

การนำระบบไซโคลนมาใช้เพื่อตัดวัตถุดิบนำกลับมาใช้ใหม่ และลดปัญหาการอุดตันในระบบท่อ  
สำหรับการเทวัตถุดิบในสถานะสุญญากาศ



นายพิบูรณ์ จรรย์นาพล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

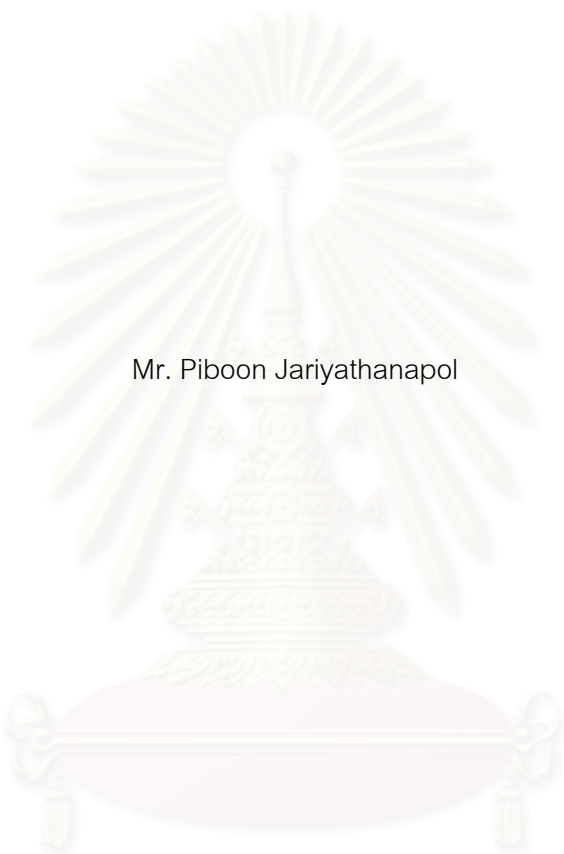
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
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

การนำระบบไฮโดรเจนมาใช้เพื่อดักจับคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ และลด  
ปัญหาการอุดตันในระบบท่อ สำหรับการเทวดูดซับในสภาวะสูญญากาศ

โดย

นายพิบูรณ์ จรรย์ธนาพล

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

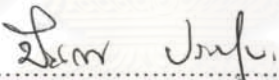
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

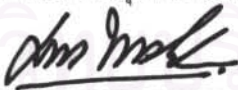
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

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

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา )

นายพิบูรณ์ จริยานาพล : การนำระบบไซโคลนมาใช้เพื่อคัดวัสดุบดนำกลับมาใช้ใหม่ และ  
ลดปัญหาการอุดตันในระบบท่อ สำหรับการเทวัสดุบดในสภาวะสุญญากาศ. (CYCLONE  
SYSTEM TO RECOVER RAW MATERIAL AND REDUCE PIPE CLOGGING FOR  
MANUAL RAW MATERIAL UNLOADING IN VACUUM CONDITION) อ. ที่ปรึกษา :  
รศ.ดร. สุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : - 123 หน้า. ISBN 974-17-6101-5

การขนถ่ายวัสดุบดของแข็งชนิดผงจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นวัสดุบดได้ การป้องกัน  
คือการติดลมดูดฝุ่น ซึ่งหน่วยหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแยกฝุ่นนั้นมีมาก แต่ที่มีราคาถูกและง่ายต่อ  
การบำรุงรักษาคือ ไซโคลน ไซโคลน จึงถูกนำมาทดลองใช้เพื่อแยกฝุ่นที่เกิดจากขนถ่ายวัสดุบดใน  
การทดลองครั้งนี้ เพื่อดูประสิทธิภาพในการดักฝุ่น ความสามารถในการลดปัญหาเรื่องฝุ่นและ  
ปริมาณฝุ่นวัสดุบดที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้มากน้อยเท่าใด

ในการทดลองนี้ยังเพิ่มปัจจัยใหม่ คือ การหมุนของตัวไซโคลน โดยหมุนสวนทางกับ  
การหมุนของของไหลในตัวไซโคลน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวไซโคลนที่อยู่นิ่ง กับ  
ตัวไซโคลนที่หมุนสวนทางกับการไหลของของไหล ซึ่งผลสรุปได้คือ ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย  
แต่ ความสะอาดภายในตัวไซโคลน ดีขึ้น

ประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจาก ถ้ามีการหมุนของตัวไซโคลนจะทำให้ขอบเขตการไหลแบบ  
ลามินาร์ภายในตัวไซโคลนนั้นถูกทำลาย และมีการข้ามชั้นเกลียวของไซโคลน ซึ่งทำให้การแยก  
อนุภาคออกจากของไหล ไม่ดี เมื่อเทียบกับการไหลเป็นลามินาร์ที่แบ่งแยกขอบเขตชั้นเกลียวที่คงที่

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ถายมือชื่อนิติศ.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ถายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา ....2548..... ถายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 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.....*Piboon*.....

Field of study..CHEMICAL ENGINEERING...Advisor's signature.....*[Signature]*.....

Academic year .....2005.....Co-advisor's signature.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ คุณสุขุม ความมานะ สำหรับคำปรึกษา รวมทั้งขอขอบคุณ ศาสตราจารย์.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ม.ล.ศุภกนก ทองใหญ่ และ ดร. วีรวัฒน์ ปัตทวิคกคา กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทดลอง ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงงานมีนบุรี บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทดลองและความร่วมมือจากฝ่ายบริหารแผนก NSD และ NTR ในการใช้อุปกรณ์ เพื่อการทดลองครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่สอนให้ความรู้ตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี (ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความช่วยเหลือจนการเรียน และข้อมูลงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉุ
สัญลักษณ์.....	ฉุ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	8
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	8
1.5 ข้อตกลงการวิจัย.....	8
1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	9
1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	9
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2. ทฤษฎี.....	10
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	10
2.2 หลักเกณฑ์การแยกอนุภาคด้วยระบบหมุนวน.....	12
2.3 การแยกอนุภาคในช่วงโคน.....	14
2.4 การคำนวณค่าความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดในไซโคลน.....	16
2.5 ประเภทของไซโคลน.....	17
2.6 การกระจายตัวของอนุภาค(ฝุ่น).....	21
2.7 ประสิทธิภาพของไซโคลน (Collection Efficiency).....	21
2.8 การวัดค่า pressure drop.....	25
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 ประชากร.....	26

บทที่	หน้า
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย .....	27
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.4 เริ่มการทดลองตามวิธีการทดลอง.....	30
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	35
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
3.7 เหน็บเทียบระดับความคิดเห็น.....	37
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลการทดลอง.....	38
4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย.....	46
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
รายการอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก. (การคำนวณออกแบบและการประกอบไซโคลน ) .....	53
ภาคผนวก ข. (ผลการวัดขนาดของวัตตุคิบบ) .....	57
ภาคผนวก ค. (ข้อมูลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี กรณี ความเร็วคงที่ ที่ 20.2 m/s ของวัตตุคิบบ โซดาแอช แคลไซด์ และ STPP) .....	70
ภาคผนวก ง. (ข้อมูลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี กรณีความเร็วไม่คงที่ ที่ความเร็ว 15.7 และ 25.1 m/s ของ STPP) .....	101
ภาคผนวก จ. (กราฟผลการทดลอง).....	114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	123



## สารบัญตาราง

ณ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดง characteristic ของไซโคลนชนิดต่าง ๆ.....	12
ตารางที่ 3.1 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีเปลี่ยนแปลงชนิดวัตถุขีบ.....	26
ตารางที่ 3.2 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลองเพิ่ม กรณีเปลี่ยนแปลงความเร็วทางเข้า.....	27
ตารางที่ 3.3 ไซโคลนที่ประกอบขึ้นตามภาคผนวก.....	31
ตารางที่ 3.4 ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลใน Excel program.....	35



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ญ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบขนถ่ายวัตถุดิบจากถุง bigbag เข้า silo โดยมีระบบดูดฝุ่น.....	1
รูปที่ 1.2 วัตถุดิบในถุง bigbag.....	2
รูปที่ 1.3 พนักงานใช้รอกในการยกถุง bigbag.....	2
รูปที่ 1.4 ระบบลมดูดและ bag filter.....	3
รูปที่ 1.5 วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่จะขนถ่ายด้วยระบบ pneumatic conveyor.....	4
รูปที่ 1.6 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน แต่เป็นจุดที่เครื่องจักร Filling machine.....	5
รูปที่ 1.7 ไซโคลนที่ติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วจริงบริเวณเครื่องบรรจุ ซึ่งเป็น Model อื่น ที่ไม่ใช่ Lapple's model.....	5
รูปที่ 2.1 การใช้แรงเหวี่ยงเพื่อทำให้เกิดแรงเสียดทานและลดความเร็วของอนุภาค และเกิดการแยก อนุภาคออกจากก๊าซ.....	10
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของไซโคลน Lapple.....	11
รูปที่ 2.3 การกำหนดขนาดของไซโคลนมาตรฐานทั่วไป.....	11
รูปที่ 2.4 ไซโคลนทางเข้าชนิดตามแกน Axial type.....	17
รูปที่ 2.5 ไซโคลนทางเข้าชนิดตามแนวเส้นสัมผัส Tangential type.....	17
รูปที่ 2.6 รูปแบบทางเข้าแบบเส้นสัมผัสทั้ง 4 ชนิด.....	18
รูปที่ 2.7 ไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้น.....	19
รูปที่ 2.8 ไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่แบ่งตาม commercial types.....	20
รูปที่ 2.9 กราฟการกระจายของฝุ่น (Frequency distribution curve) [Logarithmic size scale].....	21
รูปที่ 2.10 กราฟประสิทธิภาพของ Lapple ซึ่งสามารถ Fit curve โดย Theodore and De Paola.....	22
รูปที่ 2.11 กระจายกราฟ log-normal เพื่อวัดค่า dp50.....	23
รูปที่ 2.12 กราฟฮิสโตแกรมของความถี่ กับ ขนาดของอนุภาค.....	24
รูปที่ 2.13 กราฟฮิสโตแกรมของความถี่ต่อขนาดอนุภาค กับ ขนาดของอนุภาค.....	24
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer).....	28
รูปที่ 3.2 ตาชั่งวัดปริมาณฝุ่น.....	29
รูปที่ 3.3 มานอมิเตอร์ (น้ำ).....	30
รูปที่ 3.4 ไซโคลนตัวจริงที่ประกอบขึ้น.....	31
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาค.....	32
รูปที่ 3.6 แสดงจุดติดตั้งไซโคลนในระบบกำจัดฝุ่น.....	33

รูปที่ 3.7 เปลี่ยนท่อยึดหยุนเพื่อต่อเข้ากับไซโคลน.....	34
รูปที่ 3.8 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน.....	34
รูปที่ 3.9 นำผงฝุ่นที่ได้จากไซโคลนและ bag filter ไปชั่งน้ำหนัก.....	35
รูปที่ 4.1 การต่ออุปกรณ์เข้าสถานที่ทำการทดลองจริง.....	38
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตตูดิบ ไซดาแอช แคลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโคลน <u>ไม่หมุน</u> .....	39
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตตูดิบ ไซดาแอช แคลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโคลน <u>หมุน</u> .....	39
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตตูดิบ ไซดาแอช แคลไซต์และ STPP ทั้งผลจากทฤษฎีและการทดลองโดยไม่หมุนและหมุนไซโคลน....	40
รูปที่ 4.5 แสดงฝุ่นที่เกาะบริเวณตัวไซโคลน (เกาะตัวตามแนวการไหลของ laminar flow).....	41
รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณฝุ่นที่เกาะที่น้อยกว่าเมื่อตัวไซโคลนหมุน (เกาะบาง ๆ แต่เกาะทั่วไป).....	41
รูปที่ 4.7 กราฟแสดง pressure drop ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัตตูดิบ ไซดาแอช แคลไซต์ และ STPP ผลจากทางทฤษฎี และ การทดลอง ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน.....	42
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ในกรณีที่ไซโคลน <u>ไม่หมุน</u> .....	43
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ในกรณีที่ไซโคลน <u>หมุน</u> .....	43
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ซึ่งแสดง ผลการการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองทั้งกรณีตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน...	44
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า pressure drop ตามความเร็วทางเข้าค่าต่าง ๆ กัน ของ STPP แสดงผลจากการคำนวณทางทฤษฎีและผลการวัดจริง ทั้งกรณีที่ไม่หมุนและหมุนตัวไซโคลน.....	45
รูปที่ 5.1 แสดงการไหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนและการรวบรวมรูปแบบการไหล จากการหมุนตัวไซโคลน.....	48

## สัญลักษณ์

๘

$dp, dp(\text{cut}), dp_{50}$	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค , อนุภาควิกฤต (um)
$\eta$	ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น (%)
$D$	เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวไซโคลน (m)
$H$	ความสูงของทางเข้าของไซโคลน (m)
$W$	ความกว้างของทางเข้าของไซโคลน (m)
$De$	เส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกของไซโคลน (m)
$S$	ความยาวของส่วนของทางออกของไซโคลนที่ยื่นเข้าไปในตัวไซโคลน (m)
$L_b$	ความยาวของตัวไซโคลน (m)
$L_e$	ความยาวของท่อทางออกของไซโคลน (m)
$D_d$	เส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกของฝุ่นที่ตกได้ (m)
$F_c$	แรงสู่ศูนย์กลางทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบโค้ง (N)
$M$	มวลของวัตถุ (Kg)
$V_p, V_{f,g}$	ความเร็วของอนุภาค , ของไหล (m/s)
$R$	รัศมีการเข้าโค้ง (m)
$\rho_p$	ความหนาแน่นของอนุภาค ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
$\pi$	ค่าคงที่
$\mu$	ความหนืด ( $\text{Kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ )
$S$	พื้นที่ผิวของอนุภาค ( $\text{m}^2$ )
$C_d$	ค่าคงที่ของ Drag force
$G$	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
$\theta$	องศาของมุม (Degree, Radius)
$N_e$	จำนวนรอบการหมุนวน (-)
$\Delta P$	Pressure drop ความดันที่สูญเสียไป (Pa)

# บทที่ 1

## บทนำ

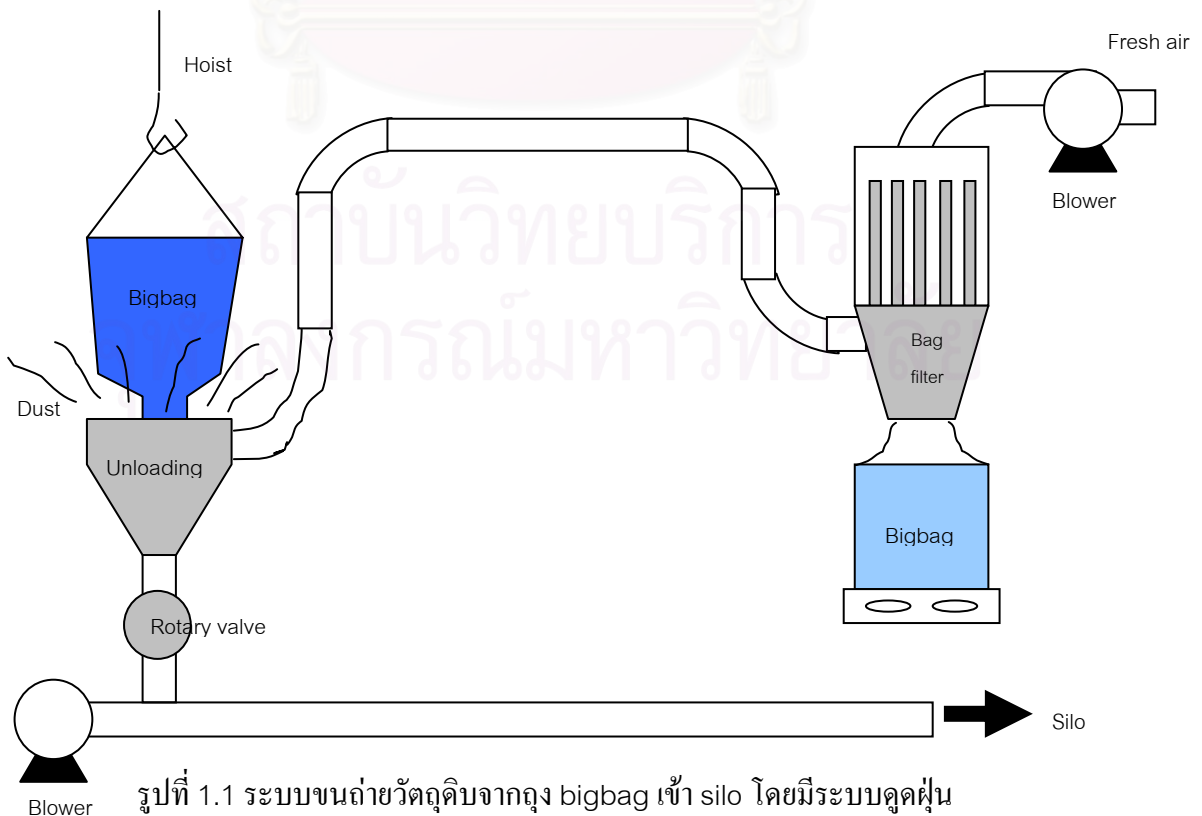
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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

ในกลุ่มบริโภค จะแบ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ไอศกรีม และอาหาร คือ ไอศกรีมวอลล์ และเบสท์ฟู้ด, คนอร์

ในกลุ่มอุปโภค จะแบ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ส่วนบุคคล (PC Personal Care) และผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน (HC Home Care) โดยในกลุ่ม PC คือ เครื่องสำอางพอนด์ สบู่ล้าง สบู่ล้างมือ โดฟ แชมพูซันซิล ออกานิก โดฟ ครีมนวดผม ซันซิล โดฟ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิววาสลีน ซิตรา เฮซาลีน ในกลุ่ม HC คือ ผงซักฟอกบริส โอโม ผงซักฟอกเข้มข้นบริสเอ็กซ์เซล น้ำยาล้างจานซันไลต์ น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำวิม น้ำยาปรับผ้านุ่มคอมฟอร์ท น้ำยาขจัดคราบบริสเพรสโต้

โดยการทำวิจัยในครั้งนี้จะทำที่โรงงานผลิตผงซักฟอก หรือ NTR (Non Tower Route) ในส่วนของการขนถ่ายวัตถุดิบเข้าไซโลซึ่งใช้ระบบลมขนส่ง (Pneumatic conveyor) และมีระบบลมดูดเพื่อป้องกันฝุ่น



รูปที่ 1.1 ระบบขนถ่ายวัตถุดิบจากถุง bigbag เข้า silo โดยมีระบบดูดฝุ่น



สภาพในปัจจุบันนี้พนักงานต้องใช้รอกยกถุง bigbag ขึ้นจากด้านล่าง platform



รูปที่ 1.2 วัสดุดิบในถุง bigbag



รูปที่ 1.3 พนักงานใช้รอกในการยกถุง bigbag



เพื่อนำไปวางบนแท่นถ่ายวัตถุดิบ โดยก่อนที่จะถ่ายวัตถุดิบเข้าระบบขนส่ง pneumatic conveyor ต้องเปิดระบบลมดูด เพื่อดูดฝุ่นที่ฟุ้งเข้า bag filter กรอกฝุ่นไว้ และปล่อยอากาศไว้ฝุ่นออกไป



รูปที่ 1.4 ระบบลมดูดและ bag filter  
วัตถุดิบที่ใช้ระบบ manual มีดังนี้

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

โดยข้อมูลที่ได้จะ ได้จากผู้ส่งวัตถุดิบให้ (Supplier) โดยออกไป COA (Certificate Of Analysis)



รูปที่ 1.5 วัสดุชนิดต่าง ๆ ที่จะขนถ่ายด้วยระบบ pneumatic conveyor

ปัญหาที่พบในกระบวนการขนส่งวัสดุโดยระบบ manual

1. วัสดุสูญเสียน้ำหนักในระบวมลุด
2. ระบบมลุดตันทำให้ประสิทธิภาพการขนส่งต่ำลง
3. พนักงานที่ปฏิบัติงานทำงานยากและต้องใช้เวลาในการทำมาสะอาดมากขึ้น
4. เมื่อระบบมลุดตันทำให้เกิดฝุ่นวัสดุที่ฟุ้งกระจายไปทั่วโรงงาน

## 1.2 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่พบเห็นใกล้ตัว

ในบริษัทฯ ได้มีการประดิษฐ์ไซโคลนเพื่อใช้ในการคัดฝุ่นมาแล้วที่แผนกผงซักฟอกเข้มข้น แต่รูปทรงและการออกแบบอาจไม่ได้เป็นไปตามแบบมาตรฐาน แต่การทำงานก็สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงเป็นมูลเหตุจูงใจในการใช้ไซโคลนกับจุดขนส่งวัสดุนี้





รูปที่ 1.6 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน แต่เป็นจุดที่เครื่องจักร Filling machine



รูปที่ 1.7 ไซโคลนที่ติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วจริงบริเวณเครื่องบรรจุ 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, บนพื้นฐานสมมูลที่แน่ชัดระหว่าง แรงเหวี่ยง(centrifugal force) และ แรงฉุดลาก (drag force). ประสิทธิภาพสะสมสำหรับแต่ละขนาดอนุภาคถูกกำหนดจากสัดส่วนของ settling velocity ต่อ terminal settling velocity ของอนุภาคที่นิ่ง.

Dirgo และ Leith ประยุกต์ทฤษฎีของ Barth และพบการอธิบายง่าย ๆ สำหรับวิธี Barth ที่ใช้กราฟระหว่างประสิทธิภาพสะสมกับสัดส่วน.

Iozia และ Leith, บนพื้นฐานทฤษฎีของ Lapple และ Barth, เสนอ logistic function เพื่ออธิบาย ประสิทธิภาพส่วน ๆ สำหรับไซโคลน ด้วยคุณลักษณะกายภาพ ซึ่งมีความหลากหลายมากของ ไซโคลนประสิทธิภาพสูง Stairmand. สมการนี้มีตัวแปรโดยประมาณซึ่งอนุโลมให้ปรับแต่งของความคมชัดของ Cut ของไซโคลน

Leith และ Licht พัฒนาการเข้าใกล้เคียงที่โด่งดังสำหรับการออกแบบไซโคลน สมมติว่า ความปั่นป่วนทำให้ความเข้มข้นอนุภาคในที่สูงของไซโคลนผสมเข้ากันดี. ทฤษฎีอนุโลมการ คำนวณโดยตรงของประสิทธิภาพสะสมของทุกขนาดของอนุภาคและสำหรับไซโคลนที่ออกแบบที่ สอดคล้องกัน (arbitrary). แต่ไซโคลนไม่อำนวยความสะดวกที่สนับสนุนความจริงที่ว่ามี, อย่างจริง, การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในทิศทางแนวรัศมีของไซโคลน

Clift et al ประยุกต์ ประเมิน ค่าเฉลี่ยเวลากักเก็บก๊าซ (gas residence time) และ ทำให้ได้ สมการประสิทธิภาพเกรด (grade efficiency) บนพื้นฐานการสมมติดั้งเดิมของทฤษฎี Leith และ Licht และความเกี่ยวข้องที่แตกต่างของขนาดอนุภาคเกิดขึ้น, ทำให้เข้าใกล้เคียงของเส้นโค้งรูป S ที่ได้จาก หลายผู้วิจัย.

ทฤษฎีสะสมที่ผสมผสานกันพัฒนาโดย Dietz แบ่งไซโคลนเป็น 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 ของความแตกต่างของขอบเขตการไหลภายในไซโคลน รวมทั้งขอบเขตที่ใกล้ใกล้บริเวณฝุ่นออกที่กั้นไซโคลน, ที่ซึ่งผลกระทบของฝุ่นที่กักเก็บสามารถถูกรวมเป็นหลักการ. มีความสำคัญมาก, อย่างไรก็ตาม, ดูเหมือนว่าเป็นการพิจารณาของการแพร่แบบปั่นป่วนสุดท้าย (finite turbulent diffusivity) ทั้งในขอบเขตการไหลลงและไหลขึ้น. การเข้าใกล้เคียงนี้หลีกเลี่ยงสภาพไม่ต่อเนื่องของแบบจำลอง Dietz และการขนถ่ายอนุภาคในไซโคลนถูกแสดงเป็นความเป็นไปไม่ได้อย่างยิ่งของการเคลื่อนแบบแพร่ด้วย deterministic mean motion.

ทฤษฎีอื่น : Li และ Wang แม้ว่าปรับปรุงบทบาทของ finite turbulent particle diffusivity ในการแสดงความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแนวรัศมีแล้ว แต่หยุดสมมติฐานของความแตกต่างของขอบเขตการไหลในไซโคลน

Kim และ Lee เสนอทฤษฎีสำหรับไซโคลนประสิทธิภาพสูงบนพื้นฐานของคุณลักษณะขอบเขตชั้น ๆ. ทฤษฎีนี้แบ่งไซโคลนเป็น 2 ขอบเขต ขอบเขตปั่นป่วนและขอบเขตใกล้กำแพง. ทางโคจรอนุภาคในขอบเขตปั่นป่วนถูกคำนวณจาก mean fluid motion และ ความน่าจะเป็นการสะสมของอนุภาคในขอบเขตใกล้กำแพงถูกคำนวณโดย deposition velocity ซึ่งผลจากทั้ง การแพร่ปั่นป่วนและแรงเหวี่ยง

ทฤษฎีอื่นพัฒนาโดย Muschelknautz et al. นานมาแล้ว, Muschelknautz ปรับปรุงทฤษฎี Barth โดยพิจารณาผลกระทบของ particle load, ความหยาบของกำแพง, การไหลอันดับสอง, และการเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดอนุภาคภายในตัวไซโคลน ด้วยประสิทธิภาพสะสมและ pressure loss. ทฤษฎีนี้อาจจะเป็นแนวปฏิบัติมากที่สุดสำหรับแบบจำลองของไซโคลนที่ใช้ในปัจจุบัน

ใน paper ปัจจุบัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่สำหรับคาดเดาประสิทธิภาพไซโคลนถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการสืบค้นจากรูปแบบการไหล, ทฤษฎีการแยกขนาดอนุภาควิกฤต และทฤษฎีการแยกเป็นชั้น ๆ , ซึ่งพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอนุภาคนิวเคลียสที่หลากหลายแทนที่จะให้เท่า ๆ กันของความเข้มข้นในแนวรัศมี สำหรับไซโคลนที่ไม่มีการสะสมอนุภาคภายในไซโคลน. ประสิทธิภาพสะสมคำนวณโดยแบบจำลองนี้ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง (Bingtao Zhao, 2005)

จะเห็นได้ว่าไซโคลนในปัจจุบันก็ยังคงมีการประยุกต์หรือการพัฒนาเพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะที่เกิดขึ้นภายในว่าเป็นอย่างไร บางการวิจัยก็เน้นที่ทางเข้าของไซโคลนอาจปรับเปลี่ยนทางเข้าแบบ Tangential 2 ทางให้สวนกัน รวมทั้งมีการใช้สมการ Navier & Stoke และใช้ระบบ

คอมพิวเตอร์ (Computerized Fluid Dynamic) เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นสำหรับอนุภาค และของไหล ที่เกิดขึ้นภายในไซโคลนอนอยู่ แต่การทดลองนี้ มีจุดเด่นคือ ตัวไซโคลนที่สร้างขึ้น สามารถหมุนสวนทางการความเร็วลมทางเข้าได้ เพื่อเปรียบเทียบกับไซโคลนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะนำไปบวกเพิ่มให้กับความเร็วทางเข้า เพื่อใช้ในการคำนวณใน สูตรตามทฤษฎีข้างต้น และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อลดปัญหาเรื่องฝุ่นที่เกิดขึ้นในแผนกและบริเวณใกล้เคียง
2. เพื่อลดปัญหาที่กระทบพนักงานอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง
3. เพื่อลดของเสีย(วัตถุดิบที่ถูกลมดูด กำจัดออกไปใน bag filter)
4. เพื่อลดการอุดตันของระบบลมดูดและยืดระยะเวลาในการบำรุงรักษา bag filter

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. คำนวณรูปแบบของ cyclone เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสม
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ cyclone กับขนาดของอนุภาค ระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ
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

เนื่องจากฝุ่นเป็นสิ่งที่มีความหนาแน่นมาก และในการทดลองจะต้องใช้น้ำหนักของฝุ่นเป็นตัวแปรอ้างอิง (ค่าประสิทธิภาพ) ดังนั้นในการทดลองต้องทดลองให้มีปริมาณฝุ่นมากพอที่ทำให้ข้อมูลน่าเชื่อถือ และฝุ่นที่เกิดขึ้นในการทดสอบทุกครั้งเวลาไม่เท่ากันจึงต้องใช้เวลาในการคัดฝุ่นเข้าระบบ (ไซโคลน) ใกล้เคียงกันดังนั้นความเข้มข้นฝุ่นที่ได้จะได้จากปริมาณ Fluid ที่ใกล้เคียงกัน

## 1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ไซโคลน คือ Cyclone (เป็นภาษาอังกฤษ) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แบ่งแยกอนุภาคของแข็งออกจากของไหลโดยมีกลไกการแรง centrifugal เป็นหลัก

Centrifugal force คือ แรงที่เกิดขึ้นตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ทำให้มวลเปลี่ยนการเคลื่อนที่จากตรงเป็นแนวโค้ง (แรงสู่ศูนย์กลาง)

## 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 ปัญหาการฟุ้งกระจายของวัตถุบดลดลง ทำให้บรรยากาศการทำงานดีขึ้น
- 2 สุขภาพของพนักงานที่ทำงานอยู่และพนักงานในบริเวณใกล้เคียงดีขึ้น
- 3 การสูญเสียวัตถุบดลดลงเพราะสามารถนำผงที่ได้จากการแยกมาเป็นวัตถุดิบได้
- 4 การอุดตันของระบบลมดูดลดลง และ ลดความถี่ในการทำความสะอาดระบบลมดูด bag filter เพราะมีปริมาณฝุ่นเข้าสู่ระบบน้อยลง

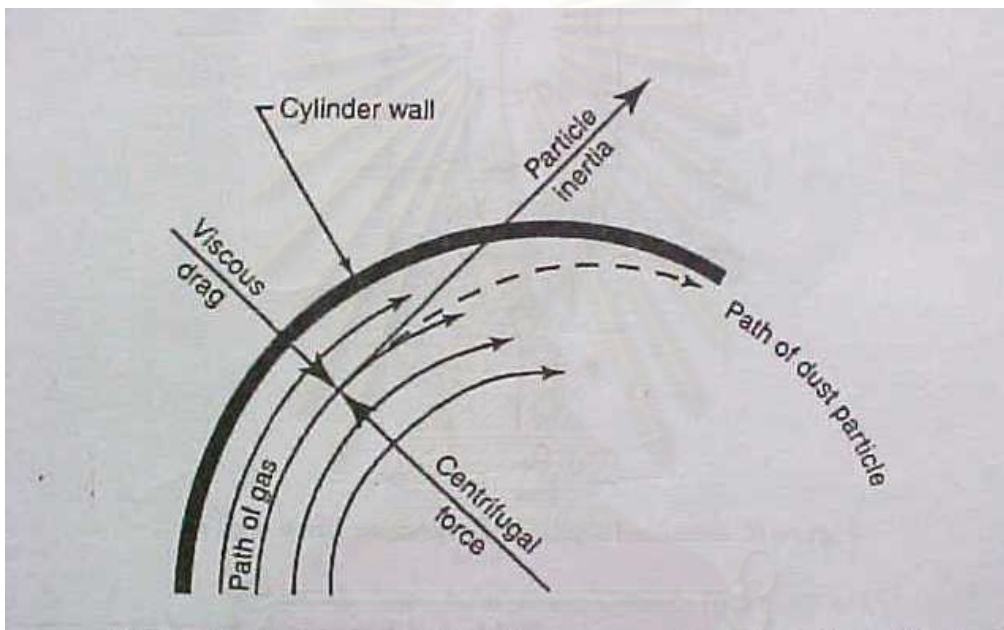
## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

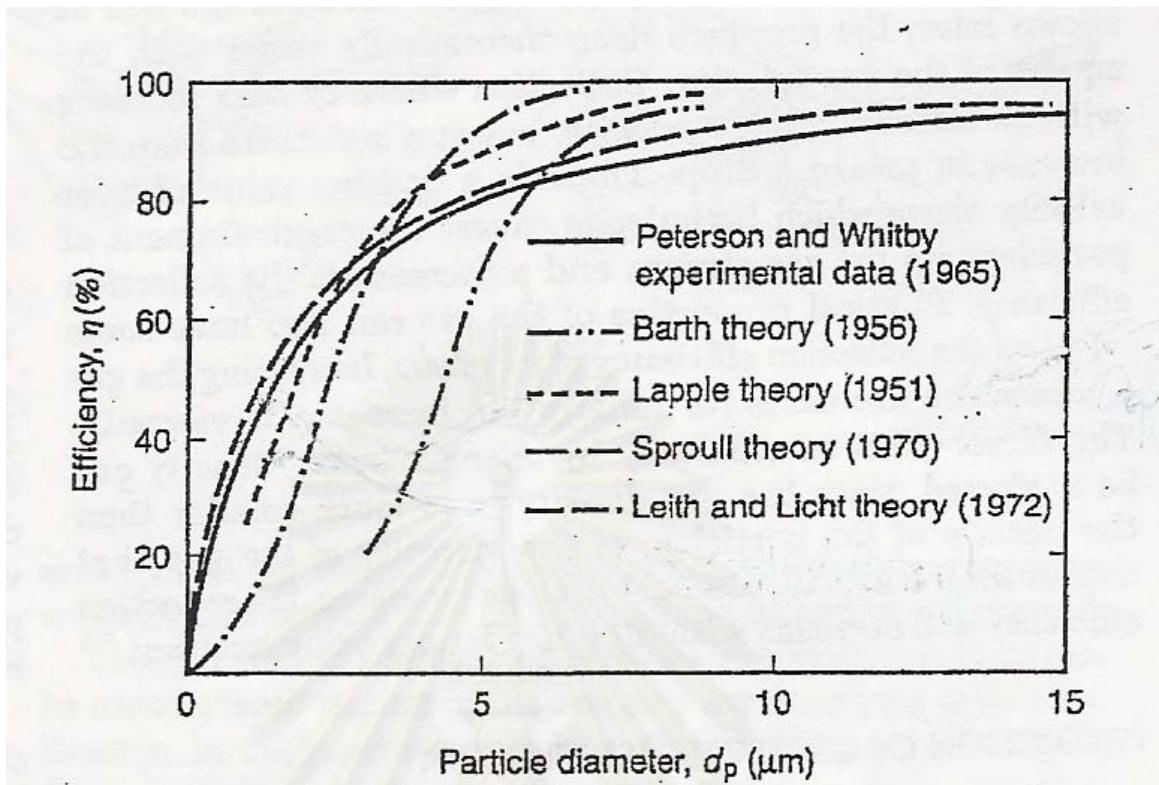
##### ไซโคลน (Cyclone)

