1/2 * \rho g * V g^2 * Hv}$

Hv	=	K * H*W/D	e ²	
	Κ	=	16	Tangential
	Н	=	10	cm
	W	=	5	cm
	De	=	10	cm
Hv	=	8		
ho g	=	1.1664604	Kg/m3	30 C
Vg	=	20.2	m/s	

98

Δ P (cal)	=	1903.85 Kg/m/				
	=	19.427041 cm W	ater ;	ρ water =	1000	Kg/m3
	=	7.6484413 inch V	Vater			



ุลถาบนวทยบรการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

dp 50	=	(9 * µ * W) 1/2
		(2 * 22/7 * Ne * p	p* Vg)
	μ air	=	2.00E-06	Kg/m/s	
	W	=	0.05	m	
			Ne	=	1/H * (Lb + Lc/2)
			Н	=	10 cm
			Lb, Lc	=	40 cm
	Ne	=	6		
	$ ho_p$	=	400	Kg/m3	
	Vg	=	20.2	m/s	
	V body	=	14	rpm	
		=	0.1466667	m/s	
	V(g + body)	=	20.346667	m/s	

dp 50 (cut) =

1.7123466 μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากการคำนวล

(ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

]

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

1.712 µm

 $\begin{bmatrix} 1 + (dp50 / dp(j))^2 \end{bmatrix}$

1

dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency	
0.075	0.0019	1.00	0.0019147	
0.15	0.0076	2.00	0.0152303	
0.35	0.0401	3.00	0.1203091	
0.75	0.1610	3.00	0.4828836	
1.5	0.4342	4.00	1.7367373	
3.5	0.8069	4.00	3.2274784	
7.5	0.9505	8.00	7.6036465	
15	0.9871	30.00	29.614078	

35	0.9976	62.00	61.851953
75	0.9995	54.00	53.971866
150	0.9999	23.00	22.997003
350	1.0000	3.00	2.9999282
750	1.0000	0.00	0
	Sum	197.00	184.62
		η (531)	93.72

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

η (%) = 93.72 (คำนวณ)

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

Δ P	=	1/2 * ρg	* Vg ² * Hv	
	Hv	=	$K * H*W/De^{2}$	
		к	= 144 () / 2 / 2 / 2 / 2 / 2 / 2 / 2 / 2 / 2 /	16 Tangential
		н	-	10 cm
		W		5 cm
		De	= 22/2 / 22/3	10 cm
	Hv	=	8	
	ρg	=	1.1664604 Kg/m3	30 C
	V(g+body)	=	20.346667 m/s	
Δ P (cal)	- র	1931.597	Kg/m/s2 (Pa)	(ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว)
	= 61 P	19.710174	cm Water; ρ wate	er = 1000 Kg/m3
	พ้าล	7.759911	inch Water	
Δ P (cal)	_ีสถ พำล	1931.597 19.710174 7.759911	Kg/m/s2 (Pa) cm Water ; ρ wate inch Water	(ทีแก้ค่าความเร็ว Body : er = 1000 Kg/m3

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี กรณีความเร็วไม่คงที่ ที่ความเร็ว 15.7 และ 25.1 m/s ของ STPP

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Vin (m/s)	V body	Start(Min) End(Min)	Time(s)	Q(m3/s)	dP (cmW)	Bag Cy(g)	Bag Cy+Dus	t Dust Cy(g)	Bag BF(g)	Bag BF+Dust	t Dust BF(g)	Tot Dust(g	Cy Eff	Conc. (mg/l)
	ไม่หมุน	0.0	10.3	615	0.0785	3.6	330.0	415.3	85.3	60.7	782.1	721.4	806.7	10.57	10276.43
	ไม่หมุน	0.0	11.4	683	0.0785	3.6	330.0	436.1	106.1	60.7	759.7	699.0	805.1	13.18	10256.05
15 7	ไม่หมุน	0.0	10.8	648	0.0785	3.5	330.0	445.0	115.0	60.7	762.3	701.6	816.6	14.08	10402.55
	หมุน	0.0	10.6	634	0.0785	3.6	330.0	424.1	94.1	60.7	782.1	721.4	815.5	11.54	10388.54
	หมุน	0.0	11.0	662	0.0785	3.5	330.0	435.1	105.1	60.7	779.4	718.7	823.8	12.76	10494.27
-	หมุน	0.0	11.2	673	0.0785	3.6	330.0	401.9	71.9	60.7	754.2	693.5	765.4	9.39	9750.32
		÷.,	ไม่หมุน	Overall	0.2355			208/10/2/10	306.4				2428.4	12.62	10311.68
อุณหภูมิ	32	С	หมุน	Overall	0.2355	10			271.1			÷	2404.7	11.27	10211.04

