

การออกแบบเครื่องกำจัดฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวลโดยใช้น้ำ
VENTURI WATER SCRUBBER DESIGN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เลขที่.....
เลขทะเบียน 46018
วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

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

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบเครื่องกำจัดฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวลโดยใช้น้ำ

VENTURI WATER SCRUBBER DESIGN

ผู้จัดทำ

1. นาย โกสินทร์ คลังทอง รหัสประจำตัว 42515764
2. นาย ณัฐพล ศรีชะอุ่ม รหัสประจำตัว 42515770
3. นาย ปิยะวัฒน์ อยู่เอี่ยม รหัสประจำตัว 42515780
4. นาย สุมณ บูรัมย์พุกษ์ รหัสประจำตัว 42515792

ชินรักษ์ เชียรพงษ์

(ดร. ชินรักษ์ เชียรพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เครื่องกำจัดฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวลโดยใช้น้ำ

นาย โกสินทร์	คลังทอง	42515764
นาย ญัฐพล	ศรีชะอุ่ม	42515770
นาย ปิยะวัฒน์	อยู่เอี่ยม	42515780
นาย สุนน	บุรัมย์พุกษ์	42515792
ดร.ชินรัชย์	เชียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา	
	ปีการศึกษา 2544	

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ในการควบคุมปริมาณฝุ่น ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลโดยสร้างอุปกรณ์ควบคุมปริมาณฝุ่นแบบเวนทูลรีไซโคลนสกรับเบอร์ ในการจับฝุ่นโดยใช้ละอองน้ำในการจับอนุภาคของฝุ่นซึ่งเป็นการนำเอาลักษณะเด่นของทั้งสองวิธีคือไซโคลนและสกรับเบอร์แบบสัมผัสน้ำแล้วทำการทดสอบเพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพ

การทดลองจะทำการที่ความเร็วอากาศทางเข้า 14 m/s แล้วปรับเพิ่มความเร็วที่เวนทูลรีไซโคลนไปจนถึง 222 m/s อัตราการใช้น้ำตั้งแต่ 0.022 L/s ไปจนถึง 0.033 L/s โดยใช้แกลบที่มีความหนาแน่นโดยรวม 160 kg/m³ และความหนาแน่นโดยรวม 360 kg/m³ ที่ได้จากการเผาไหม้จากเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด และแบบวอร์เทค ที่อัตราการป้อน 100g/min

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องเวนทูลรีไซโคลนสกรับเบอร์จะขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพันธ์ระหว่างหยดน้ำกับอนุภาค และที่อัตราการใช้น้ำสูงที่สุดคือที่ 0.033 L/s ความเร็วที่เวนทูลรีไซโคลนระหว่าง 22 m/s ถึง 37 m/s จะเป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

VENTURI WATER SCRUBBER DESIGN

Mr. Kosin	Klangthong
Mr. Nattapol	Srichaoum
Mr. Piyavat	Yuiam
Mr. Sumon	Burampaek
Dr. Chinaruk	Thianpong Advisor

ABSTRACT

This project presents design and development of an equipment for treatment and removing particles from exhausted gas by using hybridized concept of cyclone and water scrubber, called venturi cyclone. A prototype was designed and built. Experiment was set up to investigate performance of the instrument.

Inlet air speed was varied from 14-222 m/s and water was sprayed at flow rate of 0.022 to 0.033 L/s. Course and fine rice-husk sooth were feed into suction pipe at 100 g/min.

The experimental results showed that the maximum efficiency of venturi cyclone scrubber for both kind of rice-husk sooth was at maximum water sprayed rate, 0.033 L/s and inlet air velocity from 22-37 m/s.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถบรรลุผลสำเร็จไปได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือด้านต่างๆ ทั้งในด้านวิชาการและเทคนิคในการออกแบบสร้างจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชินรัชย์ เขียรพงษ์ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

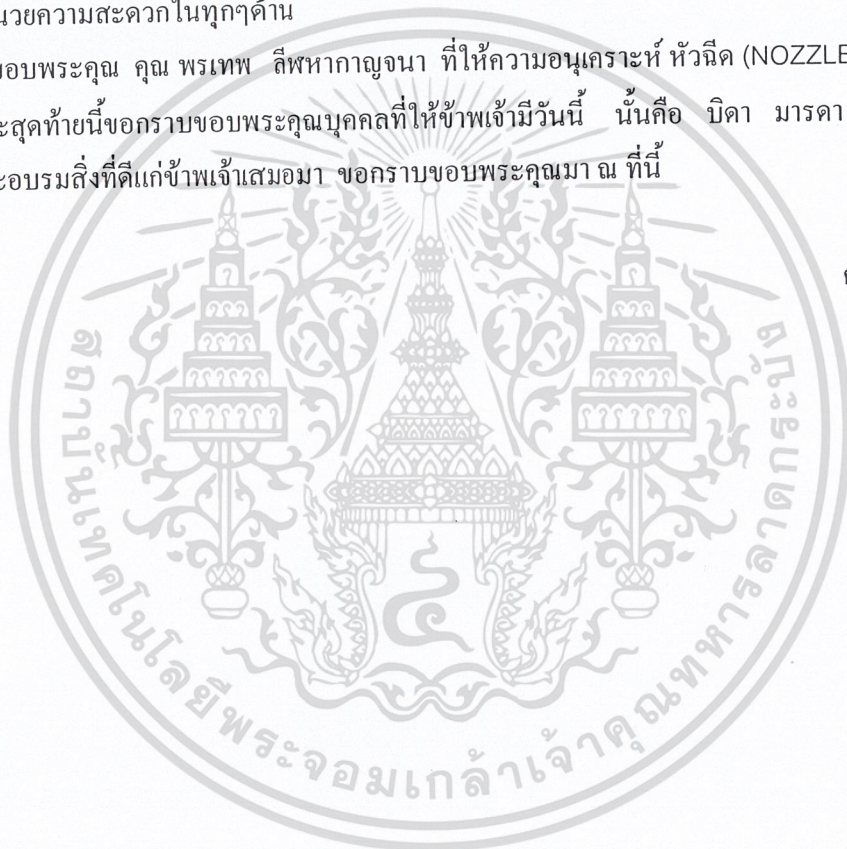
ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและ ครูอาจารย์ในอดีตทุกท่านที่ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ธุรการและ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเครื่องกลทุกท่านที่ ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณ พรเทพ ลีพหากาญจนา ที่ให้ความอนุเคราะห์ หัวฉีด (NOZZLE)

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่ให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นคือ บิดา มารดา ซึ่งได้เลี้ยงดูสอนสั่งและอบรมสั่งที่ดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีของเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสั้มศ์น้ำ	2
2.1 กลไกในการบำบัดมลสารของเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสั้มศ์น้ำ	2
2.2 ประเภทของการออกแบบเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสั้มศ์น้ำ	5
บทที่ 3 กลไกความเฉื่อย	10
3.1 การไหลของไซโคลน	10
3.2 ประสิทธิภาพการเก็บในการไหลของไซโคลนแบบราบเรียบที่แรงโน้มถ่วงเล็กน้อย	13
3.3 ประสิทธิภาพการเก็บในการไหลของไซโคลนแบบหมุนวน	15
3.4 การดัดแปลงการไหลแบบไซโคลน	17
3.5 คุณสมบัติมาตรฐานของไซโคลน	22
3.6 ความดันตกและกำลังที่ต้องการ	23
บทที่ 4 การคำนวณและการออกแบบ	27
4.1 การคำนวณหาขนาดบั้มน้ำ	27
4.2 การคำนวณหาขนาดหัวฉีด	29
4.3 การคำนวณหาขนาดถังไซโคลน	30
บทที่ 5 การทดลอง	33
บทที่ 6 ผลการทดลอง	36
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42
ภาคผนวก ก.	43
ภาคผนวก ข.	49
ภาคผนวก ค.	57
บรรณานุกรม	

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3 - 1	สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน	23
ตารางที่ 4 - 1	ตารางเฉลี่ยคุณสมบัติของเครื่องสกรับเบอร์ แบบต่างๆ	29
ตารางที่ ก - 1	ค่า K สำหรับวาล์วและข้อต่อ	44
ตารางที่ ก - 2	ค่าความหยาบละเอียดสัมบูรณ์ของท่อ	44
ตารางที่ ก - 3	คุณสมบัติของน้ำในหน่วย SI	45
ตารางที่ ก - 4	คู่มือหัวฉีด	46
ตารางที่ ก - 5	คุณสมบัติเครื่องสกรับเบอร์แบบต่างๆ	47
ตารางที่ ข - 1	ผลการทดลองแกลบนชนิดหยาบครั้งที่ 1	50
ตารางที่ ข - 2	ผลการทดลองแกลบนชนิดหยาบครั้งที่ 2	51
ตารางที่ ข - 3	ผลการทดลองแกลบนชนิดละเอียดครั้งที่ 1	52
ตารางที่ ข - 4	ผลการทดลองแกลบนชนิดละเอียดครั้งที่ 2	53
ตารางที่ ข - 5	ผลการทดลองค่าเฉลี่ยแกลบนชนิดหยาบ	55
ตารางที่ ข - 6	ผลการทดลองค่าเฉลี่ยแกลบนชนิดละเอียด	55
ตารางที่ ข - 7	ประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบนชนิดหยาบ	56
ตารางที่ ข - 8	ประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบนชนิดละเอียด	56

สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 2 - 1	กลไกทางกายภาพ (Physical Mechanisms) ต่าง ๆ ที่พบว่ามีส่วนเกี่ยวข้อง ในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากกระแสก๊าซ ในเครื่องบำบัดมลพิษอากาศ แบบสัมผัสน้ำ	4
รูปที่ 3 - 1	การไหลของไซโคลอน	10
รูปที่ 3 - 2	แรงกระทำบนส่วนเล็ก ๆ ในการไหลของไซโคลอน	12
รูปที่ 3 - 3	เส้นทางของฝุ่นในการไหลของไซโคลอน	14
รูปที่ 3 - 4	การไหลของไซโคลอนแบบหมุนวน	16
รูปที่ 3 - 5	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเหนือพื้นที่หน้าตัดในการไหลของไซโคลอน	19
รูปที่ 3 - 6	การแพร่กระจายของวัตถุเป็นฟังก์ชันเส้นตรง	20
รูปที่ 3 - 7	การเลือกประสิทธิภาพการเก็บซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดวัตถุสำหรับการไหล แบบย้อนกลับ	23
รูปที่ 3 - 8	แสดงค่าของ n สัมพันธ์กับขนาดของไซโคลอนและอุณหภูมิของก๊าซ	24
รูปที่ 3 - 9	ค่าคงที่ n สำหรับสมการ	25
รูปที่ 4 - 1	ขนาดของถังไซโคลอน	30
รูปที่ 5 - 1	ระบบการทำงานรวม	33
รูปที่ 5 - 2	เครื่องเป่าอากาศ (Blower)	34
รูปที่ 5 - 3	ชุดเวนทูรีแบบปรับพื้นที่หน้าตัดได้	34
รูปที่ 5 - 4	เครื่องชั่งแบบดิจิทัล	35
รูปที่ 5 - 5	จี๊ด้าแกลบชนิดหยาบและชนิดละเอียด	35
รูปที่ 6 - 1	กราฟแสดงผลการทดลองค่าเฉลี่ยแกลบชนิดหยาบ	36
รูปที่ 6 - 2	กราฟแสดงประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดหยาบ	37
รูปที่ 6 - 3	กราฟประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดหยาบ	37
รูปที่ 6 - 4	กราฟแสดงผลการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดละเอียด	38
รูปที่ 6 - 5	กราฟแสดงประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดละเอียด	38
รูปที่ 6 - 6	กราฟประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดละเอียด	39
รูปที่ 6 - 7	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.022 L/s	39
รูปที่ 6 - 8	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.027 L/s	40
รูปที่ 6 - 9	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.031 L/s	40
รูปที่ 6 - 10	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.033 L/s	41
รูปที่ ก - 1	แผนภาพโมดี	48
รูปที่ ข - 1	กราฟแสดงผลการทดลองแกลบชนิดหยาบครั้งที่ 1	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข - 2 กราฟแสดงผลการทดลองแกลบชนิดหยาบครั้งที่2 51

รูปที่ ข - 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองแกลบชนิดหยาบครั้งที่1 52

รูปที่ ข - 4 กราฟแสดงผลการทดลองแกลบชนิดละเอียดครั้งที่1 53

รูปที่ ข - 5 กราฟแสดงผลการทดลองแกลบชนิดละเอียดครั้งที่2 54

รูปที่ ข - 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองแกลบชนิดละเอียดครั้งที่2 54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในอุตสาหกรรม การเผาไหม้ นับว่าเป็นขบวนการทางวิศวกรรมอย่างหนึ่ง โดยวัตถุประสงค์หลักๆ ของการเผาไหม้มีอยู่หลายประการแต่ประเด็นหลักๆ คือ การเผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานความร้อนและเพื่อใช้ในการกำจัดขยะหรือของเสียที่เราไม่ต้องการและจากกระบวนการเผาไหม้นั้นสิ่งที่ตามมาคือก๊าซไอเสีย และฝุ่นละอองซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศ

ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะสร้างเครื่องกำจัดฝุ่นแบบสั้มศ์น้ำขึ้น เพราะเป็นระบบกำจัดฝุ่นที่มีประสิทธิภาพสูง และยังสามารถบำบัดก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ด้วย โดยก๊าซบางส่วนจะสามารถละลายและเจือจางไปกับน้ำ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถจัดสร้างและใช้งานได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและจัดสร้างระบบกำจัดฝุ่นแบบสั้มศ์น้ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการควบคุมปริมาณฝุ่นแบบเวนทูรีไซโคลนสกรับเบอร์
- 1.2.3 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องเวนทูรีไซโคลนสกรับเบอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สามารถกำจัดฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบจากเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดและแบบวอร์เทค
- 1.3.2 สร้างเครื่องกำจัดฝุ่นที่เอาเอกลักษณ์เด่นของสองวิธีคือหลักการของไซโคลนและสกรับเบอร์แบบสั้มศ์น้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.3 ได้ค้นคว้าและพัฒนาออกแบบระบบกำจัดฝุ่นแบบเวนทูรีไซโคลนสกรับเบอร์
- 1.3.4 ทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการกำจัดฝุ่นแบบสั้มศ์น้ำ
- 1.3.5 เป็นแนวทางพัฒนาระบบกำจัดฝุ่นเพื่อนำไปใช้ในงานและผลิตเป็นเชิงพาณิชย์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบกำจัดฝุ่น
- 1.5.2 คำนวณและออกแบบ
- 1.5.3 สร้างตามแบบที่ได้ทำการออกแบบ
- 1.5.4 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำจัดฝุ่น พร้อมปรับปรุงแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำ

เครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำนั้น เป็นวิธีการบำบัดมลพิษอากาศที่ถูกคิดค้นขึ้นมาเป็นเวลานานมาแล้ว โดยเริ่มต้นมาจากวิธีการบำบัดแบบแห้ง ด้วยเหตุผลที่การบำบัดโดยวิธีอื่น ในหลายกรณีไม่สามารถที่จะกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดได้ อีกทั้งยังไม่สามารถกำจัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้นได้ จึงเกิดความคิดที่ว่าควรมีการใช้ของเหลว อาทิ เช่น น้ำ หรือสารละลายบางชนิดเป็นตัวช่วยในการบำบัด อีกความคิดหนึ่งมาจากการสังเกตเห็นว่า อนุภาคฝุ่นละอองสามารถเกาะยึดติดบนผิวที่เปียกได้ดีกว่าผิวแห้ง และอีกความคิดหนึ่งเกิดจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเกี่ยวกับการละลายของก๊าซในตัวทำละลายต่าง ๆ ดังนั้นเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำจึงเกิดขึ้น เพื่อใช้ในการกำจัดส่วนที่เป็นอนุภาคและส่วนที่เป็นก๊าซต่าง ๆ อาทิ เช่น ไซโคลนสครับเบอร์แบบเปียก สครับเบอร์ชนิดฝ้ายกรองหรือใยกรองแบบเปียก ดังนั้นการที่จะกำหนดขอบเขตที่แน่นอน เพื่อที่จะแยกแยะระบบการควบคุมมลพิษอากาศแบบเปียก จะถือว่าเป็นระบบที่มีของเหลวเป็นตัวชะล้างเท่านั้น

การควบคุมมลพิษอากาศแบบเปียก (Liquid Scrubbing) เป็นการกำจัดมลพิษ ทั้งในสภาวะอนุภาคของแข็งและสภาวะก๊าซหรือไอ โดยที่อนุภาคของแข็งจะถูกกำจัดออกโดยอาศัยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว ส่วนในสภาวะก๊าซจะอาศัยการละลายของก๊าซในของเหลว การทำงานของระบบแบบนี้จะทำงานเป็น 2 ขั้นตอนคือ การดักมวลสารด้วยของเหลวและการแยกของเหลวที่ใช้ดักแล้วออกจากกระแสอากาศดีในขาออก เนื่องจากระบบนี้ใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการบำบัดมวลสาร ดังนั้นจึงสามารถใช้บำบัดก๊าซทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงได้

2.1 กลไกในการบำบัดมลสารของเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำ

เครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำจะพบว่าถูกใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดก๊าซสกปรกต่าง ๆ เพราะว่อุปกรณ์เหล่านี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ทั้งมลพิษอากาศที่เป็นอนุภาคและก๊าซได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำมีเทคนิคที่สามารถนำมวลสารเข้ามาผสมกับของเหลวได้อย่างเป็นเนื้อเดียวกัน

การอธิบายกลไกในการเก็บมวลสารนั้น จำเป็นจะต้องเข้าใจถึงลักษณะการไหลของกระแสอากาศรอบหยดของเหลวเสียก่อน และกลไกในการเก็บมวลสารที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของระบบการบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำนั้น อาจแบ่งได้เป็น 6 ประเภทด้วยกัน (แสดงในรูปที่ 2-1)

1. แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูงซึ่งเคลื่อนที่ไปได้ช้าในกระแสอากาศ และจะค่อย ๆ ตกลง เนื่องจากแรงโน้มถ่วง และจะถูกแยกออกจากกระแสก๊าซไปในที่สุด แรงโน้มถ่วงจะมีบทบาทมากในการจัดอนุภาคของแข็ง เฉพาะสำหรับอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอนเท่านั้น

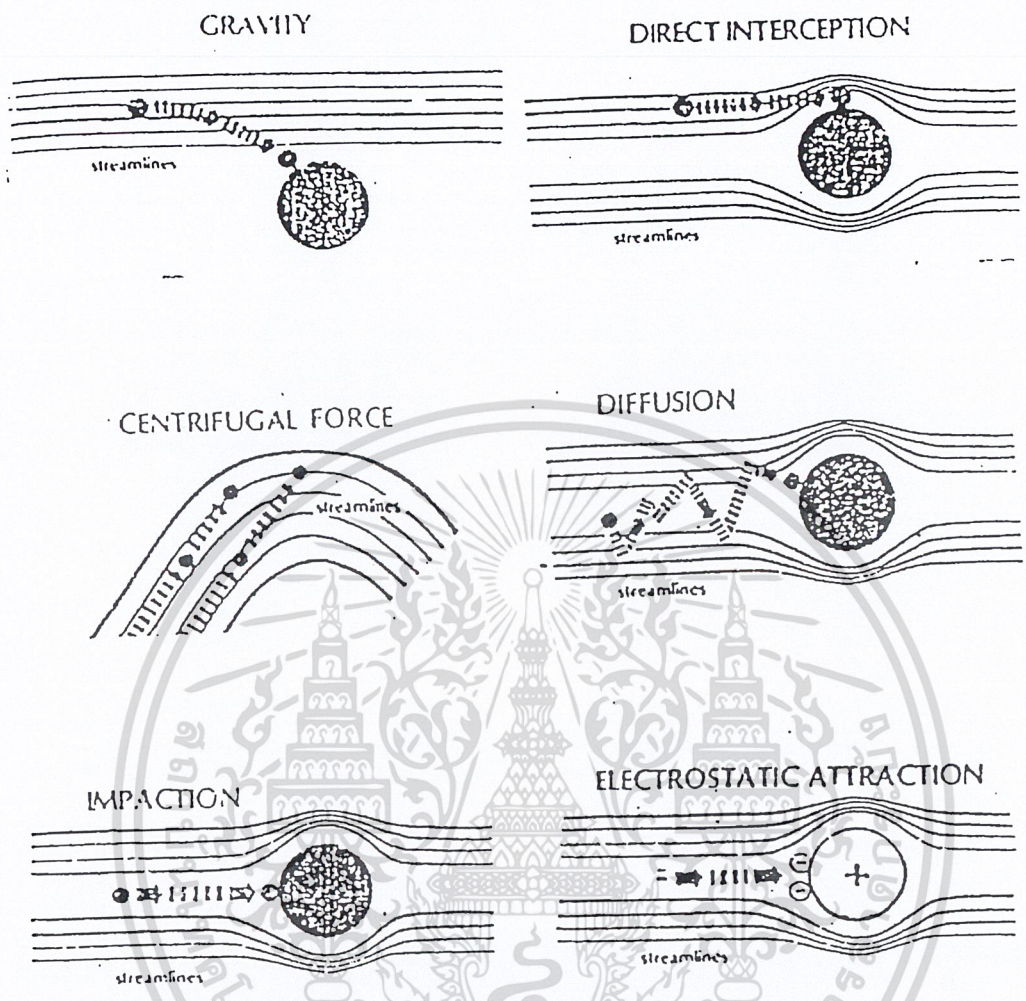
2. แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เมื่อมีการบังคับให้กระแสก๊าซเกิดการไหลหมุนวน (Vortex Flow) ในตัวเครื่องบำบัดมลพิษอากาศ แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้อนุภาคของแข็งมีวิธีการเคลื่อนที่เบี่ยงเบน และแยกออกจากกระแสก๊าซ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะมีโมเมนตัมมาก จะเบี่ยงเบนออกจากกระแสก๊าซได้มากกว่าอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก

3. การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial Impaction) เมื่อกระแสก๊าซเข้าไปใกล้หยดของเหลว ที่ระยะทางหนึ่งก่อนที่จะถึงหยดน้ำ กระแสก๊าซจะเริ่มไหลเบี่ยงเบนออกไป ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงเฉื่อย (Inertia Force) มากจะไม่เคลื่อนที่ไปตามกระแสก๊าซที่ไหลเบี่ยงเบนออกไป แต่จะเคลื่อนที่ตรงไปกระทบกับหยดของเหลวและถูกหยดของเหลวจับไว้ในที่สุด

4. การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception) แม้ว่าอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ตามกระแสก๊าซที่ไหลเบี่ยงเบนไปรอบ ๆ หยดของเหลวก็ตาม อนุภาคของแข็งขนาดเล็กเหล่านี้ก็มีโอกาสเข้าสัมผัส และเกาะติดกับหยดน้ำได้ด้วยกลไกของการสกัดกั้น โดยตรงหากว่าจุดศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง ซึ่งเคลื่อนที่ไปกับกระแสก๊าซอยู่ห่างจากผิวของหยดของเหลวเป็นระยะทางน้อยกว่ารัศมีของอนุภาคของแข็งนั้น

5. การแพร่แบบบราวน์เนียน (Brownian Diffusion) อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1 ไมครอน (Sub micron Particles) และแขวนลอยอยู่ในกระแสก๊าซ จะมีการเคลื่อนที่แบบซิกแซกที่เรียกว่า Brownian Motion เนื่องจากถูกชนโดยโมเลกุลของก๊าซที่อยู่รอบ ๆ การเคลื่อนที่แบบซิกแซกนี้เองที่ทำให้อนุภาคของแข็งขนาดเล็กเคลื่อนที่เบี่ยงเบนออกจากกระแสก๊าซที่กำลังไหลผ่านไปรอบ ๆ หยดของเหลว และสัมผัสหยดของเหลวได้

6. แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction) อนุภาคของแข็งบางชนิดมีประจุไฟฟ้าอยู่ในตัวโดยธรรมชาติ หรืออาจจะได้รับการเติมประจุไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออนุภาคของแข็งที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าไปในสนามไฟฟ้าสำหรับดักอนุภาคของแข็ง แรงไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะชักนำอนุภาคของแข็งให้เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นดักฝุ่น ซึ่งมีประจุตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่ในอนุภาคของแข็ง



รูปที่ 2 - 1 กลไกทางกายภาพ (Physical Mechanisms) ต่าง ๆ ที่พบว่ามีส่วนเกี่ยวข้องในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากกระแสก๊าซ ในเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำ

นอกจากนี้ยังมีกลไกอื่น ๆ ที่เป็นกลไกเสริมสำหรับเครื่องบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในระบบที่ทำงานที่อุณหภูมิสูง อาทิเช่น เตาเผาขยะ ห้องอบแห้งต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งจะมีพลังงาน ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องกับคือ

1. การควบแน่น (Condensation) การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่อก๊าซหรืออากาศมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (Dew Point) ของตัวมันเอง เมื่อความชื้นกลั่นตัวออกจากกระแสก๊าซ จะทำให้เกิดหมอกควันขึ้น อนุภาคของแข็งจะถูกพาเข้าไปสู่ใจกลางของการควบแน่น อนุภาคเหล่านั้นจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นอันเป็นผลมาจากการควบแน่นของของเหลว ซึ่งจะทำให้โอกาสของการกระทบโดยตรงเพิ่มสูงขึ้น อนุภาคของแข็งจะถูกดักได้มากขึ้น

2. ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Gradients) ผลกระทบที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดแรงกระทำต่ออนุภาคของแข็ง ซึ่งจะพาอนุภาคให้เคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลที่เกิดจากพลังงานต้านกันของโมเลกุล (Molecular Collision Energy) ที่มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดขึ้นบนพื้นผิวด้านที่ร้อนและด้านที่เย็นของอนุภาค ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อการเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ

2.2 ประเภทของการออกแบบเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำ

เครื่องบำบัดมลพิษแบบสัมผัสน้ำนั้นมีรูปแบบในการออกแบบได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งการออกแบบระบบบำบัดนั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีการรวมเอาระบบบำบัดหลาย 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 ที่จัดอยู่ในพลังงานประเภทปานกลางก็มีเช่น เครื่องสครับเบอร์แบบพัดลมแรงหนีศูนย์กลาง แบบอิมพัลจ์เมนต์ และแบบชั้นไ่ว้สดู ส่วนประเภทที่มีความดันลดสูงที่สุดหรือแบบพลังงานสูงคือ เครื่องบำบัดแบบเวนทิวรี

1. หอสเปรย์ (Spray Towers)

เป็นเครื่องสครับเบอร์พลังงานต่ำที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะมีรูปแบบของระบบที่ง่าย เครื่องสครับเบอร์ชนิด Gravity Spray Tower เป็นชนิดที่ง่ายที่สุดโดยที่หยดของเหลวจะถูกปล่อยออกมาผ่านกระแสดักก๊าซที่ไหลทวนขึ้น ซึ่งของเหลวจะถูกระบายออกที่ก้นถัง ซึ่งหยดของเหลวจะเกิดขึ้นโดยหัวฉีดสเปรย์ หัวฉีดสเปรย์นั้นจะติดตั้งในลักษณะตามรูปของถังเพื่อให้กระแสดักก๊าซผ่านเข้าไปผสมกับของเหลวได้ง่าย ในหอสเปรย์แบบตั้ง ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของเหลวและก๊าซในท้ายที่สุดแล้วจะเป็นความเร็วที่ลดลงของหยดของเหลว อย่างไรก็ตาม เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลกลับของหยดของเหลว ความเร็วที่ลดลงของหยดของเหลวจะต้องสูงกว่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นของกระแสดักก๊าซ โดยทั่วไปแล้ว ความเร็วของกระแสดักก๊าซจะอยู่ในช่วง 2 - 5 ft./sec. สำหรับเครื่องสครับเบอร์ที่มีความเร็วสูงกว่านี้ต้องมีการใช้ Mist Eliminator ที่ส่วนบนของเครื่องสครับเบอร์ด้วย

หอสเปรย์เหมาะสมทั้งการบำบัดอนุภาคและการดูดซึมก๊าซ (Mass Transfer) ซึ่งเหมือนกับเครื่องสครับเบอร์แบบสัณฐานน้ำแบบอื่น ๆ การปฏิบัติงานของหอสเปรย์มีคุณลักษณะต่าง ๆ คือ ค่าความดันลดต่ำกว่า 5 cm. ของน้ำ ซึ่งคิดรวมทั้งการติดตั้ง Miss Eliminator และแผ่นกระจายก๊าซแล้ว ความสามารถในการบำบัดก๊าซที่มีของแข็งปนอยู่มาก และความต้องการของเหลวที่ใช้บำบัดอยู่ในช่วง 3 - 20 gal/1000 ft³ ของก๊าซที่ต้องการบำบัด หอสเปรย์ยังสามารถบำบัดก๊าซที่มีปริมาณสูง ๆ ได้ และยังสามารถใช้เป็นเครื่องลดอุณหภูมิเพื่อใช้ลดอุณหภูมิของกระแสก๊าซได้ อัตราการไหลของก๊าซโดยทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 800 - 2500 lb/hr ft² เวลาในการหน่วยก๊าซโดยทั่วไปอยู่ช่วงประมาณ 20 - 30 วินาที ข้อเสียที่สำคัญของเครื่องสครับเบอร์แบบหอสเปรย์คือ มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ สำหรับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดในช่วง 0 - 5 ไมครอน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน โดยทั่วไปแล้วจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงถึง 70% ประสิทธิภาพในการบำบัดนั้นสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มแรงดันในการสเปรย์ ซึ่งสามารถเพิ่มได้ช่วง 100 - 400 psig ขึ้นอยู่กับการใช้ชนิดของหัวสเปรย์ ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพขึ้นอีกประมาณ 20% อีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพคือการทำช่องให้กระแสก๊าซไหลวนก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ข้อได้เปรียบที่สำคัญของหอสเปรย์คือความสามารถในการบำบัดก๊าซที่มีความหนาแน่นของฝุ่นสูงมาก 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 อนึ่งแรงเฉื่อยของอนุภาคและแรงหนีศูนย์กลางยังมีบทบาทส่วนหนึ่งในการกรอง การสครับ (scrubbing) และวิธีทำความสะอาดก๊าซอื่น ๆ แต่ว่ากลไกอื่นก็มีความสำคัญในอุปกรณ์นี้ด้วย

ประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของเหลวและกระแสก๊าซ อนุภาคจะถูกสมมติว่าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับกระแสก๊าซ การเพิ่มขึ้นของความเร็วสัมพัทธ์อาจทำได้โดยการทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางเพื่อทำให้ก๊าซหมุน การหมุนอาจเกิดจากก๊าซที่เข้าสู่เครื่องสครับเบอร์ในทิศทางสัมผัสขนานหรือในทิศทางที่กระแสก๊าซด้านกับใบพัดที่ทำให้กระแสก๊าซหมุนอย่างคงที่ ถึงแม้ว่าการออกแบบโดยทั่วไปแล้วเพื่อการติดตั้งเฉพาะ เครื่องสครับเบอร์แบบสเปรย์ไซโคลอนสามารถเปิดโอกาสให้ก๊าซไหลเข้าโดยทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 100 ft./sec. ขึ้นไป ระบบแรงหนีศูนย์กลางนั้น ข้อดีที่สำคัญคือผนังที่เปียกจะขัดขวางการไหลวนกลับในการดักอนุภาคอัตราไหลของน้ำประมาณ 2 - 5 gal/1000 ft³ ของก๊าซที่จะบำบัด และความดันลดประมาณ 5 - 15 cm. ของน้ำ สเปรย์ของเหลวจะสเปรย์ในทิศทางออกจากท่อในศูนย์กลางของตัวถัง ซึ่งท่อนั้นจะทบกั้นหลายชั้น การสเปรย์ในระบบนี้จะเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดโดยการเพิ่มการกระทบกันของหยดสเปรย์และอีก

แบบหนึ่งคือการสเปรย์ในทิศทางตามผิวของผนัง ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดแบบง่ายมากขึ้น อย่างไรก็ตามการสเปรย์แบบนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากภายนอกของเครื่องสครับเบอร์ ในส่วนที่เป็นช่องว่าง ไม่มีการสเปรย์จะทำให้หน่วยเวลาเพียงพอให้หยดของเหลวสามารถตกอนุภาคได้โดยเข้าสู่ผนังของเครื่องสครับเบอร์และป้องกันไม่ให้อนุภาคหนีออกไปกับกระแสอากาศสะอาดได้

3. เครื่องเก็บฝุ่นแบบไดนามิก (Dynamic Collector)

เครื่องเก็บฝุ่นแบบไดนามิก มีลักษณะเหมือนกับเครื่องเป่าลมแบบแรงหนีศูนย์กลาง หัวสเปรย์ที่ติดตั้งที่ปากทางเข้านั้นเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดการกระทบ (impaction) หยดของเหลวที่เกิดจากหัวสเปรย์และมลสารที่ยังไม่ถูกบำบัดนั้นจะผ่านเข้ามาเนื่องจากการหมุนของพัดลมที่มีใบพัดพิเศษหลายใบ แรงหนีศูนย์กลางและแรงตกรกระทบ (impingement) ที่เกิดขึ้นบนใบพัดนั้นจะถูกใช้ในการบำบัดมลพิษและในการแยกของเหลวออกจากกระแสอากาศ ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นคือจะเกิดการก่อตัวขึ้นของสิ่งสกปรกเกาะตัวอยู่บนใบพัด ซึ่งเป็นมลสารที่ถูกกำจัดออกเป็นเศษอนุภาคที่แยกออกจากอากาศสะอาด การออกแบบเครื่องบำบัดแบบนี้จะกำหนดให้ความดันลดที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 15 cm. ของน้ำ และมีค่าความดันลดสูงสุดไม่เกิน 23cm. ของน้ำ อัตราความต้องการน้ำโดยทั่วไปประมาณ 0.5 ถึง 1.5 gal/1000 ft³ ของก๊าซ อัตราการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 1 - 2 hp/1000 acfm ของอากาศที่ถูกบำบัดแล้ว ประสิทธิภาพของการบำบัดจะเท่ากับเครื่องบำบัดแบบอื่นที่มีค่าความดันลดประมาณ 15 cra. ข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ มีขนาดเล็กกระทัดรัด , ประหยัดพลังงาน และประหยัดอัตราการใช้น้ำในการบำบัด

4. เครื่องสครับเบอร์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidize Bed Scrubber)

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

5. เครื่องสครับเบอร์แบบอริฟิซ (Orifice Type Wet Scrubbers)

เครื่องสครับเบอร์แบบอริฟิซ บางที่เรียกว่า เครื่องสครับเบอร์แบบชักนำสเปรย์ขึ้นเอง (Self-induced Spray Scrubber) กระแสก๊าซที่ไหลเข้ามาจะมาสัมผัสกับบ่อของเหลวที่ทางเข้าซึ่งเป็นปากคอคอด (Submerged Orifice) ของเหลวจะถูกนำเข้าสู่ห้องเฉพาะที่สามารถทำให้ของเหลวและอนุภาคของแข็งรวมตัวกันได้ดี เนื่องมาจากผลของการกระทบกันของอนุภาคและหยดของเหลวเพิ่มสูงขึ้น

ซึ่งการออกจากห้องเฉพาะนี้ ถ้าหากว่าหยดของเหลวมีขนาดใหญ่พอ หยดของเหลวเหล่านั้นจะถูกแยกออกได้โดยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากว่าความเร็วของก๊าซจะลดลงตั้งแต่ที่เข้าไปในห้องนี้ หยดของเหลวขนาดเล็ก ๆ จะถูกแยกออกได้ โดยแรงหนีศูนย์กลางและแรงกระทบกับแผ่นที่ยื่นออกมาที่ส่วนบนของเครื่อง อัตราการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 10 - 250 gal/1000 ft³ ของก๊าซ ความเร็วของกระแสก๊าซโดยทั่วไปประมาณ 50 ft/sec. หยดของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีขนาดประมาณ 300 - 400 ไมครอน น้ำเกือบทั้งหมดจะไหลหมุนเวียนสู่บ่อของเหลว แต่หากว่าไม่ใช่บ่อพักน้ำจะใช้อัตราการไหลของน้ำประมาณ 1 - 3 gal/1000ft³ ค่าความดันลดโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 8 - 25 cm. ของน้ำ ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการบำบัดประมาณ 90 - 95% ข้อได้เปรียบที่สำคัญของเครื่องสกรับเบอร์แบบนี้คือ สามารถที่จะกำจัดฝุ่นที่มีความหนาแน่นสูงได้ดี เพราะไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตัน และสามารถกำจัดมลสารที่มีปริมาณของแข็งมากได้

6. เครื่องเวนทูรีสกรับเบอร์ (Venturi Scrubbers)

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารด้วยการกระทบ (Impaction) หยดของเหลวที่มีขนาดเล็กและความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคและหยดของเหลวมีค่าสูงคือปัจจัยที่เราต้องการ เครื่องเวนทูรีสกรับเบอร์เป็นความสำเร็จที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำให้กระแสก๊าซเข้ามาในมุมที่การไหลของก๊าซมีความเร็วสัมพัทธ์สูงที่คอคอดเวนทูรี (Vena Contracta) หยดของเหลวขนาดเล็กมาก ๆ จะถูกสร้างขึ้นและความเร็วสัมพัทธ์จะยังมีค่าสูงมาก จนกระทั่งหยดของเหลวถูกเร่งจนมีค่าเท่ากับความเร็วสุดท้าย ความเร็วของก๊าซที่ผ่านคอคอดเวนทูรีโดยทั่วไปมีค่าสูงมากอยู่ในช่วง 12000 - 24000 ft/min. ความเร็วที่เกิดขึ้นของก๊าซนั้นเป็นเพราะการกลายเป็นละอองของของเหลว พลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้เครื่องสกรับเบอร์จะถูกนำไปใช้สำหรับค่าความดันลดของกระแสก๊าซที่ผ่านเครื่อง อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อเครื่องเวนทูรีสกรับเบอร์คือความเข้มข้นของสาร ถ้าก๊าซที่ไหลเข้าผ่านคอคอดเข้ามาสู่บริเวณความดันลดเป็นก๊าซอิ่มตัวสมบูรณ์ จะเกิดการควบแน่นบนผิวของอนุภาคที่อยู่ในบริเวณคอคอดอันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ของจูส์ - ทอมป์สัน (Joule Thompson Effect) เพราะว่าผลของของเหลวที่เป็นตัวลดอุณหภูมิ ซึ่งการควบแน่นจะเกิดขึ้นได้มากถ้าหากว่ากระแสก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นไปมาก ๆ

เครื่องเวนทูรีสกรับเบอร์นั้นจะทำหน้าที่เป็นเครื่องปรับสภาพก๊าซด้วยตัวของมันเอง และจะทำหน้าที่เป็นส่วนแยกหยดของเหลวที่ถูกพามาที่กระแสก๊าซ อัตราการฉีดน้ำเข้าเวนทูรีจะมีค่าอยู่ในช่วง 6 - 15 gal / 1000 ft³ ของก๊าซ ประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าสูงมากหากว่าค่าของความดันลดอยู่ในช่วง 8 - 170 cm. ของน้ำ แต่ไม่ควรให้ค่าความดันลดอยู่ในช่วง 62.5 - 75 cm. ยกตัวอย่างเช่น สำหรับเครื่องเวนทูรีสกรับเบอร์ที่มีค่าความดันลด 25 cm. ของน้ำ จะสามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2 - 3 ไมครอนได้ด้วยประสิทธิภาพถึง 100% ในขณะที่เครื่อง เวนทูรีสกรับเบอร์ที่มีค่าความดันลด 150 cm. ของน้ำ จะสามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ๆ อยู่ในช่วง 0.3 - 0.4 ไมครอน ได้ด้วยประสิทธิภาพถึง 100% ซึ่งประสิทธิภาพของการบำบัดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความดันลด เครื่องเวนทูรีสกรับเบอร์แบบปรับขนาดของคอคอดได้ จะสามารถควบคุมค่าความดันลดให้มีค่าคงที่ได้ แต่สามารถปรับอัตราการไหลของกระแสก๊าซได้ ในระบบเหล่านี้ค่าประสิทธิภาพของการบำบัดและค่าความดันลดจะสามารถปรับตั้งได้ด้วยตำแหน่งของจานสั้นที่ปากของคอคอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องสครับเบอร์แบบอิมพิงเจอร์ (Impingement Plate Scrubber)

เครื่องสครับเบอร์แบบอิมพิงเจอร์ จะใช้แผ่นที่เจาะเป็นรูติดอยู่เหนือแผ่นอิมพิงเมนต์ (Impingement Baffle) เพื่อต้องการให้พื้นที่ผิวของของเหลวขยายตัวกว้างขึ้น การไหลของก๊าซจะไหลในทิศทางขึ้นแล้วถูกแบ่งออกเป็นสเปร์ย์เจ็ตเป็นจำนวนมาก ๆ ด้วยแผ่นออริฟิซ ซึ่งกระแสก๊าซที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซจะมีความเร็วประมาณ 15 - 20 ft/sec. การสเปร์ย์ของเหลวจะสร้างพื้นผิวที่เปียกบนแผ่นอิมพิงเมนต์ ซึ่งจะอยู่ในตำแหน่งที่มีความเร็วของเจ็ตสูงมากที่สุด อนุภาคที่เคลื่อนที่จะเกิดการกระทบโดยตรงบนแผ่นที่เปียกและจะถูกดักไว้ด้วยของเหลวที่ใช้สครับ ในเครื่องสครับเบอร์แบบอิมพิงเจอร์นี้ เจ็ตแต่ละเจ็ตที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันเป็นฟองก๊าซซึ่งจะพุ่งขึ้นและจะเกิดเป็นการไหลแบบเทอร์บูเลนซ์ (Turbulence) ซึ่งจะทำให้ก๊าซและของเหลวผสมกันมากขึ้นทำให้อากาศที่สะอาดมากที่สุด การเกิดความปั่นป่วนบนแผ่นกระบังลมนั้นจะทำให้ป้องกันการเกิดการจับตัวกันของตะกอนอนุภาคที่ถูกดัก และจะทำให้สามารถกำจัดอนุภาคออกไปได้

ประสิทธิภาพรวมของเครื่องแบบแผ่นเดี่ยวอาจมีค่าสูงถึง 90 - 98% สำหรับการบำบัดอนุภาคขนาด 1 ไมครอน ค่าความดันลดจะมีค่าประมาณ 2.5 - 10 cm. ของน้ำ ต่อแต่ละช่วงของแผ่นออริฟิซ อัตราการใช้น้ำโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 3 - 5 gal/1000 ft³ ของน้ำ

8. เครื่องสครับเบอร์แบบใช้กลไกทำละออง (Atomizing-Mechanic Scrubbers)

เครื่องสครับเบอร์แบบชักนำของเหลวโดยใช้กลไกนั้น จะต้องทำให้กระแสก๊าซเกิดเป็นสเปร์ย์ที่มีความเร็วสูงในมุมที่ถูกต้อง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ใบพัดแบบแยกส่วนกระแสก๊าซที่สกรปรกจะผ่านเข้ามาในส่วนที่ทำการบำบัด ซึ่งจะมีหยดของเหลวที่เกิดขึ้นโดยใช้กลไก การสครับจะเกิดขึ้นได้โดยการกระทบ (Impaction) เป็นเพราะความเร็วของก๊าซในแนวรัศมีที่มีค่าสูงและความเร็วของกระแสก๊าซในแนวตั้ง ละอองของของเหลวจะเกิดขึ้นที่ตัวใบพัดและผนังภายนอก

กำลังงานของเครื่องที่ต้องการมีค่าประมาณ 3 - 10 กิโลวัตต์ และอัตราการไหลของของเหลวโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 4 - 5 gal/1000 ft³ ของน้ำ อย่างไรก็ตาม สำหรับการออกแบบเครื่องที่มีความเร็วสูงจะพิจารณาจาก ขนาดของอนุภาคและประสิทธิภาพของการบำบัดที่ต้องการ ข้อได้เปรียบที่สำคัญของเครื่องสครับเบอร์แบบนี้คือ ความเร็วสัมผัสของของเหลวต่ำ ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่ ประสิทธิภาพของการบำบัดสูง และมีความสามารถในการบำบัดก๊าซที่มีปริมาณสูง ๆ ได้ดี อย่างไรก็ตาม ตัวใบพัดเองก็มีความต้านทานต่อการกัดเซาะได้น้อย ถ้าหากว่าอนุภาคมีขนาดใหญ่และฝุ่นผงที่มีความแข็งมากๆ และในขณะที่เดียวกันก็จะสิ้นเปลืองพลังงานมากหากว่าจำเป็นต้องใช้เครื่องกำจัดละออง (Mist Eliminator)

บทที่ 3

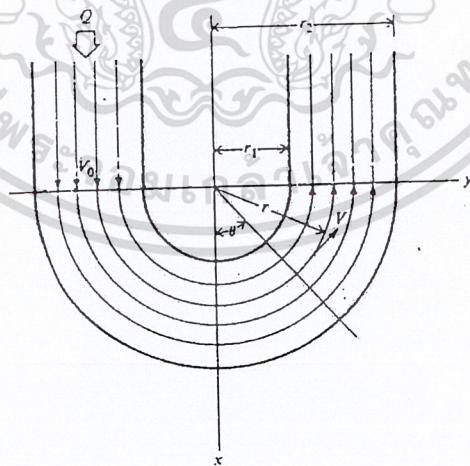
กลไกความเฉื่อย (INERTIAL DEVICES)

มีวิธีการมากมายที่จะแยกวัตถุออกจากกัน โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก แรงเหวี่ยงทางกลมีมากพอที่จะแยกวัตถุเมื่อเส้นการไหลของแก๊สเป็นแนวโค้ง ชนิดการเก็บของไซโคลนและการสูญเสียที่ใช้ทางกล ในบทที่เราจะศึกษาการเก็บทางกล

3.1 การไหลของไซโคลน

ก่อนที่จะเริ่มต้นพิจารณากลไกของความเฉื่อย จะต้องหาสมการสำหรับความเร็วของการไหลในไอ้ตามแนวโค้ง ซึ่งเป็นผลกระทบในการลอยตัว รูปที่ 3 - 1 เป็นระบบหนึ่งประกอบด้วยช่องทางรูปตัว U จะมีการไหลชนิดนี้เกิดขึ้น จะเลือกการไหลลำดับที่สองแสดงโดยด้านทั้ง 2 ของผนัง และจะสมมติเบื้องต้นว่าทางออกของช่วงของไหลเสียดทาน

การพิจารณาให้ของไหลวางที่จุด (r, θ) หรือ (r, y) ในจุดรวมของสี่เหลี่ยมมุมฉากกับแสดงในภาพที่ 3 - 2 ในลักษณะที่ไม่มีแรงเสียดทาน แรงดันปกติจะกระทำกับวัตถุพิจารณาการไหล 2 ทิศทาง และวัตถุจะมีความลึกปกติที่ระนาบของกระดาษ มวลของวัตถุที่ให้คือ



รูปที่ 3 - 1 การไหลของไซโคลน

อัตราเร่งของวัตถุให้โดย

$$a = -\frac{V^2}{r}$$

แรงกระทำทั้งหมดเนื่องจากแรงดัน โดยไม่คำนึงถึงแรงโน้มถ่วงของโลกของก๊าซ คือ

$$\begin{aligned}\sum F &= Pr d\theta - (P + dP)(r + dr)d\theta + 2\left(P + \frac{dP}{2}\right)\frac{d\theta}{2} dr \\ &= -rdPd\theta\end{aligned}$$

ให้ $F = adm$ และแทนสมการที่เป็นสูตรนี้

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\rho V^2}{r} \quad (3.1)$$

สมการเบอร์นูลลีสามารถเขียนได้จากทางแก๊สของภาคตัดที่จุด 0 ถึงจุดที่วัตถุถูกติดตั้ง

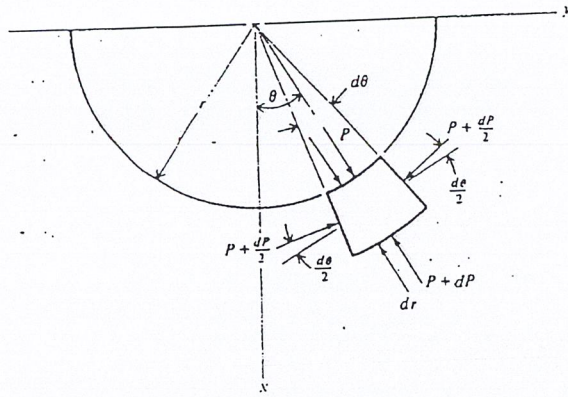
$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (3.2)$$

จาก

$$\frac{dP}{dr} = -\rho V \frac{dV}{dr} \quad (3.3)$$

เอาสมการ (3.1) และ (3.3) มารวมกัน

$$\frac{dV}{V} = -\frac{dr}{r} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3 - 2 แรงกระทำบนส่วนเล็กๆ ในการไหลของไซโคลอน

การแก้สมการอนุพันธ์นี้คือ

$$V = \frac{C}{r} \quad (3.5)$$

ทดลองหาค่าคงที่ C ให้กำหนดอัตราการไหลที่มากในหน้าตัดนั้น โดยการอินทิเกรตค่า V

$$Q = W \int_{r_1}^{r_2} v dr = CW \int_{r_1}^{r_2} \frac{r^2}{r} dr$$

การแก้สมการของค่า C เคมี

$$\frac{C}{r} = \frac{Q}{W \ln(r_2/r_1)} \quad (3.6)$$

แล้วสมการ (3.5) กลายเป็น

$$V = \frac{Q}{W \cdot r \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3.7)$$

สมการ (3.1) ให้สำหรับความดันเกรเดียน

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\rho Q^2}{r^3 W^2 \left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)^2} \quad (3.8)$$

ถ้าเลือก p_0 เป็นความดันอ้างอิงที่จตุรศมี r_0 แล้วสมการ (3.8) ได้ว่า

$$P = P_0 + \frac{\rho Q^2}{r^3 W^2 (\ln r_2 / r_1)^2} \left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r^2} \right) \quad (3.9)$$

ในส่วนอื่น ๆ ถ้า p_0 เป็นความดันที่เข้าไปในส่วน o เมื่อความเร็ว คือ V_0 แล้วสมการ (3.2) ให้

$$P = P_0 + \frac{\rho Q^2}{2W^2} \left[\frac{1}{(r_2 - r_1)^2} - \frac{1}{r^2 (\ln r_2 / r_1)^2} \right] \quad (3.10)$$

องค์ประกอบที่สำคัญของความเร็วอาจถูกเขียนได้ดังต่อไปนี้ ในทรงกระบอก องค์ประกอบของรัศมีเป็น 0 และองค์ประกอบของมุมสัมผัสเท่ากับ V คือ

$$V_r = 0 \quad V_\theta = V = \frac{Q}{Wr \ln r_2 / r_1} \quad (3.11)$$

การกลับกันของจตุรศมีที่เปลี่ยนให้

$$V_y = V \cos \theta \quad V_x = -V \sin \theta$$

แต่ $x = r \cos \theta$ และ $y = r \sin \theta$ เรามี

$$V_y = V \frac{x}{r} = \frac{Qx}{Wr^2 \ln r_2 / r_1} = \frac{Qx}{W(x^2 + y^2) \ln r_2 / r_1} \quad (3.12)$$

$$V_x = V \frac{y}{r} = -\frac{Qy}{Wr^2 \ln r_2 / r_1} = -\frac{Qy}{W(x^2 + y^2) \ln r_2 / r_1} \quad (3.13)$$

3.2 ประสิทธิภาพการเก็บในการไหลของไซโคลนแบบราบเรียบที่แรงโน้มถ่วงเล็กน้อย

ภาพที่ 3-3 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ d ซึ่งไหลเข้าไปในส่วนโค้งของไซโคลนที่รัศมี r_3 และไหลกระทบกับผนังด้านนอกของช่องทางที่ตำแหน่ง 0 สมมติว่าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ทุก ๆ จุด ตามความโค้งประสิทธิภาพการเก็บ สำหรับวัตถุที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d ให้โดย

$$\eta = \frac{r_2 - r_3}{r_2 - r_1} \quad (3.14)$$

องค์ประกอบของความเร็วจึงมุมให้โดยสมการ (3.11)

ความเร็วสิ้นสุดของวัตถุ ซึ่งมีรัศมีเป็นองค์ประกอบของความเร็วกว้างให้โดยสมการ (3.19)

$$V_1 = V_r = \frac{F}{3\pi\mu d} \quad (3.15)$$

แรงเหวี่ยงที่กระทำกับวัตถุให้เป็น

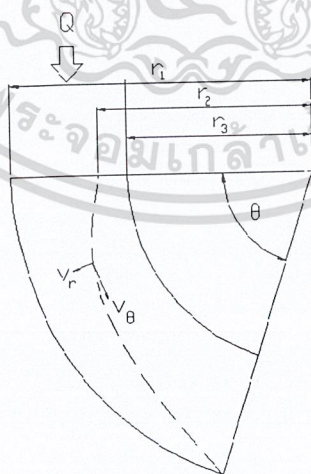
$$F = \frac{mV_\theta^2}{r} = \rho_p \frac{\pi d^3}{6} \frac{Q^2}{W^2 r^3 (\ln r_2 / r_1)^2} \quad (3.16)$$

ดังนั้นสมการ (3.15) จะเป็น

$$V_r = \frac{\rho_p Q^2 d^2}{18\mu r^3 W^2 (\ln r_2 / r_1)^2} \quad (3.17)$$

จากสมการ (3.11) และสมการ (3.17) เราสามารถเลือกสมการที่ต่างกันสำหรับวิถีโค้งของวัตถุ อัตราส่วนของมุมสัมผัส กับระยะของรัศมีเท่ากับอัตราส่วนของมุมสัมผัสที่รัศมีความเร็ว นั่น ๆ

$$\frac{rd\theta}{dr} = \frac{V_\theta}{V_r} = \frac{Q / Wr (\ln r_2 / r_1)}{\rho_p Q^2 d^2 / 18\mu r^3 W^2 (\ln r_2 / r_1)^2} \quad (3.18)$$



รูปที่ 3 - 3 เส้นทางของฝุ่นในการไหลของไซโคลน

ซึ่งลดลงเป็น

$$\frac{d\theta}{dr} = \frac{18\mu W \ln r_2 / r_1}{\rho_p Q d^2} r \quad (3.19)$$

อินทิเกรตสมการ (3.19) จาก $r = r_3$ ที่ $\theta = 0$ ถึง $r = r_2$ ที่ θ เรามิ

$$\theta = \frac{18\mu W \ln r_2 / r_1}{2\rho_p Q d^2} (r_2^2 - r_3^2) \quad (3.20)$$

แก้สมการหาค่า r_3

$$r_3 = \sqrt{r_2^2 - \frac{\rho_p Q d^2 \theta}{9\mu W \ln r_2 / r_1}} \quad (3.21)$$

แทนเข้าไปในสมการ (3.14) ให้เป็นประสิทธิภาพ

$$\eta = \frac{1 - \sqrt{1 - \rho_p Q d^2 \theta / 9\mu r_2^2 W (\ln r_2 / r_1)}}{1 - r_1 / r_2} \quad (3.22)$$

ประสิทธิภาพที่สามารถทำขึ้นได้จนกระทั่งแก้สมการ (3.22) ของ θ เป็นค่าที่ออกแบบ θ_1 ซึ่ง

$\eta = 1$ ให้

$$\theta_1 = \frac{9\mu W (r_2^2 - r_1^2) \ln r_2 / r_1}{\rho_p Q d^2} \quad (3.23)$$

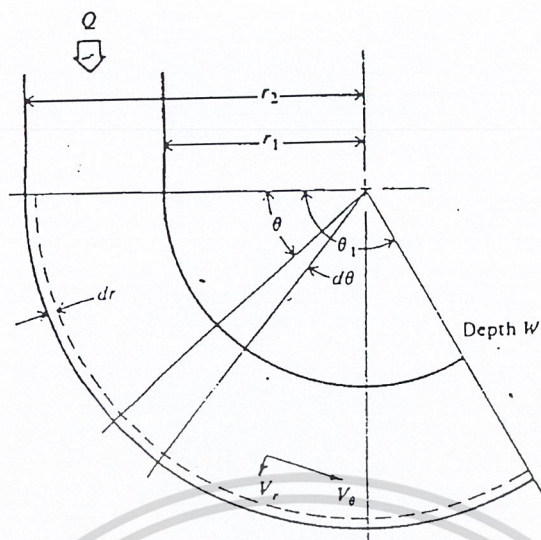
3.3 ประสิทธิภาพการเก็บในการไหลของไซโคลนแบบหมุนวน

ในหัวข้อ 3.2 เราได้อธิบายส่วนต่าง ๆ ของการไหลแบบราบเรียบ แน่นอนเราใช้สูตรเท่ากับความเร็วแบบราบเรียบของวัตถุในการพิจารณา ทิศทางของรัศมีที่แรงหนีศูนย์กลางกระทำใช้การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบราบเรียบในทางรัศมีแต่ตอนนี้จะสมมติการไหลแบบหมุนวนของก๊าซ

สำหรับการวิเคราะห์อันดับแรกในส่วนนี้ ให้เราสมมติผลซึ่งกระทบของการไหลแบบหมุนวนนี้หน้าตัดขวางของวัตถุให้เป็นมุม θ การไหลนี้ไม่จำเป็นสำหรับการไหลแบบไซโคลน ความจริงมันอาจป้องกันมากเกินไป ตั้งแต่ผลกระทบของแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงทางการไหลแบบหมุนวน พื้นที่ที่มีความสัมพันธ์น้อยมาก เราจะพิจารณาความเป็นไปได้ของหน้าตัดขวางของวัตถุที่แตกต่างกัน

พิจารณาผลกระทบของการไหลแบบราบเรียบที่ผิวด้านนอกของไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ซึ่งวัตถุเข้าไปแล้วถูกดักไว้ทั้งหมด ถ้าเราให้ $(r_2 d\theta)$ เป็นระยะที่ต้องการสำหรับตัวดักแล้ว

$$r_2 d\theta = V_{o_2} dt$$



รูปที่ 3 - 4 การไหลของไหลโคลนแบบหมุนวน

ความหนาของเขตตัวจับ

$$dr = V_r dt = \frac{V_{r2}}{V_{o2}} r_2 d\theta$$

ส่วนย่อยของวัตถุที่มุม $d\theta$ เป็นส่วนย่อยของวัตถุซึ่งอยู่ในส่วนของตัวจับ คือ

$$\frac{dN}{N} = \frac{dr}{r_2 - r_1} = \frac{V_{r2}}{V_{o2}} \frac{r_2}{r_2 - r_1} d\theta$$

อินทิเกรตของสมการนี้คือ

$$\ln N = -\frac{V_{r2}}{V_{o2}} \frac{r_2}{r_2 - r_1} \theta + C$$

การทดลองค่าคงที่ของการอินทิเกรตที่ทางเข้า $\theta = 0$ เมื่อ N_0 เป็นจำนวนของวัตถุทั้งหมด เรามี

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{V_{r2}}{V_{o2}} \frac{r_2}{r_2 - r_1} \theta\right)$$

ประสิทธิภาพที่มุม θ_1 แล้ว

$$\eta = 1 - \frac{N}{N_0} = 1 - \exp\left[-\frac{V_{r_2} r_2 \theta_1}{V_{o_2} (r_2 - r_1)}\right] \quad (3.24)$$

สมการ (3.11) ให้ความเร็ว tangent ของวัตถุและสมการ (3.17) เป็นความเร็วรัศมีได้ว่าดลองที่รัศมีภายนอก r_2 สมการเหล่านี้จะกลายเป็น

$$V_{o_2} = \frac{Q}{r_2 W \ln r_2 / r_1}$$

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

แล้วสมการ (3.24) กลายเป็น

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\rho_p Q d^2 \theta_1}{18 \mu r_2 W (r_2 - r_1) \ln r_2 / r_1}\right] \quad (3.25)$$

ซึ่งสมการแก้หา θ_1 ได้

$$\theta_1 = -\frac{18 \mu r_2 W (r_2 - r_1) (\ln r_2 / r_1) \ln(1 - \eta)}{\rho_p Q d^2} \quad (3.26)$$

ดังนั้นเราสามารถกำหนดมุมของการกลับได้ โดยให้ประสิทธิภาพการเก็บ สำหรับการให้ขนาดของวัตถุ อัตราการไหลและตามหลักเรขาคณิตของไซโคลน

3.4 การตัดแปลงการไหลแบบไซโคลน

การวิเคราะห์เป็นพื้นฐานของการไหลแบบไซโคลนถูกปรับปรุงในหัวข้อ 3.1 สามารถตัดแปลงการไหลขั้นต้นนี้ได้ และจะทำให้ดีต่อเมื่อการรวบรวมข้อมูลในกลไกชนิดพิเศษให้พิจารณาการไหลของไซโคลนที่ตัดแปลงนี้ว่าจะมีผลกระทบอะไร

การตัดแปลงวัตถุของสมการ (3.5) สำหรับการไหลของไซโคลนคือ

$$V_\theta = \frac{C}{r^n} \quad (3.27)$$

ซึ่ง n เป็นค่าคงที่ที่เราอาจจะทดลองค่าคงที่ C ในหัวข้อ 3-1 โดยการอินทิเกรตอัตราส่วนของ การทดลองและแก้หาค่า C ให้

$$Q = \int_1^2 V_\theta dA = W \int_1^2 V_\theta dr = W \int_1^2 \frac{Cdr}{r^n} = \frac{WC}{1-n} (r_2^{1-n} - r_1^{1-n})$$

$$C = \frac{(1-n)Q}{W(r_2^{1-n} - r_1^{1-n})}$$

แล้วความเร็วสัมผัสจะกลายเป็น

$$V_\theta = \frac{(1-n)Q}{W(r_2^{1-n} - r_1^{1-n})} r^{-n} \quad (3.28)$$

ความเร็วในแนวรัศมีถูกหาค่าจากสมการ (3.17)

$$V_r = \frac{F}{3\pi\mu d} = \frac{mV_\theta^2}{3\pi\mu dr} = \frac{\rho_p d^2 V_\theta^2}{18\mu r} = \frac{\rho_p (1-n)^2 Q^2 d^2}{18\mu W^2 (r_2^{1-n} - r_1^{1-n}) r^{2n-1}} \quad (3.29)$$

ประสิทธิภาพการเก็บ

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{(1-n)\rho_p Q d^2 \theta_1}{18\mu W^2 (r_2^{1-n} - r_1^{1-n}) r_2^n (r_2 - r_1)}\right] \quad (3.30)$$

ขั้นสุดท้ายมุม C ที่ต้องการสำหรับประสิทธิภาพการเก็บคือ

$$\theta_1 = -\frac{18\mu W (r_2^{1-n} - r_1^{1-n}) r_2^n (r_2 - r_1) \ln(1-\eta)}{(1-n)\rho_p Q d^2} \quad (3.31)$$

ประสิทธิภาพการเก็บใช้ฟังก์ชันพิเศษของการแพร่กระจายของวัตถุ ในงานการไหลแบบหมุนวนที่จุดนี้ เราได้สมมติว่าผลกระทบของการไหลแบบหมุนวนเป็นการแพร่กระจายของวัตถุผ่านหน้าตัด รูปที่ 3 - 5 แสดงการแพร่กระจายของวัตถุบนหน้าตัดในรูปของการรวมชนิดใหม่จำนวนของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ที่ออกแบบคือ C_{na} ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ r และ θ ผลรวมของจำนวนของวัตถุที่ตั้ง θ คือ

$$N(\theta) = \int^2 C_{na}(r, \theta) dr \quad (3.32)$$

จากการปรับปรุง

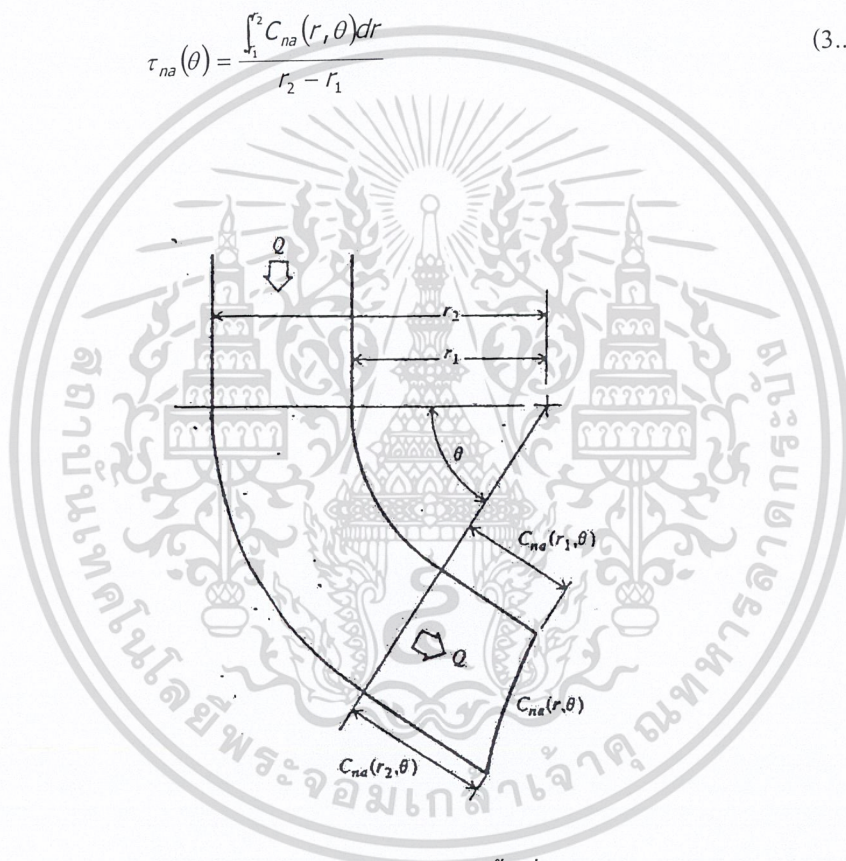
$$dr = \frac{V_{r_2}}{V_{\theta_2}} r_2 d\theta$$

แล้วส่วนย่อยของจำนวนของวัตถุคือ ขอบเขตของ dr ที่ถูกแบ่งโดยจำนวนทั้งหมด โดยให้

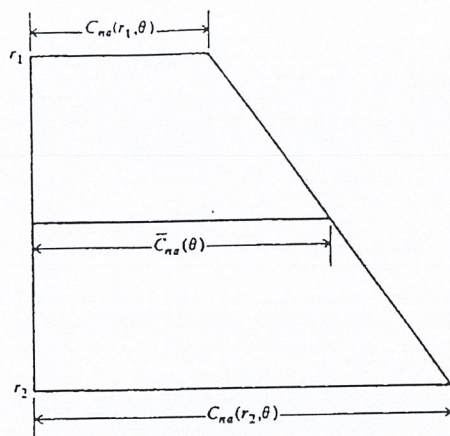
$$-\frac{dN}{N} = \frac{C_{na}(r_2, \theta) dr}{\int_{r_1}^{r_2} C_{na}(r, \theta) dr} = \frac{C_{na}(r_2, \theta)}{\int_{r_1}^{r_2} C_{na}(r, \theta) dr} \frac{V_{r_2}}{V_{\theta_2}} r_2 d\theta$$

แล้วกำหนดค่าเฉลี่ยของ C_{na} คือ

$$\tau_{na}(\theta) = \frac{\int_{r_1}^{r_2} C_{na}(r, \theta) dr}{r_2 - r_1} \quad (3..33)$$



รูปที่ 3 - 5 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเหนือพื้นที่หน้าตัดในการไหลของไซโคลน



รูปที่ 3 - 6 การแพร่กระจายของวัตถุเป็นฟังก์ชันเส้นตรง

$$-\frac{dN}{N} = \frac{C_{na}(r_2, \theta)}{(r_2 - r_1)\tau_{na}(\theta)V_{\theta_2}} r_2 d\theta$$

อินทิเกรตสมการนี้และรูปแบบสำหรับประสิทธิภาพ เรามี

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{r_2}{r_2 - r_1} \frac{V_{r_2}}{V_{\theta_2}} \int \frac{C_{na}(r_2, \theta)}{\tau_{na}(\theta)} d\theta\right] \quad (3.34)$$

ให้เราเลือกฟังก์ชันการแพร่กระจายใช้สมการ (3.34) สำหรับการแก้ไข เราเลือกฟังก์ชันซึ่งเป็นเส้นตรงในรัศมี หลังจากที่ได้มึมนั่นแล้วการรวมที่รัศมี r_1 จะเป็น ศูนย์ เรียกมุมนี้ว่า θ_2 ระหว่าง $\theta = 0$ และ $\theta = \theta_2$ เราจะสมมติการรวมที่รัศมีภายใน $C_{na}(r_1, \theta)$ จะเปลี่ยนรูปแบบความถี่ลงมารวมกันที่ศูนย์ การเปลี่ยนแปลงที่ถูกขยายในภาพที่ 3 - 6 ค่าของ θ_2 จะปราศจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น ประสิทธิภาพจะอยู่ภายใต้การไหลเป็นแท่นโดยสมการ (3.23)

$$\theta_2 = \frac{9\mu W(r_2^2 - r_1^2) \ln r_2 / r_1}{\rho_p Q d^2} \quad (3.35)$$

สำหรับสมการที่รัศมีภายใน เราอาจจะเขียนได้

$$\frac{C_{na}(r_1, \theta)}{\tau_{na}(\theta)} = 1 - \frac{\theta}{\theta_2} \quad (3.36)$$

การรวมที่รัศมีภายนอกคือ

$$C_{na}(r_2, \theta) = 2r_{na}(\theta) - C_{na}(r_1, \theta)$$

ซึ่งอาจจะเขียนได้เป็น

$$\frac{C_{na}(r_2, \theta)}{r_{na}(\theta)} = 1 + \frac{\theta}{\theta_2} \quad 0 < \theta_2 \quad (3.37)$$

สำหรับ $\theta > \theta_2$ การรวมที่รัศมีภายนอกเขียนได้เป็น

$$\frac{C_{na}(r_2, \theta)}{r_{na}(\theta)} = 2 \quad 0 > \theta_2 \quad (3.38)$$

อินทิเกรตของสมการ (3.34) อาจเขียนได้สำหรับ 2 กรณี

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{V_{r_2}}{V_{\theta_2}} \frac{r_2 \theta_1}{r_2 - r_1} \left(1 + \frac{\theta_1}{2\theta_2}\right)\right] \quad 0 < \theta_1 < \theta_2 \quad (3.39)$$

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{V_{r_2}}{V_{\theta_2}} \frac{r_2 \theta_1}{r_2 - r_1} \left(2 + \frac{\theta_2}{2\theta_1}\right)\right] \quad \theta_1 > \theta_2 \quad (3.40)$$

ใช้สมการ (3.11) และ (3.17) สำหรับความเร็วสัมผัสและความเร็วรัศมีตามลำดับ

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\rho_p Q d^2 \theta_1 (1 + \theta_1 / 2\theta_2)}{18\mu W r_2 (r_2 - r_1) \ln r_2 / r_1}\right] \quad 0 < \theta_1 < \theta_2 \quad (3.41)$$

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\rho_p Q d^2 \theta_1 (1 - \theta_1 / 2\theta_2)}{18\mu W r_2 (r_2 - r_1) \ln r_2 / r_1}\right] \quad \theta_1 > \theta_2 \quad (3.42)$$

สมการ (3.42) จะเป็นส่วนย่อยที่ใช่ปกติ เราคาดว่า θ_1 ใหญ่กว่า θ_2 สำหรับประสิทธิภาพสูง
สมการ (3.42) อาจจะหาค่า θ_1 ถ้ารู้ประสิทธิภาพ ให้

$$\theta_1 = \frac{\theta_2}{4} - \frac{9\mu W r_2 (r_2 - r_1) \ln r_2 / r_1 \ln(1 - \eta)}{\rho_p Q d^2} \quad \theta_1 > \theta_2 \quad (3.43)$$

ใช้สมการ (3.35) สมการ (3.42) และ (3.43) ในรูปแบบที่ง่าย

$$\eta = 1 - \exp\left[-\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)\left(\frac{\theta_1}{\theta_2} - \frac{1}{4}\right)\right] \quad \theta_1 > \theta_2 \quad (3.44)$$

$$\theta_1 = \theta_2 \left[\frac{1}{4} - \frac{\ln(1-\eta)}{1+r_1/r_2} \right] \quad \theta_1 > \theta_2 \quad (3.45)$$

3.5 คุณสมบัติมาตรฐานของไซโคลน

ส่วนที่เหลือของย่อหน้านี้จะถูกปรับปรุงแน่นอน รายละเอียดของการใช้ไซโคลนมีชุดมาตรฐานคือการระบายอากาศ ไซโคลนบางส่วนจะรองรับการไหลจากไซโคลนใหญ่อีกหนึ่งที่หนึ่ง สิ่งเหล่านี้ได้แสดงในรายการคานาลสัน [4] ในส่วนขนาดของไซโคลน D_2 อัตราขนาดมาตรฐานถูกแสดงไว้ในตาราง 3-1

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

$$d_{0.5} = \sqrt{\frac{9\mu B^2 H}{\rho_p Q \theta_1}} \quad (3.46)$$

ประสิทธิภาพของส่วนโค้งถูกแสดงเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วน $d/d_{0.5}$ ในรูปที่ 3-7 ค่าของ 6 ในรูปที่ 3-7 ได้แสดงจำนวนการหมุนตัดขวางของก๊าซของไซโคลนแม้ว่าค่านี้จะเปลี่ยนไป ขาดหายไปของการประกอบที่แท้จริงของข้อมูล ให้โดย

$$\theta_1 = 2\pi \frac{L_1 + L_2/2}{H} = \frac{\pi}{H} (2L_1 + L_2) \quad (3.47)$$

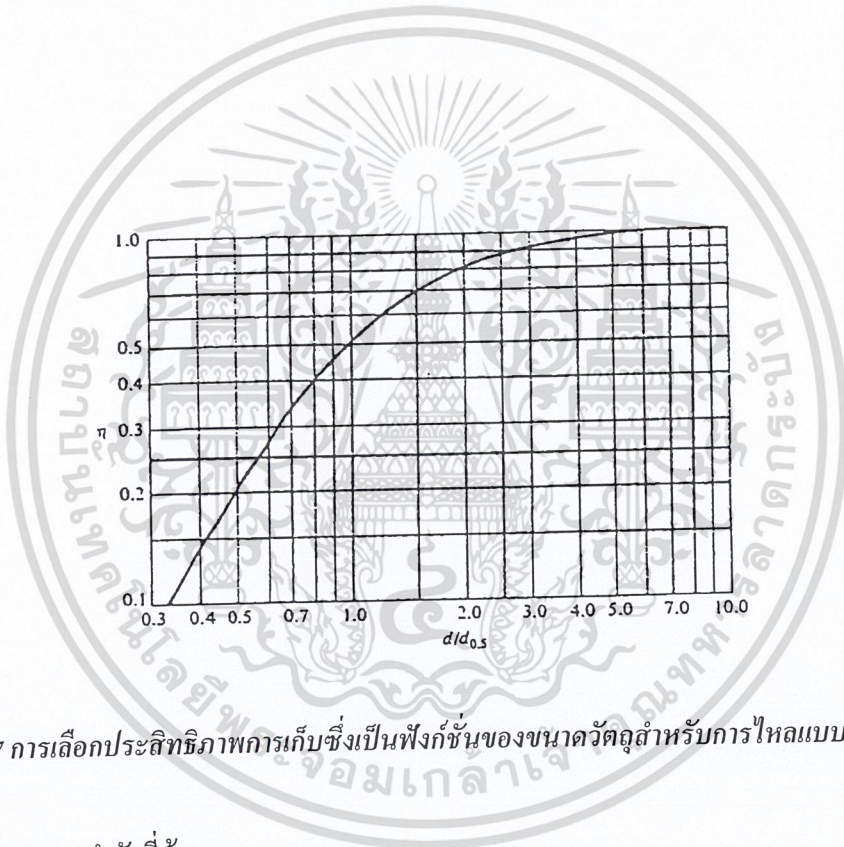
สมการ (3.46) ให้มุมสัมผัส, ก้นหอย, หรือทางโค้งของทางเข้าสำหรับลำทางเข้า สมการต่อไปนี้อาจใช้

$$d_{0.5} = \sqrt{\frac{27\pi\mu B^3}{\rho_p Q \theta_1 \tan \alpha}} \quad (3.48)$$

สมการ (3.47) ให้ $L_1 = 12$ สำหรับไซโคลนมาตรฐาน

ตารางที่ 3 - 1 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน

Lengygh 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 3 - 7 การเลือกประสิทธิภาพการเก็บซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดวัตถุสำหรับการไหลแบบย้อนกลับ

3.6 ความดันตกและกำลังที่ต้องการ

ตัวประกอบสำคัญในการหาค่าการออกแบบของไซโคลน และความดันตกที่ได้รับจากการเปิดเครื่อง โดยการขวางของแก๊สในไซโคลน ซึ่งกำลังจะขยายไปข้างหน้าในแบบท่อทางก็จะทำให้เกิดความดันตกลง ให้โดย

$$\dot{W} = Q\Delta P \quad (3.49)$$

การทำนายล่วงหน้าของความดันตกในไซโคลนยังไม่ได้ทดสอบ แต่เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับตัวจริง ดังนั้นการทดสอบหาค่าจริงของไซโคลน หรือของรุ่นที่ต้องการคำนวณความดันตกต้องแน่นอน ถึง กระนั้นก็ยังให้ค่าผิดพลาดและไม่เพียงตรงสำหรับการรวมของไซโคลน

ตามวิธีการที่ให้โดย คาเพลน [6] เป็นพื้นฐานของอเล็กเซ็นเดอร์ [7] การเลือกให้ของเขาคความดันตกที่ให้คือ

$$\Delta P = C \frac{BH}{D_e^2} \frac{\rho V_1^2}{2} \tag{3.50}$$

ซึ่ง V_1 เป็นทางเข้าของไซโคลน เขียนสมการในรูปของอัตราการใช้

$$\Delta P = C \frac{\rho Q^2}{2D_e^2 BH} \tag{3.51}$$

ให้ค่า C เป็นค่าคงที่ โดย

$$C = 4.62 \frac{D_e}{D_2} \left\{ \left[\left(\frac{D_2}{D_e} \right)^{2n} - 1 \right] \frac{1-n}{n} + f \left(\frac{D_2}{D_e} \right)^{2n} \right\} \tag{3.52}$$

เมื่อ f ให้อยู่ในรูปของ n คือ

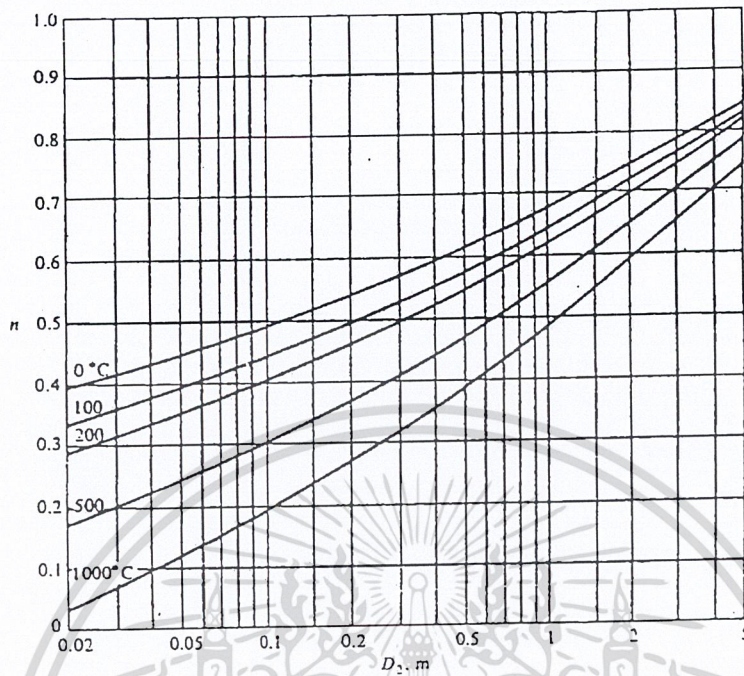
n	f
0	1.90
0.2	1.94
0.4	2.04
0.6	2.21
0.8	2.40

รูปที่ 3 - 8 แสดงค่าของ n สัมพันธ์กับขนาดของไซโคลนและอุณหภูมิของก๊าซ

รูปที่ 3 - 8 เมื่อสมการเขียนส่วนโค้งของสมการ (3.52) จากค่า C

ใช้สมการ (3.51) แทนในสมการ (3.49) สำหรับกำลัง

$$\dot{W} = C \frac{\rho Q^3}{2D_e^2 BH} \tag{3.53}$$



รูปที่ 3-9 ค่าคงที่ n สำหรับสมการ (3.52)

สมการ (3.51) และ (3.53) สามารถเขียนใหม่ได้สำหรับสัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน

$$\Delta P = \frac{16C_p Q^2}{D_2^4} \quad (3.54)$$

$$\dot{W} = \frac{16C_p Q^3}{D_2^4} \quad (3.55)$$

สมการ (3.50) ถึง (3.52) ไม่ได้แรงให้ลำทางค้ำเข้าของไซสำหรับไซโคลนแต่ตัวในการหายไปของข้อมูล

ในไซโคลนแบบรวมให้ไซ Q แสดงอัตราการไหลผ่านไปถึงไซโคลนแต่ละตัวแล้ว Q/N จนนับอัตราการไหลของไซโคลนแต่ละตัว ค่า N คือจำนวนรวมของไซโคลนทั้งหมด สมการ (3.54) และ (3.55) อาจเขียนได้ว่า

$$\Delta P = \frac{16C_p Q^2}{N^2 D_2^4} \quad (3.56)$$

$$\dot{W} = \frac{16C_p Q^3}{N^2 D_2^4} \quad (3.57)$$

สมการ (3.57) กำลังจะน้อย และความจริงจนกลายเป็นศูนย์ ถ้าจำนวนของไซโคลนเพิ่มมากเกินไปจนจำกัด
อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนของไซโคลนไม่ถือว่าเป็นการปฏิบัติ ซึ่งจนเล็กน้อยไปที่ประสิทธิภาพกับสูญ
เสีย และความถี่โดยรวมจะเพิ่มขึ้นเมื่อไซโคลนเล็กน้อยไป ในการประกอบไซโคลนอยู่ในช่วงขนาดจาก 5
ถึง 30 เซนติเมตร (2 ถึง 12 นิ้ว)



บทที่ 4

การคำนวณและการออกแบบ

4.1 การคำนวณหาขนาดปั๊มน้ำ

จากภาคผนวก ก. ตารางที่ ก - 1 ค่า K สำหรับวาล์วและข้อต่อ

ข้อต่อ 90° ขนาด 1 นิ้ว 3 ตัว มีค่า $k = 0.75$

ข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 1 นิ้ว 2 ตัว มีค่า $k = 1.8$

วาล์วปิดเปิด (Gate Valve) 1 ตัว มีค่า $k = 0.19$

จากภาคผนวก ก. ตารางที่ ก - 2 ค่าความหยาบละเอียดสัมบูรณ์ของท่อ

ท่อเหล็กเหนียว มีค่าความหยาบของท่อ $e = 0.046 \text{ mm}$

ค่าเสดสถิติ

$$H_s = \text{ผลรวมระยะความยาวท่อในแนวตั้ง}$$

$$H_s = 1 \text{ เมตร}$$

ความยาวท่อน้ำทั้งหมด

$$L = 0.12 + 0.4 + 1 + 0.22 + 0.4 + 0.25 = 2.39 \text{ เมตร}$$

ท่อน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

$$D = 1 \text{ นิ้ว} = 0.0254 \text{ เมตร}$$

พื้นที่หน้าตัดของท่อ

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.0254)^2}{4} = 0.0005067 \text{ ตารางเมตร}$$

จากการออกแบบต้องการอัตราการไหลของน้ำ

$$Q = 0.05 \frac{\text{Litre}}{\text{s}} = 0.05 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

ความเร็วในการไหลของน้ำ

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.05 \times 10^{-3}}{0.0005067} = 0.0986 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

จากภาคผนวก ก. ตารางที่ ก - 3 คุณสมบัติของน้ำ ที่ 30 °C ได้ค่า

$$\nu = 8.01 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

ค่าเรย์โนลด์ (Reynold 's Number)

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.0986 \times 0.0254}{8.01 \times 10^{-7}} = 3126.64$$

จาก

$$\frac{e}{D} = \frac{0.046 \times 10^{-3}}{0.0254} = 1.811 \times 10^{-3}$$

จากค่าเรย์โนลด์ $\text{Re} = 3.126.64$ และค่า $\frac{e}{D} = 1.811 \times 10^{-3}$

จากภาคผนวก ก. รูปที่ ก - 1 แผนภาพโมดีเราจะได้ค่า $f = 0.1$

$$\text{ค่าเสดสูญเสียดังการไหลในท่อ} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$\text{ค่าเสดสูญเสียดังการอุปกรณัในระบบท่อ} = k \frac{V^2}{2g}$$

$$\text{ค่าเสดสูญเสียดัง} H_{loss} = f \frac{LV^2}{D2g} + k \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{loss} = \left(k + f \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2g}$$

$$= \left\{ (3 \times 0.75) + (2 \times 1.8) + (0.19) + (0.1) \left[\frac{2.39}{0.0254} \right] \right\} \times \left[\frac{0.0986^2}{2 \times 9.81} \right]$$

$$\text{ดังนั้น } H_{loss} = 0.00768 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสดรวม (Total Head)} &= H_s + H_{loss} \\ &= 1 + 0.00768 \\ &= 1.00768 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่ากำลังของปั้ม} \quad W_{hp} &= \frac{QH_T}{273} = \frac{0.05 \times 10^{-3} \times 3600 \times 1.00768}{273} \\ &= 0.00066 \text{ hp} \end{aligned}$$

ดังนั้น เลือกใช้ปั้มขนาด 0.5 แรงม้า

4.2 กำหนดหาขนาดหัวฉีด

จากภาคผนวก ก. ตารางที่ ก-5 คุณสมบัติเครื่องสกรับเบอร์แบบต่างๆ

ชนิด	อัตราการไหลของก๊าซ $m^3 / \text{วินาที}$	ปริมาณน้ำที่ใช้ ลิตรน้ำ / m^3 ก๊าซ
หอสเปรย์	10,000	0.525
ไซโคลนสกรับเบอร์	5,000	2.75
เวนทูริสกรับเบอร์	1,000	1.15

ตารางที่ 4-1 ตารางเฉลี่ยคุณสมบัติของเครื่องสกรับเบอร์ แบบต่างๆ

ที่อัตราการไหลของไอเสีย $4 \quad m^3 / \text{วินาที}$
 ได้อัตราการไหลของก๊าซเป็น $240 \quad m^3 / \text{วินาที}$
 ปริมาณน้ำที่ใช้กำจัดฝุ่น

$$= \frac{2.75}{(10,000 / 240)}$$

$$= 0.066 \text{ ลิตร / วินาที} \times 240 \text{ } m^3 \text{ ก๊าซ / นาที}$$

$$= 15.84 \text{ ลิตร / นาที}$$

ใช้น้ำประมาณ $= 15.84 \text{ ลิตร / นาที}$
 ดังนั้น ใช้น้ำในการกำจัดฝุ่น 16 ลิตร / นาที
 เลือกใช้เครื่องสูบน้ำ 0.5 Hp อัตราการไหลสูงสุดที่ปั๊มทำได้ 90 ลิตร / นาที
 ระยะส่งได้สูงสุด 22 เมตร
 กำหนดหาความดันของเครื่องสูบน้ำ โดยใช้ สมการ

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot h_T}{100}$$

กำหนดโดย

$$P = \text{แรงดันของเครื่องสูบน้ำ (bar)}$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของของไหล (} \rho \text{ ที่ } 30C = 998 \text{ kg/m}^3 \text{)}$$

$$g = \text{ตัวแปรหน่วย } 9.81 \text{ m / s}^2$$

$$h_T = \text{เฮดไดนามิกรวม m.H}_2\text{O}$$

$$P = \frac{998 \times 9.81 \times 22}{100 \times 1000}$$

$$\text{ดังนั้น ความดัน} = 2.153 \text{ บาร์}$$

จากภาคผนวก ก. ตารางที่ ก-4 คู่มือหัวฉีด

ที่อัตราการไหล 16 ลิตร / นาที
 ที่ความดัน 2 บาร์
 ดังนั้น เลือกใช้หัวฉีด รุ่น BIM 42 ขนาด 1/2 นิ้ว SPRAY
 มุมหัวฉีด (Spray angle) ที่ความดัน 2 บาร์ สามารถทำได้ 76 องศา

4.3 การคำนวณหาขนาดของถังไซโคลน

จากตารางที่ 3 - 1 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 4-1 ขนาดของถังไซโคลน

จากสมการ (3.11) และ (3.17)

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

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

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

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

และ

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

สมมติ ไอเสียมีอัตราการไหลเข้าเครื่องไซโคลนสครับเบอร์มากที่สุด $4 \text{ m}^3/\text{s}$ และ
มีความเร็ว 50 m/s

เมื่ออนุภาคกระทบถึงทำให้ $V_r = 0 \text{ m/s}$ และ $V_\theta = 50 \text{ m/s}$

ดังนั้น $D_2 = \sqrt{\frac{4}{50 \ln 2}} = 0.339 \text{ m}$

ใช้ถึงขนาด $D_2 = 0.35 \text{ m}$

ให้ $W = L_1$

จาก $L_1 = W = 2D_2$

$$= 2 \times 0.35$$

$$= 0.7 \text{ m}$$

จาก

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

$$= \frac{0.35}{4}$$

$$= 0.0875 \text{ m}$$

จาก

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

$$= \frac{4}{0.175 \times 0.7 \times \ln\left(\frac{0.175}{0.0875}\right)}$$

$$V_\theta = 47.108 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่า V_θ ใกล้เคียงกับค่าที่สมมติคือ 50 m/s ดังนั้น $r_1 = 0.0875 \text{ m}$

และ $r_2 = 0.175 \text{ m}$

จาก

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

$$50 = \frac{4}{0.175 \times L_1 \times \ln\left(\frac{0.175}{0.0875}\right)}$$

$$L_1 = 0.659 \text{ m}$$

ดังนั้น ที่ปริมาณไอเสียมากที่สุด $4 \text{ m}^3/\text{s}$ และ ความเร็ว 50 m/s

ขนาดของถังไซโคลน :

$$D_2 = 0.35 \text{ m}$$

$$D_e = 0.16 \text{ m}$$

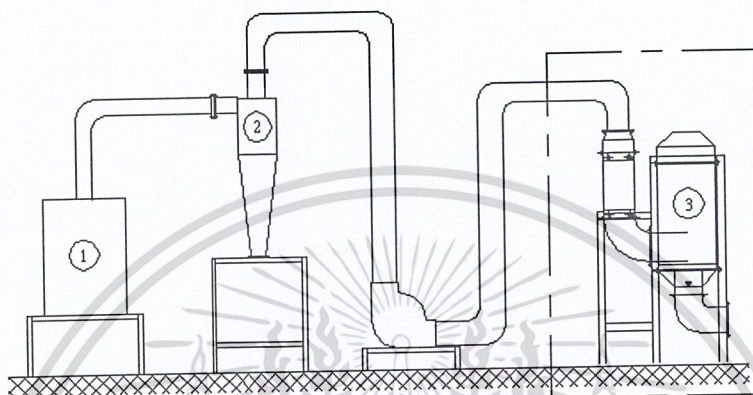
$$L_1 = 0.65 \text{ m}$$

$$B = 0.1 \text{ m}$$

$$h = 0.18 \text{ m}$$

บทที่ 5

การทดลอง



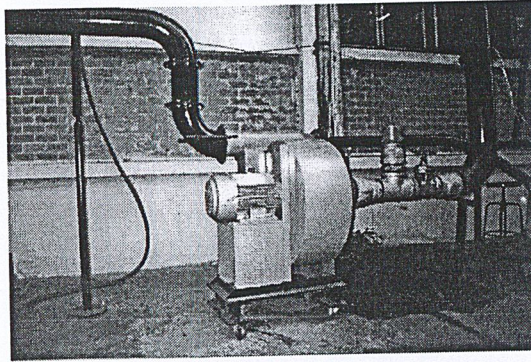
1. เต้าเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบค
2. เครื่องไซโคลน
3. เครื่องกำจัดฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวะมวล โดยใช้ น้ำ

รูปที่ 5-1 ระบบการทำงานรวม

แสดงระบบการทำงานทั้งหมด โดยเริ่มจากเต้าเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบคและวอร์เทค (1) ซึ่งทำการเผาไหม้แกลบเพื่อให้ความร้อน ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกส่งมายังชุดกำจัดฝุ่นแบบ ไซโคลน (2) เป็นอันดับแรก โดยอนุภาคขนาดเล็กมากๆ ที่ผ่านไซโคลนมาได้จะถูกกำจัดโดยเครื่องกำจัดฝุ่นแบบเวนทูลี่ไซโคลนสกรับเบอร์ (3) เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนออกสู่บรรยากาศ

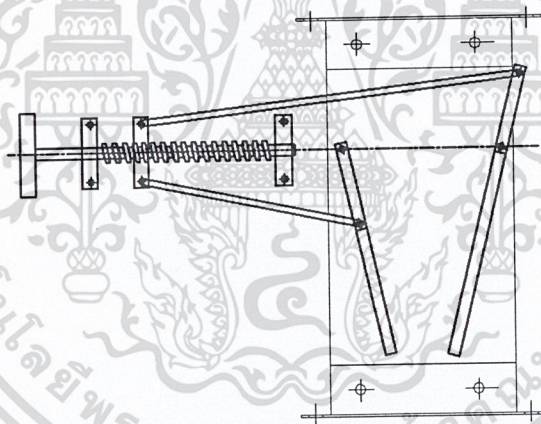
ขั้นตอนทำการทดลอง

1. ทำการป้อนแกลบที่ผ่านการเผาไหม้ชนิดหยาบซึ่งมีความหนาแน่นโดยรวม 160 kg/m^3 และแกลบชนิดละเอียดซึ่งมีความหนาแน่นโดยรวม 360 kg/m^3 ที่อัตรา 100 g/min ป้อนที่เครื่องเป่าอากาศ (Blower) โดยเราทำการชั่งน้ำหนักแกลบที่ปริมาตร 500 cm^3 เพื่อนำมาหาค่าความหนาแน่นของแกลบทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ย



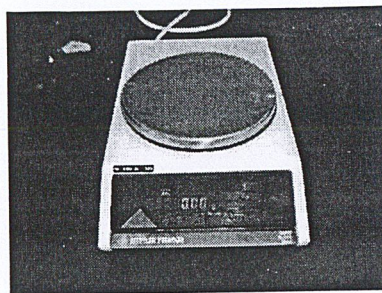
รูปที่ 5-2 เครื่องเป่าอากาศ (Blower)

2. ทำการปรับชุดแวนทูลี่โดยปรับพื้นที่หน้าตัดตั้งแต่ 192 cm^2 ลดไปจนถึง 12 cm^2 เพื่อเพิ่มความเร็วและที่อัตราการใช้น้ำ 0.022 L/s ถึง 0.033 L/s

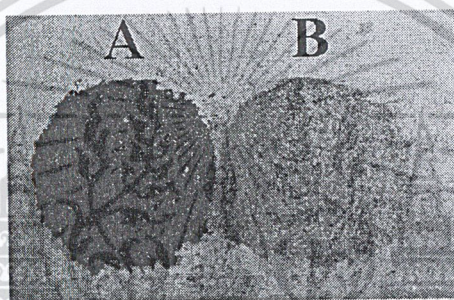


รูปที่ 5-3 ชุดแวนทูลี่แบบปรับพื้นที่หน้าตัดได้

3. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ทำกรทดลองในภาชนะบรรจุ
4. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
5. นำไปต้มเพื่อให้เหลือเฉพาะมวลที่สามารถจับได้
6. นำมวลแกลบที่จับได้ไปชั่งน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิทัลที่มีความละเอียด 0 g ถึง 500 g



รูปที่ 5-4 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล



รูปที่ 5-5 ซึ่ถ้ำเกลบชนิดหยาบ (A) และชนิดละเอียด (B)

7. บันทึกผลการทดลอง

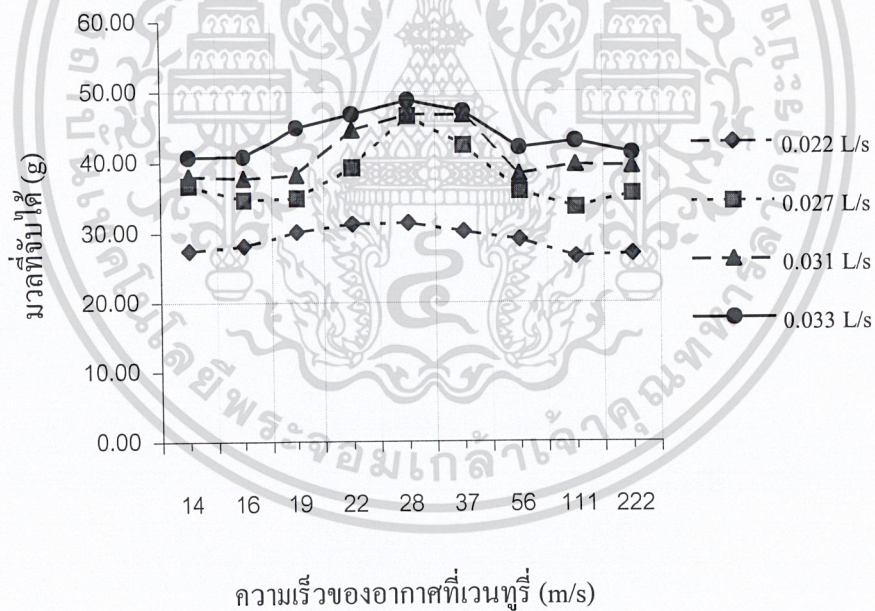
บทที่ 6

ผลการทดลอง

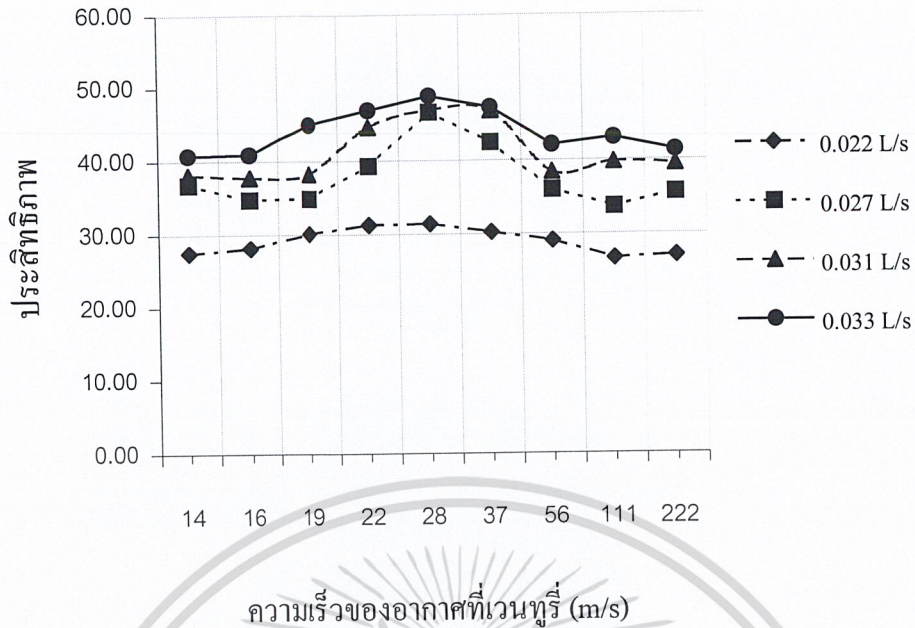
การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักเพื่อทำการเก็บข้อมูลของซีเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้จากเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดและเตาเผาแบบวอร์เทค ณ. สภาพการเผาต่างกัน โดยแบ่งเป็น 1. ซีเถ้าแกลบชนิดหยาบมีค่าความหนาแน่นโดยรวม 160 kg/m^3 2. ซีเถ้าแกลบชนิดละเอียดมีค่าความหนาแน่นโดยรวม 360 kg/m^3 แต่ละส่วนได้ทำการทดลองชนิดละ 2 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลมาเฉลี่ยแล้วหาค่าที่เหมาะสมในการกำจัดฝุ่น และ ประสิทธิภาพของเครื่อง VENTURI WATER SCRUBBER

ผลการทดลอง

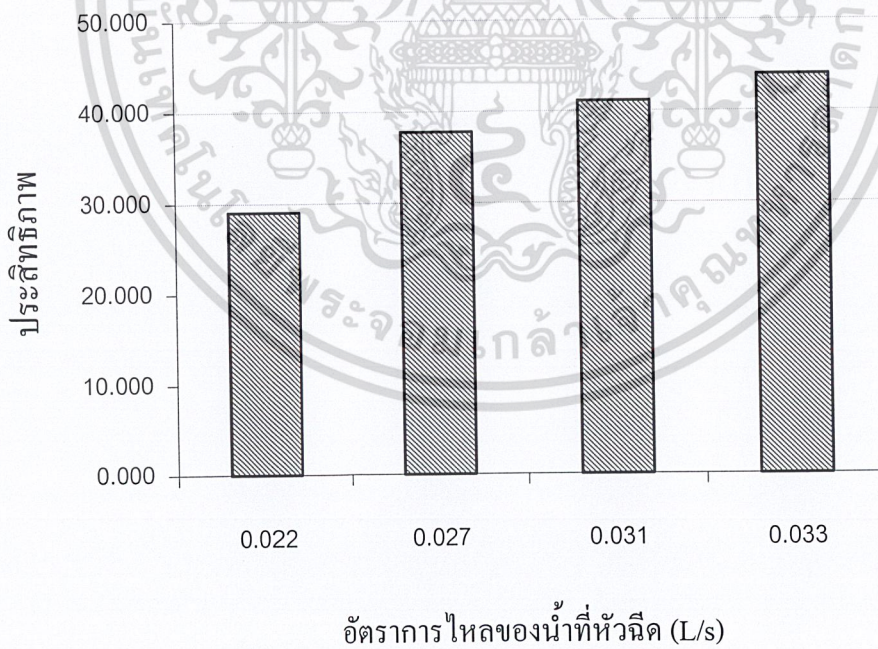
การทดลองซีเถ้าแกลบชนิดหยาบ



รูปที่ 6-1 กราฟแสดงผลการทดลองค่าเฉลี่ยแกลบชนิดหยาบ

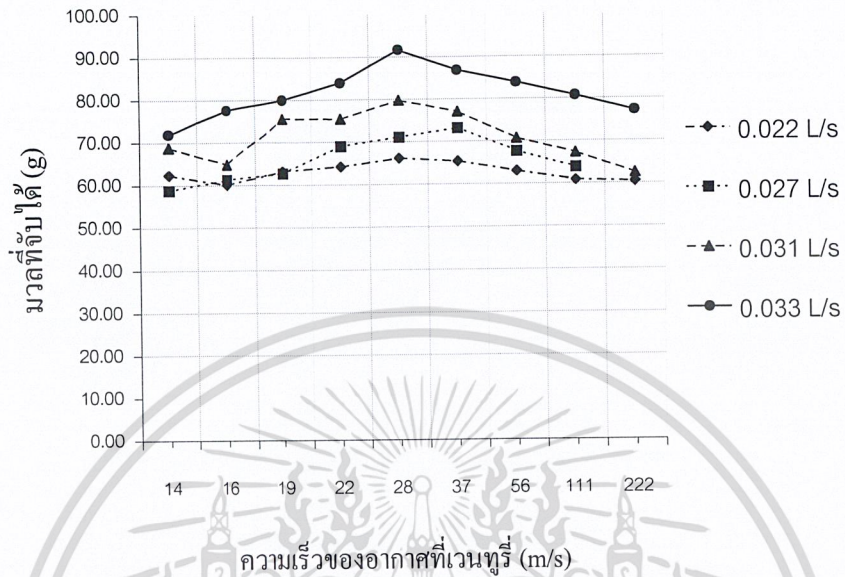


รูปที่ 6-2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแถบชนิดหยาบ

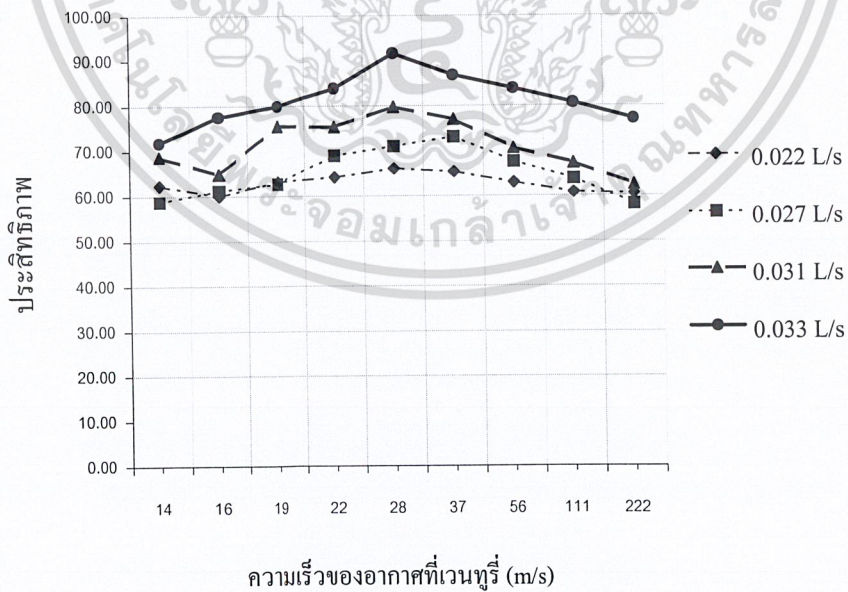


รูปที่ 6-3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแถบชนิดหยาบ

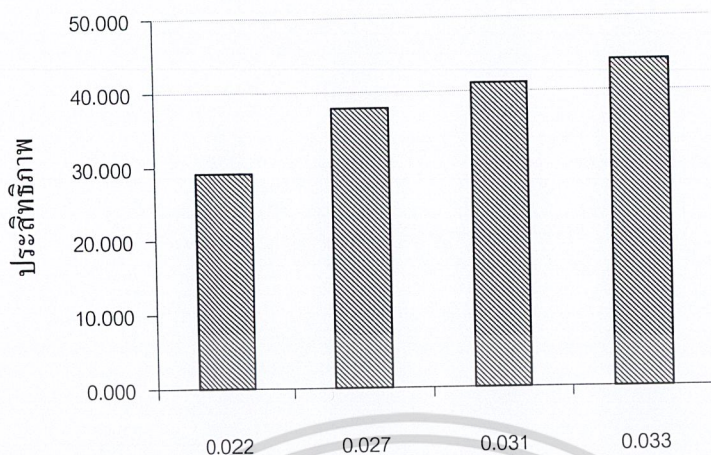
การทดลองขี้น้ำใต้เกลบนชนิดละเอียด



รูปที่ 6-4 กราฟแสดงผลการทดลองเจดีย์เกลบนชนิดละเอียด

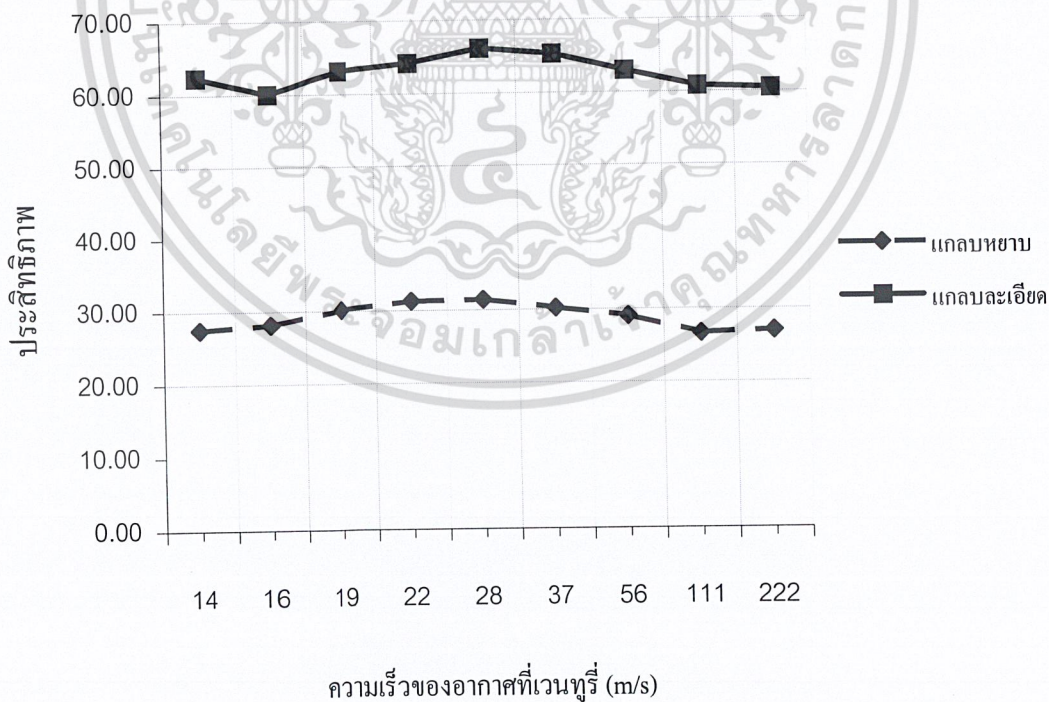


รูปที่ 6-5 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทดลองเจดีย์เกลบนชนิดละเอียด



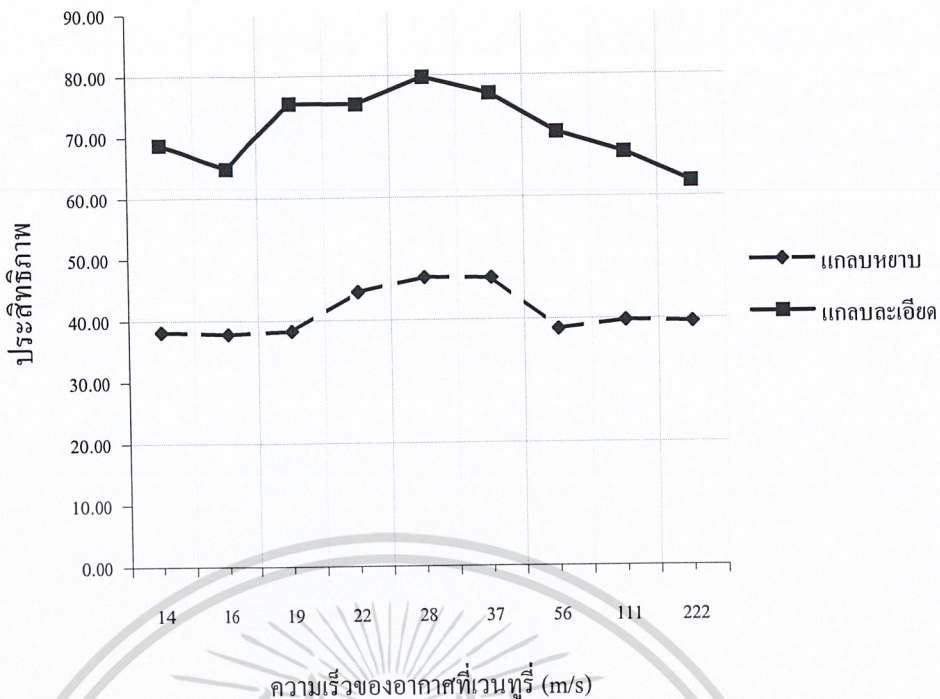
อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด (L/s)

รูปที่ 6-6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบนชนิดละเอียด

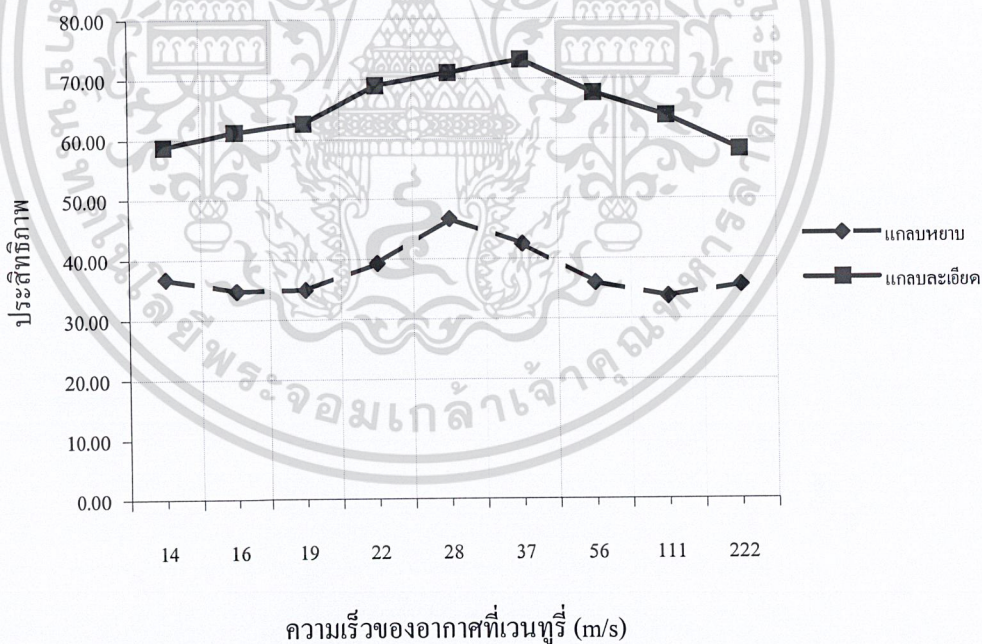


รูปที่ 6-7 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.022 L/s

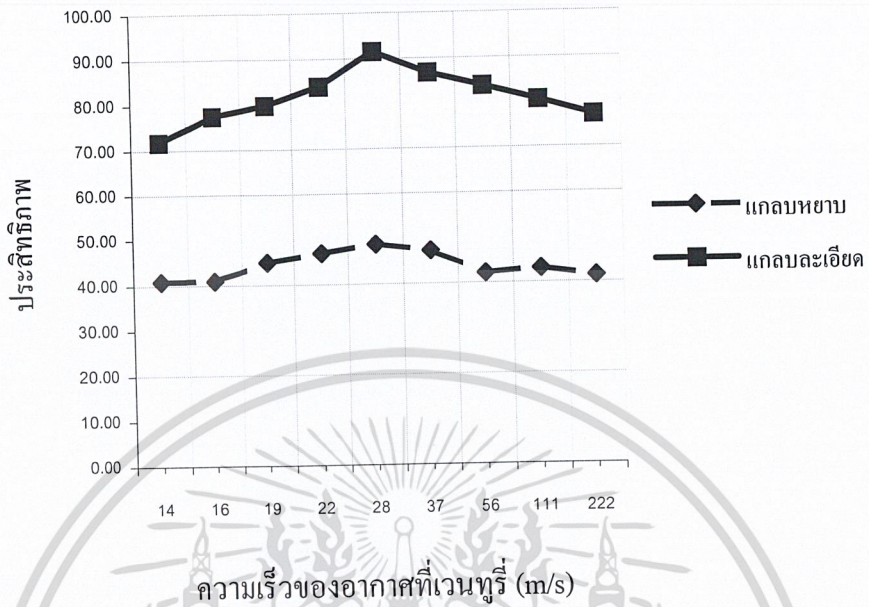
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.027 L/s



รูปที่ 6-9 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.031 L/s



รูปที่ 6-10 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด 0.033 L/s

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองสิ่งที่พบคือประสิทธิภาพในการจับเกลบชนิดละเอียดจะมีค่าสูงกว่าเกลบชนิดหยาบ เนื่องจากค่าความหนาแน่นโดยรวมของเกลบชนิดละเอียดคือ 360 kg/m^3 ซึ่งสูงกว่าเกลบชนิดหยาบที่มีค่าความหนาแน่นโดยรวม 160 kg/m^3 แสดงให้เห็นว่า ค่าความหนาแน่นโดยรวมของอนุภาคจะมีผลต่อประสิทธิภาพถ้าค่าความหนาแน่นโดยรวมของอนุภาคสูงก็จะมีมวลที่ถูกจับสูงขึ้นตามไปด้วย โดยถ้าอัตราการใช้น้ำที่หัวฉีด (NOZZLE) สูงขึ้น และความเร็วของอนุภาคกับหยดน้ำบริเวณคอคอดมีความสัมพันธ์กันก็จะทำให้อนุภาคกับหยดน้ำจับตัวกันได้ดี ก็ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นสูงขึ้นด้วย

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันความถูกต้องของเกลบทั้งสองชนิดจะพบว่าประสิทธิภาพของการจับอนุภาค จะมีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือค่าเฉลี่ยที่อัตราการใช้น้ำสูงสุดของเครื่องกำจัดฝุ่นที่ 0.0336 L/s จะมีประสิทธิภาพในการจับฝุ่นหรืออนุภาคได้ดีที่สุดในกรณีเกลบชนิดหยาบและเกลบชนิดละเอียด และที่พื้นที่หน้าตัดของคอคอด $120 \text{ cm}^2 - 72 \text{ cm}^2$ คือช่วงที่ให้ความเร็วสัมพันธ์ในการจับตัวระหว่างหยดน้ำกับอนุภาคฝุ่นได้ดีที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วงความเร็วระหว่าง $22 \text{ m/s} - 37 \text{ m/s}$ ดังที่แสดงในกราฟผลการทดลอง

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ท่อระบายน้ำมีการอุดตัน เนื่องจากการป้อนเกลบที่มีขนาดมากและขนาดของท่อระบายน้ำมีขนาดเล็ก ($\frac{1}{2}$ นิ้ว)
2. ในการทดลองจะมีการล้างถังไซโคลน จำเป็นต้องเปิดฝาถังไซโคลน ซึ่งจะเกิดการเสียเวลาในช่วงนี้เป็นอันมาก
3. น้ำที่ใช้ในการทดลองจะถูกระบายทิ้ง จึงควรมีการบำบัดน้ำที่ถูกระบายออกมา จะทำให้สามารถใช้น้ำได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด
4. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในการจับมวลชี้เป้าเกลบ จะมีชี้เป้าเกลบเพียงอย่างเดียว จึงควรมีการวิเคราะห์น้ำที่ใช้ในการทดลอง
5. ในการทดลองหัวฉีดจะเกิดการอุดตัน ทำให้ไม่ได้ขนาดของหยดน้ำตามที่ออกแบบไว้ เนื่องจากการใช้ไส้กรองน้ำไม่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 1 ค่า K สำหรับวาล์วและข้อต่อ

ชนิด	K
วาล์ว (เปิดเต็มที่)	
- เกตวาล์ว (gate valve)	0.19
- โกลบวาล์ว (globe valve)	10
- แบบหมุน (angle valve)	5
- แบบสวิง (swing check valve)	2.5
ข้อต่อมาตรฐาน	
- 90°	0.8
- 45°	0.42
ข้อต่อกลับ (close-return bend)	2.2
ข้อต่อสามทางมาตรฐาน	
- ไหลตรง	0.9
- ไหลแยก	1.8

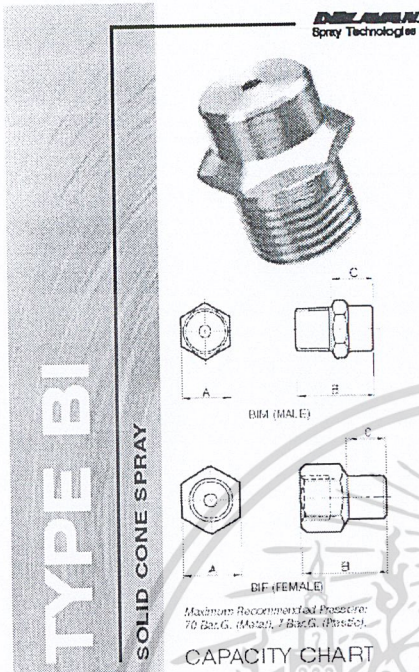
ตารางที่ ก - 2 ค่าความหยาบละเอียดสัมบูรณ์ของท่อ

ชนิดของท่อ	e (mm)
ท่อรีด ท่อทองเหลือง ท่อแก้ว	0.0015
ท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กเหนียว ในท้องตลาด	0.046
ท่อเหล็กกล้าต่อเชื่อม	0.046
ท่อเหล็กหล่ออาบยางมะตอย	0.12
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.15
ท่อเหล็กหล่อ (เฉลี่ย)	0.25
ท่อไม้คาน (wood stave)	0.18 – 0.89
ท่อคอนกรีต	0.3 – 3.0
ท่อเหล็กหมุดย้ำ	0.9 – 9.0

ตารางที่ ก - 3 คุณสมบัติของน้ำในหน่วย SI

อุณหภูมิ	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนืด	ความหนืดเชิงจลน์
$^{\circ}\text{C}$	จำเพาะ γ (N/m^3)	ρ (kg/m^3)	μ (Pa.s) $10^3 \mu =$	ν (m^2/s) $10^6 \nu =$
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

ตารางที่ ก - 4 คู่มือหัวฉีด



SPRAY CHARACTERISTICS

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

CONSTRUCTION AND MATERIALS

- One piece body with pressed in chromium-plated core which is removable
- Core imparts the necessary swirl 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

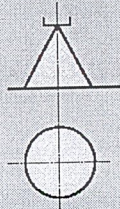
Thread Size	Nozzle Type	Dimensions (mm)			Weight (g)
		A	B	C	
1/8"	BIM	17.5	11.3	9.6	10
1/8"	BIF	25.4	15.3	13.5	21
1/4"	BIM	24.5	15.3	13.0	24
1/4"	BIF	27.8	18.0	12.7	35
3/8"	BIM	25.5	18.0	14.0	35
3/8"	BIF	38.0	20.8	21.1	58
1/2"	BIM	32.0	25.6	16.1	75
1/2"	BIF	50.0	25.6	28.3	118
3/4"	BIM	36.0	28.0	19.0	115
3/4"	BIF	62.7	31.8	31.5	215
1"	BIM	50.0	34.0	28.5	230
1"	BIF	81.0	36.0	51.0	330

Maximum Recommended Pressure:
70 Bar.G. (Male), 3 Bar.G. (Female)

CAPACITY CHART

NOZZLE NUMBER	BSP THREAD SIZE	FLOW RATE IN LITRES MIN AT Bar.G.												SPRAY ANGLES (°) AT Bar.G.		
		1/2	3/4	1	1.5	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13
BIF 6	BIM 6	0.89	1.25	1.60	1.88	2.18	2.65	2.87	3.41	3.64	3.76	4.0	4.7	4.0		
BIF 8	BIM 8	1.20	1.86	2.28	2.84	3.23	4.00	4.55	5.38	5.72	5.97	6.1	6.6	5.3		
BIF 11	BIM 11	1.63	2.32	2.87	3.62	4.05	4.87	5.36	6.30	6.74	7.06	7.2	7.6	6.4		
BIF 12	BIM 12	2.08	2.79	3.41	4.09	4.55	5.30	5.91	7.02	7.58	8.01	8.2	8.5	7.2		
BIF 16	BIM 16	2.90	3.38	4.41	5.30	6.14	7.27	8.00	9.51	10.04	10.61	10.7	11.0	9.5		
BIF 20	BIM 20	3.11	4.40	5.40	6.50	7.54	9.06	10.00	11.92	12.63	13.43	13.5	13.8	12.0		
BIF 22	BIM 22	3.58	5.11	6.24	7.51	8.32	9.78	10.91	13.23	14.24	14.95	15.0	15.2	13.0		
BIF 12	BIM 12	2.00	2.70	3.32	4.19	4.73	5.83	6.60	7.70	8.17	8.65	8.7	8.9	7.5		
BIF 18	BIM 18	2.60	3.58	4.41	5.30	6.14	7.27	8.00	9.51	10.04	10.61	10.7	11.0	9.5		
BIF 20	BIM 20	3.11	4.40	5.40	6.50	7.54	9.06	10.00	11.92	12.63	13.43	13.5	13.8	12.0		
BIF 22	BIM 22	3.58	5.11	6.24	7.51	8.32	9.78	10.91	13.23	14.24	14.95	15.0	15.2	13.0		
BIF 27	BIM 27	4.23	6.04	7.42	9.01	10.10	12.32	13.64	16.06	17.47	18.08	18.1	18.2	15.5		
BIF 32	BIM 32	5.81	7.25	8.83	10.81	12.32	14.44	15.96	19.20	20.40	21.12	21.2	21.3	18.0		
BIF 27	BIM 27	4.23	6.04	7.42	9.01	10.10	12.32	13.64	16.06	17.47	18.08	18.1	18.2	15.5		
BIF 32	BIM 32	5.81	7.25	8.83	10.81	12.32	14.44	15.96	19.20	20.40	21.12	21.2	21.3	18.0		
BIF 42	BIM 42	6.74	9.67	11.82	14.44	15.96	19.20	21.41	24.95	27.87	28.48	28.5	28.6	24.0		
BIF 49	BIM 49	8.17	11.62	14.24	18.38	19.69	23.13	15.05	23.29	32.52	33.94	34.0	34.1	28.0		
BIF 63	BIM 63	10.20	14.44	17.07	20.50	23.84	28.89	32.22	38.43	41.31	43.94	44.0	44.1	35.0		
BIF 47	BIM 47	7.48	10.61	13.03	14.95	17.78	21.11	25.03	28.43	30.20	31.71	31.8	31.9	26.0		
BIF 63	BIM 63	10.20	14.44	17.07	20.50	23.84	28.89	32.22	38.43	41.31	43.94	44.0	44.1	35.0		
BIF 77	BIM 77	12.32	17.68	20.50	23.94	29.09	34.95	38.68	46.65	50.00	52.92	53.0	53.1	42.0		
BIF 83	BIM 83	13.94	20.00	23.74	29.39	33.63	40.00	44.54	52.92	56.26	59.29	59.3	59.4	45.0		
BIF 102	BIM 102	14.85	20.91	27.37	33.73	38.68	46.26	50.00	60.10	64.54	67.87	67.9	68.0	52.0		
BIF 73	BIM 73	11.92	16.26	20.00	22.62	27.78	34.24	38.68	46.65	50.00	52.92	53.0	53.1	42.0		
BIF 105	BIM 105	16.26	23.23	27.78	33.73	39.70	48.13	52.92	62.42	67.37	71.51	71.6	71.7	57.0		
BIF 123	BIM 123	19.40	28.38	34.64	42.32	48.56	57.77	63.63	76.95	80.40	83.55	83.6	83.7	67.0		
BIF 140	BIM 140	22.73	32.02	38.18	45.25	53.23	62.12	68.18	80.60	85.05	90.90	91.0	91.1	75.0		
BIF 162	BIM 162	25.55	36.26	44.64	53.03	61.41	72.22	79.08	95.14	101.00	108.07	108.1	108.2	86.0		
BIF 193	BIM 193	28.79	41.81	50.10	60.79	73.23	87.57	98.08	118.13	128.27	135.34	135.4	135.5	100.0		

Contact our Helpline for any special requirements:
Tel: +44 (0) 151 424 6821
Fax: +44 (0) 151 405 1043
e-mail: sales@delavan.co.uk
Web: www.delavan.co.uk



Colson Industries



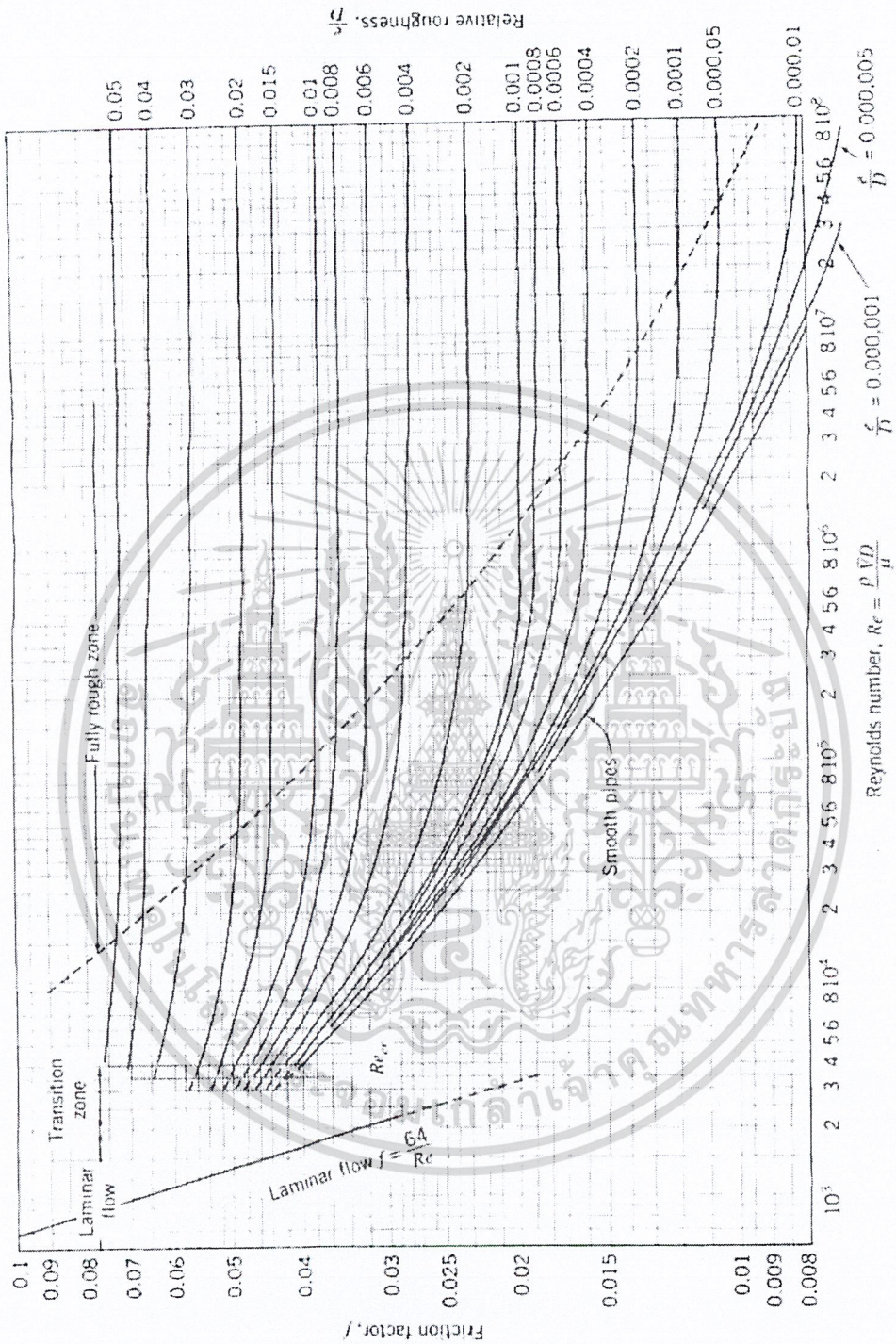
C.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 5 คุณสมบัติเครื่องสกรับเบอร์แบบต่างๆ

ชื่อของเครื่อง	ความเร็วก๊าซ (ในทิศทางไหลผ่าน) (m/sec)	อัตราการไหลสูงสุดของก๊าซ (m ³ /min)	ความดันสูญเสีย (mm H ₂ O)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร / m ³ ก๊าซ)	ความดันของน้ำ	ขนาดของอนุภาคเล็กที่สุดที่เก็บได้ (ไมครอน)
หอศปรีย์	0.5 - 2	19,000	5 - 50	0.05 - 1	สูง	3 - 5
หอไต้วัตุ	1 - 2	300	100 - 300	1 - 10	ต่ำ	1 - 2
ไซโคลนสกรับเบอร์	1 - 2	5,000	50 - 150	0.5 - 5	ปานกลาง	1
Theisen Washer	1 - 2	1,000	200 - 400	0.5 - 2	ต่ำ	0.2
อิมพินเจอร์สกรับเบอร์	5 - 100	5,000	50 - 200	1 - 5	ต่ำ	0.3
จีตสกรับเบอร์	5 - 20	1,000	0 - 200	5 - 50	สูง	0.5 - 1
เวนทูริสกรับเบอร์	30 - 150	1,500	300 - 2,000	0.2 - 2	ปานกลาง	0.1 - 0.3

รูปที่ ก - 1 แผนภาพโมดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

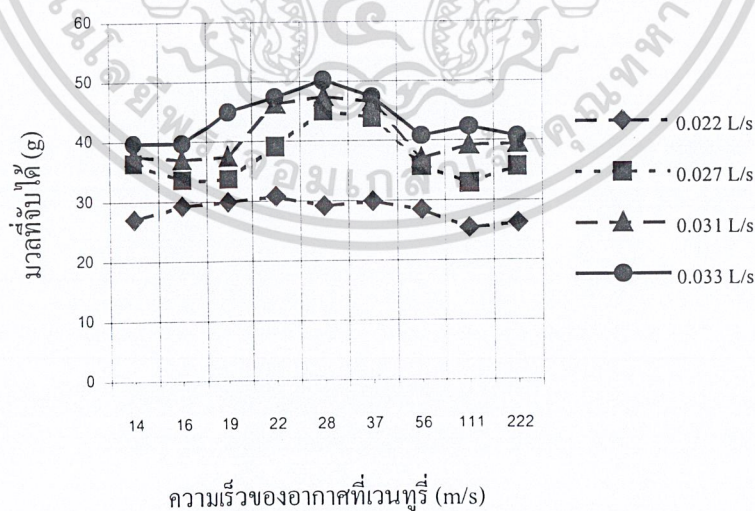
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองแกลบชนิดหยาบ

การทดลองครั้งที่ 1.

เครื่องที่	พื้นที่คอกคอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกลบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				อัตราการไหลของน้ำ			
				0.022	0.027	0.031	0.033
				มวลของแกลบที่จับได้ (g)			
1	192	14	100	27.02	36.39	37.63	39.61
2	168	16	100	29.23	33.53	36.98	39.67
3	144	19	100	29.87	33.63	37.41	44.89
4	120	22	100	30.74	39.15	46.23	47.33
5	96	28	100	29.13	45	47.52	50.232
6	72	37	100	29.89	43.91	46.55	47.32
7	48	56	100	28.46	35.74	36.93	40.74
8	24	111	100	25.36	32.86	39.25	42.31
9	12	222	100	26.13	35.63	39.45	40.67

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองแกลบชนิดหยาบ



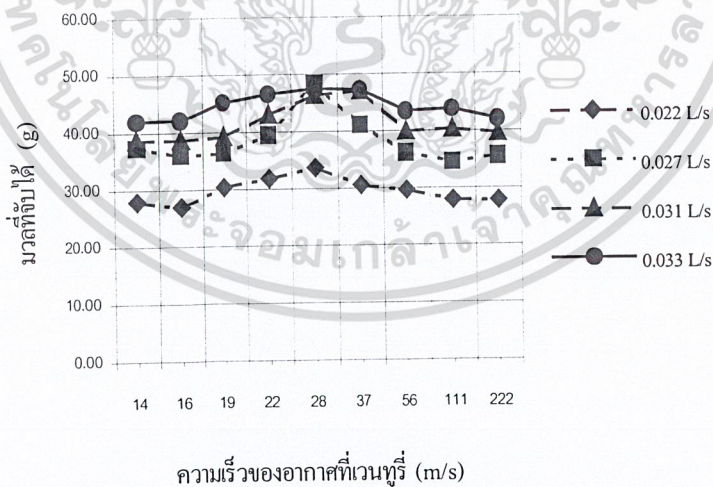
รูปที่ ข-1 กราฟแสดงผลการทดลองแกลบชนิดหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2.

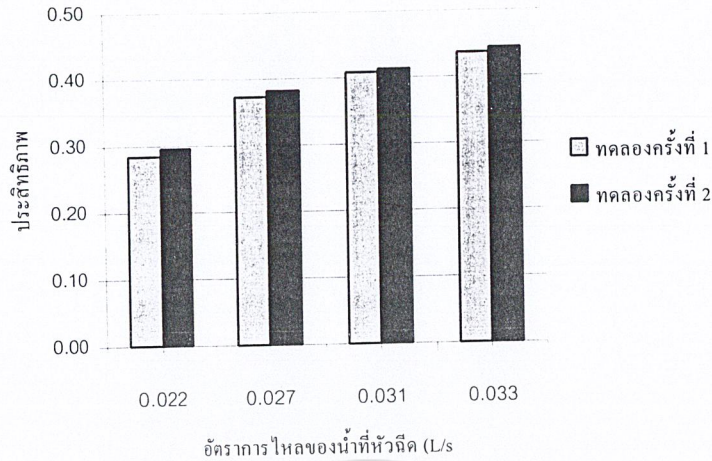
ครั้งที่	พื้นที่คอคอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกลบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				0.022	0.027	0.031	0.033
				มวลของแกลบที่จับได้ (g)			
1	192	14	100	27.91	37.17	38.64	41.935
2	168	16	100	27.02	35.97	38.61	42.13
3	144	19	100	30.35	36.25	39.12	45.04
4	120	22	100	31.81	39.47	42.98	46.47
5	96	28	100	33.67	48.29	46.26	47.38
6	72	37	100	30.57	41.03	46.99	47.2
7	48	56	100	29.64	36.21	39.87	43.45
8	24	111	100	27.87	34.48	40.24	43.775

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองแกลบชนิดหยาบ



รูปที่ ข-2 กราฟแสดงผลการทดลองแกลบชนิดหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

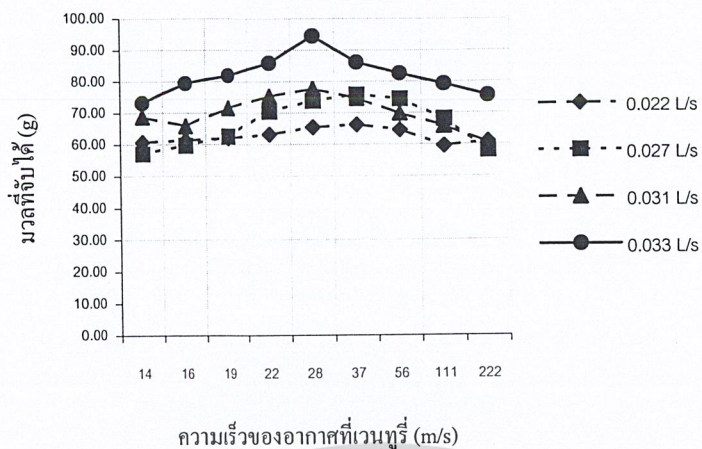


รูปที่ ข-3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองเกลบชนิดหยาบ

การทดลองใช้ถังเกลบชนิดละเอียด
การทดลองครั้งที่ 1.

ครั้งที่	พื้นที่คอกอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนเกลบ (g/min)	มวลของเกลบที่จับได้ (g)			
				0.5	1	1.5	2
				0.022	0.027	0.031	0.033
1	192	14	100	60.78	57.09	68.79	73.05
2	168	16	100	61.40	59.85	65.9	79.41
3	144	19	100	62.03	62.61	71.6	81.89
4	120	22	100	63.28	70.62	75.28	85.94
5	96	28	100	65.43	73.85	77.59	94.5
6	72	37	100	66.25	75.79	74.58	86.11
7	48	56	100	64.62	74.46	69.9	82.66
8	24	111	100	59.63	68.13	65.9	79.21
9	12	222	100	60.99	58.14	60.4	75.5

ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองเกลบชนิดละเอียด

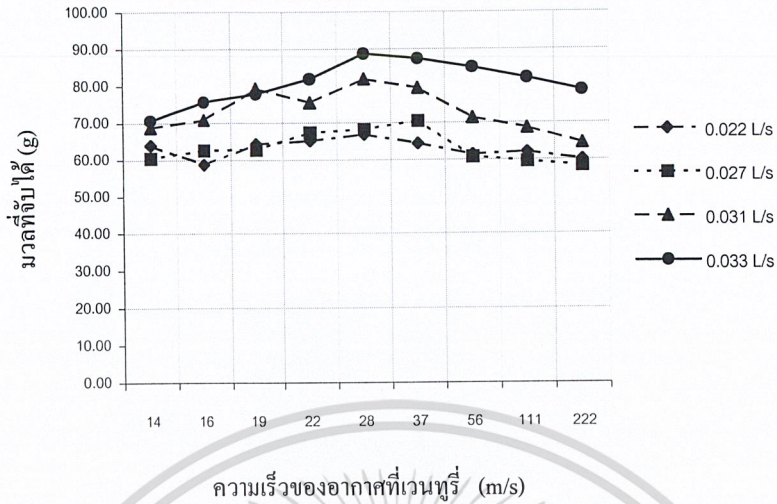


รูปที่ ข-4 กราฟแสดงผลการทดลองแกวบชนิดละเอียด

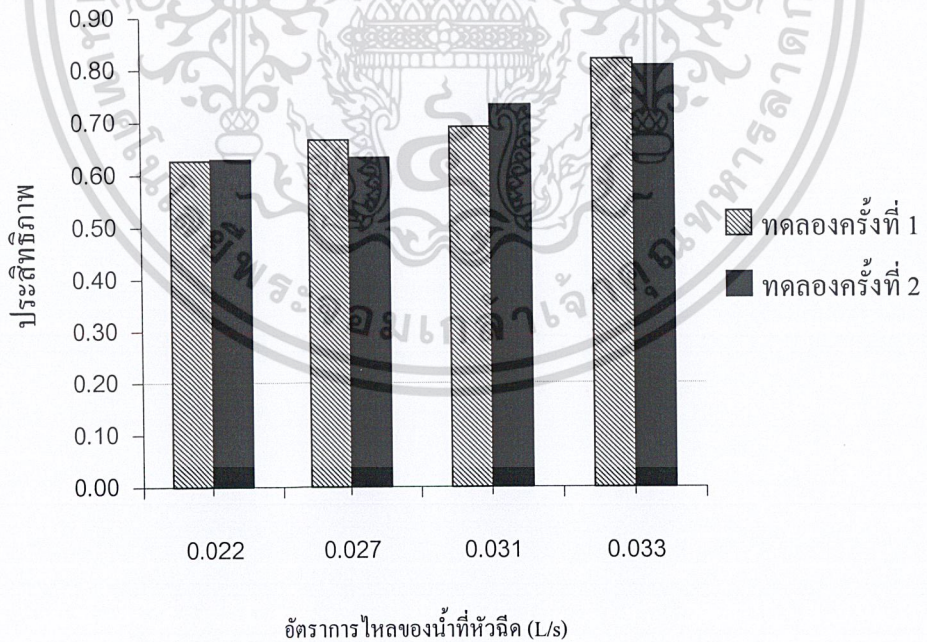
การทดลองครั้งที่ 2

ครั้งที่	พื้นที่คอคอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกวบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				0.022	0.027	0.031	0.033
				มวลของแกวบที่จับได้ (g)			
1	192	14	100	63.94	60.47	68.76	70.65
2	168	16	100	58.75	62.61	70.87	75.72
3	144	19	100	64.34	62.80	79.41	77.94
4	120	22	100	65.14	67.38	75.50	81.85
5	96	28	100	66.82	68.24	81.89	88.72
6	72	37	100	64.44	70.52	79.42	87.41
7	48	56	100	61.38	60.79	71.37	85.03
8	24	111	100	62.01	59.52	68.63	82.12
9	12	222	100	59.97	58.25	64.51	78.80

ตารางที่ ข-4 ผลการทดลองแกวบชนิดละเอียด



รูปที่ ข-5 กราฟแสดงผลการทดลองเกลบชนิดละเอียด



รูปที่ ข-6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองเกลบชนิดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	พื้นที่กอกอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกลบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				0.022	0.027	0.031	0.033
				อัตราการไหลของน้ำ			
				มวลของแกลบที่จับได้ (g)			
1	192	14	100	27.46	36.78	38.14	40.77
2	168	16	100	28.13	34.75	37.79	40.90
3	144	19	100	30.11	34.94	38.26	44.97
4	120	22	100	31.28	39.31	44.61	46.90
5	96	28	100	31.40	46.64	46.89	48.81
6	72	37	100	30.23	42.47	46.77	47.26
7	48	56	100	29.05	35.98	38.40	42.10
8	24	111	100	26.62	33.67	39.74	43.04
9	12	222	100	26.98	35.58	39.50	41.36

ตารางที่ ๕ - 5 ผลการทดลองค่าเฉลี่ยแกลบชนิดหยาบ

ครั้งที่	พื้นที่กอกอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกลบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				0.022	0.027	0.031	0.033
				อัตราการไหลของน้ำ			
				มวลของแกลบที่จับได้ (g)			
1	192	14	100	62.36	58.78	68.78	71.85
2	168	16	100	60.08	61.23	64.84	77.57
3	144	19	100	63.19	62.71	75.51	79.92
4	120	22	100	64.21	69.00	75.39	83.90
5	96	28	100	66.13	71.05	79.74	91.61
6	72	37	100	65.35	73.16	77.00	86.76
7	48	56	100	63.00	67.63	70.64	83.85
8	24	111	100	60.82	63.83	67.27	80.67
9	12	222	100	60.48	58.20	62.46	77.15

ตารางที่ ๕ - 6 ผลการทดลองค่าเฉลี่ยแกลบชนิดละเอียด

ตารางประสิทธิภาพของการทดลองค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	พื้นที่ที่คอกอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกลบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				อัตราการไหลของน้ำ			
				0.022	0.027	0.031	0.033
				ประสิทธิภาพ (%)			
1	192	14	100	27.46	36.78	38.14	40.77
2	168	16	100	28.13	34.75	37.79	40.90
3	144	19	100	30.11	34.94	38.26	44.97
4	120	22	100	31.28	39.31	44.61	46.90
5	96	28	100	31.40	46.64	46.89	48.81
6	72	37	100	30.23	42.47	46.77	47.26
7	48	56	100	29.05	35.98	38.40	42.10
8	24	111	100	26.62	33.67	39.74	43.04
9	12	222	100	26.98	35.58	39.50	41.36

ตารางที่ ๗ - 7 ประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดหยาบ

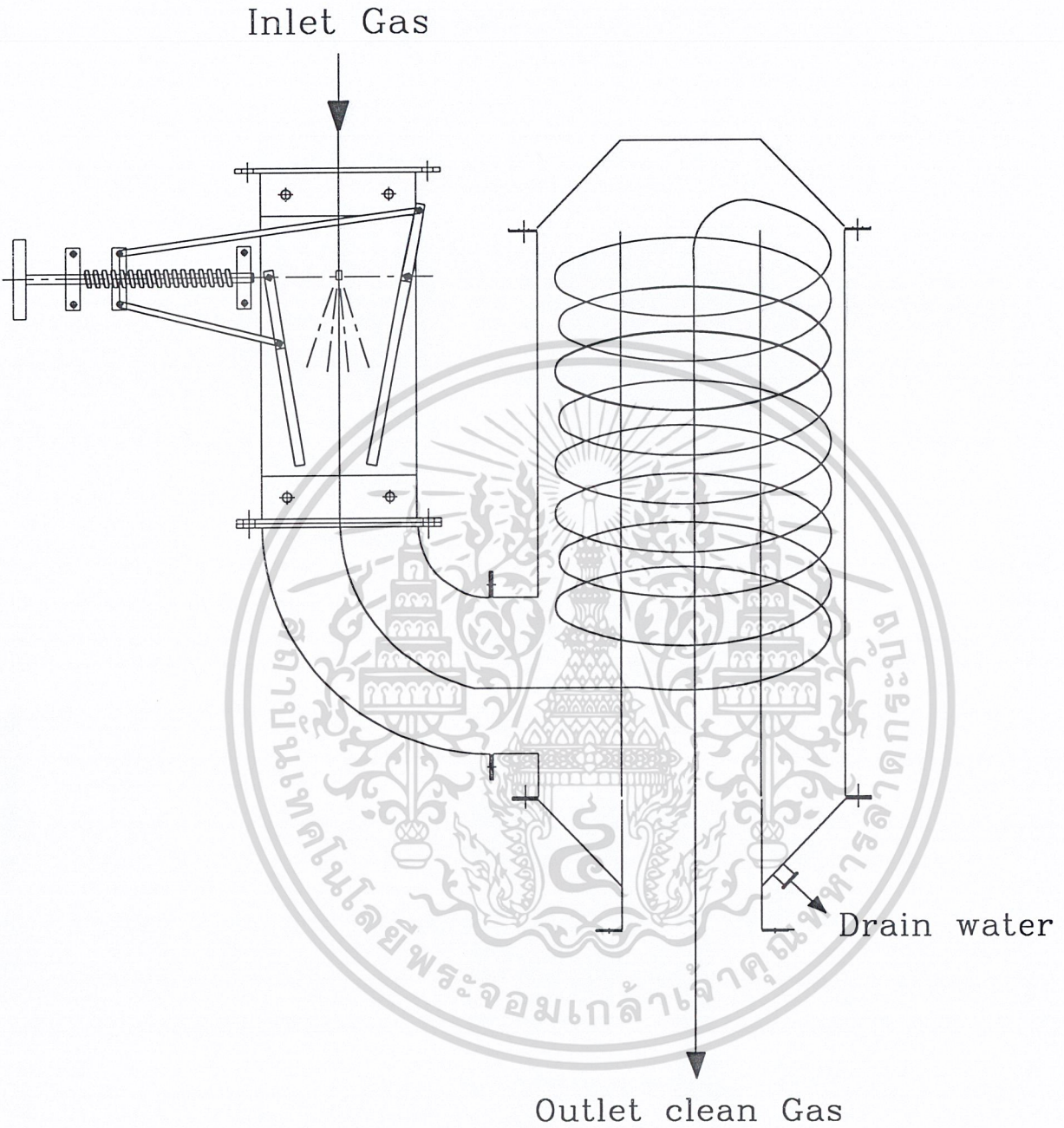
ครั้งที่	พื้นที่ที่คอกอด (cm ²)	ความเร็ว (m/s)	อัตราการป้อนแกลบ (g/min)	ความดันที่ NOZZLE			
				0.5	1	1.5	2
				อัตราการไหลของน้ำ			
				0.022	0.027	0.031	0.033
				ประสิทธิภาพ (%)			
1	192	14	100	62.36	58.78	68.78	71.85
2	168	16	100	60.08	61.23	64.84	77.57
3	144	19	100	63.19	62.71	75.51	79.92
4	120	22	100	64.21	69.00	75.39	83.90
5	96	28	100	66.13	71.05	79.74	91.61
6	72	37	100	65.35	73.16	77.00	86.76
7	48	56	100	63.00	67.63	70.64	83.85
8	24	111	100	60.82	63.83	67.27	80.67
9	12	222	100	60.48	58.20	62.46	77.15

ตารางที่ ๗ - 8 ประสิทธิภาพการทดลองเฉลี่ยแกลบชนิดละเอียด



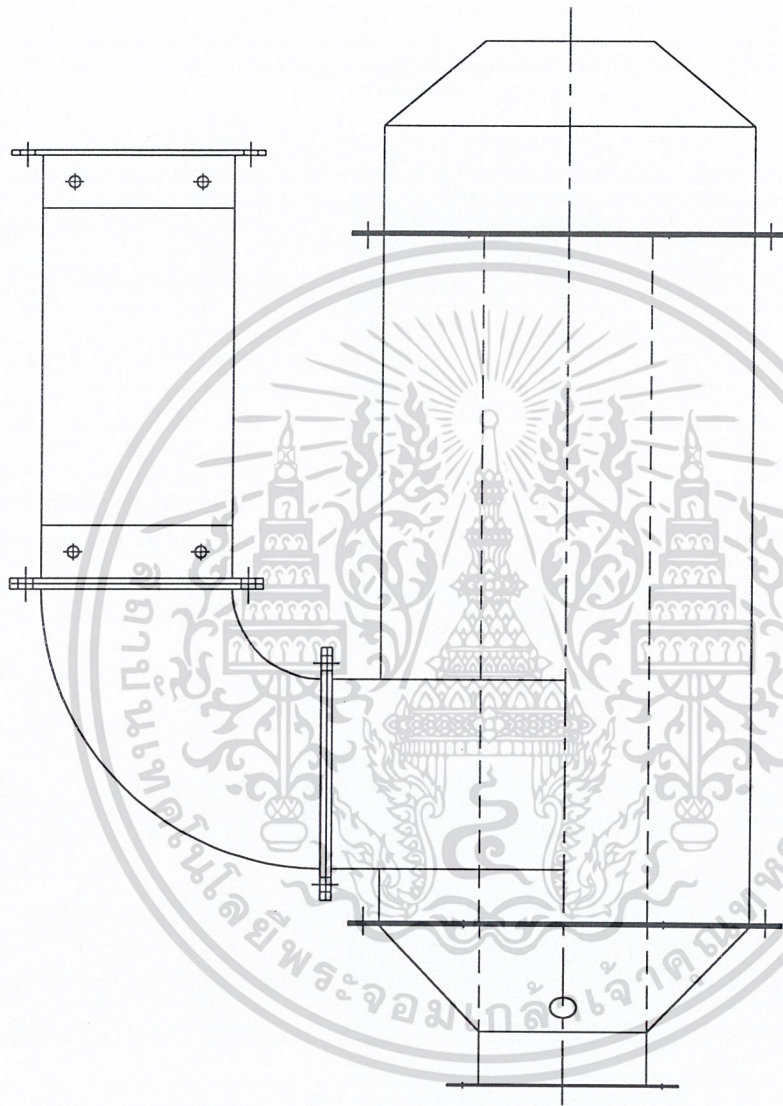
ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



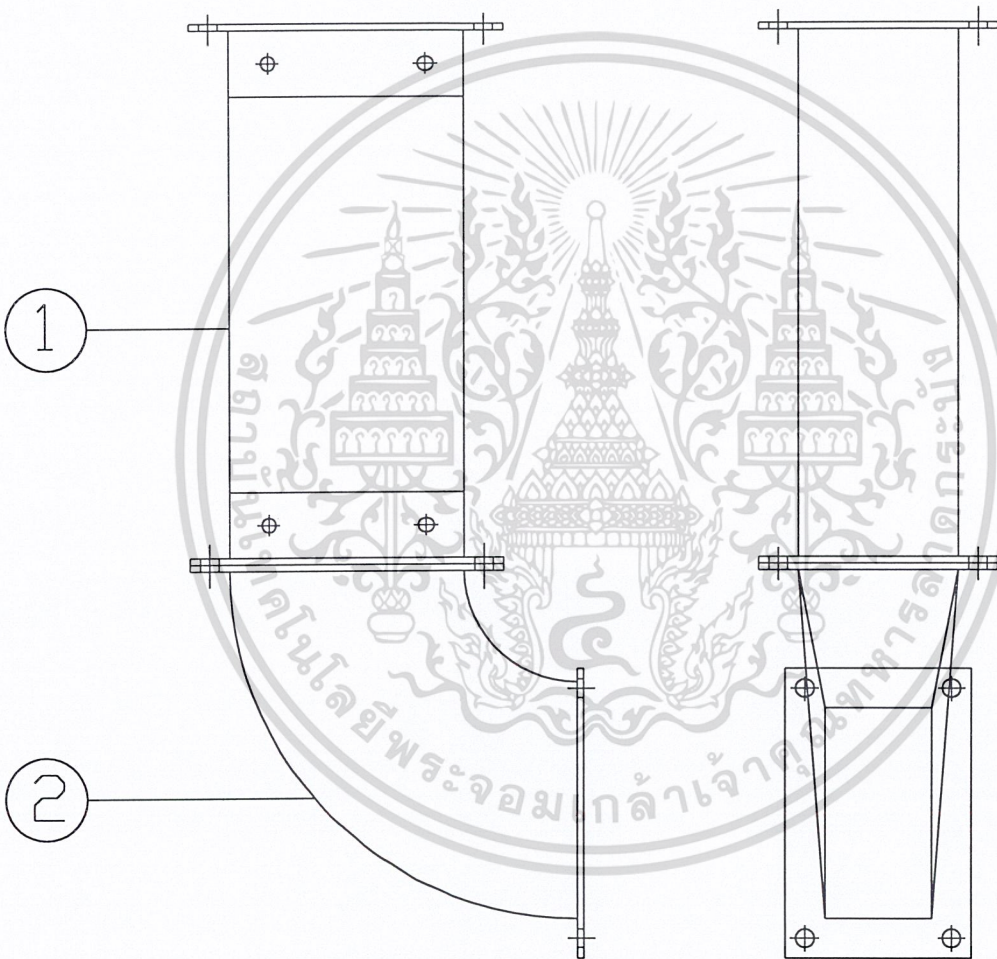
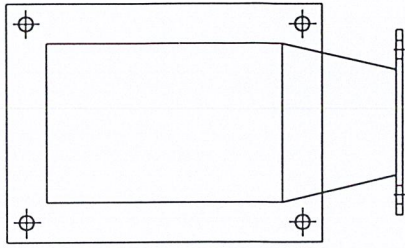
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ			
ผู้ออกแบบ	เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ	
	VENTURI WATER SCRUBBER		

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



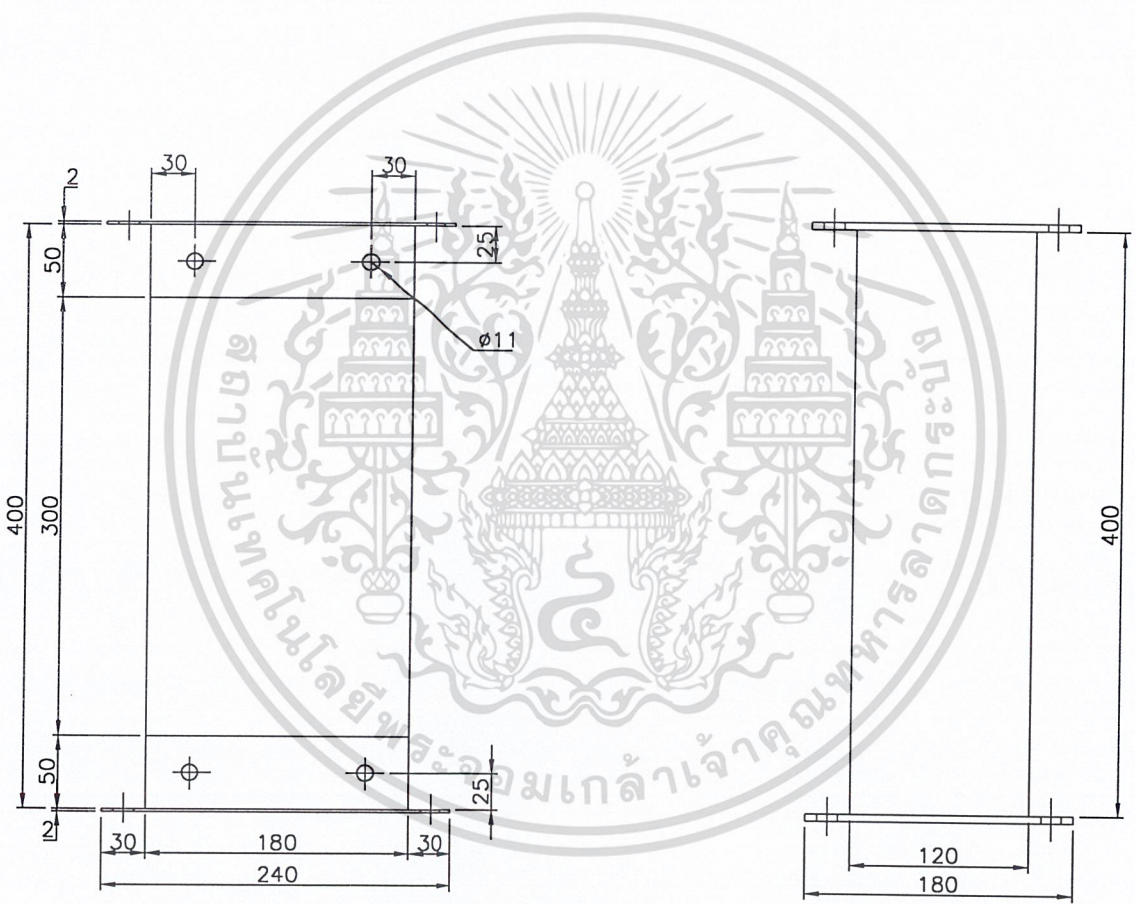
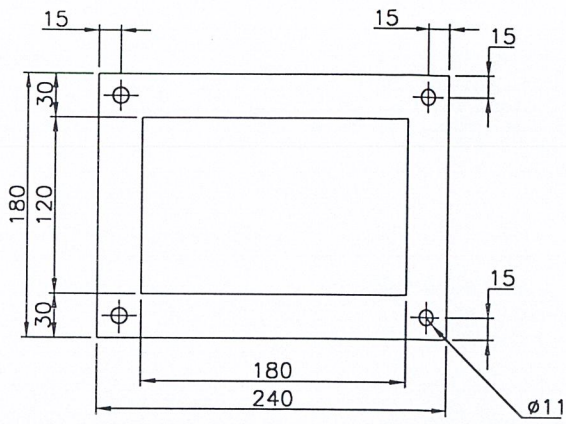
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG
ผู้ตรวจ			
ผู้ออกแบบ	การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า		
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ	
	VENTURI WATER SCRUBBER		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



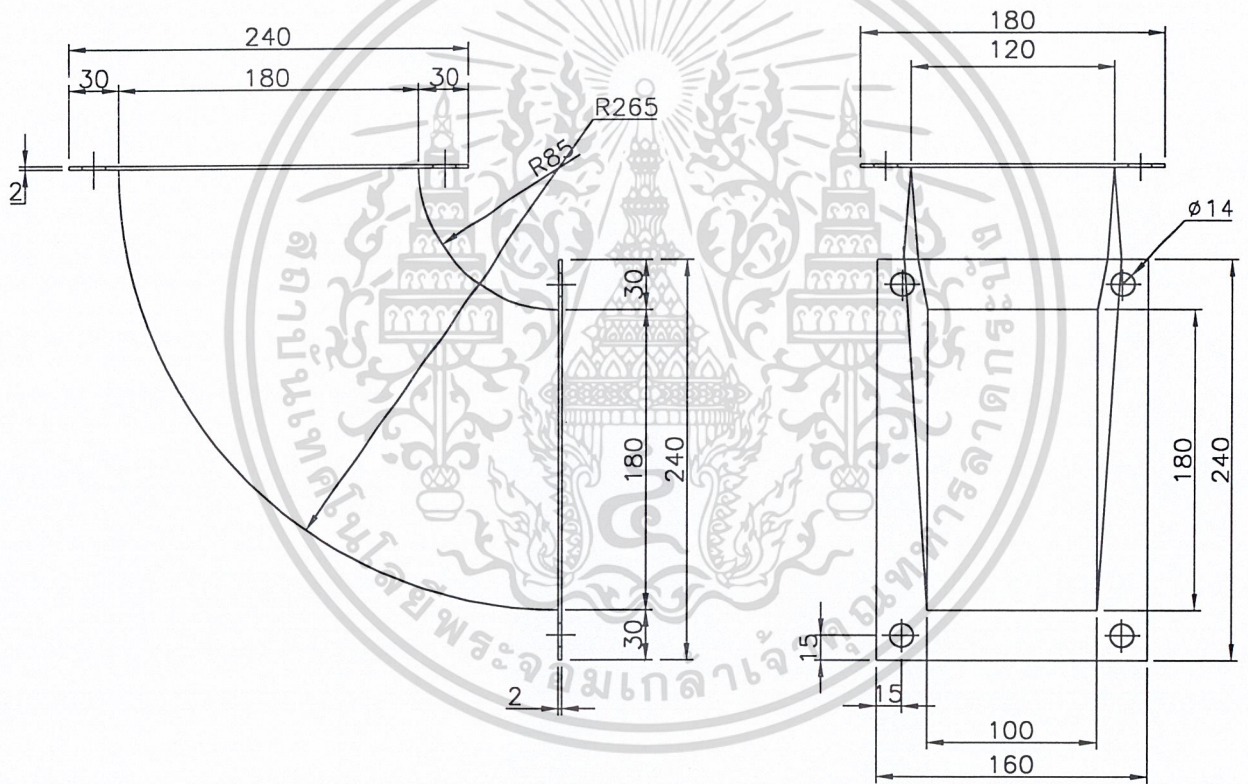
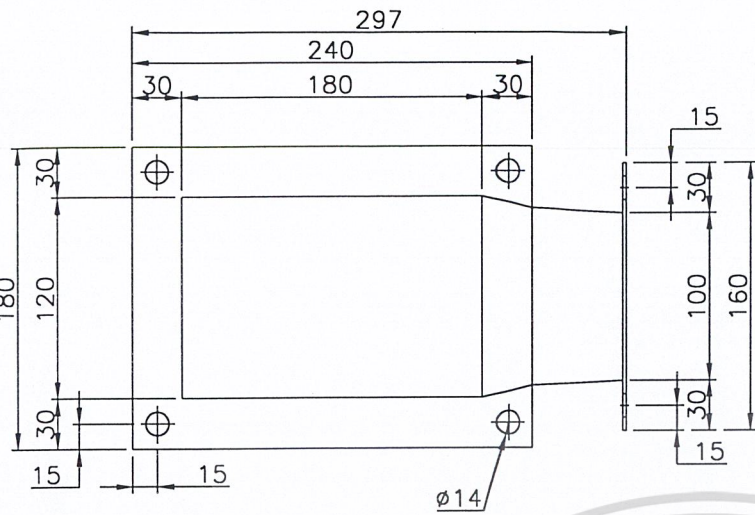
2	ข้อต่อโค้ง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	006	1
1	ท่อทางเข้า	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	005	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		
	VENTURI WATER SCRUBBER				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนผู้ออกแบบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ออกไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

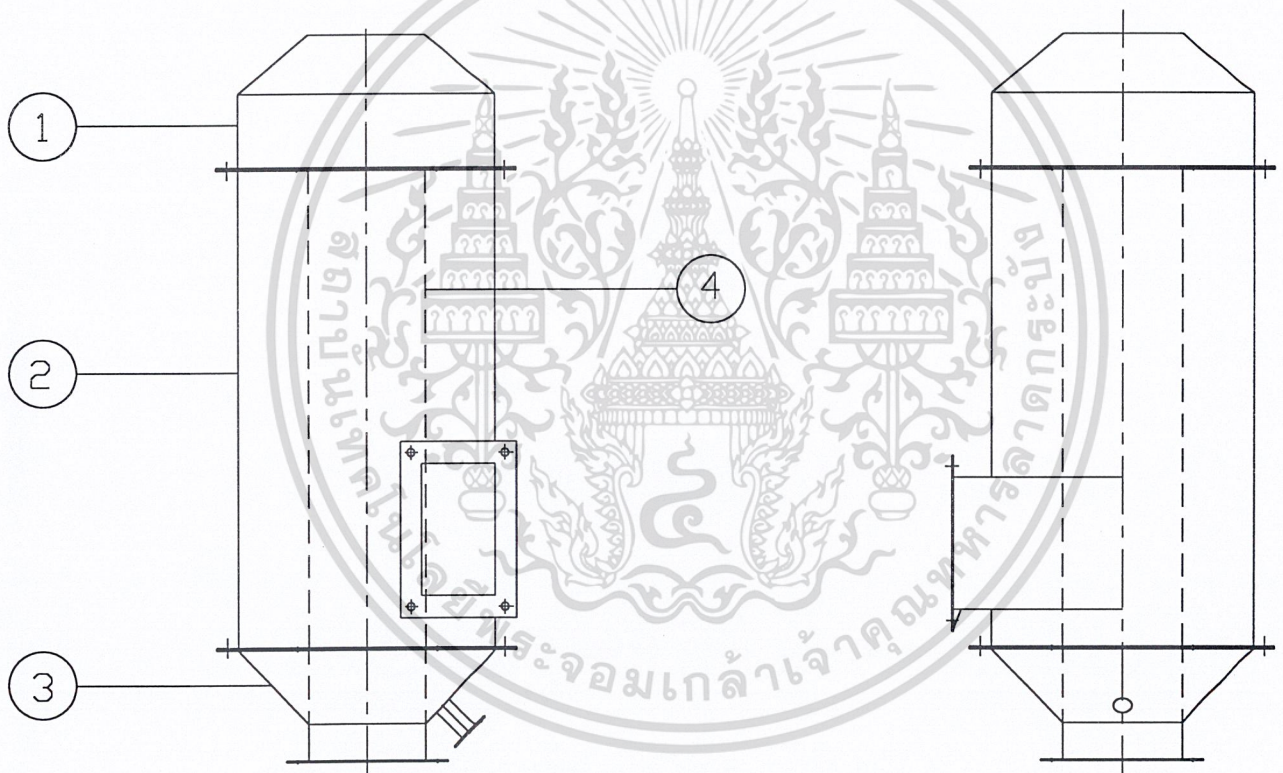
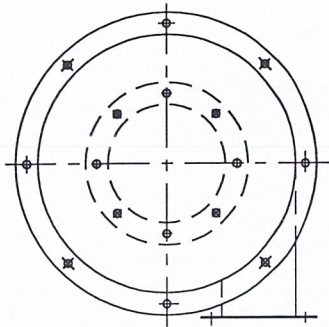


1	ท่อทางเข้า	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	005	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ	VENTURI WATER SCRUBBER		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

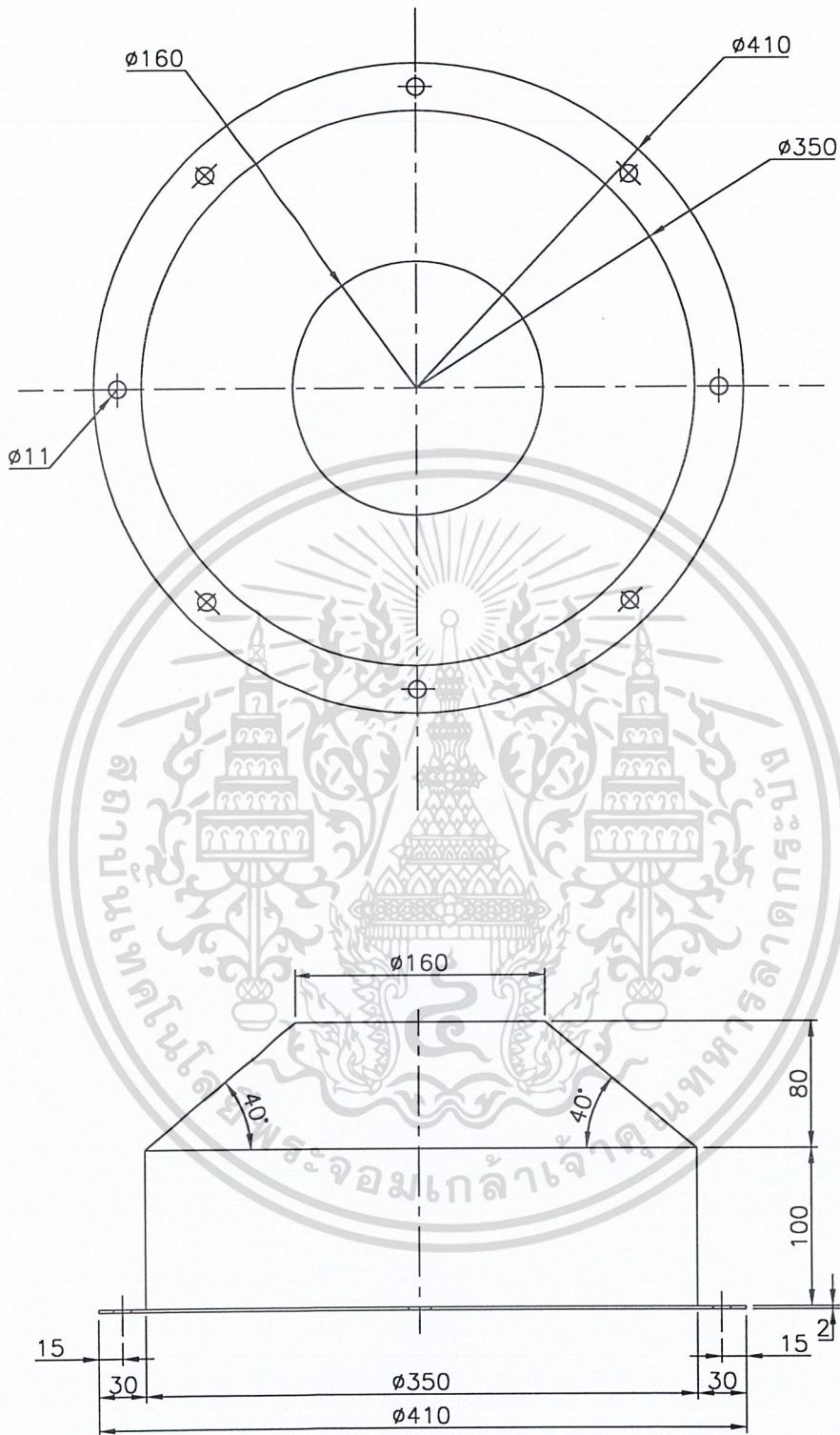


2	ข้อต่อโค้ง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	006	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน VENTURI WATER SCRUBBER		หมายเลขแบบ	ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	



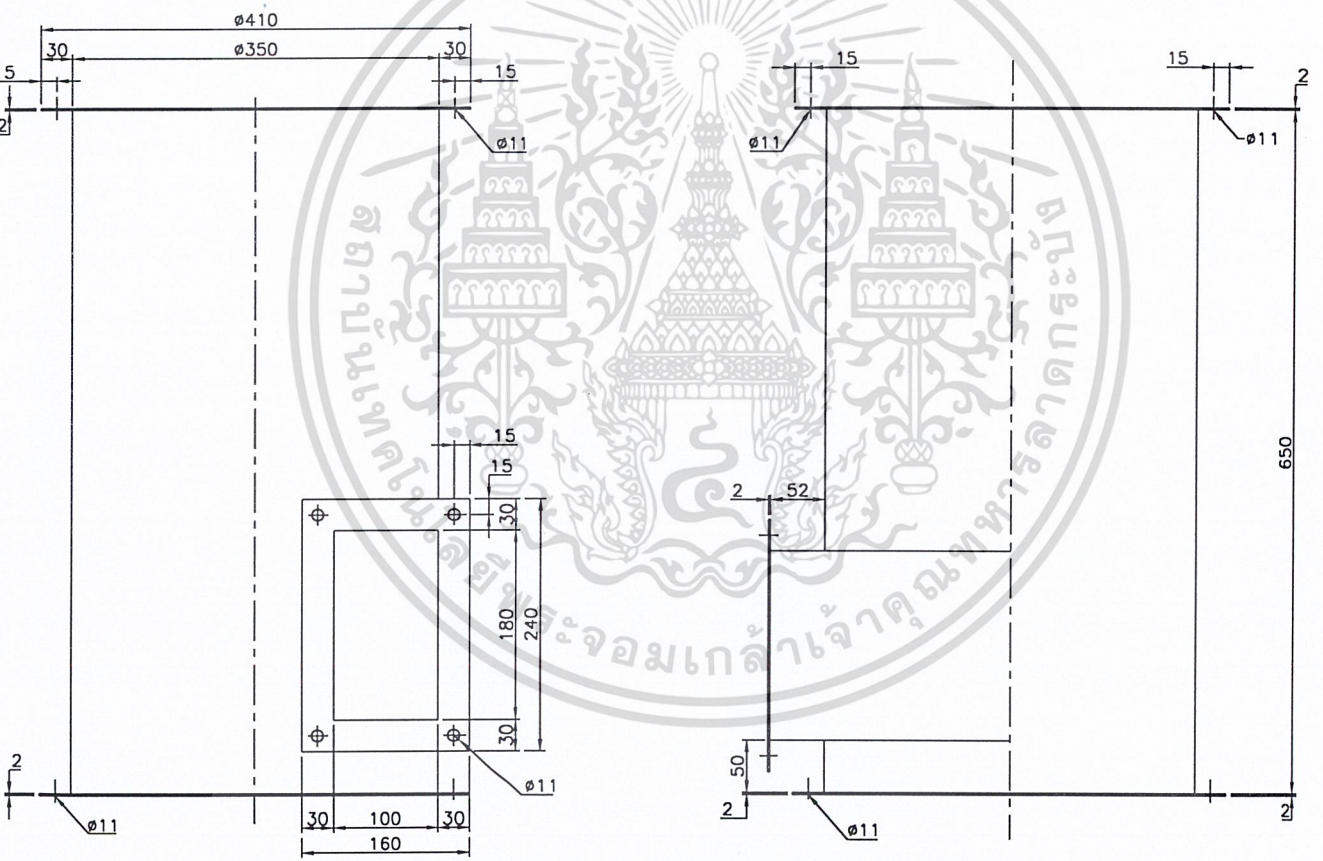
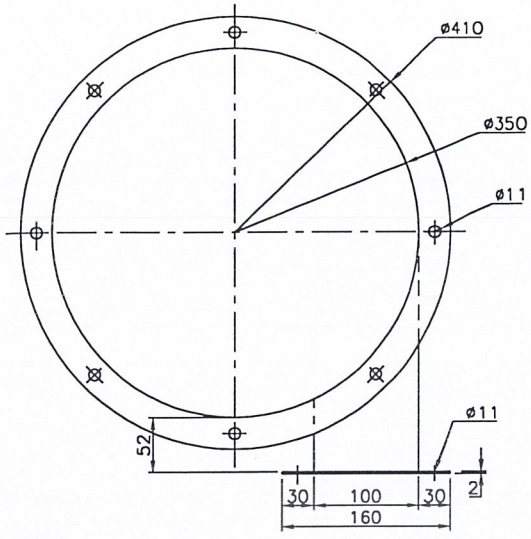
4	ทอระบายอากาศ	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	004	1
3	ส่วนกันดั่ง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	003	1
2	ส่วนดั่ง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	002	1
1	ส่วนฝาปิดดั่ง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	001	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
	ผู้เขียน		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
	ผู้ตรวจ				
	ผู้ออกแบบ				
	มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ		
		VENTURI WATER SCRUBBER			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ให้ผู้อื่นทราบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



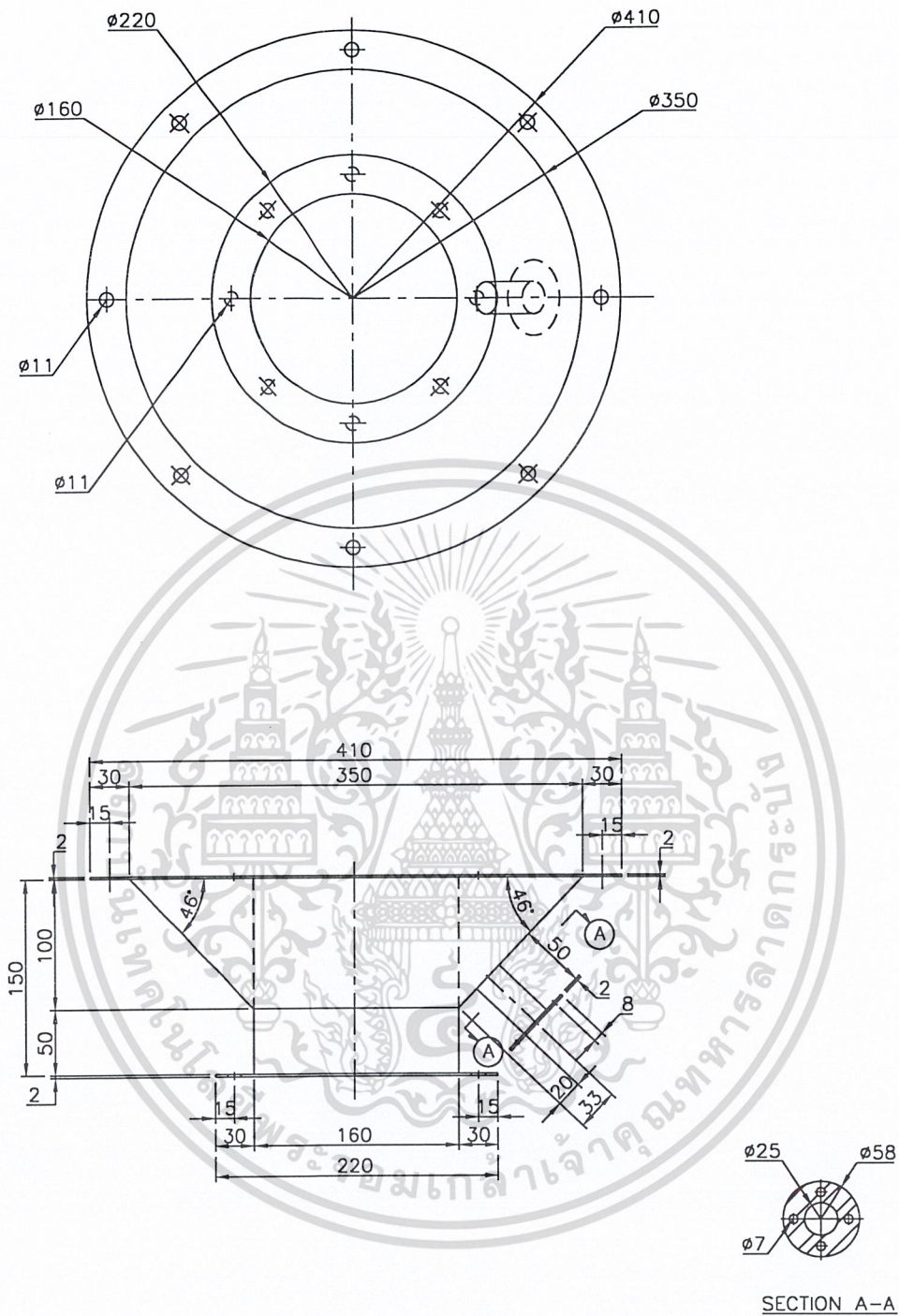
1	ส่วนล่าง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	001	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY - LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ	ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	
	VENTURI WATER SCRUBBER				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้เพื่อการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



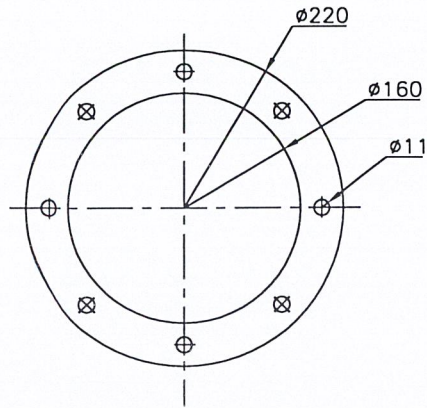
2	ตัวถัง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	002	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ	ชื่อชิ้นงาน		หมายเหตุ		
มาตราส่วน	VENTURI WATER SCRUBBER		หมายเลขแบบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3	ส่วนกันถึง	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	003	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ	ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	
	VENTURI WATER SCRUBBER				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4	ทอระบายอากาศ	หน้า 2	STAINLESS STEEL 405	004	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน			KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LANDKRABANG		
ผู้ตรวจ					
ผู้ออกแบบ			หมายเหตุเห็นใบเขียวระเอียดที่ใบการคำ		
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งที่รับผิดชอบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้า	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		
	VENTURI WATER SCRUBBER				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งที่รับผิดชอบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้า

บรรณานุกรม

- [1] kehneht C. Schiffner and Howard E. Hesketh, "Wet Scrubber", ANN ABOR SCIENCE
- [2] ดร. วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล, ดร. ชิดาโอะ คานาโอะกะ, "มลภาวะอากาศ", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [3] S. Calvert, D. Lundgren and D. Menenta, "Venturi scrubber performance", J. Air Pollution Control Assor., 1972
- [4] S Calvert, "Venturi and other atomizing scrubber efficiency and pressure drop", AIChE Journal, 1970
- [5] S. Nukiyama and Y. Tanasawa, "Air Pollution Control", Trans. Soc. Mech. Engrs.(Japan), 1939
- [6] W. Licht, "Air Pollution Control Engineering Basic Calculations for Particulate Collection", Marcel Dekker, 2nd Ed., 1988
- [7] Paul N. Cheremisinoff and Richard A. Young, "Pollution Engineering Practice Handbook", Ann arbor science publishers Inc., 1975
- [8] Robert W. Fox and Alan T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, 1998
- [9] สมาน เจริญกิจพูลผล และ มนตรี พิรุณเกษม, "กลศาสตร์ของไหล", ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2541