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์แยกวัฏภาคโดยมากมักใช้แยกของแข็งขนาดเล็กออกจากก๊าซ โดยอาศัยแรงเหวี่ยงซึ่งเกิดจากการหมุนวนเป็นเกลียวในทิศทางลงตามแนวแรงดึงดูดของโลก

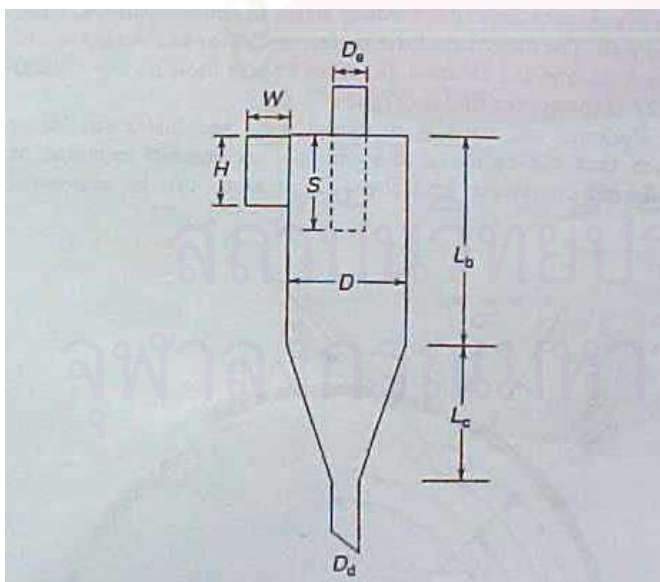


รูปที่ 2.1 การใช้แรงเหวี่ยงเพื่อทำให้เกิดแรงเสียดทานและลดความเร็วของอนุภาคและเกิดการแยกอนุภาคออกจากก๊าซ (Mechanical collectors, 1973)

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ในการกำจัดฝุ่นเบื้องต้นเพื่อให้มีปริมาณฝุ่นน้อยลง และส่งอากาศที่บำบัด แล้วส่วนหนึ่ง ไปบำบัดต่อ (ซึ่งในระบบที่โรงงานจะเป็น Bag filter) ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่กำจัดฝุ่นได้ตั้งแต่อนุภาค ขนาดมากกว่า 15 ไมโครเมตรขึ้นไป โดยมีความเร็วในการไหลเข้าไซโคลนประมาณ 15-30 เมตรต่อวินาที (ซึ่งจะใช้ในการคำนวณออกแบบ)



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



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

ตารางที่ 2.1 แสดง characteristic ของไซโคลนชนิดต่าง ๆ

	Cyclone Type <sup>a</sup>					
	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 2,4,6 from P. Swift, 1969),

(column 3 from C. E. Lapple, 1951)

Lapple's Model

ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้จะออกแบบตามแบบที่ 3

## 2.2 หลักเกณฑ์การแยกอนุภาคด้วยระบบหมุนวน

อนุภาคจะถูกแยกออกจากก๊าซโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของแก๊สไปยังผนังของไซโคลน แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่ออนุภาคคือ

$$F_C = \frac{mV_p^2}{R} \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ  $F_C$  = แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค (N)

$m$  = มวลของอนุภาค (Kg)

$V_p$  = ความเร็วของอนุภาค ซึ่งขึ้นกับรัศมี (m/s)

$R$  = รัศมีการหมุนวนของอนุภาค (m)

ถ้าคิดว่าความเร็วของแก๊สในแนวสัมผัสกับอนุภาคมีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลอน (นั่นคือ  $V_f = V_p$ ) และพิจารณาว่าอนุภาคเป็นทรงกลมดั่งนั้น

$$m = \rho_p \left( \frac{d_p^3 \pi}{6} \right) \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ  $\rho_p$  = ความหนาแน่นของอนุภาค ( $\text{Kg/m}^3$ )

$d_p$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m)

ดั่งนั้น แรงจะส่งให้อนุภาคเข้าสู่ผนังไซโคลอน [สมการที่ (2) แทนค่าในสมการที่ (1)]

$$F_C = \rho_p \left( \frac{d_p^3 \pi}{6} \right) \frac{V_p^2}{R} \quad \text{----- (3)}$$

เมื่ออนุภาคถูกทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแยกอนุภาคนั้นออกจากแก๊สที่เกิดจากการหมุนวน ขณะเดียวกันอนุภาคก็จะมีแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านกระแสน้ำเข้าไปยังผนังของไซโคลอน ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการโดยใช้กฎของสโตกส์ (Stoke's Law) ดังสมการ

$$F_C = 3\pi\mu d_p V_f \quad \text{----- (4)}$$

เมื่อ  $F_C$  = แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวรัศมี

[จากแกนกลางไซโคลอนสู่ผนังของไซโคลอน] (N)

$\mu$  = ความหนืดของแก๊ส ( $\text{Kg/m/s}$ )

$V_f$  = ความเร็วสัมผัสในแนวรัศมีของแก๊สในแนวรัศมี (m/s)

(ปณฑสรรค์, 2541)

จากสมการข้างต้นจะพบว่าแรงที่ใช้สำหรับแยกอนุภาคเป็นดั่งนี้ [สมการที่ (3) ลบ (4)]

$$F = \rho_p \left( \frac{d_p^3 \pi}{6} \right) \frac{V_p^2}{R} - 3\pi\mu d_p V_f \quad \text{----- (5)}$$

$$= d_p \pi V \left( \frac{\rho_p d_p^2 V}{6R} - 3\mu \right) \quad \text{----- (6)}$$

นั่นหมายความว่า อนุภาคจะเกิดการเคลื่อนที่ไปสู่ผนังได้เมื่อ [ค่าในวงเล็บสมการที่ (6)]

$$\left( \frac{\rho_p d_p^2 V}{6R} - 3\mu \right) > 0 \quad \text{----- (7)}$$

ในกรณีที่ ความเร็วแก๊ส และรัศมีคงที่ (Body) จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตของอนุภาคดั่งนี้ [จัดรูปสมการที่ (7)]

$$\frac{\rho_p d_{p_{cut}}^2 V}{6R} = 3\mu \quad \text{----- (8)}$$

$$d_{p_{cut}}^2 = \frac{18\mu R}{\rho_p V} \quad \text{----- (9)}$$



$$d_{P_{Cur}} = \sqrt{\frac{18\mu R}{\rho_p V}} \quad \text{----- (10)}$$

จากสูตรการคำนวณจะเห็นได้ว่ากรณีที่มีความเร็วแก๊ส และรัศมีคงที่ (Body) เส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตของอนุภาคขึ้นกับความหนืดของของไหล และความหนาแน่นของอนุภาค ซึ่งถ้าความหนืดของของไหลน้อยก็จะสามารถกำจัดอนุภาคที่เล็กได้ดีขึ้น เช่นเดียวกันกับถ้าความหนาแน่นของอนุภาคมากก็จะสามารถกำจัดอนุภาคที่เล็กได้ดีขึ้นเช่นเดียวกัน

ซึ่งโดยทั่วไปสมการของเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตก็ขึ้นกับ ความหนืดของของไหล ขนาดของไซโคลน ความหนาแน่นของอนุภาค และความเร็วของของไหลเช่นเดียวกัน แต่จะมีค่าคงที่และสัมประสิทธิ์อื่นรวมด้วย

## 2.3 การแยกอนุภาคในช่วง cone

2.3.1 ในกรณีส่วน Cone ที่เป็นรัศมีและแรงสู่ศูนย์กลางไม่คงที่ แต่กำหนดให้ความเร็วของอนุภาคคงที่ แรงสู่ศูนย์กลางจะเปลี่ยนแปลงตามรัศมี โดยสมมติให้ของไหลส่วนที่เกินจะไหลออกตรงทางออกของตัวไซโคลนด้านบนโดยมีความเร็วการไหลออกเท่ากับการไหลเข้า ดังนั้นผลของแรงสู่ศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีจะเป็นดั่งนี้ที่ทางออกของผงฝุ่น (Cone) โดยใช้สมการที่ 1 จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$F_C R = mV_p^2 \quad \text{----- (11)}$$

ถ้าเราสมมติให้ความเร็วของอนุภาคไม่เปลี่ยนไม่เปลี่ยน

$$F_{Ci} R_i = F_{Co} R_o \quad \text{----- (12)}$$

โดยที่  $F_{Ci}$  = แรงสู่ศูนย์กลางทางเข้า (Body) (N)

$R_i$  = รัศมีของทางเข้ารอยต่อตัว Body กับ Cone (m)

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

$R_o$  = รัศมีของปลายโคน (m)

นั่นหมายความว่าถ้าเราออกแบบตาม Lapple model ทางออกของฝุ่นจะลดลง 1 ใน 4 เท่า

$$(R_i = 4R_o)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad F_{Co} = 4F_{Ci} \quad , \quad (R_o = 0.25R_i) \quad \text{----- (13)}$$

นั่นหมายถึงแรงเหวี่ยงอนุภาคสูงขึ้น 4 เท่าซึ่งจะทำให้กำจัดอนุภาคได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น 2 เท่า จากสมการที่ 10

$$d_{P_{Cur}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{18\mu R}{\rho_p V}} \quad \text{----- (14)}$$

นั่นคือช่วง cone สามารถคัดแยกอนุภาคที่เล็กลงได้อีก 2 เท่าถ้าความเร็วคงที่



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

$$\rho_i V_i A_i = \rho_o V_o A_o \quad \text{----- (15)}$$

ถ้าเราสมมติให้ความหนาแน่นไม่เปลี่ยน

$$V_i A_i = V_o A_o \quad \text{----- (16)}$$

โดยที่  $V_i$  = ความเร็วจากทางเข้า (Body) (m/s)

$A_i$  = หน้าตัดตามแนวรัศมีของรอยต่อ ( $\text{cm}^2$ )

$V_o$  = ความเร็วปลายไซโคลน (Cone) (m/s)

$A_o$  = หน้าตัดตามแนวรัศมีของปลายโคน ( $\text{cm}^2$ )

$$V_i (2\pi R_i * R_i) = V_o (2\pi R_o * R_o) \quad \text{----- (17)}$$

$$V_i R_i^2 = V_o R_o^2 \quad \text{----- (18)}$$

นั่นหมายความว่าถ้าเราออกแบบตาม Lapple model ทางออกของฝุ่นจะลดลง 1 ใน 4 เท่า ( $R_i = 4 R_o$ )

$$\text{ดังนั้น} \quad V_o = V_i \frac{R_i^2}{R_o^2} = 16 V_i \quad , \quad (R_o = 0.25 R_i) \quad \text{----- (19)}$$

$$d_{P_{cut}} = \sqrt{\frac{18\mu(0.25R_i)}{\rho_p(16V_i)}} \quad \text{----- (20)}$$

$$d_{P_{cut}} = \frac{1}{8} \sqrt{\frac{18\mu R}{\rho_p V}} \quad \text{----- (21)}$$

นั่นคือช่วง cone สามารถคัดแยกอนุภาคที่เล็กลงได้อีก 8 เท่า

จะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วง cone ไม่ว่าความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นหรือไม่อนุภาคก็ จะถูกแยกได้ดีขึ้นอย่างน้อยคืออนุภาคที่มีขนาดเล็กลงครึ่งหนึ่งอย่างดีที่สุดคือเล็กลง 1 ใน 8 ส่วน ของอนุภาควิกฤต

## 2.4 การคำนวณค่าความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดในไซโคลน

### 2.4.1 ความเร็วต่ำสุด

จากสมการที่ 10 ถ้าเปลี่ยนจุดสนใจไปที่ความเร็วของอนุภาค จะได้ค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดการแยกอนุภาคออกจากอากาศ ( $V_{min}$ )

$$V_{Min} = \frac{18\mu R}{\rho_p d_p^2} \quad \text{----- (22)}$$

### 2.4.2 ความเร็วสูงสุด

ในขณะที่เกิดการแยกของฝุ่นและอากาศออกจะเกิด Drag force เพื่อดึงอนุภาคขึ้น ซึ่งถ้าแรงนั้นมีค่าพอดีกับแรงดึงดูดของโลกก็จะเกิดช่วง Fluidization แต่ถ้ามากกว่าก็จะพาให้อนุภาคนั้นออกจากไซโคลนไป นั่นหมายถึง  $V_{max}$

$$F_D = \frac{C_D V_{p-f}^2 \cos^2 \theta \rho_f s}{2g}, \quad \cos \theta = \frac{H}{\sqrt{H^2 + \pi^2 R^2}} \quad \text{----- (23)}$$

ซึ่งแรงต้านการเคลื่อนที่ขึ้นสำหรับอนุภาคที่ไม่ติดผนังคือแรงโน้มถ่วงโลก

$$F_G = mg \quad \text{----- (24)}$$

ดังนั้นในกรณีที่ความเร็วสูงสุดที่ทำให้อนุภาคไม่หลุดออกจากไซโคลนแต่เกิดปรากฏการณ์

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

$$\rho_p \left( \frac{\pi d_p^3}{6} \right) g = \frac{C_D V_{p-f}^2 \cos^2 \theta \rho_f s}{2g} \quad \text{----- (25)}$$

จัดรูปสมการ 21 ใหม่

$$V_{Max} = \sqrt{\frac{\pi \rho_p d_p^3 g^2}{3 C_D \cos^2 \theta \rho_f s}} \quad \text{----- (26)}$$

ดังนั้นความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละอนุภาคจะอยู่ระหว่าง

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

ปรับสมการ  $V_{max}$  ให้รูปแบบใกล้เคียงกับ  $V_{min}$  จะได้

$$V_{Max} = \frac{18\mu R}{\rho_p d_p^2} \sqrt{\frac{\pi \rho_p^3 d_p^7 g^2}{18 * 18 * 3 \mu^2 R^2 C_D \cos^2 \theta \rho_f s}} \quad \text{----- (27)}$$

นั่นหมายความว่าค่าได้รากต้องมากกว่า 1

$$1 \leq \sqrt{\frac{\pi \rho_p^3 d_p^7 g^2}{972 \mu^2 R^2 C_D \cos^2 \theta \rho_f s}} \quad \text{----- (28)}$$

หรือค่าของสมการข้างล่างเป็นจริง

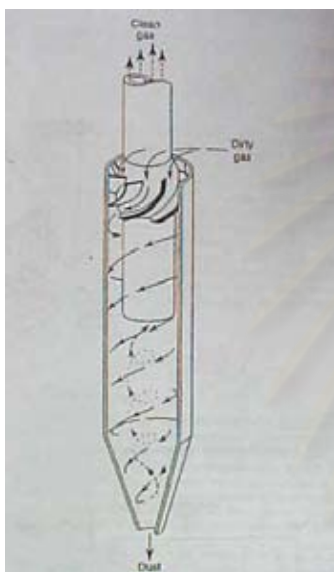
$$972\mu^2 R^2 C_D \cos^2 \theta \rho_f s \leq \pi \rho_p^3 d_p^7 g^2 \quad \text{----- (29)}$$

ดังนั้นเราสามารถคาดเดาช่วงของความเร็วที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอนุภาคได้

## 2.5 ประเภทของไซโคลน

ไซโคลนถ้าแบ่งจากรูปแบบทางเข้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

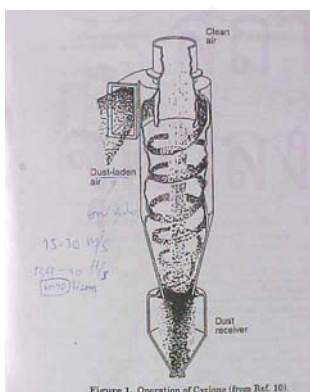
### 1. Vane Axial Entry cyclone



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

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

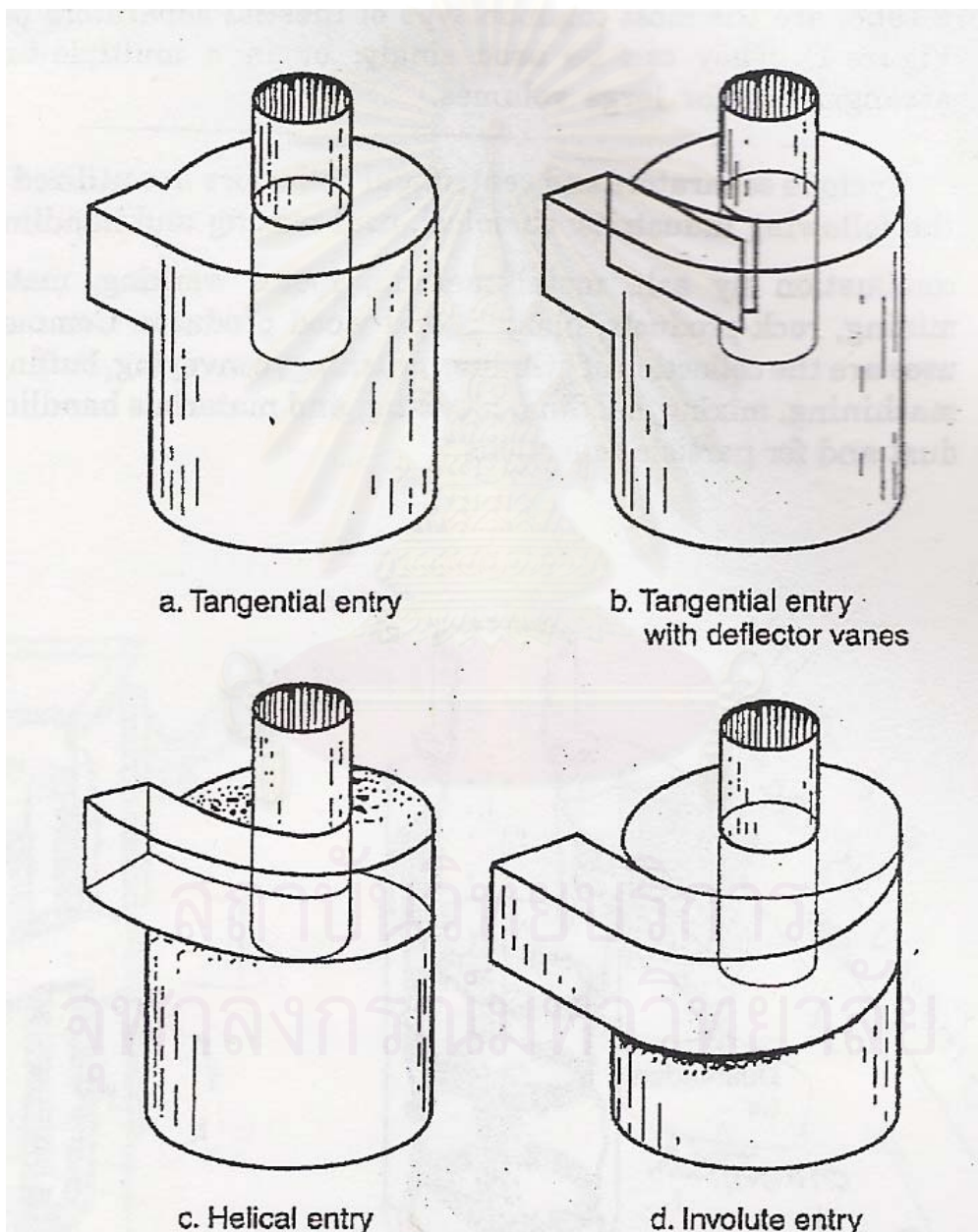
### 2. Tangential Entry cyclone



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

โดยทางเข้าแบบแนวเส้นสัมผัสสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังภาพ

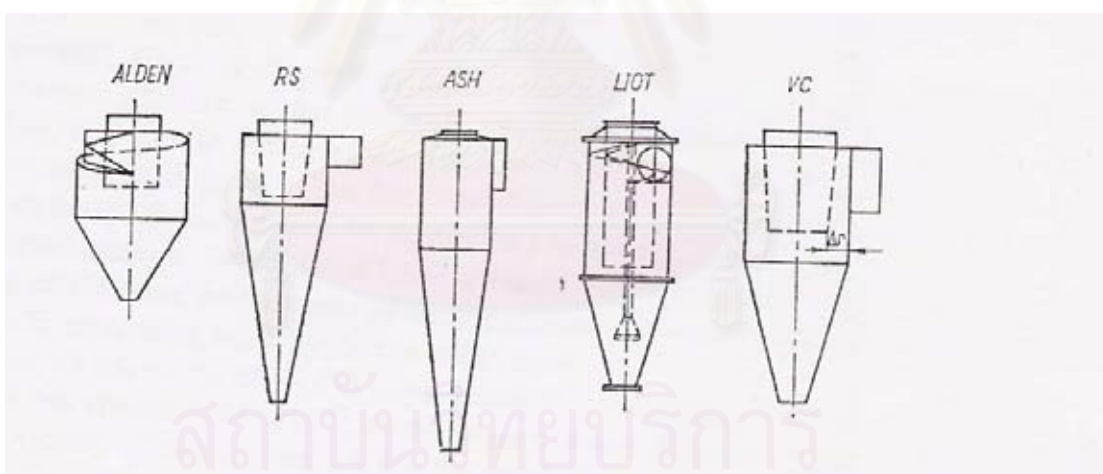
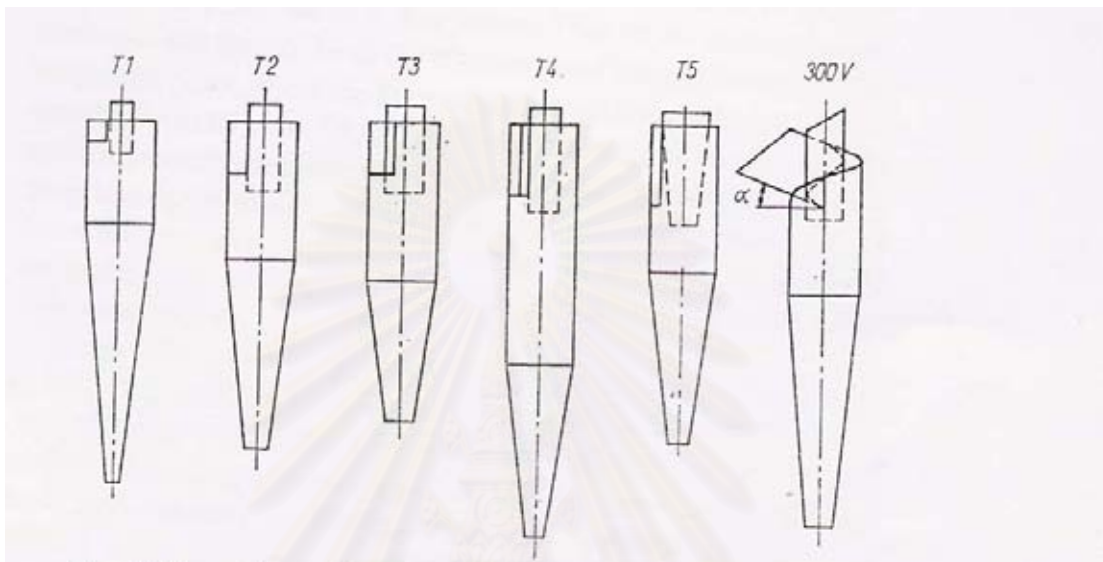
1. Tangential entry
2. Tangential entry with deflector vanes
3. Helical entry
4. Involute entry



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

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ชนิดที่ 2 และมีทางเข้าแบบ 3 รวมกับ 4 เพื่อประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการดักฝุ่น

ตัวอย่างไซโคลนประเภทต่าง ๆ ที่มีการออกแบบขึ้น



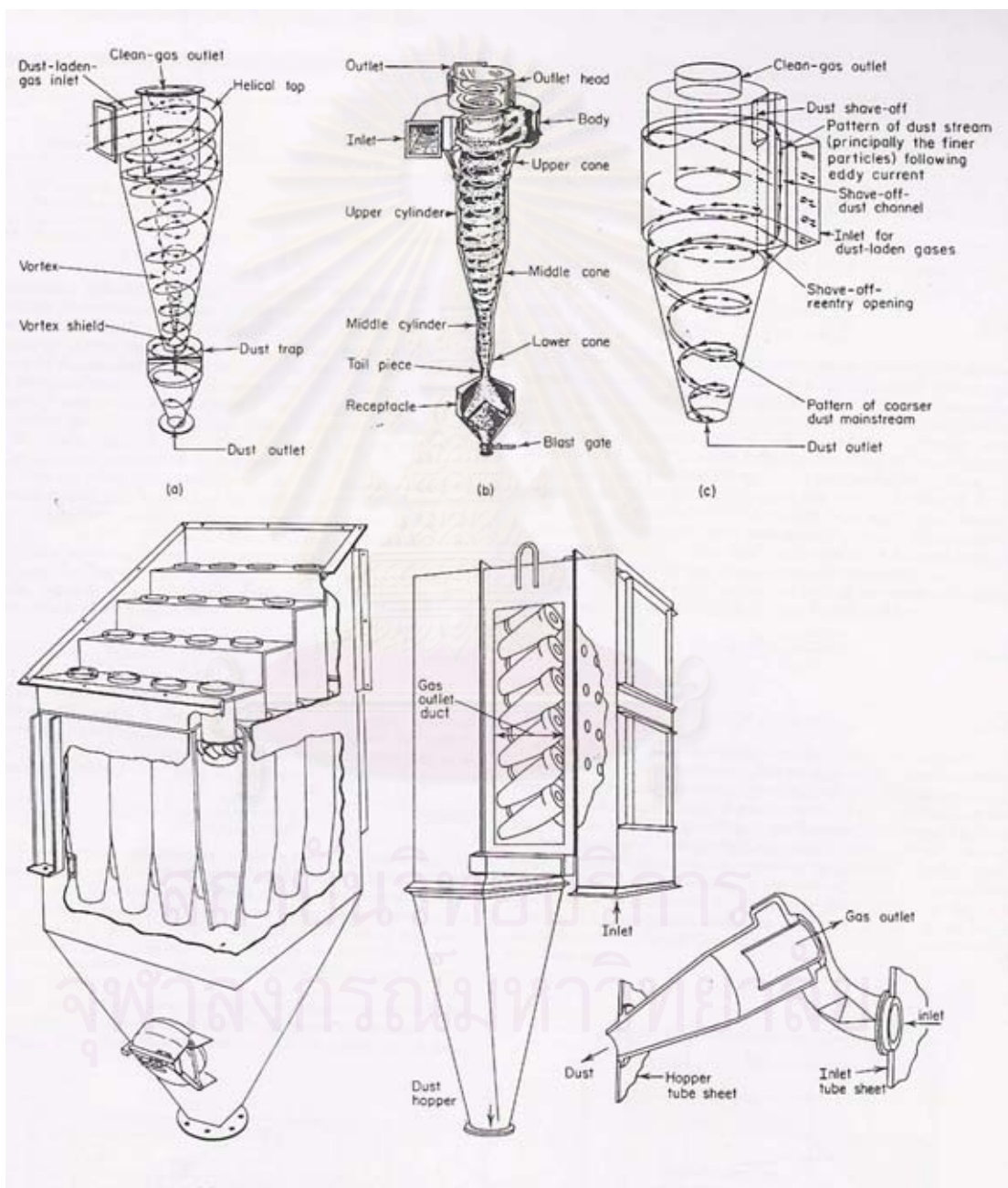
รูปที่ 2.7 ไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้น (Otakar Storch et al, 1979)

ประเภทของไซโคลนยังสามารถแบ่งตามลักษณะอื่นอีกได้เช่น แบ่งตาม commercial types โดยสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

1. Uniflow Cyclone
2. Duclone Cyclone
3. Sirrocco Type D collector



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

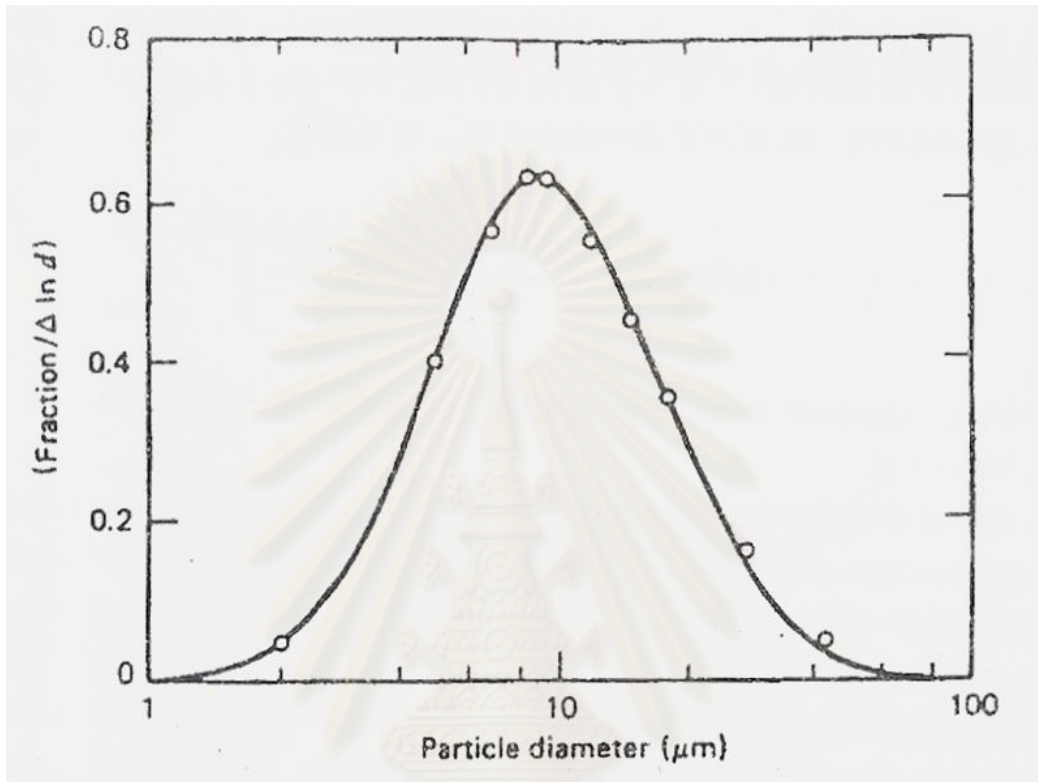


รูปที่ 2.8 ไชโคลนรูปแบบต่าง ๆ ที่แบ่งตาม commercial types (Robert H. Perry, 6<sup>th</sup>)



## 2.6 การกระจายตัวของอนุภาค (ฝุ่น)

เนื่องจากการกระจายตัวของฝุ่น ได้สมมติให้การกระจายตัวเป็นแบบ Log-normal ดังนั้นจึงใช้ทฤษฎีและกราฟ และวิธีคำนวณแบบ Laplace model



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

โดยฝุ่นของสารเคมีจะถูกสมมติให้มีการกระจายเป็นไปตามกราฟด้านบนเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณหาขนาดของฝุ่นเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

## 2.7 ประสิทธิภาพของไซโคลน (Collection Efficiency)

ในการทดลองครั้งนี้ประสิทธิภาพของไซโคลนที่ได้จะมี 2 ตัวเลขคือ

1. จากการทดลอง
2. จากการคำนวณ

- ประสิทธิภาพจากการทดลองจะคำนวณจาก

$$\text{ประสิทธิภาพ}(\eta) = \frac{\text{น้ำหนักฝุ่นที่ไซโคลนดักได้} * 100}{\text{น้ำหนักฝุ่นที่ไซโคลนและถุงกรองดักได้รวมกัน}} \quad \text{----- (30)}$$

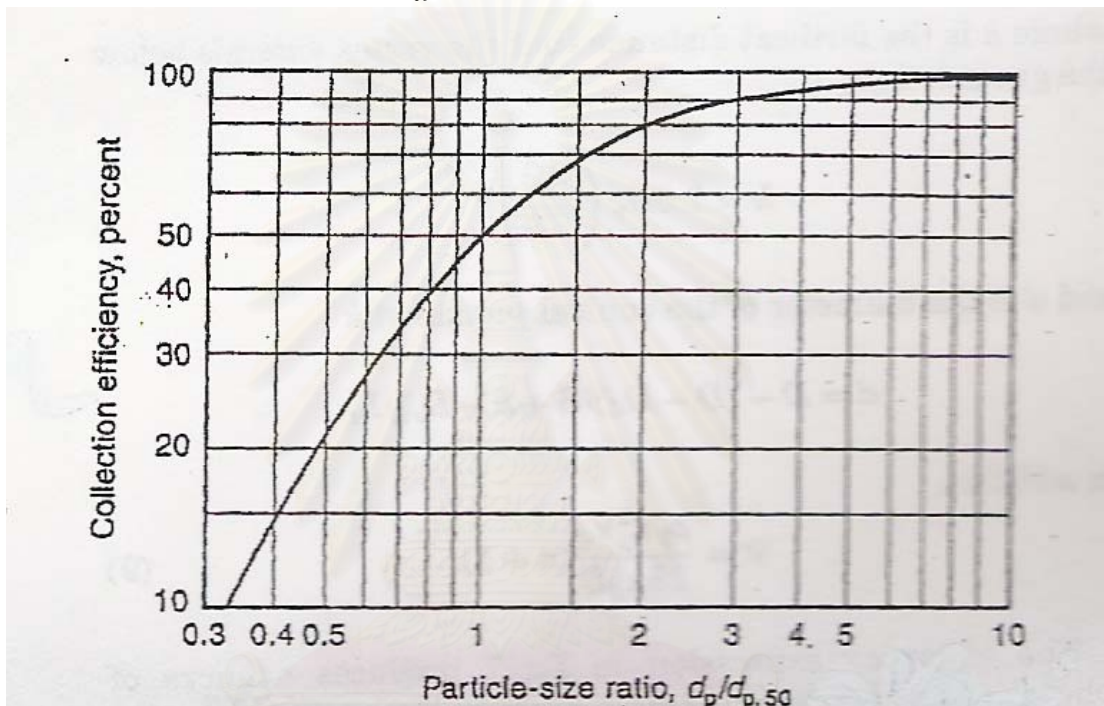
- ประสิทธิภาพจากการคำนวณจะคำนวณจาก

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

$$\text{ประสิทธิภาพ } \eta_j = 1 / [1 + (d_{p50} / d_{pj})^2] \quad \text{----- (31)}$$

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  $d_{p50}$  (ขนาดอนุภาคที่เป็นจุดวิกฤตในการกำจัด) สามารถหาได้ 2 วิธีคือ

1.  $d_{p50}$  จากการคำนวณ (W.L.Olson, 1988 )

$$\text{สูตร } d_{p50} = \left( \frac{9\mu W}{2\pi N_e \rho_p V_g} \right)^{1/2} \quad \text{----- (32)}$$

$$\text{โดยที่ } N_e \cong \frac{1}{H} \left( L_b + \frac{L_e}{2} \right) \quad \text{----- (33)}$$

$N_e$  = จำนวนรอบการหมุนวน (Number of turns of the vortex) (-)

$W$  = ความกว้างของทางเข้า ไชโคลน (m)

$H$  = ความยาวของทางเข้า ไชโคลน (m)

$L_b$  = ความยาวของ body ไชโคลน (m)

$L_c$  = ความยาวของ cone ไซโคลน (m)

$\mu$  = ความหนืดของของไหล/อากาศ (Kg/m/s)

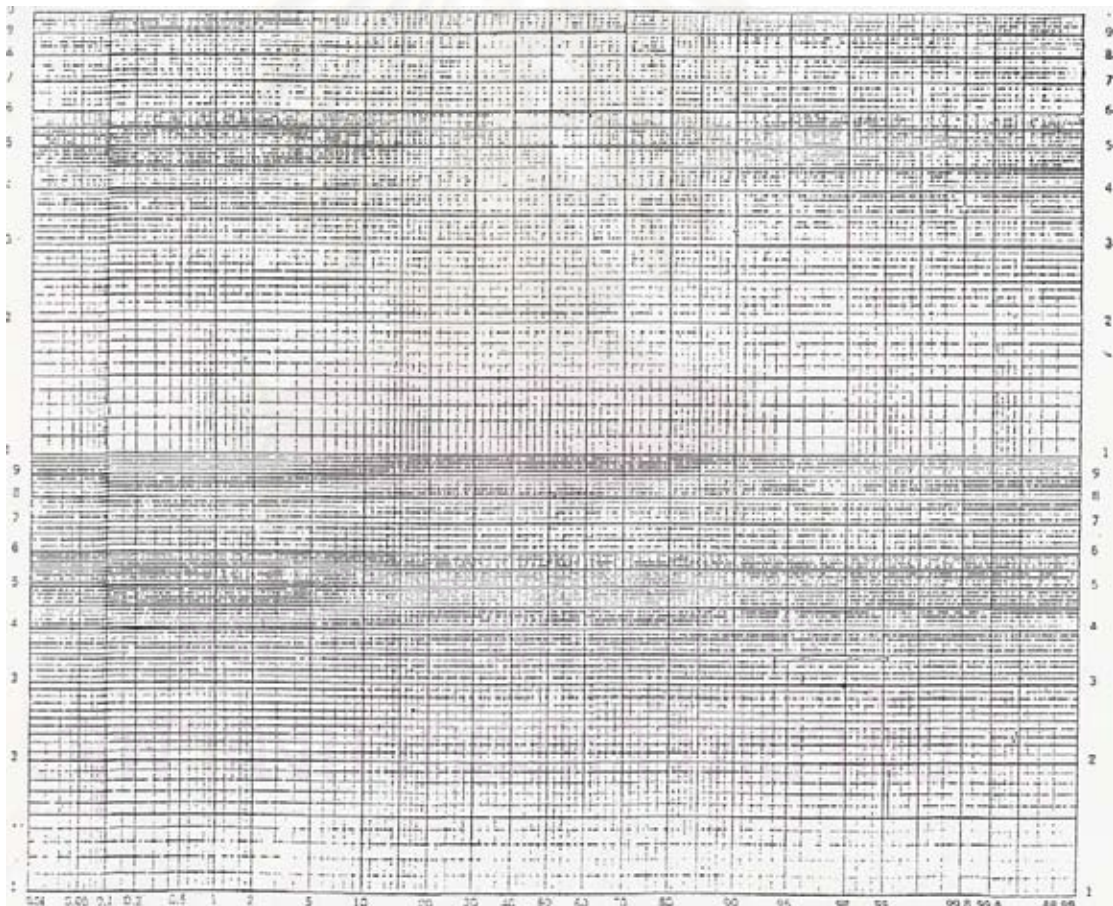
$\rho_p$  = ความหนาแน่นของอนุภาค (Kg/m<sup>3</sup>)

$V_g$  = ความเร็วเชิงเส้นของของไหล (m/s)

2. dp 50 จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค

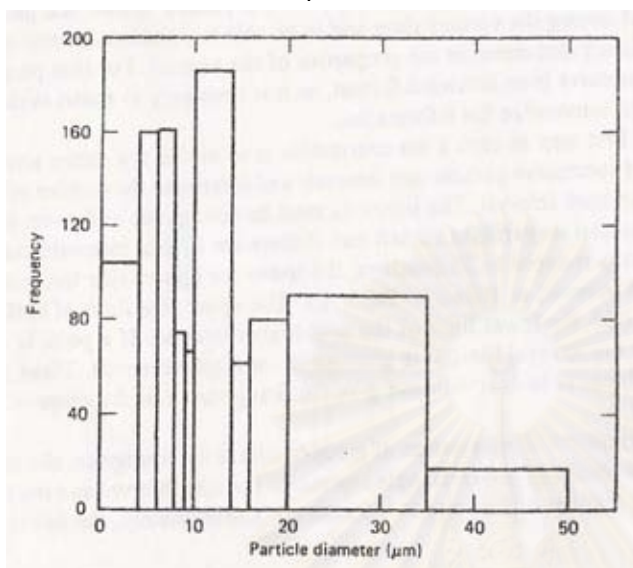
(โดยการ plot คู่ลำดับปริมาณฝุ่นที่ % ต่าง ๆ กับขนาดของอนุภาคในกระดาษกราฟพิเศษ log-normal)

โดยในการทดลองครั้งนี้เราจะใช้ค่า dp50 จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค แต่สูตรที่ใช้ในการคำนวณจะนำมาเปรียบเทียบเท่านั้น



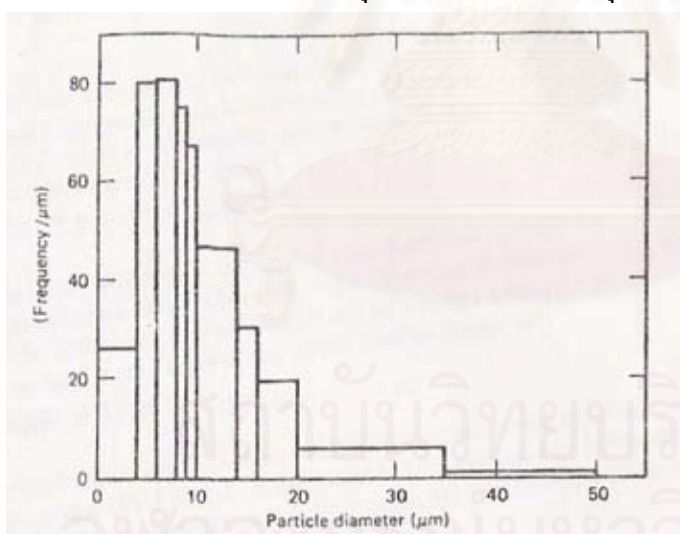
รูปที่ 2.11 กระดาษกราฟ log-normal เพื่อวัดค่า dp50

โดยคู่ลำดับที่ใช้ในการ plot กราฟนี้ต้องเปลี่ยนความสัมพันธ์ของแกนตั้งจากของฮิสโตแกรมจากความถี่ กับ ขนาดของอนุภาค



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

ไปเป็น ความถี่ต่อขนาดของอนุภาค กับ ขนาดของอนุภาค



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

เมื่อนำค่าคู่ลำดับที่ได้ไป plot ใน log-normal graph จะได้เส้นตรงที่เกิดจากคู่ลำดับ ให้ลากเส้นจากแกนแนวนอนที่ 50 % ตรงขึ้นไปตัดเส้นตรงที่เกิดจากคู่ลำดับ และลากเส้นตรงแนวนอนไปยังแกนตั้ง จะได้ค่า  $dp_{50}$  จากกราฟ



## 2.8 การวัดค่า pressure drop

ในการทดลองครั้งนี้ pressure drop ของไซโคลนที่ได้จะมี 2 ตัวเลขคือ

1. จากการทดลอง
2. จากการคำนวณ

- Pressure drop จากการทดลองจะคำนวณจาก

ระดับที่ต่างกันของทางเข้าและทางออก ซึ่งวัดความต่างของระดับน้ำจริง และใช้

สูตร Pressure drop ( $\Delta P$ ) = ความหนาแน่น \* 9.8 \* ความต่างของความสูงระดับน้ำ

----- (34)

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

สูตร 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)

$D_e$  = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางทางออกของ ไซโคลน (m)

$\rho_p$  = ความหนาแน่นของอนุภาค ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V_g$  = ความเร็วเชิงเส้นของของไหล (m/s)

สถาบันวิจัยปฏิบัติการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ประชากร

การทดลองจะทดลองกับผงฝุ่นทั้งหมด 3 ชนิด (เนื่องจากซีโอไลต์ ระบบที่ต่อไว้ไม่สมบูรณ์ ขณะทำการทดลองและผลการวัดขนาดอนุภาคของซีโอไลต์มีขนาดเล็กมาก) โดยแต่ละผงฝุ่นจะทดลองที่ความเร็วลมคงที่ ทดลองครั้งละ 3 ตัวอย่าง (โดย 1 ตัวอย่าง คือ 1 ถุงวัดถุคิบ) และจะหมุน Body ของไซโคลนด้วย ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมด 6 รูปแบบการทดลองตาม ตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3.1 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีเปลี่ยนแปลงชนิดวัดถุคิบ

การทดลองที่	อนุภาค	Body cyclone	No. การทดลอง
1	โซดาแอช	ไม่หมุน	3 ชั่วโมง
2		หมุน	3 ชั่วโมง
3	แคลไซต์	ไม่หมุน	3 ชั่วโมง
4		หมุน	3 ชั่วโมง
5	STPP	ไม่หมุน	3 ชั่วโมง
6		หมุน	3 ชั่วโมง

และเพิ่มการทดลองโดยปรับเปลี่ยนความเร็วของทางเข้าให้มากขึ้นและน้อยลงสำหรับตัวอย่าง STPP (เนื่องจากการเทวัดถุคิบมีน้อยลง จึงไม่สามารถเลือกชนิดของวัดถุคิบได้)

ตารางที่ 3.2 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลองเพิ่ม กรณีเปลี่ยนแปลงความเร็วทางเข้า

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

รวมเป็นทั้งหมด 10 รูปแบบการทดลอง

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโครงการนี้จะเน้นการวิจัยในโรงงาน วิธีการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. วัดความเร็วลมดูดเพื่อคำนวณพื้นที่หน้าตัดทางเข้าของไซโคลน
2. คำนวณเพื่อหาไซโคลนที่เหมาะสม
3. สร้างแบบจำลองของไซโคลนที่เหมาะสม
4. ส่งตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อหาขนาดของอนุภาค เป็นข้อมูลสำหรับทาง ทฤษฎี
5. ทดลองต่อไซโคลนต่อเข้ากับระบบ
6. ตรวจสอบน้ำหนักฝุ่นที่ได้จากไซโคลนทั้ง 4 ชนิด และความดันตกที่เกิดขึ้น
7. คำนวณประสิทธิภาพและความดันตกจากสูตรในทฤษฎีเปรียบเทียบกับผลการทดลอง
8. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

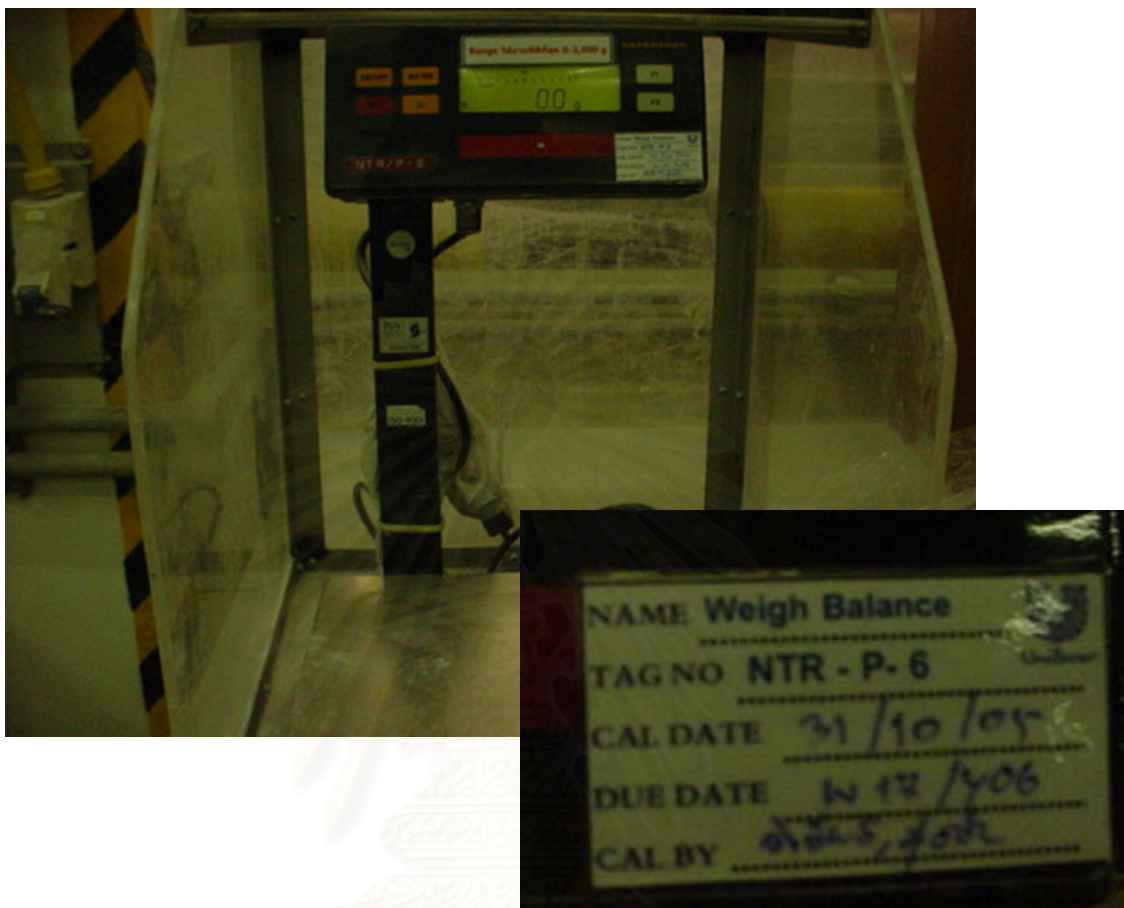
### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 1. เครื่องวัดความเร็วลม



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

## 2. ตาชั่งน้ำหนักของฝุ่น



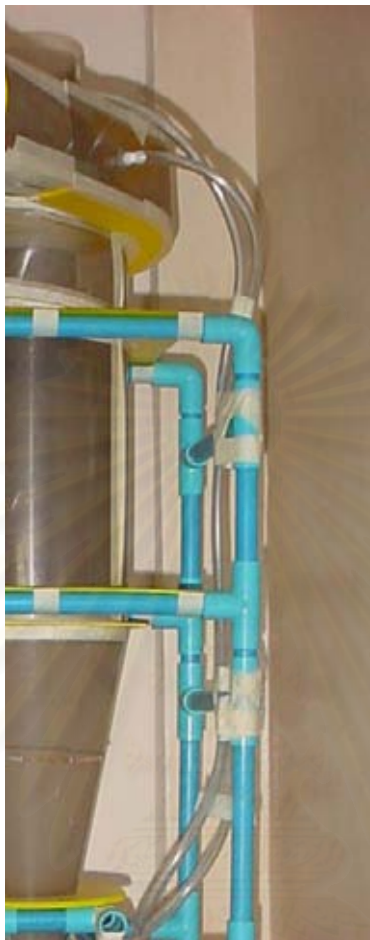
รูปที่ 3.2 ตาชั่งวัดปริมาณฝุ่น

## 3. นาฬิกาจับเวลา

ใช้นาฬิกาจับเวลาทั่วไป

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4. มานอมิเตอร์ (น้ำ)



รูปที่ 3.3 มานอมิเตอร์ (น้ำ)

#### 3.4 เริ่มการทดลองตามวิธีการทดลอง

เมื่อวัดความเร็วของแรงลมดูดได้แล้วก็คำนวณตามภาคผนวก ก. ซึ่งจะได้รูปแบบของไซโคลนโดยแยกตามชั้นต่าง ๆ ซึ่งตัดแล้วต้องนำมาต่อ ในการต่อนั้น อาจต้องใช้การลองผิดลองถูกสำหรับบางชั้นส่วนถ้าติดแล้วไม่สมบูรณ์ เมื่อประกอบเสร็จไซโคลนจะมีองค์ประกอบตามตารางด้านล่างนี้



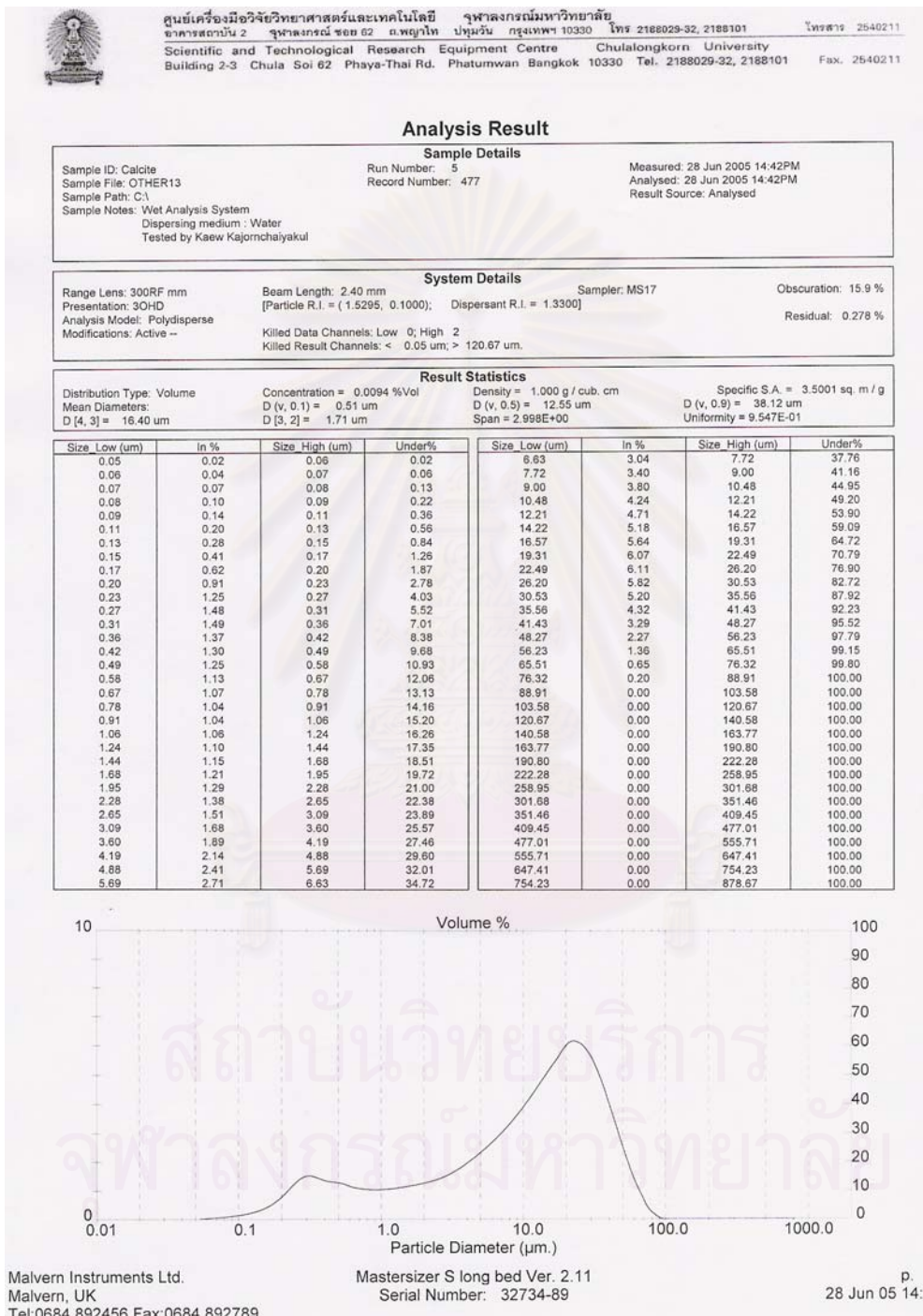
ตารางที่ 3.3 ไชโคลนที่ประกอบขึ้นตามภาคผนวก

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของไชโคลน	=	20.00เซนติเมตร	(D)
ความสูงทางเข้า	(0.5 *D) =	10.00เซนติเมตร	(H)
ความกว้างทางเข้า	(0.25*D) =	5.00เซนติเมตร	(W)
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางทางออกอากาศ	(0.5 *D) =	10.00เซนติเมตร	(De)
ความยาวของ Vortex	(0.625*D) =	12.50เซนติเมตร	(S)
ความยาวของตัวไชโคลน	(2.0 *D) =	40.00เซนติเมตร	(Lb)
ความยาวของโคนไชโคลน	(2.0 *D) =	40.00เซนติเมตร	(Lc)
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางทางออกฝุ่น	(0.25*D) =	5.00เซนติเมตร	(Dd)



รูปที่ 3.4 ไชโคลนตัวจริงที่ประกอบขึ้น

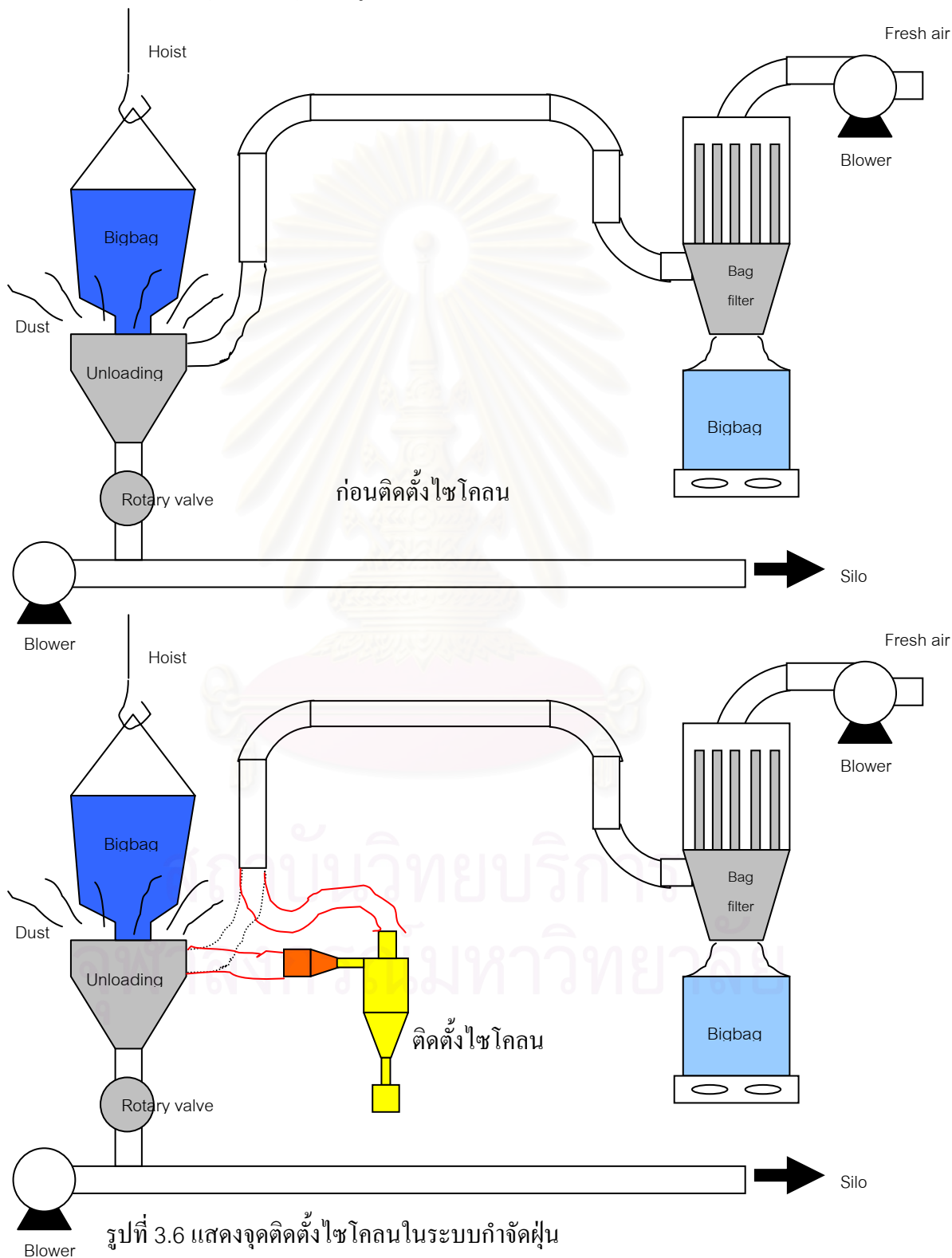
ระหว่างออกแบบไซโคลน นำตัวอย่างวัตถุดิบไปส่งให้ศูนย์วิจัยวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคและจะ  
ได้กราฟการกระจายดังตัวอย่างข้างล่างนี้



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาค

ซึ่งเราก็จะสามารถนำข้อมูลไปหาค่า dp 50 ได้

เมื่อประกอบขึ้นเสร็จก็นำไปติดตั้งบริเวณที่ทำการทดลอง โดยเชื่อมต่อจุดที่เป็นท่อยึดหุ่่น นำท่อยึดหุ่่นจากท่อลมดูดต่อเข้ากับทางออกของไซโคลน และนำท่อยึดหุ่่นอีกอัน จากทางเข้าไซโคลนต่อกับทางออกของชุดถ่ายวัสดุบดรูป



รูปที่ 3.6 แสดงจุดติดตั้งไซโคลนในระบบกำจัดฝุ่น





รูปที่ 3.7 เปลี่ยนท่อยึดหุ่นเพื่อต่อเข้ากับไซโคลน



รูปที่ 3.8 บริเวณที่ติดตั้งไซโคลน





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

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในกรณีที่ไซโคลนไม่หมุน

- จะเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นที่ได้จากการคำนวณ กับ ประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองจริง
- และจะเปรียบเทียบ pressure drop ที่ได้จากการคำนวณ กับ ทดลองจริง
- และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นความเร็วน้อย และมากกว่าที่กำหนด

ในกรณีที่ไซโคลนหมุน

- จะเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นที่ได้จากการทดลองที่หมุน กับ ไม่หมุน Body ไซโคลน และ จะเปรียบเทียบกับ ประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณ (ซึ่งในการคำนวณจะนำความเร็วของ Body ไซโคลนเพิ่มให้กับความเร็วทางเข้าของไซโคลน)
- และจะเปรียบเทียบ pressure drop ที่ได้จากการทดลองที่หมุน กับ ไม่หมุน Body ไซโคลน และ จะเปรียบเทียบกับ press drop ที่ได้จากการคำนวณ (ซึ่งในการคำนวณจะนำความเร็วของ Body ไซโคลนเพิ่มให้กับความเร็วทางเข้าของไซโคลน)
- และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นความเร็วน้อย และมากกว่าที่กำหนด

### 3.7 เปรียบเทียบระดับความคิดเห็น

ในกรณีของ Body ไชโคลนหยุดนิ่ง ถ้าข้อมูล (ทั้งประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น และ pressure drop) ที่ได้จากการทดลองแตกต่างจากทฤษฎีเกิน 10% แสดงว่าการทดลองมีความผิดพลาดมาก

ในกรณีของ Body ไชโคลนหมุน ถ้าข้อมูลประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นในกรณีที่มีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่หมุนเกิน 10% แสดงว่าประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และ ถ้าข้อมูล pressure drop ในกรณีที่มีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่หมุนน้อยกว่า 5% แสดงว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่าง pressure drop

ในกรณีเพิ่มและลดความเร็วทางเข้าของไชโคลนจะให้เห็นแนวโน้มว่าเมื่อลดหรือเพิ่มความเร็วแล้วประสิทธิภาพจะดีขึ้นหรือแย่ลง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลอง

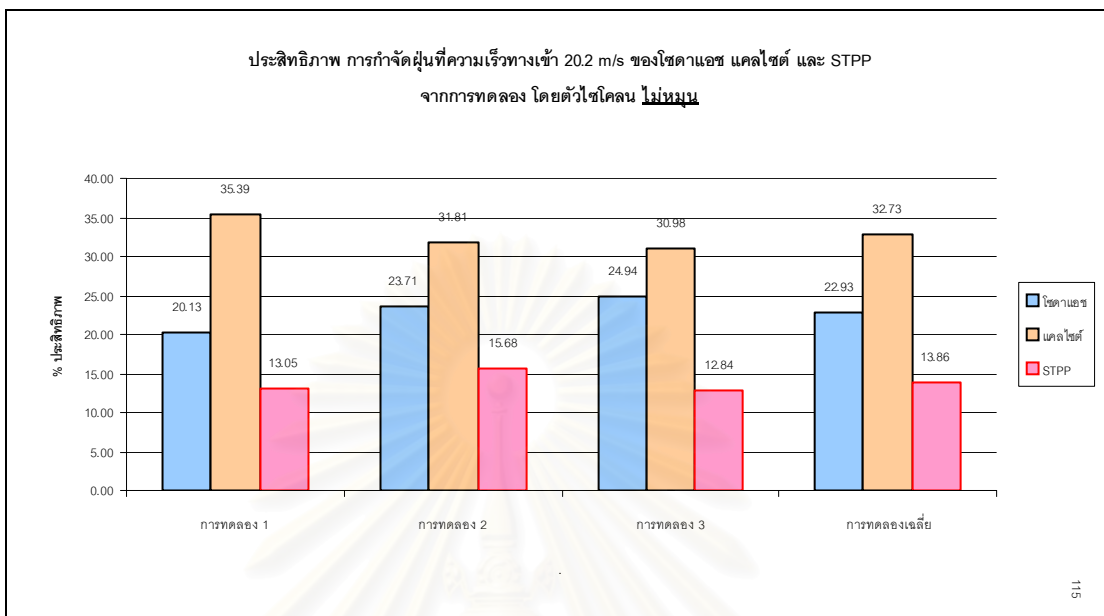
เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าทดลองในพื้นที่จริงดังรูป ซึ่งจะให้การทดลองตามตารางในภาคผนวก ก.



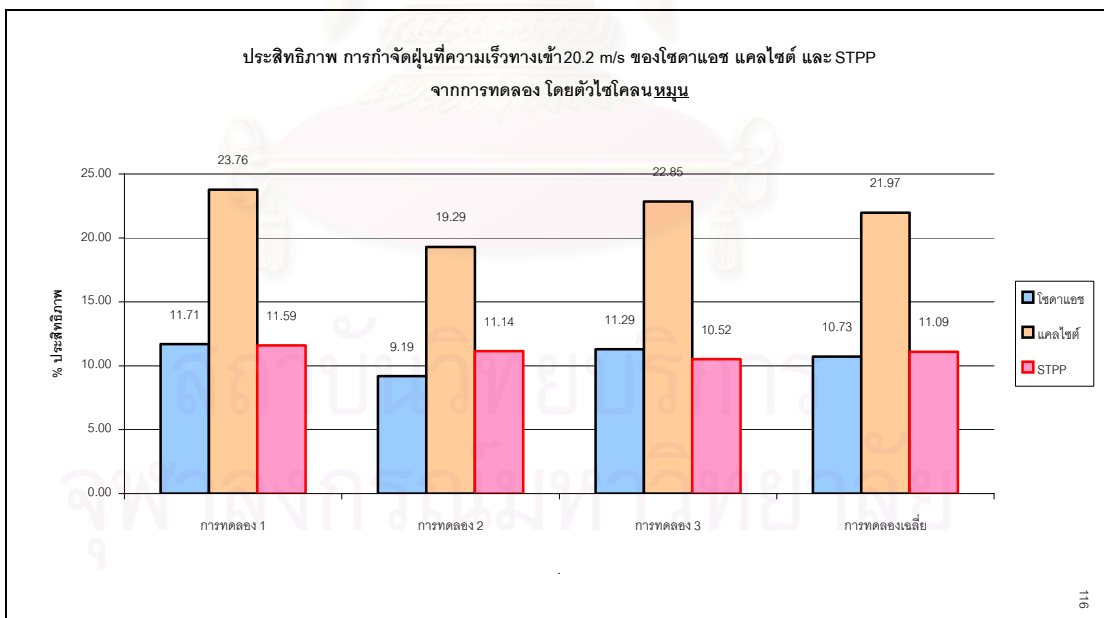
รูปที่ 4.1 การต่ออุปกรณ์เข้าสถานที่ทำการทดลองจริง

จากการทดลองสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังนี้

ผลการทดลองที่ใช้วัสดุชนิดต่างชนิดแต่ให้ความเร็วทางเข้าคงที่

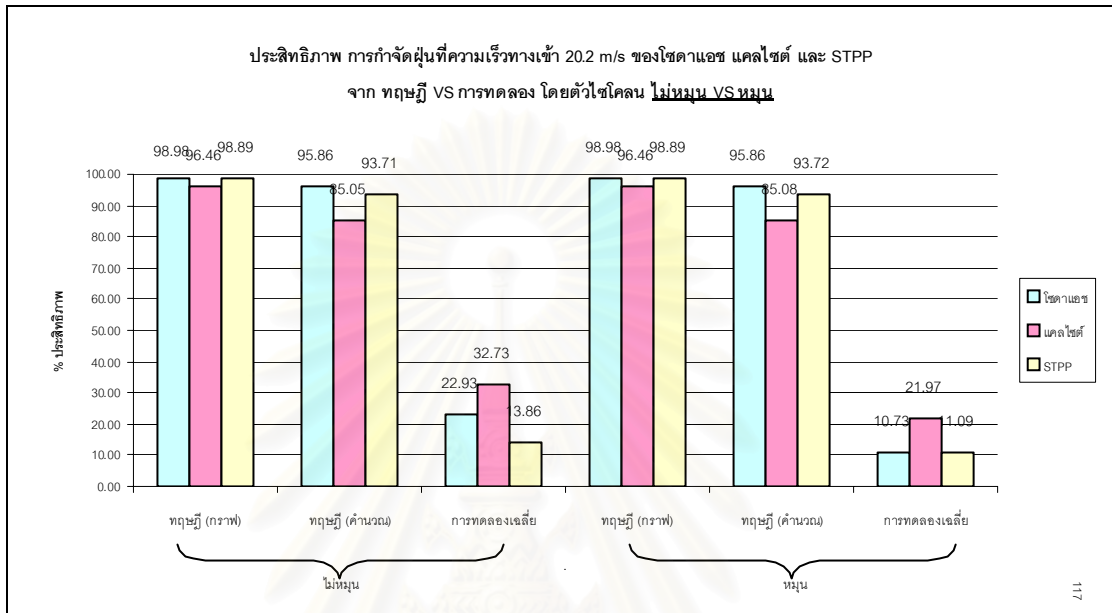


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัสดุชนิด โซดาแอช แคลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโคลน ไม่หมุน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัสดุชนิด โซดาแอช แคลไซต์ และ STPP โดย ตัวไซโคลน หมุน

จากกราฟแสดงให้เห็นการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีผลการทดลองใกล้เคียงกัน นั่นคือ ข้อมูลผลการทดลองสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งถ้าข้อมูลตรงกับความเป็นจริง ก็ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลได้ หรืออาจสรุปว่าเกิดความผิดพลาดในการทดลองเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง ก็ได้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วคงที่ 20.2 m/s ของวัสดุดิบ โซดาแอช แคลไซต์ และ STPP ทั้งผลจากทฤษฎีและการทดลอง โดยไม่หมุนและหมุนไซโคลน

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการคำนวณประสิทธิภาพ จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาคกับสูตรคำนวณนั้นใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ทั้งกรณีที่ไซโคลนไม่หมุนและหมุน

ส่วนผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กับ ผลจากการทดลอง นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นทั้ง 2 กรณี คือทั้งกรณีที่ไม่หมุนไซโคลน และ หมุนไซโคลน ซึ่งอาจจะเกิดการผิดพลาดในการออกแบบ หรือการคำนวณในการออกแบบ รวมทั้งการขาดประสบการณ์ในการออกแบบไซโคลน จึงอาจเกิดความผิดพลาด ระหว่างทฤษฎี กับการทดลองจริง

จากกราฟ ผลการทดลองการหมุนไซโคลน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นลดลง ซึ่งให้ผลเหมือนกันทั้งทางทฤษฎี(คำนวณ) และผลจากการทดลอง ซึ่งการลดลงนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์การไหลภายในตัวไซโคลน ทำให้เกิดการหมุนวน (ไม่เป็น laminar flow) จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นลดลง



แต่จากการทดลองฝุ่นที่เกาะในตัวไซโคลนลดลงเมื่อหมุนตัวไซโคลน เมื่อเทียบกันตัวไซโคลนที่หยุดนิ่งดังภาพ



รูปที่ 4.5 แสดงฝุ่นที่เกาะบริเวณตัวไซโคลน (เกาะตัวตามแนวการไหลของ laminar flow)



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณฝุ่นที่เกาะที่น้อยกว่าเมื่อตัวไซโคลนหมุน (เกาะบาง ๆ แต่เกาะทั่วไป)

ซึ่งการเกาะของฝุ่นนั้นเกิดจากฝุ่นมีประจุไฟฟ้า และ ผิวของตัวไซโคลนก็มีประจุไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ทำให้มีแรงดึงดูดทางไฟฟ้า เป็นไปตามกฎของ Coulomb

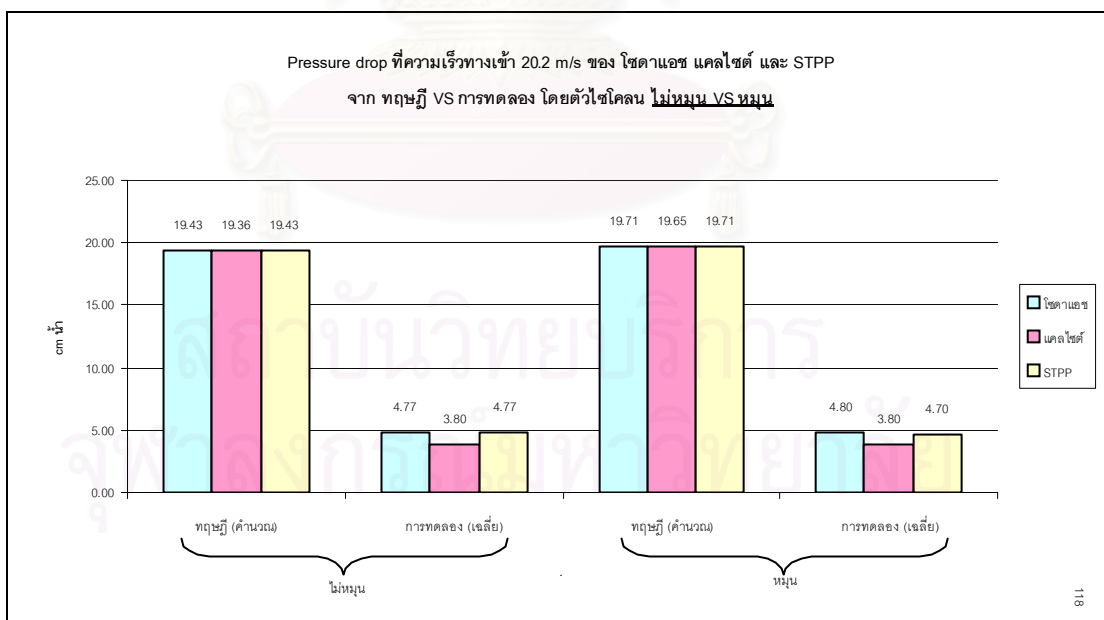
$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ ----- (37)}$$

- โดยที่ F = แรงดึงดูดหรือผลักของประจุไฟฟ้า (N)
- K =  $8.99 \times 10^9$  (Nm<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>)
- q<sub>1</sub> และ q<sub>2</sub> = ประจุไฟฟ้าของฝุ่นและผิวของไซโคลน (C)
- r = ระยะระหว่างฝุ่นกับผิวของฝุ่น(m) (Jess H. Brewer, 1999)

ซึ่งแรงดึงดูดทางไฟฟ้านั้นจะยังมีค่ามากถ้าระยะทางน้อยลง หรืออนุภาคฝุ่นนั้นถ้าติดกับผนังแล้วจะมีแรงยึดเกาะที่สูงที่สุด และทำให้อนุภาคฝุ่นหลุดออกได้ยาก

ประจุไฟฟ้าเป็นปริมาณที่คงที่ ซึ่งไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้หรือถูกทำลายไป แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือถ่ายเทได้ ซึ่งประจุไฟฟ้าจะมีขั้วบวกและขั้วลบ ถ้าขั้วของประจุเหมือนกันจะเกิดแรงผลักรัน แต่ถ้ามีขั้วต่างกันจะมีแรงดึงดูดกัน เป็นไปตามสมการ (Jess H. Brewer, 1999)

ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาค ขนาดของอนุภาค และพื้นผิวของอนุภาค ซึ่งทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงหรือถ่ายเทประจุได้ไม่เท่ากัน ส่งผลให้แรงดึงดูดหรือแรงเกาะติดที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันในแต่ละชนิดของอนุภาค



รูปที่ 4.7 กราฟแสดง ความดันลด ที่ความเร็ววงที่ 20.2 m/s ของวัตุคิบบ ไซดาแอช แคลไซค์ และ STPP ผลจากทางทฤษฎี และ การทดลอง ทั้งกรณีในตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน

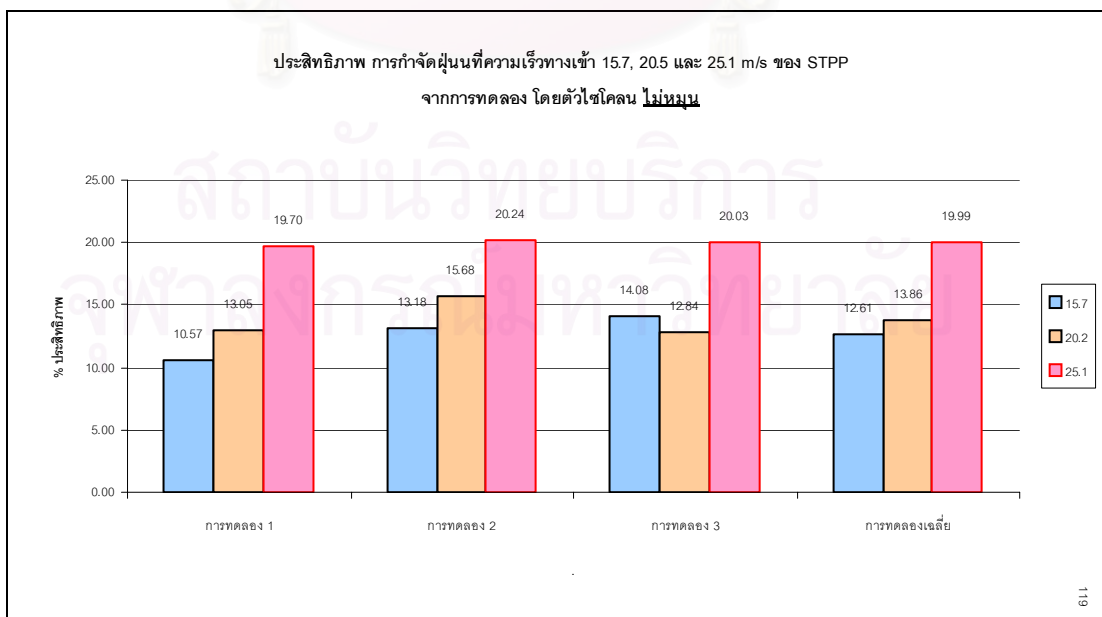
จากกราฟผลการทดลอง ความดันลด จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองกับผลการคำนวณทาง ทฤษฎี เป็นไปในทำนองเดียวกันคือมีค่าความดันลดไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับกรณีที่หมุนหรือไม่หมุน ไชโคลน ส่วนกรณีที่ผลการคำนวณกับผลการทดลองแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจาก ความเร็วที่วัด ได้อาจไม่ถูกต้องหรือความเร็วที่อยู่ภายในตัวไชโคลนไม่ถูกต้อง ซึ่งอาจเกิดจากกายภาพของ ไชโคลนที่สร้างขึ้นอาจไม่ถูกต้องจึงทำให้ ค่า ความดันลด แตกต่าง จากทฤษฎีมาก และอาจเป็น เหตุผลเสริมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นไม่เป็นไปตามทฤษฎีด้วยเช่นเดียวกัน

ดังนั้นการวัดค่าความเร็วของของไหลในตัวไชโคลนที่ถูกต้อง ต้องวัดจากค่า ความดันลด และ คำนวณกลับเพื่อได้ค่าความเร็วทางเข้าของตัวไชโคลนและนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพ ซึ่งถ้าเรากำนวณกลับจากค่า ความดันลด = 5.3 cm Water ของการทดลอง STPP ที่มีความเร็ว สูงสุด 25.1 m/s โดยตัวไชโคลนไม่หมุน จะได้ความเร็วทางเข้า เท่ากับ 10.6 m/s ซึ่งแตกต่างกับ เครื่องมือที่ใช้วัดหรือการใช้คนวัด

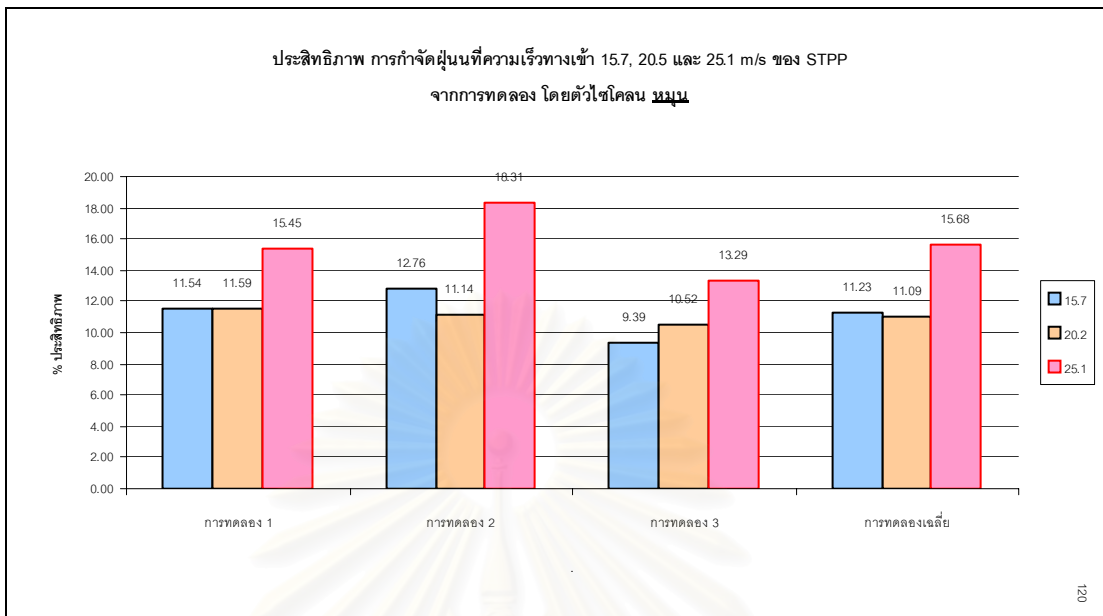
และถ้านำความเร็วเป็น 10.6 m/s ไปคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นจะได้เป็น 92.6% จากการ คำนวณทางทฤษฎี ซึ่งแตกต่างจากเดิมเป็น 94.04% แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังเห็นความแตกต่าง ระหว่าง 92.6% กับ 19.99% (จากการทดลองจริง) อย่างเห็นได้ชัด

นั่นอาจสรุปได้ว่าการออกแบบไชโคลนหรือการประกอบไชโคลนอาจมีข้อมูลหรือจุดที่ต้องระวัง มากกว่านี้ซึ่งผู้ประดิษฐ์อาจต้องใช้ประสบการณ์หรือการสังเกตที่ละเอียดอ่อนในการประดิษฐ์ ไชโคลน

ผลการทดลองที่ใช้วัดอุณหภูมิต่างกันและเปลี่ยนความเร็วทางเข้า

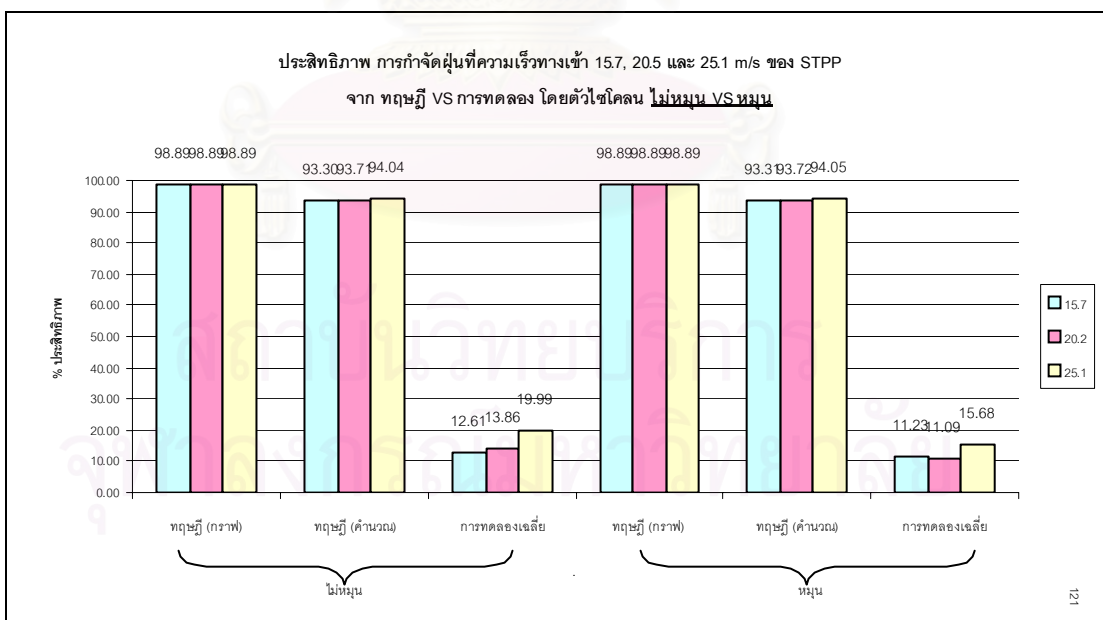


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ในกรณีที่ไชโคลนไม่หมุน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ในกรณีที่ไซโคลนหมุน

จากกราฟ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งข้อมูลของการทดลอง 3 ครั้งไม่แตกต่างกัน ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุน และ หมุน

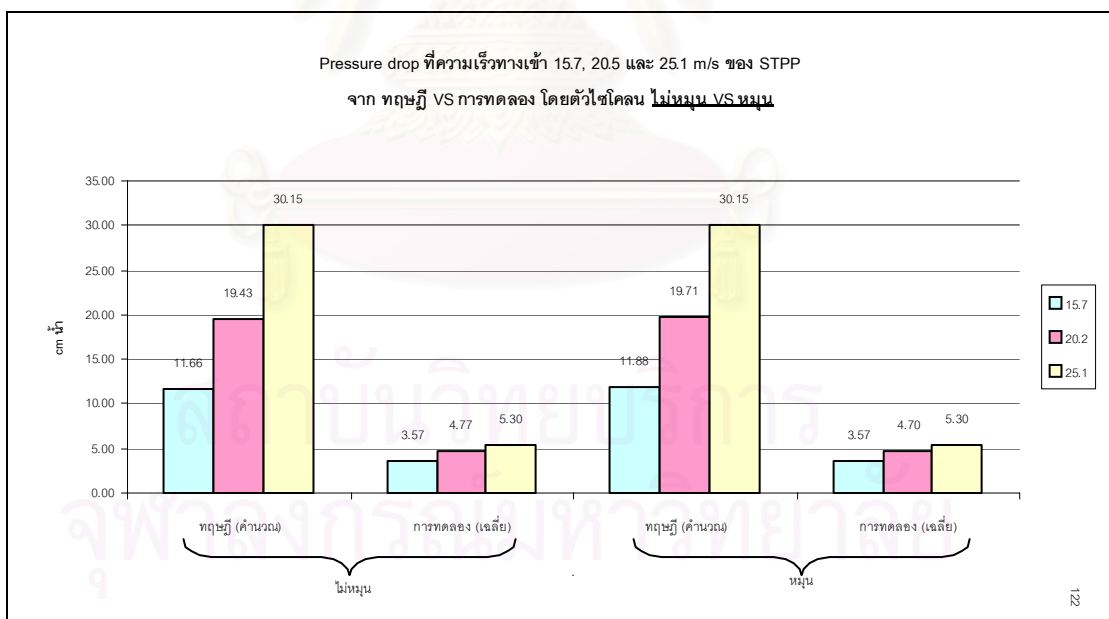


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้าต่าง ๆ ของ STPP ซึ่งแสดงผลจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง ทั้งกรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุนและหมุน

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณในกรณีที่เปลี่ยนแปลงความเร็วเล็กน้อย ประสิทธิภาพไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งต่างกับผลการทดลองจะมีการเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพที่สามารถสังเกตได้ แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองเป็นไปในแนวกันกับทางทฤษฎี คือ มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วทางเข้า (inlet)

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเร็วขึ้นมาก ถ้ามักเกิน ความเร็วสูงสุดที่ตัวไซโคลนจะรับได้ จะทำให้เกิด Re-entrainment 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 ให้ผลการทดลองไปในแนวเดียวกัน คือประสิทธิภาพลดลง แสดงให้เห็นว่าการหมุนไซโคลนจะทำให้รูปแบบการไหลแบบ ลามินาร์ (laminar) เปลี่ยนไป และทำให้การแยกอนุภาคออกจากของไหล ทำได้ไม่ดี เมื่อเทียบกับกรณีที่ตัวไซโคลนอยู่นิ่ง



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า ความดันลด ตามความเร็วทางเข้าค่าต่าง ๆ กัน ของ STPP แสดงผลจากการคำนวณทางทฤษฎีและผลการวัดจริง ทั้งกรณีที่ไม่หมุนและหมุนตัวไซโคลน

จากกราฟ ความดันลด จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วทางเข้า ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ทั้งการคำนวณทางทฤษฎี และการทดลอง และรวมทั้งกรณีที่หมุนและไม่หมุนตัวไซโคลน แต่จากการ



คำนวณทางทฤษฎีการเพิ่มของ ความดันลด จะสูงมากกว่าเมื่อเทียบกับผลการวัดจริง สาเหตุที่ ค่าความดันลด เพิ่มขึ้นเล็กน้อยของการวัดจริงอาจเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไม่สามารถรักษาระบบสุญญากาศ ได้จึงทำให้การวัด ค่าความดันลด ไม่ตรงตามทฤษฎี

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทดลองในขณะที่ทดลองนั้น จะเห็นได้ว่า

อุณหภูมิที่วัด ได้มีค่าไม่เท่ากันในการทดลองแต่ละครั้ง ซึ่งอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบในการทดลอง

ความชื้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ไม่ได้ถูกควบคุมหรือวัดซึ่งอาจมีผลต่อการเกาะของอนุภาค ทำให้อนุภาคใหญ่ขึ้นหรือเกาะกับผิวของไซโคลนได้

ลักษณะของอนุภาคซึ่งเรากำหนดให้เป็นทรงกลมทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงรูปร่างของอนุภาคก็มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของไซโคลนเช่นเดียวกัน

วัสดุที่ใช้ทำตัวไซโคลนก็มีผลด้วยเพราะที่อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นพลาสติกอาจมีแรงดึงดูดทางประจุซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นด้วยเป็นต้น

รูปร่างความโค้งของตัวไซโคลน ความได้รูปทรง

รอยต่อของวัสดุที่ใช้ทำตัวไซโคลนซึ่งถ้าต่อไม่ดีก็จะทำให้เกิดการรั่วของอากาศไหลได้ ซึ่งก่อนต้องตรวจสอบทิศทางการไหลก่อน

ความสม่ำเสมอของปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นเพราะเป็นการเทวัตถุดิบจึงเกิดฝุ่นขึ้นด้วยความเข้มข้นที่ไม่แน่นอน

และอาจจะมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่ถูกลืมมองข้ามซึ่งรอการค้นคว้าวิจัยต่อเนื่องต่อไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

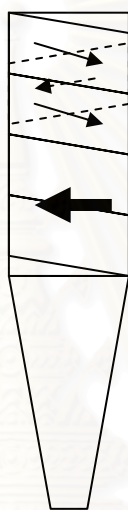
#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นขึ้นกับความเร็ทางเข้า ซึ่งทั้งผลการคำนวณและผลการทดลองให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน (L. Theodore and V. Depaola, 1980) คือ ถ้าความเร็ทางเข้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นก็เพิ่มขึ้นตาม ซึ่งจะต้องไม่เพิ่มเกินขีดจำกัดของตัวไซโคลน หรือต้องไม่เกิดปรากฏการณ์ re-entrainment (Bingtao Zhao, 2005)

ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นขึ้นกับขนาดของอนุภาคและความหนาแน่นของอนุภาคซึ่งส่งผลต่อ แรงโน้มถ่วง (gravity force) และแรงฉุดลาก (drag force) (W.L.Olson, 1988) ทำให้กระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น โดย ถ้าฝุ่นมีความหนาแน่นมากประสิทธิภาพการกำจัดก็ดี และถ้ามีอนุภาคขนาดใหญ่ก็สามารถกำจัดได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ในการทดลองครั้งนี้ จากกราฟประสิทธิภาพฝุ่นที่ความเร็วคงที่ ความสามารถในการแยกอนุภาคได้ดีกว่าวัตถุบิอื่น คือ แคลไซต์ ซึ่งมีผลมาจากความหนาแน่นของอนุภาคและประจุไฟฟ้า ความหนาแน่นนั้นน้อยกว่าโซดาแอสเล็กน้อย แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตของผิวไซโคลนกับอนุภาค ส่วนเอสทีพีพีนั้นแม้จะมีความหนาแน่นน้อยที่สุดแต่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโซดาแอส เพราะมีประจุไฟฟ้าสูงที่สุดจึงเกิดแรงดึงดูดมากทำให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโซดาแอส ซึ่งจะเห็นได้จากผลการวัดประจุไฟฟ้าของอนุภาค โดยผลการวัดที่ระยะ 1 เซนติเมตร ผลของ โซดาแอส = +0.7 mV, เอสทีพีพี = +5.3 mV, แคลไซต์ = +2.5 mV, ผิวพลาสติกที่ขัดถู = - 2.1 mV และอากาศที่ 27 C = -1.2 mV ในการทดลองครั้งนี้สูตรในการคำนวณประสิทธิภาพทางทฤษฎีไม่มีปัจจัยจากแรงทางประจุไฟฟ้า และก็ยังไม่มีผู้ใดเคยเสนอสูตรการคำนวณประสิทธิภาพที่มีแรงจากไฟฟ้าสถิตรวมอยู่ในสมการเช่นเดียวกัน โดยทั่วไปมักลดผลกระทบจากการเกาะติดของอนุภาคในไซโคลนโดยการต่อสายไฟลงดินเพื่อลดประจุไฟฟ้าของผิวไซโคลน

การหมุนของตัวไซโคลนทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นลดลง และทำให้ความดันลดสูงขึ้น ซึ่งไม่ส่งผลดีต่อการกำจัดฝุ่น แต่ ตัวไซโคลนสะอาดกว่ากรณีที่ตัวไซโคลนไม่หมุน ซึ่งการหมุนของผิวไซโคลนจะทำให้ขอบเขตการไหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนนั้นถูกทำลาย และมีการข้ามชั้นเกลียวของไซโคลน ซึ่งทำให้การแยกอนุภาคออกจากของไหลไม่ดี เมื่อเทียบกับการไหลเป็นลามินาร์ที่แบ่งแยกขอบเขตชั้นเกลียวที่คงที่ ดังรูป 5.1

จากรูป 5.1 การหมุนวนของของไหลในตัวไซโคลนจะหมุนเป็นชั้นตามลูกศรเล็กโดยจะวิ่งแยกชั้นกันโดยมีขอบเขตที่ชัดเจน (ซึ่งสังเกตได้ชัดเจน) แต่เมื่อมีการหมุนที่ผิวไซโคลนความเร็วที่ผิวไซโคลนจะทำให้เกิดแรงเฉือนซึ่งมีทิศทำมุมกับการไหลของของไหลภายในไซโคลนซึ่งแรงเฉือนนี้ทำให้ภายในชั้นลามินาร์ที่หมุนวนที่มีขอบเขตที่ชัดเจนเสียรูปแบบไป โดยมีการข้ามชั้นการหมุนวนตามลูกศรใหญ่ (ซึ่งสังเกตได้ชัดเจน) ซึ่งเหตุผลนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคออกจากของไหลภายในไซโคลนลดลง



รูปที่ 5.1 แสดงการไหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนและการรบกวนรูปแบบการไหลจากการหมุนตัวไซโคลน

การหมุนของตัวไซโคลนที่ความเร็วทางเข้าที่ต่างกัน ส่งผลกระทบบททุกความเร็วเหมือนกันคือ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง และ ความดันลด สูงขึ้น (C.B. Shepherd and C.E.Lapple, 1940)

**ยังมีปัจจัยอื่นอีกหลายอย่างที่จะต้องควบคุมและจะต้องใช้ประสบการณ์ในการสร้างไซโคลนอีกมากเพื่อประดิษฐ์ไซโคลนที่สามารถกำจัดฝุ่นได้ตามทฤษฎี**

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้สนใจในไซโคลนและต้องการออกแบบหรือทดลองอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไป

1. ไซโคลนถ้าออกแบบแล้วไม่สามารถดัดแปลงหรือแก้ไขได้ จะสามารถใช้กับปริมาณลมทางเข้าหนึ่ง ๆ เท่านั้น เพราะมีหน้าตัดคงที่ และความเร็วที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-25 m/s นั้นหมายถึง ปริมาตรลมที่เข้าต่อหน่วยเวลาไม่สามารถขยายหรือย่อได้ ซึ่งถ้าปริมาตรลม

ต่อหน่วยเวลามากไปต้องแบ่งการไหลออกและสร้างไซโคลนเพิ่มเติมถ้าการไหลย้อนไปไม่สามารถปรับปรุงได้ (D.Leith and D. Mehta, 1973)

2. ความโค้งและความเรียบของไซโคลนมีผลต่อรูปแบบการไหลของของไหลภายในไซโคลน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของไหลโดยตรง
3. ไซโคลนที่เป็นสุญญากาศ ต้องไม่มีการรั่วไหลทั่วไซโคลนเพราะการรั่วไหลจะทำให้มีการดูดอากาศข้างนอกเข้าสู่ตัวไซโคลน ถ้าเป็นบริเวณตัวไซโคลนก็จะทำให้การไหลแบบลามินาร์ เสียรูปแบบไป ถ้าเป็นบริเวณ โคน ก็ทำให้การแยกของอนุภาคไม่ดี และถ้าเป็นบริเวณปลายโคนจะทำให้ฝุ่นเกิดฟลูอิดไดเซชัน หรือถ้ารั่วมากอาจเป็น การขนส่งด้วยลมคือไม่การแยกฝุ่นแต่จะปล่อยฝุ่นไปเพราะอากาศที่รั่วเป็นตัวพาไปจากแรงจลุลาก.
4. การหมุนของไซโคลนไม่ดี การไม่หมุนก็ทำให้เกิดการเกาะติด ดังนั้นจึงควรเคลื่อนตัวไปที่ละน้อย อย่างเช่น วันจันทร์อยู่ที่ 0 องศา วันอังคารอยู่ที่ 15 องศา วันพุธอยู่ที่ 30 องศา วันพฤหัสบดีอยู่ที่ 45 องศา วันศุกร์อยู่ที่ 60 องศา นั้นหมายถึงการขยับตัวไซโคลนไปเพื่อให้เกิดการทำความสะดวกตัวเองไม่ให้มีแนวการไหลของลามินาร์ ที่ขอบการไหลซ้ำที่เดิม ซึ่งแนวนั้นอาจเป็นแนวการสะสมฝุ่นได้
5. ไซโคลนไม่ควรบุหรือเสียรูป วัสดุที่ใช้ทำต้องแข็งแรงพอ
6. รูปแบบทางเข้าของไซโคลน (inlet) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของไซโคลนด้วยทางเข้าของไซโคลนเป็นสิ่งเหลื่อม แต่โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้ท่อทรงกระบอกในการทำระบบลมดูด จึงต้องมีข้อต่อที่เหมาะสม และทางเข้าของไซโคลนเป็นอีกจุดหนึ่งที่มีการสะสมฝุ่นจึงควรออกแบบให้ดีขึ้นหรือสะสมฝุ่นน้อยลง
7. ชุดเก็บฝุ่นต้องใหญ่และมีปริมาตรเพียงพอต่อการเก็บฝุ่นหนึ่งครั้ง และที่สำคัญต้องไม่รั่ว (เป็นระบบปิด) และต้องมีความสะดวกในนำฝุ่นที่กรองแล้วกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้งไปเสนอให้คิดท่อที่มีวาล์วต่อถ่ายเข้าถึงเก็บจะสะดวกในการนำกลับไปใช้และทำงาน
8. ช่องทางออกของอากาศที่แยกฝุ่นแล้วตามการออกแบบจะไม่มีตัวยึด (support) จะต้องสร้างขึ้นเองเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และจะต้องได้แนวแกนเพราะเป็นแนวการแบ่งการหมุนวน ลงกับ การหมุนวน ขึ้นภายในตัวไซโคลน
9. ฝุ่นสารเคมีทุกตัวอันตรายต่อสุขภาพ
10. ความเร็วต่ำสุด กับ ความเร็วสูงสุด ควรมีการศึกษาต่อไป
11. แรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาคกับผิวไซโคลนควรมีการศึกษาต่อไป
12. อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดลองและปรากฏการณ์ภายในไซโคลนควรมีการศึกษาต่อไป

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ปณตสรณ์ สุทยานนท์. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบไซโคลน. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2541.

### ภาษาอังกฤษ

Bingtao Zhao. Development of a new method for evaluating cyclone efficiency. p447-  
451. Chemical Engineering and Processing 44, 2005.

Mechanical Collectors. Marsulex Environmental Technologies. LLC. Lebanon. Pa.

D. Leith and D. mehta. Cyclone performance and design, p7:527-549. Atmospheric  
Environ, 1973.

Bulletin MC 581. Zurn Industries. Inc.

W.L.Olson. Upgrading mechanical collector performance with hopper aspiration, p88-  
123. Wheelabrator Air Pollution Control Technical Paper, 1988.

C. E. Lapple. Processes use many collector types, Chem. Eng (1951) : 58,144-151.

C. J. Stairmand. The design and performance of cyclone separators. Trans. Ind. Chem  
Eng (1951) : 29

P. Swift. Dust control in industry. Steam Heating Eng. 38, 1969.

W.C.Hinds. Aerosol Technology. John Wiley. N.Y., 1999.

Otakar Storch et al. Industrial separators for gas cleaning. Research institute for air  
Engineering, p93-125. Prague Czechoslovakia (Elsevier scientific publishing  
company. Amsterdam-Oxford-NewYork, 1979.

Robert H. Perry. Don W. Green. Perry's chemical engineers' handbook. p20-83 – 20-89.  
six edition. New York : McGraw-Hill.

Philip A. Schweitzer. Handbook of separation techniques for chemical engineers, p 6-10  
– 6-17. New York : McGraw-Hill.

Warren L. McCabe. Unit operations of chemical engineering, p1060-1063. fifth edition.  
New York : McGraw-Hill.



- James O. Wilkes. Fluid mechanics for chemical engineers, 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. Fluid mechanics and unit operations, p528-609. Ann arbor science. the butterworth group.
- L. Theodore and V. Depaola. Predicting cyclone efficiency. J.Air Pollution Cont. Assoc. 30(10), 1980.
- C.D. Cooper and F. C. Alley. Air pollution Control: A Design Approach. 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. The electrostatic force, [http://musr.physics.ubc.ca/~jess/hr/skept/E\\_M/node2.html](http://musr.physics.ubc.ca/~jess/hr/skept/E_M/node2.html), 1999.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การคำนวณออกแบบ และ การประกอบไซโคลน

ความเร็วลมที่วัดได้จากท่อลมดูด =	11	เมตร/วินาที	(v)
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อลมดูด =	11	เซนติเมตร	(D)

พื้นที่หน้าตัดของท่อ =	$22/7 * D^2 / 4$		
=	95.07143	ตารางเซนติเมตร	
=	0.009507	ตารางเมตร	(A)

อัตราการไหลของลม =	$A * v$		
=	0.104579	ลูกบาศก์เมตร/วินาที	
=	0.001743	ลูกบาศก์เมตร/นาทึ	
=	0.000029	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	
=	1.742976	ลิตร/นาทึ	

ต้องการความเร็วในการเข้าไซโคลนไม่ต่ำกว่า **20.91577** เมตร/วินาที (use goal seek tool)

พื้นที่ของทางเข้า	=	$(\text{ความเร็วลมท่อดูด} * \text{พื้นที่หน้าตัดท่อ})$	
ไซโคลน	=	$\frac{\text{พื้นที่ของทางเข้า}}{(\text{ความเร็วลมต่ำสุดที่เข้าไซโคลน})}$	
	=	50.00	ตารางเซนติเมตร

จากตารางการออกแบบไซโคลนในทฤษฎี

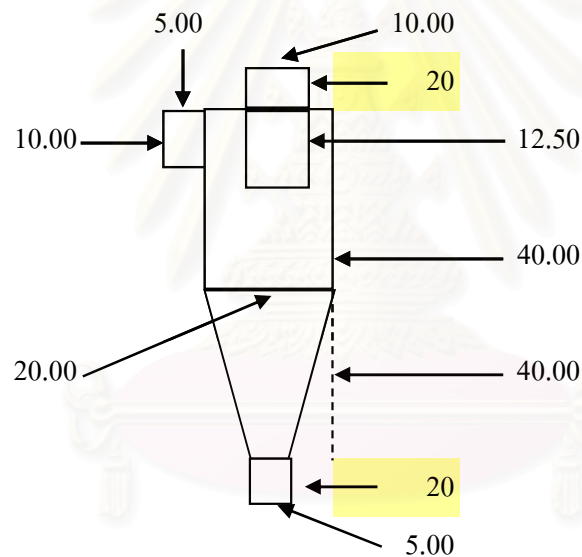
โดยนำพื้นที่ของทางเข้าไซโคลนมาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน (D)			
ความสูงทางเข้า =	$0.5 * D$	เซนติเมตร	(H)
ความกว้างทางเข้า =	$0.25 * D$	เซนติเมตร	(W)

พื้นที่ของทางเข้า	=	$H * W$	
ไซโคลน	=	$0.5 * 0.25 * D^2$	
50.00	=	$0.125 * D^2$	
เส้นผ่านศูนย์กลาง	=	20.00	เซนติเมตร (D)

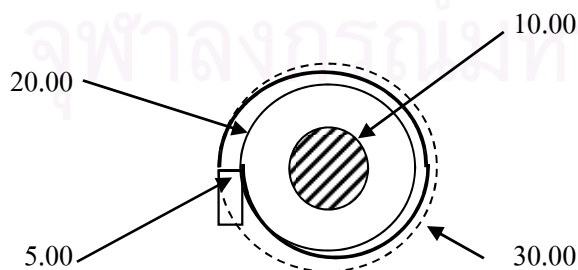
จากตารางจะได้กายภาพของไซโคลนเป็นดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน	=	20.00 เซนติเมตร	(D)
ความสูงทางเข้า	(0.5 *D) =	10.00 เซนติเมตร	(H)
ความกว้างทางเข้า	(0.25*D) =	5.00 เซนติเมตร	(W)
เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกอากาศ(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)

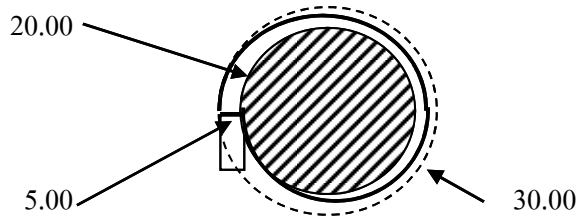
การตัดชิ้นส่วนประกอบไซโคลน



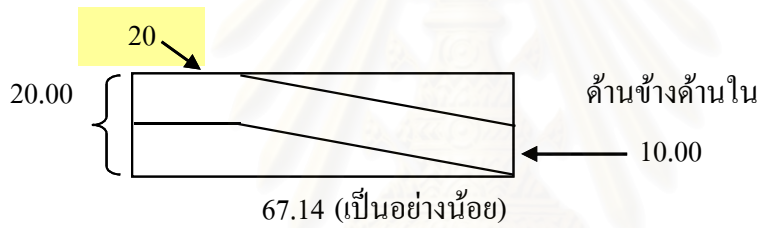
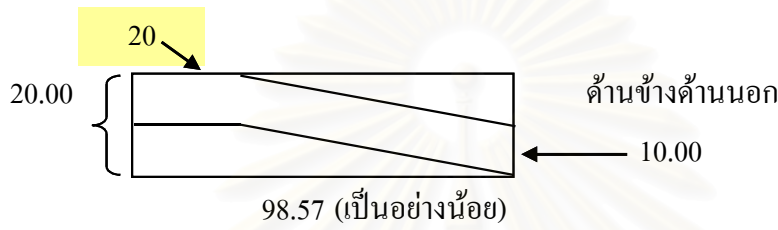
1. ชิ้นส่วนทางเข้าของไซโคลนด้านบน



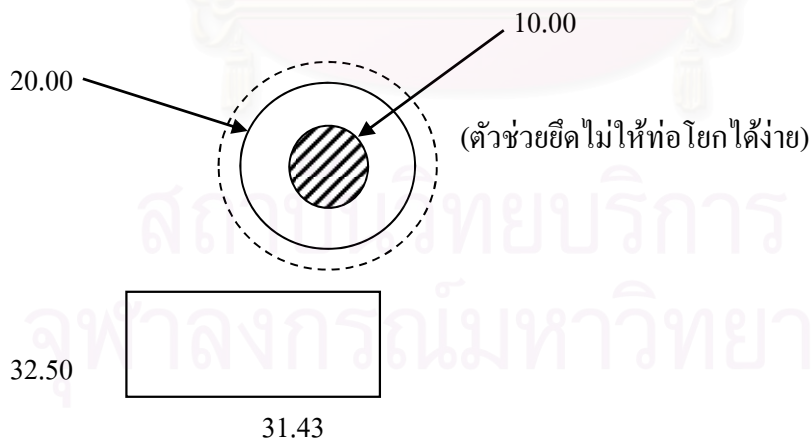
2. ชั้นส่วนทางเข้าของไซโคลนด้านล่าง



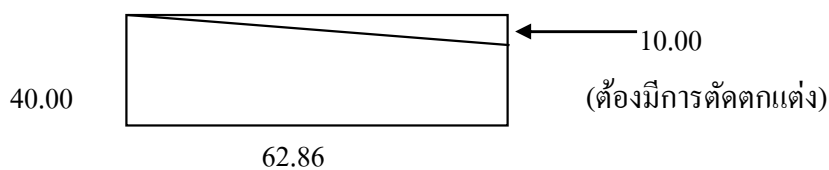
3. ชั้นส่วนทางเข้าของไซโคลนด้านข้าง



4. ชั้นส่วนทางออกของอากาศด้านบน

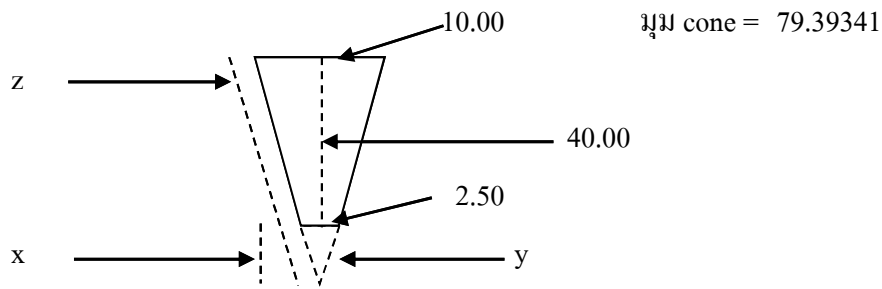


5. ชั้นส่วนตัวไซโคลน





## 6. ชิ้นส่วน โคนของไซโคลน



$$\frac{10.00}{(40.00 + x)} = \frac{2.50}{x}$$

$$10.00 * x = 100.00 + x * 2.50$$

$$7.50 * x = 100.00$$

$$x = 13.33$$

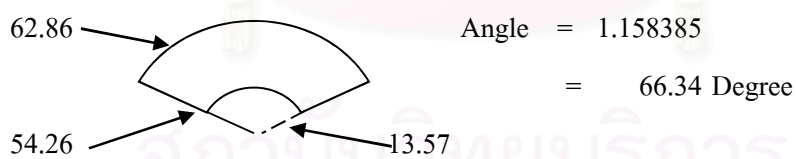
$$y^2 = 6.25 + x^2$$

$$y = 13.57$$

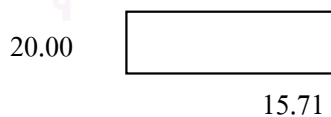
$$2.50 / y = 10.00 / z$$

$$z = 4.00 * y$$

$$z = 54.26$$



## 7. ชิ้นส่วนทางออกของฝุ่น



\* นำชิ้นส่วน 1 - 7 มาประกอบขึ้นเป็นไซโคลนในการทดลองครั้งนี้ตามรูป (โดยชิ้นส่วนตัวและโคนเป็นแบบใส)

\* และจะต้องมีข้อต่อที่เป็นข้อต่อสี่เหลี่ยมปากทางเข้าไซโคลนกับท่อกลมของท่อลมดูด



ภาคผนวก ข.

ผลการวัดขนาดของวัตุดิบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### Analysis Result

#### Sample Details

Sample ID: Soda ash Run Number: 13 Measured: 28 Jun 2005 16:15PM  
 Sample File: OTHER13 Record Number: 499 Analysed: 28 Jun 2005 16:15PM  
 Sample Path: C:\ Result Source: Analysed  
 Sample Notes: Wet Analysis System  
 Dispersing medium : Ethanol  
 Tested by Kaew Kajornchalyakul

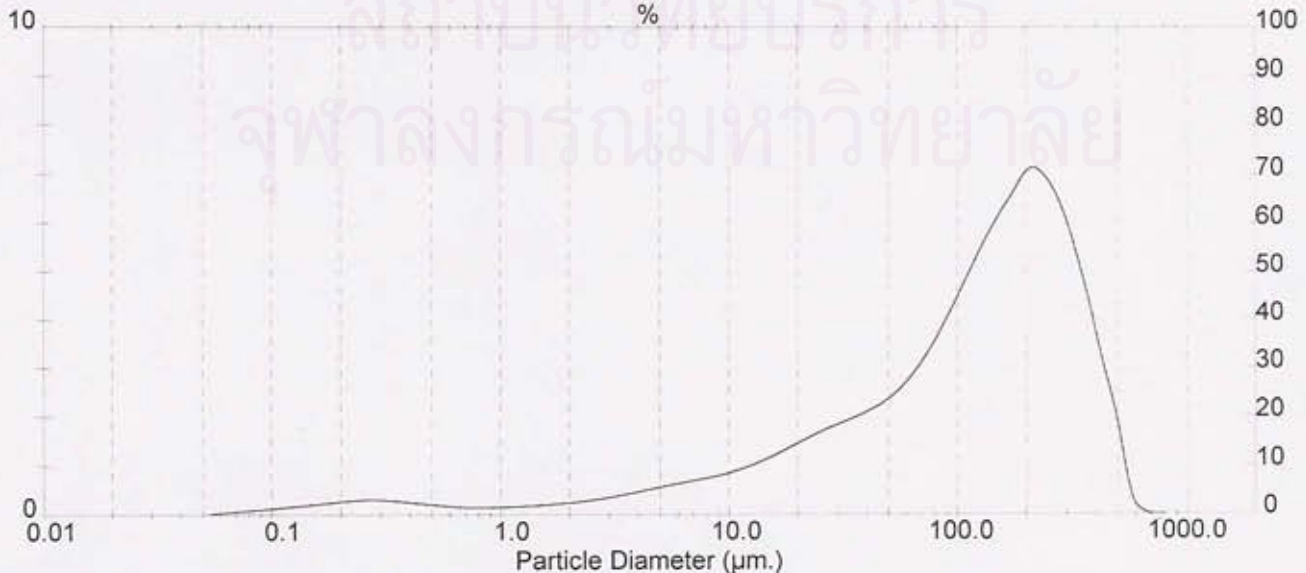
#### System Details

Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS1 Obscuration: 17.7 %  
 Presentation: 3OHD [Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 0.692 %  
 Analysis Model: Polydisperse  
 Modifications: Active - Killed Data Channels: Low 0; High 2

#### Result Statistics

Distribution Type: Volume Concentration = 0.0435 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 1.1842 sq. m / g  
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 10.22 um D (v, 0.5) = 132.06 um D (v, 0.9) = 339.80 um  
 D [4, 3] = 155.86 um D [3, 2] = 5.07 um Span = 2.496E+00 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	0.28	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
5.69	0.64	6.63	7.86	754.23	0.00	878.67	100.00







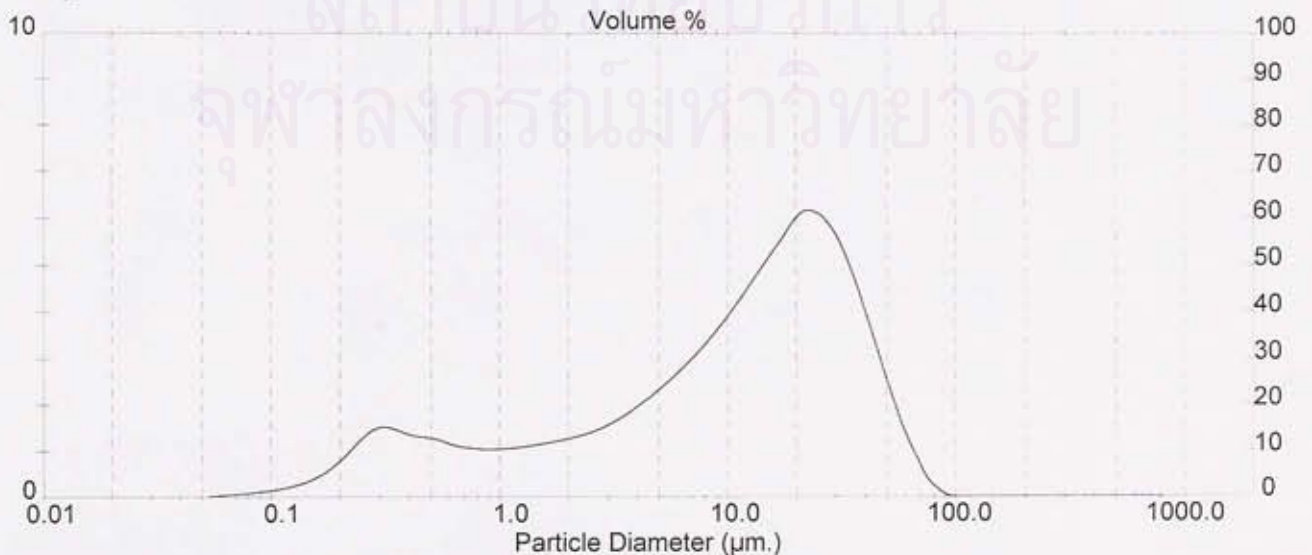
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Calcite	Run Number: 5	Measured: 28 Jun 2005 14:42PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 477	Analysed: 28 Jun 2005 14:42PM
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 %
Presentation: 3OHD	(Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300)	Residual: 0.278 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active --	Killed Result Channels: < 0.05 um; > 120.67 um.		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0094 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 3.5001 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.51 um	D (v, 0.5) = 12.55 um	D (v, 0.9) = 38.12 um
D [4, 3] = 16.40 um	D [3, 2] = 1.71 um	Span = 2.998E+00	Uniformity = 9.547E-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	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	0.08	0.13	9.00	3.80	10.48	44.95
0.08	0.10	0.09	0.22	10.48	4.24	12.21	49.20
0.09	0.14	0.11	0.36	12.21	4.71	14.22	53.90
0.11	0.20	0.13	0.56	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	19.31	6.07	22.49	70.79
0.17	0.62	0.20	1.87	22.49	6.11	26.20	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	35.56	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
0.36	1.37	0.42	8.38	48.27	2.27	56.23	97.79
0.42	1.30	0.49	9.68	56.23	1.36	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	76.32	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	14.16	103.58	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	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
2.28	1.38	2.65	22.38	301.68	0.00	351.46	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	27.46	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	2.41	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





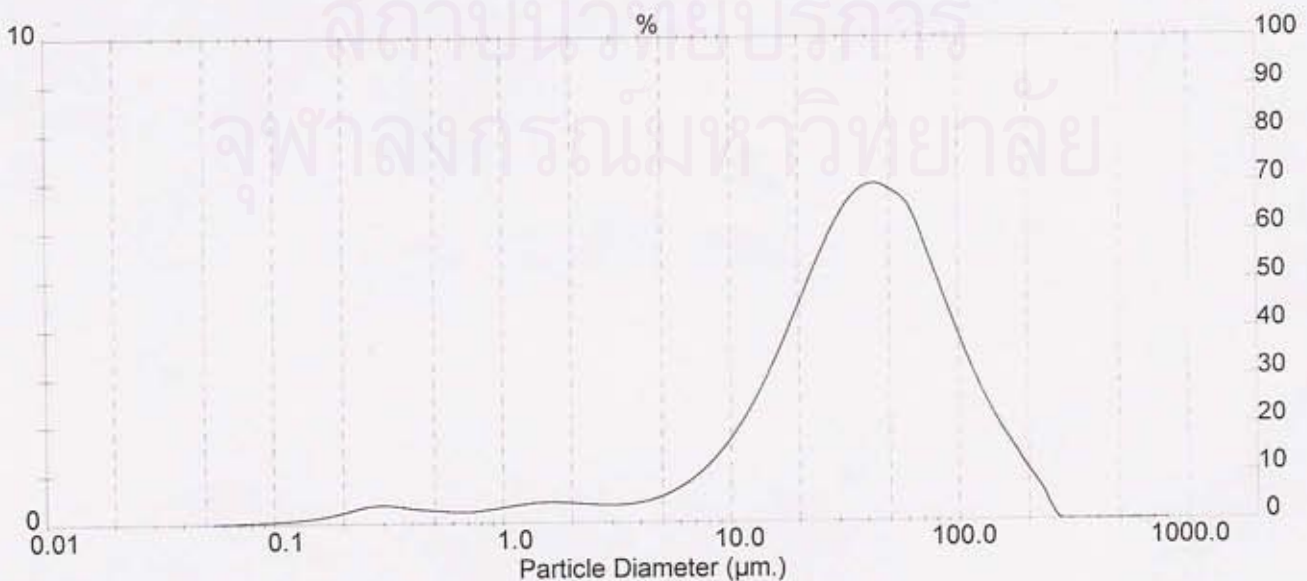
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: STPP	Run Number: 10	Measured: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 513	Analysed: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Ethanol Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Obscuration: 18.0 %
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.558 %
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2	

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0309 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0946 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 7.58 um	D (v, 0.5) = 37.48 um	D (v, 0.9) = 106.38 um
D [4, 3] = 49.22 um	D [3, 2] = 5.48 um	Span = 2.636E+00	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
0.67	0.24	0.78	3.30	88.91	4.04	103.58	89.38
0.78	0.27	0.91	3.57	103.58	3.24	120.67	92.62
0.91	0.31	1.06	3.89	120.67	2.55	140.58	95.17
1.06	0.36	1.24	4.25	140.58	1.95	163.77	97.11
1.24	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
1.68	0.42	1.95	5.49	222.28	0.47	258.95	100.00
1.95	0.40	2.28	5.89	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.37	2.65	6.26	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.36	3.09	6.62	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.36	3.60	6.99	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.40	4.19	7.38	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.47	4.88	7.85	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.58	5.69	8.43	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.74	6.63	9.17	754.23	0.00	878.67	100.00







## Analysis Result

### Sample Details

Sample ID: Zeolite Run Number: 3 Measured: 28 Jun 2005 14:34PM  
Sample File: OTHER13 Record Number: 465 Analysed: 28 Jun 2005 14:34PM  
Sample Path: C:\ Result Source: Analysed  
Sample Notes: Wet Analysis System  
Dispersing medium : Water  
Tested by Kaew Kajornchaiyakul

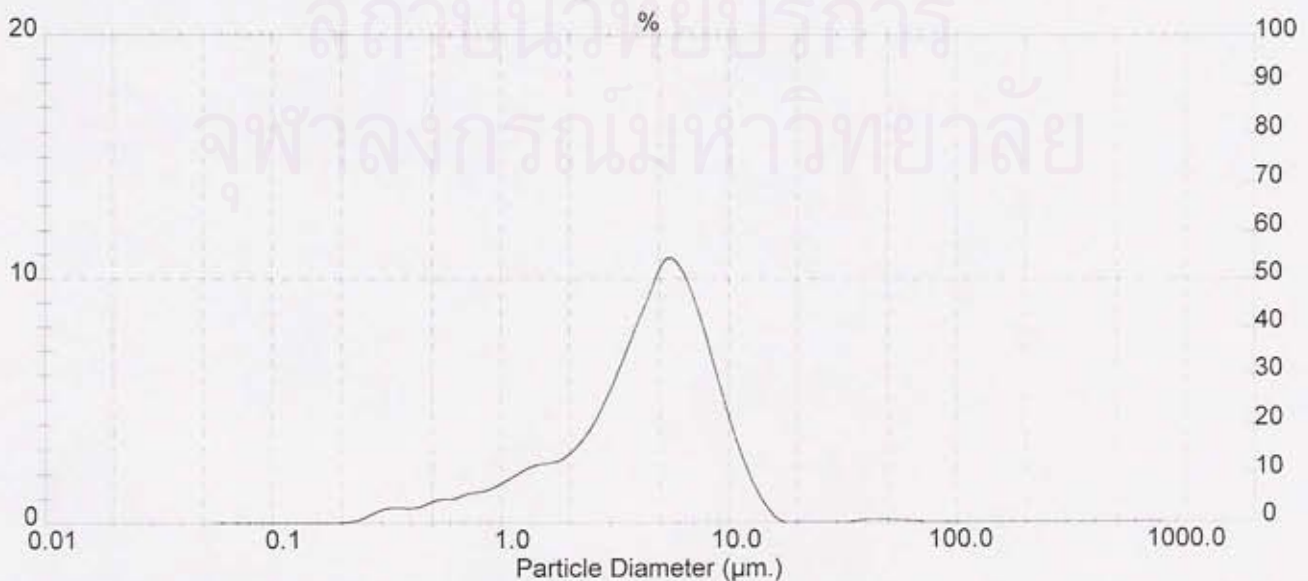
### System Details

Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS17 Obscuration: 17.0 %  
Presentation: 3OHD [Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 0.236 %  
Analysis Model: Polydisperse  
Modifications: Active - Killed Data Channels: Low 0; High 2

### Result Statistics

Distribution Type: Volume Concentration = 0.0075 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 2.3673 sq. m / g  
Mean Diameters: D (v, 0.1) = 1.18 um D (v, 0.5) = 4.67 um D (v, 0.9) = 8.97 um  
D [4, 3] = 5.12 um D [3, 2] = 2.53 um Span = 1.667E+00 Uniformity = 5.452E-01

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
5.69	10.47	6.63	74.12	754.23	0.00	878.67	100.00





### Analysis Result

#### Sample Details

Sample ID: Soda ash      Run Number: 13      Measured: 28 Jun 2005 16:15PM  
 Sample File: OTHER13      Record Number: 499      Analysed: 28 Jun 2005 16:15PM  
 Sample Path: C:\      Result Source: Analysed  
 Sample Notes: Wet Analysis System  
                   Dispersing medium : Ethanol  
                   Tested by Kaew Kajornchalyakul

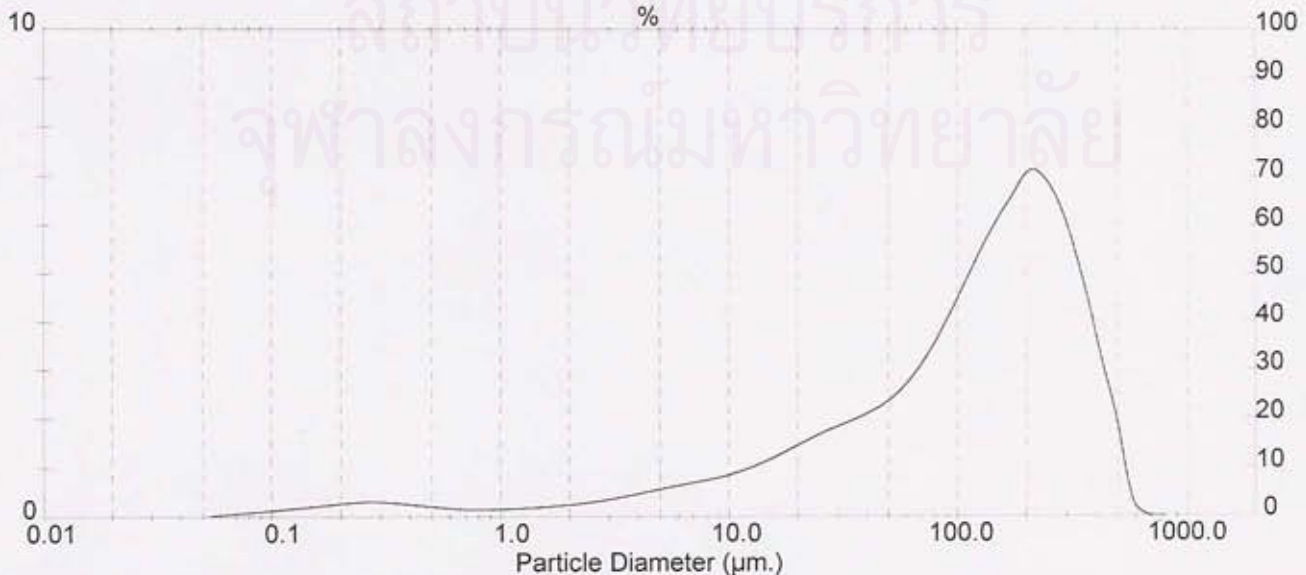
#### System Details

Range Lens: 300RF mm      Beam Length: 2.40 mm      Sampler: MS1      Obscuration: 17.7 %  
 Presentation: 3OHD      [Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);      Dispersant R.I. = 1.3300]      Residual: 0.692 %  
 Analysis Model: Polydisperse  
 Modifications: Active -      Killed Data Channels: Low 0; High 2

#### Result Statistics

Distribution Type: Volume      Concentration = 0.0435 %Vol      Density = 1.000 g / cub. cm      Specific S.A. = 1.1842 sq. m / g  
 Mean Diameters:      D (v, 0.1) = 10.22 um      D (v, 0.5) = 132.06 um      D (v, 0.9) = 339.80 um  
 D [4, 3] = 155.86 um      D [3, 2] = 5.07 um      Span = 2.496E+00      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	0.28	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
5.69	0.64	6.63	7.86	754.23	0.00	878.67	100.00







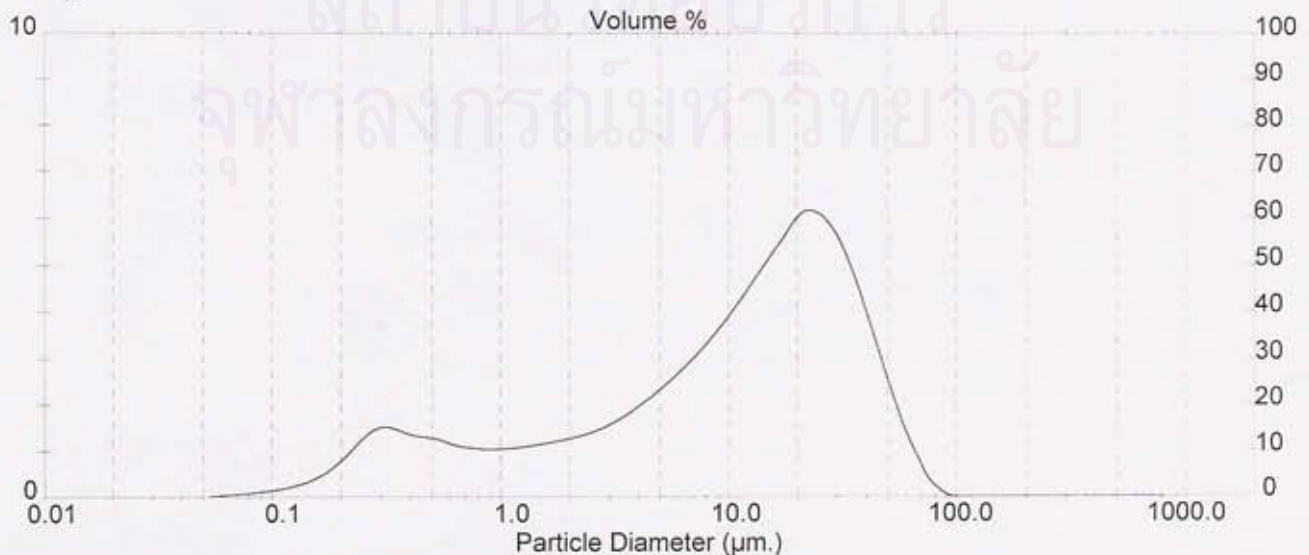
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Calcite	Run Number: 5	Measured: 28 Jun 2005 14:42PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 477	Analysed: 28 Jun 2005 14:42PM
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 %
Presentation: 3OHD	(Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300)	Residual: 0.278 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active --	Killed Result Channels: < 0.05 um; > 120.67 um.		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0094 %Vol	Density = 1,000 g / cub. cm	Specific S.A. = 3,5001 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.51 um	D (v, 0.5) = 12.55 um	D (v, 0.9) = 38.12 um
D [4, 3] = 16.40 um	D [3, 2] = 1.71 um	Span = 2.998E+00	Uniformity = 9.547E-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	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	0.08	0.13	9.00	3.80	10.48	44.95
0.08	0.10	0.09	0.22	10.48	4.24	12.21	49.20
0.09	0.14	0.11	0.36	12.21	4.71	14.22	53.90
0.11	0.20	0.13	0.56	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	19.31	6.07	22.49	70.79
0.17	0.62	0.20	1.87	22.49	6.11	26.20	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	35.56	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
0.36	1.37	0.42	8.38	48.27	2.27	56.23	97.79
0.42	1.30	0.49	9.68	56.23	1.36	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	76.32	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	14.16	103.58	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	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
2.28	1.38	2.65	22.38	301.68	0.00	351.46	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	27.46	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	2.41	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





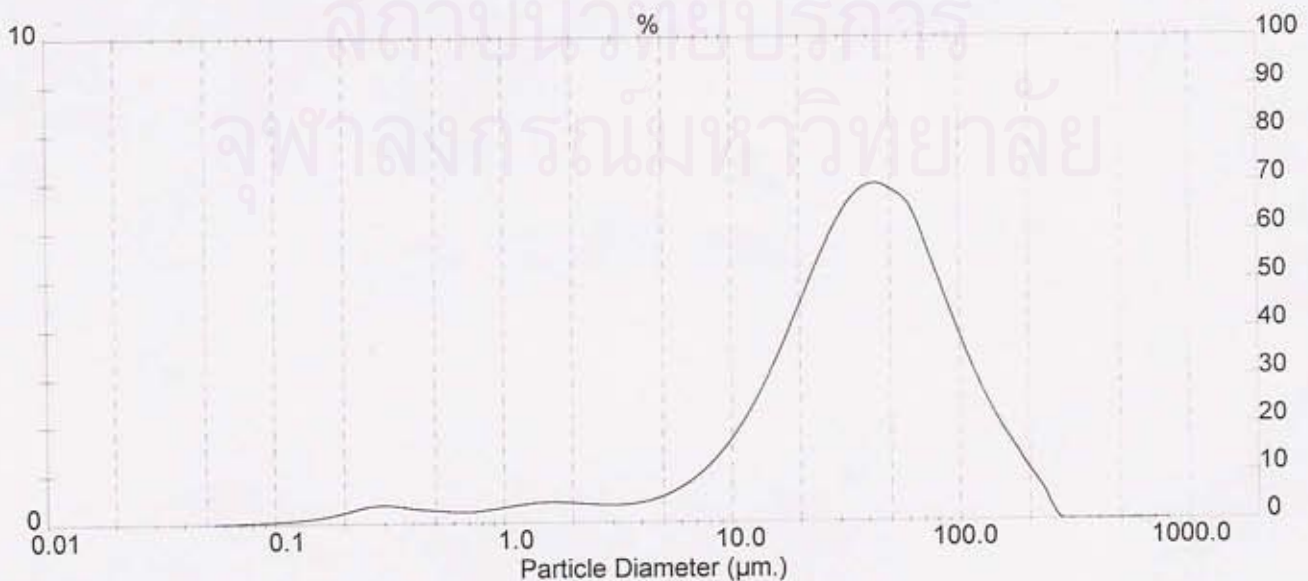
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: STPP	Run Number: 10	Measured: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 513	Analysed: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Ethanol Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Obscuration: 18.0 %
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.558 %
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2	

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0309 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0946 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 7.58 um	D (v, 0.5) = 37.48 um	D (v, 0.9) = 106.38 um
D [4, 3] = 49.22 um	D [3, 2] = 5.48 um	Span = 2.636E+00	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
0.67	0.24	0.78	3.30	88.91	4.04	103.58	89.38
0.78	0.27	0.91	3.57	103.58	3.24	120.67	92.62
0.91	0.31	1.06	3.89	120.67	2.55	140.58	95.17
1.06	0.36	1.24	4.25	140.58	1.95	163.77	97.11
1.24	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
1.68	0.42	1.95	5.49	222.28	0.47	258.95	100.00
1.95	0.40	2.28	5.89	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.37	2.65	6.26	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.36	3.09	6.62	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.36	3.60	6.99	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.40	4.19	7.38	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.47	4.88	7.85	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.58	5.69	8.43	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.74	6.63	9.17	754.23	0.00	878.67	100.00







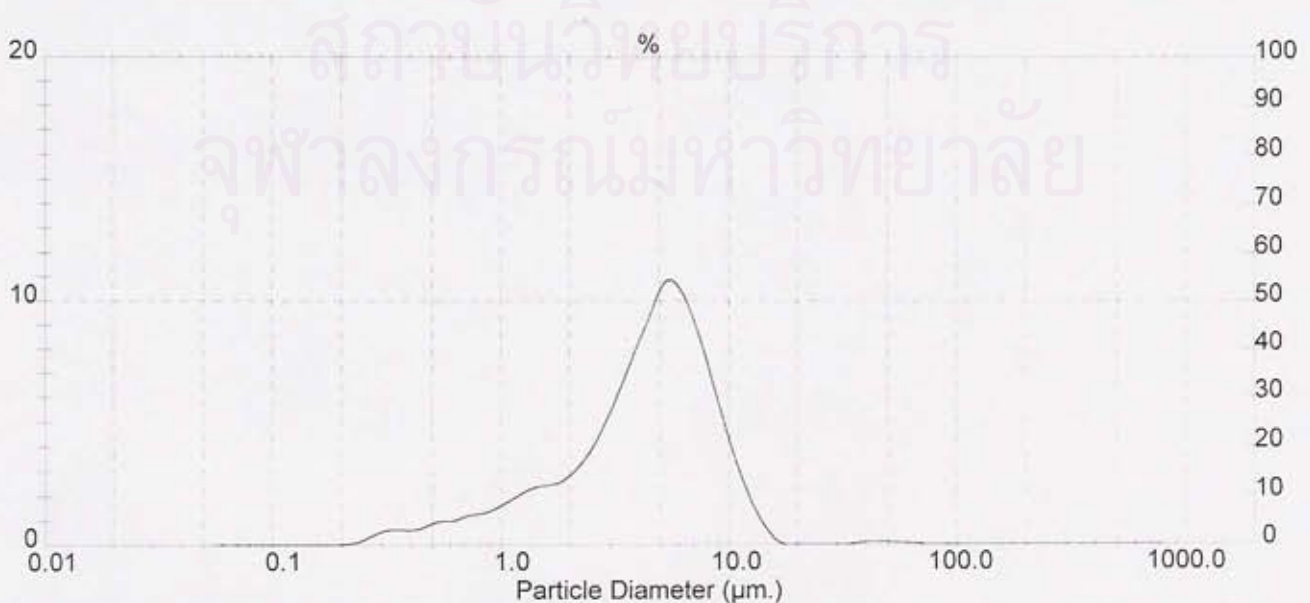
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Zeolite	Run Number: 3	Measured: 28 Jun 2005 14:34PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 465	Analysed: 28 Jun 2005 14:34PM
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: 17.0 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.236 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0075 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 2.3673 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.18 um	D (v, 0.5) = 4.67 um	D (v, 0.9) = 8.97 um
D [4, 3] = 5.12 um	D [3, 2] = 2.53 um	Span = 1.667E+00	Uniformity = 5.452E-01

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
5.69	10.47	6.63	74.12	754.23	0.00	878.67	100.00





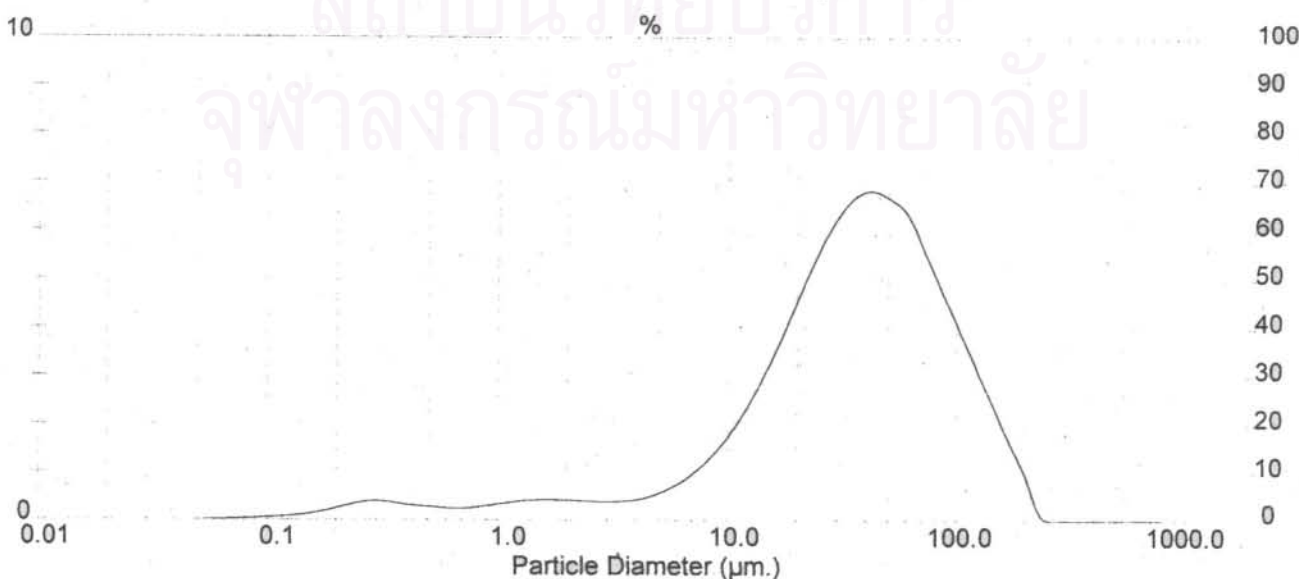
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: STPP	Run Number: 17	Measured: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 518	Analysed: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing medium : Ethanol		
Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Obscuration: 18.2 %
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.405 %
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2	

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0308 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.1141 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 7.30 um	D (v, 0.5) = 37.30 um	D (v, 0.9) = 106.76 um
D [4, 3] = 48.63 um	D [3, 2] = 5.39 um	Span = 2.667E+00	Uniformity = 8.075E-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	0.98	7.72	10.39
0.06	0.02	0.07	0.02	7.72	1.27	9.00	11.66
0.07	0.03	0.08	0.05	9.00	1.63	10.48	13.29
0.08	0.04	0.09	0.09	10.48	2.09	12.21	15.38
0.09	0.05	0.11	0.14	12.21	2.63	14.22	18.01
0.11	0.07	0.13	0.21	14.22	3.26	16.57	21.28
0.13	0.10	0.15	0.31	16.57	3.97	19.31	25.24
0.15	0.14	0.17	0.45	19.31	4.70	22.49	29.95
0.17	0.20	0.20	0.65	22.49	5.41	26.20	35.36
0.20	0.27	0.23	0.92	26.20	6.04	30.53	41.40
0.23	0.35	0.27	1.26	30.53	6.51	35.56	47.91
0.27	0.39	0.31	1.65	35.56	6.76	41.43	54.67
0.31	0.37	0.36	2.02	41.43	6.79	48.27	61.46
0.36	0.32	0.42	2.34	48.27	6.61	56.23	68.07
0.42	0.29	0.49	2.63	56.23	6.32	65.51	74.38
0.49	0.26	0.58	2.89	65.51	5.66	76.32	80.04
0.58	0.24	0.67	3.13	76.32	4.95	88.91	84.99
0.67	0.24	0.78	3.36	88.91	4.25	103.58	89.24
0.78	0.27	0.91	3.64	103.58	3.55	120.67	92.79
0.91	0.32	1.06	3.95	120.67	2.85	140.58	95.64
1.06	0.36	1.24	4.31	140.58	2.14	163.77	97.78
1.24	0.41	1.44	4.72	163.77	1.44	190.80	99.22
1.44	0.43	1.68	5.15	190.80	0.74	222.28	99.96
1.68	0.43	1.95	5.58	222.28	0.04	258.95	100.00
1.95	0.41	2.28	5.99	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.39	2.65	6.38	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.38	3.09	6.75	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.38	3.60	7.13	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.42	4.19	7.55	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.49	4.88	8.04	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.60	5.69	8.65	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.76	6.63	9.41	754.23	0.00	878.67	100.00



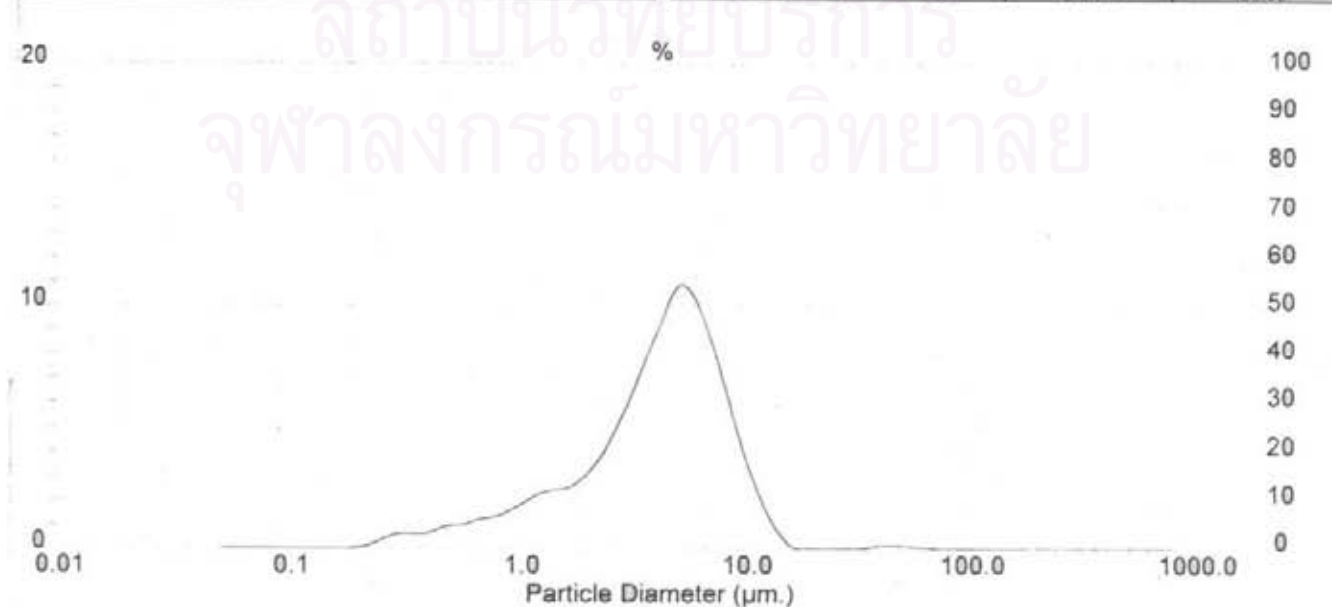
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Zeolite	Run Number: 3	Measured: 28 Jun 2005 14:34PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 465	Analyzed: 28 Jun 2005 14:34PM
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: 17.0 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.236 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active--			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0075 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 2.3673 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.18 um	D (v, 0.5) = 4.67 um	D (v, 0.9) = 8.97 um
D [4, 3] = 5.12 um	D [3, 2] = 2.53 um	Span = 1.667E+00	Uniformity = 5.452E-01

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	4.81	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	7.65	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
5.69	10.47	6.63	74.12	754.23	0.00	878.67	100.00





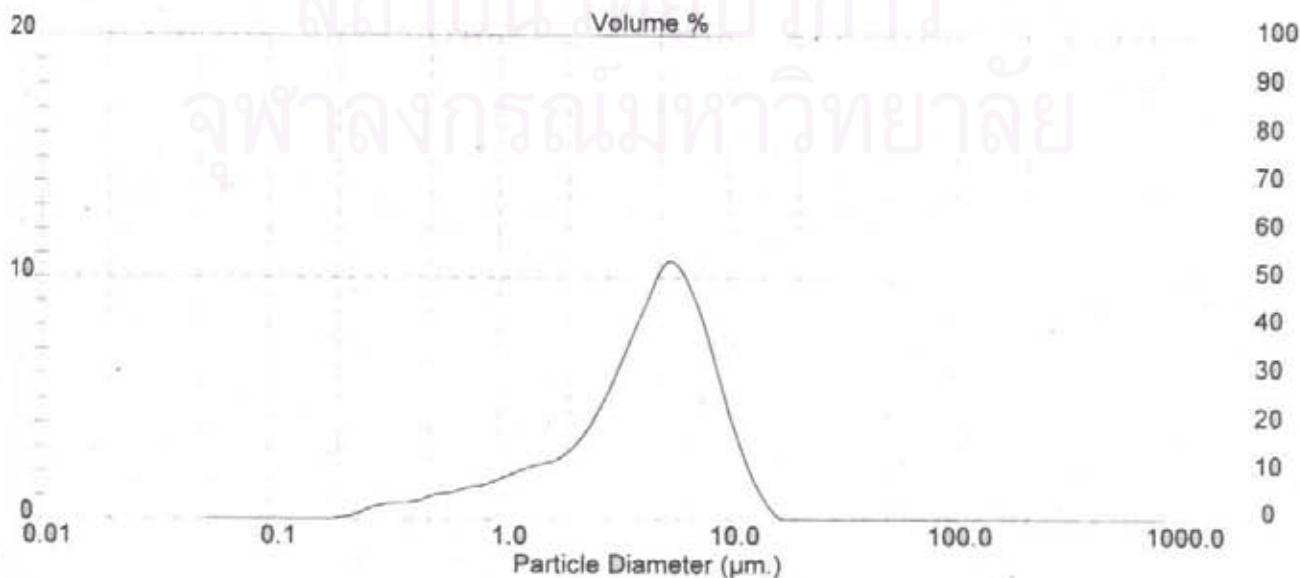
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Zeolite	Run Number: 8	Measured: 28 Jun 2005 14:34PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 467	Analysed: 28 Jun 2005 14:35PM
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
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Obscuration: 17.2 %
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.341 %
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2	

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0075 %Vol	Density = 1.006 g / cub. cm	Specific S.A. = 2.4680 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.11 um	D (v, 0.5) = 4.66 um	D (v, 0.9) = 8.97 um
D [4, 3] = 4.93 um	D [3, 2] = 2.43 um	Span = 1.669E+00	Uniformity = 5.136E-01

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	9.07	7.72	82.98
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	7.13	9.00	90.11
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.96	10.48	95.07
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.00	12.21	98.07
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	1.48	14.22	99.55
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.45	16.57	100.00
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	100.00
0.15	0.01	0.17	0.01	19.31	0.00	22.49	100.00
0.17	0.03	0.20	0.04	22.49	0.00	26.20	100.00
0.20	0.09	0.23	0.13	26.20	0.00	30.53	100.00
0.23	0.27	0.27	0.40	30.53	0.00	35.56	100.00
0.27	0.52	0.31	0.92	35.56	0.00	41.43	100.00
0.31	0.68	0.36	1.59	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.68	0.42	2.27	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	0.80	0.49	3.06	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.03	0.58	4.09	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.10	0.67	5.19	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.31	0.78	6.49	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.40	0.91	7.90	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.62	1.06	9.52	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.88	1.24	11.40	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.13	1.44	13.53	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.29	1.68	15.82	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.48	1.95	18.31	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.97	2.28	21.28	258.95	0.00	301.88	100.00
2.28	3.74	2.65	25.01	301.88	0.00	351.46	100.00
2.65	4.86	3.09	29.87	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	6.21	3.60	36.09	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	7.73	4.19	43.82	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	9.20	4.88	53.01	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	10.54	5.69	63.56	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	10.36	6.63	73.91	754.23	0.00	878.67	100.00



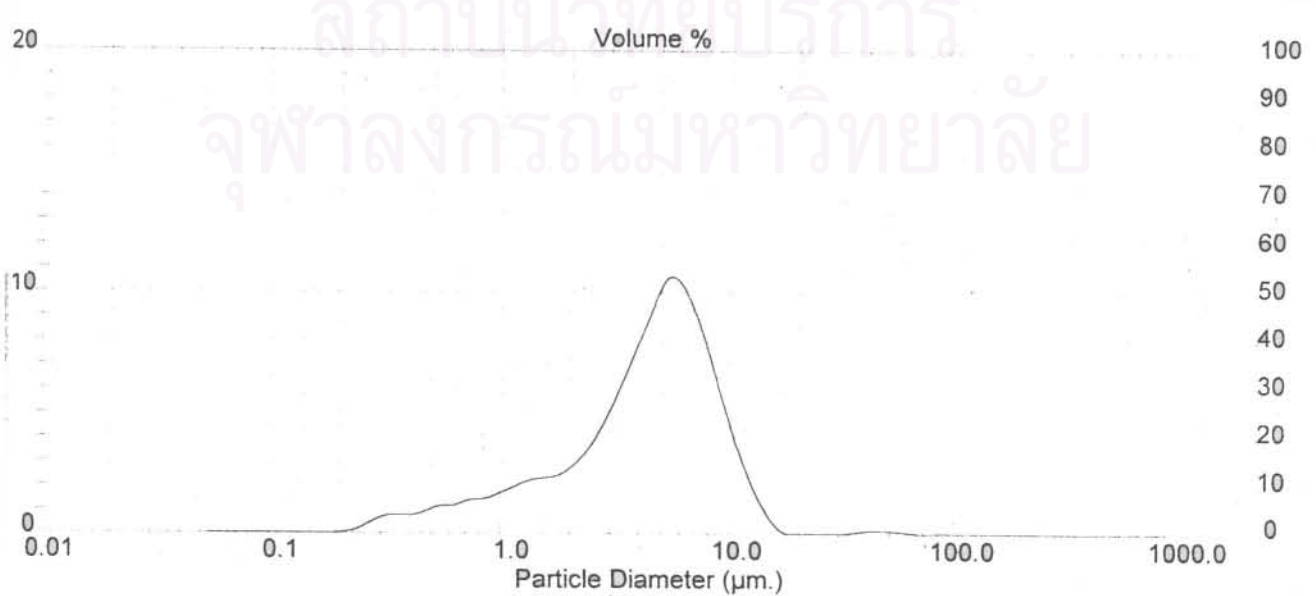
### Analysis Result

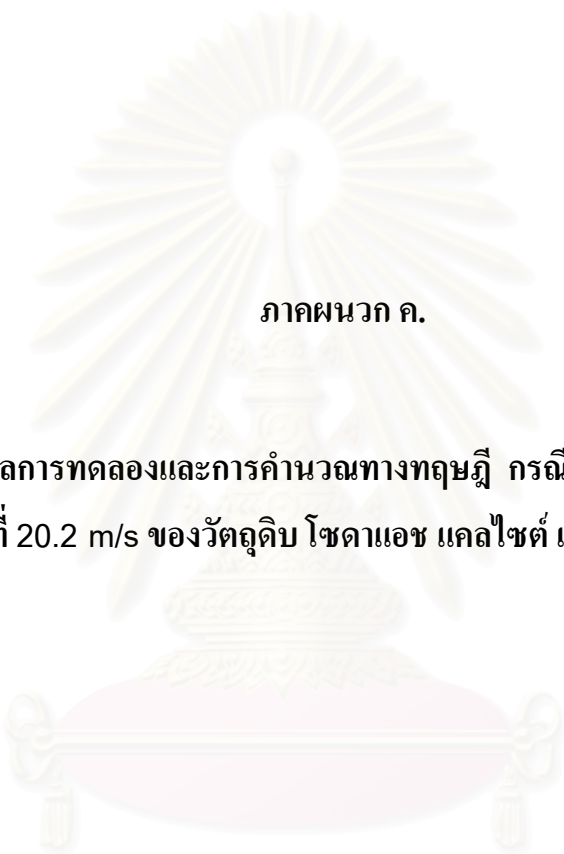
Sample Details		
Sample ID: Zeolite	Run Number: 12	Measured: 28 Jun 2005 14:35PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 468	Analysed: 28 Jun 2005 14:35PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Water Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 17.1 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.257 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active --			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0074 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 2.5124 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.06 um	D (v, 0.5) = 4.66 um	D (v, 0.9) = 9.06 um
D [4, 3] = 5.11 um	D [3, 2] = 2.39 um	Span = 1.717E+00	Uniformity = 5.582E-01

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	8.98	7.72	82.72
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	7.01	9.00	89.72
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.86	10.48	94.59
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.96	12.21	97.54
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	1.48	14.22	99.02
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.48	16.57	99.50
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	99.50
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.00	22.49	99.50
0.17	0.01	0.20	0.02	22.49	0.00	26.20	99.50
0.20	0.07	0.23	0.09	26.20	0.00	30.53	99.50
0.23	0.26	0.27	0.34	30.53	0.04	35.56	99.54
0.27	0.59	0.31	0.93	35.56	0.13	41.43	99.67
0.31	0.75	0.36	1.68	41.43	0.15	48.27	99.81
0.36	0.74	0.42	2.42	48.27	0.11	56.23	99.93
0.42	0.86	0.49	3.28	56.23	0.06	65.51	99.99
0.49	1.12	0.58	4.40	65.51	0.01	76.32	100.00
0.58	1.16	0.67	5.56	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.38	0.78	6.94	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.44	0.91	8.38	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.66	1.06	10.04	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.94	1.24	11.98	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.19	1.44	14.17	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.30	1.68	16.48	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.43	1.95	18.91	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.88	2.28	21.79	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.61	2.65	25.40	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	4.71	3.09	30.12	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	6.07	3.60	36.18	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	7.61	4.19	43.80	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	9.13	4.88	52.92	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	10.51	5.69	63.43	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	10.31	6.63	73.74	754.23	0.00	878.67	100.00





ภาคผนวก ค.

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

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลนไม่หมุน)

อนุภาค	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (กราฟ)	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (คำนวณ)	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 1	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 2	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 3	ประสิทธิภาพ 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

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

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลนไม่หมุน แต่เปลี่ยนแปลงความเร็ว ของ STPP)

Vin	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (กราฟ)	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (คำนวณ)	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 1	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 2	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 3	ประสิทธิภาพ 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

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

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลนหมุน)

อนุภาค	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (กราฟ)	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (คำนวณ)	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 1	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 2	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 3	ประสิทธิภาพ n เฉลี่ย
ไซตาแอซ	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

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

ตารางสรุปผลการทดลอง (ในกรณีที่ Body โคลนหมุน แต่เปลี่ยนแปลงความเร็ว ของ STPP)

Vin	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (กราฟ)	ประสิทธิภาพ n ทฤษฎี (คำนวณ)	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 1	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 2	ประสิทธิภาพ n ทดลอง 3	ประสิทธิภาพ n เฉลี่ย
15.7	98.89	93.31	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

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

วันที่ 07/01/06

ผงฝุ่น

ไซตาแคช

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	369.1	60.5	2960.9	2900.4	3269.5	11.29	32371.29
			ไม่หมุน	Overall			0.3030		2785.2				12150.8	22.92	40101.65
คุณหม่อม	30 C		หมุน	Overall			0.3030		1101.9				10271.3	10.73	33898.68

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนไม่หมุน)**

อนุภาค โขดตาแอส

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 1400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 20.2 \text{ m/s}$

$dp_{50} \text{ (cut)} = 0.9186046 \text{ } \mu\text{m}$

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

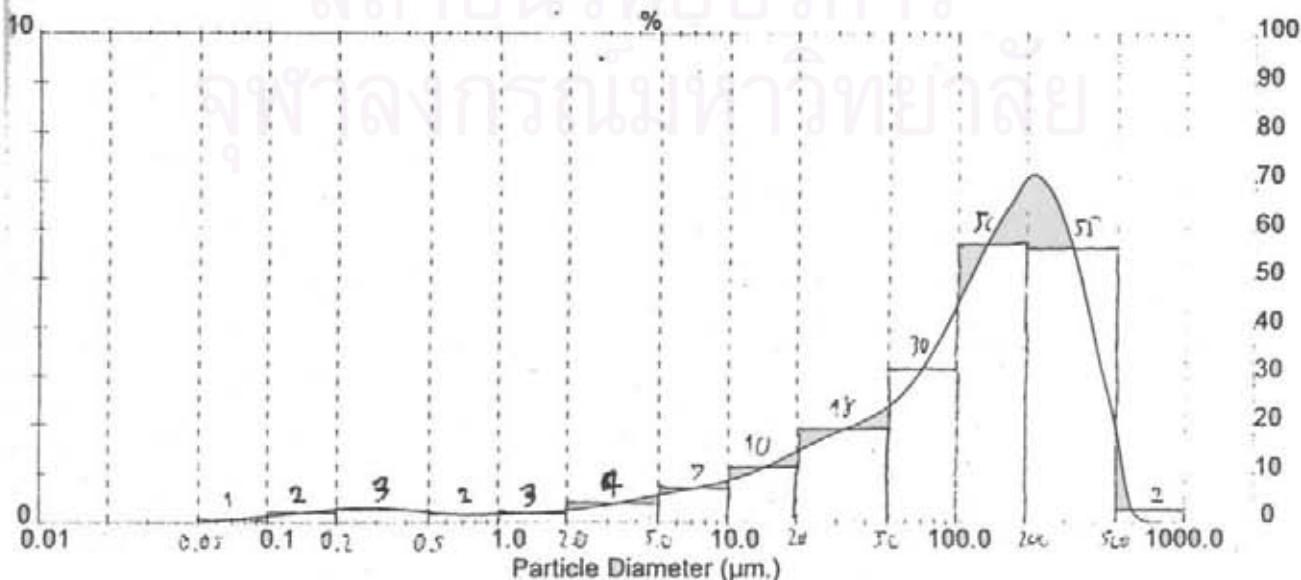
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Soda ash	Run Number: 13	Measured: 28 Jun 2005 16:15PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 499	Analysed: 28 Jun 2005 16:15PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Ethanol Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 17.7 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		Residual: 0.692 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2		

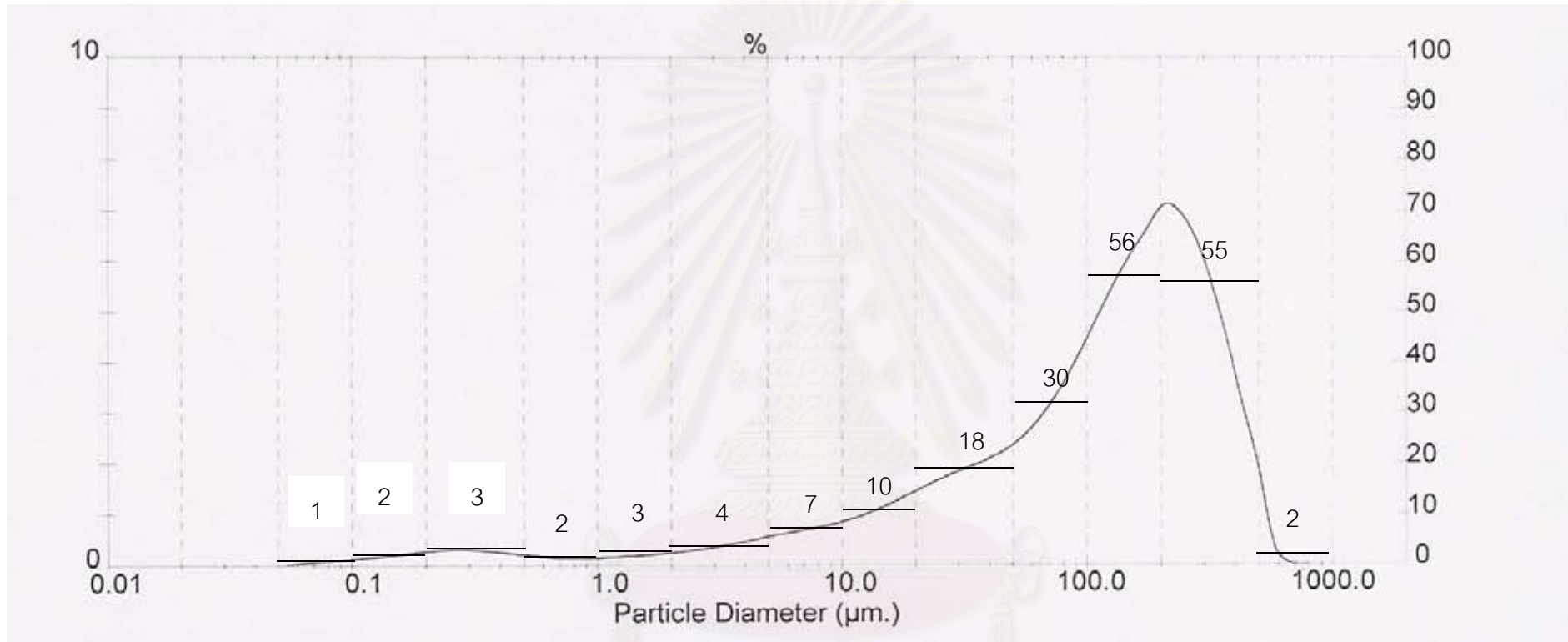
Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0435 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.1842 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 10.22 um	D (v, 0.5) = 132.06 um	D (v, 0.9) = 339.80 um
D [4, 3] = 155.86 um	D [3, 2] = 5.07 um	Span = 2.496E+00	Uniformity = 7.784E-01

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	0.78	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	14.80
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	1.78	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	0.28	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	3.68	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	72.28
1.68	0.22	1.95	4.41	222.28	8.98	258.95	79.22
1.95	0.25	2.28	4.66	258.95	8.42	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
5.69	0.64	6.63	7.88	754.23	0.00	878.67	100.00



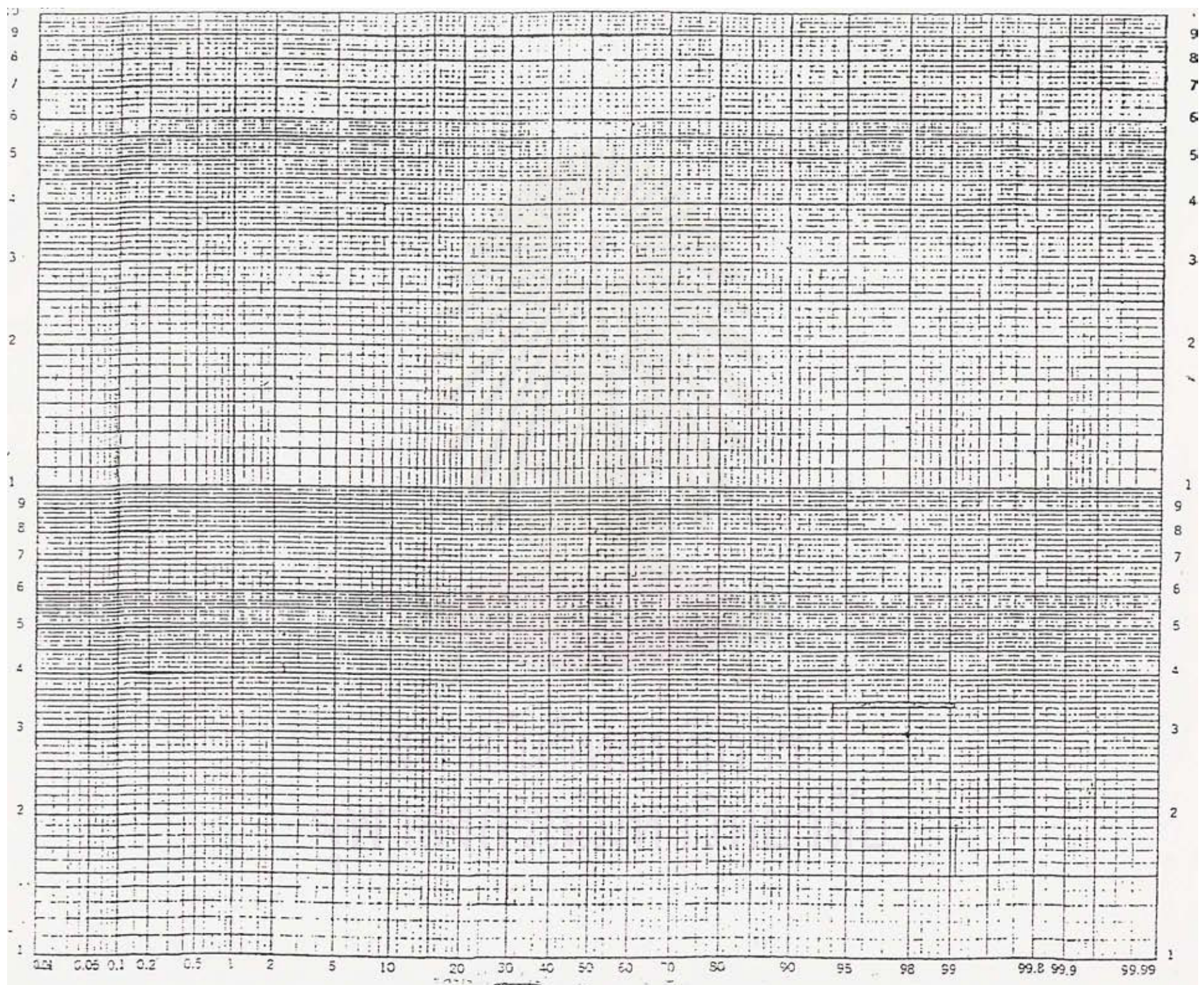


## Soda Ash (13)

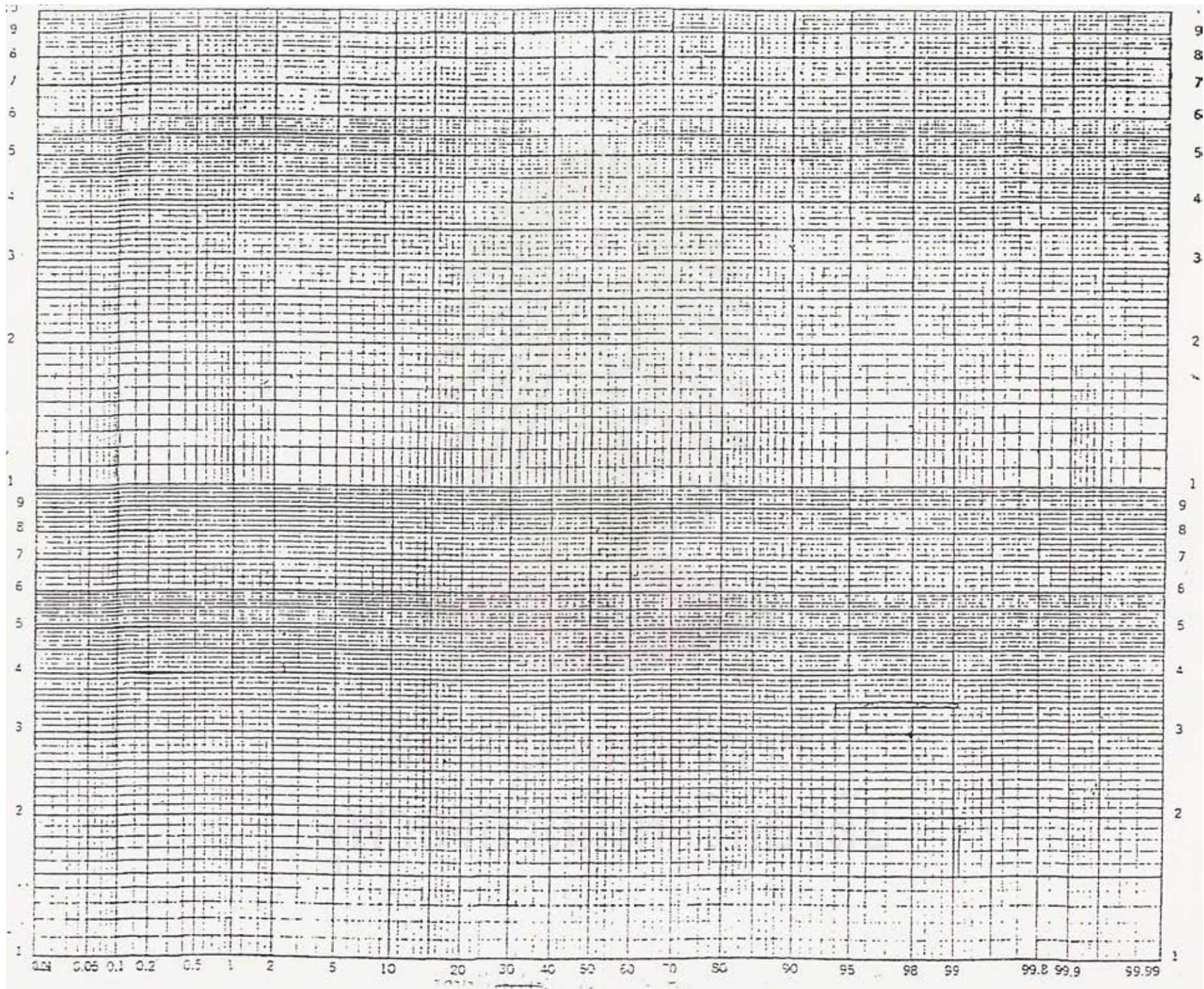


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย











$$dp_{50}(\text{graph}) = 0.125 \mu\text{m}$$

### การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น

$$dp_{50} \text{ ที่ได้จากกราฟคือ } 0.125 \mu\text{m} \quad dp_{50} \text{ ที่ได้จากการคำนวณ } 0.919 \mu\text{m}$$

