สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี่วอเตอร์ไซโคลนสครับเบอร์

VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER

T050167

นาย กฤษดา บุญเหลือ
นาย ศุภรชัย มาลาทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....50167
วัน,เดือน,ปี.....21 เม.ย. 2547

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี่วอเตอร์ไซโคลนสครับเบอร์

VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER

โดย

นาย กฤษดา บุญเหลือ

นาย สุกรชัย มาลาทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชินรักษ์ เธียรพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี่วอเตอร์ไซโคลนสครับเบอร์

VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤษดา บุญเหลือ รหัสประจำตัว 43015405
2. นาย ศุภรชัย มาลาทอง รหัสประจำตัว 43515974

ชินรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี่วอเตอร์ไซโคลนสครับเบอร์

นายกฤษดา บุญเหลือ 43015405
นายศุภรชัย มาลาทอง 43515974
ผศ.ดร.ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาและออกแบบ อุปกรณ์ในการควบคุมปริมาณอนุภาคของแข็งที่ถูกปล่อยออกมาเป็นก๊าซเสีย ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จากเตาชีวะมวล เช่น แกลบ, ขี้เลื่อย เป็นต้น โดยการจัดสร้างอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคของแข็งแบบ Venturi water cyclone scrubber โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของระบบเครื่องเก็บอนุภาค

ในการออกแบบการทดลองนี้ เพื่อที่จะศึกษาตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความหนาแน่นของฝุ่นที่ไหลเข้าระบบ อัตราส่วนของของเหลวต่อแก๊ส, อัตราการไหลของกระแสแก๊สที่มีผลต่อประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคโดยใช้ขนาดอนุภาคที่ได้จากการเผาไหม้ขนาด 4 – 1600 μm

จากการทดลองจะสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่อแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น หรือ เมื่อแรงดันเพิ่มทำให้หยดน้ำมีขนาดเล็กลงและที่อัตราการไหล 5 m^3/min ที่ความหนาแน่นของอนุภาคในกระแสก๊าซเท่ากับ 75 g/ m^3 และที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเป็น 0.8 L/ m^3 ก็จะเป็นจุดที่เครื่องดักจับเก็บอนุภาคชนิดนี้สามารถที่จะทำประสิทธิภาพได้สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Venturi Water Cyclone Scrubber

Mr. Krissada Boonluea
Mr. Suparachai Malathong
Asst.Prof.Dr.Chinarak Thainpong Advisor

Abstract

The aim of this project is to investigate and design Venturi Water Cyclone Scrubber for Capturing sooth smoke and dust in exhausted gas from combustion process.

Experiments were carried out by varying dust density and water-to-gas ratio where the dust was range from 4 to 1600 μm in diameter.

The results showed that the to total efficiency of venturi water cyclone scrubber increase when liquid and gas ratio increases. The maximum efficiency is about 97% where the dust flow rate is 5 $m^3/\min$, gas particle density $75g/m^3$ and liquid and gas ratio are $0.8L/m^3$.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ และให้ข้อคิดเห็นเรื่องต่างๆ ในงานวิจัย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง ที่ให้ความกรุณาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบ คุณพี่บันเทิง เจาะปาด ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ครูอาจารย์ทุกท่านที่มิอาจกล่าวถึงได้ทั้งหมด ทั้งในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และในสถาบันต่างที่จบมาแล้วในอดีต ที่ให้ความรู้อบรมสั่งสอนซึ่งสามารถนำความรู้มาใช้จนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้อง Lab ในการทำวิจัยปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านด้วยดีเสมอมา

ท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา รวมถึงการเลี้ยงดูและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา จนสามารถทำให้สำเร็จการศึกษาในวันนี้

ผู้จัดทำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาราง		VI
สารบัญภาพ		VII
สัญลักษณ์และคำย่อ		VIII
นิยามศัพท์เฉพาะ		IX
บทที่	1 บทนำ	1
บทที่	2 ทฤษฎี	3
	2.1 กลไกการดักเก็บอนุภาคที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก มีดังนี้	3
	2.2 ประเภทของการออกแบบเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำ	5
	2.3 คุณสมบัติมาตรฐานของไซโคลน	14
	2.4 กระบวนการทำให้แก๊สอิ่มตัวแบบแอเดียแบติก	16
	2.5 ปริมาณของน้ำที่ต้องการสำหรับใช้ในระบบเครื่องเก็บอนุภาค	17
บทที่	3 การออกแบบและการคำนวณ	18
	3.1 การคำนวณหาขนาดของถังไซโคลน	18
	3.2 การออกแบบออริฟิต	20
	3.3 การหาอัตราส่วนของน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว	21
บทที่	4 หลักการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์	23
	4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อการวิเคราะห์	23
บทที่	5 การทดลอง	30
	5.1 หลักการทำงาน	30
	5.2 วิธีการทดลอง	30
	5.3 วิธีการอบแห้ง	31
บทที่	6 ผลการทดลอง	36
	6.1 ผลทดลองโดยการเปลี่ยนแปลง อัตราการไหลของกระแสแก๊ส	36
	6.2 ผลการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการฉีดน้ำต่อปริมาตรของแก๊สในระบบ	38
	6.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการดักเก็บในแต่ละการทดลอง	39
บทที่	7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. 44
ภาคผนวก ข. 47
ภาคผนวก ค. 51
บรรณานุกรม 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงประเภทและคุณสมบัติ รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ทำความสะอาดแก๊สประเภทต่าง ๆ 11
ตารางที่ 2-2 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน 15
ตารางที่ 4-1 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ 26
ตารางที่ ก - 1 คุณสมบัติของน้ำในหน่วย SI 45
ตารางที่ ก - 2 คู่มือหัวฉีด 46
ตารางที่ ข-1 ตารางบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ในห้อง Lab 49
ตารางที่ ข-2 แสดงประสิทธิภาพของการดักจับที่ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศ (L/m^3) 50
ตารางที่ ข-3 แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการดักเก็บ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 แสดงกลไกของการดักเก็บอนุภาคในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก 5

รูปที่ 2-2 หลักการทำงานของเครื่องเวนทูรีสครับเบอร์ 9

รูปที่ 2-3 การเลือกประสิทธิภาพการเก็บซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของขนาดวัตถุสำหรับการไหลแบบย้อนกลับ 15

รูปที่ 2-4 แสดงกระบวนการแอเดียแบติกอิ่มตัวและแผนภูมิ T-s 16

รูปที่ 3-1 ขนาดของถุงไซโคลน 18

รูปที่ 5-1 แสดงการทำงานของเครื่องเก็บอนุภาค 30

รูปที่ 5-2 แสดงรูปถ้วยอังแห้ง 31

รูปที่ 5-3 แสดงรูปเตาอบ 32

รูปที่ 5-4 แสดง ถ้วยสุญญากาศ 32

รูปที่ 5-5 แสดงรูป Hot Plate 33

รูปที่ 5-6 แสดงรูป Hot Plate 33

รูปที่ 5-7 แสดงเครื่องชั่งดิจิตอล 34

รูปที่ 5-8 ขี้เถ้าแกลบที่ใช้ในการทดลองมีขนาดตั้งแต่ 4 μm –1600 μm 34

รูปที่ 5-9 ค่าต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปที่ใช้ในการทดลองในโครงงาน 35

รูปที่ 6-1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการไหล 3 m^3/min 36

รูปที่ 6-2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการไหล 4 m^3/min 37

รูปที่ 6-3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการไหล 5 m^3/min 37

รูปที่ 6-4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศเท่ากับ 0.4 L/m^3 38

รูปที่ 6-5 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศเท่ากับ 0.6 L/m^3 38

รูปที่ 6-6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศเท่ากับ 0.8 L/m^3 39

รูปที่ 6.7 กราฟแสดงปริมาณของน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่อัตราการไหล 3 m^3 39

รูปที่ 6-8 กราฟแสดงปริมาณของน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่อัตราการไหล 4 m^3 40

รูปที่ 6-9 กราฟแสดงปริมาณของน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่อัตราการไหล 5 m^3 40

รูปที่ 6-10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศแบบ 41

รูปที่ 6-11 แสดงการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามศัพท์เฉพาะ

อนุภาค (particles) หมายถึง มวลของแข็งหรือของเหลวที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ

ละอองไอ(aerosol) หมายถึง การฟุ้งกระจายของอนุภาคของแข็งหรือของเหลวในตัวกลางที่เป็นแก๊ส

ฝุ่น (dust) หมายถึง อนุภาคที่เกิดจากการขัดสีของเครื่องมือกล เช่น ขี้เถ้า ฝุ่นหยาบ

มลสาร หมายถึงสารทั้งหมดที่เป็นมลพิษ ประกอบด้วย อนุภาค ฝุ่น และละอองไอ

ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี (Theoretical or Stoichiometric Air; TA) หมายถึง ปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่ทำให้การเผาไหม้มูลฝอยในเตาเผามูลฝอยเป็นไปอย่างสมบูรณ์

ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air; EA) หมายถึง ปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี เพื่อทำให้การเผาไหม้ในเตาเผามูลฝอยเป็นไปอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เตาเผามูลฝอย (Solid Waste Incinerator) หมายถึง อุปกรณ์เผาไหม้มูลฝอยจน ได้แก๊สเสียจากการเผาไหม้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ ห้องเผาไหม้ ตะแกรงรองรับขี้เถ้า พัดลมเป่าอากาศ และปล่องควัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ภูมิหลังที่มาของปัญหา

ปัจจุบันปัญหามลภาวะอันเนื่องจากฝุ่นละอองในอากาศได้ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ นอกเหนือจากฝุ่นที่เกิดจากแหล่งธรรมชาติแล้วอุตสาหกรรมบางประเภทยังเป็นตัวการที่จะก่อให้เกิดฝุ่นละอองหรืออนุภาคต่าง ๆ ปนออกมาเป็นจำนวนมากและก่อความเดือดร้อนให้แก่ชุมชน รวมทั้งการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเผาในเตาเผามูลฝอย (Solid Waste Incinerators) จะมีการปล่อยความร้อนและอนุภาคที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ปะปนออกมากับแก๊สเสียที่ได้จากการเผาไหม้ด้วย บางครั้งปล่อยออกมาในบริเวณมากเกินกว่าค่าที่จะยอมรับได้ซึ่งระบุไว้ในมาตรฐานคุณภาพอากาศเป็นผลให้ส่วนประกอบและสภาวะอากาศเปลี่ยนไปจนก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์

วิธีแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ดีและมีประสิทธิภาพคือ การแก้ปัญหา ณ แหล่งกำเนิดมลพิษโดยตรง ในกรณีของการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเผาในเตาเผามูลฝอยก็ควรจะกำจัดอนุภาคและบำบัดแก๊สเสียโดยตรงจากปล่องของเตาเผามูลฝอย ปัจจุบันจึงมีการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาใช้เพื่อลดปริมาณอนุภาค (particles) ในแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ห้องตกตะกอนโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Settling Chamber), เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน (Centrifugal Separator or Cyclone), เครื่องกรองอนุภาคด้วยเส้นใย (Fabric filter), เครื่องตกตะกอนอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electro-Statics Precipitator or ESP) และเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก (Wet Scrubber) สำหรับเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียกจะใช้ของเหลวซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการดักจับอนุภาคหรือฝุ่นและเพิ่มขนาดละอองไอ (aerosol) เป็นผลให้ขนาดและน้ำหนักของมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยให้การแยกมวลสารออกจากกระแสแก๊สเป็นไปได้ง่ายขึ้น ของเหลวหรือน้ำจะถูกฉีดให้เป็นละอองของหยดน้ำเล็ก ๆ จำนวนมากเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคกับน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ๆ อาจมีการแยกโดยแรงโน้มถ่วงของโลกได้บ้าง เครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียกนี้สามารถแยกอนุภาคที่เป็นของแข็งและของเหลวที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้ง ในขณะเดียวกันการฟุ้งกลับของตะกอน (reentrainment) จะมีน้อยเพราะมวลสารต่าง ๆ จะเปียกและถูกกักไว้ในชั้นฟิล์มของของเหลว (liquid film) นอกจากนั้นเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียกยังสามารถดูดกลืนแก๊สไอเสีย (absorption) ทำให้แก๊สเสียบางส่วนละลายปนออกมากับของเหลวได้และในขณะเดียวกันยังช่วยลดอุณหภูมิของแก๊สร้อนก่อนปล่อยสู่บรรยากาศอีกด้วย

จากที่กล่าวมาในข้างต้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการศึกษาและออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียกชนิดเวนทูรี (Venturi Scrubber) ซึ่งมีความสามารถในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กได้ดี และมีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี่โดยใช้หลักการถังแยกแบบฟลูอิดไดร์เบด รวมเข้ากับหลักการไซโคลนเพื่อใช้ลดอนุภาคในก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จากเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไดร์เบด

1.2.2 ทำการทดลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคแบบเวนร์ทูรี่

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถกำจัดฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบจากเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบวอร์เทค

1.3.2 สร้างเครื่องกำจัดฝุ่นที่เอาเอกลักษณ์เด่นของสองวิธีคือหลักการของไซโคลนและสครับเบอร์แบบสัมผัสน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ค้นคว้าและพัฒนาออกแบบระบบกำจัดฝุ่นแบบเวนทูรี่ไซโคลนสครับเบอร์

1.4.2 ทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการกำจัดฝุ่นแบบสัมผัสน้ำ

1.4.3. เป็นแนวทางพัฒนาระบบกำจัดฝุ่นเพื่อนำไปใช้ในงานและผลิตเป็นเชิงพาณิชย์

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบดักเก็บฝุ่นแบบเวนทูรี

1.5.2 ทำการคำนวณหาความเร็วที่ระบบเครื่องดักเก็บสามารถทำได้เพื่อทดสอบอัตรการไหลของกระแสก๊าซ

1.5.3 ทำการออกแบบคอคอดที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้ความเร็วที่คอคอดอยู่ในช่วงที่สามารถทดลองได้

1.5.4 ทำการออกแบบการทดลองเพื่อเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความพร้อมต่อการทดลอง

1.5.5 คำนวณและออกแบบระบบหัวฉีดรวมถึงระบบปั๊มแรงดันสูงให้มีความสามารถทำความดันได้ตามการทดลอง

1.5.6 ทำการจัดซื้อและจัดสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองรวมถึงจัดหาอนุภาคที่จะใช้ให้เพียงพอที่จะใช้ในการทดลอง

1.5.7 ทำการทดลองตามที่ได้คาดหมายไว้และบันทึกค่าผลการทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์

1.5.8 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้เพื่อดูแนวโน้มของผลการทดลองที่เกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

ในกระบวนการสันดาปหรือการเผาไหม้ (combustion) จะก่อให้เกิดมลสารต่างๆ ซึ่งมลสารบางชนิดถ้าปนออกมาในปริมาณมาก ก็จะเป็นผลให้ส่วนประกอบและสภาวะของอากาศเปลี่ยนแปลงไป อันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม สำหรับการกำจัดขยะหรือมูลฝอยต่างๆ ด้วยวิธีการเผาในเตาเผามูลฝอย นอกจากจะได้แก๊สเสียต่างๆ แล้ว สิ่งที่ปะปนออกมาด้วยในปริมาณมาก็คืออนุภาค (particles) ซึ่งหมายถึงมวลของแข็งหรือของเหลวที่เป็นชิ้นเล็กๆ ได้แก่อนุภาคที่ยังเผาไหม้ได้อีก, ขี้เถ้าลอย (fly ash), เขม่าและควัน ปัจจุบันจึงมีการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำความสะอาดแก๊ส (air cleaning devices) ให้เหมาะสมกับการลักษณะของงาน โดยทั่วไปแล้ว จะสามารถแบ่งอุปกรณ์เหล่านี้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค (dry scrubber) เช่น ไซโคลน (cyclone), เครื่องตกตะกอน (settling chamber) และประเภทที่ใช้ตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค (wet scrubber) เช่น เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี (venturi scrubber), หอสเปรย์ (spray tower) เป็นต้น

การควบคุมและบำบัดมลพิษโดยใช้เครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก เป็นการกำจัดมลพิษทั้งในลักษณะอนุภาคแข็งและมลพิษที่เป็นแก๊สหรือไอ โดยที่อนุภาคของแข็งจะถูกกำจัดออกโดยหยดของของเหลว ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้น้ำในการดักอนุภาค (trapping) อนุภาคเล็ก ๆ จะรวมตัวใหญ่ขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำและจะถูกกักไว้ในชั้นฟิล์มของของเหลว (liquid film) ส่วนในสภาวะแก๊ส แก๊สเสียบางส่วนจะถูกละลายในของเหลวหรือน้ำที่ถูกฉีดเข้ามาเป็นผลให้ความเข้มข้นและอุณหภูมิของแก๊สเสียที่ออกจากระบบลดลง

2.1 กลไกการดักเก็บอนุภาคที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก มีดังนี้

2.1.1 การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction) เกิดขึ้นเมื่อกระแสแก๊สเข้าไปใกล้หยดของเหลวที่ระยะทางหนึ่งก่อนที่จะถึงหยดน้ำ กระแสแก๊สจะเริ่มไหลเบี่ยงเบนออกไป ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงเฉื่อย (inertia force) มากจะไม่เคลื่อนที่ไปตามกระแสแก๊สที่ไหลเบี่ยงเบนออกไปแต่จะเริ่มเคลื่อนที่ตรงไปกระทบกับหยดของเหลว (droplet) และถูกหยดของของเหลวจับไว้ในที่สุด

2.1.2 การสะกัดโดยตรง (Direct interception) แม้ว่าอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ตามกระแสแก๊สที่ไหลเบี่ยงเบนไปรอบ ๆ หยดของของเหลว อนุภาคของแข็งขนาดเล็กเหล่านี้ก็มีโอกาสเข้าสัมผัสและเกาะติดกับหยดน้ำได้ด้วยกลไกของการสะกัดกั้นโดยตรง หากว่าจุดศูนย์กลางของอนุภาคของแข็งซึ่งเคลื่อนที่ไปกับกระแสแก๊สอยู่ห่างจากผิวของหยดของเหลวเป็นระยะทางน้อยกว่ารัศมีของอนุภาคของแข็งนั้น

2.1.3 การแพร่ (Diffusion or Brownian movement) เป็นการแพร่แบบบราวเนียน กล่าวคือ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก ๆ เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1 ไมครอน (submicron particles) และแขวนลอยอยู่ในกระแสแก๊ส จะมีการเคลื่อนที่แบบซิกแซ็กที่เรียกว่า Brownian movement เนื่องจากถูกชนโดยโมเลกุลของแก๊สที่อยู่รอบ ๆ การเคลื่อนที่แบบซิกแซ็กนี้เองที่ทำให้อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กเหล่านี้เคลื่อนที่เบี่ยงเบนออกจากกระแสแก๊สที่กำลังไหลผ่านไปรอบ ๆ หยดของเหลวและสัมผัสกับหยดของเหลวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 แรงโน้มถ่วง (Gravitational force) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูง (โดยปกติใหญ่กว่า 40 ไมครอน) ซึ่งเคลื่อนที่ไปได้ช้าในอากาศจะค่อย ๆ ตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและจะถูกแยกออกจากกระแสแก๊สไปในที่สุด

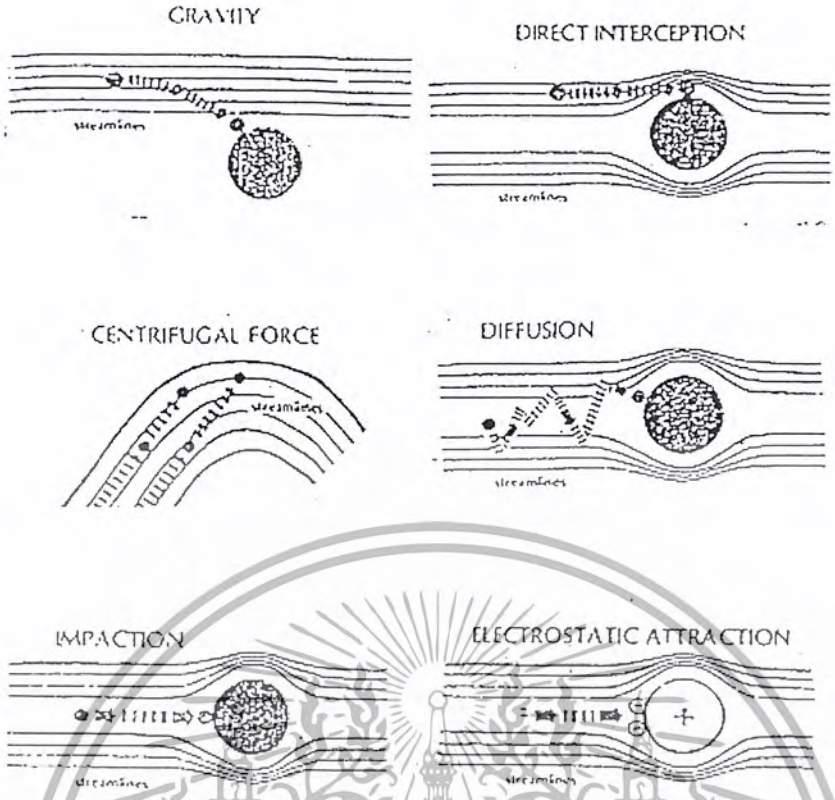
2.1.5 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เมื่อมีการบังคับให้กระแสแก๊สเกิดการไหลหมุนวน (vortex flow) ในตัวเครื่องสครับเบอร์ แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้อนุภาคของแข็งมีวิถีการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนและแยกออกจากกระแสแก๊ส โดยอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะมีโมเมนตัมมากและเบี่ยงเบนออกจากกระแสแก๊สได้มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก

2.1.6 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) อนุภาคของแข็งบางชนิดมีประจุไฟฟ้าอยู่ในตัวโดยธรรมชาติหรืออาจจะได้รับการเติมประจุไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออนุภาคของแข็งที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าไปในสนามไฟฟ้าสำหรับดักอนุภาคของแข็ง แรงไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้อนุภาคของของแข็งเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นดักฝุ่นซึ่งมีประจุตรงกันข้าม

2.1.7 การควบแน่น (Condensation) การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่อแก๊สร้อนหรืออากาศมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วต่ำกว่าอุณหภูมิหยดน้ำค้าง (dewpoint) ของตัวมันเอง เมื่อความชื้นกลั่นตัวออกจากกระแสแก๊สจะทำให้เกิดกลุ่มหมอกของละอองไอน้ำขึ้น (mist) อนุภาคของแข็งจะถูกพาเข้าไปสู่ใจกลางของการควบแน่นทำให้อนุภาคเหล่านี้มีขนาดใหญ่ขึ้นอันเป็นผลมาจากการควบแน่นของของเหลวซึ่งจะทำให้โอกาสของการกระทบโดยตรงเพิ่มสูงขึ้น อนุภาคของแข็งก็จะถูกดักได้มากขึ้น

2.1.8 ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal gradient) ผลกระทบที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดแรงกระทบต่ออนุภาคของแข็งซึ่งจะพาอนุภาคให้เคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลที่เกิดจากพลังงานการชนกันของโมเลกุล (Molecular collision energy) ที่มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดขึ้นบนพื้นผิวด้านที่ร้อนและด้านที่เย็นของอนุภาคซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 แสดงกลไกของการดักเก็บอนุภาคในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก [1]

2.2 ประเภทของการออกแบบเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำ

เครื่องบำบัดมลพิษแบบสัมผัสน้ำนั้นมีรูปแบบในการออกแบบได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งการออกแบบระบบบำบัดนั้นส่วนใหญ่เล้วจะมีการรวมเอาระบบบำบัดหลาย ๆ ประเภทเข้ามาไว้ในเครื่องเดียวกัน ระบบอย่างง่าย ๆ บางระบบจะประกอบด้วยเครื่องดักฝุ่นแบบแห้งซึ่งมีการปรับปรุงใหม่ โดยเริ่มมีการใช้ของเหลวเข้ามาช่วยในการกำจัดฝุ่นและเพื่อป้องกันอนุภาคไหลย้อนกลับ บางประเภทออกแบบเพื่อใช้ในการทำงานแบบสัมผัสน้ำโดยเฉพาะ เป็นการยากที่กล่าวโดยรวมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานของระบบ อาทิเช่น ความดันลดและอัตราการไหลของของเหลว และเป็นการยากอีกอย่างหนึ่งที่จะแบ่งแยกประเภทของเครื่องบำบัดมลพิษอากาศ ตามระบบกลไกในการดักอนุภาค อย่างไรก็ตามโดยหลักการทั่วไป เราสามารถแบ่งประเภทของเครื่องบำบัดมลพิษอากาศอย่างคร่าว ๆ ได้จากค่าความดันลด (หรือค่าการบริโภคพลังงาน) เครื่องสครับเบอร์แบบพลังงานต่ำ จะมีค่าความดันลดโดยทั่วไปต่ำกว่า 13 cm. ของน้ำ เครื่องสครับเบอร์แบบพลังงานปานกลาง จะมีค่าความดันลดโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 13 - 38 cm. ของน้ำ เครื่องสครับเบอร์แบบพลังงานสูงจะมีค่าความดันลดโดยทั่วไปเกินกว่า 38 cm. ของน้ำขึ้นไป ตัวอย่างเช่น ห้องสเปรย์และหอสเปรย์ เป็นประเภทที่มีความดันลดต่ำที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำที่สุดเช่นกัน ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในประเภทแบบพลังงานต่ำ ที่จัดอยู่ในพลังงานประเภทปานกลางก็มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น เครื่องสครับเบอร์แบบพัดลมแรงหนีศูนย์กลาง แบบอิมพินจ์เมนต์ และแบบชั้นใส่วัสดุ ส่วนประเภทที่มีความดันลดสูงที่สุดหรือแบบพลังงานสูงคือ เครื่องบำบัดแบบเวนทูรี

1. หอสเปรย์ (Spray Towers)

เป็นเครื่องสครับเบอร์พลังงานต่ำที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะมีรูปแบบของระบบที่ง่าย เครื่องสครับเบอร์ชนิด Gravity Spray Tower เป็นชนิดที่ง่ายที่สุดโดยที่หยดของเหลวจะถูกปล่อยออกมาผ่านกระแสก๊าซที่ไหลทวนขึ้น ซึ่งของเหลวจะถูกระบายออกที่ก้นถัง ซึ่งหยดของเหลวจะเกิดขึ้นโดยหัวฉีดสเปรย์ หัวฉีดสเปรย์นั้นจะติดตั้งในลักษณะตามรูปของถังเพื่อให้กระแสก๊าซผ่านเข้าไปผสมกับของเหลวได้ง่าย ในหอสเปรย์แบบตั้ง ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของเหลวและก๊าซในท้ายที่สุดแล้วจะเป็นความเร็วที่ลดลงของหยดของเหลว อย่างไรก็ตาม เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลกลับของหยดของเหลว ความเร็วที่ลดลงของหยดของเหลวจะต้องสูงกว่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นของกระแสก๊าซ โดยทั่วไปแล้ว ความเร็วของกระแสก๊าซจะอยู่ในช่วง 2 - 5 ft./sec. สำหรับเครื่องสครับเบอร์ที่มีความเร็วสูงกว่านี้ต้องมีการใช้ Mist Eliminator ที่ส่วนบนของเครื่องสครับเบอร์ด้วย

หอสเปรย์เหมาะสมทั้งการบำบัดอนุภาคและการดูดซึมก๊าซ (Mass Transfer) ซึ่งเหมือนกับเครื่องสครับเบอร์แบบสัมผัสน้ำแบบอื่น ๆ การปฏิบัติงานของหอสเปรย์มีคุณลักษณะต่าง ๆ คือ ค่าความดันลดต่ำกว่า 5 cm. ของน้ำ ซึ่งคิดรวมทั้งการติดตั้ง Miss Eliminator และแผ่นกระจายก๊าซแล้ว ความสามารถในการบำบัดก๊าซที่มีของแข็งปนอยู่มาก และความต้องการของเหลวที่ใช้บำบัดอยู่ในช่วง 3 - 20 gal/1000 ft^3 ของก๊าซที่ต้องการบำบัด หอสเปรย์ยังสามารถบำบัดก๊าซที่มีปริมาณสูง ๆ ได้ และยังสามารถใช้เป็นเครื่องลดอุณหภูมิเพื่อใช้ลดอุณหภูมิของกระแสก๊าซได้ อัตราการไหลของก๊าซโดยทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 800 - 2500 lb/br ft^2 เวลาในการหน่วงก๊าซโดยทั่วไปอยู่ช่วงประมาณ 20 - 30 วินาที ข้อเสียที่สำคัญของเครื่องสครับเบอร์แบบหอสเปรย์คือ มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ สำหรับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดในช่วง 0 - 5ไมครอน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน โดยทั่วไปแล้วจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงถึง 70% ประสิทธิภาพในการบำบัดนั้นสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มแรงดันในการสเปรย์ ซึ่งสามารถเพิ่มได้ช่วง 100 - 400 psig ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ชนิดของหัวสเปรย์ ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพขึ้นอีกประมาณ 20% อีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพคือการทำช่องให้กระแสก๊าซไหลวนก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ข้อได้เปรียบที่สำคัญของหอสเปรย์คือความสามรถในการบำบัดก๊าซที่มีความหนาแน่นของฝุ่นสูงมาก ๆ ได้ โดยไม่ต้องกลัวว่าจะเกิดการอุดตัน ถึงแม้ว่าในการสร้างหอสเปรย์จะต้องใช้พื้นที่งานมาก แต่ว่าเป็นเครื่องสครับเบอร์ที่มีราคาถูก และสามารถกำจัดอนุภาค หยาบ ๆ ได้ดี (ใหญ่กว่า 25 ไมครอน) และยังเป็น Precooler ได้

2. เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Collectors)

อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในก๊าซจะมีความเฉื่อยและโมเมนตัม และได้รับแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วงของโลก คุณสมบัติเหล่านี้ก่อให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ขึ้นกับอนุภาค เมื่อมีการบังคับให้กระแสก๊าซไหลหมุนวน แรงหนีศูนย์กลางเป็นกลไกหลักในการเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Collector) และยังเป็นหลักของเครื่องสครับเบอร์แบบแรงเฉื่อยส่วนใหญ่ด้วย อนึ่งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉื่อยของอนุภาคและแรงหนีศูนย์กลางยังมีบทบาทส่วนหนึ่งในการกรอง การ สครับ (scrubbing) และวิธีทำความสะอาดก๊าซอื่น ๆ แต่ว่ากลไกอื่นก็มีความสำคัญในอุปกรณ์นี้ด้วย

ประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของเหลวและกระแสก๊าซ อนุภาคจะถูกสมมติว่าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับกระแสก๊าซ การเพิ่มขึ้นของความเร็วสัมพัทธ์อาจทำได้โดยการทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางเพื่อทำให้ก๊าซหมุน การหมุนอาจเกิดจากก๊าซที่เข้าสู่เครื่องสครับเบอร์ในทิศทางสัมผัสขนานหรือในทิศทางที่กระแสก๊าซต้านกับใบพัดที่ทำให้กระแสก๊าซหมุนอย่างคงที่ ถึงแม้ว่าการออกแบบโดยทั่วไปแล้วเพื่อการติดตั้งเฉพาะ เครื่องสครับเบอร์แบบสเปรย์ไซโคลนสามารถเปิดโอกาสให้ก๊าซไหลเข้าโดยทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 100 ft./sec. ขึ้นไป ระบบแรงหนีศูนย์กลางนั้น ข้อดีที่สำคัญคือผนังที่เปียกจะขัดขวางการไหลวนกลับในการดักอนุภาคอัตราการไหลของน้ำประมาณ 2 - 5 gal/1000 ft^3 ของก๊าซที่จะบำบัด และความดันลดประมาณ 5 - 15 cm. ของน้ำ สเปรย์ของเหลวจะสเปรย์ในทิศทางออกจากท่อในศูนย์กลางของตัวถัง ซึ่งท่อนั้นจะทบกันหลายชั้น การสเปรย์ในระบบนี้จะเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดโดยการเพิ่มการกระทบกันของหยดสเปรย์และอีกแบบหนึ่งคือการสเปรย์ในทิศทางตามผิวของผนัง ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดแบบง่ายมากขึ้น อย่างไรก็ตามการสเปรย์แบบนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากภายนอกของเครื่องสครับเบอร์ ในส่วนที่เป็นช่องว่างไม่มีการสเปรย์จะทำให้หน่วงเวลาเพียงพอให้หยดของเหลวสามารถดักอนุภาคได้โดยเข้าสู่ผนังของเครื่องสครับเบอร์และป้องกันไม่ให้อนุภาคหนีออกไปกับกระแสอากาศสะอาดได้

3. เครื่องเก็บฝุ่นแบบไดนามิก (Dynamic Collector)

เครื่องเก็บฝุ่นแบบไดนามิก มีลักษณะเหมือนกับเครื่องเป่าลมแบบแรงหนีศูนย์กลาง หัวสเปรย์ที่ติดตั้งที่ปากทางเข้านั้นเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดการกระทบ (impaction) หยดของเหลวที่เกิดจากหัวสเปรย์และมลสารที่ยังไม่ถูกบำบัดนั้นจะผ่านเข้ามาเนื่องจากการหมุนของพัดลมที่มีใบพัดพิเศษหลายใบ แรงหนีศูนย์กลางและแรงตกกระทบ (impingement) ที่เกิดขึ้นบนใบพัดนั้นจะถูกใช้ในการบำบัดมลพิษและในการแยกของเหลวออกจากกระแสอากาศ ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นคือจะเกิดการก่อตัวขึ้นของสิ่งสกปรกเกาะตัวอยู่บนใบพัด ซึ่งเป็นมลสารที่ถูกกำจัดออกเป็นเศษอนุภาคที่แยกออกจากอากาศสะอาด การออกแบบเครื่องบำบัดแบบนี้จะกำหนดให้ความดันลดที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 15 cm. ของน้ำ และมีค่าความดันลดสูงสุดไม่เกิน 23cm. ของน้ำ อัตราความต้องการน้ำโดยทั่วไปประมาณ 0.5 ถึง 1.5 gal/1000 ft^3 ของก๊าซ อัตราการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 1 - 2 hp/1000 acfm ของอากาศที่ถูกบำบัดแล้ว ประสิทธิภาพของการบำบัดจะเท่าเทียมกับเครื่องบำบัดแบบอื่นที่มีค่าความดันลดประมาณ 15 cra. ข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ มีขนาดเล็กกะทัดรัด , ประหยัดพลังงาน และประหยัดอัตราการใช้น้ำในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องสครับเบอร์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidize Bed Scrubber)

เครื่องสครับเบอร์แบบฟลูอิดไดซ์เบด จะมีลูกพลาสติกจำนวนมากลอยตัวอยู่ในส่วนที่มีก๊าซและของเหลวมาผสมกัน เครื่องสครับเบอร์แบบนี้จะใช้เม็ดวัสดุซึ่งทำมาจากโพลีเอทธีลีน (Polyethylene) และ / หรือ โพรีโพรไพรีน (Polypropylene) ที่มีความหนาแน่นต่ำมาก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านจุดศูนย์กลางประมาณ 1 ½ นิ้ว ซึ่งเม็ดวัสดุเกล่านี้จะเคลื่อนที่ลอยตัวขยู่อย่างต่อเนื่องอยู่ระหว่างตะแกรงด้านบนและด้านล่างของฟูลอิดไดซ์เบด ถ้าหากว่าสามารถรักษาความสะอาดของเม็ดวัสดุอย่างต่อเนื่องแล้ว จะทำให้ลดการเกิดการอุดตันของชั้นวัสดุได้ โดยทั่วไปแล้วความดันลดจะมีค่าอยู่ในช่วง 8 - 13 cm. ของน้ำ (ต่อชั้นของเม็ดวัสดุ) ประสิทธิภาพในการบำบัดสามารถทำให้สูงถึง 99% ได้สำหรับการดักอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดนั้นสามารถทำให้เพิ่มขึ้นโดยการสร้างชั้นวัสดุหลาย ๆ ชั้น

5. เครื่องสครับเบอร์แบบออริฟิซ (Orifice Type Wet Scrubbers)

เครื่องสครับเบอร์แบบออริฟิซ บางทีเรียกว่า เครื่องสครับเบอร์แบบชักนำสเปรย์ขึ้นเอง (Self-induced Spray Scrubber) กระแสก๊าซที่ไหลเข้ามาจะมาสัมผัสกับบ่อของเหลวที่ทางเข้าซึ่งเป็นปากคอคอด (Submerged Orifice) ของเหลวจะถูกนำเข้ามาสู่ห้องเฉพาะที่ สามารถทำให้ของเหลวและอนุภาคของแข็งรวมตัวกันได้ดี เนื่องมาจากผลของการกระทบกันของอนุภาค และหยดของเหลวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการออกจากห้องเฉพาะนี้ ถ้าหากว่าหยดของเหลวมีขนาดใหญ่พอ หยดของเหลวเหล่านั้นจะถูกแยกออกได้โดยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากว่าความเร็วของก๊าซจะลดลงตั้งแต่ที่เข้าไปในห้องนี้ หยดของเหลวขนาดเล็ก ๆ จะถูกแยกออกได้โดยแรงหนีศูนย์กลางและแรงกระทบกับแผ่นที่ยื่นออกมาที่ส่วนบนของเครื่อง อัตราการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 10 - 250 gal/1000 ft^3 ของก๊าซ ความเร็วของกระแสก๊าซโดยทั่วไปประมาณ 50 ft/sec. หยดของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีขนาดประมาณ 300 - 400 ไมครอน น้ำเกือบทั้งหมดจะไหลหมุนเวียนสู่บ่อของเหลว แต่หากว่าไม่ใช่บ่อพักน้ำจะใช้อัตราการไหลของน้ำประมาณ 1 - 3 gal/1000ft^3 ค่าความดันลดโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 8 - 25 cm. ของน้ำ ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการบำบัดประมาณ 90 - 95% ข้อได้เปรียบที่สำคัญของเครื่องสครับเบอร์แบบนี้คือ สามารถที่จะกำจัดฝุ่นที่มีความหนาแน่นสูงได้ดี เพราะว่าไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตัน และสามารถกำจัดมลสารที่มีปริมาณของแข็งมากได้

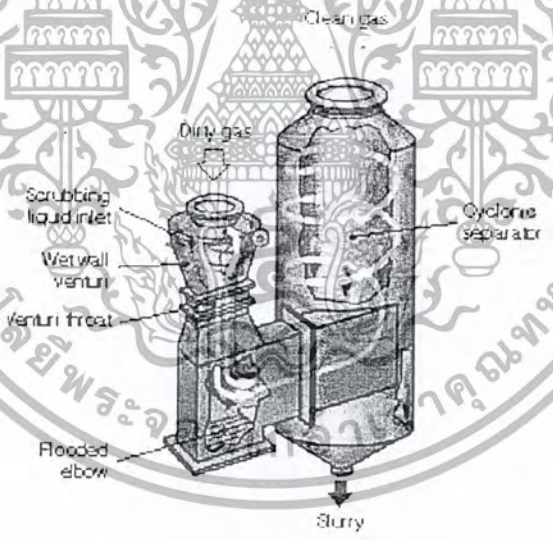
6. เครื่องเวนทูรีสครับเบอร์ (Venturi Scrubbers)

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดมวลสารด้วยการกระทบ (Impaction) หยดของเหลวที่มีขนาดเล็กและความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคและหยดของเหลวมีค่าสูงคือปัจจัยที่เราต้องการ เครื่องเวนทูรีสครับเบอร์เป็นความสำเร็จที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ให้กระแสก๊าซเข้ามาในมุมที่การไหลของก๊าซมีความเร็วสัมพัทธ์สูงที่คอคอดเวนทูรี (Vena Contracta) หยดของเหลวขนาดเล็กมาก ๆ จะถูกสร้างขึ้น และความเร็วสัมพัทธ์จะยังมีค่าสูงมาก จนกระทั่งหยดของเหลวถูกเร่งจนมีค่าเท่ากับความเร็วสุดท้าย ความเร็วของก๊าซที่ผ่านคอคอดเวนทูรีโดยทั่วไปมีค่าสูงมากอยู่ในช่วง 12000 - 24000 ft./min. ความเร็วที่เกิดขึ้นของก๊าซนั้นเป็นเพราะการกลายเป็นละอองของของเหลว พลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้เครื่อง สครับเบอร์จะถูกนำไปใช้สำหรับค่าความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดของกระแสก๊าซที่ผ่านเครื่อง อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อเครื่องเวนทูรีสครับเบอร์คือความเข้มข้นของสาร ถ้าก๊าซที่ไหลเข้าผ่านคอคอดเข้ามาสู่บริเวณความดันลดเป็นก๊าซอิ่มตัวสมบูรณ์ จะเกิดการควบแน่นบนผิวของอนุภาคที่อยู่ในบริเวณคอคอดอันเป็นผลมาจาก ปรากฏการณ์ของจูลล์ - ทอมพ์สัน (Joule Thompson Effect) เพราะว่าผลของของเหลวที่เป็นตัวลดอุณหภูมิ ซึ่งการควบแน่นจะเกิดขึ้นได้มากถ้าหากว่ากระแสก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากๆ

เครื่องเวนทูรีสครับเบอร์นั้นจะทำหน้าที่เป็นเครื่องปรับสภาพก๊าซด้วยตัวของมันเอง และจะทำหน้าที่เป็นส่วนแยกหยดของเหลวที่ถูกพามากับกระแสก๊าซ อัตราการฉีดน้ำเข้าเวนทูรีจะมีค่าอยู่ในช่วง 6 - 15 gal / 1000 ft^3 ของก๊าซ ประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าสูงมากหากว่าค่าของความดันลดอยู่ในช่วง 8 - 170 cm. ของน้ำ แต่ว่าไม่ควรให้ค่าความดันลดอยู่ในช่วง 62.5 - 75 cm. ยกตัวอย่างเช่น สำหรับเครื่องเวนทูรีสครับเบอร์ที่มีค่าความดันลด 25 cm. ของน้ำ จะสามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2 - 3 ไมครอนได้ด้วยประสิทธิภาพถึง 100% ในขณะที่เครื่อง เวนทูรีสครับเบอร์ที่มีค่าความดันลด 150 cm. ของน้ำ จะสามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ๆ อยู่ในช่วง 0.3 - 0.4 ไมครอน ได้ด้วยประสิทธิภาพถึง 100% ซึ่งประสิทธิภาพของการบำบัดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความดันลด เครื่องเวนทูรีสครับเบอร์แบบปรับขนาดของคอคอดได้ จะสามารถควบคุมค่าความดันลดให้มีค่าคงที่ได้ แต่สามารถปรับอัตราการไหลของกระแสก๊าซได้ ในระบบเหล่านี้ค่าประสิทธิภาพของการบำบัดและค่าความดันลดจะสามารถปรับตั้งได้ด้วยตำแหน่งของจานล้นที่ปากของคอคอด



รูปที่ 2-2 หลักการทำงานของเครื่องเวนทูรีสครับเบอร์

7. เครื่องสครับเบอร์แบบอิมพินเจอร์ (Impingement Plate Scrubber)

เครื่องสครับเบอร์แบบอิมพินเจอร์ จะใช้แผ่นที่เจาะเป็นรูติดอยู่เหนือแผ่นอิมพินเมนต์ (Impingement Baffle) เพื่อต้องการให้พื้นที่ผิวของของเหลวขยายตัวกว้างขึ้น การไหลของก๊าซจะไหลในทิศทางขึ้นแล้วถูกแบ่งออกเป็นสเปรย์เจ็ตเป็นจำนวนมาก ๆ ด้วยแผ่นออริฟิซ ซึ่งกระแสก๊าซที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซจะมีความเร็วประมาณ 15 - 20 ft/sec. การสเปรย์ของเหลวจะสร้างพื้นผิวที่เปียกบนแผ่นอิมพิเมนต์ ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในตำแหน่งที่มีความเร็วของเจ็ตสูงมากที่สุด อนุภาคที่เคลื่อนที่จะเกิดการกระทบโดยตรงบนแผ่นที่เปียกและจะถูกดักไว้ด้วยของเหลวที่ใช้สครับ ในเครื่องสครับเบอร์แบบอิมพินเจอร์นี้ เจ็ตแต่ละเจ็ตที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันเป็นฟองก๊าซซึ่งจะพุ่งขึ้นและจะเกิดเป็นการไหลแบบเทอร์บูเลนซ์ (Turbulene) ซึ่งจะทำให้ก๊าซและของเหลวมาผสมกันมากขึ้นทำให้อากาศที่สะอาดมากที่สุด การเกิดความปั่นป่วนบนแผ่นกระบังลมนั้นจะทำให้ป้องกันการเกิดการจับตัวกันของตะกอนอนุภาคที่ถูกดัก และจะทำให้สามารถกำจัดอนุภาคออกไปได้

ประสิทธิภาพรวมของเครื่องแบบแผ่นเดี่ยวอาจมีค่าสูงถึง 90 - 98% สำหรับการบำบัดอนุภาคขนาด 1 ไมครอน ค่าความดันลดจะมีค่าประมาณ 2.5 - 10 cm. ของน้ำ ต่อแต่ละช่วงของแผ่นออริฟิซ อัตราการใช้น้ำโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 3 - 5 gal/1000 ft^3.ของน้ำ

8. เครื่องสครับเบอร์แบบใช้กลไกทำละออง (Atomizing-Mechanic Scrubbers)

เครื่องสครับเบอร์แบบชักนำของเหลวโดยใช้กลไกนั้น จะต้องทำให้กระแสก๊าซเกิดเป็นสเปรย์ที่มีความเร็วสูงในมุมที่ถูกต้อง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ใบพัดแบบแยกส่วนกระแสก๊าซที่สกปรกจะผ่านเข้ามาในส่วนที่ทำการบำบัด ซึ่งจะมีหยดของเหลวที่เกิดขึ้นโดยใช้กลไก การสครับจะเกิดขึ้นได้โดยการกระทบ (Impaction) เป็นเพราะความเร็วของก๊าซในแนวรัศมีที่มีค่าสูงและความเร็วของกระแสก๊าซในแนวตั้ง ละอองของของเหลวจะเกิดขึ้นที่ตัวใบพัดและผนังภายนอก

กำลังงานของเครื่องที่ต้องการมีค่าประมาณ 3 - 10 กำลังแรงม้า และอัตราการไหลของของเหลวโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 4 - 5 gal/1000 $ft.^3$ ของน้ำ อย่างไรก็ตาม สำหรับการออกแบบเครื่องที่มีความเร็วสูง จะพิจารณาจาก ขนาดของอนุภาคและประสิทธิภาพของการบำบัดที่ต้องการ ข้อได้เปรียบที่สำคัญของเครื่องสครับเบอร์แบบนี้คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของของเหลวต่ำ ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่ ประสิทธิภาพของการบำบัดสูง และมีความสามารถในการบำบัดก๊าซที่มีปริมาณสูง ๆ ได้ดี อย่างไรก็ตาม ตัวใบพัดเองก็มีความต้านทานต่อการกัดเซาะได้น้อย ถ้าหากว่าอนุภาคมีขนาดใหญ่และฝุ่นผงที่มีความแข็งมากๆ และในขณะเดียวกันก็จะสิ้นเปลืองพลังงานมากหากว่าจำเป็นต้องใช้เครื่องกำจัดละออง (Mist Eliminator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 แสดงประเภทและคุณสมบัติ รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ทำความสะอาดแก๊สประเภทต่าง ๆ

เครื่องทำความสะอาดแก๊สประเภทต่าง ๆ	อนุภาคเล็กสุดที่ดักเก็บได้ (micron)	ประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาค (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบแรงโน้มถ่วงโลก	> 50	< 50	ความดันสูญเสียต่ำ มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและบำรุงรักษาง่าย	ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก มีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคต่ำ
แบบแรงเหวี่ยงหรือไซโคลน	5-25	50-99	มีโครงสร้างและการบำรุงรักษาง่าย ต้องการพื้นที่ติดตั้งน้อย ความดันสูญเสียไม่สูงเหมาะสำหรับใช้ในการดักเก็บอนุภาคที่หยาบและความเข้มข้นของอนุภาคสูง มีผลกระทบน้อยจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเสีย	จำเป็นต้องมีห้องทางเข้าของกระแสแก๊สหลายห้อง มีประสิทธิภาพต่ำในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคและอัตราการไหลของแก๊สเสีย
แบบเวนทูรีหรือเวนทูรีสครับเบอร์	> 0.5	< 99	สามารถดูดกลืนแก๊สและเก็บอนุภาคได้ในขั้นตอนเดียวกันเหมาะสำหรับทำความสะอาดแก๊สที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง แก๊สเสียที่ออกจากระบบจะมีอุณหภูมิลดลงเหมาะกับการกำจัดและทำให้เป็นกลางของแก๊สที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและมีอันตรายน้อยจากการระเบิดของฝุ่น สามารถปรับเปลี่ยนค่าประสิทธิภาพการทำงานได้	มีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ในระดับ submicron ต่ำ มีปัญหาในด้านการผุกร่อนและการสึกหรอ รวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำทิ้งและการฟื้นฟูสภาพ มีปัญหาเกี่ยวกับการแข็งตัวของของเหลวในสภาพอากาศที่เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทำความสะอาดแก๊สประเภทต่าง ๆ	อนุภาคเล็กสุดที่ดักเก็บได้ (micron)	ประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาค (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบไฟฟ้าสถิตย์	< 1	95-99	มีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคมากกว่า 99 % สามารถดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ได้ดี ใช้ได้ทั้งการดักเก็บอนุภาคแบบแห้งและแบบเปียก ความดันสูญเสียน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องเก็บอนุภาคประสิทธิภาพสูงประเภทอื่น ๆ	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูง ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคและอัตราการไหลต้องมีวิธีป้องกันอัตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูงประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อใช้งานไปนาน ๆ
แบบถุงกรอง	< 1	> 99	เป็นอุปกรณ์ในการดักเก็บอนุภาคแบบแห้ง สามารถสังเกตได้ง่ายเมื่อประสิทธิภาพการทำงานลดลง มีประสิทธิภาพการทำงานลดลง มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 *μm*	ความเร็ว,ความชื้นและส่วนประกอบทางเคมีของแก๊สเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกรองของถุงกรองอันตรายสำหรับแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง

เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี จะต้องการให้เกิดความสัมผัสกันระหว่างอนุภาคขนาดเล็กๆที่มากับกระแสแก๊สและหยดและหยดของของเหลวให้มากที่สุด โดยของเหลวหรือน้ำจะถูกฉีดผ่านรูของหัวฉีดเข้ามาที่บริเวณคอคอด (venturi throat) ของระบบทำให้เกิดการแตกตัว (atomized) กลายเป็นหยดน้ำที่มีขนาดเล็กๆ (atomized droplets) จำนวนมากอีกทั้งความเร็วของกระแสแก๊สที่มีค่าสูงขึ้นจากการบีบพื้นที่ให้เล็กลงของคอคอดยังช่วยในการแตกตัวของหยดน้ำที่ถูกฉีดเข้ามาอีก เป็นผลให้ที่บริเวณคอคอดนี้จะเป็นส่วนที่น้ำและกระแสแก๊สเกิดการสัมผัสและเกิดการถ่ายเทพลังงานให้กันมากที่สุดด้วยกลไกต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 อนุภาคก็จะถูกดักเก็บได้ในที่สุด โดยทั่วไประบบของเครื่องเก็บอนุภาคขนิดเวนทูรีจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนที่เกิดการสัมผัส (contacting zone) เป็นส่วนของระบบเครื่องเก็บอนุภาคที่เกิดการสัมผัสกันขึ้นระหว่างแก๊สเสียกับหยดน้ำ ในส่วนนี้อนุภาคจะดักเก็บพร้อมกับการละลายและดูดกลืน (absorption) บางส่วนในน้ำ ส่วนประกอบของเครื่องเก็บอนุภาคในส่วนนี้ จะประกอบด้วยส่วนที่ท่อลู่เข้า และ บานออก (converging-diverging section), ส่วนของคอคอด (venturi throat)

2. ส่วนที่ใช้แยกกระแสแก๊สกับน้ำ (separation zone) เป็นส่วนที่ใช้แยกแก๊สเสียที่ถูกบำบัดให้ออกจากน้ำเสียที่ผ่านการใช้ในการชะล้างแก๊ส (liquid slurry) มาแล้ว รวมถึงการกำจัดหมอก (mist) และละอองไอ (aerosol) ที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2.2.1 ความดันสูญเสียในเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี

(Venturi throat pressure drop)

ความดันลด (pressure drop) สำหรับการไหลของแก๊สผ่านเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีเกิดจากสาเหตุใหญ่ ๆ 2 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุแรกเกิดจากแรงเสียดทานอันเนื่องจากผิวของผนังวัสดุและลักษณะรูปร่างที่เปลี่ยนไป (frictional effect) ของระบบ สาเหตุที่สองเกิดจากการสูญเสียความดันอันเนื่องจากผลของการเร่งความเร็วของหยดน้ำในลอคอดของระบบ (liquid-acceleration effect) สำหรับแรงเสียดทานอันเนื่องจากผิวของผนังวัสดุจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่าง และวัสดุที่ใช้ในการทำระบบเครื่องเก็บอนุภาค แต่ในเครื่องเก็บอนุภาคชนิด เวนทูรีความดันลดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาจากการสูญเสียความดัน เพื่อใช้ในการเร่งความเร็วของหยดน้ำในคอคอด

S. Calvert ได้ประมาณค่าความดันลด (pressure drop) ของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอดของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีว่าขึ้นอยู่กับค่าความเร็วของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด (throat gas velocity: V2) และอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่ออัตราการไหลของแก๊ส (liquid to gas ratio: R) โดยสมมุติว่า พลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ไปในการเร่งความเร็วของหยดน้ำ (droplets) ให้มีความเร็วเท่ากับความเร็วของกระแสแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด ดังนี้

$$\Delta P = (5\times10^{-5})(V_g)^2(R) \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี (efficiency of venturi scrubber)

ประสิทธิภาพการเก็บดักอนุภาค (Collection efficiency) หมายถึง อัตราส่วนของอนุภาคที่สามารถดักเก็บไว้ได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้าระบบเครื่องเก็บอนุภาค โดยตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาค ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาค, ความเร็วของกระแสแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด, อุณหภูมิของแก๊ส, ขนาดของหยดน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้ เป็นต้น สำหรับสมการที่นิยมใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี คือ สมการของ H.F. Johnstone โดยสมการจะอยู่ในรูป[4]

$$\eta_i = 1 - e^{-k\sqrt{\Psi}} \tag{2.2}$$

$$\Psi = \frac{C\rho_p V_g d_p^2}{18 d_0 \mu} \tag{2.3}$$

$$C = \frac{1 + (2\times 10^{-9})T}{d_p} \tag{2.4}$$

2.3 คุณสมบัติมาตรฐานของไซโคลน

รายละเอียดของการใช้ไซโคลนมีชุดมาตรฐาน คือการระบายอากาศ ไซโคลนบางส่วนจะรองรับการไหลจากไซโคลนใหญ่อีกทีหนึ่ง สิ่งเหล่านี้ได้แสดงในรายการคาเนลสัน [4] ในส่วนขนาดของไซโคลน D_2 อัตราขนาดมาตรฐานถูกแสดงไว้ใน ตาราง 2 - 1

ลาเปิล [5] ได้ตั้งกฎเกณฑ์การขยายตัวสำหรับประสิทธิภาพการเก็บของไซโคลน ประสิทธิภาพนี้ขยายตามขนาดของวัตถุ ประสิทธิภาพ 0.5 ถูกออกแบบให้เป็น $d_{0.5}$ และอ้างอิงขนาดวัตถุโดย ลาเปิล [5] สมการสำหรับ $d_{0.5}$ คือ

$$d_{0.5} = \sqrt{\frac{9\mu B^2 H}{\rho_p Q \theta_1}} \tag{2.5}$$

ประสิทธิภาพของส่วนโค้งถูกแสดงเป็นฟังก์ชั่นของอัตราส่วน $d/d_{0.5}$ ในรูปที่ 2-2 ค่าของ 6 ในรูปที่ 2.2 ได้แสดงจำนวนการหมุนตัดขวางของก๊าซของไซโคลนแม้ว่าค่านี้จะเปลี่ยนไป ขาดหายไปของการประกอบที่แท้จริงของข้อมูล ให้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_1 = 2\pi \frac{L_1 + L_2 / 2}{H} = \frac{\pi}{H}(2L_1 + L_2) \tag{2.6}$$

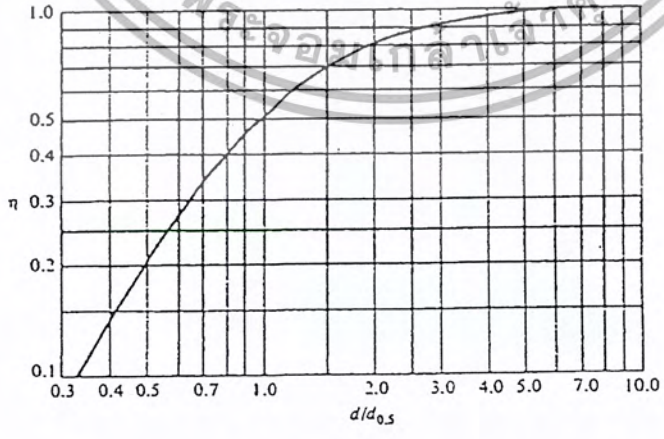
สมการ (2.5) ให้มุมสัมผัส, ก้นหอย, หรือทางโค้งของทางเข้าสำหรับลำทางเข้า สมการต่อไปนี้อาจใช้

$$d_{0.5} = \sqrt{\frac{27\pi\mu B^3}{\rho_\rho Q \theta_1 \tan\alpha}} \tag{2.7}$$

สมการ (2.6) ให้ L_1 = 12 สำหรับไซโคลนมาตรฐาน

ตารางที่ 2 -2 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน

Length of cylinder	$L_1 = 2D_2$
Length of cone	$L_1 = 2D_2$
Diameter of exit	$D_0 = 1/2D_2$
Height of entrance	$H = 1/2D_2$
Width of entrance	$B = 1/4D_2$
Diameter of dust exit	$D_4 = 1/4D_2$
Length of exit duct	$L_3 = 1/8D_2$



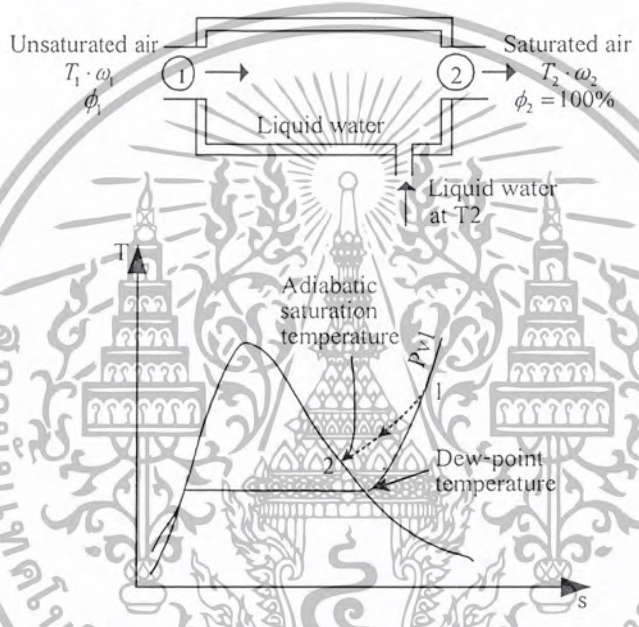
รูปที่ 2-3 การเลือกประสิทธิภาพการเก็บซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของขนาดวัตถุสำหรับการไหลแบบย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการทำให้แก๊สอิ่มตัวแบบแอเดียแบติก

(adiabatic saturation process)

พิจารณากระบวนการทำให้แก๊สร้อนอิ่มตัวแบบแอเดียแบติก โดยให้แก๊สร้อนมีความชื้นและไม่อิ่มตัว ซึ่งมีอัตราส่วนของความชื้น (humidity ratio) ไม่ทราบค่าและมีอุณหภูมิ T1 ไหลผ่านปริมาตรควบคุมที่มีน้ำขังอยู่ซึ่งถูกหุ้มฉนวนโดยรอบ ดังแสดงในรูป 2.4 ขณะที่แก๊สร้อนไหลผ่านปริมาตรควบคุม น้ำบางส่วนเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยขึ้นไปรวมกับแก๊สร้อนที่ไหลผ่านทำให้แก๊สร้อนมีความชื้นเพิ่มมากขึ้นและอุณหภูมิลดลง ถ้าสมมุติว่าปริมาตรควบคุมนี้มีความยาวมากพอ แก๊สที่ออกจากปริมาตรควบคุมนี้ก็จะอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) 100% ที่อุณหภูมิ T2 ซึ่งเรียกว่า อุณหภูมิแอเดียแบติกอิ่มตัว (adiabatic satulation remperature)



รูปที่ 2-4 แสดงกระบวนการแอเดียแบติกอิ่มตัวและแผนภูมิ T-s

กำหนดให้น้ำที่ถูกป้อนเข้าปริมาตรควบคุมเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ T_2 กระบวนการทำให้แก๊สอิ่มตัวแบบแอเดียแบติกนี้จะถูกสมมติให้เป็น กระบวนการไหลคงที่ (steady flow process) โดยปราศจากงาน และความร้อนไหลผ่านปริมาตรควบคุม ถ้าไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ จากกฎการอนุรักษ์มวล และพลังงานจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{\varpi_1} + \dot{m}_{a_1}$$
$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{\varpi_2} + \dot{m}_{a_2}$$

โดยที่

$$\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_{a_3}$$
$$\dot{m}_{\varpi_1} = \dot{m}_f = \dot{m}_{\varpi_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หรือ $$\omega_1 \dot{m}_a + \dot{m}_f = \omega_2 \dot{m}_a$$

ดังนั้น $$\dot{m}_f = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) \quad (2.5)$$

$$\omega_1 = \frac{\dot{m}_{\omega_1}}{\dot{m}_a} = \frac{c_p(T_2 - T) + \omega_2 h_{fg_2}}{h_{g_1} - h_{f_2}} \quad (2.6)$$

$$\omega_2 = \frac{\dot{m}_{w_2}}{\dot{m}_a} = \frac{0.622 P_{g_2}}{P_2 - P_{g_2}} \qquad \text{เมื่อ} \quad P_{g2} = P_{sat@T_2} \quad (2.7)$$

2.5 ปริมาณของน้ำที่ต้องการสำหรับใช้ในระบบเครื่องเก็บอนุภาค

ปริมาณของน้ำที่ต้องการใช้ในเครื่องเก็บอนุภาคจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณของอนุภาคที่ไหลมากับแก๊สเสีย (inlet dust loading or concentration), อุณหภูมิและความชื้นของแก๊สเสียที่ไหลเข้าระบบเครื่องเครื่องเก็บอนุภาค ซึ่งปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องการใช้ (Total make-up water) จะประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำให้แก๊สเสียที่เข้ามาอิ่มตัว (Saturate the gas) และปริมาณน้ำสำหรับใช้ในการดักเก็บอนุภาค (Collecting dust) นั่นคือ

Total make-up water = water required to saturate the income gas stream + water required to collect dust

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50167

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

3.1 การคำนวณหาขนาดของถังไซโคลน

จากตารางที่ 2 – 2 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน

$$B = \frac{1}{4}D_2$$

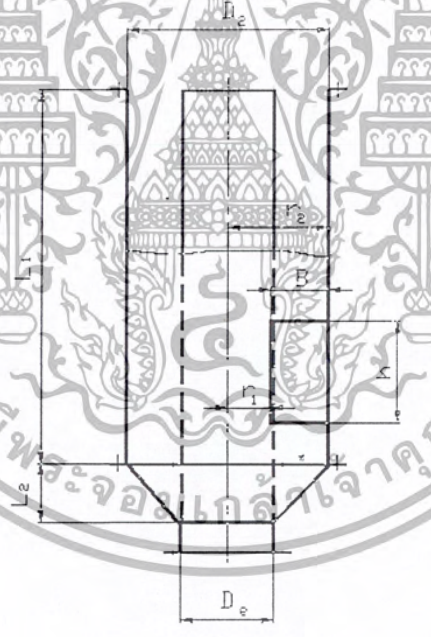
$$h = \frac{1}{2}D_2$$

$$L_1 = 2D_2$$

$$L_2 = 2D_2$$

$$L_3 = \frac{1}{8}D_2$$

$$D_e = \frac{1}{2}D_2$$



รูปที่ 3-1 ขนาดของถังไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ

$$V_\theta = \frac{Q}{Wr_2 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$= \frac{Q}{\left(\frac{D_2}{2}\right)2D_2 \ln\left[\frac{(D_2/2)}{\left(\frac{D_2}{2}-\frac{D_2}{4}\right)}\right]}$$

$$= \frac{Q}{d_2^{\,2} \ln\left[\left(\frac{D_2}{2}\right)\left(\frac{4}{D_2}\right)\right]}$$

$$V_\theta = \frac{Q}{D_2^{\,2} \ln 2}$$

และ

$$Vr = \frac{\rho_p Q^2 d^2}{18\mu^3 W^2 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2}$$

สมมติ ไอเสียมีอัตราการไหลเข้าเครื่องไซโคลนสูงสุด 0.4 $m^3/\min$ และ มีความเร็ว 5 m/s

เมื่ออนุภาคกระทบกับถังทำให้ $V_r = 0 \quad m/s$ และ $V_\theta = 5 \quad m/s$

ดังนั้น $D_2 = \sqrt{\frac{0.4}{5 \ln 2}} = 0.339 \quad m$

ใช้ถังขนาด $D_2 = 0.35 \quad m$

ให้ $W = L_1$

จาก $L_1 = W = 2D_2$

$= 2 \times 0.35$

$= 0.7 \quad m$

จาก $r_1 = \frac{D_2}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{D_2}{2}\right)$

$= \frac{0.35}{4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0875 \quad m$$

จาก
$$V_\theta = \frac{Q}{Wr_2 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$= \frac{0.4}{0.175 \times 0.7 \times \ln\left(\frac{0.175}{0.0875}\right)}$$

$$\therefore \quad V_\theta = 4.7108 \quad m/s$$

จะเห็นได้ว่า V_θ ใกล้เคียงกับค่าที่สมมติคือ $5 \ m/s$ ดังนั้น $r_1 = 0.0875 \quad m$

และ $r_2 = 0.175 \quad m$

จาก
$$V_\theta = \frac{Q}{Wr_2 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$5 = \frac{0.4}{0.175 \times L_1 \times \ln\left(\frac{0.175}{0.0875}\right)}$$

$$L_1 = 0.659 \quad m$$

ดังนั้น ที่ปริมาณไอเสียมากสุด $0.4 \ m^3/s$ และ ความเร็ว $5 \ m/s$

ขนาดของถังไซโคลน :

$D_2 = 0.35 \quad m$

$D_e = 0.16 \quad m$

$L_1 = 0.65 \quad m$

$B = 0.1 \quad m$

$h = 0.18 \quad m$

3.2 การออกแบบออริฟิต

เลือกขนาดออริฟิตจาก มาตรา ฐาน JIS

D = 82.4 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $0.005D \le \ell \le 0.02D$

$$0.412 \le \ell \le 1.648$$

เลือก ℓ =1.5 mm

และ $\ell = E \le 0.05D$

เลือก E = 4 mm

เลือก d = 33 mm

$$\beta = \frac{d}{D} = 0.4$$

รูความดันไม่เกิน 0.08D = 6 mm

เมื่อ β < 0.6 ได้

$$L_1 = D \pm 0.1D = 80 \text{ mm}$$

$$L_2 = 0.5D \pm 0.02D = 40 \text{ mm}$$

3.3 การหาอัตราส่วนของน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว

ให้ ω_1 = 0.0214 , (W_b = 28°c , 60%) , T = 33°c

จาก $\dot{m}_1 = \dot{m}_\omega + \dot{m}_{a1}$

$$\rho_1 Q_1 = \omega_1 \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a1}$$

โดยที่ $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$

$$\dot{m}_a = \frac{\rho_1 Q_1}{1+\omega_1}$$

พิจารณาที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าระบบเท่ากับ 1000 ft^3/min

ความหนาแน่น 1.154 kg/m^3 หรือเท่ากับ 0.03267 kg/ft^3

$$\dot{m}_a = \frac{(0.03267 \times 1000)}{1+0.0214}$$

= 31.98 kg/min

= 0.5331 kg/s

$$\text{จาก } \omega_1 = \frac{\dot{m}\omega_1}{\dot{m}_{a_{12}}} = \frac{C_p(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg_2}}{h_{g_1} - h_{g_2}}$$

<u>จากตารางไอน้ำ</u>

$$h_{fg_2} = h_{fg_{29^\circ c}} = 2432.86 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{g_1} = h_{g_{33^\circ c}} = 2521.7 \text{ kJ/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{f_2} = h_{f_{29^\circ c}} = 121.61 \text{ kJ/kg}$$

$$\omega_1 = \frac{0.013\times(29-33)+\omega_2(2432.86)}{2521.7-121.61}$$

$$\omega_2 = \frac{0.0214\times(2400.09)+4.052}{2432.86}$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a(\omega_2-\omega_1)$$

$$= 0.5331\times(0.02277-0.0214)$$

$$= 0.0007342 \text{ kg/s/1000ft}^3\text{/min}$$

$$= 0.001576 \text{ L}_{\text{น้ำ}}/\text{m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
หลักการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์

ในบางเหตุการณ์จะไม่สามารถแสดงหรือบอกได้ว่าสิ่งต่างๆ ที่เราสนใจมีปริมาณ, องค์ประกอบหรือลักษณะต่างๆ เป็นอย่างไร จึงต้องมีการสุ่มหรือเลือกตัวอย่างออกมาจากสิ่งที่เราสนใจเพื่อนำไปวิเคราะห์หรือทำนายสิ่งที่เราสนใจนั้น ดังนั้น การเก็บตัวอย่างจึงมีความสำคัญอย่างมากในทางวิศวกรรม ตัวอย่างที่ดีจะสามารถแสดงหรือเป็นตัวแทนสิ่วที่เราสนใจทั้งหมด

ในงานวิจัยนี้จะแยกพิจารณาการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน คือ การเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีอยู่ในอากาศและการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อการวิเคราะห์ การเก็บตัวอย่างของอนุภาคที่มีอยู่ในอากาศจะทำการเก็บตัวอย่างของอนุภาคที่มากับกระแสแก๊สเสียที่ได้จากการเผาไหม้ก่อนเข้าสู่ระบบ ที่ตำแหน่งท่อทางเข้าของระบบเครื่องเก็บอนุภาค เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอนุภาคทั้งหมดและการกระจายขนาดของอนุภาคที่จะเข้าสู่ระบบด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคที่มีชื่อว่า "Mastersizer" โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการใช้งาน สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากระบบเครื่องเก็บอนุภาคที่ถังรองรับน้ำเสีย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอนุภาคทั้งหมดและการกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคเช่นเดียวกันกับที่ใช้วิเคราะห์ในข้างต้น

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อการวิเคราะห์

ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำเสียจะเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการเก็บตัวอย่างน้ำที่ถูกต้องและเป็นตัวแทนที่แท้จริง ซึ่งผู้ที่จะทำหน้าที่ในการเก็บตัวอย่างน้ำหรือผู้ที่จะวิเคราะห์จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในรายละเอียดของระบบบำบัดเป็นอย่างดีเสียก่อนและจะต้องทราบว่าจะเก็บตัวอย่างน้ำนั้นไปเพื่อวิเคราะห์อะไร จะได้ทำการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำได้ถูกต้อง ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเก็บตัวอย่างน้ำ คือ อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำ, จุดเก็บ, วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ, การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

4.1.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำ

<u>อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำประกอบด้วย</u>

1. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ มักเป็นชนิดขวดแก้วหรือโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ขนาดใหญ่พอที่จะบรรจุน้ำไปเพื่อทำการวิเคราะห์ มีฝาเกลียวปิดมิดชิด ก่อนใช้ควรล้างให้สะอาดก่อนด้วยกรดโครมิก (chromic acid) และล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 2-3 ครั้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่น ในกรณีที่ใช้ขวดแก้วเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์จะต้องทำการอบนึ่ง (Sterilized) เพื่อฆ่าเชื้อโรคเสียก่อน การใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาชนะอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวแล้ว ควรหลีกเลี่ยงเพราะอาจเกิดปฏิกิริยากับกรดหรือด่างที่มีในตัวอย่างน้ำที่เก็บ ซึ่งทำให้ลักษณะสมบัติของตัวอย่างน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้

2. อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ประกอบในการเก็บตัวอย่างน้ำ ได้แก่ ภาชนะสำหรับดักตัวอย่างน้ำ, กระบอกตรง, เทอร์โมมิเตอร์, ฉลากสำหรับปิดขวด, สารเคมีที่ใช้ประกอบการเก็บตัวอย่างน้ำ ฯลฯ

4.1.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

1. ถ้าเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากทุกๆ จุดที่มีการ
2. ปล่อยน้ำเสียออกมา และ/หรือ ที่จุดรวมของน้ำเสีย ก่อนระบายออกนอกโรงงาน
3. ถ้าเป็นน้ำเสียชุมชน (domestic waste) ให้เก็บจากปลายท่อระบายน้ำโสโครก
4. หรือบ่อตรวจการระบาย (Manhole) หรือจากบ่อสูบ
5. ถ้าเป็นน้ำเสียโรงพยาบาล ให้เก็บจากปลายท่อระบายน้ำโสโครกจากอาคารต่างๆ
6. ในโรงพยาบาล
7. ในการตรวจสอบหาประสิทธิภาพและควบคุมการทำงานของระบบบำบัด ให้เก็บ
8. จากจุดต่างๆ ตามขั้นตอนของระบบบำบัด บริเวณที่จะเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวจะองเป็นบริเวณที่ไม่มีการตกตะกอนและน้ำเสียควรผสมรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี

4.1.3 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

การที่จะเก็บตัวอย่างน้ำให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียทั้งหมดนั้น จำเป็นต้องเลือกวิธีเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1. การเก็บแบบจ้วง (Grab or Catch sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเอาเฉย ๆ แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบดังนั้นตัวอย่างน้ำที่ได้จากการเก็บแบบนี้ จะเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำนั้น เฉพาะเวลาและจุดที่เก็บได ๆ เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีคุณภาพที่ค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ณ จุดต่าง ๆ ก็อาจกล่าวได้ว่า ตัวอย่างน้ำเพียงตัวอย่างเดียว ก็อาจใช้เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำทั้งหมดได้ ตัวอย่างของแหล่งน้ำประเภทนี้ได้แก่ น้ำประปา, น้ำผิวดิน, น้ำบ่อลึก

ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีคุณภาพแปรผันตามเวลา การเก็บตัวอย่างแบบนี้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมมาทำการวิเคราะห์จะช่วยให้ทราบถึงขอบเขต ความถี่และช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงได้ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับความถี่ของการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น จึงอาจจะแปรผันได้ตั้งแต่ 5 นาที ถึง 1 ชั่วโมง หรือนานกว่านี้ การเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้มีข้อดีในกรณีที่

ก. น้ำเสียไม่ได้ไหลแบบต่อเนื่อง เช่น ปล่อยทิ้งเป็นครั้งคราวเนื่องจากกระบวนการผลิตเดินเครื่องเป็นช่วง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของน้ำเสีย ตามกรรมวิธีการผลิต ในกรณีนี้ต้องจ้วงเก็บตัวอย่างหลายตัวอย่าง ณ เวลาต่าง ๆ มาเทียบกัน

ค. ต้องการหาลักษณะบางอย่างของน้ำเสีย ณ จุดที่เก็บ เนื่องจากค่าเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น พีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย ตะกอนหนักหรือคลอรีนหลงเหลือ

2. การเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) เป็นการเก็บตัวอย่าง ณ จุดเดียวกันที่เวลาต่าง ๆ โดยแบ่งแต่ละช่วงเวลาของการเก็บให้สม่ำเสมอ ปริมาณของการเก็บขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำ แล้วนำมาผสมรวมกันในถังเก็บใบเดียวกัน วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้เหมาะสมกับงานที่ต้องการทราบความเข้มข้นเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องจักรในโรงงานกำจัดน้ำเสียหรือความสามารถที่กำจัดน้ำเสีย การเก็บแบบนี้มีข้อดีตรงที่ ลดจำนวนตัวอย่างน้ำที่ต้องวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเคมีภัณฑ์และเวลาในการศึกษาได้มาก เพราะไม่ต้องทำการวิเคราะห์แยกแต่ละตัวอย่างเหมือนการเก็บแบบแรกแต่ทำการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียวจากตัวอย่างรวม ส่วนข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้ คือ การเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละครั้งที่ชุดเดียวกันใช้วิธีไม่เหมือนกัน ทำให้ตัวอย่างรวมซึ่งเป็นตัวอย่างเฉลี่ยมีความผิดพลาดได้ การถ่ายตัวอย่างน้ำ ในแต่ละครั้งจากจุดที่เก็บลงในถังเก็บรวม ไม่ละเอียดพอเป็นผลให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้

ช่วงความถี่ของการเก็บตัวอย่างน้ำและจำนวนครั้งของการเก็บขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและลักษณะของน้ำเสียนั้น ๆ ปริมาณตัวอย่างน้ำในการเก็บแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับว่าต้องการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาอะไรบ้าง เพื่อที่จะได้เก็บตัวอย่างน้ำให้มีปริมาณมากพอที่จะทำการวิเคราะห์ได้ตามต้องการ ในกรณีแบบเก็บผสมรวม ปริมาณตัวอย่างน้ำควรจะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำด้วยโดยทั่วไปแล้วควรเก็บตัวอย่างน้ำรวมแล้วปริมาณรวมไม่น้อยกว่า 5 ลิตร ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์แต่ละค่าจะแสดงในเชิงวิเคราะห์ซึ่งอยู่หัวข้อถัดไป

4.1.4 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

โดยทั่วไปผลการวิเคราะห์จะน่าเชื่อถือและเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เมื่อต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างนี้ทันทีภายหลักการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้เพราะเมื่อทิ้งตัวอย่างไว้นานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและชีวภาพได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างน้ำแต่ละประเภท วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำและช่วงเวลาที่ยอมให้เก็บ ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-1 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	การเก็บรักษา	ช่วงระยะเวลาที่ยอมให้เก็บ
สภาพกรด-ด่าง	แช่เย็น 4°C	24 ชั่วโมง
สี	แช่เย็น 4°C	6 ชั่วโมง
ปริมาณของแข็ง	แช่เย็น 4°C	7 วัน
ความขุ่น	เก็บในที่มืดและแช่เย็น 4°C	24 ชั่วโมง
คลอไรด์	ไม่จำเป็น	7 วัน

4.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง

ของแข็งทั้งหมด (Total Solid; TS) หมายถึง สิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำออกจนหมดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 ถึง 105 องศาเซลเซียส ของแข็งทั้งหมดนี้จะแบ่งได้ 2 ชนิดตามลักษณะการละลาย คือ

1. ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) หมายถึง ส่วนของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำซึ่งส่วนมากได้แก่ เกลืออนินทรีย์ เช่น NaCl, Na_2CO_3 และสารอินทรีย์บางชนิด เช่น น้ำตาล

2. ของแข็งไม่ละลายน้ำ (Insoluble Solids) หมายถึง ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามขนาดของชิ้นส่วนที่ไม่ละลาย คือ

2.1 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดพิเศษเรียกว่า Glass fiber paper (Whatman GF/C) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 ถึง 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนแผ่นกรอง

2.2 ตะกอนหนัก (Settle able Solid) หมายถึง ตะกอนใหญ่และหนัก สามารถตกลงมารวมกันยังส่วนล่างได้ หาได้โดยการนำตัวอย่างน้ำมาใส่ในภาชนะพิเศษ เรียกว่า Imhoff cone ขนาด 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 45-60 นาที อ่านปริมาตรของตะกอนจากสเกลบน Imhoff cone ค่าที่อ่านได้คือ Settleable Solid มีหน่วยเป็น มิลลิลิตราต่อลิตร

การวิเคราะห์ค่าของแข็ง (Solids) มีความสำคัญดังนี้

ก) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) แสดงถึง ปริมาณสิ่งเจือปนหรืออนุภาคทั้งหมดในน้ำว่ามีมากน้อยเพียงไร

ข) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากสารแขวนลอยนี้จะเป็นตัวกั้นแสงแดดที่ส่องลงมาในน้ำ เป็นผลให้การสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำลดลงซึ่งจะเป็นการลดออกซิเจนในน้ำลงได้ทางหนึ่ง

ค) ปริมาณตะกอนหนัก มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบกำจัดน้ำเสียว่าจำเป็นต้องใช้ถังตกตะกอนหรือไม่ และเพื่อหาขนาดของเครื่องสูบตะกอน (Sludge pumps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.1 วิธีวิเคราะห์หาตะกอนหนัก

ตะกอนหนัก หมายถึง ปริมาณตะกอนที่จมตัวได้ดีเมื่อตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้นิ่ง ๆ ในเวลา 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็น ลบ.ซม./ลิตร/ชั่วโมง

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

กรวยอิมฮอฟฟ์ (Inhoff cone) หรือกระบอกตวง ความจุ 1 ลิตร

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. เทตัวอย่างน้ำที่เขย่าจนเข้ากันดีแล้วลงในกรวยอิมฮิฟฟ์หรือกระบอกตวงจนกระทั่งได้ปริมาตรเป็น 1,000 ลบ.ซม.

2. ปล่อยให้สารที่หนักจมตัวลงเป็นเวลา 45 นาที ใช้แท่งแก้วค่อย ๆ กวนข้าง ๆ กรวยเพื่อให้สารต่าง ๆ จมตัวได้ถึงก้นให้หมด

3. ตั้งทิ้งไว้อีก 15 นาที (รวมทั้งหมดเป็น 60 นาที) จึงอ่านปริมาตรของสารที่จมตัวได้เป็น ลบ.ซม. ค่าตกตะกอนหนักจะมีหน่วยเป็น ลบ.ซม./ลิตร/ชั่วโมง

4.1.5.2 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด

ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) หมายถึง ของแข็งที่ละลายน้ำได้และสามารถไหลผ่านกระดาษกรองใยแก้ว นำตัวอย่างของน้ำที่ผ่านกระดาษกรองใยแก้วไประเหยน้ำออกให้หมด จะได้ปริมาณของแข็งละลายได้ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. จานระเหย (Evaporating dish)
2. เครื่องอังน้ำ (Water bath or steam bath)
3. เตาอบแห้ง
4. โถทำแห้ง
5. เครื่องชั่งละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์

1. กรองของแข็งที่สามารถกรองได้ออกทิ้ง หรือใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรอง (filtrate) ที่เหลือจากการหาปริมาณของแข็งแขวนลอย

2. ชั่งจานระเหยที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นลงในโถทำแห้งมาแล้ว จนได้น้ำหนักคงที่ สมมติเป็น A มิลลิกรัม

3. ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรอง 50 ลบ.ซม. (ปริมาตรของตัวอย่างน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของจานระเหย) ใส่ในจานระเหย

4. นำไปตั้งบนเครื่องอังน้ำให้น้ำระเหยจนแห้ง

5. นำจากระเหยที่แห้งไปเข้าเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส อบจนแห้งนาน 1 ชั่วโมง

6. ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งจนถึงอุณหภูมิห้อง

7. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

8. ทำซ้ำใน ข้อ 5,7 อีกครั้ง จนชั่งจานระเหยได้น้ำหนักคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม

4.1.5.3 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด

ของแข็งทั้งหมด (TS) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในภาชนะภายหลังจากระเหยน้ำออกจากตัวอย่างน้ำจนหมด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น ๆ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.5.3

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหย โดยจานที่ใช้จะต้องสะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก สมมติเป็น A มิลลิกรัม

1. เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำให้เหมาะสมโดยปกติใช้ 50 หรือ 100 ลบ.ซม.

2. ค่อย ๆ รินตัวอย่างน้ำที่เขย่าให้เข้ากันดีแล้วลงในถ้วยระเหยที่ตั้งบนเครื่องอังน้ำ เมื่อไอน้ำระเหยออกหมดแล้ว ให้ทำข้อ 4 ต่อ

4. ให้นำจานระเหยไปอบที่เตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง

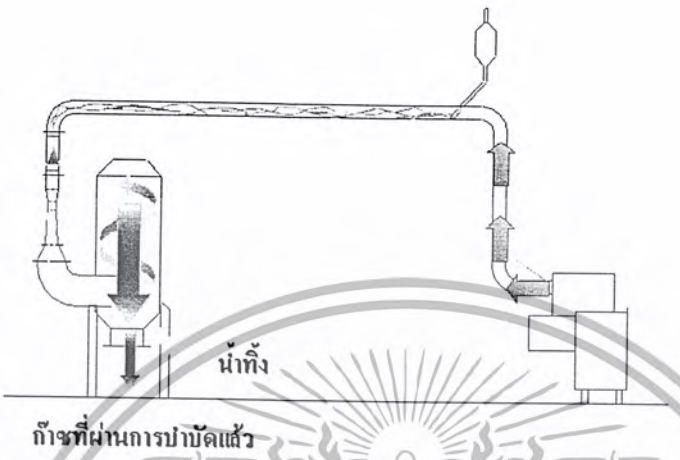
5. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำซ้ำในข้อ 4,5 จนชั่งน้ำหนักจานระเหยได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติเป็น B มิลลิกรัม (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมาณสารทั้งหมดหรือ TS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลอง



รูปที่ 5-1 แสดงการทำงานของเครื่องเก็บอนุภาค

5.1 หลักการทำงาน

หลังจากทำการเปิดเครื่องเป่าอากาศจากภายนอกจะถูกดูดผ่านตัวเป่าอากาศทางท่อดูดและถูกส่งเข้าภายในท่อแก๊สผ่านออริฟิต เพื่อวัดหาความเร็วภายในท่อจนถึงบริเวณด้านบนจะมีการปล่อยอนุณด้านบนจะมีการปล่อยอนุภาคลงมาในกระแสแก๊สทำให้อนุภาคกระจายตัวภายในท่อ อนุภาคจะไหลในท่อจนถึงหอพ่นน้ำจะมีการฉีดน้ำเพื่อให้เกิดการดักจับอนุภาค อนุภาคที่ผสมกับน้ำจะร่วงลงมาและเกิดการคลุกเคล้ากันมากขึ้นทำให้น้ำภายในบริเวณคอคอดและอนุภาครวมตัวกันและตกลงสู่ด้านล่างและกระแสแก๊สจะเป่าให้อนุภาคที่รวมตัวให้ไปไหลจนในถังไซโคลน ภายในถังไซโคลนจะมีแกนกลางเพื่อให้อนุภาคเกิดการหมุนวนขึ้นด้านบน อนุภาคที่เบาและอากาศจะลอยขึ้นด้านบนและตกลงตรงแกนกลางของถังไซโคลน ส่วนอนุภาคที่ใหญ่และถูกดักจับก็จะถูกระบายออกทางท่อน้ำทิ้งเพื่อทำการบำบัดต่อไป

5.2 วิธีการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมด ประกอบด้วยชุดสร้างแรงดันและระบบท่อ, ชุดคอคอดและถังไซโคลน, ชุดปั๊มแรงดันและหัวฉีด รวมทั้งอุปกรณ์ในการวัด Pressure drop โดยการต่อกับมานอมิเตอร์แบบ Incline Manometer และชุดออริฟิตต่อกับมานอมิเตอร์แบบ U Tube
2. ทำการติดตั้งหัวฉีดเข้ากับชุดคอคอด ในการทดลองจะติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางหอสเปรย์น้ำโดยใช้หัวฉีดแบบ Solid Cone Spray ใช้หัวฉีดเบอร์ BIM 16
3. ทำการล้างระบบทั้งหมดให้สะอาดเพื่อให้ได้ผลการทดลองเกิดการผิดพลาดน้อยที่สุด
4. นำอนุภาคที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีขนาด 5 μm – 1600 μm โดยการนำไปชั่งตาชั่งให้ได้ที่เราต้องการใช้ในแต่ละการทดลองที่ได้กำหนดไว้ โดยจะกำหนดน้ำหนักที่ใช้จากค่าความหนาแน่น

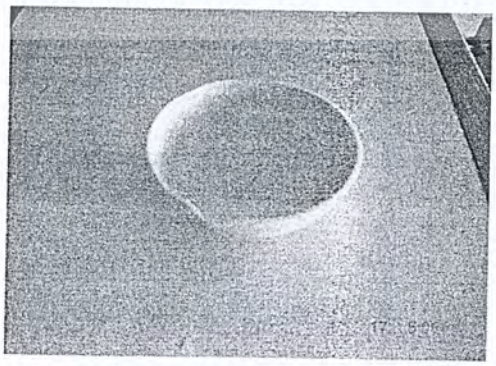
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอัตราการไหล เช่น ที่อัตราการไหล $3m^3/min$ ค่าความหนาแน่น 25 g/ m^3 เราจะใช้อนุภาคน้ำหนัก 75 g/min เป็นต้น

5. ทำการเดินเครื่องเป่าอากาศ เพื่อวัดอัตราการไหลโดยใช้ออริฟิตเป็นตัววัดความเร็วของอากาศที่เข้าในกระแสแก๊ส โดยใช้ค่าความแตกต่างโดยดูที่ U Tube Manometer
6. ทำการเดินเครื่องมอเตอร์เพื่อขับปั๊มแรงดันสูง เพื่อปั๊มค่าแรงดันในการฉีดน้ำของหัวฉีดโดยดูแรงดันที่ Pressure gauge
7. นำอนุภาคมาเติมลงในตัวป้อนอนุภาคตามน้ำหนักที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง
8. เดินเครื่องเป่าอากาศจนกระแสแก๊สให้คงที่ ทำการเปิดวาล์วควบคุมการไหลของอนุภาค ให้อนุภาคไหลหมดในเวลา 1 นาทีพอดีในขณะเปิดวาล์วปล่อยอนุภาค ให้เปิดปั๊มให้สเปรย์น้ำ โดยทั้งสองอย่างให้เสร็จสิ้นภายใน 1 นาที
9. ในระหว่างทดลอง 1 นาที ให้วัด Pressure drop ที่บริเวณคอคอดและถังแยก แล้วบันทึกค่าลงตาราง
10. ในขณะทดลองให้นำถังเปล่าที่สะอาดมาลองน้ำทิ้งที่ออกมาจากระบบดักเก็บ เพื่อหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระบบใช้ในการดักเก็บเพื่อนำไปรวมกับน้ำที่ได้จากการคำนวณ
11. ทำการสุ่มน้ำทิ้งที่ได้ไว้ประมาณ 500 cc และทำการตวงหาปริมาณน้ำทั้งหมด แล้วบันทึกค่า
12. นำตัวอย่างน้ำที่ได้ไปทำการหาขนาดของอนุภาคที่เก็บได้ และไปหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยการนำไปทำการอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักของของแข็งในน้ำ และนำเอาน้ำหนักที่ได้ ไปคิดหาอัตราส่วนทั้งหมดที่เครื่องดักเก็บได้
13. นำน้ำหนักที่ได้ไปเทียบกับน้ำหนักที่ป้อนให้กับระบบในตอนต้น
14. ทำการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองไปตามการทดลองที่ได้กำหนดไว้จนครบทุกการทดลอง

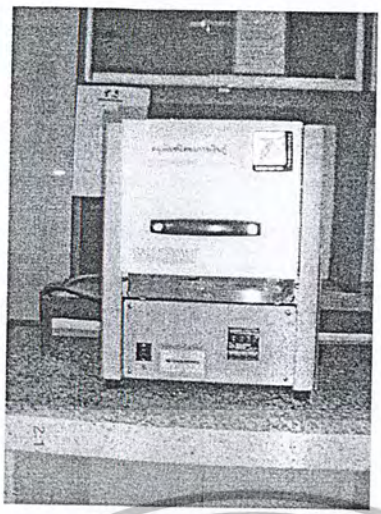
5.3 วิธีการอบแห้ง

1. นำถ้วยอังแห้งไปอบในตู้อบ เพื่อไล่ความชื้นออกจากถ้วยให้หมด โดยใช้เวลาในการอบประมาณ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 150°C



รูปที่ 5-2 แสดงรูปถ้วยอังแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-3 แสดงรูปเตาอบ

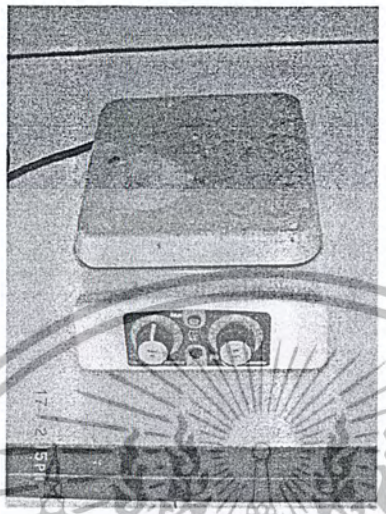
2. นำถ้วยอังแห้งที่ผ่านการอบใส่ในถ้วยสุญญากาศป้องกันความชื้นแล้วนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของถ้วยเปล่า

รูป 5-4 แสดง ถ้วยสุญญากาศ

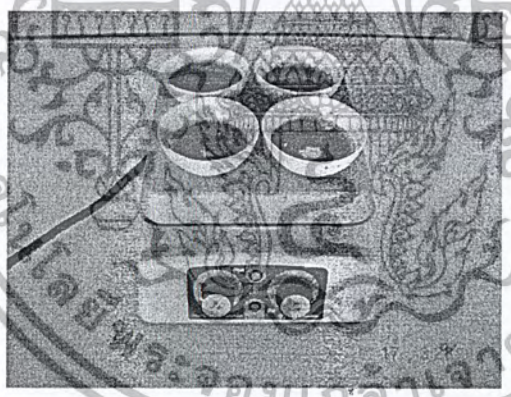
3. นำตัวอย่างน้ำทิ้งที่เก็บไว้จำนวนประมาณ 20 cc ใส่ในถ้วยอังแห้งที่เตรียมไว้ ในขณะที่ใส่ต้องเขย่าตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อให้อนุภาคที่ตกตะกอนเกิดการกระจายตัวอย่างทั่วถึง ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องกระทำการอย่างรวดเร็วและระมัดระวัง เพราะอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำทิ้งตัวอย่างจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำถ้วยอังแห้งที่มีตัวอย่างน้ำทิ้งไปให้ความร้อนบน Hot Plate จนกว่าน้ำระเหยออกจนหมด



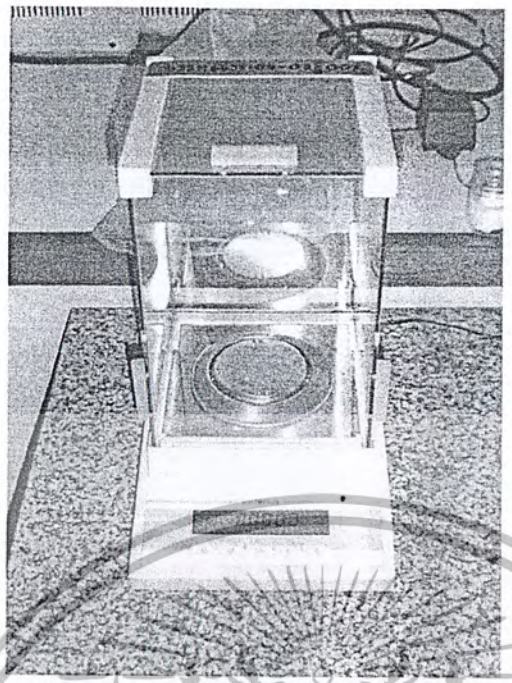
รูปที่ 5-5 แสดงรูป Hot Plate



รูปที่ 5-6 แสดงรูป Hot Plate

5. นำถ้วยอังแห้งที่ผ่านการให้ความร้อนจนเหลือแต่อนุภาคที่แห้ง ไปเข้าตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 150°C เพื่อไล่ความชื้นออกจากถ้วยอังแห้งอีกครั้งหนึ่ง
6. นำถ้วยอังแห้งที่มีอนุภาคอยู่ภายในไปใส่ในถ้วยสุญญากาศเพื่อป้องกันความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักรวมของถ้วยอังแห้งกับอนุภาคที่หลงเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

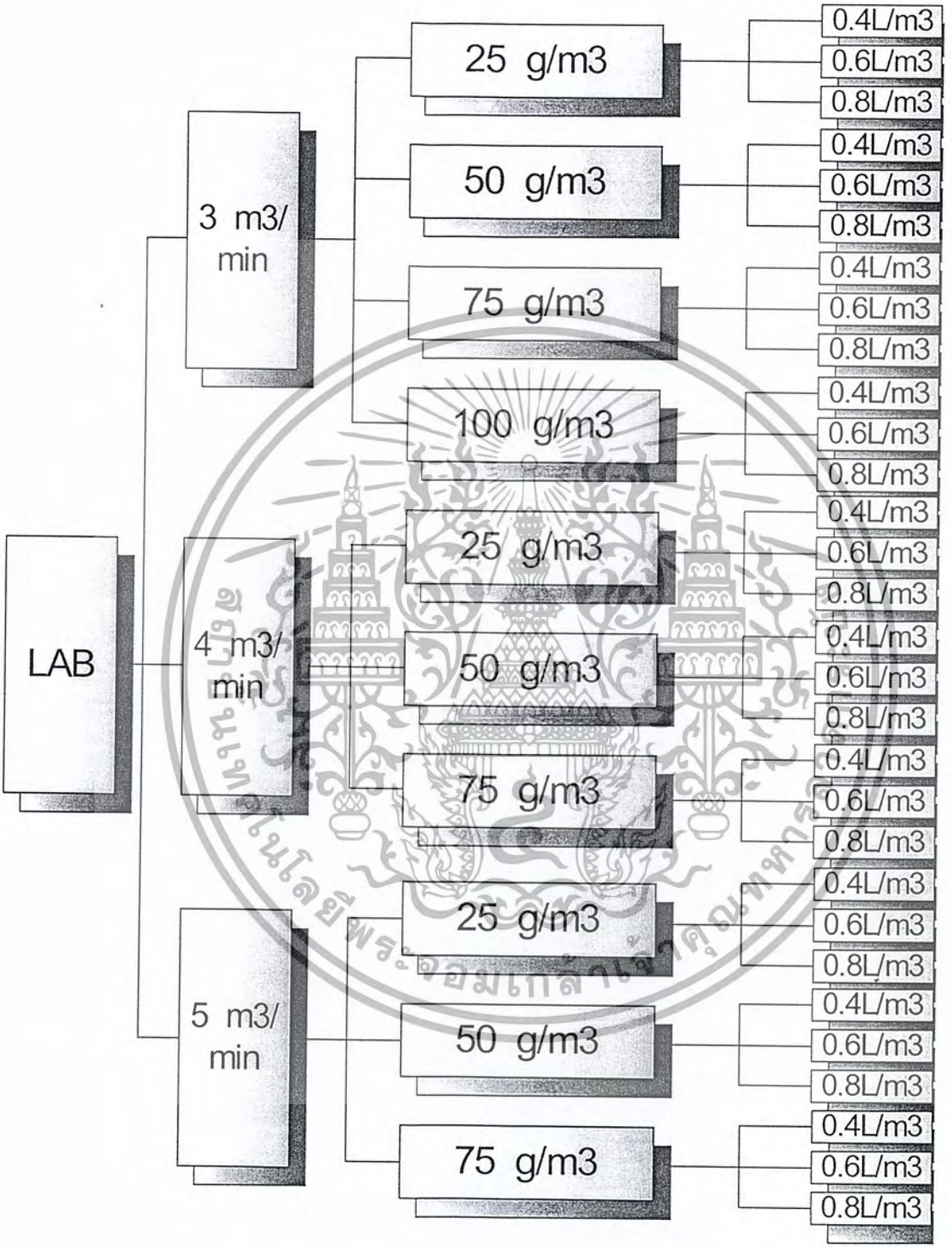


รูปที่ 5-7 แสดงเครื่องชั่งดิจิตอล

7. เมื่อได้น้ำหนักของถ้วยอังแห้งที่มีอนุภาคหลงเหลืออยู่ จากนั้นนำน้ำหนักของถ้วยอังแห้งเปล่าที่ได้หาไว้ในขั้นตอนข้างต้นมาลบออกเราก็จะได้น้ำหนักของอนุภาคที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำทิ้ง 20 cc เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำทิ้งทั้งหมด

รูปที่ 5-8 ขี้เถ้าแกลบที่ใช้ในการทดลองมีขนาดตั้งแต่ 4 μm –1600 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-9 ค่าต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปที่ใช้ในการทดลองในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่6

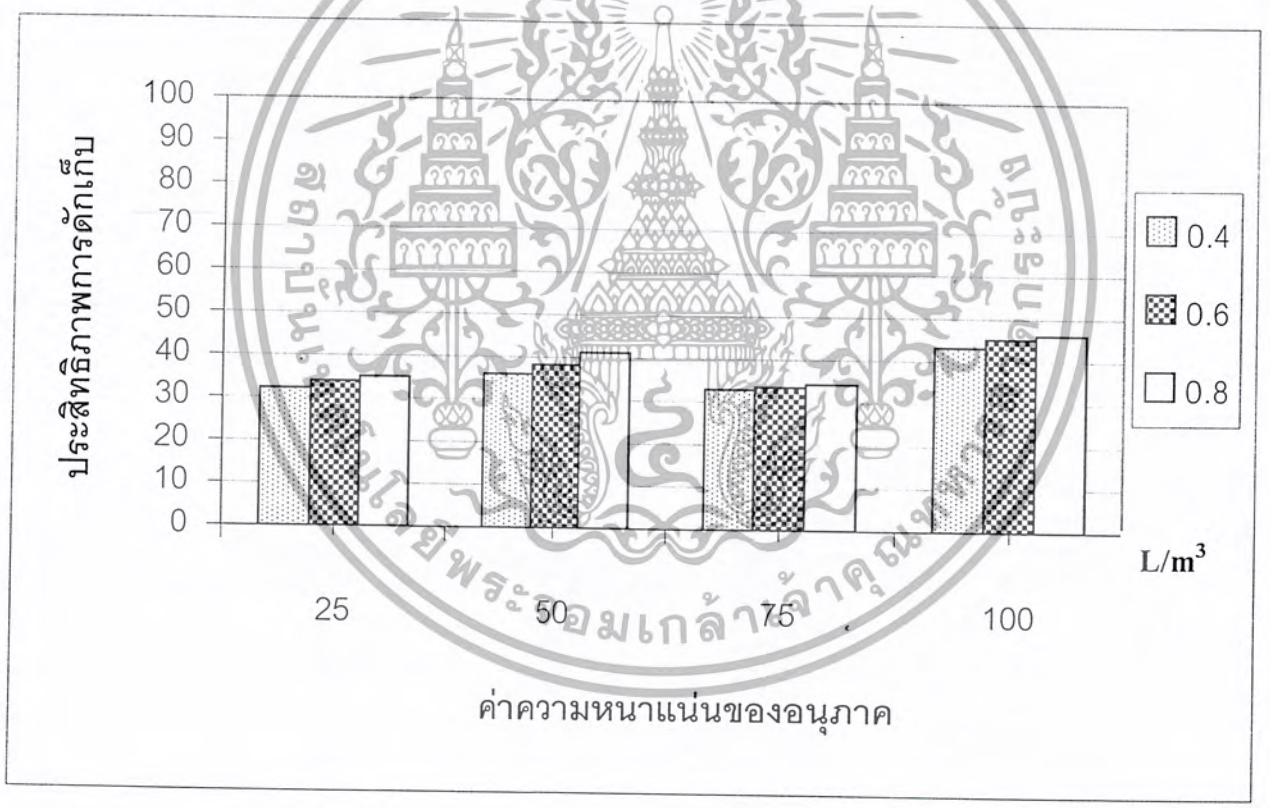
ผลการทดลอง

การวิจัยโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบเครื่องดักเก็บอนุภาคแบบเวนทูรีสครับเบอร์ เพื่อที่จะนำไปทดลองหาผลของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ ค่าอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สเสียที่ไหลเข้ามาในระบบและขนาดของหยดน้ำที่สเปรย์ออกจากรูของหัวฉีดน้ำ ว่ามีผลต่อแนวโน้มของตัวแปรตามต่างๆ อันได้แก่

ค่าประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาค(overall collection efficiency) อย่างไร รวมทั้งเปรียบเทียบค่าที่ได้จากผลการทดลอง(experiment result) และค่าที่ได้จากการประมาณทางทฤษฎี (estimated result) ดังนั้นในบทนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่เงื่อนไขต่างๆมาแสดง

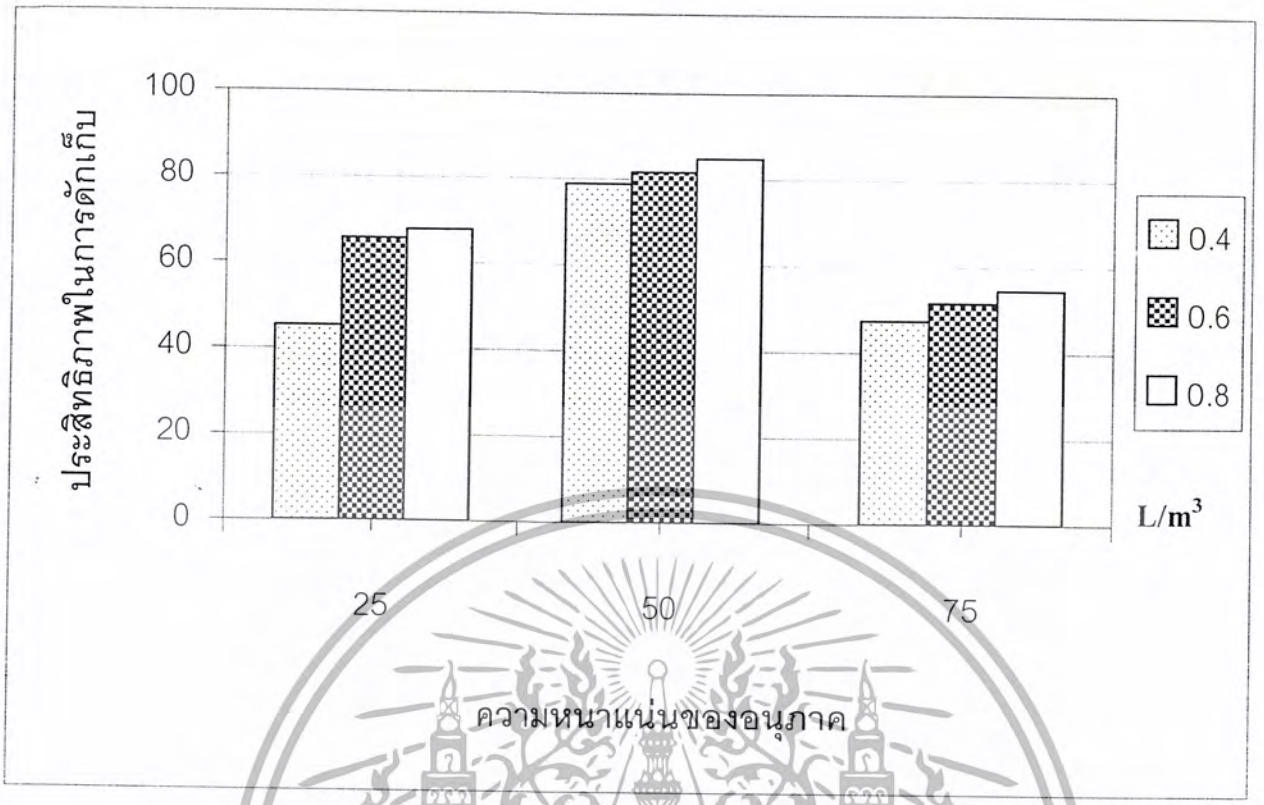
ผลการทดลอง

6.1 ผลทดลองโดยการเปลี่ยนแปลง อัตราการไหลของกระแสแก๊ส (m^3/min)

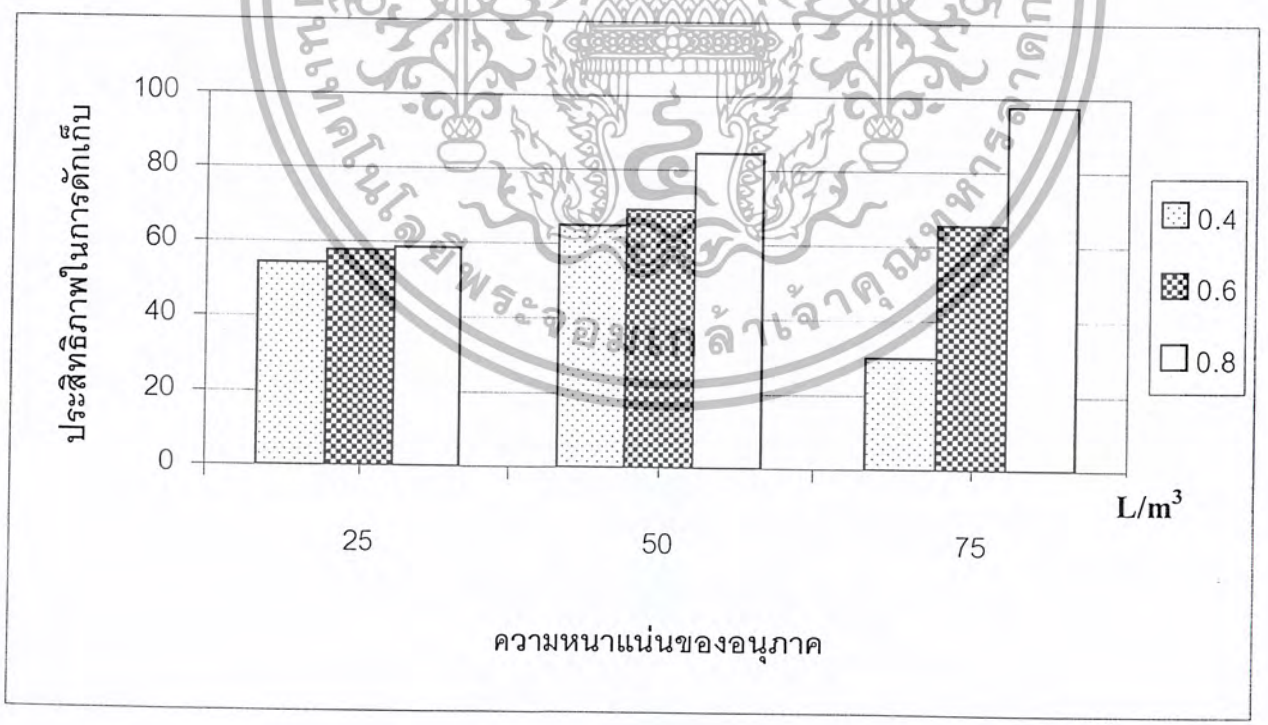


รูปที่ 6-1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการไหล 3 m^3/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



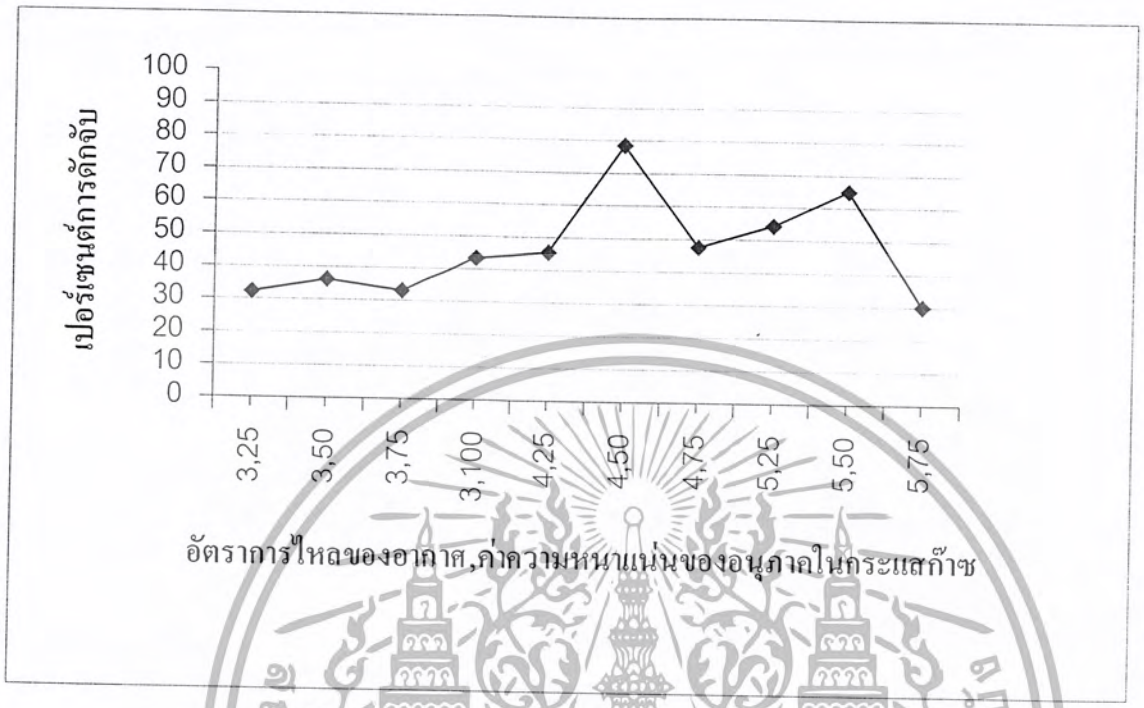
รูปที่ 6-2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการไหล 4 m^3/min



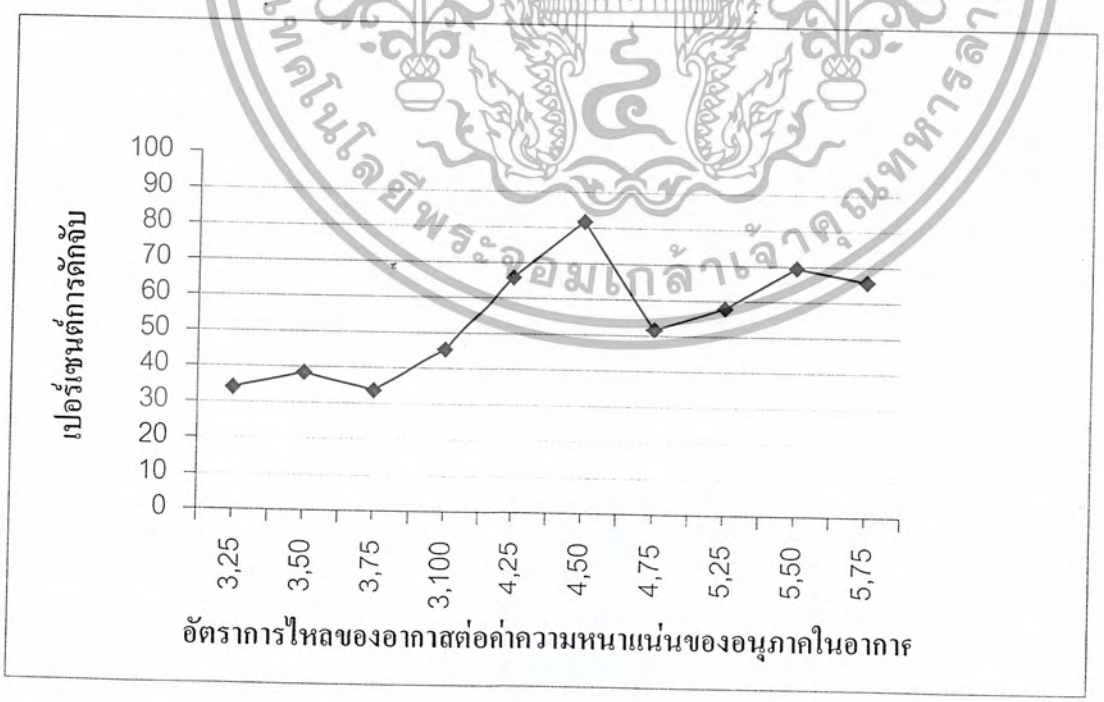
รูปที่ 6-3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการไหล 5 m^3/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการฉีดน้ำต่อปริมาตรของแก๊สในระบบ (L/m^3)

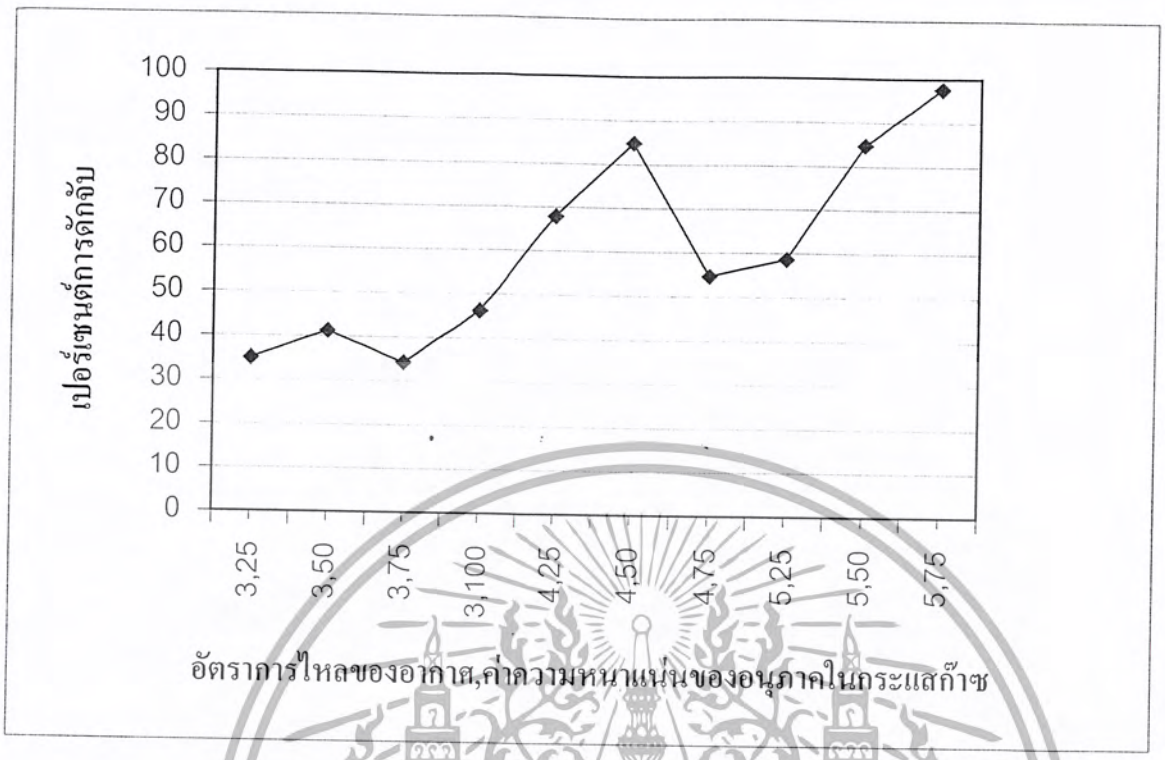


รูปที่ 6-4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศเท่ากับ 0.4 L/m^3



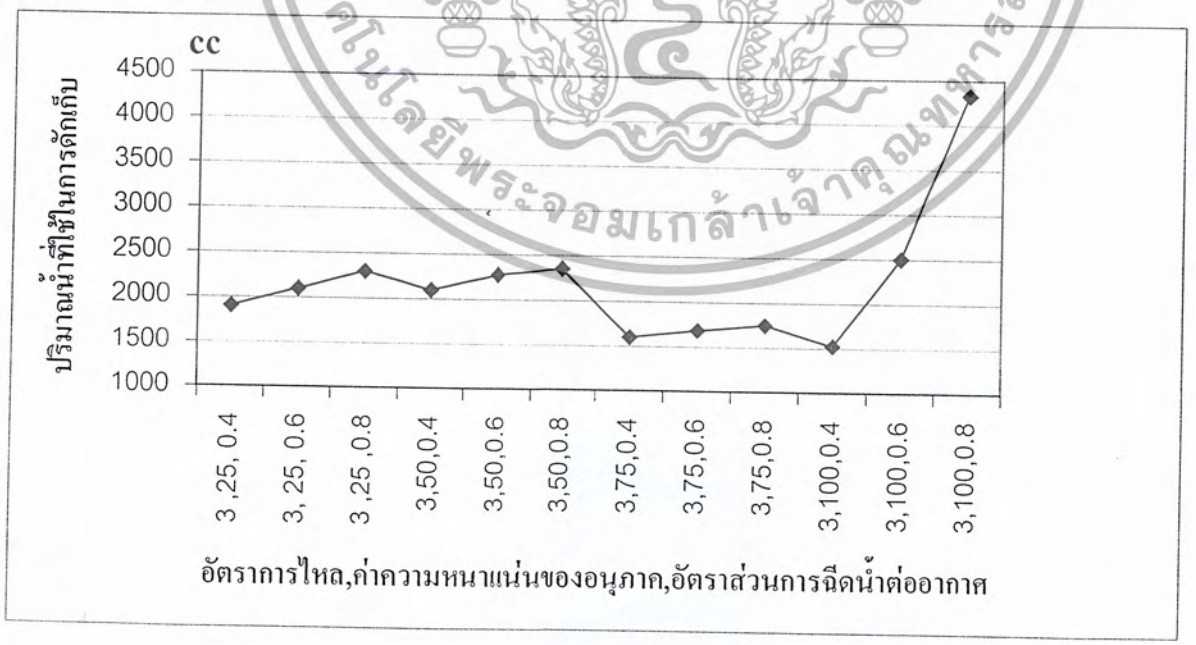
รูปที่ 6-5 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศเท่ากับ 0.6 L/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



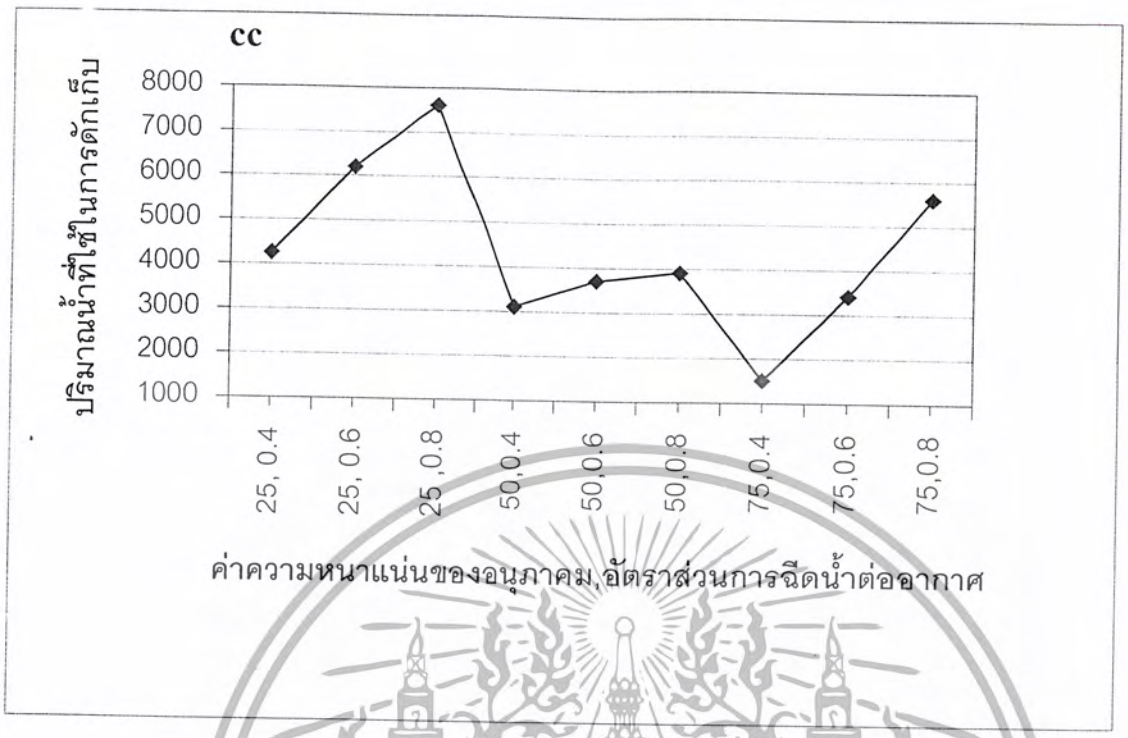
รูปที่ 6-6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่อัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศเท่ากับ 0.8 L/m³

6.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการดักเก็บในแต่ละการทดลอง

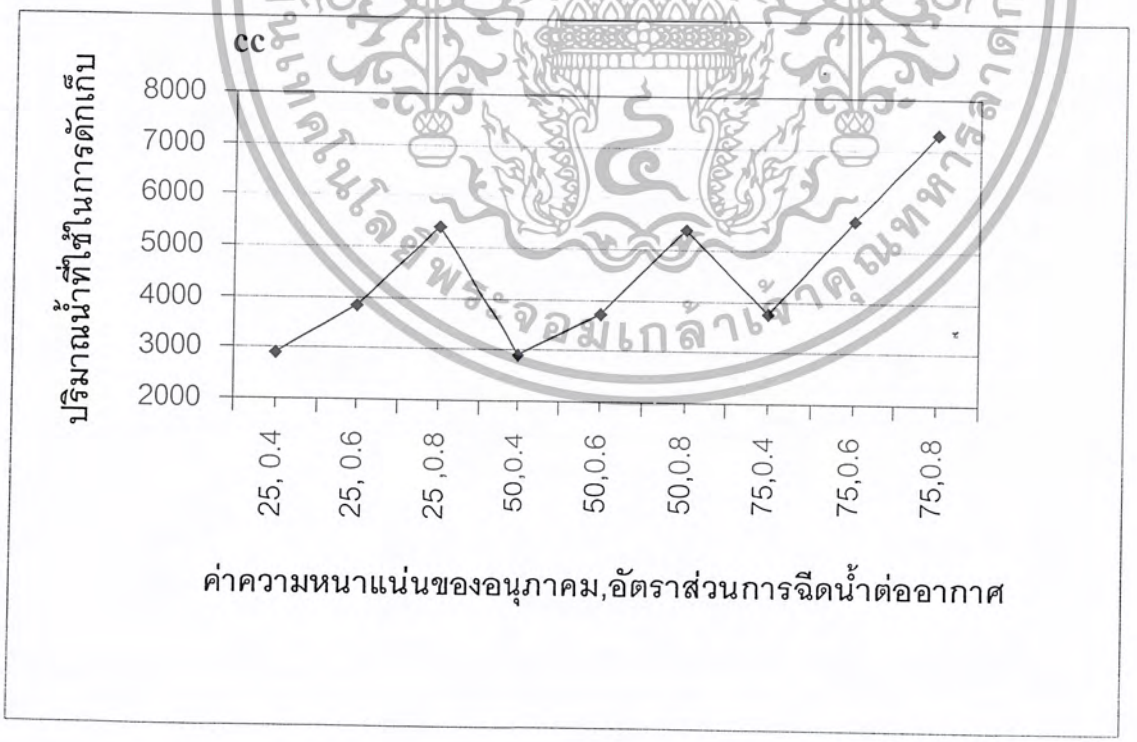


รูปที่ 6-7 กราฟแสดงปริมาณของน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่อัตราการไหล 3 m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

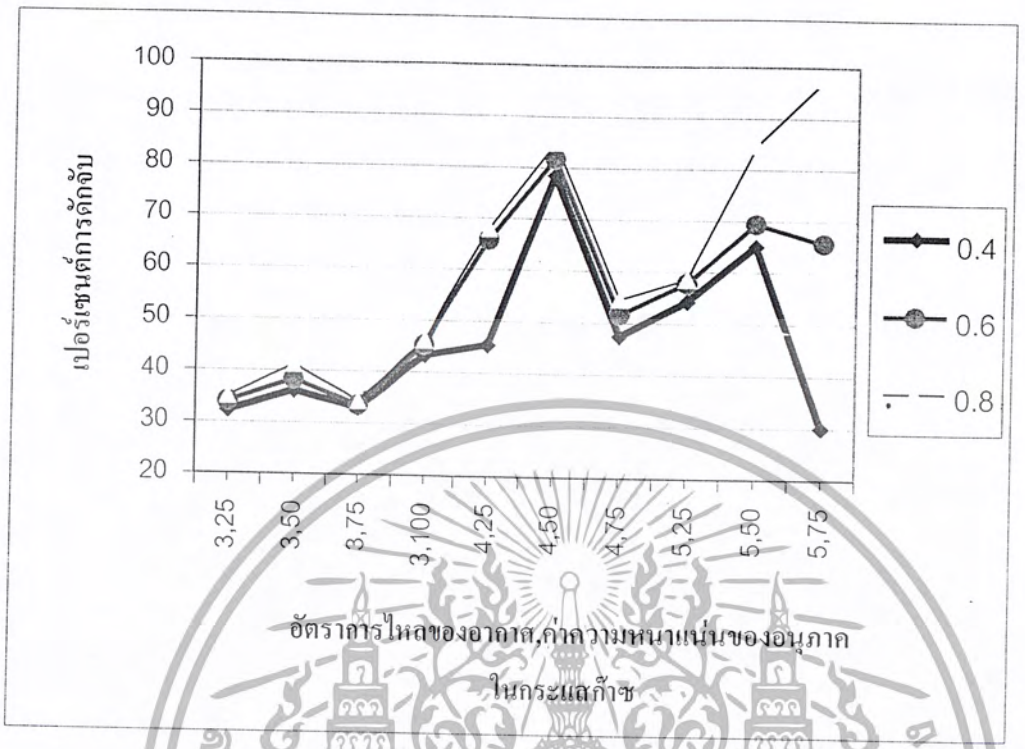


รูปที่ 6-8 กราฟแสดงปริมาณของน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่อัตราการไหล 4 m^3

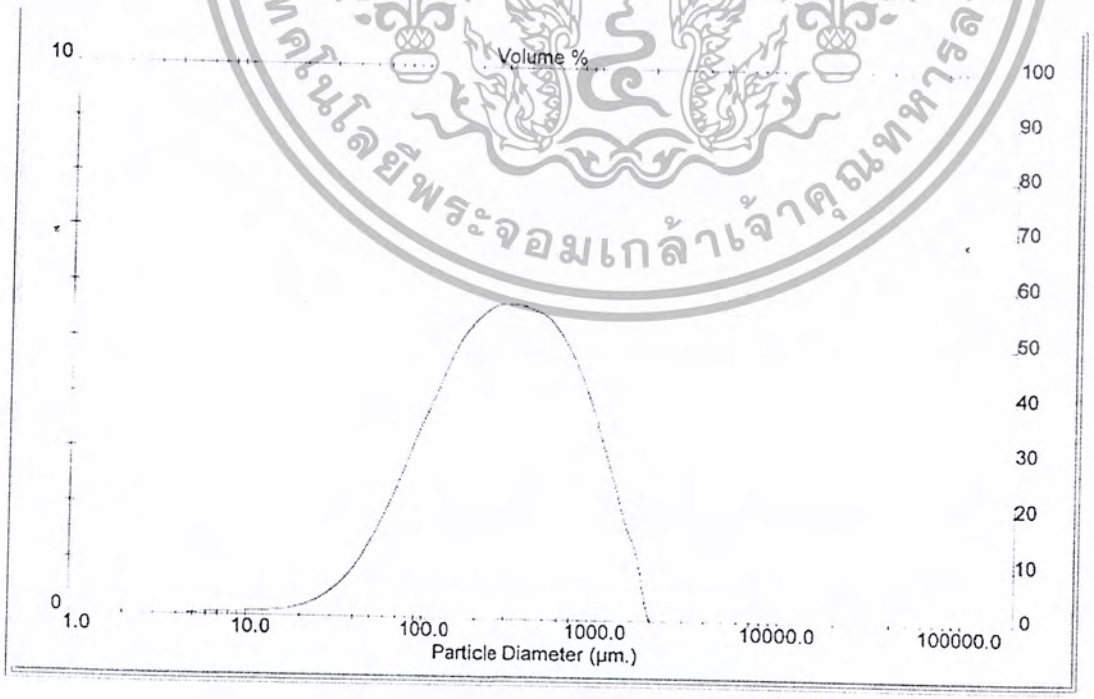


รูปที่ 6-9 กราฟแสดงปริมาณของน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่อัตราการไหล 5 m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศแบบ



รูปที่ 6-11 แสดงการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟที่ 6.11 จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกที่ความหนาแน่นของอากาศในช่วงแรกประสิทธิภาพของแต่ละการเปลี่ยนแปลง (ทั้งอัตราการจ่ายน้ำต่อปริมาณอากาศที่ $0.4L/m^3$,$0.6L/m^3$ และ $0.8L/m^3$) จะมีจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ประสิทธิภาพไม่สูงมาก และจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง คือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ในอัตราการจ่ายน้ำที่ $0.4L/m^3$ จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นน้อยจนมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอนุภาคประสิทธิภาพจึงเพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพของเครื่องมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันจนถึงที่อัตราการไหลของอากาศ $4m^3/\min$ ค่าความหนาแน่นของอนุภาค $50g/m^3$ จะเป็นจุดที่เครื่องมีประสิทธิภาพเท่ากันและเป็นจุดที่ประสิทธิภาพของเครื่องที่อัตราการจ่ายน้ำที่ $0.4L/m^3$ และ $0.6L/m^3$ มีประสิทธิภาพสูงสุด

หลังจากการอดลองที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $5m^3/\min$ และความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ $0.5g/\min$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคือที่การจ่ายน้ำที่ $0.4L/m^3$ จะลดลงมากเนื่องจากอัตราการจ่ายน้ำน้อย แต่อนุภาคในระบบมีจำนวนมากและมีความเร็วสูงทำให้เครื่องเก็บอนุภาคไม่สามารถดักเก็บอนุภาคไว้ได้ จึงทำให้มีอนุภาคเล็ดลอดจากการดักเก็บไปเป็นจำนวนมาก และที่อัตราการจ่ายน้ำที่ $0.6L/m^3$ ที่จะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกันแต่ประสิทธิภาพจะสูงกว่าเพราะอัตราการจ่ายน้ำสูงกว่าจึงสามารถดักเก็บอนุภาคได้สูงกว่าที่อัตราการจ่ายน้ำ $0.4L/m^3$

สรุปผลการทดลอง

เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีสครับเบอร์จะมีประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคสูงขึ้นเมื่อปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สเสียที่ไหลเข้าระบบมีค่าเพิ่มขึ้นหรือ ขนาดของหยดน้ำที่เล็กลง จากการทดลองจะพบว่า ประสิทธิภาพของการจับอนุภาพจะมีจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงความดันและความเร็วปานกลาง และช่วงความดันและความเร็วสูง ซึ่งในระหว่าง 2 ช่วงนี้จะมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับสูงเป็นที่น่าพอใจ แต่จุดที่อยู่สูงที่สุดจะอยู่ที่การทดลองที่ให้ความดันและความเร็วสูงสุด คือ อัตราการไหลของอากาศที่ $5m^3/min$ อัตราการจ่ายน้ำ $0.8\ L/m^3$

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ท่อระบายน้ำเกิดการอุดตัน เนื่องจากการป้อนอนุภาคเข้าสู่ระบบมีมากเกินไปและขนาดของท่อระบายน้ำมีขนาดเล็ก (1/2 นิ้ว)
2. ในการทดลองนั้นจะต้องมีการทำความสะอาดถังไซโคลนโดยจะต้องเปิดฝาถังไซโคลน ซึ่งทำให้เกิดการเสียเวลาในช่วงนี้มาก
3. น้ำที่ใช้ในการทดลองต้องระบายทิ้ง จึงควรที่จะต้องมีการนำน้ำไปบำบัด ซึ่งจะทำให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรณ์น้ำอีกทางหนึ่ง
4. ในการทดลองนี้สนใจเพียงขี้เถ้าแกลบอย่างเดียว จึงควรที่จะมีการวิเคราะห์อากาศที่ปล่อยสู่บรรยากาศ และสารละลายที่อยู่ในน้ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในระบบเครื่องดักเก็บอนุภาคที่มีประสิทธิภาพสูง จะมีการนำอุปกรณ์เบื้องต้นเพื่อใช้ในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และหยาบเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 1 คุณสมบัติของน้ำในหน่วย SI

อุณหภูมิ ^0C	น้ำหนักจำเพาะ γ (N/m^3)	ความหนาแน่น ρ (kg/m^3)	ความหนืด μ (Pa.s) $10^3\ \mu$ =	ความหนืดเชิงจลน์ υ (m^2/s) $10^6\ \upsilon$ =
0	9805	999.9	1.792	1.792
5	9806	1000.0	1.519	1.519
10	9803	999.7	1.308	1.308
15	9798	999.1	1.140	1.141
20	9789	998.2	1.005	1.007
25	9779	997.1	0.894	0.897
30	9767	995.7	0.801	0.801
35	9752	994.1	0.723	0.727
40	9737	992.2	0.656	0.661
45	9720	990.2	0.599	0.605
50	9697	988.1	0.549	0.566
55	9679	985.7	0.506	0.513
60	9658	983.2	0.469	0.477
65	9635	980.6	0.436	0.444
70	9600	977.8	0.406	0.415
75	9589	974.9	0.380	0.390
80	9557	971.8	0.357	0.367

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 2 คู่มือหัวฉีด

Delavan Spray Technologies

TYPE BI

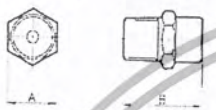
SOLID CONE SPRAY

SPRAY CHARACTERISTICS

- Uniform distribution of droplets in a solid cone spray pattern
- Droplet size is larger than at normal cone nozzles of equal capacity
- Impact of spray is generally greater and narrower spray angles, assuming the same flow rate. Pressure increases affect spray angle

CONSTRUCTION AND MATERIALS

- One piece body with pressed in cross-slotted core which is removable
- Core imparts the necessary turn to produce a solid cone spray pattern
- Hexagon body for easy installation, eliminates distortion of orifice during installation
- Available with Male BSPT and Female BSPP threads
- Brass and 316 Stainless Steel are standard
- Other materials available to special order



ORDER EXAMPLE

1/4" BIM (Male) 22 Brass
1/2" BIF (Female) 49 Stainless Steel

DIMENSIONS AND WEIGHTS

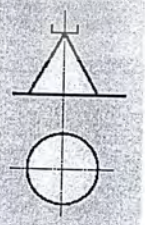
Thread Size	Nozzle Type	Dimensions (mm) A	B	C	Weight (G)
1/8	BIM	17.5	11.3	9.6	10
1/8	BIF	22.4	15.3	13.5	21
1/4	BIM	24.5	15.9	13.0	24
1/4	BIF	27.6	18.0	12.7	36
3/8	BIM	28.6	18.0	14.0	35
3/8	BIF	36.0	20.3	21.1	58
1/2	BIM	32.0	25.6	16.1	75
1/2	BIF	50.0	25.6	26.3	116
3/4	BIM	36.0	28.0	19.0	115
3/4	BIF	62.7	31.8	31.5	215
1"	BIM	50.0	38.0	28.5	200
1"	BIF	81.9	38.0	51.0	330

Maximum Recommended Pressure: 70 Bar G. (Metal), 7 Bar G. (Plastic)

CAPACITY CHART

NOZZLE NUMBER Female	Male	BSPT THREAD SIZE 1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	FLOW RATE IN LITRES/MIN AT Bar G .35	.7	1	1.5	2	3	4	6	7	8	SPRAY ANGLES (°) AT Bar G .7	2	6
BIF 6	BIM 6							0.68	1.25	1.59	1.88	2.18	2.65	2.87	3.41	3.54	3.76	40	47	40
BIF 8	BIM 8							1.36	1.88	2.28	2.84	3.23	4.00	4.55	5.38	5.72	5.97	44	56	53
BIF 11	BIM 11							1.68	2.82	2.97	3.62	4.05	4.87	5.36	6.30	6.74	7.06	52	64	58
BIF 12	BIM 12							2.09	2.79	3.41	4.09	4.55	5.39	5.91	7.02	7.58	8.01	62	70	58
BIF 16	BIM 16							2.59	3.58	4.41	5.39	6.14	7.27	8.00	9.51	10.04	10.61	57	80	55
BIF 20	BIM 20							3.11	4.46	5.46	6.59	7.54	9.06	10.00	11.92	12.63	13.43	62	73	58
BIF 22	BIM 22							3.58	5.11	6.24	7.51	8.32	9.78	10.91	13.23	14.24	14.95	70	80	62
BIF 12	BIM 12							2.00	2.79	3.32	4.19	4.73	5.83	6.60	7.79	8.17	8.65	38	45	39
BIF 16	BIM 16							2.50	3.58	4.41	5.30	6.14	7.27	8.00	9.51	10.04	10.61	57	60	55
BIF 20	BIM 20							3.11	4.46	5.46	6.60	7.54	9.06	10.00	11.92	12.63	13.43	61	73	58
BIF 22	BIM 22							3.58	5.11	6.24	7.51	8.32	9.78	10.91	13.23	14.24	14.95	70	80	62
BIF 27	BIM 27							4.23	6.04	7.42	9.01	10.10	12.32	13.64	16.06	17.47	18.08	44	53	51
BIF 32	BIM 32							5.61	7.25	8.88	10.81	12.32	14.44	15.96	19.29	20.40	22.12	60	70	61
BIF 27	BIM 27							4.23	6.04	7.42	9.01	10.10	12.32	13.64	16.06	17.47	18.08	44	53	51
BIF 32	BIM 32							5.61	7.25	8.88	10.81	12.32	14.44	15.96	19.29	20.40	22.12	60	70	61
BIF 42	BIM 42							6.74	9.67	11.82	14.44	15.96	19.29	21.41	24.95	27.37	28.48	70	76	64
BIF 49	BIM 49							8.17	11.62	14.24	16.36	18.69	23.13	15.05	29.29	32.52	33.94	79	86	72
BIF 63	BIM 63							10.20	14.44	17.07	20.50	23.84	28.89	32.22	38.48	41.31	43.94	70	80	70
BIF 47	BIM 47							7.48	10.61	13.03	14.95	17.78	21.11	26.63	28.48	30.20	31.71	43	57	42
BIF 63	BIM 63							10.20	14.44	17.07	20.50	23.84	28.89	32.22	38.48	41.31	43.94	60	69	53
BIF 77	BIM 77							12.32	17.68	20.50	23.94	29.09	34.95	38.68	45.65	49.29	52.02	70	73	60
BIF 89	BIM 89							13.94	20.00	23.74	29.39	33.63	40.00	44.54	52.92	56.26	59.29	82	85	67
BIF 102	BIM 102							14.85	20.91	27.37	33.73	38.68	46.26	50.00	60.10	64.54	67.87	85	97	74
BIF 73	BIM 73							11.92	16.26	20.00	22.62	27.78	34.24	38.68	45.65	50.00	52.02	35	41	44
BIF 105	BIM 105							16.26	23.23	27.78	33.73	39.79	48.18	52.32	62.42	67.37	71.51	51	57	49
BIF 123	BIM 123							19.49	28.38	34.64	42.32	46.56	57.77	63.63	75.95	80.40	85.55	66	73	57
BIF 140	BIM 140							22.73	32.02	38.18	45.25	53.23	62.12	68.18	80.80	85.95	90.90	75	81	52
BIF 162	BIM 162							25.55	36.26	44.64	53.03	61.41	72.22	79.09	95.14	101.00	108.07	74	86	63
BIF 193	BIM 193							28.79	41.31	50.10	60.70	73.23	87.57	99.08	119.18	128.27	135.34	82	100	69

Contact our Helpline for any special requirements:
Tel: +44 (0) 151 424 6821
Fax: +44 (0) 151 495 1043
e-mail:sales@delavan.co.uk
Web:www.delavan.co.uk



Colfax Industries

C.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องเก็บอนุภาค

เราจะนำการทดลองที่, $Q = 3\left(m^3/\min\right), \rho = 25\left(g/m^3\right)$, อัตราส่วนการฉีดน้ำ $= 0.4\left(L/m^3\right)$

น้ำหนักถ้วยเปล่าก่อนอบ = 43.8426 g

น้ำหนักถ้วยหลังอบ = 44.1470 g (ถ้วย + อนุภาคแห้ง)

ปริมาตรน้ำทั้งหมด = 1900 cc (น้ำที่ใช้สเปรย์ใน 1 นาที)

น้ำหนักของอนุภาคที่ป้อนสู่ระบบ = 75 g

วิธีคำนวณ

1. หาน้ำหนักของอนุภาคที่อยู่ในถ้วยอังแห้งได้จาก

= น้ำหนักถ้วยหลังอบ (g) - น้ำหนักถ้วยเปล่า (g)

แทนค่า

= 44.1470 g - 43.842 g

= 0.3044 g

∴จะได้น้ำหนักของอนุภาคในถ้วย = 0.3044 g

2. หาน้ำหนักของอนุภาคในน้ำได้จาก

น้ำหนักของอนุภาคในถ้วย (g) / ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (cm^3) = น้ำหนักทั้งหมดของอนุภาคในน้ำ (g) / ปริมาตรน้ำทั้งหมด (L)

แทนค่า

0.3044 g / 24 (cm^3) = น้ำหนักทั้งหมดของอนุภาคในน้ำ (g) / 1.9 x 1000 (cm^3)

น้ำหนักทั้งหมดของอนุภาคในน้ำ(g) = {0.3044 (g) x 1.9 x 1000 (cm^3)} / 24 (cm^3)

∴น้ำหนักทั้งหมดของอนุภาคในน้ำ (g) = 24.09833333 g

3. หาประสิทธิภาพของระบบจาก

= น้ำหนักทั้งหมดของอนุภาคในน้ำ (g) / น้ำหนักของอนุภาคที่ป้อนสู่ระบบ (g)

แทนค่า

= 24.09833333(g) / 75(g)

= 0.3213111111

∴สิทธิภาพของระบบ = 32.13 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ตารางบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ในห้อง **Lab**

อัตราการไหล,ค่าความหนาแน่น, ปริมาณน้ำต่อปริมาณอากาศ	น้ำหนักถ้วยหลังอบ (g)	น้ำหนักถ้วยเปล่า (g)	น้ำหนักอนุภาค (g)	ปริมาตรตัวอย่าง (cc)	น้ำทั้งหมด (cc)	อนุภาคในน้ำ (g)	อนุภาคที่ป้อน (g)	ประสิทธิภาพเครื่อง (%)
3,25,0.4	44.147	43.842	0.304	24	1900	24.098	75	32.131
3,25,0.6	39.783	39.504	0.278	23	2100	25.419	75	33.892
3,25,0.8	34.645	34.412	0.233	20.5	2300	26.208	75	34.945
3,50,0.4	44.43	43.863	0.566	22	2100	54.067	150	36.045
3,50,0.6	35.0531	34.448	0.605	24	2275	57.350	150	38.233
3,50,0.8	36.497	35.9	0.597	23	2350	61.763	150	41.175
3,75,0.4	36.978	35.891	1.086	23.5	1600	74.001	225	32.889
3,75,0.6	40.687	39.567	1.119	25	1680	75.253	225	33.446
3,75,0.8	39.378	38.323	1.055	24	1750	76.934	225	34.193
3,100,0.4	36.321	34.564	1.757	20.5	1520	129.66	300	43.22
3,100,0.6	45.104	43.856	1.2485	23	2500	135.708	300	45.236
3,100,0.8	36.664	35.896	0.768	24	4330	138.56	300	46.186
4,25,0.4	39.672	39.437	0.234	22	4250	45.339	100	45.339
4,25,0.6	36.133	35.900	0.232	22	6200	65.635	100	65.635
4,25,0.8	44.156	43.950	0.205	23	7600	67.805	100	67.805
4,50,0.4	36.178	34.912	1.265	25	3100	156.959	200	78.479
4,50,0.6	44.674	43.747	0.926	21	3700	163.275	200	81.637
4,50,0.8	39.420	38.594	0.826	19	3900	169.711	200	84.855
4,75,0.4	40.49	38.309	2.180	23	1500	142.186	300	47.395
4,75,0.6	44.846	43.844	1.002	22	3400	154.854	300	51.618
4,75,0.8	36.561	35.889	0.671	23	5600	163.568	300	54.522
5,25,0.4	38.927	38.304	0.622	26.6	2900	67.844	125	54.275
5,25,0.6	36.503	35.965	0.468	25	3850	72.133	125	57.706
5,25,0.8	44.161	43.843	0.318	23.5	5400	73.256	125	58.604
5,50,0.4	45.078	43.847	1.231	22	2900	162.347	250	64.938
5,50,0.6	36.974	35.897	1.076	23	3700	173.16	250	69.264
5,50,0.8	40.353	39.432	0.921	23.5	5400	211.702	250	84.681
5,75,0.4	35.018	34.418	0.600	20	3750	112.518	375	30.005
5,75,0.6	45.132	44.078	1.054	24	5600	245.933	375	65.582
5,75,0.8	37.549	36.195	1.354	27	7300	366.081	375	97.621

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 แสดงประสิทธิภาพของการดักจับที่ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศ (L/m^3)

อัตราการไหล,ค่าความหนาแน่น / ปริมาณการฉีดน้ำต่อปริมาตรของอากาศ	3,25	3,50	3,75	3,100	4,25	4,50	4,75	5,25	5,50	5,75
0.4	32.131	36.046	32.889	43.22	45.34	78.48	47.4	54.275	64.93	30.005
0.6	33.892	38.233	33.446	45.236	65.635	81.637	51.618	57.706	69.264	65.5822
0.8	34.945	41.175	34.193	46.186	67.805	84.855	54.522	58.604	84.681	97.621

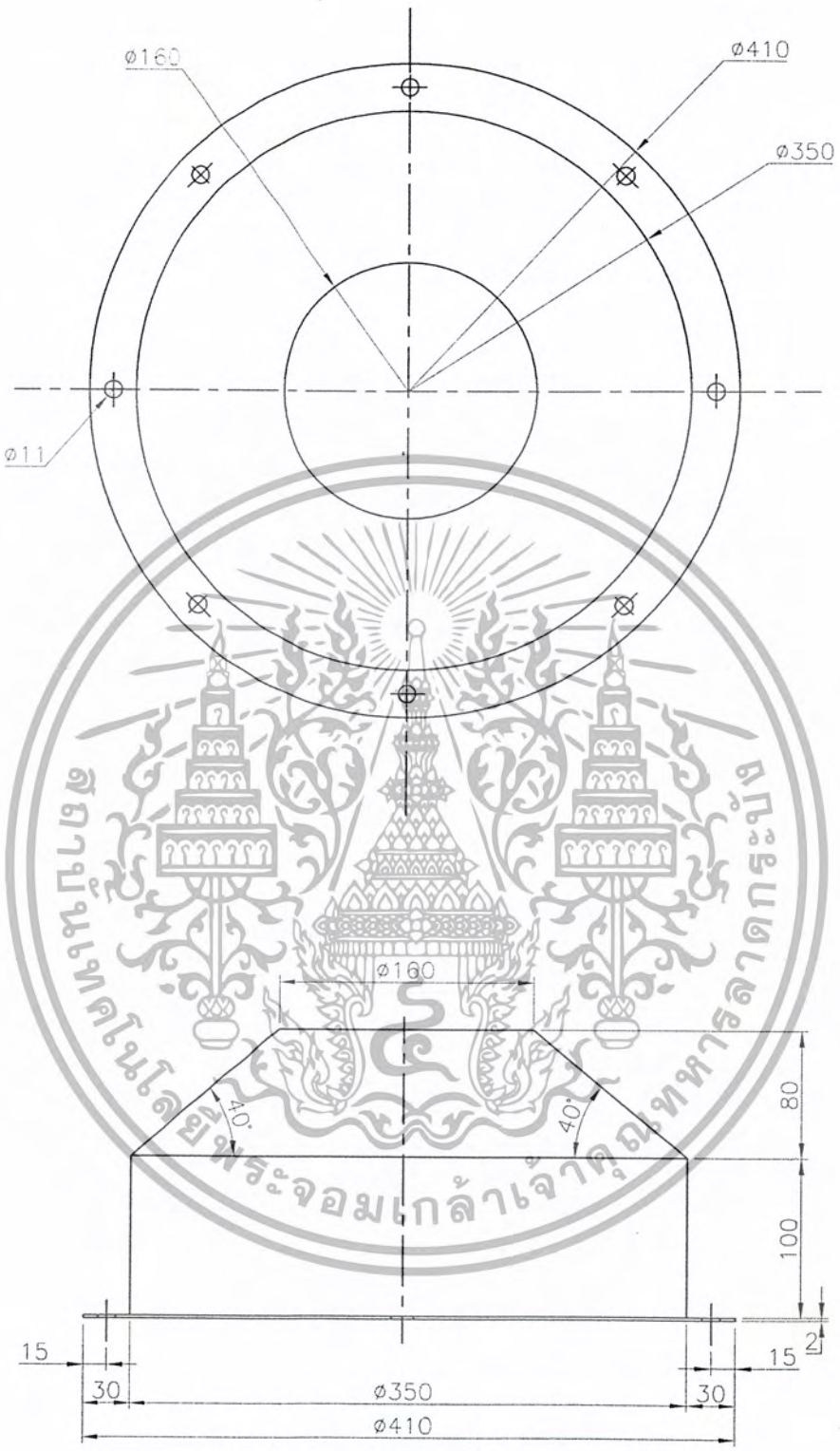
ตารางที่ ข-3 แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการดักเก็บ

อัตราการไหล,ค่าความหนาแน่น / ปริมาณการฉีดน้ำต่อปริมาตรของอากาศ	3,25	3,50	3,75	3,100	4,25	4,50	4,75	5,25	5,50	5,75
0.4	1900	2100	1600	1520	4250	3100	1500	2900	2900	3750
0.6	2100	2275	1680	2500	6200	3700	3400	3850	3700	5600
0.8	2300	2350	1750	4330	7600	3900	5600	5400	5400	7300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

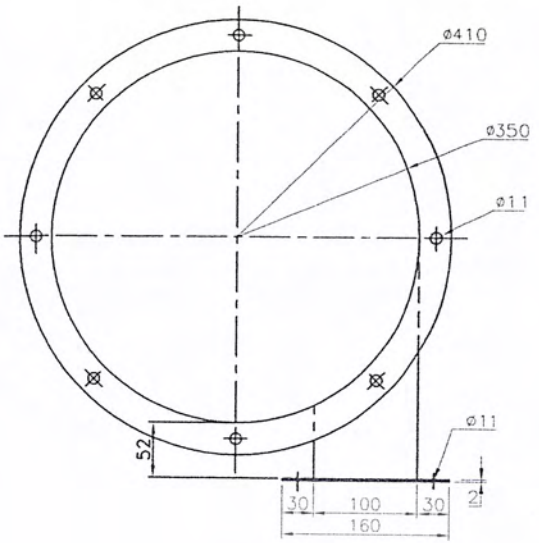
ภาคผนวก ค.

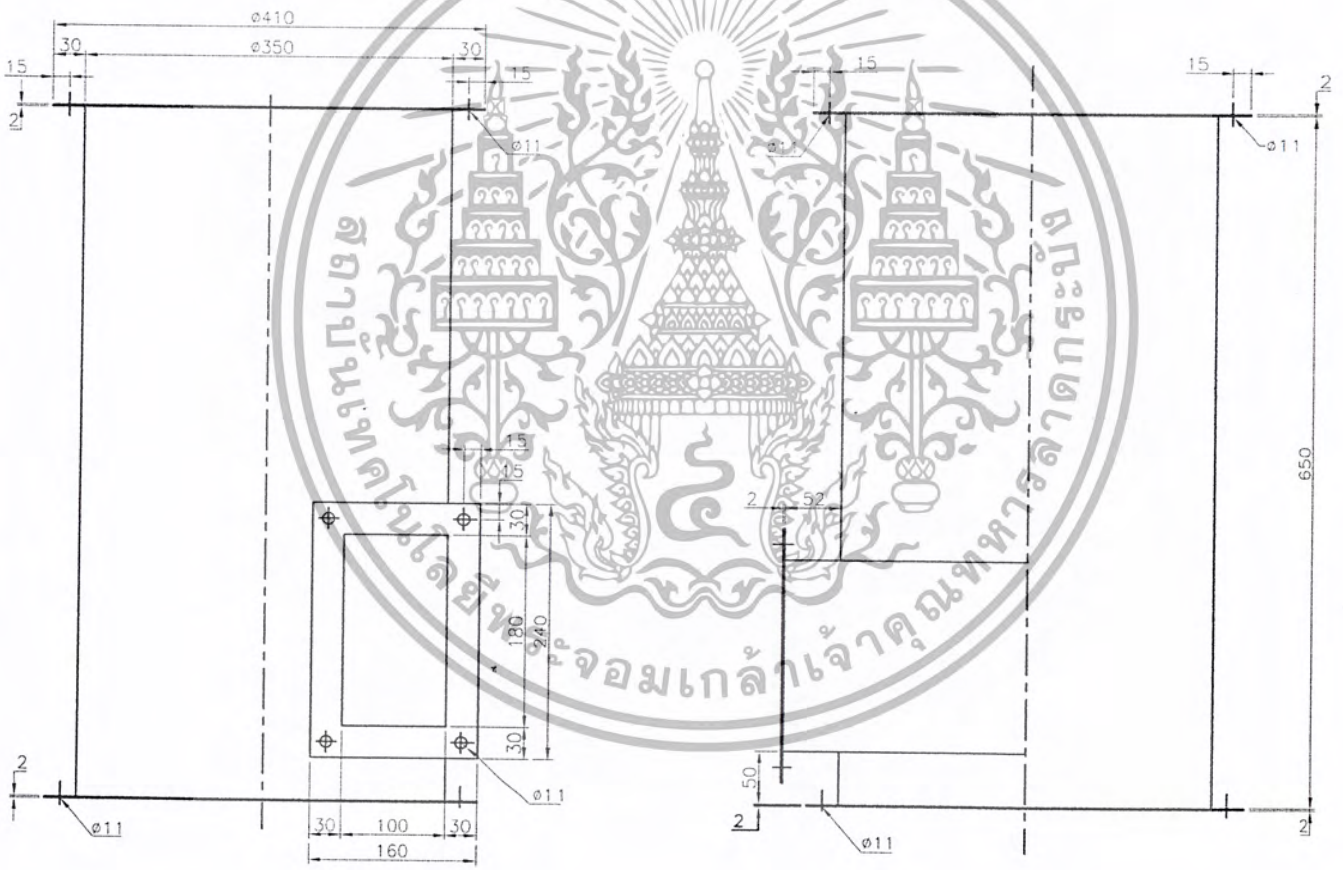
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1	ส่วนฝาถัง	หนา 2	STAINLESS STEEL 405	001	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER		หมายเลขแบบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

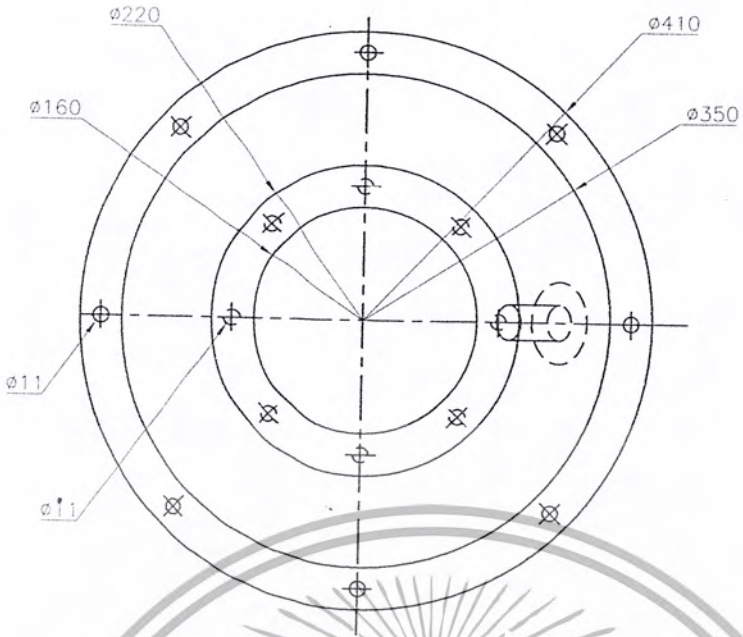


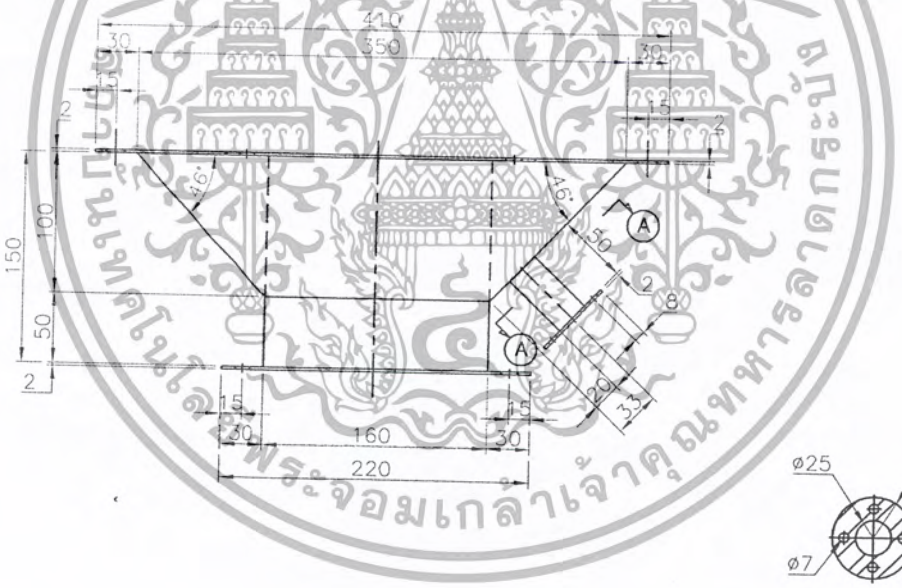


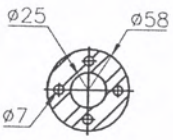
2	ตัวถัง	หนา 2	STAINLESS STEEL 405	002	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

ผู้เขียน		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ		
ผู้อนุมัติแบบ		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER	หมายเลขแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





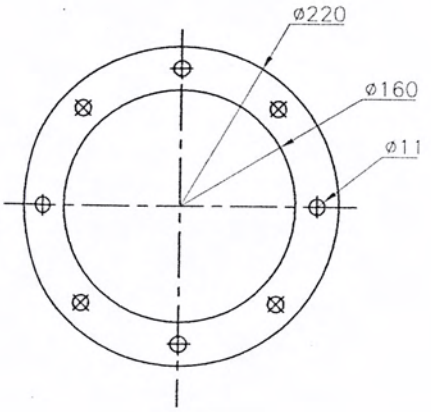


SECTION A–A

3	ส่วนกันถัง	หนา 2	STAINLESS STEEL 405	003	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

ผู้เขียน		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ		
ผู้อนุมัติแบบ		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER	หมายเลขแบบ

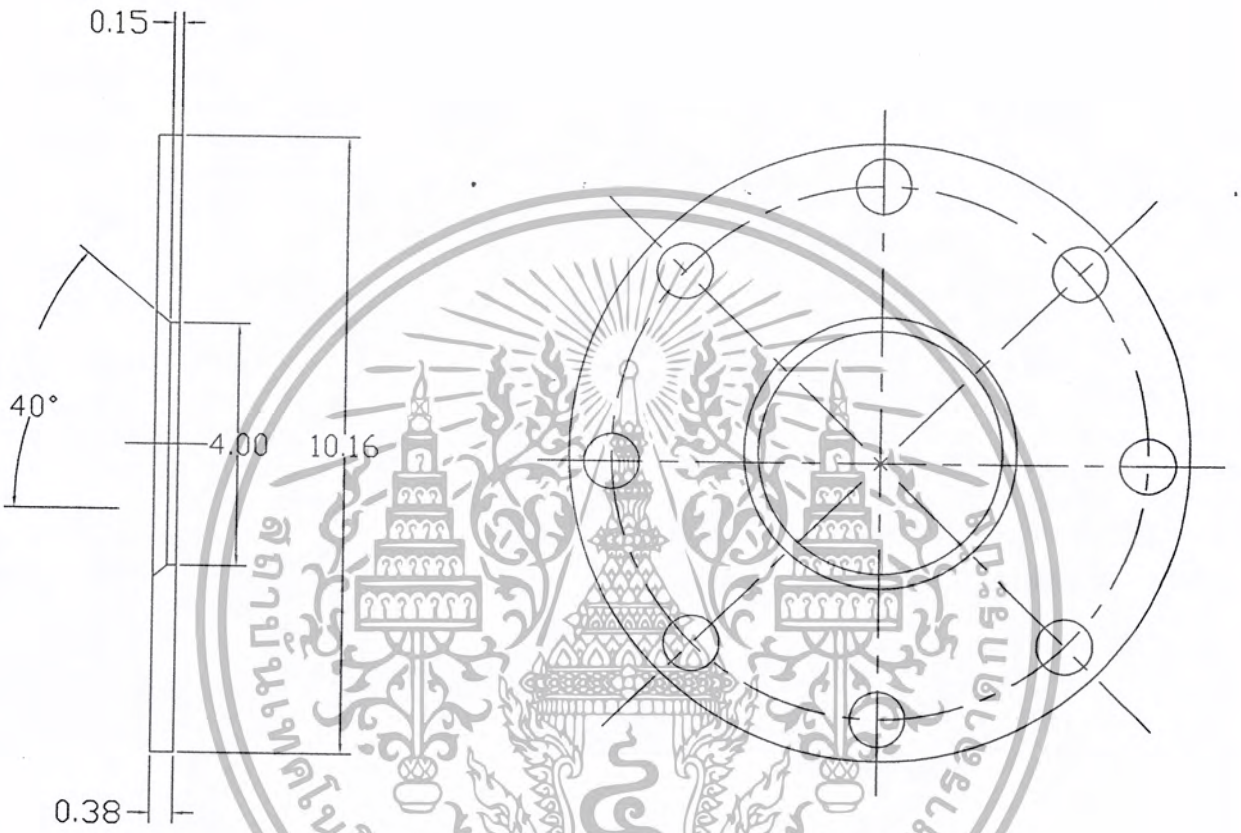
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4	ท่อระบายอากาศ	หนา 2	STAINLESS STELL 405	004	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

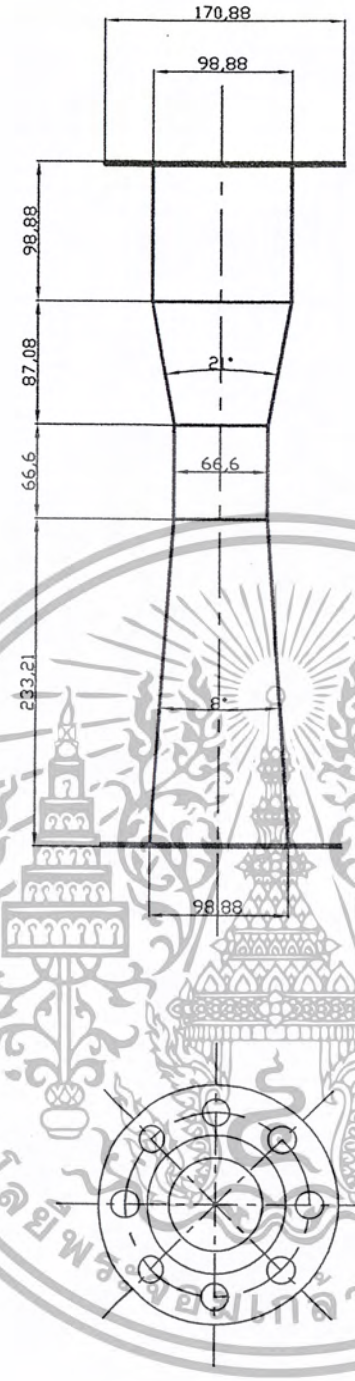
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ			
ผู้อนุมัติ			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER		หมายเลขแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5	แผ่นออริฟิต	หนา 5	STAINLESS STEEL 405	005	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตร้าส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER		หมายเลขแบบ		

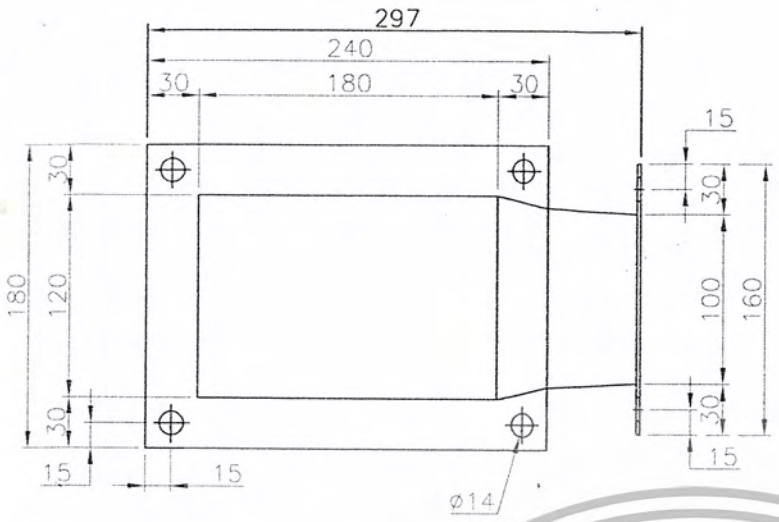
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6	คอคอด	หนา 3	STAINLESS STEEL 405	006	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ			
ผู้ออกแบบ			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER		หมายเลขแบบ

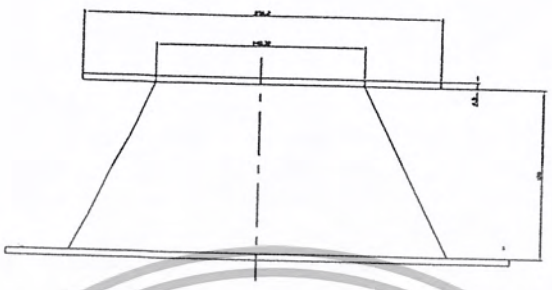
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7	ข้อต่อโค้ง	หนา 2	STAINLESS STEEL 405	007	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ			
ผู้ออกแบบ			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER		หมายเลขแบบ

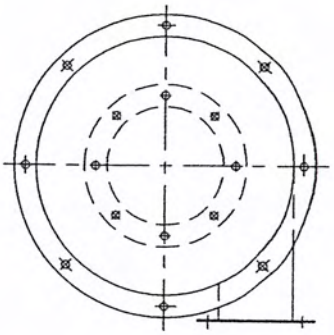
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

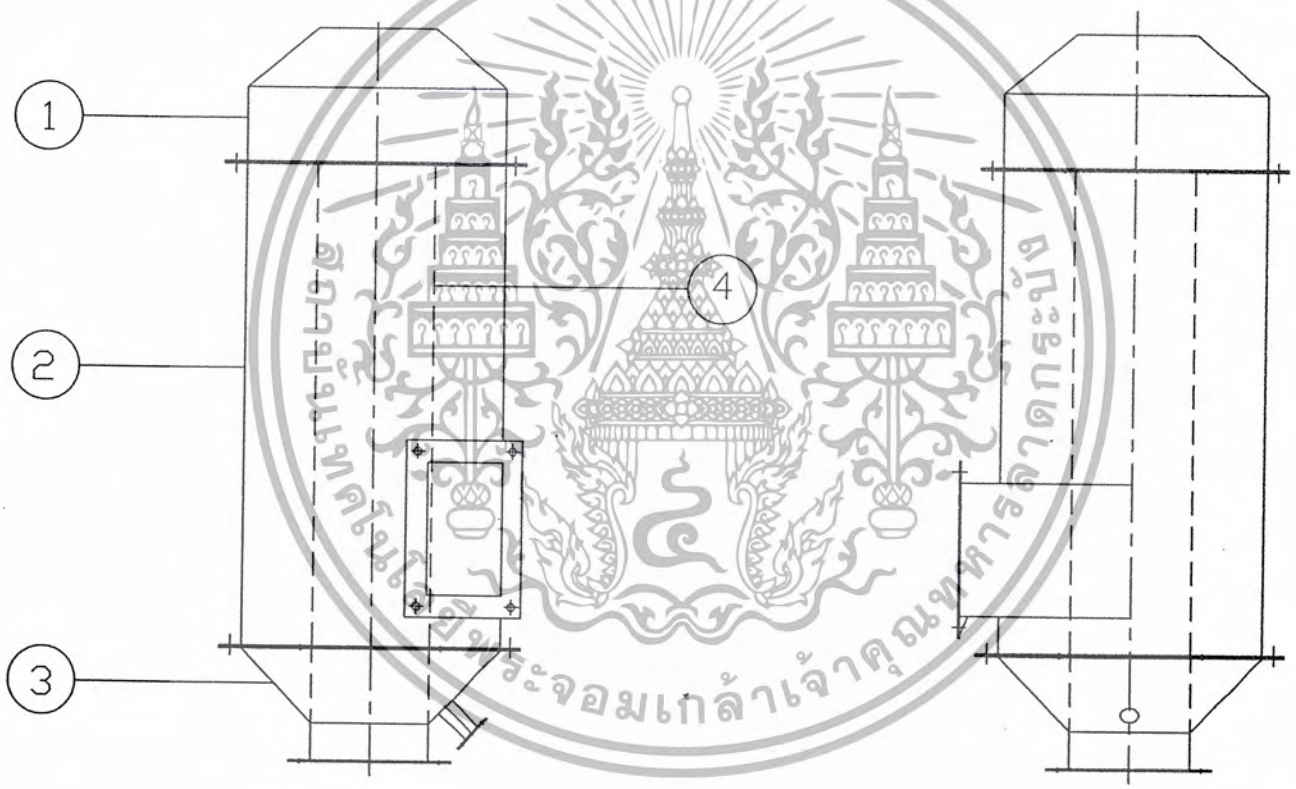


8	ท่อลดขนาด	หนา 3	STAINLESS STEEL 405	008	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน

ผู้เขียน		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ		
ผู้อนุมัติแบบ		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER	หมายเลขแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
4	ท่อระบายอากาศ	หนา 2	STAINLESS STELL 405	004	1
3	ส่วนกันถัง	หนา 2	STAINLESS STELL 405	003	1
2	ส่วนถัง	หนา 2	STAINLESS STELL 405	002	1
1	ส่วนฝาปิดถัง	หนา 2	STAINLESS STELL 405	001	1

ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ			
ผู้ออกแบบ			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER CYCLONE SCRUBBER		หมายเลขแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Cheremisinoff, N.P, and Young, R. Pollution Engineering Practice Handbook. Ann – Arbor Science, 1976.

[2] Theodore, L., and Buonicore, A.J. Industrial air pollution control equipment for Particulates. Cleveland, OH : CRC, 1976.

[3] ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่นๆ คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540.

[4] Dullien, F.A.L Introduction to industrial gas cleaning. Sandiago, CA : Academics, 1989.

[5] Holman, J.P. Experiment methods for engineers. 6th ed. Hightstown, NJ : McGraw Hill, 1994.

[6] kehneth C. Schifftnerand Howard E. Hesketh, "Wet Scrubber", ANN ABOR SCIENCE

[7] ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล, ดร.ชิคาโอะ คานาโอกะ, "มลภาวะอากาศ", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[8] S. Calvert, D. Lundgren and D. Menenta, "Venturi scrubber performance", J.Air Pollution Control Assor., 1972

[9] S Calvert, "Venturi and other atomizing scrubber efficiency and pressure drop", AIChE Journal, 1970

[10] Paul N. Cheremisinoff and Richard A. Young, "Pollution Engineering Practice Handbook", Ann arbor science publishers Inc., 1975

[11] Robert W. Fox and Alan T. Mcdonald, "Introductiom to Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, 1998

[12] Yonus A. Cengel., and Michael A. Boles . Thermodynamic. Hightstown, NJ : McGraw Hill, 1989.

[13] Johnstone, H.F., Field, R.B., and Tassler, M.C. Gas adsorption and aerosol collection in a venturi atomizer. J. Ind. Eng. Chem. 46(1954) : p. 1601.

[14] Johnstone, H.F., and Robert, M.H. Deposition of aerosol particles from moving gas streams . J. Ind. Eng. Chem. 41(1949) : p.2417

[15] สมาน เจริญกิจพูลผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, "กลศาสตร์ของไหล", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้