ฝุ่นฟุ้งกระจาย

<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนไม่หมุน)

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2



จากกราฟ log-normal

ข้อมูลจากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

dp(min)	dp(max)	Count	Freq/um	Fraction	dp (Avg)	%สะสม
0.05	0.1	1	20.00	0.2885	0.075	28.85
0.1	0.2	2	20.00	0.2885	0.15	57.70
0.2	0.5	3	10.00	0.1443	0.35	72.13
0.5	1	3	6.00	0.0866	0.75	80.78
1	2	4	4.00	0.0577	1.5	86.56
2	5	4	1.33	0.0192	3.5	88.48
5	10	8	1.60	0.0231	7.5	90.79
10	20	30	3.00	0.0433	15	95.11
20	50	62	2.07	0.0298	35	98.10
50	100	54	1.08	0.0156	75	99.65
100	200	23	0.23	0.0033	150	99.99
200	500	3	0.01	0.0001	350	100.00
500	1000	0	0.00	0.0000	750	100.00
		Sum	69.32	1.0000		

dp50(graph) =

0.135 μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากกราฟคือ

 $0.135 \ \mu \, m$

dp50 ที่ได้จากการคำนวถ 1.949 µm

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

η (j)

=

1 $[1 + (dp50 / dp(j))^{2}]$

dp (um)	η (j) graph	Frequency	Frequency	dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.2358	1.00	0.2358	0.075	0.0015	1.00	0.0014781
0.15	0.5525	2.00	1.1050	0.15	0.0059	2.00	0.0117726
0.35	0.8705	3.00	2.6115	0.35	0.0312	3.00	0.0936916
0.75	0.9686	3.00	2.9059	0.75	0.1289	3.00	0.3868246
1.5	0.9920	4.00	3.9679	1.5	0.3719	4.00	1.4876175
3.5	0.9985	4.00	<mark>3.994</mark> 1	3.5	0.7632	4.00	3.0529705
7.5	0.9997	8.00	7. <mark>99</mark> 74	7.5	0.9367	8.00	7.4937624
15	0.9999	30.00	29.9976	15	0.9834	30.00	29.501756
35	1.0000	62.00	61.9991	35	0.9969	62.00	61.808271
75	1.0000	54.00	53.9998	75	0.9993	54.00	53.963545
150	1.0000	23.00	23.0000	150	0.9998	23.00	22.996116
350	1.0000	3.00	3.0000	350	1.0000	3.00	2.9999069
750	1.0000	0.00	0.0000	750	1.0000	0.00	0
	Sum	197.00	194.81	เกิง	Sum	197.00	183.80
		η (ຽວມ)	98.89	-691		η (5ວມ)	93.30

98.89 (กราฟ)

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

93.30 (คำนวณ)

η (%) =

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

 $1/2 * \rho_g * Vg^2 * Hv$ ΔP =



Δ P (cal)	=	1142.5418 Kg/m/s2 (Pa)					
	=	11.658589 cm Water ; ρ water = 1000 Kg/m3					
	=	4.5899958 inch Water					



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

dp 50	=	(9 * µ * w) 1/2	
		(2 * 22/7 * Ne * P	p* Vg)
	μ air	=	2.00E-06	Kg/m/s	
	W	=	0.05	m	
			Ne	=	1/H * (Lb + Lc/2)
			Н	=	10 cm
			Lb, Lc	=	40 cm
	Ne	=	6		
	$ ho_p$	=	400	Kg/m3	
	Vg	=	15.7	m/s	
	V body	=	14	rpm	
		=	0.1466667	′m/s	
	V(g + body)	=	15.846667	m/s	

dp 50 (cut) =

1.9403021 μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากการคำนวถ

(ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

]

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

1.940 µm

 $\begin{bmatrix} 1 + (dp50 / dp(j))^2 \end{bmatrix}$

1

dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.0015	1.00	0.0014919
0.15	0.0059	2.00	0.0118819
0.35	0.0315	3.00	0.0945393
0.75	0.1300	3.00	0.3899685
1.5	0.3741	4.00	1.496316
3.5	0.7649	4.00	3.0596751
7.5	0.9373	8.00	7.4981539
15	0.9835	30.00	29.506291

35	0.9969	62.00	61.81004
75	0.9993	54.00	53.963882
150	0.9998	23.00	22.996152
350	1.0000	3.00	2.9999078
750	1.0000	0.00	0
	Sum	197.00	183.83
		η (5ວມ)	93.31

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

η (%) = 93.31 (คำนวณ)

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

Δ P	=	$1/2 * \rho_g * Vg^2 * Hv$		
	Hv	=	$K * H*W/De^{2}$	
		К	=	16 Tangential
		н	-	10 cm
		W	Care and a second second	5 cm
		De	= 22/2 / 22/3	10 cm
	Hv	=	8	
	ρg	-	1.1588115 Kg/m3	32 C
	V(g+body)	=	15.846667 m/s	
Δ P (cal)	- র	1163.9883	Kg/m/s2 (Pa)	(ที่แก้ก่าความเร็ว Body แล้ว)
	= 61 6	11.877432	cm Water; ρ wate	er = 1000 Kg/m3
	- - - - - - - - - - - - - - - - - - -	4.6761543	inch Water	

วันที่ 07/01/06

/06

ผงฝุ่น

STPP

Vin (m/s)	V body	Start(Min)	End(Min)	Time(s)	Q(m3/s)	dP (cmW)	Bag Cy(g)	Bag Cy+Dust	Dust Cy(g)	Bag BF(g)	Bag BF+Dust	Dust BF(g)	Tot Dust(g)	Cy Eff	Conc.(mg/l)
	ไม่หมุน	0.0	11.3	675	0.1255	5.3	330.0	537.2	207.2	60.7	905.4	844.7	1051.9	19.70	8381.67
	ไม่หมุน	0.0	11.6	698	0.1255	5.3	330.0	542.8	212.8	60.7	899.5	838.8	1051.6	20.24	8379.28
25.1	ไม่หมุน	0.0	10.8	649	0.1255	5.3	330.0	543.8	213.8	60.7	914.2	853.5	1067.3	20.03	8504.38
	หมุน	0.0	12.2	733	0.1255	5.3	330.0	476.8	146.8	60.7	864.3	803.6	950.4	15.45	7572.91
	หมุน	0.0	11.4	685	0.1255	5.3	330.0	512.7	182.7	60.7	875.9	815.2	997.9	18.31	7951.39
	หมุน	0.0	12.2	733	0.1255	5.3	330.0	452.4	122.4	60.7	859.1	798.4	920.8	13.29	7337.05
			ไม่หมุน	Overall	0.3765		aren	UN YING	633.8				3170.8	19.99	8421.78
อุณหภูมิ	32	С	หมุน	Overall	0.3765	6			451.9	2			2869.1	15.75	7620.45

$$V_{Max} = \sqrt{\frac{\pi \rho_P d_P^3 g^2}{3C_D \cos^2 \theta \rho_f s}}$$
$$\cos \theta = \frac{H}{\sqrt{H^2 + \pi^2 R^2}}$$

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

108

<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนไม่หมุน)

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2



จากกราฟ log-normal

ข้อมูลจากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

dp(min)	dp(max)	Count	Freq/um	Fraction	dp (Avg)	%สะสม
0.05	0.1	1	20.00	0.2885	0.075	28.85
0.1	0.2	2	20.00	0.2885	0.15	57.70
0.2	0.5	3	10.00	0.1443	0.35	72.13
0.5	1	3	6.00	0.0866	0.75	80.78
1	2	4	4.00	0.0577	1.5	86.56
2	5	4	1.33	0.0192	3.5	88.48
5	10	8	1.60	0.0231	7.5	90.79
10	20	30	3.00	0.0433	15	95.11
20	50	62	2.07	0.0298	35	98.10
50	100	54	1.08	0.0156	75	99.65
100	200	23	0.23	0.0033	150	99.99
200	500	3	0.01	0.0001	350	100.00
500	1000	0	0.00	0.0000	750	100.00
		Sum	69.32	1.0000		

นำข้อมูลไป plot กราฟ log-normal

dp50(graph) =

0.135 μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากกราฟคือ

 $0.135 \ \mu \, m$

dp50 ที่ได้จากการคำนวถ 1.542 µm

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

η (j)

=

1 $[1 + (dp50 / dp(j))^2]$

dp (um)	η (j) graph	Frequency	Frequency	dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.2358	1.00	0.2358	0.075	0.0024	1.00	0.002361
0.15	0.5525	2.00	1.1050	0.15	0.0094	2.00	0.018755
0.35	0.8705	3.00	2.6115	0.35	0.0490	3.00	0.1470379
0.75	0.9686	3.00	2.9059	0.75	0.1914	3.00	0.5741053
1.5	0.9920	4.00	3. <mark>96</mark> 79	1.5	0.4863	4.00	1.9451653
3.5	0.9985	4.00	3.9941	3.5	0.8375	4.00	3.3500022
7.5	0.9997	8.00	7. <mark>99</mark> 74	7.5	0.9595	8.00	7.6756632
15	0.9999	30.00	29.9976	15	0.9895	30.00	29.686399
35	1.0000	62.00	61.9991	35	0.9981	62.00	61.879935
75	1.0000	54.00	53.9998	75	0.9996	54.00	53.977192
150	1.0000	23.00	23.0000	150	0.9999	23.00	22.997571
350	1.0000	3.00	3.0000	350	1.0000	3.00	2.9999418
750	1.0000	0.00	0.0000	750	1.0000	0.00	0
	Sum	197.00	194.81		Sum	197.00	185.25
		η (ຽວມ)	98.89	691		η (5ວມ)	94.04

98.89 (กราฟ)

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

94.04 (คำนวณ)

=

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

η (%)

 $1/2 * \rho g * Vg^2 * Hv$ ΔP =



Δ P (cal)	=	2920.2513 Kg/m/s2 (Pa)	
	=	29.798482 cm Water ; ρ water =	1000 Kg/m3
	=	11.731686 inch Water	



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal</u> (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

dp 50	=	(9 * µ * W) 1/2
		(2 * 22/7 * Ne * P	p * Vg)
	μ air	=	2.00E-06	Kg/m/s	
	W	=	0.05	m	
			Ne	=	1/H * (Lb + Lc/2)
			Н	=	10 cm
			Lb, Lc	=	40 cm
	Ne	=	6		
	$ ho_p$	=	400	Kg/m3	
	Vg	=	25.1	m/s	
	V body	=	14	rpm	
		=	0.1466667	m/s	
	V(g + body)	=	25.246667	m/s	

dp 50 (cut) =

1.5372209 μm

<u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น</u>

dp50 ที่ได้จากการคำนวถ

(ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

-]

จาก Lapple's Graph (Theodore and De Paola Equation)

1.537 µm

 $[1 + (dp50 / dp(j))^2]$

1

dp (um)	η (j) cal	Frequency	Frequency
0.075	0.0024	1.00	0.0023747
0.15	0.0094	2.00	0.0188636
0.35	0.0493	3.00	0.1478547
0.75	0.1923	3.00	0.576815
1.5	0.4877	4.00	1.9509876
3.5	0.8383	4.00	3.3531676
7.5	0.9597	8.00	7.6774714
15	0.9896	30.00	29.688202

35	0.9981	62.00	61.880631
75	0.9996	54.00	53.977324
150	0.9999	23.00	22.997585
350	1.0000	3.00	2.9999421
750	1.0000	0.00	0
	Sum	197.00	185.27
	•	η (5ວມ)	94.05

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

η (%) = 94.05 (คำนวณ)

<u>การคำนวณค่า Pressure drop</u>

Δ P	=	$1/2 * \rho_g * Vg^2 * Hv$		
	Hv	=	$K * H*W/De^{2}$	
		К	=	16 Tangential
		н	- 11/1/1/1	10 cm
		W		5 cm
		De	1=1990 4/18/16	10 cm
	Hv	=	8	
	ρg	=	1.1588115 Kg/m3	32 C
	V(g+body)	=	25.246667 m/s	
Δ P (cal)	- র	2954.4788	Kg/m/s2 (Pa)	(ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว)
	= 61 P	30.147742	$c \text{ cm Water }; \rho \text{ water }$	er = 1000 Kg/m3
	พ้าล	11.86919	inch Water	

ภาคผนวก จ.

กราฟผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของโซดาแอช แคลไซต์ และ STPP จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน</u>



ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของโซดาแอช แคลไซต์ และ STPP จากก<mark>ารทดลอง โดยตัวไซโคลน <u>หมุน</u></mark>



ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของโซดาแอช แคลไซต์ และ STPP จาก ทฤษฎี VS การท<mark>ดลอง โดยตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน VS หมุน</u></mark>



Pressure drop ที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของ โซดาแอช แคลไซต์ และ STPP จาก ทฤษฎี VS การทดลอง โดยตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน VS หมุน</u>



ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นนที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน</u>



ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นนที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน <u>หมุน</u>



ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP จาก ทฤษฎี VS ก<mark>ารทดลอง โดยตัวไซโคล</mark>น <u>ไม่หมุน VS หมุน</u>



Pressure drop ที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP จาก ทฤษฎี VS การทดลอง โดยตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน VS หมุน</u>



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิบูรณ์ จริยาธนาพล เกิดเมื่อ 3 มกราคม พ.ศ. 2517 จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จ การศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย