

การออกแบบและสร้างเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DUST CYCLONE COLLECTOR



โดย



นายจิระศักดิ์ รัตน์ะ
นายปราโมทย์ หดีมานัน
นายยอดชาย เกษรบุบผา

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เลขที่.....
เลขทะเบียน 45990
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สงวน, เคน, ป. 2546

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

หน้า 284 หน้า

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DUST CYCLONE COLLECTOR

ผู้จัดทำ

1. นายจิระศักดิ์ รัตนะ รหัสประจำตัว 42015340
2. นายปราโมทย์ หลิมานัน รหัสประจำตัว 42515779
3. นายยอดชาย เกษรบุผา รหัสประจำตัว 42015362



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ชินรัชย์ เขียวพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

นายจิระศักดิ์	รัตน์ะ	42015340
นายปราโมทย์	หลิมานัน	42515779
นายยอดชาย	เกษรบุบผา	42015362
ดร.ชินรัชย์	เชียรพงษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2544	

บทคัดย่อ

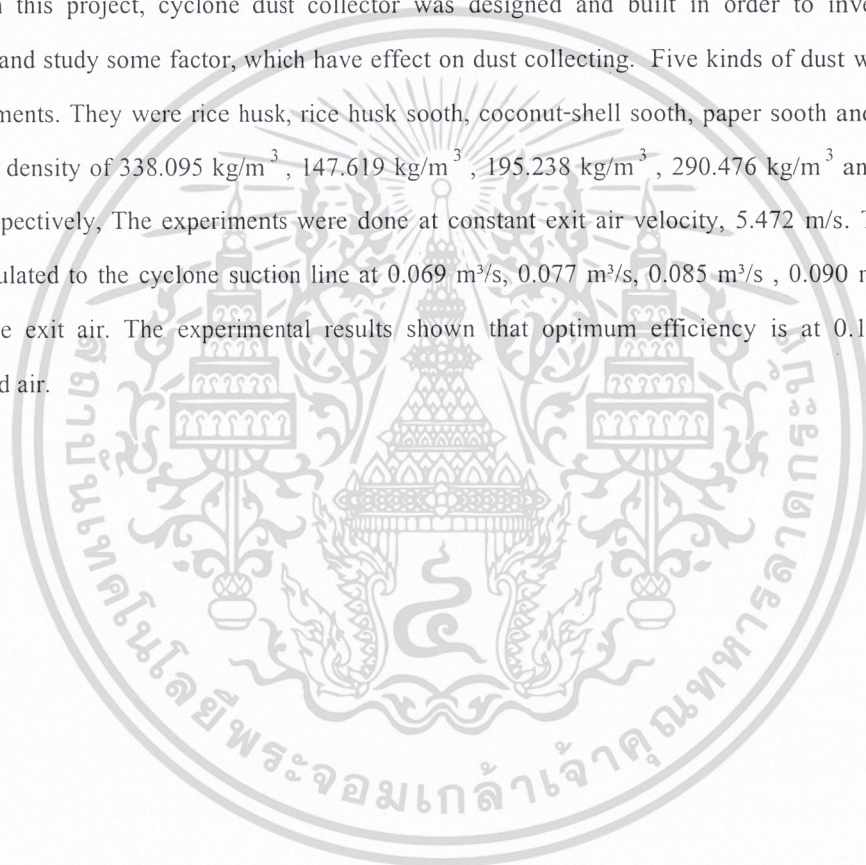
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคโดยการทดลองจะใช้ฝุ่น 5 ชนิด ฝุ่นที่ใช้ในการทดลองมี แกลบ, แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย, ทราย โดยแต่ละชนิดมีความหนาแน่น 338.095 kg/m^3 , 147.619 kg/m^3 , 195.238 kg/m^3 , 290.476 kg/m^3 และ 1719.048 kg/m^3 ตามลำดับและทำการทดลองที่ความเร็วที่ทางออกเท่ากันทุกชนิดและจะทดลองที่เปิดควาล์วบายพาสที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ท่อบายพาสเท่ากับ $0.069 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเปิดควาล์วบายพาสการดักเก็บอนุภาคฝุ่นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าที่ไม่เปิดควาล์วบายพาส ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองในการดักเก็บอนุภาคฝุ่นจะนำไปเป็นข้อมูลเพื่อที่จะออกแบบและสร้างเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมให้ได้มากที่สุดเพื่อสภาพแวดล้อมของประเทศ

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DUST CYCLONE COLLECTOR

Mr.Jeerasak	Rattana	42015340
Mr.Pramote	Leemanan	42515779
Mr.Yodchai	Kaesonbubpa	42015362
Dr. Chinaruk	Thianpong	Advisor

ABSTRACT

In this project, cyclone dust collector was designed and built in order to investigate the efficiency and study some factor, which have effect on dust collecting. Five kinds of dust were used in the experiments. They were rice husk, rice husk sooth, coconut-shell sooth, paper sooth and fine sand, which had density of 338.095 kg/m^3 , 147.619 kg/m^3 , 195.238 kg/m^3 , 290.476 kg/m^3 and 1719.048 kg/m^3 respectively, The experiments were done at constant exit air velocity, 5.472 m/s . The exit air was recirculated to the cyclone suction line at $0.069 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ of the exit air. The experimental results shown that optimum efficiency is at $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ of recirculated air.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ก็จะสำเร็จลุล่วงได้ก็ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่ายทั้งในด้านให้ความเอื้อเฟื้อ อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำหลาย ๆ ประการ ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ชินรักษ์ เที่ยรพงษ์ ในนามของอาจารย์ที่ปรึกษา และตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ยืมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนให้ทุนอุดหนุนในการทำปริญญาานิพนธ์ อนึ่งขอขอบคุณ คุณเมณฑา เทียมเมือง ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลืองานทางด้านฝีมือต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สำหรับกำลังใจและกำลังทรัพย์เพื่อโครงการวิจัยนี้

นายจิระศักดิ์ รัตน์
นายปราโมทย์ หลีมานัน
นายยอดชาย เกษรบุผา

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
รายการสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลังที่มาของปัญหา	1
1.2 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.6 ความสำคัญที่คาดว่าจะได้รับการศึกษาวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 กลไกการแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	4
2.1.1 ลักษณะการไหลของแก๊สในไซโคลอน	4
2.1.2 การแยกอนุภาคในแก๊สที่เกิดการหมุนวน	8
2.1.3 แบบไหลเข้าในแนวแกน	12
2.2 ความดันสูญเสียในไซโคลอน	13
2.3 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลอน	14
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	16
3.1 หลักการออกแบบ	16
3.1.1 การดูแก๊สและอนุภาค	17
3.1.2 การดักเก็บอนุภาคด้วยไซโคลอน	17
3.1.3 การนำอนุภาคออกจากที่รองรับด้านล่าง	18
3.2 หลักการคำนวณ	18
3.2.1 ระบบท่อจากเตาเผามูลฝอย	18
3.2.2 ระบบท่อทางเข้าไซโคลอน	19
3.2.3 ตัวไซโคลอน	20
3.2.4 ระบบท่อทางออกจากไซโคลอน	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ระบบพัสดุ	24
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	26
3.3.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง	26
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและวิธีการทดลอง	35
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	35
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	35
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิธีการทดลอง	41
5.1 ผลการทดลองหาสมรรถนะของไซโคลน	41
5.2 ผลที่ได้จากการทดลอง	41
5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	45
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	46
6.1 สรุปผลการทดลอง	46
6.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	46
6.3 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก. การหาอัตราการไหลของแก๊ส	50
ภาคผนวก ข. ตารางผลการทดลอง	58
ภาคผนวก ค. ตารางและรูปประกอบการออกแบบไซโคลน	84
ภาคผนวก ง. แบบรายละเอียดของไซโคลน	88

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการไหลเข้าของแก๊สและทางออกอนุภาค	6
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดการหมุนวนและการไหลวนของแก๊สในไซโคลน	7
รูปที่ 2.3 แสดงค่า friction loss factor ของไซโคลนขนาดต่าง ๆ	11
รูปที่ 2.4 แสดงไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน	12
รูปที่ 3.1 แสดงสัดส่วนต่าง ๆ ของไซโคลน	25
รูปที่ 3.2 แสดงระบบวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ	27
รูปที่ 3.3 แสดงระบบรวมของไซโคลน	28
รูปที่ 3.4 แสดงตัวไซโคลน	29
รูปที่ 3.5 แสดงพัดลมดูดอากาศ	30
รูปที่ 3.6 แสดงวาล์วควบคุมความเร็ว	31
รูปที่ 3.7 แสดงตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น	32
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง	33
รูปที่ 3.9 แสดงพัดลมเป่าอากาศ	34
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้เกลบ	42
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้เกลบเผา	42
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้กากมะพร้าว	43
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้กระดาษเผา	43
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้ทราย	44
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางเข้าไซโคลนกับประสิทธิภาพของไซโคลน	44
รูปที่ ก-1 แสดงระบบวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ	51
รูปที่ ค-1 แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ	87
รูปที่ ง-1 แบบแสดงระบบรวมของไซโคลน	89
รูปที่ ง-2 แบบแสดงพัดลมดูดอากาศ	90
รูปที่ ง-3 แบบแสดงขนาดของวาล์วควบคุมความเร็ว	91
รูปที่ ง-4 แบบแสดงระบบท่อทางออกไซโคลน	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง-3	แบบแสดงระบบท่อทางออกจากไซโคลน	93
รูปที่ ง-4	แบบแสดงตัวไซโคลน	94
รูปที่ ง-5	แบบแสดงโต๊ะติดตั้งไซโคลน	95
รูปที่ ง-6	แบบแสดงท่อทางเข้าไซโคลน 1	96
รูปที่ ง-7	แบบแสดงท่อทางเข้าไซโคลน 2	97
รูปที่ ง-8	แบบแสดงท่อทางเข้าไซโคลน 3	98
รูปที่ ง-9	แบบแสดงแผ่นออริฟิซ	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1	แสดงสัดส่วนมาตรฐานการออกแบบไซโคลน	15
ตารางที่ 3.1	แสดงสัดส่วนต่าง ๆ ของไซโคลน	21
ตารางที่ ข.1	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบที่ปิดวาล์วบายพาส	59
ตารางที่ ข.2	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผาที่ปิดวาล์วบายพาส	60
ตารางที่ ข.3	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่ปิดวาล์วบายพาส	61
ตารางที่ ข.4	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผาที่ปิดวาล์วบายพาส	62
ตารางที่ ข.5	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททรายที่ปิดวาล์วบายพาส	63
ตารางที่ ข.6	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบที่เปิดวาล์วบายพาส	64
ตารางที่ ข.7	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	65
ตารางที่ ข.8	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่เปิดวาล์วบายพาส	66
ตารางที่ ข.9	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	67
ตารางที่ ข.10	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททรายที่เปิดวาล์วบายพาส	68
ตารางที่ ข.11	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบที่เปิดวาล์วบายพาส	69
ตารางที่ ข.12	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	70
ตารางที่ ข.13	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่เปิดวาล์วบายพาส	71
ตารางที่ ข.14	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	72
ตารางที่ ข.15	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททรายที่เปิดวาล์วบายพาส	73
ตารางที่ ข.16	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบที่เปิดวาล์วบายพาส	74
ตารางที่ ข.17	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	75
ตารางที่ ข.18	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่เปิดวาล์วบายพาส	76
ตารางที่ ข.19	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	77
ตารางที่ ข.20	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททรายที่เปิดวาล์วบายพาส	78
ตารางที่ ข.21	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบที่เปิดวาล์วบายพาส	79
ตารางที่ ข.22	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	80
ตารางที่ ข.23	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่เปิดวาล์วบายพาส	81
ตารางที่ ข.24	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผาที่เปิดวาล์วบายพาส	82
ตารางที่ ข.25	แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททรายที่เปิดวาล์วบายพาส	83
ตารางที่ ค.1	แสดงค่าความเร็วจับของอนุภาค	85
ตารางที่ ค.2	แสดงค่าความเร็วของแก๊สที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่	85
ตารางที่ ค.3	แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในช่องอ	86
ตารางที่ ค.4	แสดงขนาดของท่อลด	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

a	ความสูงที่ทางเข้าไซโคลน;m
A	พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมด; m^2
b	ความกว้างที่ทางเข้าไซโคลน;m
B	เส้นผ่านศูนย์กลางที่บริเวณทางออกของอนุภาค;m
C	Cyclone geometric parameter; ไม่มีหน่วย
d	เส้นผ่านศูนย์กลาง
F	แรงต้านทานการเคลื่อนที่:N
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก; m/s^2
G	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้แยกอนุภาค;N
h	ความยาวทรงกระบอกของไซโคลน:m
H	ความยาวทั้งหมดของไซโคลน;m
m	มวลของอนุภาค;kg
P	ความดัน; kPa
ΔP	ความดันสูญเสียในไซโคลน: m/s^2
r	รัศมีการหมุนวน;m
R	รัศมีของไซโคลน;m
S	ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส;m
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์; k
\bar{U}	ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคกับแก๊ส; m/s
V	ความเร็วของแก๊ส; m/s
V_p	ความดันเนื่องจากความเร็ว; mmH_2O
η	ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน;%
ϕ	friction loss factor; dimensionless
ρ	ความหนาแน่น; kg/m^3
μ	ความหนืดของแก๊ส;Pa.s
γ	vortex exponent; dimensionless
ψ	cyclone inertia parameter; dimensionless
C	ไซโคลน
e	ทางออก
g	แก๊ส
i	ทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์ต่อ

max	มากที่สุด
motor	มอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ
ov	รวมทั้งหมด
P	อนุภาค
T	แนวสัมผัสที่รัศมี
T_p	แนวสัมผัสที่รัศมี R



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่

บทนำ

1.1 ภูมิหลังที่มาของปัญหา

ปัจจุบันกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทก็มีการปล่อยแก๊สที่เป็นพิษ หรือในการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเผาในเตาเผา (incineration) ก็อาจมีการปล่อยความร้อนหรืออนุภาคที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ปะปนออกมาด้วย บางครั้งอาจปล่อยออกมาในปริมาณค่อนข้างสูงซึ่งจะมีอิทธิพลต่อสถานะของอากาศ อันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและระบบทางเดินหายใจของคนงานหรือผู้ปฏิบัติการทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของผู้ปฏิบัติการลดลง อนุภาคที่ปล่อยออกมามีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปะปนกัน ปัจจุบันจึงมีการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ เช่น ห้องตกตะกอนที่ใช้แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravimatic setting chamber), เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน (Centrifugal separator or Cyclone), เครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก (Wet scrubber), เครื่องกรองอนุภาคด้วยเส้นใย (Fabric filter) และเครื่องตกตะกอนอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator), ในการศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคเมื่อเข้าสู่ระบบการหายใจของมนุษย์พบว่า อนุภาคเหล่านั้นสามารถตกค้างตามโพรงจมูกและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งการตกค้างของอนุภาคในระบบการหายใจของมนุษย์ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและลักษณะของระบบทางเดินหายใจ เริ่มจากโพรงจมูกส่วนบน หลอดลม และปอด เมื่อพิจารณาให้ละเอียดจะเห็นว่ายิ่งลึกเข้าไปตั้งแต่โพรงจมูกส่วนนอกไปจนถึงปอดความสลับซับซ้อนของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของอากาศมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของอากาศนี้จะส่งผลให้เกิดการตกค้างของอนุภาคในร่างกายมากขึ้น

จากที่กล่าวมาแล้วในการวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการศึกษาและออกแบบระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ทั้งนี้เพราะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำ ไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่ การบำรุงรักษาง่าย และประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างสูง

ส่วนประกอบหลักของระบบการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ มีดังนี้

1. ระบบท่อ (duct system) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเข้าด้วยกันเพื่อที่จะใช้เป็นเส้นทางขนถ่ายสิ่งสกปรกหรืออากาศภายในระบบ
2. อุปกรณ์ลดปริมาณอนุภาค (air cleaner) เป็นอุปกรณ์ที่จะนำเอาสิ่งสกปรกหรืออนุภาคที่ปะปนอยู่ในอากาศออกจากอากาศก่อนที่จะปล่อยอากาศนั้นออกสู่บรรยากาศ
3. พัดลม (fan) ทำหน้าที่สร้างความดันที่เพียงพอในการที่จะดึงอากาศและสิ่งสกปรกหรืออนุภาคในอากาศผ่านระบบท่อไปยังจุดที่ต้องการก่อนปล่อยอากาศนั้นออกสู่บรรยากาศ

1.2 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. มูลฝอย (solid waste) หมายถึง แกลบ กากมะพร้าว กระจาดเผา
2. แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ (flue gas) หมายถึง แก๊สอุณหภูมิสูงที่ได้จากการเผาไหม้ในกรณีการเผาไหม้สมบูรณ์ก็จะได้แก๊สต่าง ๆ หลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ถ้าในกรณีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ก็จะเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือในกรณีการเผาไหม้แบบอากาศส่วนจะมีแก๊สออกซิเจนเป็นส่วนประกอบของแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้นั้นด้วย
3. อนุภาค (particulate) หมายถึง อนุภาคของมวลสารซึ่งปะปนอยู่ในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ที่ปล่อยสู่บรรยากาศออกจากปล่องของเตาเผาได้แก่ ขี้เถ้าลอย (fly ash), เเขม่า และควัน
4. ความหนาแน่นของอนุภาค (density of particulate) หมายถึง ค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักของอนุภาคต่อหน่วยปริมาตร ในหน่วย มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
5. ขนาดของอนุภาค (particle size) หมายถึง ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างของอนุภาคจริงในการทดลองไปตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์หาค่าการกระจายขนาดของอนุภาคในหน่วยไมโครเมตรหรือไมครอน
6. ความเร็วจับ (capture velocity) หมายถึง ความเร็วของอากาศที่ใช้ควบคุมอากาศเสีย ณ บริเวณฝาครอบปล่องไฟของเตาเผา (hood) เพื่อเข้าสู่ระบบท่อผ่านไปยังไซโคลน
7. ความดันเนื่องจากความเร็ว (velocity pressure) หมายถึง ความดันที่เกิดจากการไหลของอากาศในท่อกลมที่ความเร็วหนึ่ง ๆ
8. ความดันสูญเสีย (pressure loss) หมายถึง การสูญเสียความดันของของไหลเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ระบบท่อ, ไซโคลน เป็นต้น
9. เตาเผามูลฝอย (incinerator) หมายถึง อุปกรณ์การเผาไหม้สำหรับเผามูลฝอยจนกระทั่งกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และขี้เถ้า
10. ไซโคลน (Cyclone) หมายถึง อุปกรณ์กำจัดหรือลดปริมาณอนุภาคแบบแห้งชนิดหนึ่งโดยอาศัยหลักการหมุนวนของอากาศเพื่อทำให้อนุภาคที่ปะปนอยู่ในอากาศนั้นตกลงสู่ที่รองรับด้านล่าง
11. ก่องเก็บอนุภาค (hopper) หมายถึง ภาชนะรูปทรงเรขาคณิตใด ๆ ที่ใช้สำหรับรองรับอนุภาคจากไซโคลน

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบไซโคลน โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ

2.1 ปริมาณอากาศ

2.2 ความหนาแน่นของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.3 ความดันสูญเสีย
- 2.4 ขนาดของอนุภาค
- 2.5 อุณหภูมิขาเข้าของแก๊ส
- 2.6 ประสิทธิภาพการทำงาน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ออกแบบระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้มูลฝอยประเภทต่าง ๆ ได้แก่ แกลบ กากมะพร้าว ทรายเผา
2. เลือกชนิด, ขนาดของพัดลม เพื่อนำมาใช้งานให้เหมาะสม
3. ศึกษาค่าความดันของระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ได้แก่ ความดันสูญเสียในไซโคลน
3. ศึกษาสมรรถนะของไซโคลน

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มูลฝอยประเภทต่างๆ ได้แก่ แกลบ กากมะพร้าว ทรายเผา
2. ศึกษาและค้นคว้ารายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับระบบการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ด้วยไซโคลน
3. ออกแบบและคำนวณโครงสร้างอุปกรณ์การทำงานของระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้
4. ดำเนินการจัดสร้างระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้
5. ดำเนินการทดสอบ การปฏิบัติงาน รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนา
6. จัดทำรายงานผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และเสนอแนะ

1.6 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้

1. ผู้ที่ทำการศึกษาวิจัยจะมีความรู้เพิ่มขึ้นในหัวข้อที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้
2. ข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปเผยแพร่เพื่อใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบที่มีขนาดเล็ก, ขนาดใหญ่ หรือระบบที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

อุปกรณ์ในการทำให้อากาศสะอาด (Air cleaning device) โดยการลดปริมาณของอนุภาคที่ซึ่ในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิดแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพและความเหมาะสมที่จะใช้งานแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วเราจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่ต้องใช้น้ำเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องดักเก็บอนุภาคแบบเปียก (Wet scrubber) และประเภทที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค ได้แก่ พวกที่อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เช่น ไชโคลน (Cyclone) หรือพวกที่ใช้ระบบประจุไฟฟ้า เช่น เครื่องเก็บอนุภาคด้วยการใช้ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) เป็นต้น สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบไชโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้

2.1 กลไกของการแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไชโคลน มีหลักการโดยอาศัยการหมุนของแก๊สมาทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊สเสีย การหมุนของแก๊สทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉื่อย (inertia force) เข้าหาผนังของเครื่องแยกแล้วตกลงสู่ที่สำหรับรองรับอนุภาค (hopper) โดยทั่วไปแล้วไชโคลนจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการที่ทำให้อากาศสะอาด การทำให้อากาศสะอาดแบบนี้อากาศจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเครื่องแยกโดยสามารถไหลเข้าได้ทั้งในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet) หรือไหลเข้าตามแนวแกน (axial inlet) โดยที่ตัวเครื่องแยกจะมีลักษณะเป็นกรวยที่ตั้งเอียงอดแหลมลงที่บริเวณกลางของฝาบนมีท่อ เรียกว่า ท่อขั้ว (vortex finder) ติดอยู่ อากาศที่ผ่านเข้าไปช่วงแรกจะเคลื่อนลงไปตามกรวยโดยอนุภาคจะตกลงไปในที่รองรับ (hopper) ด้านล่างแล้วอากาศจึงถูกดูดกลับขึ้นมาตามท่อขั้วเพื่อปล่อยสู่บรรยากาศ

2.1.1 ลักษณะการไหลของแก๊สในไชโคลน

ส่วนสำคัญสำหรับโครงสร้างของไชโคลน คือ ทางเข้าของแก๊สที่จะทำให้แก๊สเกิดการหมุนวน (vortex), ทางออกของแก๊สในแนวแกน (axial outlet) และที่รองรับอนุภาค (hopper) บริเวณส่วนล่างของไชโคลน ดังรูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการไหลเข้าและออกในแบบต่าง ๆ ของแก๊สในไชโคลน โดยในรูป (a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไชโคลน (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) รูป (b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไชโคลน (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (peripheral discharge) รูป (c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) รูป (d) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (peripheral discharge) สำหรับลักษณะการไหล

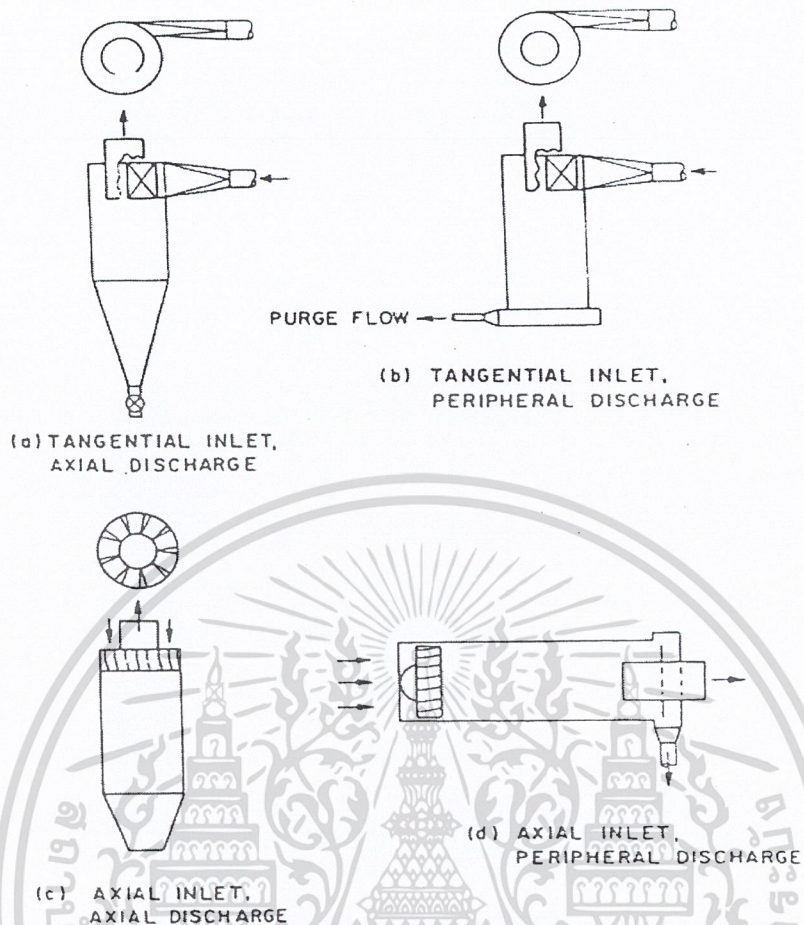
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับผนังของไซโคลน (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) แก๊สที่ไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลนใกล้ด้านบนของตัวทรงกระบอกจะทำให้เกิดการหมุนวน (vortex) หรือการไหลเวียนแบบเกลียวระหว่างผนังของตัวไซโคลนกับผนังของท่อทางออกของแก๊สในลักษณะที่หมุนวนลงข้างล่าง การหมุนวนของแก๊สที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นการหมุนวนแบบกึ่งอิสระ (semi-free vortex) ซึ่งจะหมุนวนและเคลื่อนลงจนต่ำกว่าผนังของท่อทางออกของแก๊ส แต่เมื่อไปถึงบริเวณหนึ่งใกล้กับด้านล่างของกรวย แก๊สที่หมุนวนนี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวแกน โดยยังคงไว้ซึ่งการไหลหมุนวน (vortex) นั่นคือ จะเปลี่ยนเป็นการหมุนวนแบบบังคับ (main vortex) ซึ่งเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งในช่วงประมาณครึ่งหนึ่งของรัศมีที่บริเวณท่อทางออกของแก๊สกับแกนกลางของทางออก แก๊สที่เกิดการหมุนวนด้านใน (inner vortex) เป็นบริเวณที่มีความดันต่ำและมีชื่อเรียกว่า แกน (core) ดังรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดการหมุนวน (vortex) และการไหลวน (eddy flow); ของแก๊สภายในไซโคลนแบบที่มีการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) ความเร็วของแก๊สที่หมุนวนภายในไซโคลน โดยทั่วไปจะเป็นความเร็วในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน; (V_T) ดังสมการ

$$V_T = V_{Tp} \left(\frac{R}{r} \right)^\gamma \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} V_T &= \text{ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาค ที่รัศมี } r; \text{ m/s} \\ V_{Tp} &= \text{ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน ที่รัศมี } R; \text{ m/s} \\ R &= \text{รัศมีของไซโคลน ; m} \\ r &= \text{รัศมีการหมุนวนของอนุภาค ; m} \\ \gamma &= \text{vortex exponent ; ไม่มีหน่วย} \end{aligned}$$

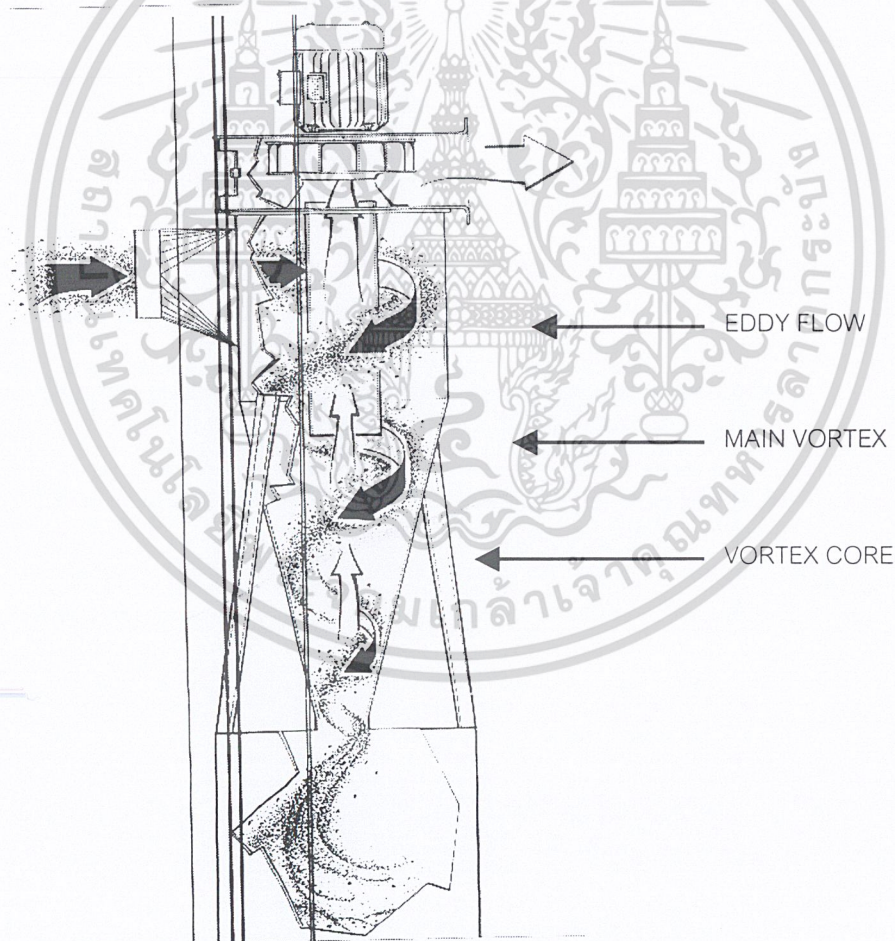


รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการไหลเข้าของแก๊สและทางออกของอนุภาคในแบบต่างๆ ของไซโคลน

- (a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge)
- (b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet) อนุภาคออกจากเส้นรอบวง (peripheral discharge)
- (c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge)
- (d) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกจากเส้นรอบวง (peripheral discharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบอิสระ (free vortex) จะไม่มีการสูญเสียความดัน หรือ กรณีที่ของไหลนั้นเป็น ideal gas, γ จะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบกึ่งอิสระ (semi-free vortex) หรือกรณีที่ของไหลนั้นเป็น real gas, γ จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.5 < \gamma < 1$ นอกจากนี้ จะเกิดการหมุนวนของแก๊สแล้วจะมีการไหลขึ้นของแก๊สเทียบผนังส่วนบนของทรงกระบอกของไซโคลอน แก๊สที่ไหลเทียบผนังขึ้นมาจะพาเอาอนุภาคติดไปด้วย โดยจะไหลตัดเข้าด้านในแล้วไหลลงเทียบผนัง ด้านนอกของท่อทางออกของแก๊ส การไหลนี้จะเรียกว่า กานไหลวน (Eddy flow) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ระหว่างที่แก๊สไหลเทียบลงผ่านขอบล่างของท่อทางออก อนุภาคอาจติดไปกับแก๊สที่ไหลออกจากไซโคลอน ได้ ถ้าท่อทางออกของแก๊สยิ่งยื่นลึกเข้าไปในทรงกระบอกมากเท่าไรก็จะเกิดการไหลวน (Eddy flow) ที่รุนแรงมากขึ้นซึ่งจะมีผลกระทบต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาคและประสิทธิภาพการเก็บอนุภาค ด้วย



รูปที่ 2-2 แสดงลักษณะการเกิดการหมุนวน (vortex) และการไหลวน (eddy flow) ของแก๊สภายในไซโคลอน แบบ ที่มีการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การแยกอนุภาคในแก๊สที่เกิดการหมุนวน

อนุภาคจะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งขับเคลื่อนอนุภาคของอนุภาค ; (G) แสดงได้ดังสมการ

$$G = \frac{mv_T^2}{r} \quad (2.2)$$

เมื่อ

G = แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค ; N

M = มวลของอนุภาค ; kg

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวเส้นสัมผัสที่รัศมี r มีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสและให้มวลของอนุภาคเป็นทรงกลม จะได้ว่า

$$m = \rho_p \left[\frac{d_p^3 \pi}{6} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค ; Kg/m³

d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค : m

นำสมการที่ (2.1) และ (2.3) แทนค่าลงในสมการที่ (2.2) ดังนั้น จะได้

$$G = \frac{\left(\frac{\pi}{6} \right) \rho_p d_p^3 V_{Tp}^2 R^{2\gamma}}{r^{(2\gamma+1)}} \quad (2.4)$$

เมื่ออนุภาคถูกทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้แยกอนุภาคนั้นออกจากแก๊สที่เกิดการหมุนวนขณะเดียวกันอนุภาคก็จะมีแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านกระแสแก๊สไปยังผนังของไซโคลอนด้วย ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการโดยใช้กฎของสโตกส์ (Stoke's law) ดังนี้

$$F = 3 \pi \mu d_p \overline{u_r} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 F &= \text{แรงด้านการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวรัศมี ; N} \\
 \mu &= \text{ความหนืดของแก๊ส ; Pa.s} \\
 \overline{U_r} &= \text{ความเร็วของแก๊สสัมผัสกับอนุภาคในแนวรัศมี ; m/s}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) จะเห็นได้ว่า แรงที่ใช้แยกอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสาม แต่แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังผนังไซโคลอนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ดังนั้นไซโคลอนจะสามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้ดี อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่วิ่งไปยังผนังไซโคลอนจะตกลงเกือบผนังด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปยังที่รองรับ (hopper) ด้านล่างของไซโคลอน ในทางปฏิบัติอนุภาคที่วิ่งเข้าตัวไซโคลอนจะกระจายตลอดเต็มพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าของไซโคลอน เพราะฉะนั้นรัศมีของการไหลวน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส และระยะห่างจากผนังไซโคลอนของอนุภาคที่เข้ามาจะมีค่าต่าง ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ไซโคลอนจึงเป็นเครื่องคัดขนาด (classifier) ของอนุภาค ในช่วงขนาดของอนุภาค 5-25 μm

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวรัศมีมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นความเร็วของแก๊สสัมผัสกับอนุภาคในแนวรัศมี ; $(\overline{U_r})$ จะมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในแนวรัศมี ดังสมการ

$$\overline{U_r} = \frac{Q}{2\pi r_{\max}(H-s)} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{อัตราการไหลของแก๊สเชิงปริมาตร ; m}^3 / \text{s} \\
 H &= \text{ความยาวทั้งหมดของไซโคลอน ; m} \\
 S &= \text{ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส ; m}
 \end{aligned}$$

นำสมการที่ (2.6) แทนลงในสมการที่ (2.5) จะได้

$$F = \frac{3d_p \mu Q}{2r_{\max}(H-s)} \quad (2.7)$$

พิจารณาความเร็วสูงสุดของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอนมีค่าสูงสุด ; $(V_{T\max})$ ที่รัศมีการหมุนวนของอนุภาคที่ยาวที่สุดของอนุภาค ; (r_{\max}) ดังนั้นขนาดของอนุภาคก็จะต้องพิจารณาที่ขนาดตัด

(cut size) ของอนุภาคด้วย จากสมการที่ (2.2) และ (2.7) พิจารณาตามหลักการสมดุลของแรงกล่าวคือ Centrifugal force; $(G) = (F)$ จะได้

$$mv_{T_{\max}}^2 = \frac{3d_{50}\mu Q}{2(H-s)} \quad (2.8)$$

เมื่อ

d_{50} = ขนาดตัดหรือขนาดของอนุภาคที่ไซโคลอนมีประสิทธิภาพในการเก็บ 50% ; m.
ตามมาตรฐานการออกแบบของ Stairmand กำหนดให้ความยาวของรัศมีในการหมุนวนของอนุภาคมากที่สุด; (r_{\max}) มีค่าเท่ากับ $D_e/4$; ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลอน; (V_i) มีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอน; (V_{Tp}) และ vortex exponent (γ) มีค่าเท่ากับ 0.5 ดังสมการ

$$r_{\max} = \left(\frac{D_e}{4}\right) \quad (2.9)$$

เมื่อ

$$D_e = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส ; m}$$

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (2.9) แทนค่าลงในสมการที่ (2.1) จะได้

$$(V_{T_{\max}})^2 \left(\frac{D_e}{4}\right) = v_i^2 \left(\frac{D}{2}\right) \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$V_i = \text{ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลอน ; m/s}$$

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลอน ; m}$$

เมื่อกำหนดให้อนุภาคในแก๊สเป็นทรงกลม ดังนั้นจากสมการที่ (2.8) และ (2.10) จะได้

$$d_{50} = \frac{3}{V_i \phi} \sqrt{\frac{\mu D_e Q}{2\pi D \rho_p (H-s)}} \quad (2.11)$$

โดยที่

$$\phi = \text{friction loss factor ; ไม่มีหน่วย}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi = \frac{\sqrt{D_e/2(D-b)} + \sqrt{[D_e/2(D-b)] + (4\Gamma A/ab)}}{2\Gamma A/ab} \quad (2.12)$$

A = พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของแก๊สในไซโคลน ; m²

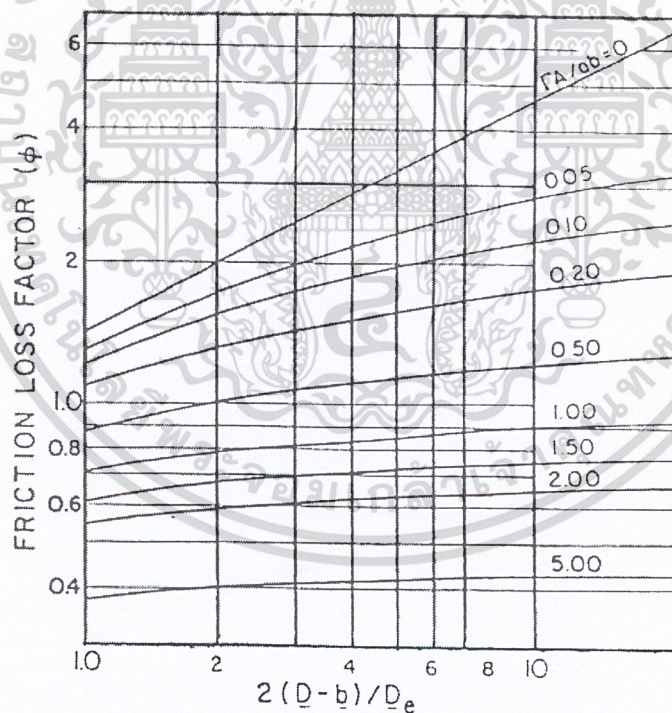
$$= \frac{\pi}{4}(D^2 - D_e^2) + \pi Dh + \pi D_e S + \frac{\pi}{S}(D+B) \left[(H-h)^2 + \left(\frac{D-B}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.13)$$

เมื่อ

- a = ความสูงที่ทางเข้าของไซโคลน ; m
 b = ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลน ; m
 Γ = ค่าคงที่การเสียดทาน = 0.005 (สำหรับแก๊สในไซโคลน) ; ไม่มี

หน่วย

หรืออาจพิจารณาค่า friction loss factor จากรูปที่ 2.3 ก็ได้

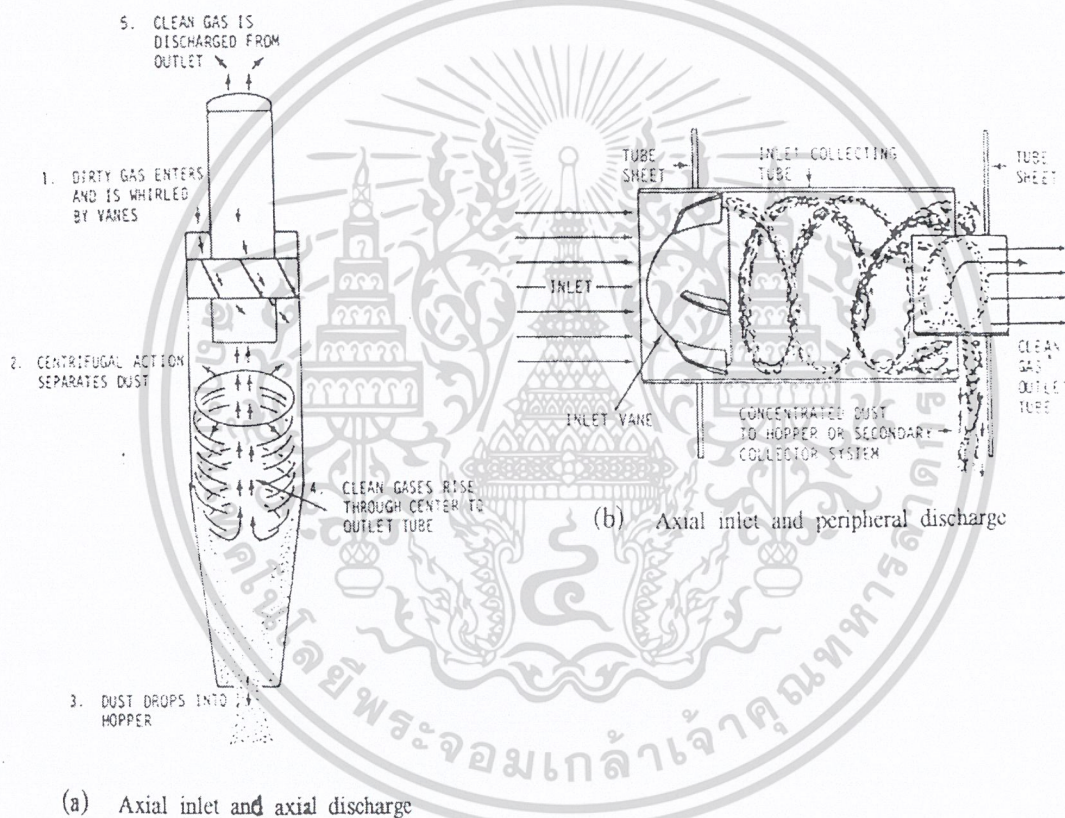


รูปที่ 2-3 กราฟแสดงค่า friction loss factor; (ϕ) ของไซโคลนขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 แบบไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet type)

ดังรูปที่ 2.5 แสดงถึงไซโคลอนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet type) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ (a) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge) และ (b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge) ในปัจจุบันไซโคลอนแบบแก๊สไหลเข้าในแนวแกนนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เพราะเนื่องจากจะต้องมีการออกแบบใบพัด (Vane) ให้มีมุมและจำนวนของใบพัดที่เหมาะสมกับงานนั้นรวมทั้งต้องมีการบำรุงรักษาที่ดีและต้องระวังการเกิดการสะสมของอนุภาคที่บริเวณใบพัดซึ่งอาจทำให้ไซโคลอนนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำลงหรืออาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อไซโคลอนได้



รูปที่ 2-4 แสดงไซโคลอนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet)

(a) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge)

(b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความดันสูญเสียในไซโคลน (Pressure loss in Cyclone)

ความดันสูญเสียในไซโคลน อาจเกิดได้จากอิทธิพลต่าง ๆ ดังนี้

- 2.2.1 การสูญเสียเนื่องจากการขยายตัวหรือการอัดตัวของแก๊สขณะผ่านเข้าสู่ไซโคลน
- 2.2.2 การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ผนังของไซโคลน
- 2.2.3 การสูญเสียเนื่องจากพลังงานจลน์ของการหมุน (kinetic energy of rotation) ในการเกิดกระแสหมุนวน (vortex)
- 2.2.4 การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อทางออกของแก๊ส
- 2.2.5 การสูญเสียเนื่องจากการลดลงของพื้นที่หน้าตัดขณะทีแก๊สผ่านท่อทางออก
- 2.2.6 การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุน (rotation energy) เป็นพลังงานความดัน (pressure energy) ในท่อทางออก

การสูญเสียความดันของไซโคลนเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุนเป็นพลังงานความดันในท่อทางออก; (ΔP) จะเป็นการสูญเสียหลักของไซโคลน สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสำหรับการออกแบบตามมาตรฐานของไซโคลนด้วยวิธีของ Stairmand มีดังนี้

$$\Delta P = \frac{\rho_g}{2g\rho_l} \left(v_i^2 \left\{ 1 + 2\phi^2 \left[\frac{2(D-b)}{D_e} - 1 \right] \right\} + 2v_e^2 \right) \quad (2.14)$$

โดยที่

$$v_e = \begin{aligned} & \text{ความเร็วของแก๊สในท่อทางออกของไซโคลน; m/a} \\ & = \frac{4Q}{\pi D_e^2} \end{aligned} \quad (2.15)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \Delta P &= \text{ความดันสูญเสียในไซโคลน ; m} \\ \rho_g &= \text{ความหนาแน่นของแก๊สที่ผ่านไซโคลน ; kg/m}^3 \\ \rho_l &= \text{ความหนาแน่นของของเหลวที่ใช้ในมานอมิเตอร์รูปตัว U ; kg/m}^3 \\ Q &= \text{อัตราการไหลของแก๊ส ; m}^3 / \text{s} \\ G &= \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; m / s}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.4) จะประกอบไปด้วย ความดันสูญเสียที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน, ความดันสูญเสียภายในไซโคลน และความดันสูญเสียที่บริเวณทางออกของไซโคลน สำหรับค่า friction loss factor; (ϕ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่(2.12) หรือสามารถอ่านค่าได้จากรูปที่ 2.3

2.3 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน (Efficiency of Cyclone)

ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน หมายถึง อัตราส่วนของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บไว้ได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในไซโคลน โดยตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน ได้แก่ความเร็วของแก๊สที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน, การกระจายขนาดของอนุภาค, อุณหภูมิของแก๊ส เป็นต้น สำหรับสมการที่นิยมใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคของไซโคลนคือ สมการของ Leith and Licht ซึ่งสามารถใช้ได้กับทุกมาตรฐานการออกแบบของไซโคลน โดยสมการจะอยู่ในรูป

$$\eta = 1 - \exp\left[-2(c\phi)^{1/(2\gamma+2)}\right] \quad (2.16)$$

โดยที่

$$C = \text{cyclone geometric parameter}$$

$$= \frac{\pi D^2}{ab} \left\{ 2 \left[1 - \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 \right] \left(\frac{S}{D} - \frac{a}{2D} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{S+l-h}{D} \right) \left[1 + \frac{d}{D} + \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] + \frac{h}{D} - \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 \frac{l}{D} - \frac{S}{D} \right\} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$$\frac{l}{D} = 2.3 \frac{D_e}{D} \left(\frac{D^2}{ab} \right)^{1/3}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{D - (D - B)(S + l - h)/(H - h)}{D}$$

$$\gamma = \text{cyclone vortex exponent}$$

$$\gamma = 1 - \left[1 - \frac{(39.4D)^{0.14}}{2.5} \right] \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

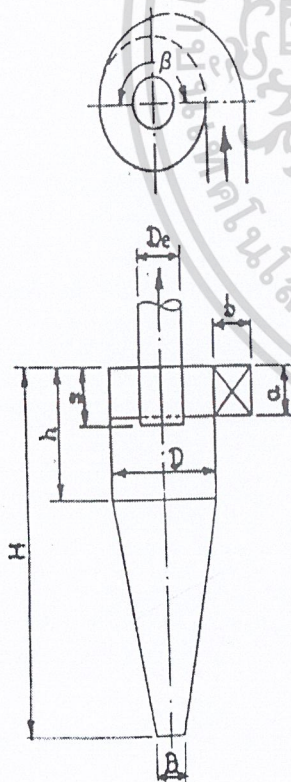
φ = cyclone inertia parameter

$$\varphi = \frac{\rho_p d_p^2 v_i}{18 \mu d} (\gamma + 1) \quad (2.19)$$

เมื่อ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊สที่ทางเข้าไซโคลน ; K
 B = เส้นผ่าศูนย์กลางที่บริเวณทางออกของอนุภาค ; m
 H = ความยาวทรงกระบอกของไซโคลน ; m

ตารางที่ 2-1 แสดงสัดส่วนมาตรฐานการออกแบบไซโคลนค่าต่าง ๆ เป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน



Symbol	Nomenclature	High efficiency		Conventional	
		Stairmand (1951)	Swift (1969)	Lapple (1967)	Swift (1969)
D	Body diameter	1.0	1.0	1.0	1.0
a	Inlet length	0.5	0.44	0.5	0.5
b	Inlet width	0.2	0.21	0.25	0.25
S	Outlet length	0.5	0.5	0.625	0.6
D _c	Outlet diameter	0.5	0.4	0.5	0.5
h	Cylinder length	1.5	1.4	2.0	1.75
H-h	Cone length	2.5	2.5	2.0	2.0
H	Overall height	4.0	3.9	4.0	3.75
B	Bottom diameter	0.375	0.4	0.25	0.4
G	Configuration factor	551.3	699.2	402.9	381.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

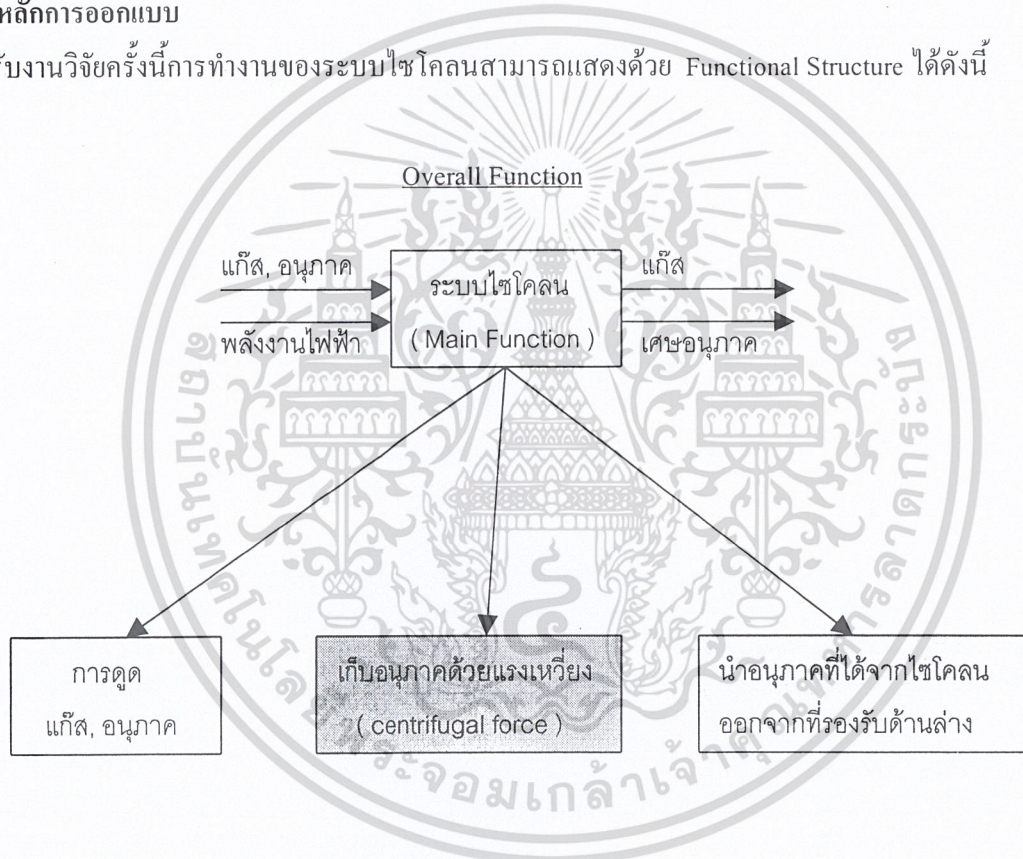
การออกแบบและการคำนวณ

ในการดำเนินการจัดสร้างระบบไซโคลอนนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อที่จะลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

- 3.1 หลักการออกแบบ
- 3.2 หลักการคำนวณ
- 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1 หลักการออกแบบ

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้การทำงานของระบบไซโคลอนสามารถแสดงด้วย Functional Structure ได้ดังนี้



จากแผนภาพแสดง Function Structure จะเห็นว่าในการทำงานของไซโคลอนนี้จะต้องใส่พลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบเพื่อที่จะให้เกิดการดูดแก๊สที่มีอนุภาคปะปนอยู่เข้าสู่กระบวนการคัดการแยกอนุภาคออกจากแก๊สโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในไซโคลอนจากนั้นจึงปล่อยแก๊สที่สะอาดแล้วออกสู่บรรยากาศ ในกระบวนการลดปริมาณอนุภาคสำหรับงานวิจัยครั้งนี้สามารถพิจารณาได้จาก Sub - Function ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การดูดแก๊สและอนุภาค

การใช้ระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ที่สร้างขึ้นนี้จะใช้งานไปพร้อมกับการทำงานของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกดูดเข้าสู่กระบวนการดักเก็บอนุภาคด้วยไซโคลนโดยใช้พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) ที่มีแรงดันสูงเป็นอุปกรณ์หลักในการทำงานซึ่งจะดูดอากาศที่บริเวณทางออกของระบบไซโคลน พัดลมดูดอากาศที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นพัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า และสามารถต่อไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับขั้วต่อไฟฟ้าของมอเตอร์ได้แบบต่อตรง ทั้งนี้พัดลมที่จะใช้ในการดูดแก๊สเข้าสู่ระบบควรจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. พัดลมควรมีอัตราการดูดอากาศสอดคล้องกับค่าอัตราการไหลของแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้
2. แก๊สที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบควรมีความเร็วสูงมากพอที่จะสามารถพาอนุภาคเข้ามาพร้อมกับการไหลของแก๊สนั้น
3. พัดลมควรมีแรงดันมากพอที่จะเอาชนะแรงเสียดทานและแรงต้านต่าง ๆ จากระบบท่อและระบบไซโคลนได้

3.1.2 การดักเก็บอนุภาคด้วยไซโคลน

ในขณะที่พัดลมดูดอากาศทำงานนั้นแก๊สที่ถูกดูดจะมีความเร็วค่าหนึ่งซึ่งมากพอที่จะทำให้อนุภาคสามารถเคลื่อนที่มาพร้อมกับแก๊สได้ และอนุภาคที่ถูกดูดมากับแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้นั้นมีหลายขนาดปะปนกัน การไหลของแก๊สที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนทิศทางไปตามรูปร่างของท่อและรูปทรงของไซโคลน ในขณะที่มีการเปลี่ยนทิศทางนั้นอนุภาคจะวิ่งไปชนผนังของท่อและเข้าสู่ระบบไซโคลน อนุภาคบางส่วนจะตกลงสู่ที่รองรับ (hopper) ด้านล่างโดยอาศัยหลักการหมุนวนของแก๊สทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊สนั้นและด้วยน้ำหนักของตัวเอง ทั้งนี้การดักเก็บอนุภาคจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับรูปทรงมาตรฐานของไซโคลนในแบบต่าง ๆ ด้วย ในการวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเลือกใช้มาตรฐานการออกแบบไซโคลนด้วยวิธีของ Stairmand ซึ่งเป็นไซโคลนแบบที่มีทางเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet type) ชนิด High efficiency, medium throughput ดังรูปที่ 2.4 (a) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลนเท่ากับ 320.0 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กแผ่น (steel plate) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หนา 3.5 มิลลิเมตร ขนาด 0.48×0.1675 ตารางเมตร ม้วนเป็นทรงกระบอกกับเหล็กแผ่น (steel plate) รูปสี่เหลี่ยมคางหมู หนา 3.5 มิลลิเมตร ขนาด 0.176 ตารางเมตร ม้วนเป็นรูปทรงกรวยแล้วนำมาเชื่อมต่อกันให้เป็นไซโคลน ส่วนตรงบริเวณทางเข้าของไซโคลนมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 0.16×0.064 ตารางเมตรดังรูปที่ 3.1 แสดงสัดส่วนต่าง ๆ ของไซโคลน สำหรับรายละเอียดในการคำนวณของการออกแบบจะได้กล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การนำอนุภาคออกจากที่รองรับ (hopper) ด้านล่าง

หลังจากแก๊สที่มีอนุภาคผ่านเข้าสู่ระบบไซโคลอนแล้วอนุภาคส่วนหนึ่งที่มีขนาดแตกต่างกันจะตกลงสู่ที่รองรับด้านล่างด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) แล้วอนุภาคบางส่วนที่ไซโคลอนไม่สามารถดักเก็บไว้ได้ก็จะติดไปกับอากาศที่ถูกดูดกลับขึ้นไปตามท่อขับเพื่อเข้าไปที่อบายพาสนำก๊าซกลับเข้าไซโคลอนใหม่อีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะปล่อยแก๊สนั้นออกสู่บรรยากาศจากนั้นนำอนุภาคที่ไซโคลอนดักเก็บได้ไปทำการวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาค

3.2 หลักการคำนวณ

การคำนวณเพื่อการออกแบบระบบไซโคลอนได้พิจารณาเลือกใช้ไซโคลอนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) ชนิด High efficiency, medium throughput ของ Stairmand ซึ่งอ้างอิงจากตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนมาตรฐานการออกแบบของไซโคลอน โดยสามารถพิจารณาระบบออกเป็นช่วงต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 ระบบท่อจากเตาเผาผลฝอย

จากปล่องไฟ (stack) ของเตาเผาผลฝอยแบบฟลูเอชไอซ์เบดซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 260.0 มิลลิเมตร ($\cong 10''$) ดังตารางที่ ค-4 แสดงขนาดของท่อลด ตามมาตรฐาน JIS B 2311 SGP เป็นตัวเชื่อมต่อกับท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 114.5 มิลลิเมตร ($\cong 4''$) ที่บริเวณก่อนทางเข้าไซโคลอน

โดยพิจารณาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของอนุภาคที่บริเวณฝาครอบปล่องไฟ (hood) ต่อกับท่อลดขนาด (reducer) ซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดได้ 0.05 ตารางเมตร โดยใช้ตารางที่ ค-1 พิจารณาเลือกค่าความเร็วจับ (capture velocity) หรือความเร็วควบคุม (control velocity) เท่ากับ 6.0 m/s ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \\ Q &= vA & (3.1) \\ Q &= (6.0 \times 0.05) \\ Q &= 0.3 \quad m^3/s \end{aligned}$$

และจากตารางที่ ค-2 พิจารณาเลือกความเร็วภายในท่อก่อนทางเข้าไซโคลอน = 29.0 m/s ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อบริเวณก่อนทางเข้าไซโคลอน ; D_i จะมีค่าเท่ากับ

จาก

$$Q = v_i A_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_i = \left(0.3 / 29.0 \right)$$

$$A_i = 0.0103 \quad m^2$$

ดังนั้น

$$D_i = \sqrt{(4 \times A_i) / \pi}$$

เมื่อ

$$D_i = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อบริเวณทางเข้าไซโคลน ; m.}$$

$$V_i = \text{ความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าไซโคลน ; m / s}$$

$$A_i = \text{พื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าไซโคลน ; m}^2$$

$$\therefore D_i = \sqrt{(4 \times 0.0103) / \pi}$$

$$D_i = 114.5 \quad mm.$$

3.2.2 ระบบท่อทางเข้าสู่ไซโคลน

ในการออกแบบระบบไซโคลนโดยทั่วไปเนื่องจากต้องการให้ระบบสามารถทำงานได้สูงกว่าจุดทำงาน ($Q = 0.3 m^3 / s$) ที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศที่จะใช้ในการคำนวณความดันสูญเสีย (pressure loss) ของระบบและการออกแบบมอเตอร์ของพัดลมจะพิจารณาอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นจากจุดทำงานเดิมอีก 10% ดังนั้น

$$Q = (1.1 \times 0.3)$$

$$Q = 0.33 \quad m^3 / s$$

เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่าเท่ากับ $0.33 \quad m^3 / s$ ดังนั้นความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าไซโคลน มีค่าเท่ากับ

จาก

$$V_i = Q / A_i$$

$$V_i = (0.33 / 0.0103)$$

$$V_i = 32.04 \quad m / s$$

จากตารางที่ ข-3 พิจารณาความเร็วของอากาศให้อยู่ในรูปความเร็วเนื่องจากความดัน (Velocity Pressure) ดังนั้นจะได้ $(VP)_i = 62.78 \quad mmH_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระบบท่อทางเข้าไซโคลนเป็นท่อกลมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; $D_i = 114.5$ มิลลิเมตร
ความเร็วทางเข้าไซโคลน; $V_i = 32.04 \text{ m/s}$

จากรูปที่ ค-1 จะได้ค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ (friction loss inside duct ; f_d) เท่ากับ $10.5 \text{ (mmH}_2\text{O)}/\text{m}$ ที่ความยาวของท่อ = 2.3 เมตร ดังนั้นความดันสูญเสียภายในท่อก่อนทางเข้าไซโคลน; $(h_f)_i$ มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}(h_f)_i &= (10.5 \times 2.00) \\ (h_f)_i &= 21 \text{ mm.H}_2\text{O}\end{aligned}$$

จากตารางที่ ค-3 พิจารณาข้องอ (round elbow) ที่ค่า $(R/D) = 1.5$ จะมีค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (friction loss in elbow ; f_{el}) เท่ากับ 0.39 (VP)_i ดังนั้นความดันสูญเสียในข้องอก่อนทางเข้าไซโคลน ; $(h_{el})_i$ มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}(h_{el})_i &= (0.39 \times 62.78) \\ (h_{el})_i &= 24.5 \text{ mmH}_2\text{O}\end{aligned}$$

3.2.3 ตัวไซโคลน

จากตารางที่ 2.1 พิจารณาเลือกมาตรฐานการออกแบบไซโคลนชนิด High efficiency ของ Stairmand โดยที่พื้นที่หน้าตัดของท่อก่อนทางเข้าไซโคลนจะเท่ากับพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าไซโคลน นั่นคือ

$$A_i = (a \times b) = 0.0103 \text{ m}^2$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน : (D) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จาก } a &= 0.5D \\ b &= 0.2D \\ \therefore (a \times b) &= (0.5D \times 0.2D) \\ (a \times b) &= 0.0103 \text{ m}^2\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}D &= \sqrt{0.0103 / (0.5 \times 0.2)} \\ D &= 320.0 \text{ mm.}\end{aligned}$$

ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนต่างๆ ของไซโคลนสามารถคำนวณได้ดังนี้

a/D	=	0.5;	a	=	(0.5×320.0)	=	160.0	mm.
b/D	=	0.2;	b	=	(0.2×320.0)	=	64.0	mm.
S/D	=	0.5;	S	=	(0.5×320.0)	=	160.0	mm.
D_e/D	=	0.5;	D_e	=	(0.5×320.0)	=	160.0	mm.
h/D	=	1.5;	h	=	(1.5×320.0)	=	480.0	mm.
H/D	=	4.0;	H	=	(4.0×320.0)	=	1280.0	mm.
B/D	=	0.375;	B	=	(0.375×320.0)	=	120.0	mm.

เมื่อ

D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน ; mm.
a	=	ความสูงบริเวณทางเข้าของไซโคลน ; mm
b	=	ความกว้างบริเวณทางเข้าของไซโคลน ; mm.
S	=	ความยาวของท่อทางออกในไซโคลน ; mm.
D_e	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อทางออกของไซโคลน ; mm.
h	=	ความยาวทรงกระบอกของไซโคลน ; mm.
H	=	ความยาวทั้งหมดของไซโคลน ; mm.
B	=	เส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณทางออกของอนุภาค ; mm.

พิจารณาค่าความดันสูญเสีย (pressure loss) ของไซโคลน; (ΔP_c) ด้วยวิธีของ Stairmand จากสมการที่ (2.14) จะได้

$$\Delta P_c = \frac{\rho_g}{2g\rho_l} \left(V_i^2 \left\{ 1 + 2\phi^2 \left[\frac{2(D-b)}{D_e} - 1 \right] \right\} + 2V_e^2 \right) \quad (2.14)$$

เมื่อ

V_e	=	ความเร็วของแก๊สในท่อทางออกของไซโคลน ; m/s
A	=	พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของแก๊ส ; m^2
ϕ	=	friction loss factor ; ไม่มีหน่วย

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_i = \frac{Q}{a \times b} = \frac{0.33}{(0.0103)} = 32.04 \text{ m/s}$$

$$V_e = \frac{4Q}{\pi D_e^2} = \frac{(4 \times 0.33)}{(\pi \times (0.16)^2)} = 16.41 \text{ m/s}$$

$$A = \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - D_e^2) + \pi D h + \pi D_e S + \frac{\pi}{2} (D + B) \left[(H - h)^2 + \left(\frac{D - B}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (2.13)$$

$$A = \left\{ \frac{\pi}{4} ((0.32)^2 - (0.16)^2) + (\pi \times 0.32 \times 0.48) + (\pi \times 0.16 \times 0.16) \right. \\ \left. + \frac{\pi}{2} (0.32 + 0.12) \left[(1.28 - 0.48)^2 + \left(\frac{0.32 - 0.12}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$A = 1.18 \text{ m}^2$$

$$\phi = \frac{\left[-\sqrt{D_e / 2(D - b)} + \sqrt{(D_e / 2(D - b)) + (4\Gamma A / ab)} \right]}{2\Gamma A / ab} \quad (2.12)$$

$$= \frac{\left[-\sqrt{0.16 / 2(0.32 - 0.064)} + \sqrt{(0.16 / 2(0.32 - 0.064)) + ((4 \times 0.005 \times 1.18) / (0.16 \times 0.064))} \right]}{\left((2 \times 0.005 \times 1.18) / (0.16 \times 0.064) \right)}$$

$$\phi = 0.92$$

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการที่ (2.14) จะได้

$$\Delta P_c = \left(\frac{1.2}{2 \times 9.81 \times 100} \right) \left((32.04)^2 \left\{ 1 + 2(0.92)^2 \left[\frac{2(0.32 - 0.064)}{0.16} - 1 \right] \right\} + 2(16.41)^2 \right)$$

$$\Delta P_c = 329.55 \text{ mmH}_2\text{O}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ระบบท่อทางออกจากไซโคลน

เมื่ออัตราการไหลของอากาศ มีค่าเท่ากับ $0.33 \text{ m}^3/\text{S}$ ดังนั้นความเร็วภายในท่อทางออกของไซโคลน ; (V_e) จะมีค่าเท่ากับ

จาก

$$V_e = \frac{Q}{(\pi/4)D_e^2}$$

$$V_e = \frac{0.33}{(\pi/4) \times (0.16)^2}$$

$$V_e = 16.41 \text{ m/S}$$

จากตารางที่ ค-2 พิจารณาความเร็วของอากาศให้อยู่ในรูปความเร็วเนื่องจากความดัน (Velocity Pressure) ดังนั้นจะได้ $(VP)_e = 16.47 \text{ mmH}_2\text{O}$ เนื่องจากระบบท่อทางออกจากไซโคลนเป็นท่อกลม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออก ; $D_e = 160.0$ มิลลิเมตร และพิจารณาความเร็วภายในท่อทางออกจากไซโคลนที่ $V_e = 16.41 \text{ m/S}$ จากรูปที่ ช-1 จะได้ค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ (friction loss inside duct ; f_e) เท่ากับ $2.3 \text{ mmH}_2\text{O} / \text{m}$ ที่ความยาวของท่อทั้งหมด = 6.59 เมตร ดังนั้นความดันสูญเสียภายในท่อทางออกจากไซโคลน ; $(h_f)_e$ มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} (h_f)_e &= (2.3 \times 6.59) \\ (h_f)_e &= 15.16 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

จากตารางที่ ค-3 พิจารณาข้องอ (round elbow) ที่ค่า $(R/D) = 1.5$ จะมีค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (friction loss in elbow ; f_{el}) เท่ากับ $0.39 (VP)_e$ ซึ่งระบบท่อทางออกจากไซโคลนจนถึงทางเข้าของพัดลมจะมีข้องอทั้งหมด 3 ชิ้น ดังนั้นความดันสูญเสียในข้องอของระบบท่อทางออกจากไซโคลน ; $(h_{el})_e$ มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} (h_{el})_e &= (3 \times 0.39 \times 16.47) \\ (h_{el})_e &= 19.27 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

ดังนั้นความดันสูญเสียของทั้งระบบ ; $(\Delta P)_{total}$ จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}(\Delta P)_{total} &= (VP)_i + (h_f)_i + (h_e)_i + (\Delta P)_c + (VP)_c + (h_f)_e + (h_e)_e \quad (3.2) \\(\Delta P)_{total} &= (62.78 + 24.15 + 24.5 + 329.55 + 16.47 + 15.16 + 19.27) \\(\Delta P)_{total} &= 492.0 \text{ mmH}_2\text{O}\end{aligned}$$

ในบางส่วนของระบบที่ไม่ทราบค่าความดันสูญเสีย ดังนั้นจะพิจารณาเพิ่มขึ้นจากจุดทำงานของระบบอีก 10% จะได้

$$\begin{aligned}(\Delta P)_{total} &= (1.1 \times 492.0) \\(\Delta P)_{total} &= 541.2 \text{ mmH}_2\text{O}\end{aligned}$$

3.2.5 ระบบพัดลม

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) จากค่าอัตราการไหล; (Q) และค่าความดันสูญเสียรวม ; $(\Delta P)_{total}$ ของระบบจะสามารถหาขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการใช้ในการขับพัดลมได้จาก

$$(\text{power})_{motor} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot (\Delta P)_{total}}{\eta_{ov}} \quad (3.3)$$

เมื่อ

$$\eta_{ov} = \text{Overall Efficiency ของพัดลม} = 85\%$$

ดังนั้น

$$(\text{power})_{motor} = \frac{(1000 \times 9.81 \times 0.33 \times 0.5412)}{(0.85 \times 746)}$$

$$(\text{power})_{motor} = 2.76 \text{ แรงม้า}$$

∴ พิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ของพัดลมขนาด 3 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 2800 rpm.



รูปที่ 3.1 แสดงสัดส่วนต่างๆ ของไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองที่ใช้สามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ระบบที่ใช้ในการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.3.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ตัวไซโคลน ระบบวัดอัตราการไหล พัดลมดูดอากาศ วาล์วควบคุมความเร็วที่ทางออก ตัวป้องกันการฟุ้งของฝุ่น พัดลมเป่าเพื่อไล่ฝุ่น

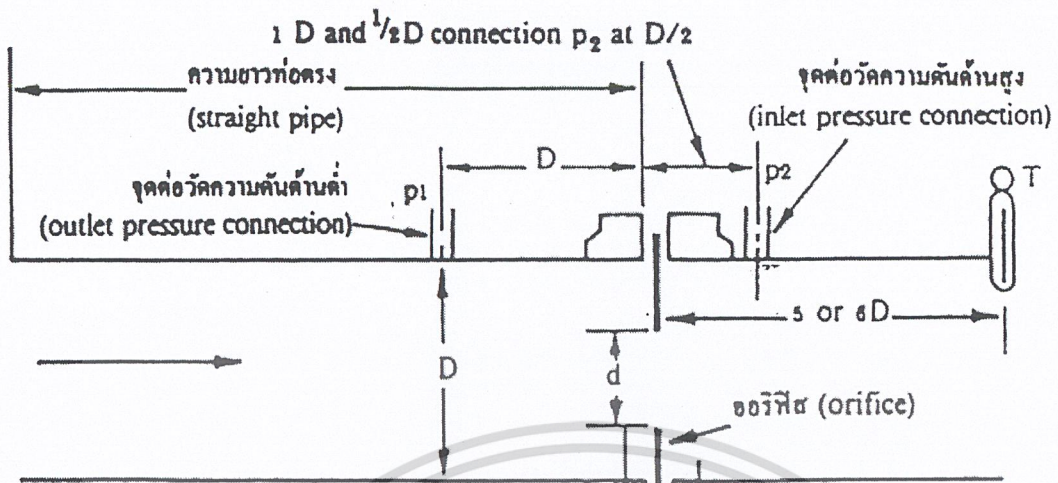
3.3.1.1 ตัวไซโคลน

ตัวไซโคลนเป็นอุปกรณ์หลักในการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งต่ออยู่กับเตาเผาแบบพลูเอคโคไซด์เบด โดยมีรายละเอียดหลักการคำนวณเพื่อการออกแบบแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 3.1 และหัวข้อที่ 3.2

3.3.1.2 ระบบวัดอัตราการไหล

ในการวัดอัตราการไหลของแก๊สที่ทางเข้าและทางออกของไซโคลนได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ (Orifice plate) ของสถาบันมาตรฐานประเทศญี่ปุ่นโดยกล่าวว่า ความดันลดที่ผ่านแผ่นออริฟิซนี้จะสามารถอ่านได้จากमानอมิเตอร์รูปตัว U ในรูปของความสูงแตกต่างของระดับของของเหลวที่บรรจุอยู่ในमानอมิเตอร์ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลของแก๊สเป็นหน่วยมวลต่อเวลาได้ ดังภาคผนวก ก แสดงการหาอัตราการไหลของแก๊ส สำหรับที่บริเวณทางเข้าไซโคลนใช้แผ่นออริฟิซที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง; $d_i = 65.5$ มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง; $D_i = 114.5$ มิลลิเมตร โดยต่อจุดวัดเข้ากับमानอมิเตอร์ที่ตำแหน่ง $D, D/2$ ส่วนบริเวณทางออกไซโคลนใช้แผ่นออริฟิซที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง; $d_e = 84.5$ มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง; $D_e = 160.0$ มิลลิเมตร โดยต่อจุดวัดเข้ากับमानอมิเตอร์ที่ตำแหน่ง $D, D/2$ เช่นกัน ดังรูปที่ 3.3 แสดงระบบวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิซ ชนิด $D, D/2$ tapping

vena contracta connections: p_2 at vena contracta



จุดต่อหน้าแปลน (flange connection)

รูปที่ 3-2 แสดงระบบวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นอริฟิส ชนิด D , $D/2$ tapping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 พัฒลมดุดอากาศแบบแรงเหวี่ยง

พัฒลมดุดอากาศแบบแรงเหวี่ยงเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับดูดแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จาเตาเข้าสู่ระบบไซโคลน ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ต่อเข้ากับขั้วต่อไฟฟ้าของมอเตอร์ได้แบบต่อตรง

3.3.1.4 วาล์วปีกผีเสื้อ

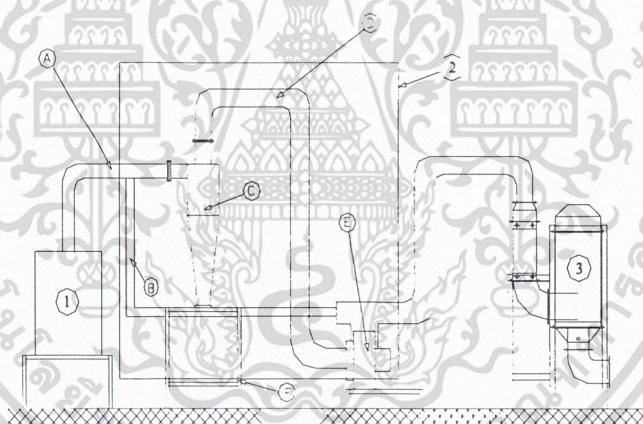
วาล์วปีกผีเสื้อมีไว้เพื่อควบคุมความเร็วที่ทางออกของไซโคลนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 มิลลิเมตร เป็นตัวปรับความเร็วเพื่อการทดลองที่ความเร็ว ณ จุดต่าง ๆ ที่กำหนด

3.3.1.5 ตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น

เป็นตัวที่ติดตั้งที่ด้านล่างทางออกของไซโคลนเพื่อเป็นตัวเก็บฝุ่นก่อนที่จะปล่อยฝุ่นลงสู่ถังที่รองรับเพื่อไม่ให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจายภายในไซโคลนโดยด้านในมีใบพัดเพื่อเป็นตัวหมุนเมื่อน้ำหนักของฝุ่นมีน้ำหนักมากก็จะปล่อยฝุ่นลงสู่ที่รองรับ

3.3.1.6 พัฒลมเป่าอากาศ

พัฒลมเป่าอากาศตัวนี้มีขนาดแรงม้า ประมาณ 1.5 แรงม้าที่ความเร็วรอบประมาณ 2800 รอบต่อนาทีโดยเป็นตัวที่ใช้ทดลองในกรณีที่ไม่ได้ต่อไซโคลนเข้ากับเตาเผาเพื่อหาประสิทธิภาพของไซโคลน ณ ที่ความเร็วต่าง ๆ



รูปที่ 3-3 แสดงระบบรวมของไซโคลน

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. เตาเผาแบบฟลูเอคไคเบด | A = Inlet duct cyclone |
| 2. ระบบไซโคลน | B = Bypass duct cyclone |
| 3. เครื่องกำจัดฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวลโดยใช้น้ำ | C = Cyclone |
| D = Outlet duct cyclone | E = Fan with outlet duct cyclone |
| F = Table | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



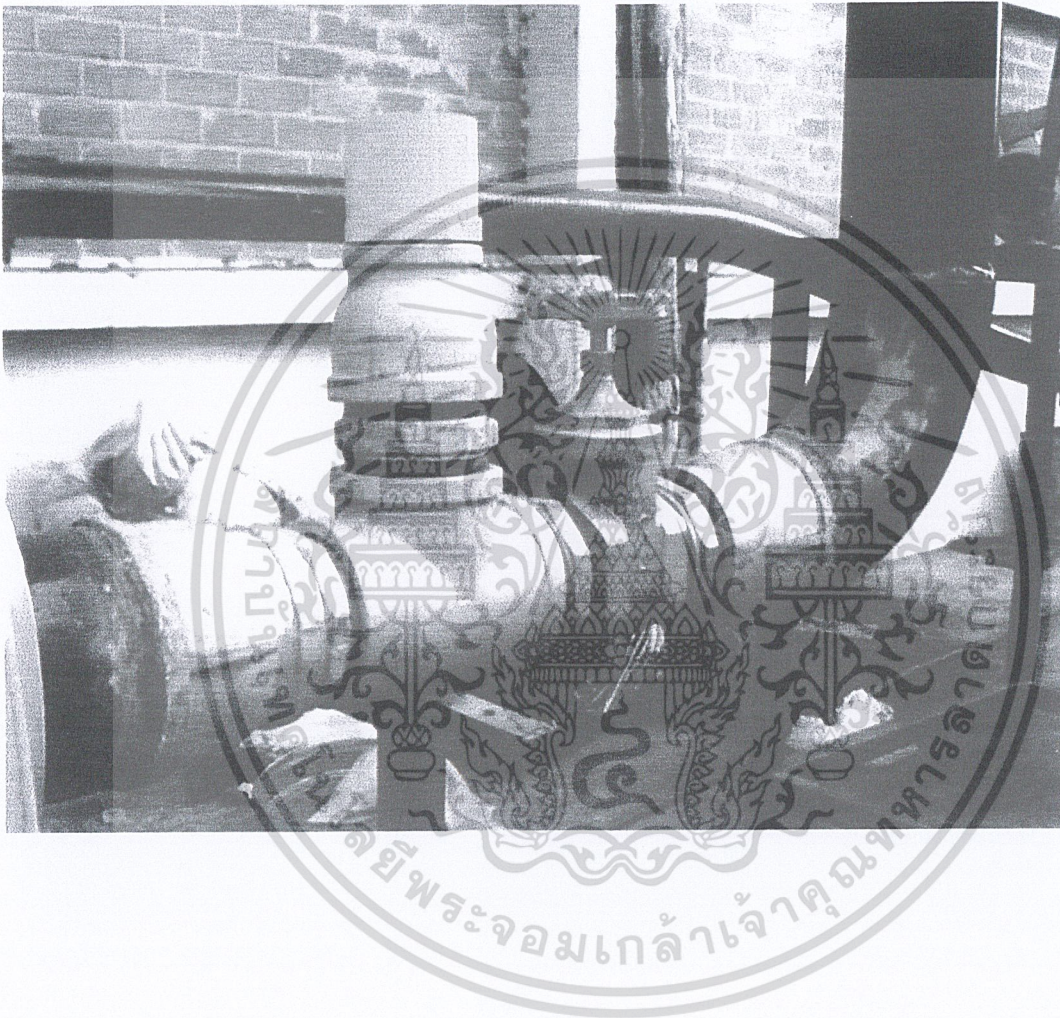
รูปที่ 3-4 แสดงตัวไอโคลอนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 แสดงพัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 3 แรงม้าที่
ความเร็วรอบ 2800 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6 แสดงว่าลั่วควบคุมความเร็วที่ทางออกของไซโคลอนเป็นว่าลั่วปีกผีเสื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

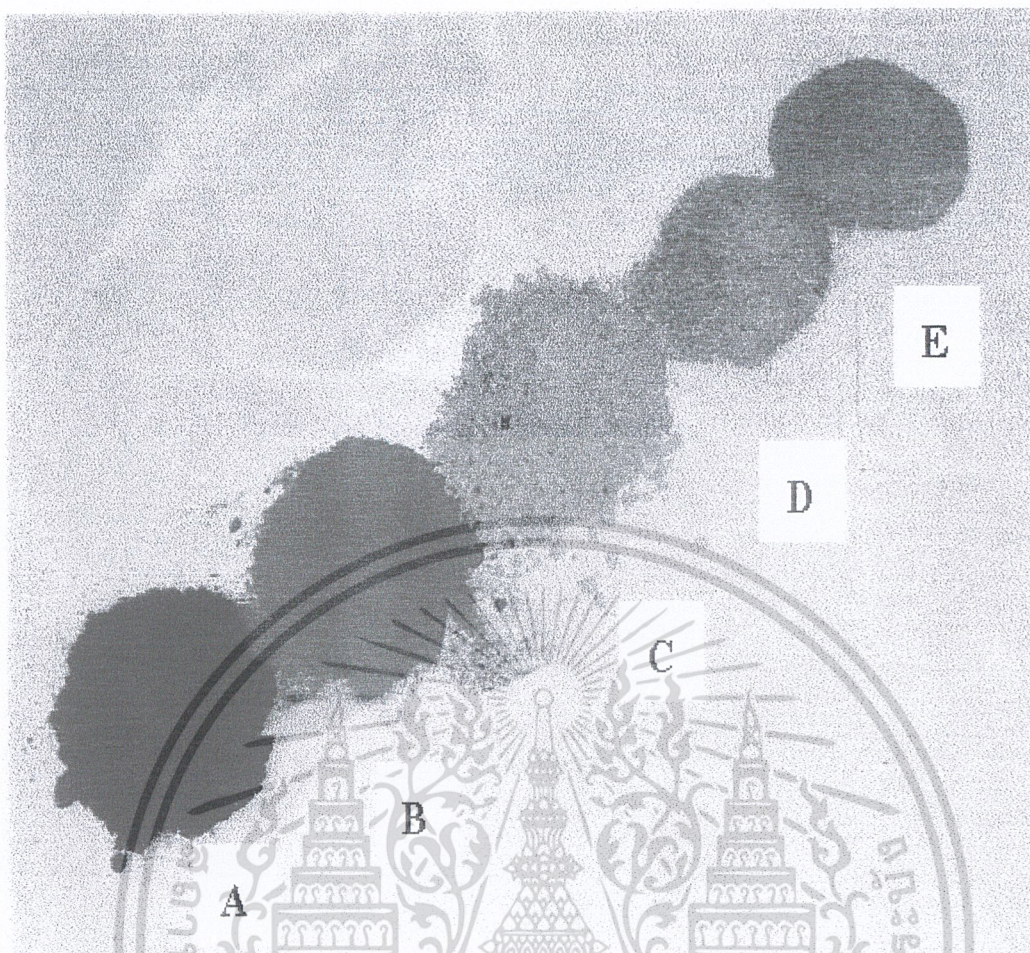
130 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 แสดงตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่ทางออกของไซโคลน

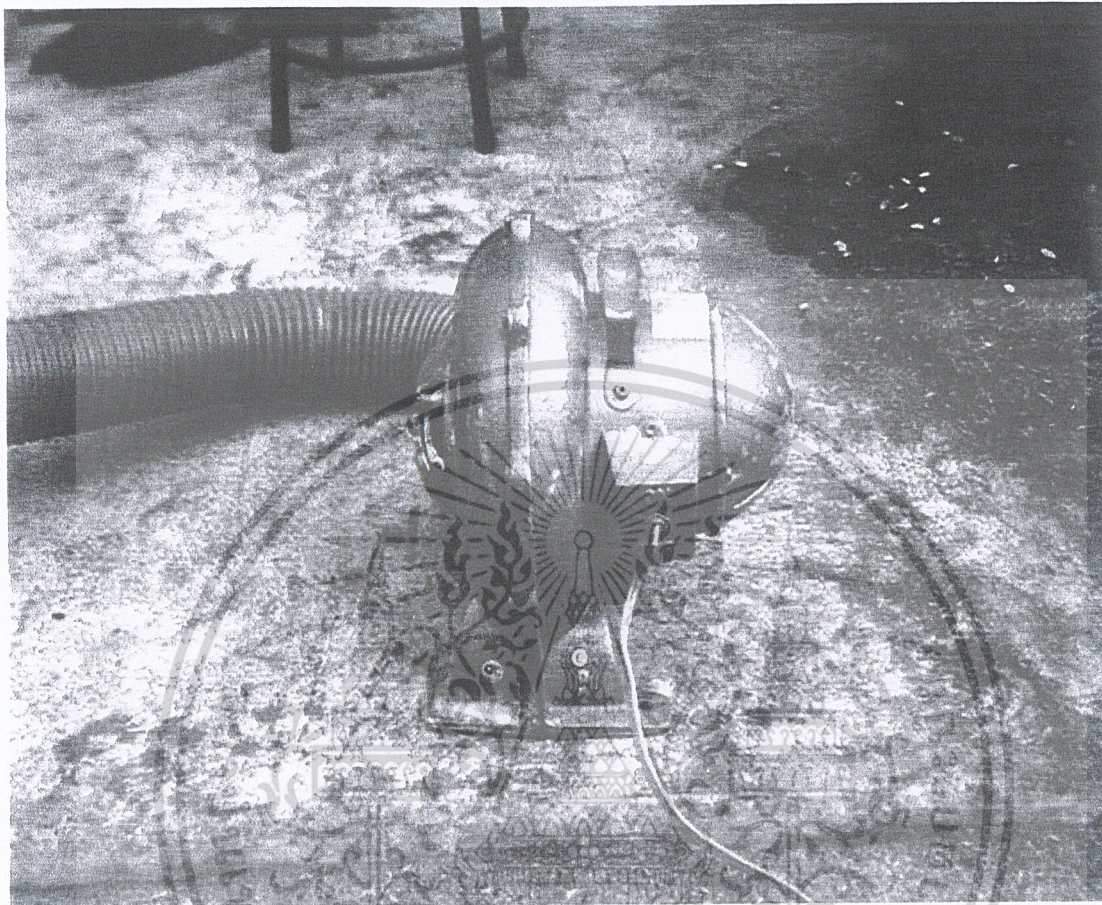
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-8 แสดงลักษณะของฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

A = แกลบเผา B = กากมะพร้าว C = กระดาษเผา D = แกลบ E = ทรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-9 แสดงพัดลมเป่าอากาศเพื่อใช้ในการทดสอบ ขนาด 1.5 แรงม้าที่ 2800 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลองและวิธีการทดลอง

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 อัตราการไหลของอากาศ (Q)

ในการทดลองเมื่อทราบค่า h จากमानอมิเตอร์ ก็จะสามารถคำนวณหาค่า Q ได้ดังสมการภาคผนวก ก และทำการปรับวาล์วเพื่อให้ได้ความเร็วของอากาศตามที่กำหนด

4.1.2 ชนิดของอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง

อนุภาคที่ทดลอง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ขนาดของอนุภาค (mm)	ขนาดเปรียบเทียบ
แกลบเผา	147.619	--	หยาบ
กากมะพร้าว	195.238	ตะแกรงร่อนขนาด 0.8×0.8	ละเอียดมาก
กระดาษเผา	290.476	--	ละเอียดที่สุด
แกลบ	338.095	--	หยาบมาก
ทราย	1719.048	ตะแกรงร่อนขนาด 0.8×0.8	ละเอียด

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกของไซโคลนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยที่ไม่เปิดวาล์วบายพาส

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมทำการทดลอง
 - 1.1 ตรวจสอบระดับน้ำใน manometer และต้องให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่วตามจุดต่างๆ
 - 1.2 ติดตั้งถังรองรับฝุ่น
 - 1.3 นำฝุ่นแต่ละชนิดไปชั่งน้ำหนัก
 - 1.4 ตรวจสอบเช็ควาล์วบายพาสอยู่ในตำแหน่งที่ปิดสนิท
2. เปิดพัดลมดูดอากาศให้ทำงาน
3. เปิดพัดลมเป่าอากาศเพื่อป้อนฝุ่นให้ทำงาน
4. ปรับวาล์วทางด้านออกเพื่อให้ได้ความเร็วของอากาศที่ต้องการทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ความเร็วที่ทางออก 10 ค่าดังนี้
 - 4.1 ความเร็วที่ 3.059, 3.616, 3.869, 4.104, 4.236, 4.739, 4.981, 5.165, 5.343, 5.472 m/s

โดยค่าที่วัดได้จะอ่านได้จากमानอมิเตอร์มีหน่วยเป็น mmH_2O และนำค่านี้ไปหาความเร็วเป็นหน่วย (m/s) ได้ดังสมการภาคผนวก ก. ก่อนที่จะทำการทดลองต้องรองนกระถางระดับน้ำในमानอมิเตอร์ลงที่เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5. บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้า และท่อทางออกก่อนเริ่มการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำฝุ่นชนิด แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย, ทราย, ทราย ปริมาณ 500 กรัม โดยใส่ผ่านช่องใส่ฝุ่นก็จะถูกเป่าและดูดเข้าไปในไซโคลน
7. หลังจากโรยฝุ่นแล้วจับเวลา ในการทดลองโดยการทดลองนี้ใช้เวลา 5 นาที ของฝุ่นแต่ละชนิด
8. เมื่อครบเวลาในการทดลอง บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกภายหลังการทดลอง
9. ปิดพัดลมทั้งทางดูดและเป่า
10. ฝุ่นจะตกลงมาสู่ถุงเก็บฝุ่น ทางด้านล่างของตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น จากนั้นนำฝุ่นในถุงเก็บฝุ่นไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง
11. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-10 เป็นจำนวน 2 ครั้งของแต่ละชนิดของฝุ่น
12. คำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลน (η) และความดันที่สูญเสียในไซโคลนที่เกิดขึ้น
13. นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนของฝุ่นแต่ละชนิด

การทดลองที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกของไซโคลนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของไซโคลนที่เป่าด้วยบายพาส โดยที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมทำการทดลอง
2. ตรวจสอบระดับน้ำใน manometer และต้องให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่วตามจุดต่างๆ
3. ติดตั้งถังรองรับฝุ่น
4. นำฝุ่นแต่ละชนิด ไปชั่งน้ำหนัก
5. ตรวจสอบเช็ควาล์วบายพาสเปิดที่ตำแหน่งที่มีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$
6. เปิดพัดลมดูดอากาศให้ทำงาน
7. เปิดพัดลมเป่าอากาศเพื่อป้อนฝุ่นให้ทำงาน
8. ปรับวาล์วทางค้ำออกเพื่อให้ได้ตามความเร็วที่ต้องการทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ความเร็วที่ทางออก 10 ค่าดังนี้
 - 8.1 ความเร็วที่ 3.059, 3.616, 3.869, 4.104, 4.236, 4.739, 4.981, 5.165, 5.343, 5.472 m/s

โดยค่าที่วัดได้จะอ่านได้จากมานอมิเตอร์มีหน่วยเป็น mmH_2O และนำค่านี้ไปหาความเร็วเป็นหน่วย (m/s) ได้ดังสมการภาคผนวก.ก. ก่อนที่จะทำการทดลองต้องรองนกระทั้งระดับน้ำในมานอมิเตอร์คงที่เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

9. บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้า และท่อทางออกก่อนเริ่มการทดลอง
10. นำฝุ่นชนิด แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย, ทราย, ทราย ปริมาณ 500 กรัม โดยใส่ผ่านช่องใส่ฝุ่นก็จะถูกเป่าและดูดเข้าไปในไซโคลน

11. หลังจากโรยฝุ่นแล้วจับเวลา ในการทดลองโดยการทดลองนี้ใช้เวลา 5 นาที ของฝุ่นแต่ละชนิด
12. เมื่อครบเวลาในการทดลอง บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกภาย หลังการทดลอง
13. ปิดพัดลมทั้งทางดูดและเป่า
14. ฝุ่นจะตกลงมาสู่ถุงเก็บฝุ่น ทางด้านล่างของตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น จากนั้น นำฝุ่นในถุงเก็บฝุ่นไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง
15. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-10 เป็นจำนวน 2 ครั้งของแต่ละชนิดของฝุ่น
16. คำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลน (η) และความดันที่สูญเสียในไซโคลนที่เกิดขึ้น
17. นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนของฝุ่นแต่ละชนิด

การทดลองที่ 3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกของไซโคลนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของไซโคลนที่เปิดควาล์วบายพาสโดยที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมทำการทดลอง
2. ตรวจสอบระดับน้ำใน manometer และต้องให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่วตามจุดต่างๆ
3. ติดตั้งถังรองรับฝุ่น
4. นำฝุ่นแต่ละชนิดไปชั่งน้ำหนัก
5. ตรวจสอบเช็คควาล์วบายพาสเปิดที่ตำแหน่งที่มีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$
6. เปิดพัดลมดูดอากาศให้ทำงาน
7. เปิดพัดลมเป่าอากาศเพื่อป้อนฝุ่นให้ทำงาน
8. ปรับวาล์วทางด้านออกเพื่อให้ได้ตามความเร็วที่ต้องการทดลองโดยจะทำการทดลองที่ความเร็วที่ทางออก 10 ค่าดังนี้
 - 8.1 ความเร็วที่ 3.059, 3.616, 3.869, 4.104, 4.236, 4.739, 4.981, 5.165, 5.343, 5.472 m/s

โดยค่าที่วัดได้จะอ่านได้จากมานอมิเตอร์มีหน่วยเป็น mmH_2O และนำค่านี้ไปหาความเร็วเป็นหน่วย (m/s) ได้ดังสมการภาคผนวก ก. ก่อนที่จะทำการทดลองต้องรองจนกระทั่งระดับน้ำในมานอมิเตอร์คงที่เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

9. บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้า และท่อทางออกก่อนเริ่มการทดลอง
10. นำฝุ่นชนิด แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย, ทราย, ทราย ปริมาณ 500 กรัม โดยใส่ผ่านช่องใส่ฝุ่นก็จะถูกเป่าและดูดเข้าไปในไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. หลังจากโรยฝุ่นแล้วจับเวลา ในการทดลองโดยการทดลองนี้ใช้เวลา 5 นาที ของฝุ่นแต่ละชนิด
12. เมื่อครบเวลาในการทดลอง บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกภายหลังการทดลอง
13. ปิดพัดลมทั้งทางดูดและเป่า
14. ฝุ่นจะตกลงมาสู่ถุงเก็บฝุ่น ทางด้านล่างของตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น จากนั้นนำฝุ่นในถุงเก็บฝุ่นไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง
15. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-14 เป็นจำนวน 2 ครั้งของแต่ละชนิดของฝุ่น
16. คำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลน (η) และความดันที่สูญเสียในไซโคลนที่เกิดขึ้น
17. นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนของฝุ่นแต่ละชนิด

การทดลองที่ 4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกของไซโคลนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของไซโคลนที่เปิดวาล์วบายพาสโดยที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมทำการทดลอง
2. ตรวจสอบระดับน้ำใน manometer และต้องให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่วตามจุดต่างๆ
3. ติดตั้งถังรองรับฝุ่น
4. นำฝุ่นแต่ละชนิดไปชั่งน้ำหนัก
5. ตรวจสอบวาล์วบายพาสเปิดที่ตำแหน่งที่มีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$
6. เปิดพัดลมดูดอากาศให้ทำงาน
7. เปิดพัดลมเป่าอากาศเพื่อป้อนฝุ่นให้ทำงาน
8. ปรับวาล์วทางด้านออกเพื่อให้ได้ตามความเร็วที่ต้องการทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ความเร็วที่ทางออก 10 ค่าดังนี้
 - 8.1 ความเร็วที่ 3.059, 3.616, 3.869, 4.104, 4.236, 4.739, 4.981, 5.165, 5.343, 5.472 m/s

โดยค่าที่วัดได้จะอ่านได้จากมานอมิเตอร์มีหน่วยเป็น mmH₂O และนำค่านี้ไปหาความเร็วเป็นหน่วย (m/s) ได้ดังสมการภาคผนวก ก. ก่อนที่จะทำการทดลองต้องรองจนกระทั่งระดับน้ำในมานอมิเตอร์คงที่เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

9. บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้า และท่อทางออกก่อนเริ่มการทดลอง
10. นำฝุ่นชนิด แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย, ทราย ปริมาณ 500 กรัม โดยใส่ผ่านช่องใส่ฝุ่นก็จะถูกเป่าและดูดเข้าไปในไซโคลน

11. หลังจากโรยฝุ่นแล้วจับเวลา ในการทดลองโดยการทดลองนี้ใช้เวลา 5 นาที ของฝุ่นแต่ละชนิด
12. เมื่อครบเวลาในการทดลอง บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกภาย หลังการทดลอง
13. ปิดพัดลมทั้งทางดูดและเป่า
14. ฝุ่นจะตกลงมาสู่ถุงเก็บฝุ่น ทางด้านล่างของตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น จากนั้น นำฝุ่นในถุงเก็บฝุ่นไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง
15. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-14 เป็นจำนวน 2 ครั้งของแต่ละชนิดของฝุ่น
16. คำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลอน (η) และความดันที่สูญเสียในไซโคลอนที่เกิดขึ้น
17. นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลอนของฝุ่นแต่ละชนิด

การทดลองที่ 5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ทางออกของไซโคลอนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของไซโคลอนที่เปิดวาล์วบายพาส โดยที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมทำการทดลอง
2. ตรวจสอบระดับน้ำใน manometer และต้องให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่วตามจุดต่างๆ
3. ติดตั้งถังรองรับฝุ่น
4. นำฝุ่นแต่ละชนิดไปชั่งน้ำหนัก
5. ตรวจสอบเช็ควาล์วบายพาสเปิดที่ตำแหน่งที่มีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$
6. เปิดพัดลมดูดอากาศให้ทำงาน
7. เปิดพัดลมเป่าอากาศเพื่อป้อนฝุ่นให้ทำงาน
8. ปรับวาล์วทางด้านออกเพื่อให้ได้ตามความเร็วที่ต้องการทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ความเร็วที่ทางออก 10 ค่าดังนี้
 - 8.1 ความเร็วที่ 3.059, 3.616, 3.869, 4.104, 4.236, 4.739, 4.981, 5.165, 5.343, 5.472 m/s

โดยค่าที่วัดได้จะอ่านได้จากมานอมิเตอร์มีหน่วยเป็น mmH_2O และนำค่านี้ไปหาความเร็วเป็นหน่วย (m/s) ได้ดังสมการภาคผนวก ก. ก่อนที่จะทำการทดลองต้องรองจนกระทั่งระดับน้ำในมานอมิเตอร์คงที่เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

9. บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้า และท่อทางออกก่อนเริ่มการทดลอง
10. นำฝุ่นชนิด แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย, ทราย ปริมาณ 500 กรัม โดยใส่ผ่านช่องใส่ฝุ่นก็จะถูกเป่าและดูดเข้าไปในไซโคลอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. หลังจากโรยฝุ่นแล้วจับเวลา ในการทดลองโดยการทดลองนี้ใช้เวลา 5 นาที ของฝุ่นแต่ละชนิด
12. เมื่อครบเวลาในการทดลอง บันทึกค่า static head ที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกภาย หลังการทดลอง
13. ปิดพัดลมทั้งทางดูดและเป่า
14. ฝุ่นจะตกลงมาสู่ถุงเก็บฝุ่น ทางด้านล่างของตัวป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น จากนั้น นำฝุ่นในถุงเก็บฝุ่นไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง
15. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-14 เป็นจำนวน 2 ครั้งของแต่ละชนิดของฝุ่น
16. กำหนดหาประสิทธิภาพของไซโคลอน (η) และความดันที่สูญเสียในไซโคลอนที่เกิดขึ้น
17. นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเร็วของอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลอนของฝุ่นแต่ละชนิด

ในการทดลองนี้ ΔQ ในไซโคลอนที่ดีที่สุดสำหรับไซโคลอนตัวนี้อยู่ในช่วงอัตราการไหลเข้าและออกโดยทางออกจะมีอัตราการไหลมากกว่าทางเข้าระหว่าง $0.0180 - 0.0111 \text{ m}^3/\text{s}$ และไซโคลอนนี้ได้คิดอัตราการไหลย้อนกลับหรือบายพาสในอัตราการไหลเต็มที่ที่ $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ และน้อยลงตามลำดับต่อไปนี้

เปิดวาล์วบายพาสที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ ภายในท่อบายพาส

เปิดวาล์วบายพาสที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$ ภายในท่อบายพาส

เปิดวาล์วบายพาสที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$ ภายในท่อบายพาส

เปิดวาล์วบายพาสที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$ ภายในท่อบายพาส

เปิดวาล์วบายพาสที่อากาศมีอัตราการไหลเท่ากับ $0.069 \text{ m}^3/\text{s}$ ภายในท่อบายพาส

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาสมรรถนะของไซโคลนครั้งนี้ เริ่มจากการดำเนินการคำนวณและออกแบบเพื่อจัดสร้างไซโคลนขึ้นตามมาตรฐานการออกแบบของ Stairmand โดยได้ทำการทดลองหาสมรรถนะของไซโคลนนี้ไว้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการนำไปใช้งานกับการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองในการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ สามารถแสดงเป็นลำดับได้ดังต่อไปนี้

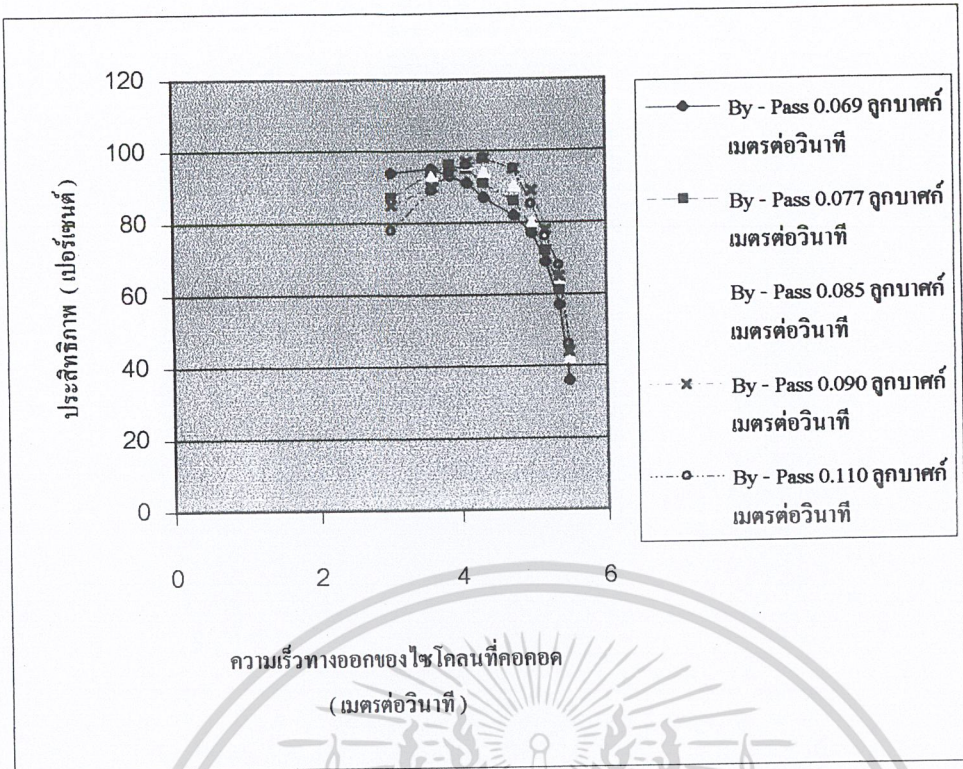
5.1 ผลการทดลองหาสมรรถนะของไซโคลน

สำหรับผลการทดลองหาสมรรถนะของไซโคลนนี้จะแสดงอยู่ในรูปของประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนในการเก็บอนุภาคที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองที่เก็บได้คือ ปริมาณของอนุภาคที่ทางเข้าไซโคลนและปริมาณของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้แล้วนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนในการดักเก็บอนุภาคได้จาก

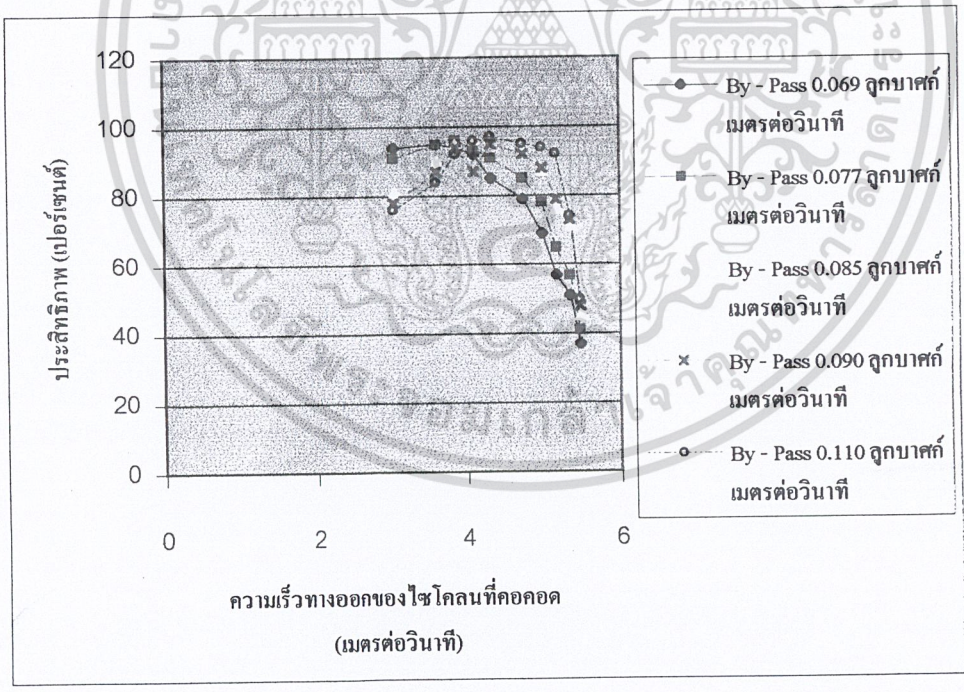
$$\text{ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคของไซโคลน} = \frac{\text{มวลของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้}}{\text{มวลของอนุภาคที่ทางเข้าไซโคลน}}$$

5.2 ผลที่ได้จากการทดลอง

สำหรับผลที่ได้จากการทดลองนี้เป็นการแสดงผลการทำงานของไซโคลนในการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการใช้ฝุ่นของแต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนของฝุ่นแต่ละชนิด

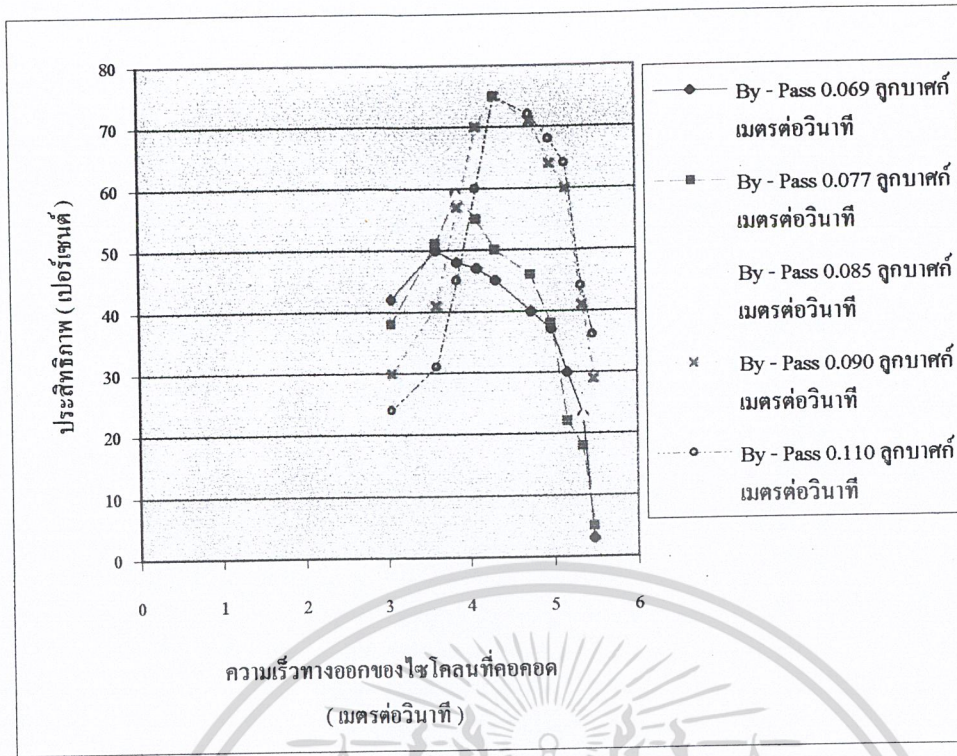


รูปที่ 5-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้แกลบเผาที่ตำแหน่งบายพาสต่างๆ แกลบเผามีความหนาแน่น 147.619 kg/m³

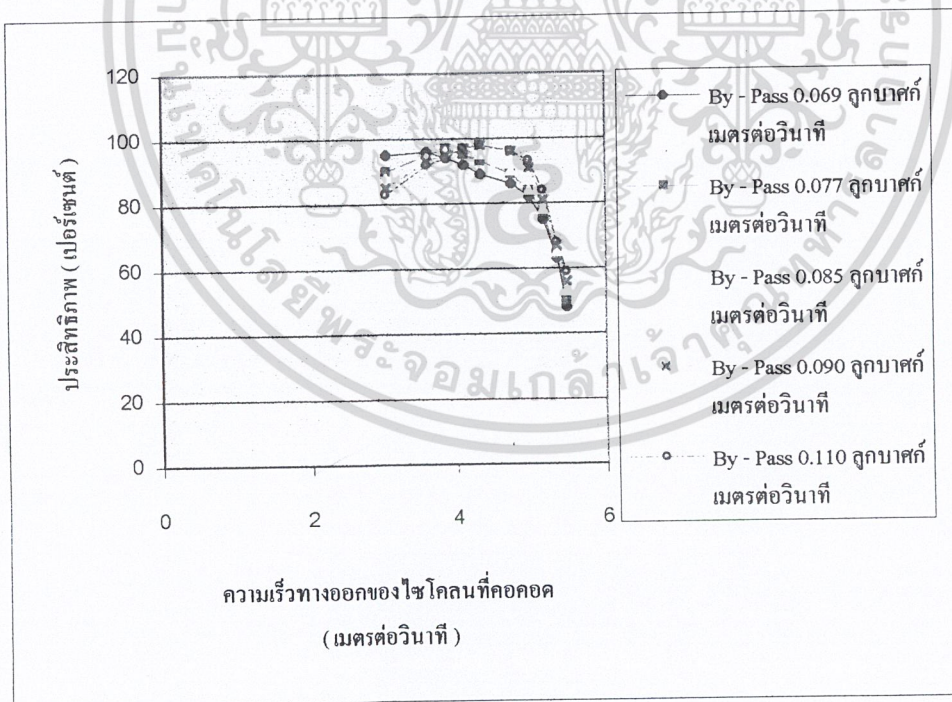


รูปที่ 5-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้กากมะพร้าวที่ตำแหน่งบายพาสต่างๆ กากมะพร้าวมีความหนาแน่น 195.238 kg/m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

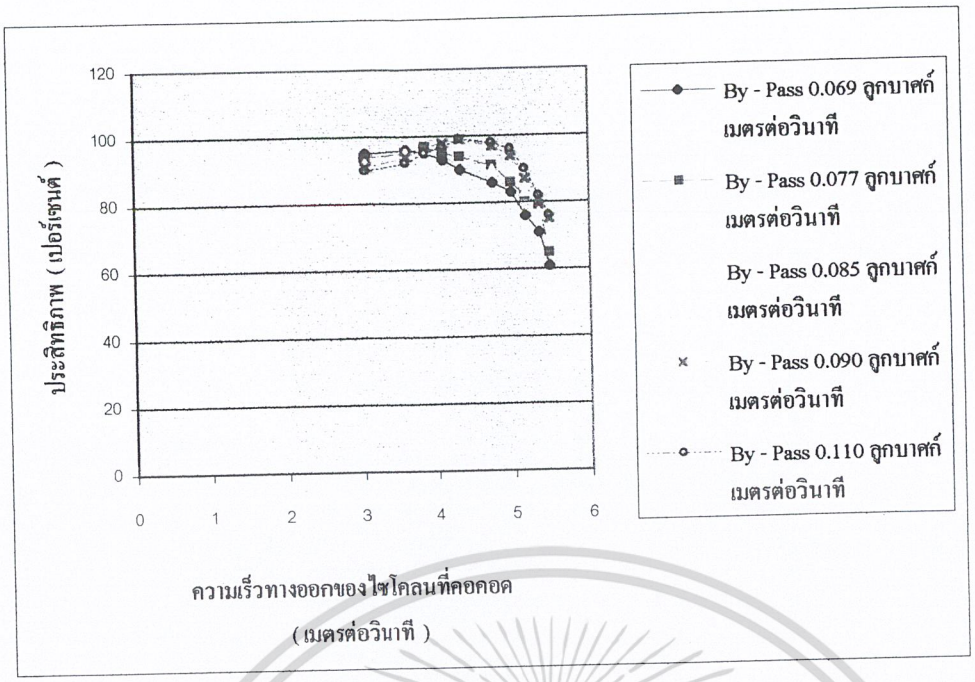


รูปที่ 5-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้กระดาษเผาที่ตำแหน่งบายพาสต่างๆ กระดาษเผามีความหนาแน่น 290.476 kg/m³

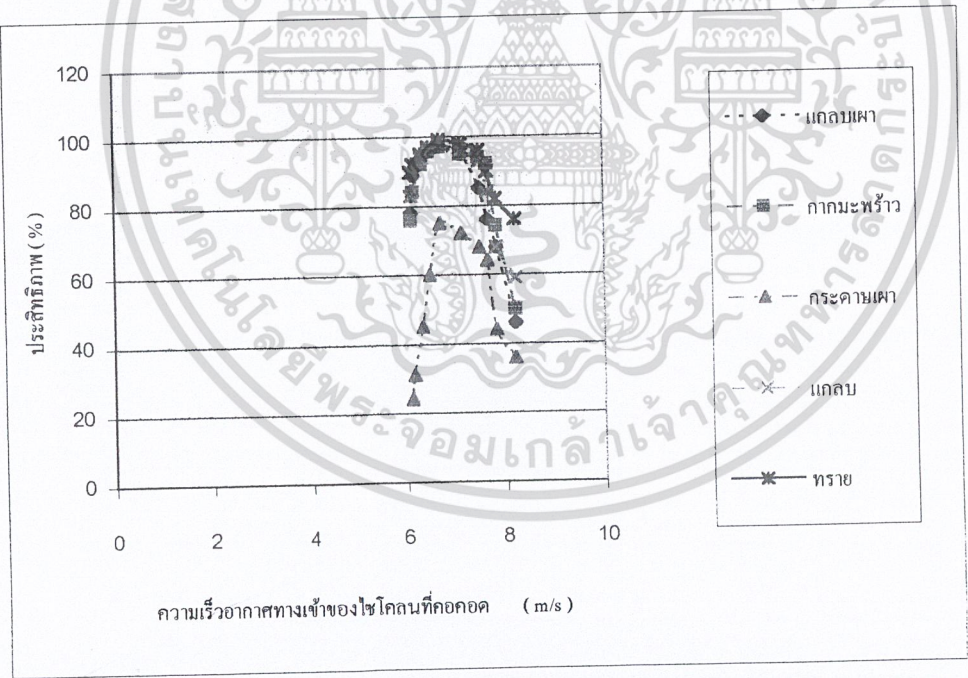


รูปที่ 5-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้เกลบที่ตำแหน่งบายพาสต่างๆ เกลบมีความหนาแน่น 338.095 kg/m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้ทรายที่ตำแหน่งบายพาสต่าง ๆ ทรายมีความหนาแน่น 1719.048 kg/m³



รูปที่ 5-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางเข้ากับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยใช้ แกลบเผา, กากมะพร้าว, กระดาดเผา, แกลบ และ ทราย ที่ตำแหน่งบายพาสต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟที่ 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศที่ทางออกของไซโคลนกับประสิทธิภาพของไซโคลนโดยการทดลองนี้ใช้ แกลบ, แกลบเผา, กากมะพร้าว, ทราย ในการทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ตำแหน่งที่ปิดวาล์วบายพาส, เปิดวาล์วบายพาสที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นได้ดีจะอยู่ที่ความเร็วประมาณ 3.5 - 4.5 m/s ก็เพราะว่าประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นของไซโคลนจะขึ้นอยู่กับความเร็วอากาศที่ทางเข้าไซโคลนกับความเร็วอากาศที่ทางออกของไซโคลน โดยที่ตำแหน่งที่ปิดวาล์วบายพาสเพื่อย้อนอากาศเข้ากลับไปเข้าไซโคลนอีกครั้งนั้นจะทำให้ความเร็วอากาศที่ทางเข้าของไซโคลนมีความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้อากาศเกิดการหมุนวนภายในไซโคลนดีขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ความเร็วอากาศที่ทางออกของไซโคลนจะปรับเปลี่ยนวาล์วไปตามที่กำหนดไว้แต่เมื่อเปิดวาล์วให้มีความเร็วอากาศที่ทางออกของไซโคลนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นก็จะลดลงเพราะว่าอนุภาคฝุ่นอาจจะถูกดูดขึ้นมาก่อนที่จะเข้าไปหมุนวนภายในไซโคลน

จากกราฟที่ 5-6 จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบความเร็วอากาศที่ทางเข้าไซโคลนกับประสิทธิภาพของไซโคลนที่เปิดวาล์วบายพาสที่มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$ ของฝุ่นแต่ละชนิดโดยฝุ่นจากกระดวยเผาไซโคลนจะดักจับได้น้อยกว่าฝุ่นชนิดอื่นก็เพราะว่ากระดวยเผามีขนาดอนุภาคที่เล็กมากจึงทำให้อนุภาคของกระดวยเผาอาจจะถูกดูดขึ้นมาก่อนที่จะเข้าไปหมุนวนในไซโคลนส่วนฝุ่นชนิด แกลบ , แกลบเผา, กระดวยเผา , ทราย จะมีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคดีขึ้นมาก โดยเฉพาะทรายจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าฝุ่นชนิดอื่น เพราะว่าทรายมีน้ำหนักมากทำให้ทรายเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางดีกว่าฝุ่นชนิดอื่นเมื่อเข้าไซโคลน

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ตัวแปรที่สำคัญในการดักจับอนุภาคได้แก่ ขนาดของอนุภาค อัตราการไหลของอากาศ ปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง และความหนาแน่นของฝุ่น โดยพบว่าประสิทธิภาพของไซโคลอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ

- อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น
- ฝุ่นที่ใช้มีความหนาแน่นมากขึ้น
- ความเร็วอากาศที่ทางออกของไซโคลอนลดลง
- ความเร็วอากาศที่ทางเข้าไซโคลอนมีความเร็วเพิ่มขึ้น

โดยทั่วไปแล้วการใช้งานของโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมีการควบคุมความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นไม่ให้มีค่ามากเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพของไซโคลอนลดลงเนื่องจากเมื่อความดันสูญเสียมีค่านั้นจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการไหลเวียนของอากาศ

6.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

ปัญหาที่พบในการทดลองคือเราไม่สามารถควบคุมตัวแปรบางตัวได้ตามต้องการ เช่น

- ความสะอาดของไซโคลอนและปริมาณฝุ่นที่ตักค้างก่อนการทดลอง
- โบลเวอร์ที่ใช้ในการทดลองมีกำลังค่อนข้างสูงที่ได้ออกแบบไว้ทำให้มีปัญหาในการ

ปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 จากการทดลองจะสังเกตได้ว่า ความดันตกคร่อมที่ตัวไซโคลอนมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้ออกแบบมากอาจจะเกิดจากในการออกแบบมีการเลือกพิจารณาค่าความเร็วจับและค่าความเร็วภายในท่อก่อนทางเข้าไซโคลอนสูงกว่าจุดทำงานมากเกินไป

6.3.2 การออกแบบที่มีค่าอัตราการไหลสูง ๆ จะมีผลทำให้ความเร็วที่ท่อทางออกมีค่าสูงอาจจะดึงเอาอนุภาคปะปนกับเกิดขึ้นมาทำให้ไซโคลอนไม่สามารถดักจับอนุภาคได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งถ้าความเร็วที่ทางออกลดลงจะทำให้การดักเก็บอนุภาคของไซโคลอนดีขึ้นกว่านี้ดังที่การทำปริศยานิพนธ์นี้จะมีตัวปรับความเร็วที่ทางออกได้ตามต้องการ

6.3.3 การออกแบบสัดส่วนตัวไซโคลอน ระบบท่อ อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคเนื่องจากในการออกแบบครั้งนี้ได้อาศัยสมมติฐานการออกแบบตามมาตรฐานของ Stairmand เท่านั้น ดังนั้นหากสามารถหาสัดส่วนของไซโคลอนและระบบทั้งหมดของไซโคลอนที่เหมาะสมก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคสูงขึ้น

6.3.4 ในการออกแบบและการดำเนินการสร้างไซโคลนต้องมีความระวังในการม้วนแผ่นโลหะและบริเวณรอยเชื่อมต่อของตัวไซโคลนให้ดี เพราะอาจทำให้เกิดรอยรั่วได้

6.3.5 สำหรับโบลเวอร์ที่ใช้ในการดูดแก๊สต้องออกแบบให้สามารถดูดแก๊สได้ด้วยความเร็วและความดันสูงพอ จึงจำเป็นต้องติดตั้งมอเตอร์ 3 เฟส ขนาดใหญ่ที่มีค่าประสิทธิภาพในขณะใช้งานสูง ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นถ้ามีการออกแบบสัดส่วนต่าง ๆ ของระบบที่เหมาะสมกว่านี้ก็อาจจะใช้โบลเวอร์ที่มีขนาดมอเตอร้น้อยกว่า 3 แรงม้า ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] วงศ์พันธ์ สัมปเสนีย์ มลภาวะอากาศ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] พงษ์เจต พรหมวงศ์.การถ่ายเทความร้อน.ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- [3] วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. มลภาวะอากาศ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น(ไทย-ญี่ปุ่น)
- [4] Robert W. Fox and Alan T. Mcdonal. **Introduction to Fluid Mechanics, fifth edition.** John Wiley & Son : New York, 1998
- [5] Robert, M. Bethea. **Air pollution control technology.** New York. Litton educational publishing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

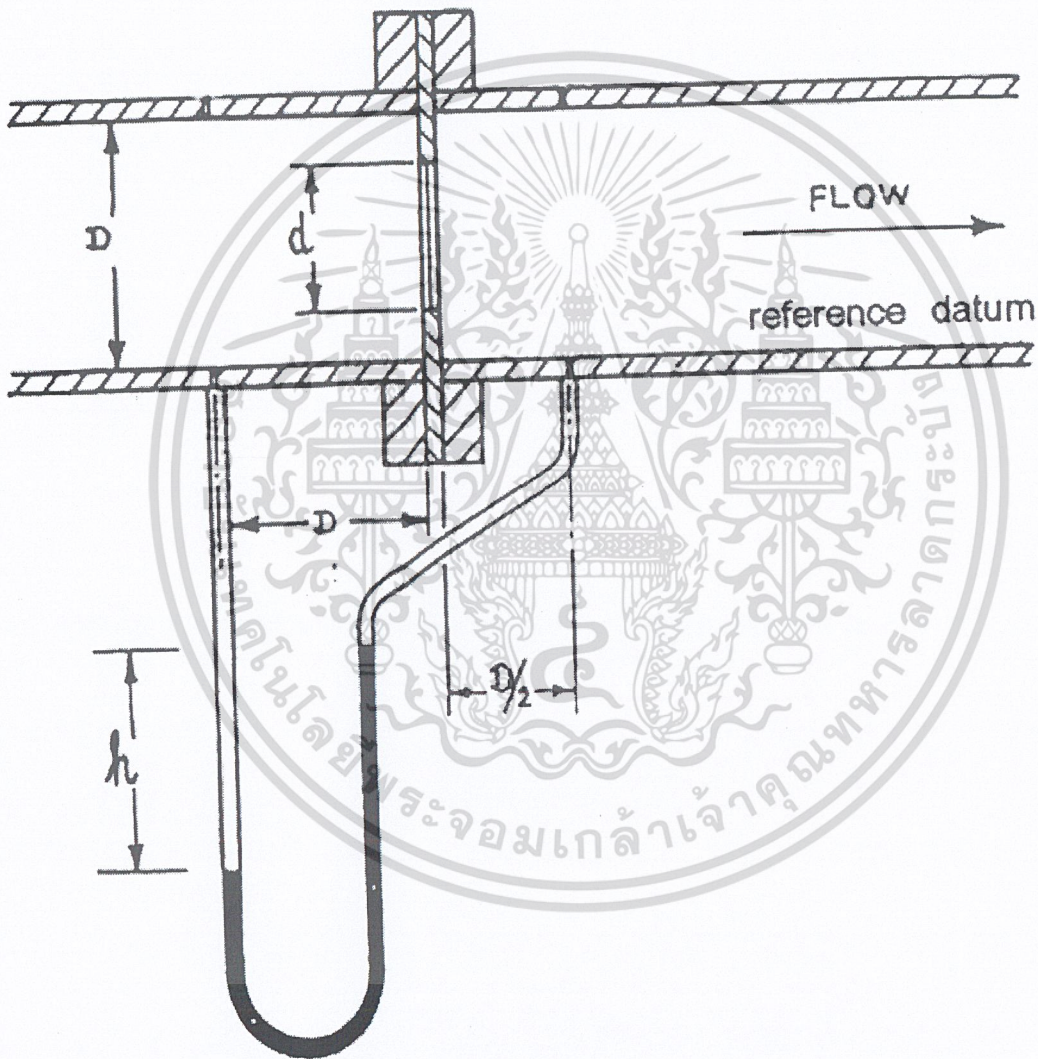
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวัดอัตราการไหลของแก๊ส

การวัดอัตราการไหลของแก๊สในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ (Orifice plate) ซึ่งค่าความดันลดของแก๊สที่ผ่านแผ่นออริฟิซนี้สามารถอ่านได้จากความสูงแตกต่างของระดับของของเหลวในมานอมิเตอร์ รูปตัว U โดยหลักการพิจารณาดังนี้



รูปที่ ก-1 แสดงระบบการวัดค่าอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิซแบบ $D, D/2$ tapping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli ' s equation) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดวัดที่ 1 และจุดวัดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ ก-1 จะได้ว่า

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (\text{ก-1})$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} V_1 &= \text{ความเร็วของของไหลที่จุดที่ 1 ; } && \text{m/s} \\ V_2 &= \text{ความเร็วของของไหลที่จุดที่ 2 ; } && \text{m/s} \\ P_1 &= \text{ความดันของของไหลที่จุดที่ 1 ; } && \text{N/m}^2 \\ P_2 &= \text{ความดันของของไหลที่จุดที่ 2 ; } && \text{N/m}^2 \\ Z_1 &= \text{ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อ ที่จุดที่ 1 จาก reference datum ; datum ; m.} \\ Z_2 &= \text{ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อ ที่จุดที่ 2 จาก reference datum ; datum ; m.} \\ g &= \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; } && \text{m/s}^2 \\ \gamma &= \text{ค่า specific weight ของของไหล ; } && \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2 \end{aligned}$$

จากรูปที่ (ก-1) เนื่องจากระดับ $Z_1 = Z_2$ ดังนั้นจากสมการที่ (ก-1) จะได้

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{\gamma} \quad (\text{ก-2})$$

เนื่องจากสภาพการไหลของของไหลในท่อเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง (continuity flow) ดังนั้นปริมาณการไหลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ของท่อ เมื่อพิจารณาที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จากรูปที่ (ก-1) พิจารณาตาม continuity equation และจาก conservation of mass เมื่อของไหลนั้นเป็น incompressible fluid ดังนั้น

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{ก-3})$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} Q &= \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate) ; } && \text{m}^3/\text{s} \\ A_1 &= \text{พื้นที่หน้าตัด ที่จุดที่ 1 (ที่เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ = D) ; } && \text{m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_2 = \text{พื้นที่หน้าตัด ที่จุดที่ 2 (ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซ = d);}$$

$$m^2$$

จากสมการที่ (ก-3) จะได้;

$$v_1 = \left(\frac{A_2 v_2}{A_1} \right) \quad (\text{ก-4})$$

จากสมการที่ (ก-2) จะได้ ;

$$(v_2^2 - v_1^2) = \frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2) \quad (\text{ก-5})$$

แทนค่าสมการที่ (ก-4) ลงในสมการที่ (ก-5) จะได้

$$v_2^2 - \left(\frac{A_2 v_2}{A_1} \right)^2 = \frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)$$

$$v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right) = \frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)$$

$$\therefore v_2 = \sqrt{\frac{\left(\frac{2g}{\gamma} \right) (P_1 - P_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \quad (\text{ก-6})$$

นำสมการที่ (ก-6) แทนค่าลงในสมการที่ (ก-3) จะได้

$$Q = A_2 \times \sqrt{\frac{\left(\frac{2g}{\gamma} \right) (P_1 - P_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \quad (\text{ก-7})$$

จากสมการที่ (ก-7) อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate) ที่คำนวณได้นี้เป็นการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรในทางทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงแล้วจะมีค่าต่ำกว่าทางทฤษฎีเนื่องจากความเสียดทานที่ต่อต้านการไหลของของไหลนั้น ดังนั้นจึงต้องมีสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกตัวหนึ่งมาคูณเข้าไป เพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลที่แท้จริง ซึ่งสัมประสิทธิ์ตัวนี้เรียกว่า “ ค่า discharge coefficient” ; (C_d) สามารถหาได้จาก

$$C_d = \left(\frac{Q_{actual}}{Q_{ideal}} \right) \quad (ก-8)$$

หรืออาจหาได้จากตารางที่ ข-6 แสดงค่า discharge coefficient; (C_d) สำหรับ $D, D/2$ tapping orifice ทั้งนี้จะต้องทราบค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ; (β) และค่า Reynolds ' number ; (Re) ของของไหลนั้น

$$\beta = \left(\frac{d}{D} \right) \quad (ก-9)$$

เมื่อ

β = อัตราส่วนผ่าศูนย์กลางของท่อ ; ไม่มีหน่วย

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซ ; m.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; m.

และ

$$Re = \left(\frac{\rho V_2 d}{\mu} \right) \quad (ก-10)$$

เมื่อ

Re = ค่า Reynolds' number ของของไหล ; ไม่มีหน่วย

ρ = ความหนาแน่นของของไหล ; kg / m^3

μ = ความหนืดของของไหล ; Pa . s

จากสมการที่ (ก-9) นำไปแทนในสมการที่ (ก-3) จะได้

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{[(2g / \gamma)(P_1 - P_2)]}{(1 - \beta^4)}} \quad (ก-11)$$

จากสมการที่ (ก-11) นำไปแทนค่าในสมการที่ ก-8) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{actual} = C_d A_2 \times \sqrt{\frac{[(2g/\gamma)(P_1 - P_2)]}{(1 - \beta^4)}} \quad (\text{ก-12})$$

จัดรูปสมการที่ (ก-12) ใหม่ ได้เป็น

$$\therefore Q = \left[\frac{C_d A_2}{\sqrt{(1 - \beta^4)}} \times \sqrt{2gh} \right] \quad (\text{ก-13})$$

เมื่อ $h = \left(\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} \right)$; m.

Bernoulli ได้มีการพิจารณาความเร็วของของไหล (Velocity head) ให้สัมพันธ์กับค่าความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ที่วัดได้จากความสูงแตกต่างของของเหลวในมานอมิเตอร์ รูปตัว U โดยพิจารณาจาก

$$h = \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{ก-14})$$

เมื่อ $h =$ velocity head ; m. of air column
 $v =$ ความเร็วของของไหล ; m/S

เมื่อค่า velocity head ; (h) แสดงอยู่ในรูปของความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ในหน่วย mm . H₂O ดังนั้นจากสมการที่ (ก-14) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$VP = \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{ก-15})$$

เมื่อ $VP =$ ความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ; mm of H₂ O

ที่สภาวะมาตรฐาน ; ความหนาแน่นของอากาศ ; $\rho_{air} = 1.2 \quad \text{kg / m}^3$

ความหนาแน่นของน้ำ ; $\rho_{H_2O} = 1000 \quad \text{kg / m}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้ค่า specific gravity of air} = \left(\frac{\rho_{air}}{\rho_{H_2O}} \right) = \left(\frac{1.2}{1000} \right) = 0.0012$$

เมื่อเทียบค่าด้วย Anemometer จะได้ว่า ที่ 1 m . of air column = mm . of H_2O
จากสมการที่ (ก-15) สามารถเขียนได้เป็น

$$VP = \frac{v^2}{2g} \times \left(\frac{1.2mm.ofH_2O}{1m.ofaircolumn} \right)$$

$$VP = \left(\frac{v^2}{2 \times 9.81} \right) \times \left(\frac{1.2mm.ofH_2O}{1m.ofaircolumn} \right)$$

$$VP = (0.06116 \times v^2)$$

$$v = 4.0435 \sqrt{VP} \quad (\text{ก-16})$$

จากสมการที่ (ก-14) จะได้

$$v = \sqrt{(2gh)} = 4.0435 \sqrt{VP} \quad (\text{ก-17})$$

แทนค่าสมการที่ (ก-17) ลงในสมการที่ (ก-13) จะได้

$$\therefore Q = \frac{C_d A_2}{\sqrt{(1 - \beta^4)}} \times (4.0435 \sqrt{VP}) \quad (\text{ก-18})$$

เมื่อ $Q =$ อัตราการไหลเชิงปริมาตร ; m^3 / s

จากค่าความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ที่อ่านได้จากความสูงแตกต่างของของเหลวในमानometerรูปตัว U พิจารณาให้อยู่ในรูปความดันของของไหล (Static pressure head) ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (\text{ก-19})$$

เมื่อ ΔP = ความดันของของไหล ; N / m^2
 Δh = Static pressure head ; m. of air column

ที่สภาวะมาตรฐาน ; 1 meter of air column = 1.2 mm. of H_2O ดังนั้นจากสมการที่ (ก-19)
 จะได้

$$\Delta P = (\rho_w - \rho_a) g \times \left(VP \times \frac{1m.ofaircolumn}{1.2mm.ofH_2O} \right)$$

$$\Delta P = (1000 - 1.2) \times 9.81 \times \left(VP \times \frac{1}{1.2} \right)$$

$$\Delta P = 8165.2 (VP) \quad (\text{ก-20})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผา ที่ปิดวาล์วบายพาส

วันที่ทำการทดลอง : 1 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 147.619

kg / m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	13.42	6.118	10.736	5.472	0.18	36
2	12.078	5.804	10.236	5.343	0.295	57
3	11.907	5.765	9.565	5.165	0.345	69
4	11.457	5.653	8.894	4.981	0.385	77
5	10.376	5.472	8.052	4.739	0.41	82
6	10.065	5.298	6.71	4.326	0.435	87
7	9.394	5.111	6.039	4.104	0.455	91
8	8.723	4.933	5.368	3.869	0.465	93
9	8.223	4.789	4.697	3.616	0.475	95
10	7.552	4.589	3.355	3.059	0.47	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าว ที่ปีควาด้วยพาส

วันที่ทำการทดลอง : 2 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กากมะพร้าว

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 195.238

kg / m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	13.42	6.118	10.736	5.472	0.185	37
2	12.078	5.804	10.236	5.343	0.255	51
3	11.907	5.765	9.565	5.165	0.285	57
4	11.457	5.653	8.894	4.981	0.345	69
5	10.376	5.472	8.052	4.739	0.395	79
6	10.065	5.298	6.71	4.326	0.425	85
7	9.394	5.111	6.039	4.104	0.46	92
8	8.723	4.933	5.368	3.869	0.47	94
9	8.223	4.789	4.697	3.616	0.475	95
10	7.552	4.589	3.355	3.059	0.47	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผา ที่ปิดวาล์วบายพาส

วันที่ทำการทดลอง : 2 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กระดาษเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 290.476

kg / m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	13.42	6.118	10.736	5.472	0.015	3
2	12.078	5.804	10.236	5.343	0.115	23
3	11.907	5.765	9.565	5.165	0.15	30
4	11.457	5.653	8.894	4.981	0.185	37
5	10.376	5.472	8.052	4.739	0.2	40
6	10.065	5.298	6.71	4.326	0.225	45
7	9.394	5.111	6.039	4.104	0.235	47
8	8.723	4.933	5.368	3.869	0.24	48
9	8.223	4.789	4.697	3.616	0.25	50
10	7.552	4.589	3.355	3.059	0.21	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททราย ที่ปีควาล้วบายพาส

วันที่ทำการทดลอง : 2 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย : ทราย

อัตราการป้อนมูลฝอย : 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น : 1719.048

kg / m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	13.42	6.118	10.736	5.472	0.305	61
2	12.078	5.804	10.236	5.343	0.355	71
3	11.907	5.765	9.565	5.165	0.38	76
4	11.457	5.653	8.894	4.981	0.415	83
5	10.376	5.472	8.052	4.739	0.34	86
6	10.065	5.298	6.71	4.326	0.45	90
7	9.394	5.111	6.039	4.104	0.465	93
8	8.723	4.933	5.368	3.869	0.475	95
9	8.223	4.789	4.697	3.616	0.48	96
10	7.552	4.589	3.355	3.059	0.475	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบ ที่เปิดด้วยวาทยาศาสตร์มีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.077 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 3 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบ

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 338.095

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	16.755	6.84	10.736	5.472	0.25	50
2	15.262	6.525	10.236	5.343	0.32	64
3	14.762	6.417	9.565	5.165	0.35	77
4	14.591	6.38	8.894	4.981	0.42	84
5	13.249	6.079	8.052	4.739	0.445	89
6	12.578	5.923	6.71	4.326	0.465	93
7	11.907	5.763	6.039	4.104	0.475	95
8	10.736	5.576	5.368	3.869	0.485	97
9	9.894	5.253	4.697	3.616	0.475	95
10	8.723	4.933	3.355	3.059	0.45	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผา ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.077 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 3 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 147.619

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	16.755	6.84	10.736	5.472	0.195	39
2	15.262	6.525	10.236	5.343	0.305	61
3	14.762	6.417	9.565	5.165	0.36	72
4	14.591	6.38	8.894	4.981	0.395	79
5	13.249	6.079	8.052	4.739	0.43	86
6	12.578	5.923	6.71	4.326	0.455	91
7	11.907	5.763	6.039	4.104	0.475	95
8	10.736	5.576	5.368	3.869	0.48	96
9	9.894	5.253	4.697	3.616	0.47	94
10	8.723	4.933	3.355	3.059	0.435	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.077 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 4 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กากมะพร้าว

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 195.238

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	16.755	6.84	10.736	5.472	0.205	41
2	15.262	6.525	10.236	5.343	0.285	57
3	14.762	6.417	9.565	5.165	0.325	65
4	14.591	6.38	8.894	4.981	0.39	78
5	13.249	6.079	8.052	4.739	0.425	85
6	12.578	5.923	6.71	4.326	0.455	91
7	11.907	5.763	6.039	4.104	0.47	94
8	10.736	5.576	5.368	3.869	0.48	96
9	9.894	5.253	4.697	3.616	0.475	95
10	8.723	4.933	3.355	3.059	0.455	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผา ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.077 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 4 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กระดาษเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 290.476

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	16.755	6.84	10.736	5.472	0.025	5
2	15.262	6.525	10.236	5.343	0.09	18
3	14.762	6.417	9.565	5.165	0.14	22
4	14.591	6.38	8.894	4.981	0.19	38
5	13.249	6.079	8.052	4.739	0.23	46
6	12.578	5.923	6.71	4.326	0.25	50
7	11.907	5.763	6.039	4.104	0.275	55
8	10.736	5.576	5.368	3.869	0.295	59
9	9.894	5.253	4.697	3.616	0.255	51
10	8.723	4.933	3.355	3.059	0.19	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททราย ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.077 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 4 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: ทราย

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 1719.048

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	16.755	6.84	10.736	5.472	0.325	65
2	15.262	6.525	10.236	5.343	0.395	79
3	14.762	6.417	9.565	5.165	0.41	82
4	14.591	6.38	8.894	4.981	0.43	86
5	13.249	6.079	8.052	4.739	0.455	91
6	12.578	5.923	6.71	4.326	0.47	94
7	11.907	5.763	6.039	4.104	0.475	95
8	10.736	5.576	5.368	3.869	0.48	97
9	9.894	5.253	4.697	3.616	0.475	95
10	8.723	4.933	3.355	3.059	0.47	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบ ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.085 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 6 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบ

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 338.095

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	20.13	7.493	10.736	5.472	0.265	53
2	17.617	7.01	10.236	5.343	0.325	65
3	15.933	6.666	9.565	5.165	0.39	78
4	14.762	6.417	8.894	4.981	0.42	84
5	13.42	6.118	8.052	4.739	0.45	90
6	12.749	5.963	6.71	4.326	0.475	95
7	12.078	5.804	6.039	4.104	0.49	98
8	5.559	5.559	5.368	3.869	0.48	96
9	5.388	5.388	4.697	3.616	0.47	94
10	5.211	5.211	3.355	3.059	0.44	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผา ที่เปิดด้วยบัพพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.085 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 6 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 147.619

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	20.13	7.493	10.736	5.472	0.21	42
2	17.617	7.01	10.236	5.343	0.32	64
3	15.933	6.666	9.565	5.165	0.385	77
4	14.762	6.417	8.894	4.981	0.41	42
5	13.42	6.118	8.052	4.739	0.45	90
6	12.749	5.963	6.71	4.326	0.470	94
7	12.078	5.804	6.039	4.104	0.480	96
8	5.559	5.559	5.368	3.869	0.470	94
9	5.388	5.388	4.697	3.616	0.465	93
10	5.211	5.211	3.355	3.059	0.405	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกมะพร้าว ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.085 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 6 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กมะพร้าว

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 195.238

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	20.13	7.493	10.736	5.472	0.225	45
2	17.617	7.01	10.236	5.343	0.355	71
3	15.933	6.666	9.565	5.165	0.38	76
4	14.762	6.417	8.894	4.981	0.435	87
5	13.42	6.118	8.052	4.739	0.465	93
6	12.749	5.963	6.71	4.326	0.475	95
7	12.078	5.804	6.039	4.104	0.48	96
8	5.559	5.559	5.368	3.869	0.475	95
9	5.388	5.388	4.697	3.616	0.45	90
10	5.211	5.211	3.355	3.059	0.405	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผา ที่เป็ดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.085 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 7 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กระดาษเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 290.476

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	20.13	7.493	10.736	5.472	0.055	11
2	17.617	7.01	10.236	5.343	0.115	23
3	15.933	6.666	9.565	5.165	0.165	33
4	14.762	6.417	8.894	4.981	0.22	34
5	13.42	6.118	8.052	4.739	0.27	54
6	12.749	5.963	6.71	4.326	0.305	61
7	12.078	5.804	6.039	4.104	0.33	66
8	5.559	5.559	5.368	3.869	0.295	59
9	5.388	5.388	4.697	3.616	0.225	45
10	5.211	5.211	3.355	3.059	0.17	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททราย ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.085 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 7 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: ทราย

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 1719.048

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	20.13	7.493	10.736	5.472	0.34	68
2	17.617	7.01	10.236	5.343	0.385	77
3	15.933	6.666	9.565	5.165	0.415	83
4	14.762	6.417	8.894	4.981	0.445	89
5	13.42	6.118	8.052	4.739	0.475	75
6	12.749	5.963	6.71	4.326	0.485	97
7	12.078	5.804	6.039	4.104	0.49	98
8	5.559	5.559	5.368	3.869	480	96
9	5.388	5.388	4.697	3.616	0.475	95
10	5.211	5.211	3.355	3.059	0.46	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบ ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.090 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 7 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบ

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 338.095

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	22.814	7.977	10.736	5.472	0.28	56
2	21.13	7.678	10.236	5.343	0.335	67
3	19.917	7.397	9.565	5.165	0.405	81
4	17.959	7.078	8.894	4.981	0.455	91
5	15.762	6.631	8.052	4.739	0.48	96
6	14.762	6.417	6.71	4.326	0.49	98
7	13.92	6.231	6.039	4.104	0.485	97
8	12.249	5.845	5.368	3.869	0.475	95
9	11.407	5.641	4.697	3.616	0.465	93
10	10.565	5.428	3.355	3.059	0.425	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผา ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.090 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 8 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 147.619 kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	22.814	7.977	10.736	5.472	0.22	44
2	21.13	7.678	10.236	5.343	0.325	65
3	19.917	7.397	9.565	5.165	0.39	78
4	17.959	7.078	8.894	4.981	0.445	89
5	15.762	6.631	8.052	4.739	0.475	95
6	14.762	6.417	6.71	4.326	0.49	98
7	13.92	6.231	6.039	4.104	0.485	97
8	12.249	5.845	5.368	3.869	0.47	94
9	11.407	5.641	4.697	3.616	0.45	90
10	10.565	5.428	3.355	3.059	0.405	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าว ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.090 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 8 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กากมะพร้าว

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 195.238

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	22.814	7.977	10.736	5.472	0.24	48
2	21.13	7.678	10.236	5.343	0.365	73
3	19.917	7.397	9.565	5.165	0.395	79
4	17.959	7.078	8.894	4.981	0.44	88
5	15.762	6.631	8.052	4.739	0.46	92
6	14.762	6.417	6.71	4.326	0.475	95
7	13.92	6.231	6.039	4.104	0.485	87
8	12.249	5.845	5.368	3.869	0.47	94
9	11.407	5.641	4.697	3.616	0.435	87
10	10.565	5.428	3.355	3.059	0.39	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.19 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผา ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.090 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 8 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กระดาษเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 290.476

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	22.814	7.977	10.736	5.472	0.145	29
2	21.13	7.678	10.236	5.343	0.205	41
3	19.917	7.397	9.565	5.165	0.3	60
4	17.959	7.078	8.894	4.981	0.32	64
5	15.762	6.631	8.052	4.739	0.355	71
6	14.762	6.417	6.71	4.326	0.375	75
7	13.92	6.231	6.039	4.104	0.35	70
8	12.249	5.845	5.368	3.869	0.285	57
9	11.407	5.641	4.697	3.616	0.205	41
10	10.565	5.428	3.355	3.059	0.15	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.20 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททรายที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.090 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง: 9 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: ทราย

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 1719.048

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	22.814	7.977	10.736	5.472	0.375	75
2	21.13	7.678	10.236	5.343	0.405	81
3	19.917	7.397	9.565	5.165	0.435	87
4	17.959	7.078	8.894	4.981	0.47	94
5	15.762	6.631	8.052	4.739	0.485	97
6	14.762	6.417	6.71	4.326	0.495	99
7	13.92	6.231	6.039	4.104	0.49	98
8	12.249	5.845	5.368	3.869	0.485	97
9	11.407	5.641	4.697	3.616	0.47	94
10	10.565	5.428	3.355	3.059	0.455	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบ ที่เปิดควาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.110 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 9 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบ

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 338.095

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	24.156	8.209	10.736	5.472	0.295	59
2	21.972	7.829	10.236	5.343	0.340	68
3	20.972	7.648	9.565	5.165	0.420	84
4	20.130	7.493	8.894	4.981	0.465	93
5	18.288	7.142	8.052	4.739	0.480	96
6	16.104	6.702	6.710	4.326	0.490	98
7	15.091	6.488	6.039	4.104	0.485	97
8	14.420	6.342	5.368	3.869	0.470	94
9	13.591	6.157	4.697	3.616	0.46	92
10	13.42	6.118	3.355	3.059	0.415	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.22 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทแกลบเผา ที่เปิดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.110 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 9 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: แกลบเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 147.619

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	24.156	8.209	10.736	5.472	0.23	46
2	21.972	7.829	10.236	5.343	0.34	68
3	20.972	7.648	9.565	5.165	0.380	76
4	20.130	7.493	8.894	4.981	0.425	85
5	18.288	7.142	8.052	4.739	0.475	95
6	16.104	6.702	6.710	4.326	0.490	98
7	15.091	6.488	6.039	4.104	0.480	96
8	14.420	6.342	5.368	3.869	0.470	94
9	13.591	6.157	4.697	3.616	0.445	89
10	13.42	6.118	3.355	3.059	0.39	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.23 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกากมะพร้าวที่เปิดวาล์วด้วยพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.110 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 10 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กากมะพร้าว

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min
 kg/m^3

มีความหนาแน่น: 195.238

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	24.156	8.209	10.736	5.472	0.250	50
2	21.972	7.829	10.236	5.343	0.370	74
3	20.972	7.648	9.565	5.165	0.460	92
4	20.130	7.493	8.894	4.981	0.470	94
5	18.288	7.142	8.052	4.739	0.475	95
6	16.104	6.702	6.710	4.326	0.485	97
7	15.091	6.488	6.039	4.104	0.480	96
8	14.420	6.342	5.368	3.869	0.46	92
9	13.591	6.157	4.697	3.616	0.42	84
10	13.42	6.118	3.355	3.059	0.38	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภทกระดาษเผาที่เป็ดวาล์วบายพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.110 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 10 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: กระดาษเผา

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 290.476 kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	24.156	8.209	10.736	5.472	0.18	36
2	21.972	7.829	10.236	5.343	0.22	44
3	20.972	7.648	9.565	5.165	0.32	64
4	20.130	7.493	8.894	4.981	0.34	68
5	18.288	7.142	8.052	4.739	0.36	72
6	16.104	6.702	6.710	4.326	0.375	75
7	15.091	6.488	6.039	4.104	0.30	60
8	14.420	6.342	5.368	3.869	0.225	45
9	13.591	6.157	4.697	3.616	0.155	31
10	13.42	6.118	3.355	3.059	0.120	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.25 แสดงผลการทดลองจากการใช้ฝุ่นประเภททราย ที่เปิดด้วยลมพาสมีอัตราการไหล
อากาศเท่ากับ 0.110 kg/m^3

วันที่ทำการทดลอง : 11 มีนาคม 2545

ชนิดมูลฝอย: ทราย

อัตราการป้อนมูลฝอย: 0.1 kg/min

มีความหนาแน่น: 1719.048

kg/m^3

ครั้งที่	ΔP_{in}	P_{in}	ΔP_{out}	P_{out}	ฝุ่นที่จับได้ (kg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	24.156	8.209	10.736	5.472	0.380	76
2	21.972	7.829	10.236	5.343	0.410	82
3	20.972	7.648	9.565	5.165	0.450	90
4	20.130	7.493	8.894	4.981	0.480	96
5	18.288	7.142	8.052	4.739	0.490	98
6	16.104	6.702	6.710	4.326	0.495	99
7	15.091	6.488	6.039	4.104	0.485	97
8	14.420	6.342	5.368	3.869	0.475	95
9	13.591	6.157	4.697	3.616	0.460	92
10	13.42	6.118	3.355	3.059	0.450	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 แสดงค่าความเร็วจับของอนุภาค

Condition of Contaminant Dispersion	Examples	Capture (Control) Velocity, m/s
Released with essentially no velocity into still air	Evaporation from tanks, degreasing, plating	0.25 to 0.5
Released at low velocity into moderately still air	Container filling, low-speed conveyor transfers, welding	0.5 to 1.0
Active generation into zone of rapid air motion	Barrel filling, chute loading of conveyors, crushing, cool shakeout	1.0 to 2.5
Released at high velocity into zone of very rapid air motion	Grinding, abrasive blasting, tumbling, hot shakeout	2.5 to 10

In each category above, a range of capture velocities is shown. The proper choice of values depends on several factors (Alden and Kane 1982):

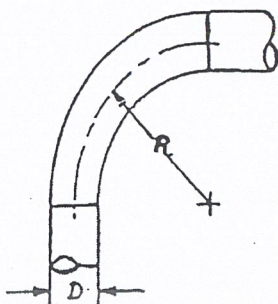
Lower End of Range	Upper End of Range
1. Room air currents are favorable to capture.	1. Distributing room air currents.
2. Contaminants of low toxicity or of nuisance value only.	2. Contaminants of high toxicity.
3. Intermittent, low production.	3. High production, heavy use.
4. Large hood; large air mass in motion.	4. Small hood; local control only.

ตารางที่ ค-2 แสดงค่าความเร็วของแก๊สที่มีอนุภาคแขวนลอย

Nature of Contaminant	Examples	Minimum Transport Velocity, m/s
Vapors, gases, smoke	All vapors, gases, smokes	Usually 5 to 10
Fumes	Welding	10 to 13
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	13 to 15
Dry dusts and powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	15 to 20
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	18 to 23
Heavy dusts	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shakeout, sandblast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast-iron boring dust, lead dust	20 to 23
Heavy or moist dusts	Lead dust with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transite pipe cutting machines, buffing lint (sticky), quicklime dust	23 and up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในข้องอ 90°



R, No. of Diameters	Loss Fraction of VP
2.75 D	0.26
2.50 D	0.22
2.25 D	0.26
2.00 D	0.27
1.75 D	0.32
1.50 D	0.39
1.25 D	0.55

ROUND ELBOWS

ตารางที่ ค-4 แสดงขนาดของท่อลดตามมาตรฐาน JIS B 2311 SGP

JIS B 2311 SGP Reducer Dimension Unit : mm

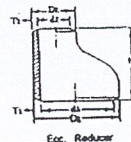
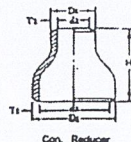
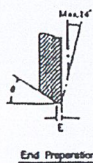
Item	Size	1/2	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2-1/2	3	3-1/2	4	5	6	8	10	12	14	16
D	Std.	21.7	27.2	34.0	42.7	48.6	60.5	76.3	89.1	101.6	114.3	139.7	165.2	216.3	267.4	318.5	355.6	405.4
	Max.	23.5	29.0	35.2	44.5	50.4	62.3	78.1	91.4	103.9	116.6	143.0	168.4	219.5	271.9	323.0	360.1	410.9
	Min.	19.9	25.4	32.2	40.9	46.8	58.7	74.5	86.8	99.3	112.0	136.0	162.0	213.1	263.4	314.5	351.6	402.4
d	Std.	16.1	21.6	27.6	35.7	41.6	52.9	67.9	80.7	93.2	105.3	130.8	155.2	204.7	254.2	304.7	339.8	390.6
	Max.	17.9	23.4	29.4	37.5	43.4	54.7	69.7	83.0	95.5	107.6	134.0	158.4	207.9	258.2	308.7	343.8	394.6
	Min.	14.3	19.8	25.8	33.9	39.8	51.1	66.1	78.4	90.9	103.0	127.6	152.0	201.5	250.2	300.7	335.8	386.6
T	Std.	2.8	2.8	3.2	3.5	3.5	3.8	4.2	4.2	4.2	4.5	4.5	5.0	5.8	6.6	6.9	7.9	7.9
	Min.	2.4	2.4	2.8	3.0	3.0	3.3	3.6	3.6	3.6	3.9	3.0	4.3	5.0	5.7	5.9	6.8	6.8

Item	Size	1/2	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2-1/2	3	3-1/2	4	5	6	8	10	12	14	16
R	Std.	—	35.1	30.8	30.8	63.5	76.2	88.9	88.9	101.6	101.6	127.3	139.7	152.4	177.8	203.2	230.2	255.6
	Max.	—	39.9	52.6	52.6	65.3	78.0	90.7	90.7	103.4	103.4	130.0	142.7	155.4	180.8	206.2	233.2	258.6
	Min.	—	35.3	49.0	49.0	61.7	74.4	87.1	87.1	99.8	99.8	124.3	136.7	149.4	174.8	200.2	227.2	252.6

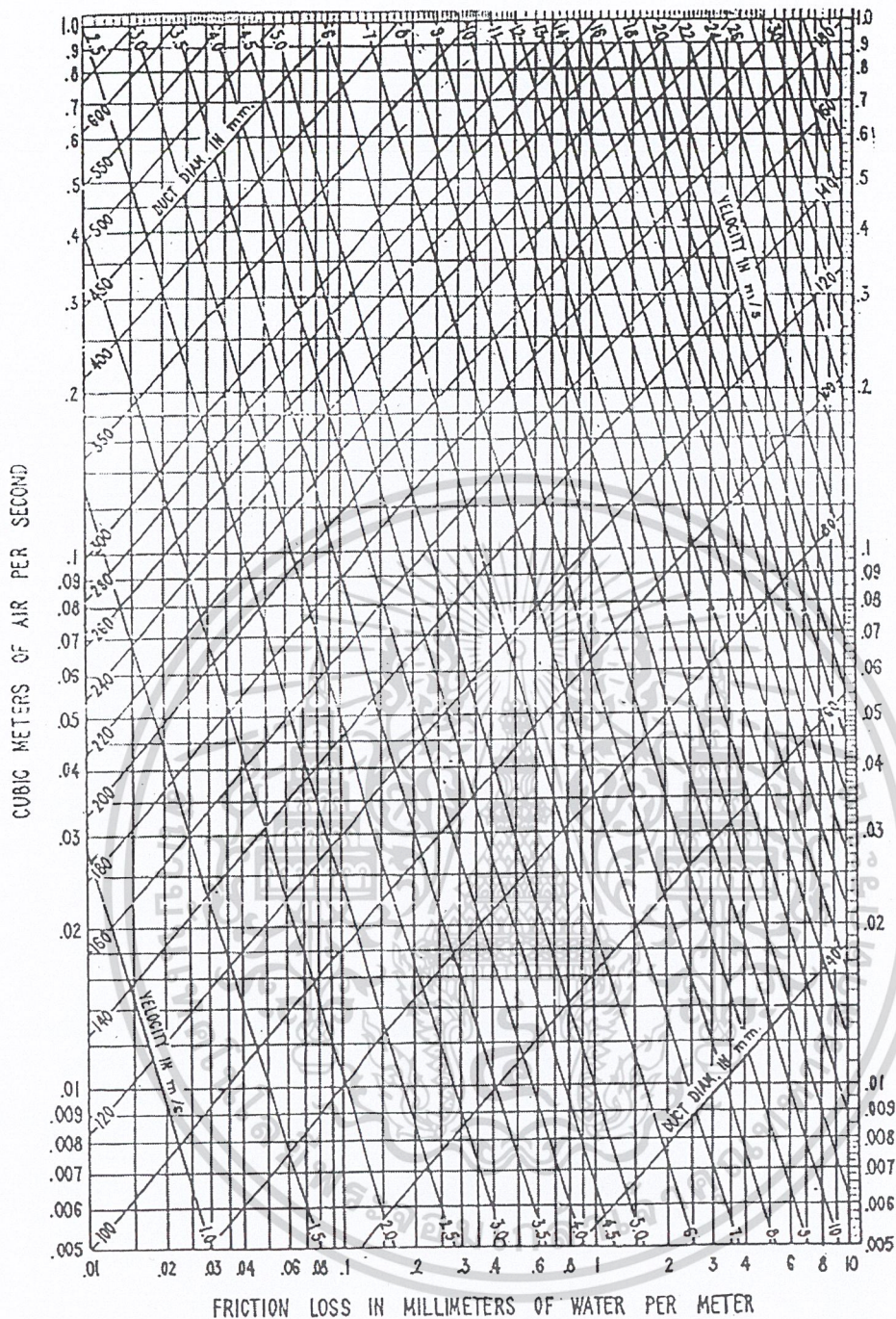
STD : Specified Standard

$\theta = 32.5^\circ \pm 2.5^\circ$

R = 2.0 \pm 1.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

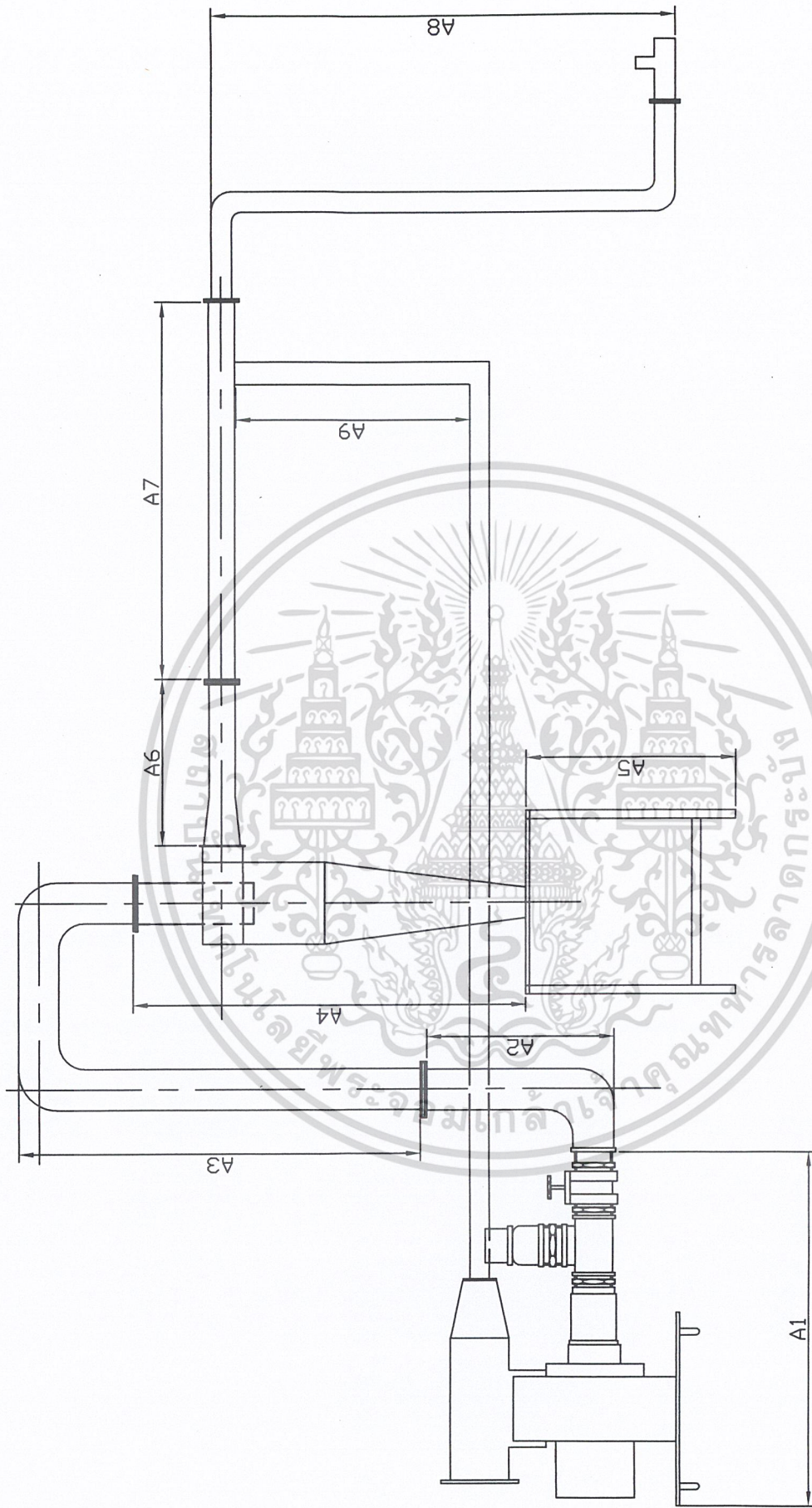


รูปที่ ค-1 แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ (f_d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

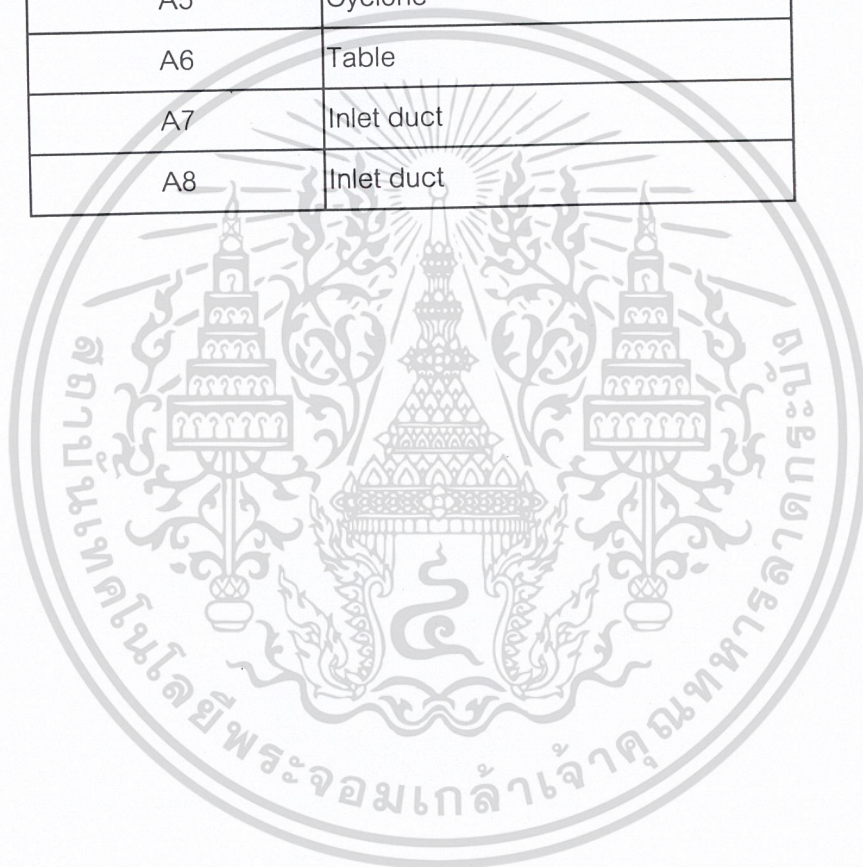


A	Syclone System	
Material	Steel	March 2002
Scale: 1:40	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

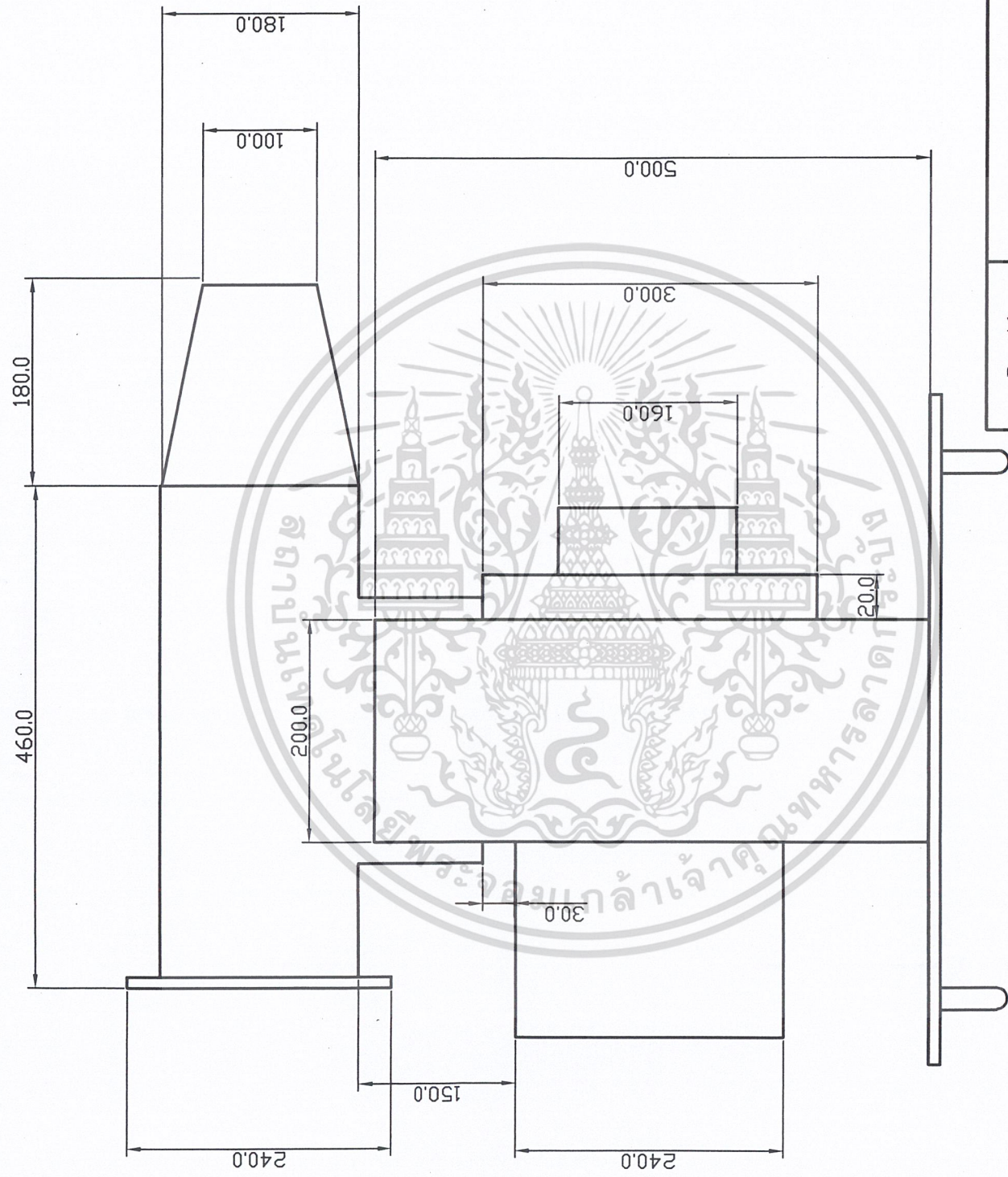
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meaning of symbols are as follow:

A1	Fan with outlet duct
A2	Control valve
A3	Outlet duct
A4	Outlet duct
A5	Cyclone
A6	Table
A7	Inlet duct
A8	Inlet duct

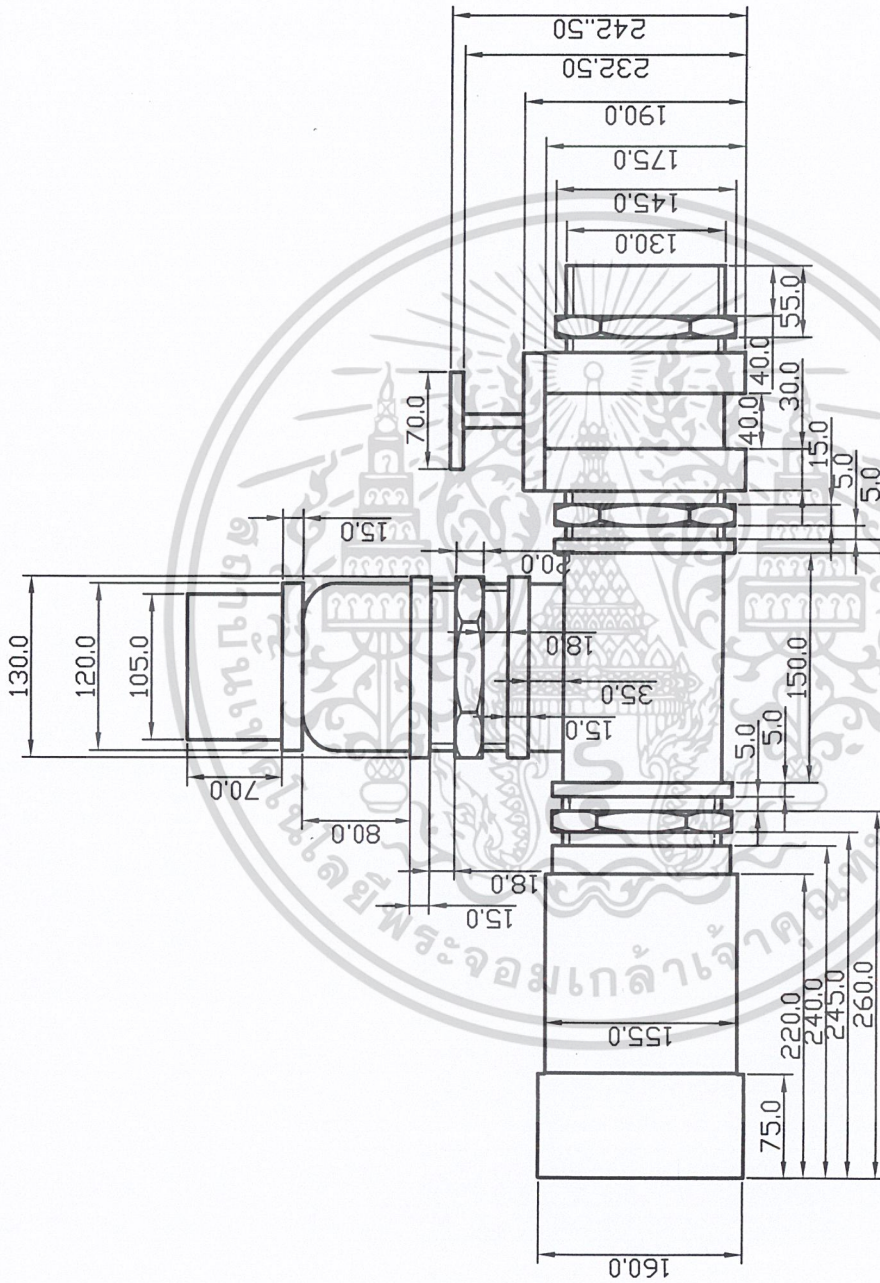


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



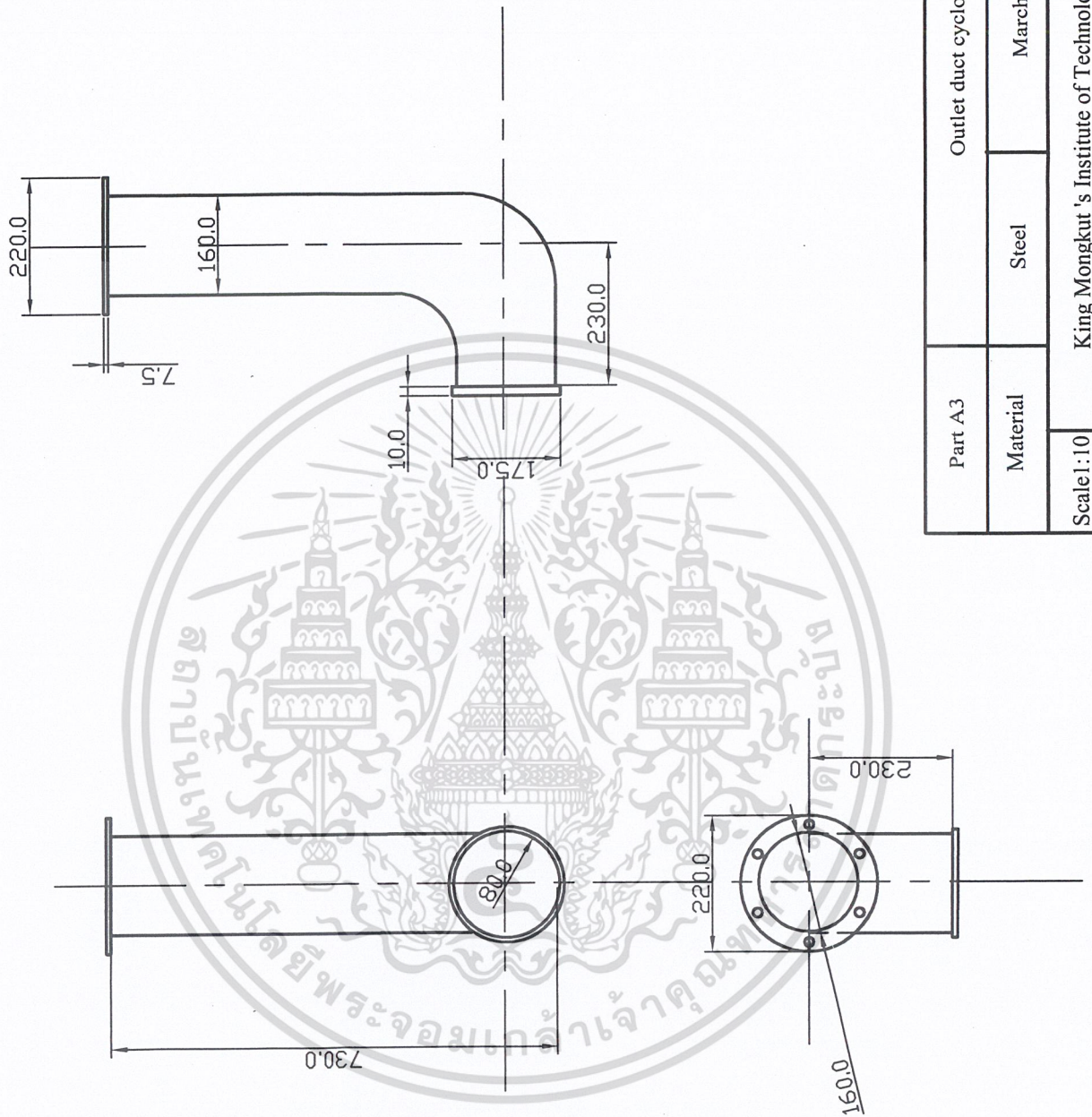
Part A1	Fan with outlet duct	
Material	Steel	March 2002
Scale 1:5	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



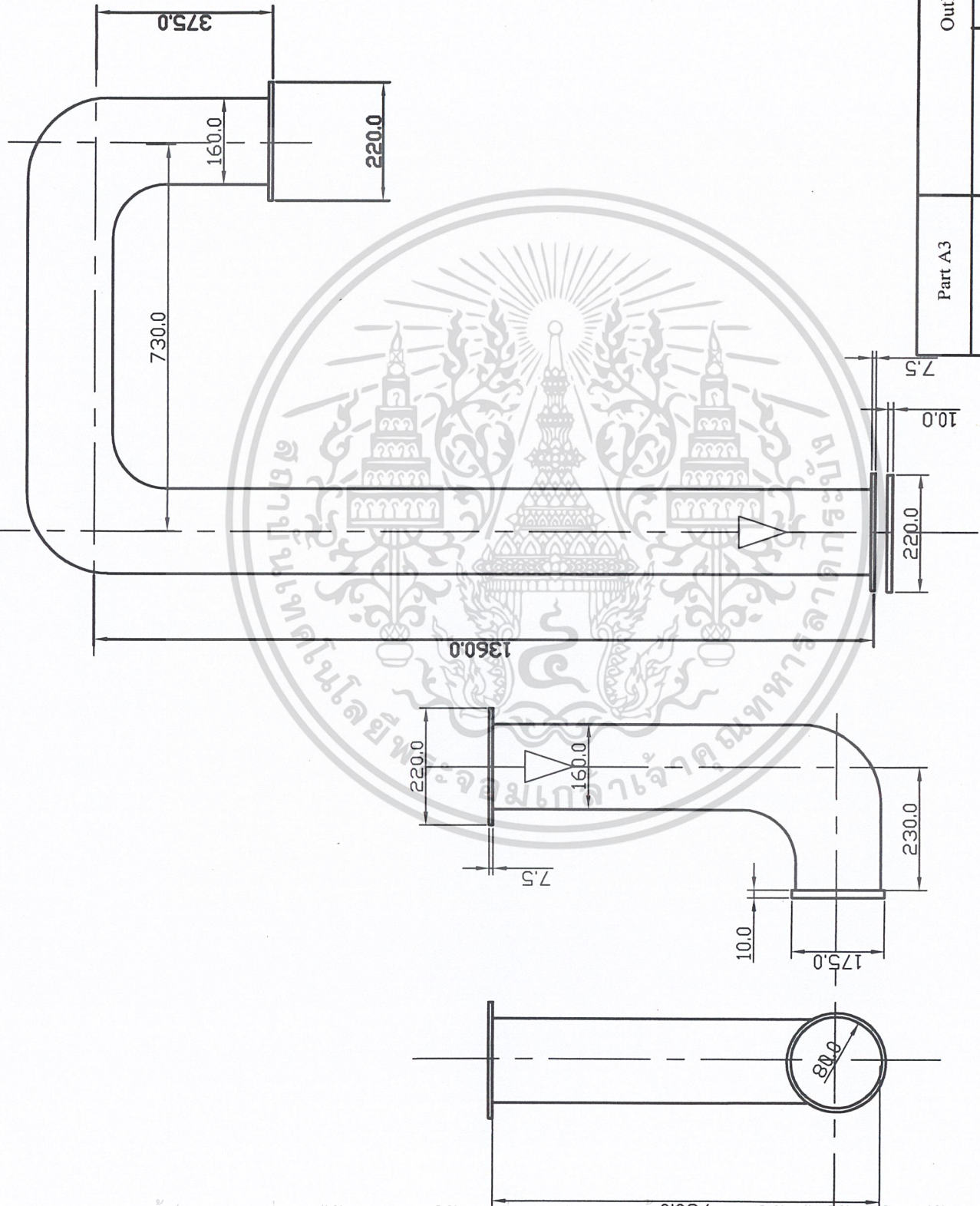
Part A2	Control Valve	
Material	Steel	March 2002
Scale 1:5	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่จำกัดสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเปลี่ยนแปลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



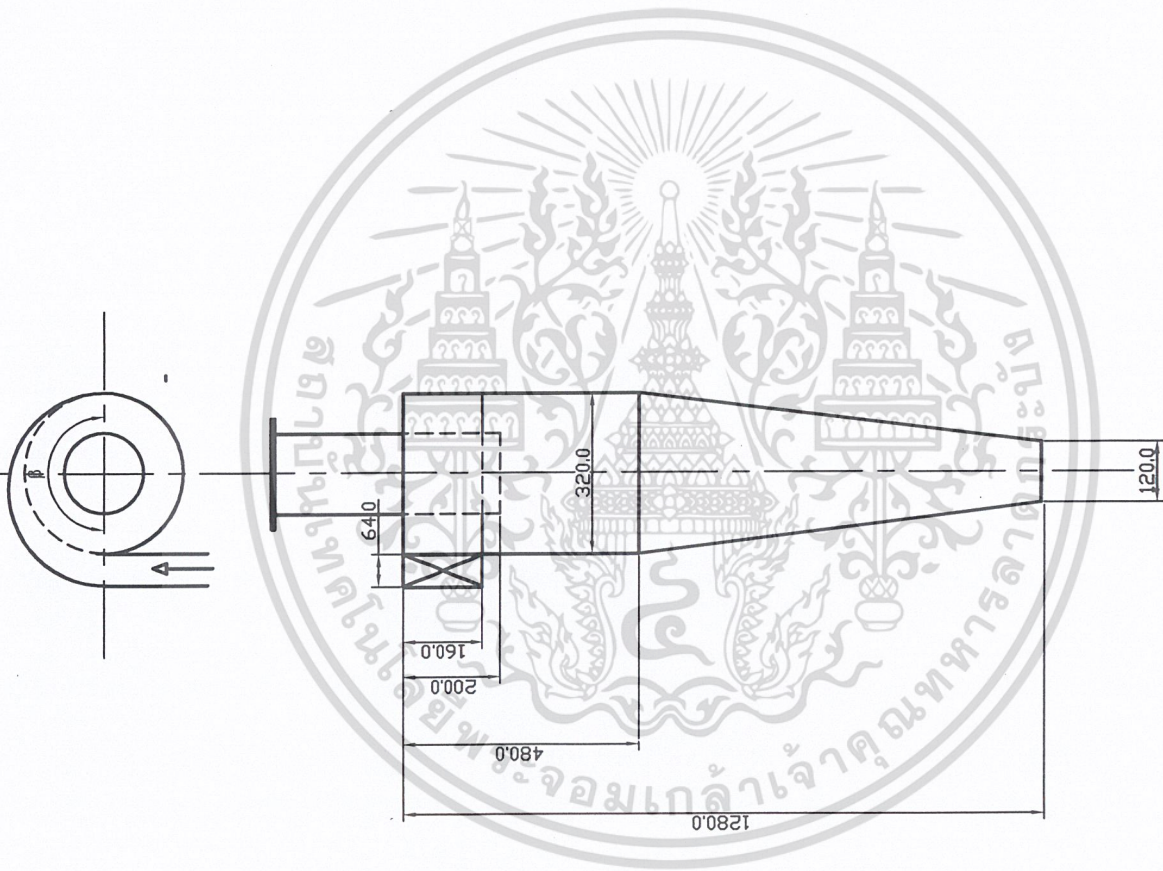
Part A3	Outlet duct cyclone	
Material	Steel	March 2002
Scale:10	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และตัวอย่างอื่นใดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



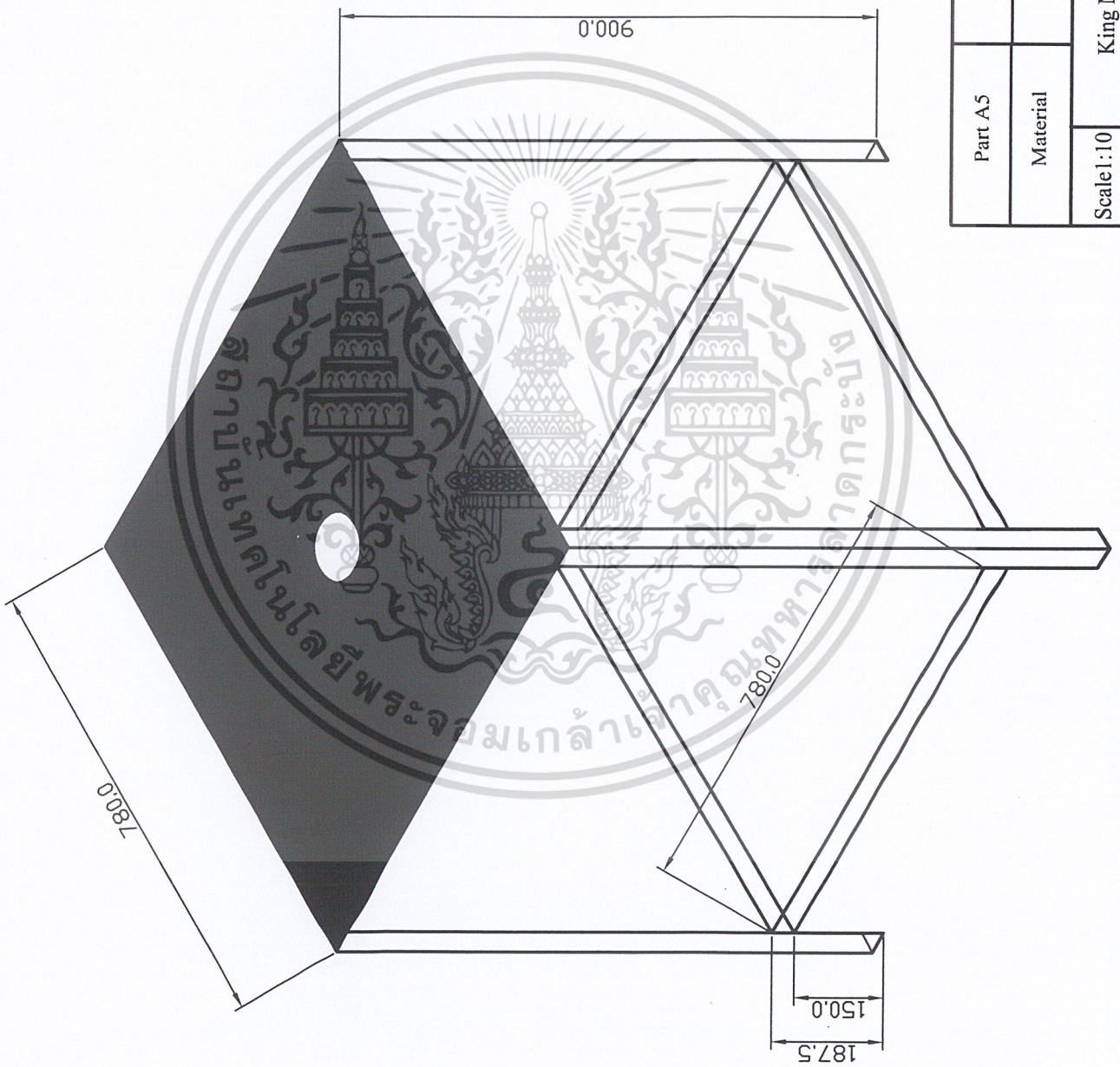
Part A3	Outlet duct cyclone	
Material	Steel	March 2002
Scale 1:10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่เว้นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำแปลงเนื้อทำ และดัดแปลงแก้ไข ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



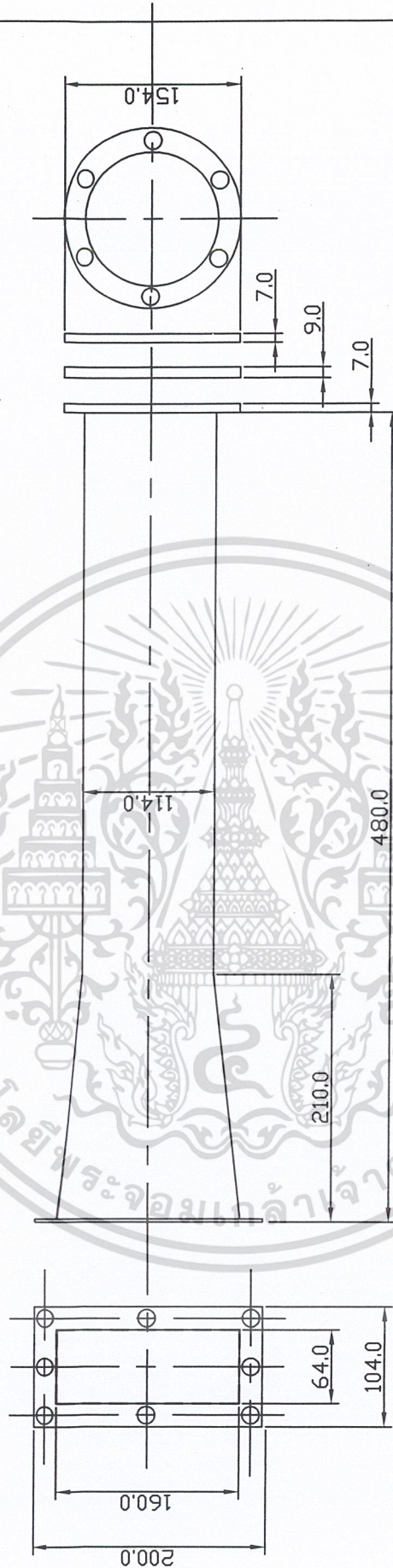
Part A4	Cyclone	
Material	Steel	March 2002
Scale 1:10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part A5	Table	
Material	Steel	March 2002
Scale: 1:10	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



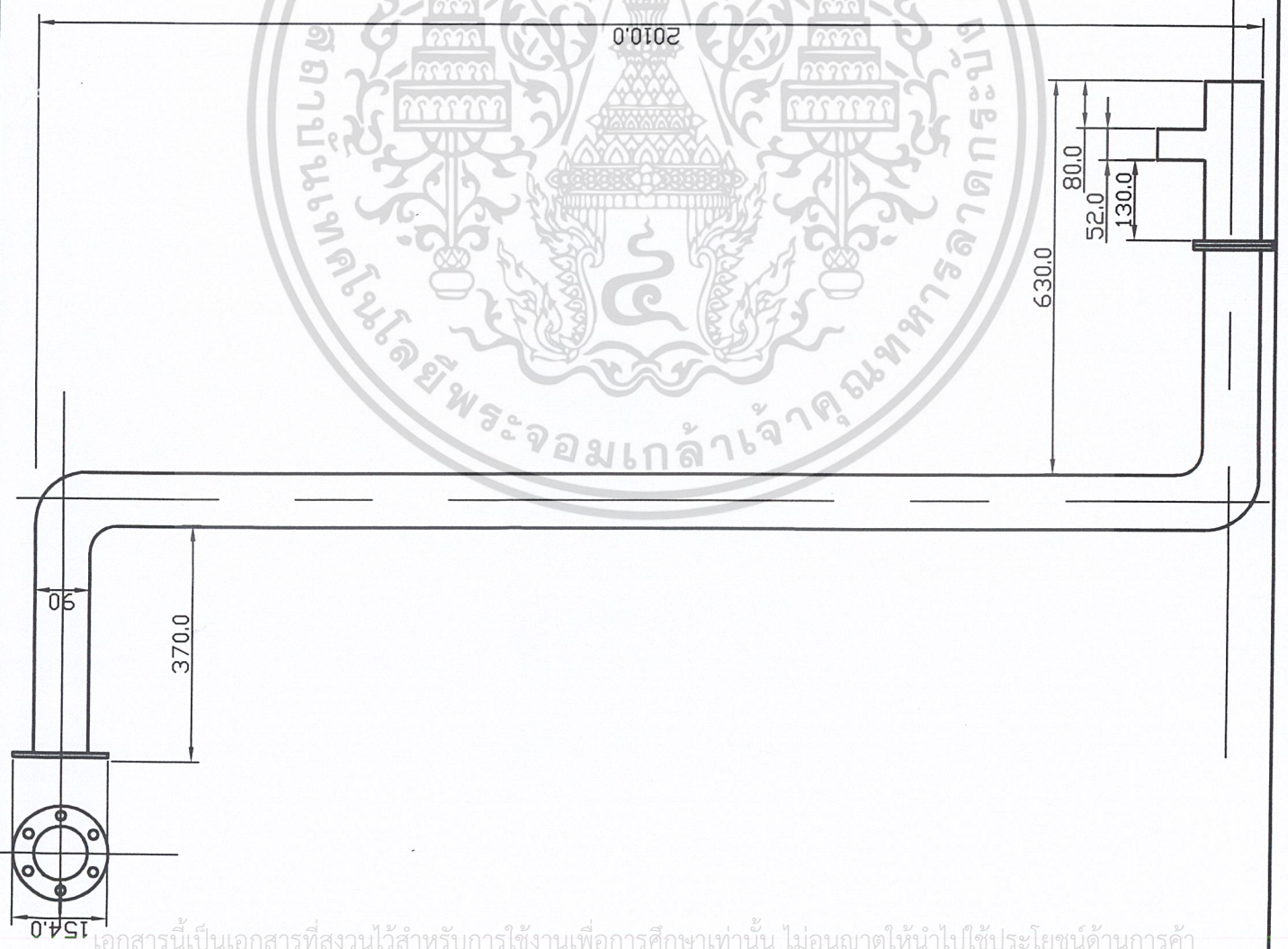
Part A6	Inlat duct cyclone	
Material	Steel	March 2002
Scale 1:5	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part A7	Inlet duct cyclone	
Material	Steel	March 2002
Scale:10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part A8	Inlet duct cyclone	
Material	Steel	March 2002
Scale 1:10	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part A9

Valve by pass duct cyclone

Material

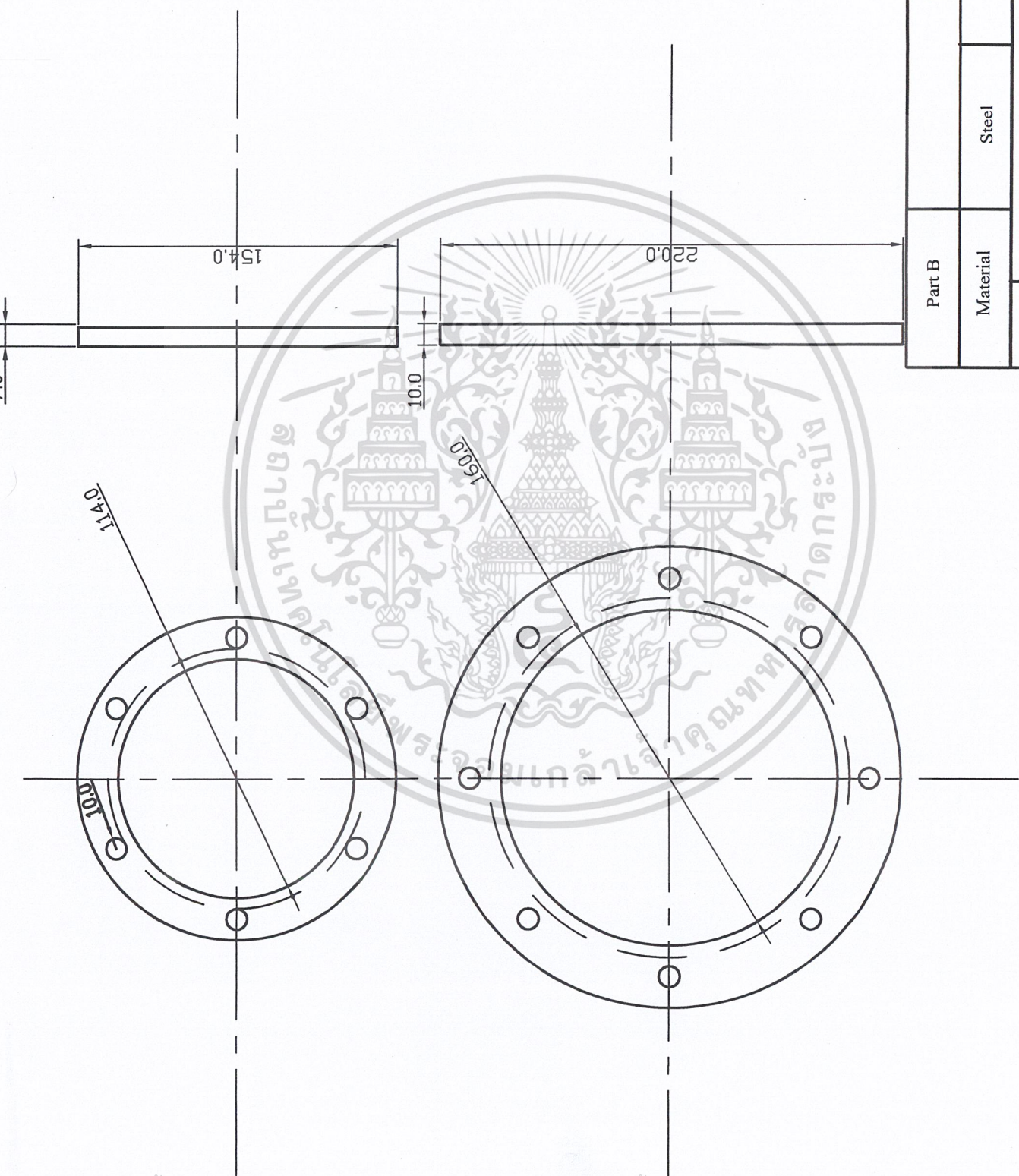
Steel

March 2002

Scale 4:1

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part B	Orifice	
Material	Steel	March 2002
Scale 4:1	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้