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ graph	Frequency	Frequency	dp (um)	$\eta(j)$ 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	3.9949	3.5	0.9356	4.00	3.7422193
7.5	0.9997	7.00	6.9981	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	Sum		193.00	185.00
		$\eta$ (รวม)	98.98			$\eta$ (รวม)	95.86

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ โซดาแอช

$$\eta (\%) = 98.98 \text{ (กราฟ)} \quad 95.86 \text{ (คำนวณ)}$$

### การคำนวณค่า Pressure drop

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



$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$K = 16$  Tangential  
 $H = 10$  cm  
 $W = 5$  cm  
 $D_e = 10$  cm

80

$$H_v = 8$$

$\rho_g = 1.1664604$  Kg/m<sup>3</sup>      30 C  
 $V_g = 20.2$  m/s

$$\Delta P (cal) = 1903.85 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Pa)}$$

$= 19.427041$  cm Water ;  $\rho_{\text{water}} = 1000$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $= 7.6484413$  inch Water



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)**

อนุภาค โขดแอซ

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 1400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 20.2 \text{ m/s}$   
 $V_{body} = 14 \text{ rpm}$   
 $= 0.1466667 \text{ m/s}$   
 $V_{(g + body)} = 20.346667 \text{ m/s}$

$$dp_{50} \text{ (cut)} = 0.9152878 \text{ } \mu\text{ m}$$

**การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น**

dp50 ที่ได้จากการคำนวณ  $0.915 \text{ } \mu\text{ m}$  (ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ 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
		<b>η (รวม)</b>	<b>95.86</b>

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ โซดาแอช

$$\eta (\%) = 95.86 \text{ (คำนวณ)}$$

#### การคำนวณค่า Pressure drop

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho_g * V_g^2 * H_v$$

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$$K = 16 \text{ Tangential}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$W = 5 \text{ cm}$$

$$D_e = 10 \text{ cm}$$

$$H_v = 8$$

$$\rho_g = 1.1664604 \text{ Kg/m}^3 \quad 30 \text{ C}$$

$$V(g+body) = 20.346667 \text{ m/s}$$

$$\Delta P (\text{cal}) = 1931.597 \text{ Kg/m}^2 (\text{Pa}) \quad (\text{ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว})$$

$$= 19.710174 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 7.759911 \text{ inch Water}$$

วันที่ 15/01/06

ผงฝุ่น

แคลไซต์

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				2440.7				7472.0	32.66	24660.07
คุณหม่อม	31 C	หมุน	Overall		0.3030				1526.1				6959.9	21.93	22969.97

หมายเหตุ ฝุ่นที่ Bag filter ในวันทดลองมีฝุ่นผงของ ซีโอไลต์ปนมา อาจเนื่องมาจากการตกค้างในระบบท่อ เพราะขณะทำการทดลองมีการเทซีโอไลต์ก่อนหน้าการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



อนุภาค แคลไซต์

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (L_b + L_c/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $L_b, L_c = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 900 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 20.2 \text{ m/s}$

$dp_{50} (cut) = 1.1457012 \text{ } \mu\text{m}$

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

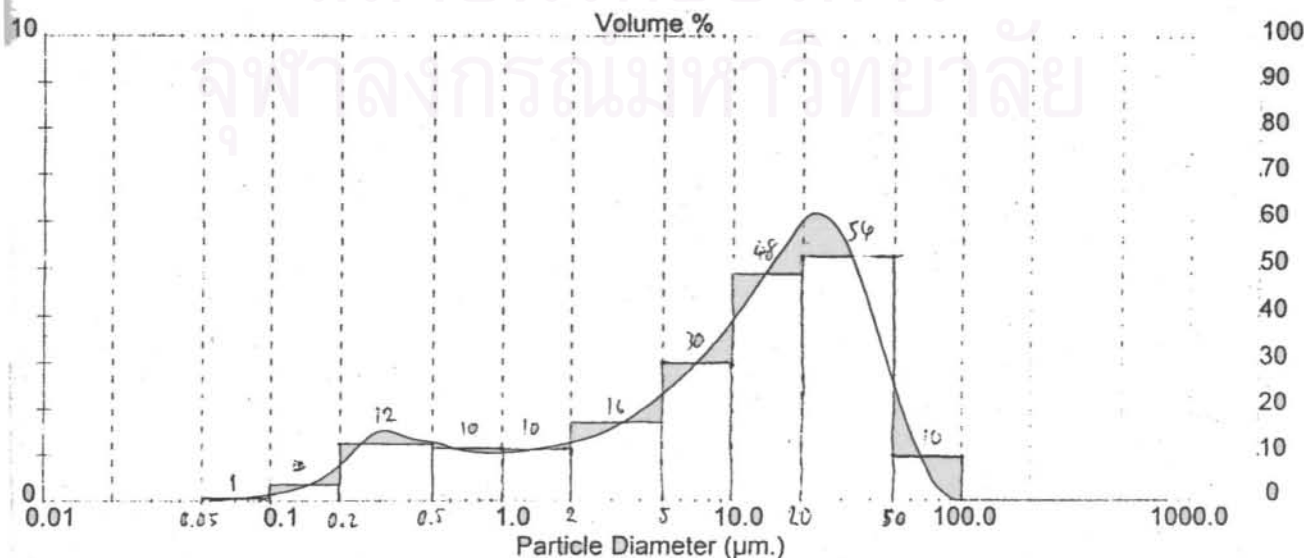
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Calcite	Run Number: 5	Measured: 28 Jun 2005 14:42PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 477	Analysed: 28 Jun 2005 14:42PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing medium: Water		
Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

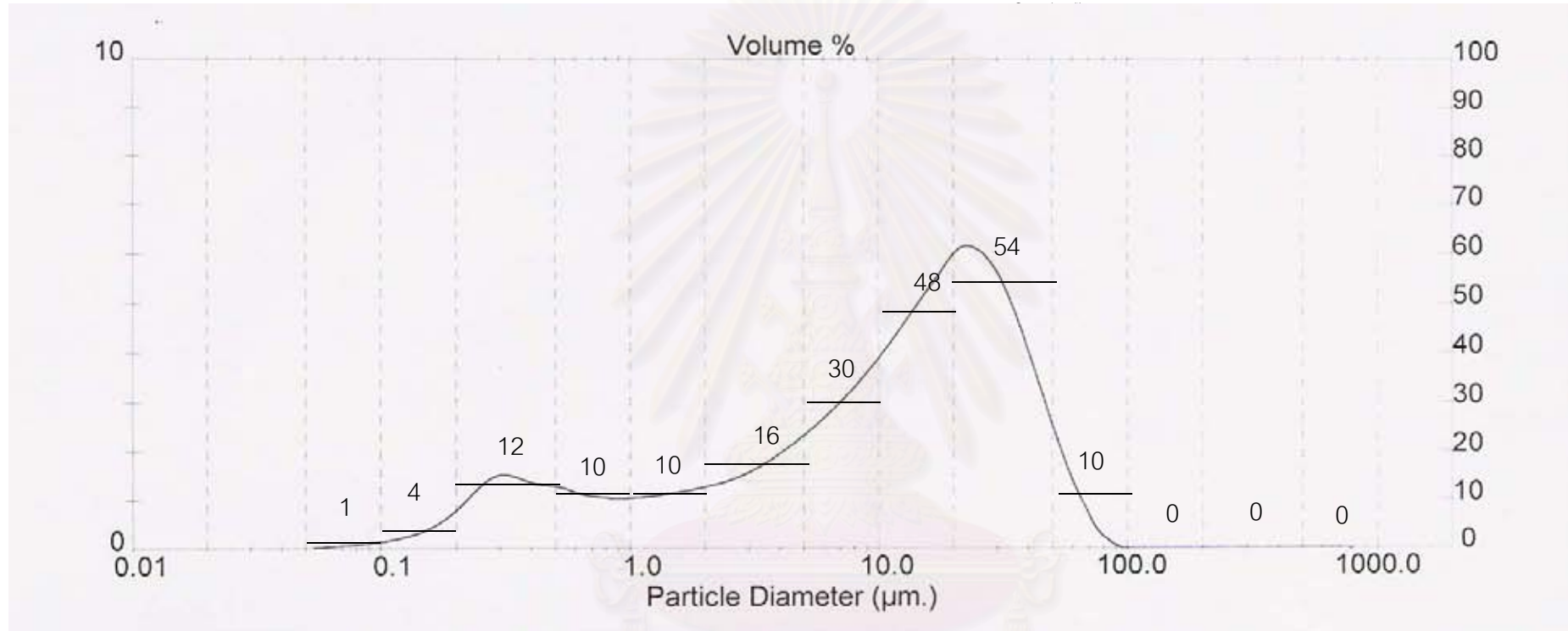
System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 15.9 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		Residual: 0.278 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active -	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
	Killed Result Channels: < 0.05 um; > 120.87 um.		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0094 %Vol	Density = 1.000 g/cub. cm	Specific S.A. = 3.5001 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.51 um	D (v, 0.5) = 12.55 um	D (v, 0.9) = 38.12 um
D [4, 3] = 16.40 um	D [3, 2] = 1.71 um	Span = 2.998E+00	Uniformity = 9.547E-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	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	0.08	0.13	9.00	3.80	10.48	44.95
0.08	0.10	0.09	0.22	10.48	4.24	12.21	49.20
0.09	0.14	0.11	0.36	12.21	4.71	14.22	53.90
0.11	0.20	0.13	0.56	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	19.31	6.07	22.49	70.79
0.17	0.62	0.20	1.87	22.49	6.11	26.20	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	35.56	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
0.36	1.37	0.42	8.38	48.27	2.27	56.23	97.79
0.42	1.30	0.49	9.88	56.23	1.36	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	76.32	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	14.16	103.58	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	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
2.28	1.38	2.65	22.38	301.68	0.00	351.46	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	27.46	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	2.41	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

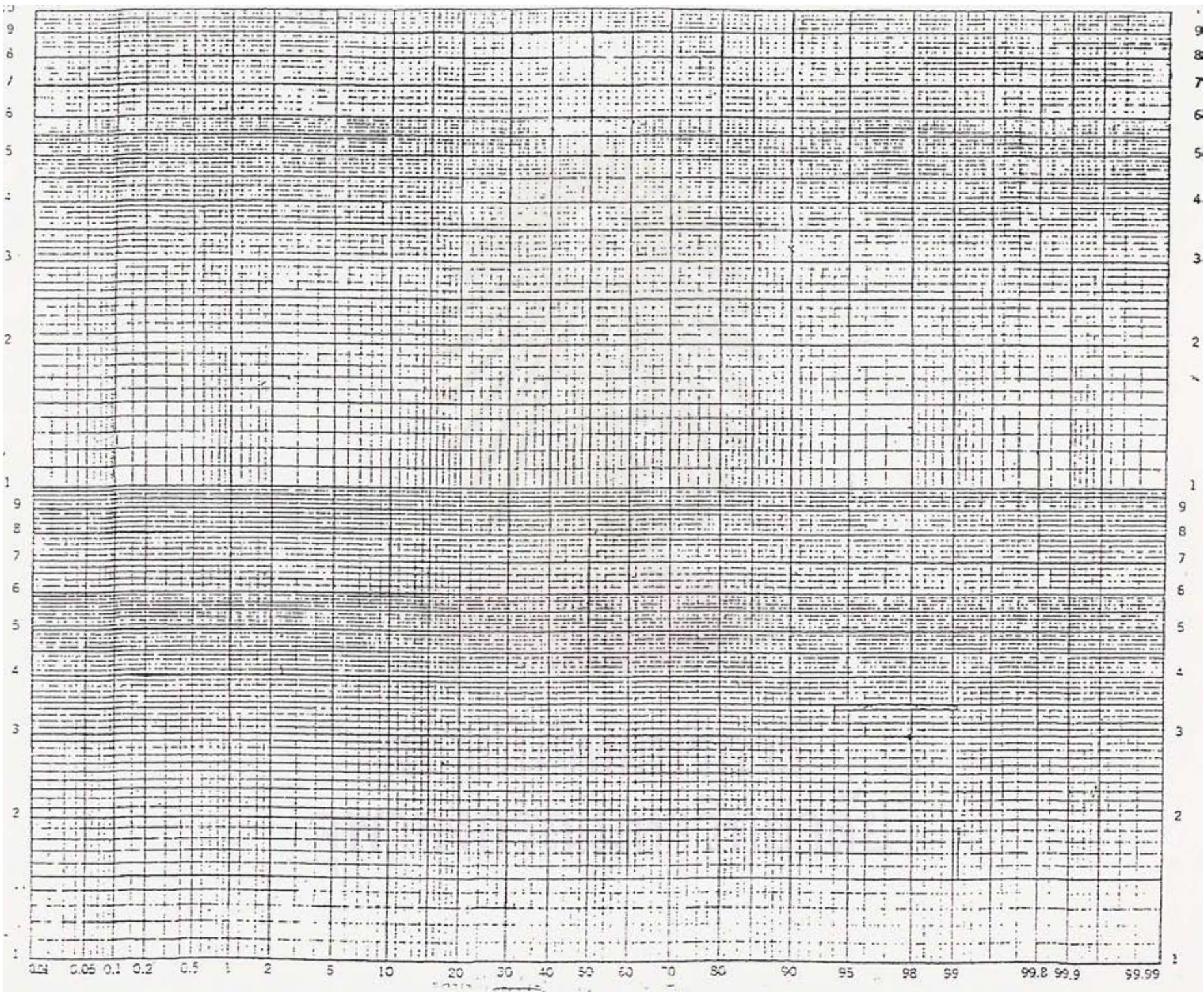


Calcite (5)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







$$dp_{50}(\text{graph}) = 0.19 \mu\text{m}$$

### การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น

$$dp_{50} \text{ ที่ได้จากกราฟคือ } 0.19 \mu\text{m} \quad dp_{50} \text{ ที่ได้จากการคำนวณ } 1.146 \mu\text{m}$$

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ graph	Frequency	Frequency	dp (um)	$\eta(j)$ 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	15.9530	3.5	0.9032	16.00	14.451473
7.5	0.9994	30.00	29.9808	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	Sum		195.00	165.84
		$\eta$ (รวม)	96.46			$\eta$ (รวม)	85.05

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ แคลไซค์

$$\eta (\%) = 96.46 \text{ (กราฟ)} \quad 85.05 \text{ (คำนวณ)}$$

### การคำนวณค่า Pressure drop

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

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

K = 16 Tangential  
 H = 10 cm  
 W = 5 cm  
 D<sub>e</sub> = 10 cm

89

$$H_v = 8$$

$\rho_g = 1.1626234 \text{ Kg/m}^3$       31 C  
 V<sub>g</sub> = 20.2 m/s

$$\Delta P \text{ (cal)} = 1897.5873 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Pa)}$$

= 19.363136 cm Water ;  $\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$   
 = 7.6232819 inch Water



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)**

อนุภาค โขดคาเอส

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$$

$$W = 0.05 \text{ m}$$

$$Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$Lb, Lc = 40 \text{ cm}$$

$$Ne = 6$$

$$\rho_p = 1400 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_g = 20.2 \text{ m/s}$$

$$V_{body} = 14 \text{ rpm}$$

$$= 0.1466667 \text{ m/s}$$

$$V(g + body) = 20.346667 \text{ m/s}$$

$$dp_{50} (cut) = 0.9152878 \text{ } \mu\text{m}$$

**การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น**

dp50 ที่ได้จากการคำนวณ 0.915  $\mu\text{m}$  (ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ 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
		<b>η (รวม)</b>	<b>95.86</b>

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ โซดาแอช

$$\eta (\%) = 95.86 \text{ (คำนวณ)}$$

#### การคำนวณค่า Pressure drop

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho_g * V_g^2 * H_v$$

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$$K = 16 \text{ Tangential}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$W = 5 \text{ cm}$$

$$D_e = 10 \text{ cm}$$

$$H_v = 8$$

$$\rho_g = 1.1664604 \text{ Kg/m}^3 \quad 30 \text{ C}$$

$$V(g+body) = 20.346667 \text{ m/s}$$

$$\Delta P (\text{cal}) = 1931.597 \text{ Kg/m}^2 (\text{Pa}) \quad (\text{ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว})$$

$$= 19.710174 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 7.759911 \text{ inch Water}$$



วันที่ 07/01/06

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	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				1439.2				10375.7	13.87	34243.23
คุณหม่อม	30 C	หมุน	Overall		0.3030				1124.8				10137.7	11.10	33457.76

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 20.2 \text{ m/s}$

$dp_{50} \text{ (cut)} = 1.7185518 \text{ } \mu\text{m}$

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

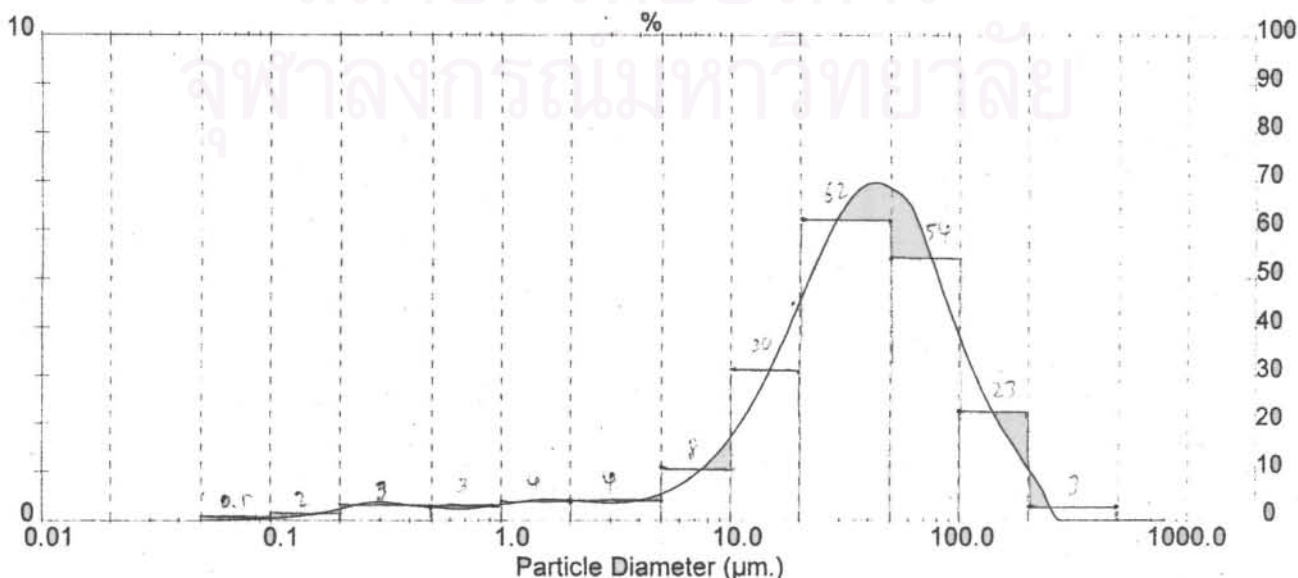
### Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: STPP	Run Number: 10	Measured: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample File: OTHER13	Record Number: 513	Analysed: 28 Jun 2005 16:23PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : Ethanol Tested by Kaew Kajornchaiyakul		

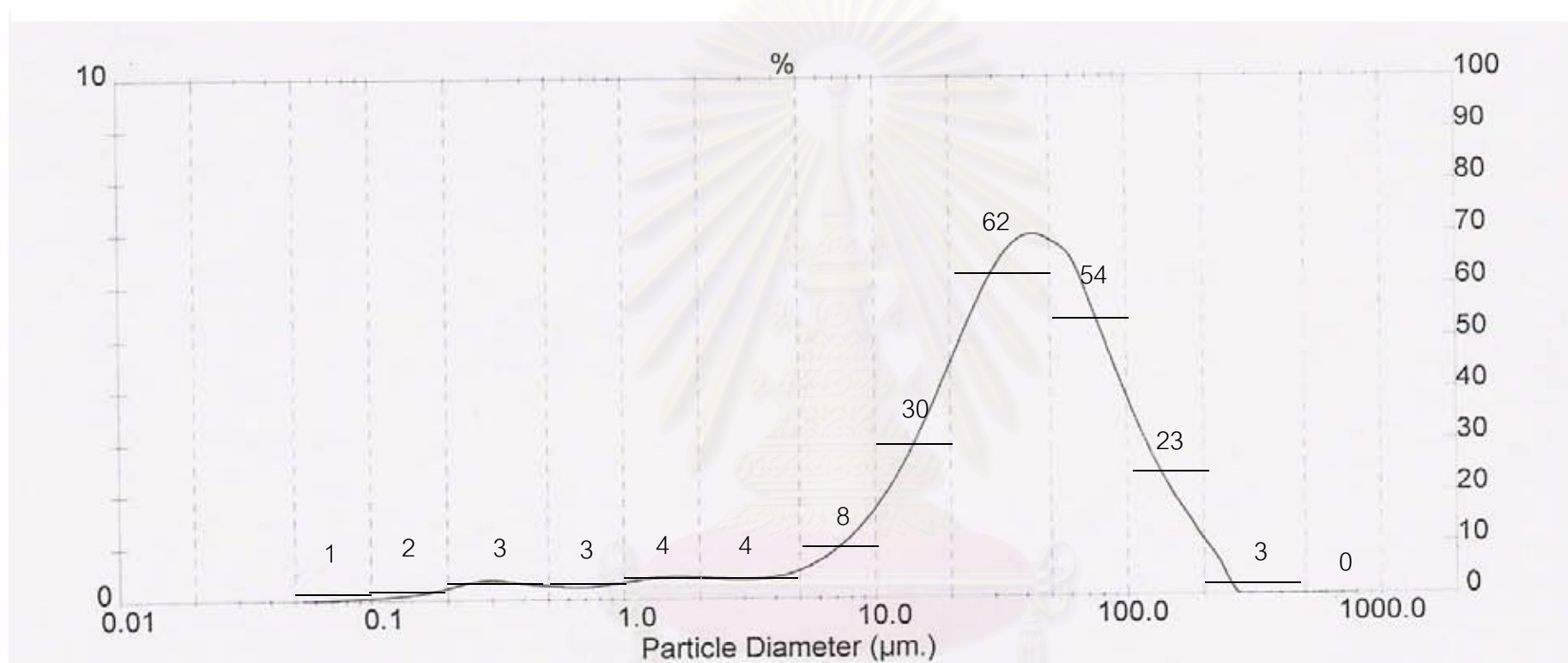
System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 18.0 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		Residual: 0.558 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0309 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0946 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 7.58 um	D (v, 0.5) = 37.48 um	D (v, 0.9) = 106.38 um
D [4, 3] = 49.22 um	D [3, 2] = 5.48 um	Span = 2.636E+00	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	6.83	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
0.67	0.24	0.78	3.30	88.91	4.04	103.58	89.38
0.78	0.27	0.91	3.57	103.58	3.24	120.67	92.62
0.91	0.31	1.06	3.89	120.67	2.55	140.58	95.17
1.06	0.36	1.24	4.25	140.58	1.95	163.77	97.11
1.24	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
1.68	0.42	1.95	5.49	222.28	0.47	258.95	100.00
1.95	0.40	2.28	5.89	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.37	2.65	6.26	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.36	3.09	6.62	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.36	3.60	6.99	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.40	4.19	7.38	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.47	4.88	7.85	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.58	5.69	8.43	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.74	6.63	9.17	754.23	0.00	878.67	100.00

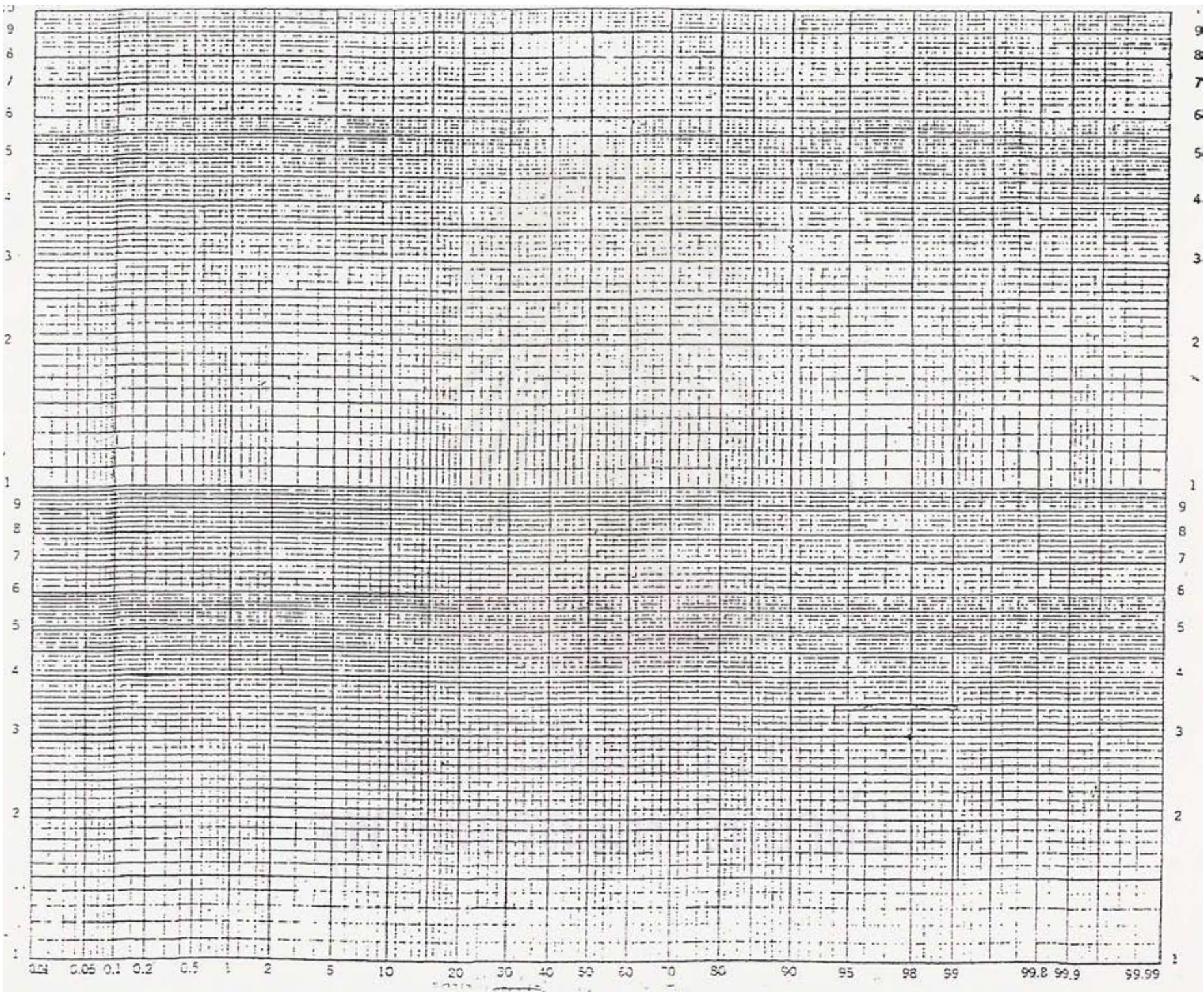


STPP (10)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







$$dp_{50}(\text{graph}) = 0.135 \mu\text{m}$$

### การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น

$$dp_{50} \text{ ที่ได้จากกราฟคือ } 0.135 \mu\text{m} \quad dp_{50} \text{ ที่ได้จากการคำนวณ } 1.719 \mu\text{m}$$

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ graph	Frequency	Frequency	dp (um)	$\eta(j)$ 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	3.9679	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	7.9974	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	Sum		197.00	184.60
		$\eta$ (รวม)	98.89			$\eta$ (รวม)	93.71

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

$$\eta (\%) = 98.89 \text{ (กราฟ)} \quad 93.71 \text{ (คำนวณ)}$$

### การคำนวณค่า Pressure drop

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

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$K = 16$  Tangential  
 $H = 10$  cm  
 $W = 5$  cm  
 $D_e = 10$  cm

$$H_v = 8$$

$\rho_g = 1.1664604$  Kg/m<sup>3</sup>      30 C  
 $V_g = 20.2$  m/s

$$\Delta P (cal) = 1903.85 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Pa)}$$

$= 19.427041$  cm Water ;  $\rho_{\text{water}} = 1000$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $= 7.6484413$  inch Water



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)**

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 20.2 \text{ m/s}$   
 $V_{body} = 14 \text{ rpm}$   
 $= 0.1466667 \text{ m/s}$   
 $V_{(g + body)} = 20.346667 \text{ m/s}$   
 $dp_{50} (cut) = 1.7123466 \text{ } \mu\text{ m}$

**การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น**

dp50 ที่ได้จากการคำนวณ  $1.712 \text{ } \mu\text{ m}$  (ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ 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
		$\eta$ (รวม)	93.72

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP  
 $\eta$  (%) = 93.72 (คำนวณ)

#### การคำนวณค่า Pressure drop

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho_g * V_g^2 * H_v$$

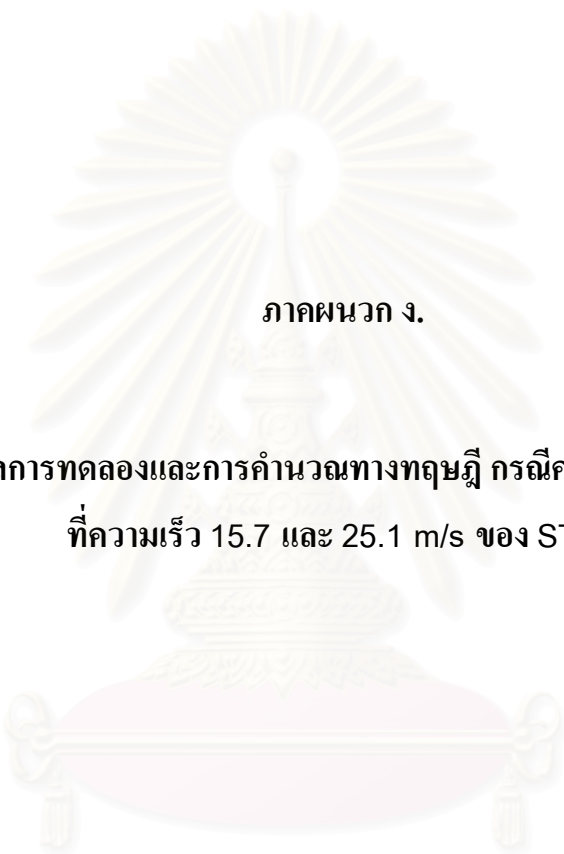
$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$K = 16$  Tangential  
 $H = 10$  cm  
 $W = 5$  cm  
 $D_e = 10$  cm  
 $H_v = 8$   
 $\rho_g = 1.1664604$  Kg/m<sup>3</sup> 30 C  
 $V(g+body) = 20.346667$  m/s

$$\Delta P (cal) = 1931.597 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Pa)} \quad (\text{ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว})$$

$$= 19.710174 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 7.759911 \text{ inch Water}$$



ภาคผนวก ง.

ข้อมูลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี กรณีความเร็วไม่คงที่  
ที่ความเร็ว 15.7 และ 25.1 m/s ของ STPP

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 8/02/06

ผ่งฝุ่น

STPP

V less than

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)
15.7	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
	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			306.4			2428.4	12.62	10311.68	
อุณหภูมิ	32 C	หมุน	Overall			0.2355			271.1			2404.7	11.27	10211.04	

ฝุ่นที่กระจาย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนไม่หมุน)**

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 15.7 \text{ m/s}$

$dp_{50} \text{ (cut)} = 1.949344 \text{ } \mu\text{m}$

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



$$dp_{50}(\text{graph}) = 0.135 \mu\text{m}$$

### การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น

dp<sub>50</sub> ที่ได้จากกราฟคือ 0.135  $\mu\text{m}$  dp<sub>50</sub> ที่ได้จากการคำนวณ 1.949  $\mu\text{m}$

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ graph	Frequency	Frequency	dp (um)	$\eta(j)$ 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	3.9941	3.5	0.7632	4.00	3.0529705
7.5	0.9997	8.00	7.9974	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	Sum		197.00	183.80
		$\eta$ (รวม)	98.89			$\eta$ (รวม)	93.30

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

$$\eta (\%) = 98.89 \text{ (กราฟ)} \quad 93.30 \text{ (คำนวณ)}$$

### การคำนวณค่า Pressure drop

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

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$$K = 16 \text{ Tangential}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$W = 5 \text{ cm}$$

$$D_e = 10 \text{ cm}$$

$$H_v = 8$$

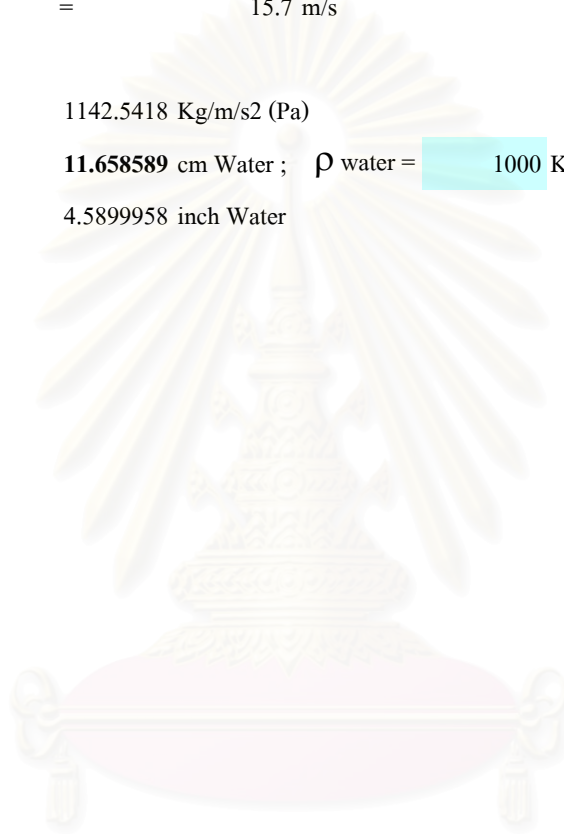
$$\rho_g = 1.1588115 \text{ Kg/m}^3 \quad 32 \text{ C}$$

$$V_g = 15.7 \text{ m/s}$$

$$\Delta P \text{ (cal)} = 1142.5418 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Pa)}$$

$$= 11.658589 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 4.5899958 \text{ inch Water}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)**

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 15.7 \text{ m/s}$   
 $V_{body} = 14 \text{ rpm}$   
 $= 0.1466667 \text{ m/s}$   
 $V_{(g + body)} = 15.846667 \text{ m/s}$   
 $dp_{50} (cut) = 1.9403021 \mu\text{ m}$

**การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น**

dp50 ที่ได้จากการคำนวณ 1.940  $\mu\text{ m}$  (ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ 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
		<b>η (รวม)</b>	<b>93.31</b>

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

$$\eta (\%) = 93.31 \text{ (คำนวณ)}$$

#### การคำนวณค่า Pressure drop

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho_g * V_g^2 * H_v$$

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$$K = 16 \text{ Tangential}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$W = 5 \text{ cm}$$

$$D_e = 10 \text{ cm}$$

$$H_v = 8$$

$$\rho_g = 1.1588115 \text{ Kg/m}^3 \quad 32 \text{ C}$$

$$V(g+body) = 15.846667 \text{ m/s}$$

$$\Delta P \text{ (cal)} = 1163.9883 \text{ Kg/m}^2 \text{ (Pa)} \quad (\text{ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว})$$

$$= 11.877432 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 4.6761543 \text{ inch Water}$$



วันที่ 07/01/06

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				633.8				3170.8	19.99	8421.78
คุณหม่อม	32 C	หมุน	Overall		0.3765				451.9				2869.1	15.75	7620.45

$$V_{Max} = \sqrt{\frac{\pi \rho_p d_p^3 g^2}{3 C_D \cos^2 \theta \rho_f s}}$$

$$\cos \theta = \frac{H}{\sqrt{H^2 + \pi^2 R^2}}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนไม่หมุน)**

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (Lb + Lc/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $Lb, Lc = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 25.1 \text{ m/s}$

$dp_{50} \text{ (cut)} = 1.5417056 \text{ } \mu\text{m}$

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 μ m

**การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น**

dp50 ที่ได้จากกราฟคือ 0.135 μ m      dp50 ที่ได้จากการคำนวณ 1.542 μ m

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

$$\eta (j) = \frac{1}{[ 1 + ( dp50 / dp(j) )^2 ]}$$

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	3.9679	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	7.9974	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 (รวม)	98.89			η (รวม)	94.04

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

η (%) = 98.89 (กราฟ)      94.04 (คำนวณ)

**การคำนวณค่า Pressure drop**

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

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$$K = 16 \text{ Tangential}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$W = 5 \text{ cm}$$

$$D_e = 10 \text{ cm}$$

$$H_v = 8$$

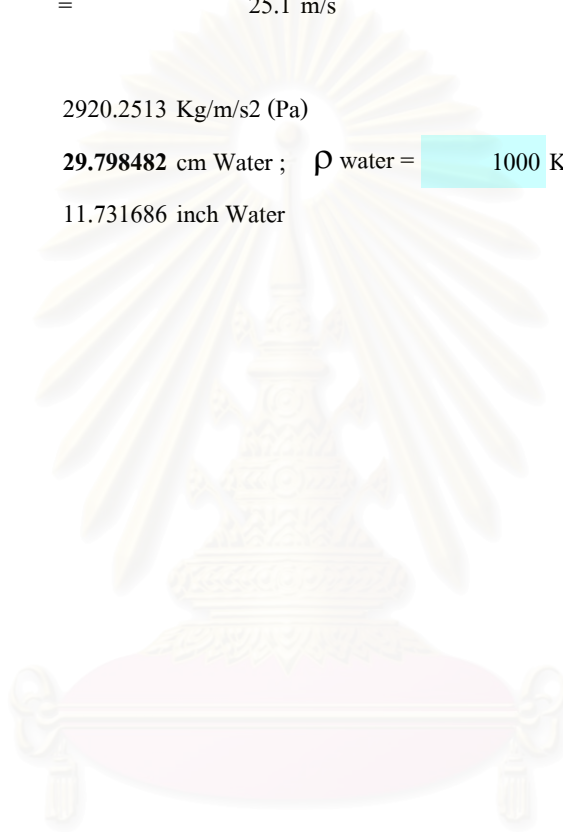
$$\rho_g = 1.1588115 \text{ Kg/m}^3 \quad 32 \text{ C}$$

$$V_g = 25.1 \text{ m/s}$$

$$\Delta P (\text{cal}) = 2920.2513 \text{ Kg/m}^2 (\text{Pa})$$

$$= 29.798482 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 11.731686 \text{ inch Water}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**การคำนวณค่า dp 50 จากการคำนวณ และ จากกราฟ log-normal (สำหรับกรณีไซโคลนหมุน)**

อนุภาค STPP

จากสูตรการคำนวณในบทที่ 2

$$dp_{50} = \frac{(9 * \mu * W)^{1/2}}{(2 * 22/7 * Ne * \rho_p * V_g)}$$

$\mu_{air} = 2.00E-06 \text{ Kg/m/s}$   
 $W = 0.05 \text{ m}$   
 $Ne = 1/H * (L_b + L_c/2)$   
 $H = 10 \text{ cm}$   
 $L_b, L_c = 40 \text{ cm}$   
 $Ne = 6$   
 $\rho_p = 400 \text{ Kg/m}^3$   
 $V_g = 25.1 \text{ m/s}$   
 $V_{body} = 14 \text{ rpm}$   
 $= 0.1466667 \text{ m/s}$   
 $V_{(g + body)} = 25.246667 \text{ m/s}$   
 $dp_{50} (cut) = 1.5372209 \text{ } \mu\text{ m}$

**การคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่น**

dp50 ที่ได้จากการคำนวณ  $1.537 \text{ } \mu\text{ m}$  (ที่แก้ค่าความเร็ว Body ไซโคลนแล้ว)

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

$$\eta(j) = \frac{1}{[1 + (dp_{50} / dp(j))^2]}$$

dp (um)	$\eta(j)$ 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
		<b>η (รวม)</b>	<b>94.05</b>

สรุป ประสิทธิภาพการเก็บสะสมฝุ่นจากการคำนวณของ STPP

$$\eta (\%) = 94.05 \text{ (คำนวณ)}$$

#### การคำนวณค่า Pressure drop

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho_g * V_g^2 * H_v$$

$$H_v = K * H * W / D_e^2$$

$$K = 16 \text{ Tangential}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$W = 5 \text{ cm}$$

$$D_e = 10 \text{ cm}$$

$$H_v = 8$$

$$\rho_g = 1.1588115 \text{ Kg/m}^3 \quad 32 \text{ C}$$

$$V(g+body) = 25.246667 \text{ m/s}$$

$$\Delta P (\text{cal}) = 2954.4788 \text{ Kg/m}^2 (\text{Pa}) \quad (\text{ที่แก้ค่าความเร็ว Body แล้ว})$$

$$= 30.147742 \text{ cm Water ; } \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 11.86919 \text{ inch Water}$$

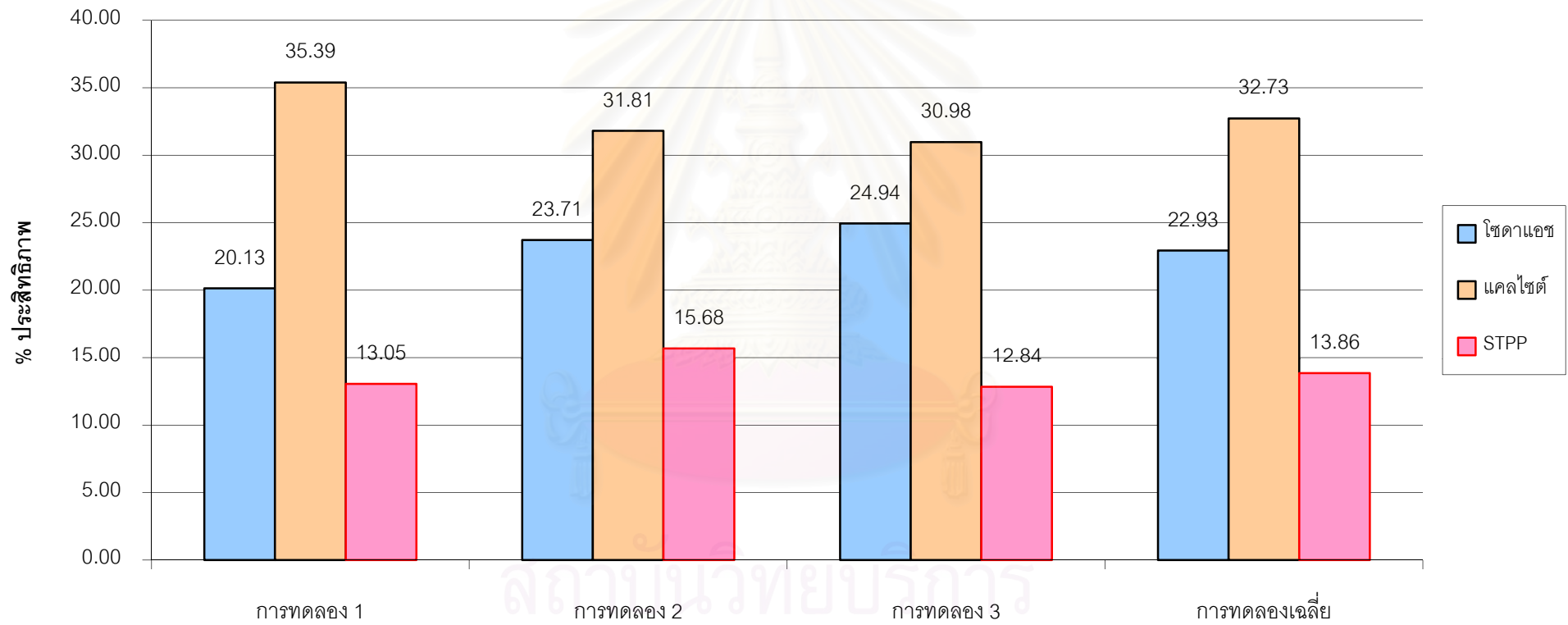


ภาคผนวก จ.

กราฟผลการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

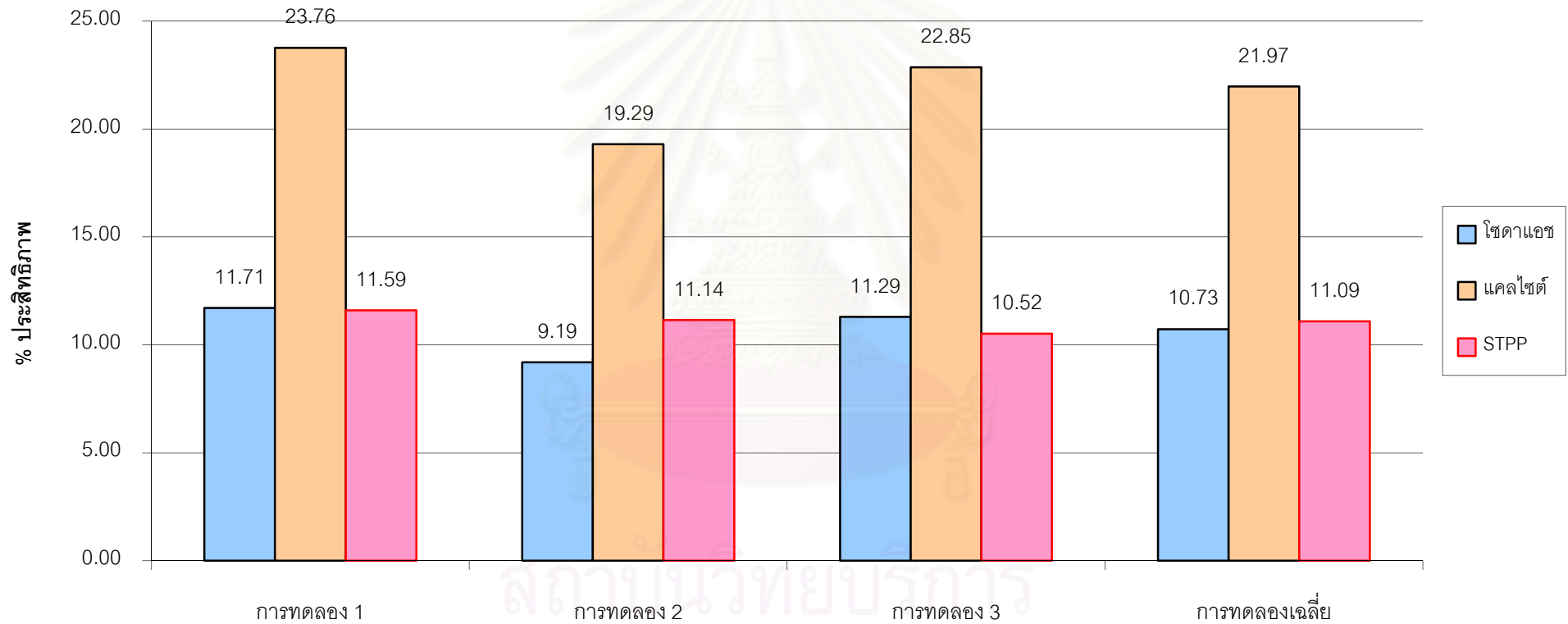
ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของโซดาแอช แคลไซต์ และ STPP  
จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน ไม่หมุน



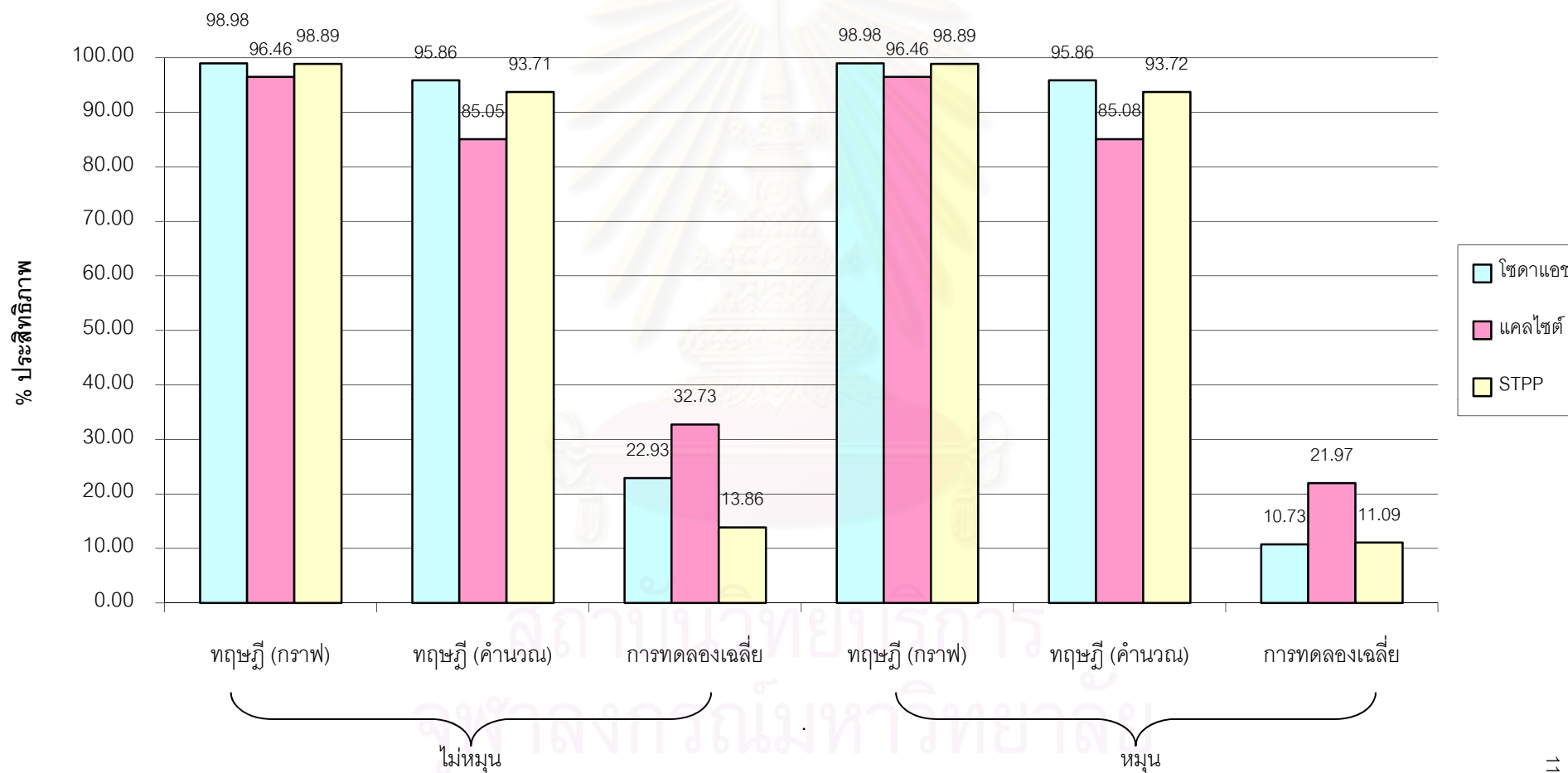
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



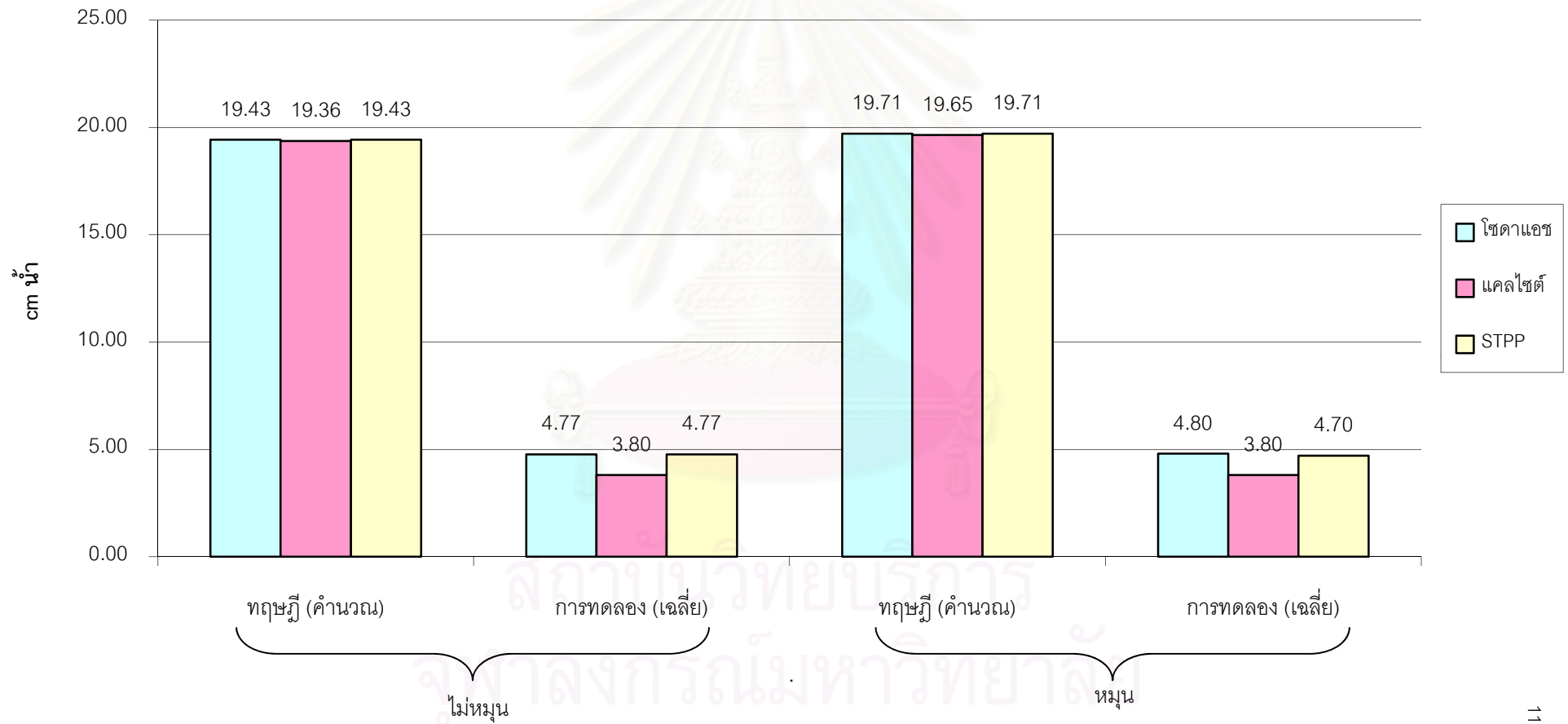
ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของโซดาแอช แคลไซต์ และ STPP  
จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน หมุน



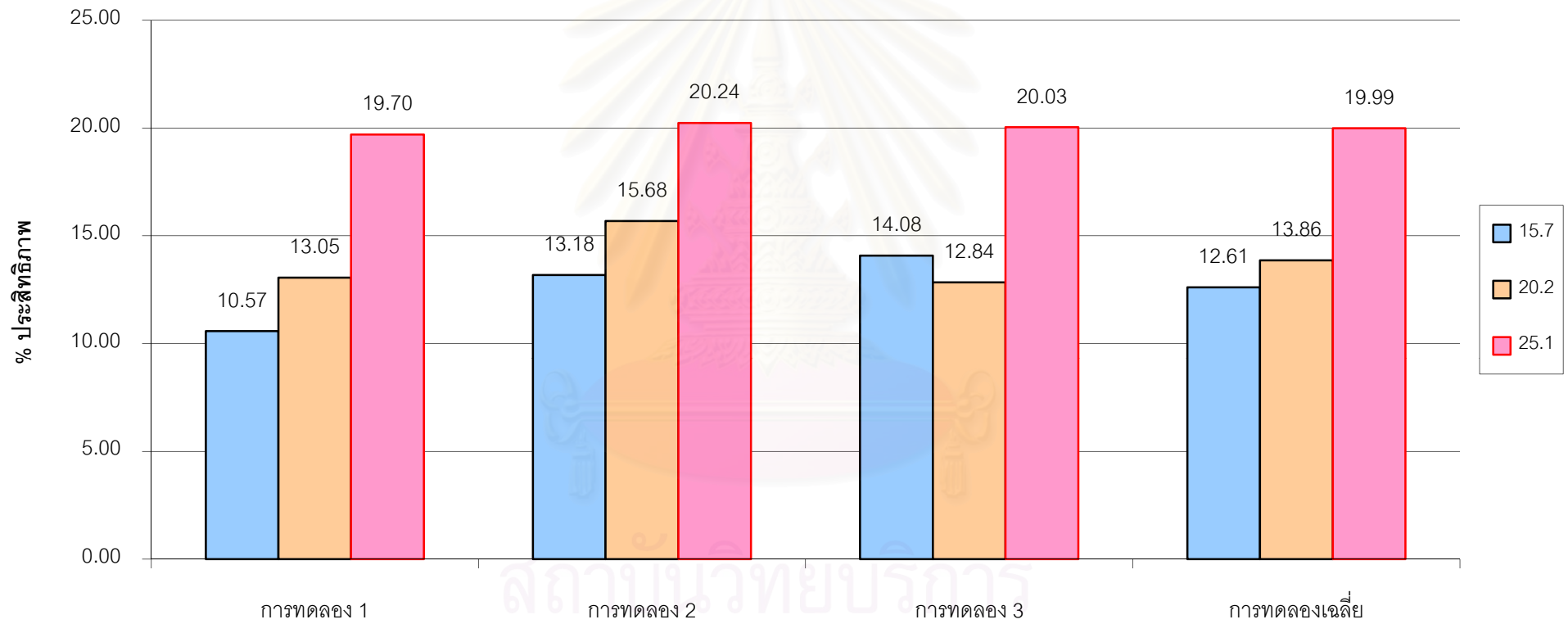
ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 20.2 m/s ของโซดาแอช แคลไซต์ และ STPP  
จาก ทฤษฎี VS การทดลอง โดยตัวไซโคลน ไม่หมุน VS หมุน



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



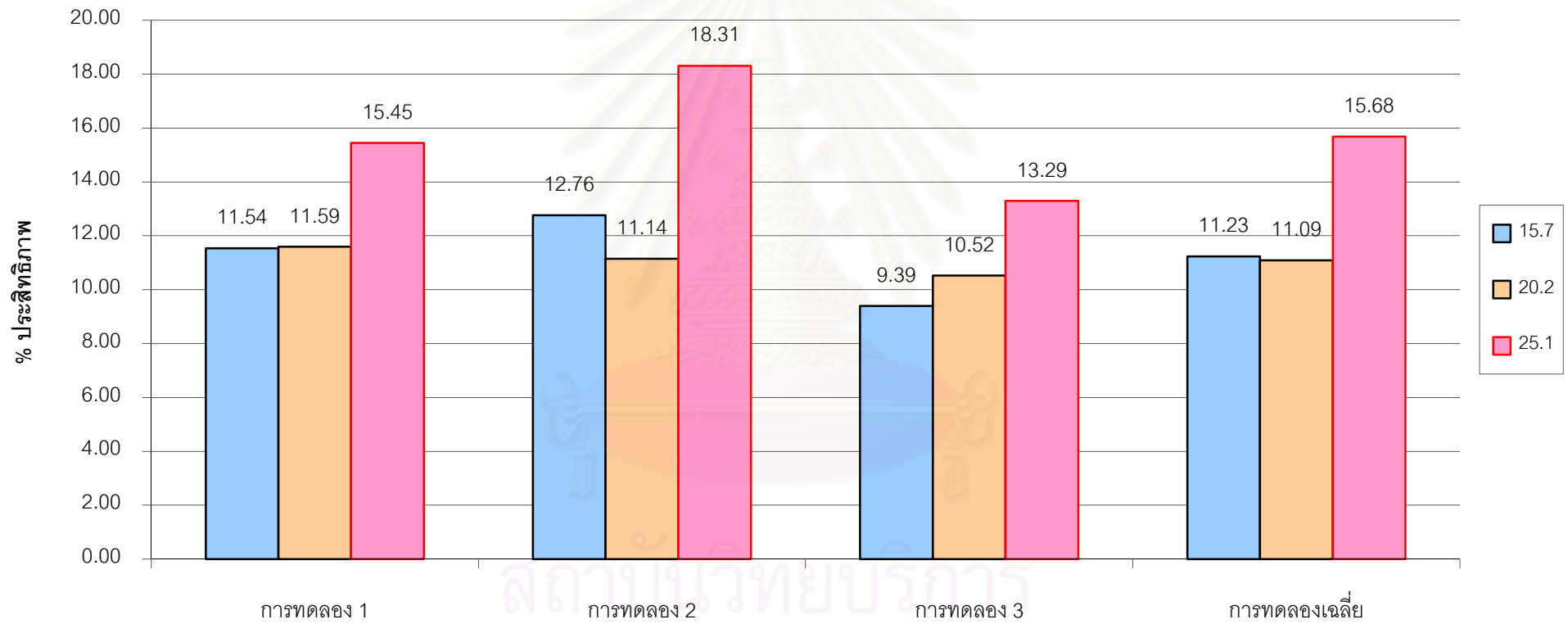
ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP  
จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน ไม่หมุน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

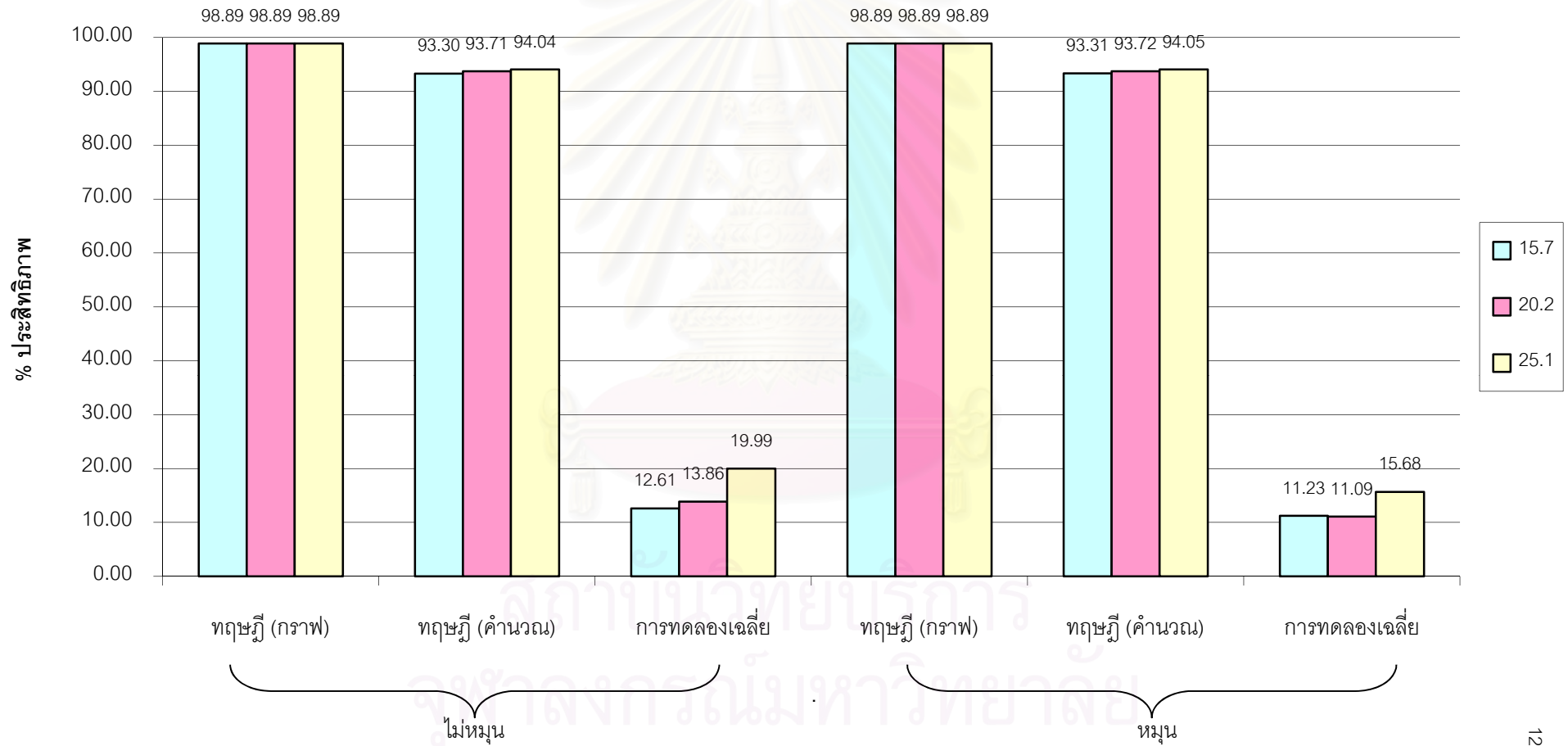


ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP  
จากการทดลอง โดยตัวไซโคลน หมุน

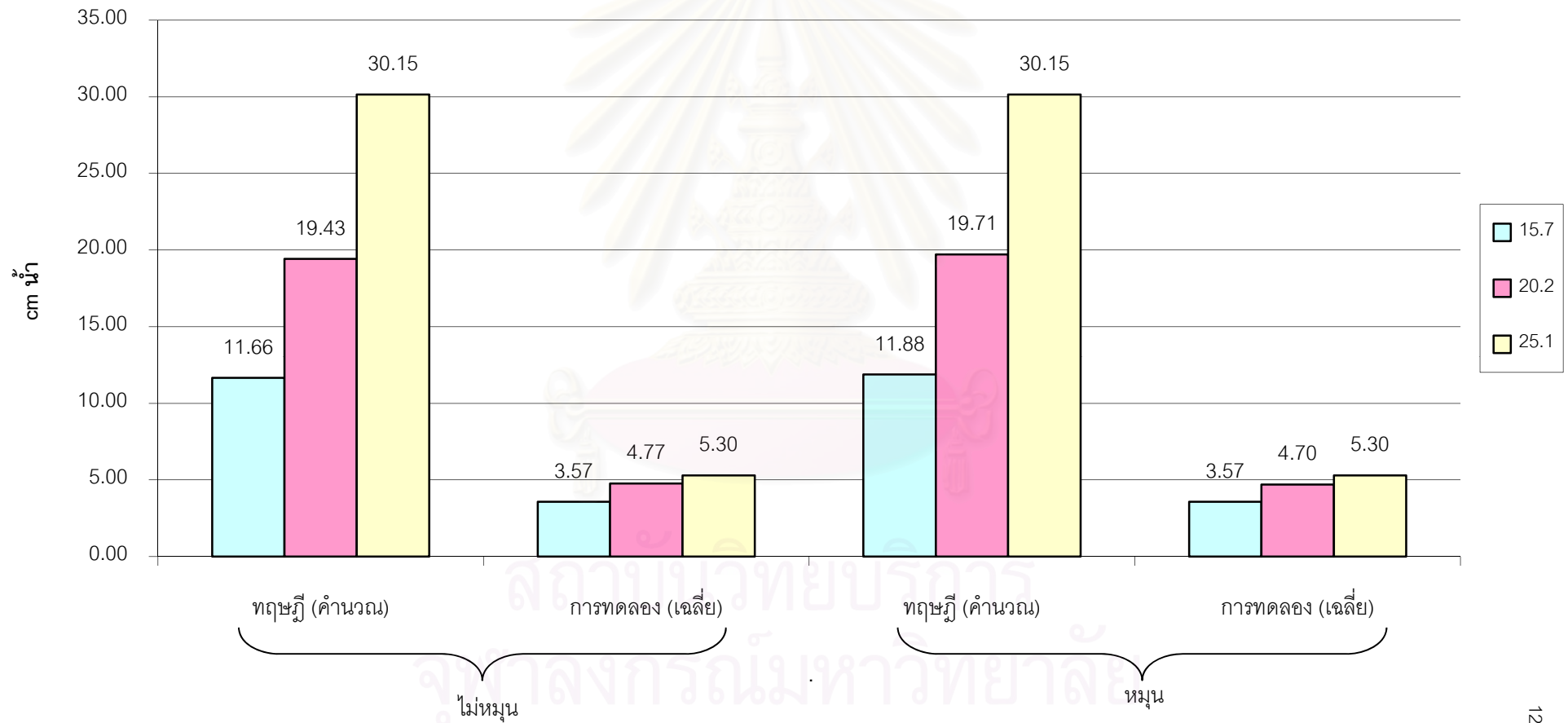


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพ การกำจัดฝุ่นที่ความเร็วทางเข้า 15.7, 20.5 และ 25.1 m/s ของ STPP  
จาก ทฤษฎี VS การทดลอง โดยตัวไซโคลน ไม่หมุน VS หมุน



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



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิบูรณ์ จรรย์นาพล เกิดเมื่อ 3 มกราคม พ.ศ. 2517 จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย