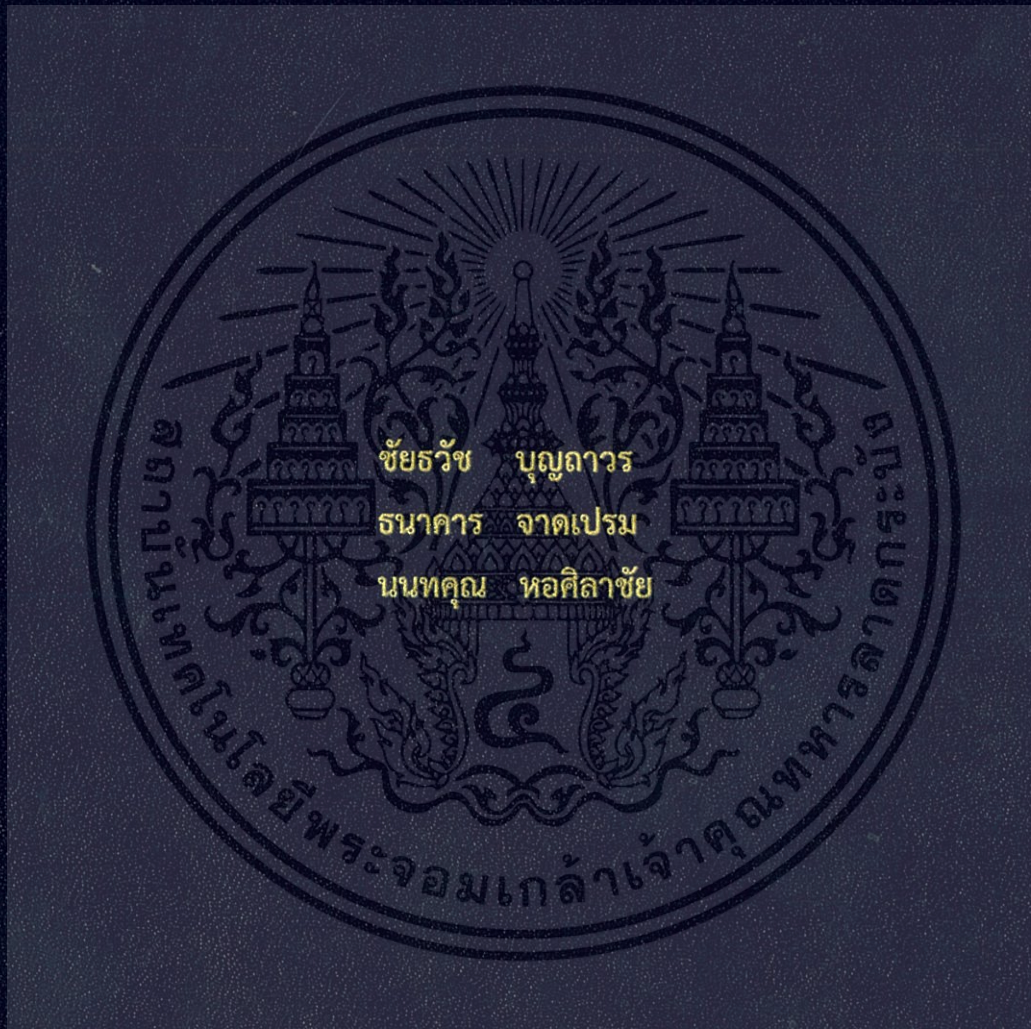


ชุดหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-แก๊สในเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกเพื่อบำบัดอากาศ
เสีย

Pack of Liquid-Gas Ejectors in Wet Scrubber for Air Pollution
Abatement



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ชุดหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-แก๊สในเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกเพื่อบำบัดอากาศ
เสีย

Pack of Liquid-Gas Ejectors in Wet Scrubber for Air Pollution
Abatement



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pack of Liquid-Gas Ejectors in Wet Scrubber for Air Pollution
Abatement



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-แก๊สในเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกเพื่อบำบัดอากาศเสีย

Pack of Liquid-Gas Ejectors in Wet Scrubber for Air Pollution Abatement

ผู้จัดทำ

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. นายชัยวัช บุญถาวร | รหัสประจำตัว 54010308 |
| 2. นายธนาकर จาดเปรม | รหัสประจำตัว 54010584 |
| 3. นายนนทคุณ หอศิลาชัย | รหัสประจำตัว 54010652 |



(ผศ.ดร.ณตวิภา เจียรระโนวชิระ)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-แก๊สในเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกเพื่อบำบัดอากาศเสีย

นายชัยรัช บัญถาวร 54010308
นายธนากร จาดเปรม 54010584
นายนนทคุณ หอศิลาชัย 54010652
ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่
ปรึกษาปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและรูปแบบการวางตัวของชุดหัวฉีดเหนียวนำที่ส่งผลต่ออัตราการเหนียวนำอากาศเข้ามาในถังผสม โดยฉีดน้ำซึ่งเป็นของไหลหลักด้วยความเร็วสูงผ่านหัวฉีดจำนวน 4 หัวที่มีขนาดเท่ากันทำให้เกิดบริเวณที่มีความดันต่ำรอบๆปลายหัวฉีดและเหนียวนำอากาศซึ่งเป็นของไหลรองจากภายนอกถังผสมเข้ามาภายในถังผสม เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ โดยการทดลองได้ศึกษาการเรียงตัวของหัวฉีดจำนวน 2 รูปแบบคือแบบจัตุรัส และแบบม่านซึ่งแต่ละรูปแบบนั้นถูกแบ่งเป็นอีก 5 รูปแบบย่อยตามระยะห่างของศูนย์กลางหัวฉีดคือ 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D ในรูปแบบจัตุรัส และ 5D, 6D, 7D, 8D และ 9D ในรูปแบบม่านและนอกจากนั้นยังทำการศึกษาทั้งในรูปแบบติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม โดยใช้ค่าอัตราการไหลของน้ำเป็น 3.2, 3.6, 4.0, 4.4 และ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจากการศึกษาพบว่ารูปแบบการวางหัวฉีดและระยะห่างของศูนย์กลางหัวฉีดที่ดีที่สุดคือ การวางหัวฉีดแบบม่านที่ไม่ติดตั้งห้องผสมโดยมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 8D ซึ่งจะก่อให้เกิดอัตราการเหนียวนำอากาศเท่ากับ 20.32, 25.82, 33.05, 36.49 และ 44.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และค่าอัตราของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.157, 0.139, 0.121, 0.120 และ 0.108

Pack of Liquid-Gas Ejectors in Wet Scrubber for Air Pollution Abatement

Chaitawat Boonthavorn 54010308

Thanakan Jadprem 54010584

Nontakun Horsilachai 54010652

Assis.Prof. Nutvipa Jayranaiwachira advisor

Year 2557

Abstract

In this paper, the effect of changing in liquid jet nozzle position and spacing which effect on air flow rate into the mixing chamber were studied. By water, as a primary fluid, is injected in high velocity through 4 similar nozzle causes a low pressure area around the nozzles and induces air, as a secondary environmental fluid, from environment into the mixing chamber with reduce using a blower. The research studied 2 types of nozzles arrangement, square and row, and each types was divided into 5 minor types separated by spacing between the nozzles center as ,for square arrangement, 5D, 11D, 17D, 23D and 28D and ,for row arrangement, 5D, 6D, 7D, 8D and 9D.In addition, the with chamber condition and without chamber condition were also studied .The water flow rate used was 3.2,3.6,4.0,4.4 and 4.8 cubic meter per hour .Result in the best arrangement and spacing between nozzles center as 8D of row arrangement without chamber which caused air flow rates as 20.32, 25.82, 33.05, 36.49 and 44.38 cubic meter per hour and the Liquid-to-Gas Ratio as 0.157, 0.139, 0.121, 0.120 and 0.108.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงได้หากปราศจากความกรุณาจากท่านอาจารย์
ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา
ต่างๆอย่างดีมาเสมอ ซึ่งข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลผู้มีพระคุณสูงสุดอันประมาณมิได้ของข้าพเจ้าคือ บิดา
และมารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิดและเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี พร้อมทั้งหยิบยื่นสิ่งที่ดีรวมถึงโอกาสใน
การศึกษาที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาเสมอ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณของท่าน และขอกราบขอบพระคุณมา ณ
โอกาสนี้



ชัยรัช บัญถาวร
ธนาคาร จาดเปรม
นนทคุณ ทอศิลาชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวกับการเรียงตัวของหัวฉีด	3
2.1.1 เครื่องดักฝุ่นแบบเปียก	3
2.1.2 การเหนี่ยวนำอากาศ	3
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
3.1 ทฤษฎีเจ็ท	5
3.1.1 โครงสร้างและการพัฒนาของเจ็ทอิสระ	5
3.1.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการกระจายของเจ็ท	7
3.1.2.1 รูปแบบของความเร็วเจ็ท ณ ปลายหัวฉีด	7
3.1.2.2 รูปทรงของหัวฉีด	8
3.1.2.3 ครีงความกว้างและจุดกำเนิดเสมือนของเจ็ท	8
3.2 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ	10
3.3 ปรากฏการณ์เวนตูรี (Venturi effect)	10
3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วในการไหล	10
3.3.2 การไหลแบบโซ้ค(Choked flow)	11
3.4 ทฤษฎีการถ่ายโมเมนตัม	11
3.5 สกรับเบอร์แบบเวนตูรี (Venturi scrubber)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส (Liquid-to-Gas Ratio, L/G Ratio)	12
3.7 การใช้ไซโคลนหลายตัว (Multiple Cyclone).....	13
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	14
4.1 ชุดทดลอง.....	14
4.1.1 อุปกรณ์การทดลอง	14
4.1.1.1 หัวฉีดเหนี่ยวนำอากาศ (Nozzle).....	14
4.1.1.2 ห้องผสม (Mixing chamber).....	15
4.1.1.3 แผ่นวางห้องผสม.....	15
4.1.1.4 แผ่นวางหัวฉีดเหนี่ยวนำ.....	16
4.1.2 ถังผสม	17
4.1.2.1 ถังผสมส่วนบน.....	17
4.1.2.2 ถังผสมส่วนกลาง.....	17
4.1.2.3 ถังผสมส่วนล่าง.....	18
4.1.3 ปล่องดูดอากาศ (Hood)	19
4.1.4 ถังน้ำ.....	20
4.1.5 ระบบสูบน้ำ ท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ	20
4.1.5.1 เครื่องสูบน้ำ.....	20
4.1.5.2 โกลบวาล์ว.....	20
4.1.5.3 ท่อและข้อต่อพีวีซี.....	21
4.1.5.4 สายยาง.....	21
4.1.6 เครื่องมือวัด	22
4.1.6.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Rota meter).....	22
4.1.6.2 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer).....	22
4.2 วิธีการทดลอง	23
บทที่ 5 ผลการสร้างแบบจำลองและการทดลอง	26
5.1 ผลการทดลองการวางหัวฉีดแบบจัดรัศมี	26
5.1.1 ผลการวางหัวฉีดแบบจัดรัศมีพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	26
5.1.2 ผลการวางหัวฉีดแบบจัดรัศมีและไม่ติดตั้งห้องผสม.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลองการวางหัวฉืดแบบม่าน	29
5.2.1 ผลการวางหัวฉืดแบบม่านพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	29
5.2.2 ผลการวางหัวฉืดแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม.....	31
5.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของแบบพร้อมติดตั้งห้องผสมและแบบไม่ติดตั้งห้องผสม.....	34
5.3.1 เปรียบเทียบแบบจัตุรัส.....	34
5.3.2 เปรียบเทียบแบบม่าน.....	35
5.3.3 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำและอากาศของรูปแบบที่ดีที่สุด.....	36
5.4 ผลของอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สจากการทดลอง.....	36
5.4.1 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉืดแบบจัตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	37
5.4.2 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉืดแบบจัตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม.....	37
5.4.3 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉืดแบบม่านพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	38
5.4.4 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉืดแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม.....	39
5.4.5 การเปรียบเทียบ L/G Ratio กับระยะของการวางหัวฉืด.....	39
บทที่ 6 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	41
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	41
6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก. การสร้างชุดหัวฉืดด้วยโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD)	45
ภาคผนวก ข. รูปแบบการวางตัวของหัวฉืด.....	57
ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของเครื่องดักฝุ่นแบบเปียก.....	3
5.11 ตารางการเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำและอากาศ ของรูปแบบจตุรัสระยะ 23D และ รูปแบบม่าน ระยะ 8D.....	36
5.16 ตารางการเปรียบเทียบ L/G Ratio กับระยะของการวางหัวฉีด.....	39
ค1 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัสพร้อมห้องผสม.....	62
ค2 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม.....	63
ค3 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่านพร้อมห้องผสม.....	64
ค4 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่านเมื่อไม่ติดตั้งห้องผสม.....	65
ค5 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัส พร้อมห้องผสม.....	66
ค6 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัส และไม่ติดตั้งห้องผสม.....	67
ค7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่าน พร้อมห้องผสม.....	68
ค8 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่าน และไม่ติดตั้งห้องผสม.....	69
ค9 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัส พร้อมห้องผสม.....	70
ค10 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัส และไม่ติดตั้งห้องผสม.....	71
ค11 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่านพร้อมห้องผสม.....	72
ค12 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม.....	73

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แบบของหัวฉีดเหนียวนำที่ใช้ในการทดลอง7
3.1	ลักษณะกระแสการไหลแบบเจ็ทของของเหลวที่ออกจากหัวฉีด.....5
3.2	ตำแหน่งของจุดกำเนิดเสมือนและระยะครึ่งความกว้าง 12
3.3	การไหลภายในท่อ 13
4.1	(ก) แผนผังโครงสร้างชุดทดลอง, (ข) การติดตั้งชุดทดลองจริง 15
4.2	(ก) แบบของหัวฉีดที่ใช้ในการสร้าง, (ข) หัวฉีดเหนียวนำที่ใช้ในการทดลอง 16
4.3	(ก) แบบของห้องผสมที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ห้องผสมที่ใช้ในการทดลอง..... 16
4.4	(ก) แผ่นวางห้องผสมแบบจัดรั้ว, (ข) แผ่นวางห้องผสมแบบม่าน 28
4.5	(ก) แบบของแผ่นวางหัวฉีดที่ใช้ในการสร้าง, (ข) แผ่นวางหัวฉีดเหนียวนำที่ใช้ในการทดลอง..... 29
4.6	(ก) แบบของถังผสมส่วนบนที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ถังผสมส่วนบนที่ใช้ในการทดลอง..... 32
4.7	(ก) แบบของถังผสมส่วนกลางที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ถังผสมส่วนกลางที่ใช้ในการทดลอง 37
4.8	(ก) แบบของถังผสมส่วนล่างที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ถังผสมส่วนล่างที่ใช้ในการทดลอง..... 38
4.9	(ก) แบบของปล่องดูดอากาศที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ปล่องดูดอากาศที่ใช้ในการทดลอง..... 39
4.10	(ก) แบบประกอบของชุดทดลอง, (ข) ชุดทดลอง..... 40
4.11	ถังน้ำ 42
4.12	เครื่องสูบน้ำ..... 43
4.13	Globe valve 43
4.14	ท่อ และข้อต่อพีวีซี 44
4.15	สายยาง 45
4.16	เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ 45
4.17	เครื่องวัดความเร็วลม..... 46
4.18	(ก) การทดลองแบบติดตั้งห้องผสม, (ข) การทดลองแบบไม่ติดตั้งห้องผสม 47
4.19	(ก) ระยะเวลาการวางหัวฉีดแบบจัดรั้ว (ข) ระยะเวลาการวางหัวฉีดแบบม่าน 47
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจัดรั้ว พร้อมติดตั้งห้องผสม 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและเลขเรย์โนลด์ของอากาศเมื่อวางหัวฉีด รูปแบบจตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	48
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจตุรัส และไม่ติดตั้งห้องผสม	49
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจตุรัส และไม่ติดตั้งห้องผสม.....	49
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมัน พร้อมติดตั้งห้องผสม.....	50
5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมัน พร้อมติดตั้งห้องผสม.....	50
5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมัน และไม่ติดตั้งห้องผสม	51
5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมัน และไม่ติดตั้งห้องผสม	51
5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจตุรัส (ก)พร้อมห้องผสม (ข)ไม่ติดตั้งห้องผสม	52
5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมัน (ก)พร้อมห้องผสม (ข)ไม่ติดตั้งห้องผสม	52
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส เมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	53
5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส เมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม	54
5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส เมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมันพร้อมติดตั้งห้องผสม.....	55
5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเมื่อวาง หัวฉีดรูปแบบมันและไม่ติดตั้งห้องผสม	55
รูปที่ 13 ขนาดของถังผสม.....	57
รูปที่ 14 รูปแบบจตุรัส 5D.....	57
รูปที่ 15 รูปแบบจตุรัส 11D.....	58
รูปที่ 16 รูปแบบจตุรัส 17D.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 17 รูปแบบจัตุรัส 23D.....	58
รูปที่ 18 รูปแบบจัตุรัส 28D.....	59
รูปที่ 19 รูปแบบม่าน 5D.....	59
รูปที่ 20 รูปแบบม่าน 6D.....	59
รูปที่ 21 รูปแบบม่าน 7D.....	60
รูปที่ 22 รูปแบบม่าน 8D.....	60
รูปที่ 23 รูปแบบม่าน 9D.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวลนั้น ก่อให้เกิดมลพิษขึ้นเช่น ฝุ่นละออง แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ,ไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) โดยมลพิษเหล่านี้ต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการบำบัดที่วุ่นทำโดยอาศัยเครื่องดักฝุ่น (Dust Collector) โดยที่เครื่องดักฝุ่นนั้นมีอยู่หลายประเภทเช่น แบบผ้ากรอง (Fabric Filter), แบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) และ แบบเปียก (Wet Scrubber) โดยเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกถูกนำมาใช้ในการบำบัดมลพิษอันเกิดจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเนื่องจากสามารถดักมลพิษที่เป็นฝุ่นละอองได้ และยังสามารถดักแก๊สบางชนิดที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ได้อีกด้วย ปัจจุบันเครื่องอัดอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนอากาศเข้าสู่เครื่องดักฝุ่นแบบเปียก แต่หากชุดหัวฉีดเหนียวน้ำของเหลว-แก๊สถูกนำมาประยุกต์ใช้ทำให้อากาศถูกขับเคลื่อนได้ โดยใช้กำลังจากเครื่องอัดอากาศน้อยลง เนื่องจากหัวฉีดเหนียวน้ำของเหลว-แก๊สนั้นมีการฉีดของไหลปฐมภูมิ (น้ำ) ที่มีความหนาแน่นสูงผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูง ทำให้บริเวณโดยรอบหัวฉีดเกิดเป็นบริเวณที่มีความดันต่ำ และเกิดการเหนียวน้ำของไหลทุติยภูมิ (อากาศ) ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าเข้ามาสู่ห้องผสมได้

โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบการวางตัวของชุดหัวฉีดเหนียวน้ำในรูปแบบจตุรัสและแบบม่าน ที่ก่อให้เกิดอัตราการเหนียวน้ำอากาศเข้าสู่ห้องเหนียวน้ำสูงที่สุด ผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มหรือลดจำนวนของหัวฉีด และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางชุดหัวฉีด ให้มีความเหมาะสมทั้งทางวิศวกรรมและทางเศรษฐศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของผลกระทบของระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและรูปแบบการวางตัวของชุดหัวฉีดเหนียวน้ำ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการเหนียวน้ำอากาศเข้าสู่ถังผสม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเหนียวน้ำ ที่ก่อให้เกิดการเหนียวน้ำอากาศเข้าสู่ถังผสมสูงที่สุด

1.3.2 รูปแบบการวางตัวของชุดหัวฉีดเหนียวน้ำ ที่ก่อให้เกิดการเหนียวน้ำอากาศเข้าสู่ถังผสมสูงที่สุด

1.3.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องดักฝุ่นแบบเปียก และสามารถปรับระยะและรูปแบบการวางชุดหัวฉีดให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

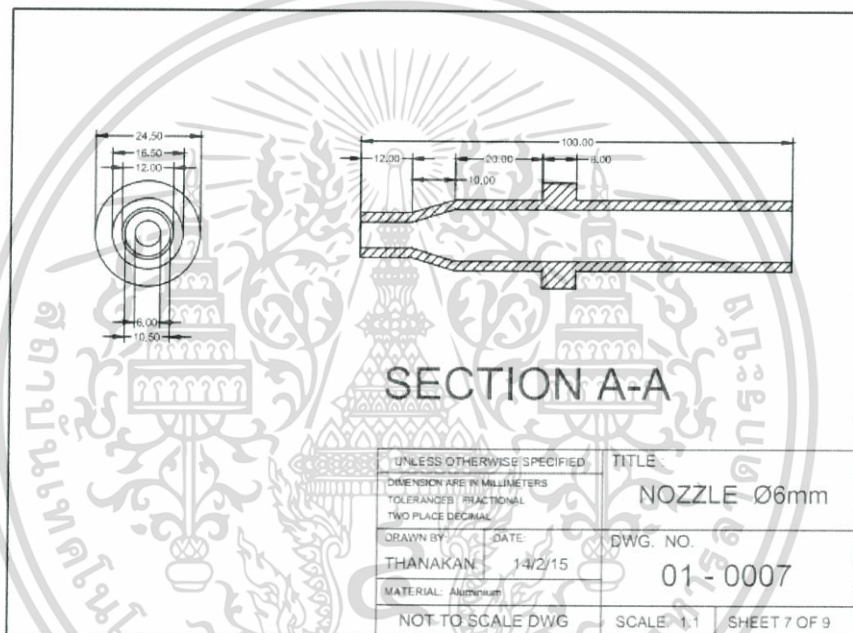
1.4.1 ของไหลที่ใช้เหนี่ยวนำคือน้ำประปาที่อุณหภูมิห้อง (โดยเฉลี่ย 27°C) และความดันบรรยากาศ แก๊สที่ถูกเหนี่ยวนำคืออากาศที่อุณหภูมิห้อง (โดยเฉลี่ย 29°C) และความดันบรรยากาศ

1.4.2 สมมติให้ของไหลทั้ง 2 ชนิด ไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน

1.4.3 ของไหลในสภาวะคงตัว (Steady state) ที่ไม่ขึ้นกับเวลา อุณหภูมิคงที่ (Isothermal)

1.4.4 กำหนดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการทดลองคือ 3.2, 3.6, 4.0, 4.4 และ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

1.4.5 งานวิจัยนี้ใช้หัวฉีดที่ จิรพล เนียมพินิจสกุล และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาไว้โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางปลายหัวฉีดเป็น 6 มิลลิเมตร โดยการออกแบบขนาดและสัดส่วนจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASME MFC-3M-1989 โดยมีขนาดตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แบบของหัวฉีดเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการเรียงตัวของหัวฉีด

2.1.1 วรรณกรรมเกี่ยวกับเครื่องดักฝุ่นแบบเป็ยก

K. S. Agrawal [2] ได้ทำการศึกษาการตัวแปรที่เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องดักฝุ่นแบบเป็ยกไว้โดยรวม ซึ่งได้กล่าวถึงชนิดของเครื่องดักฝุ่นแบบเป็ยกไว้ว่าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆได้คือ

เครื่องดักฝุ่นแบบเป็ยกพลังงานสูง High energy Venturi Scrubber(HEVS)	เครื่องดักฝุ่นแบบเป็ยกแบบหัวฉีด Ejector Venturi Scrubber(EVS)
แก๊สและน้ำเข้าสู่เครื่องโดยใช้เครื่องจักรจากภายนอก	ของไหลหลัก(น้ำ)ความเร็วสูงถูกฉีดเข้าสู่เครื่องโดยใช้เครื่องจักรจากภายนอก และของไหลรอง(อากาศ)ถูกดึงเข้าสู่ห้องผสมโดยใช้พลังงานจลน์ของของไหลหลัก
อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สต่ำมาก	อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สสูง
ความเร็วของอากาศมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำเป็นหยดน้ำ	ความเร็วของของไหลหลัก(น้ำ)ที่ทางออกของหัวฉีดทำให้ของไหลรอง(อากาศ)กลายเป็นฝอย
ความดันตกและประสิทธิภาพการดักฝุ่นศึกษาในฟังก์ชันของการดำเนินการเช่น อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส ความเร็วแก๊สที่ทางเข้าคอคอด	ความดันตกและประสิทธิภาพการดักฝุ่นถูกศึกษาในฟังก์ชันของการดำเนินการเช่น อัตราส่วนความดัน(อัตราส่วนของความดันดำเนินการต่อความดันดูด)และอัตราส่วนการเหนี่ยวนำ(อัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงน้ำหนักของของไหลที่ถูกเหนี่ยวนำต่อของไหลที่ถูกใช้ในการดำเนินการ)
ศึกษาประสิทธิภาพโดยขึ้นกับพารามิเตอร์ในการออกแบบเช่น ความยาว, เส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด และอัตราส่วนของความลึกต่อความกว้างของคอคอด	ศึกษาประสิทธิภาพในเชิงของ อัตราส่วนการฉวย(อัตราส่วนของระยะระหว่างปลายหัวฉีดถึงคอคอดต่อความกว้างของคอคอด)และอัตราส่วนพื้นที่(พื้นที่ของคอคอดต่อพื้นที่ของหัวฉีด)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเครื่องดักฝุ่นแบบเป็ยกแบ่งโดยวิทยานิพนธ์ของ K. S. Agrawal [2]

2.1.2 วรรณกรรมเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำอากาศ

ในปี 1995 F. Mayinger และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการทำงานของเครื่องบำบัดอากาศแบบเป็ยกโดยใช้ความดันของน้ำมาจากความแตกต่างทางความสูงของน้ำทำให้น้ำมีความดันเกิดขึ้นด้วยตัวเองโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เพิ่มความดัน โดยชุดทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนลู่อเข้า ส่วนคอคอด และส่วนลู่อออก ส่วนคอคอดของชุดทดลองถูกทำให้เป็นสีเหลืองเพื่อให้มีเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการคำนวณหรือการตีพิมพ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายน้ำได้อย่างทั่วจากการฉีดน้ำเข้าในแนวตั้งฉากกับอากาศที่ไหลเข้าและมีการใช้ไททาเนียม ไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นฝุ่นขนาดเล็กซึ่งมีขนาด 0.1 ถึง 1.4 ไมโครเมตรและมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.8 ไมโครเมตร ในการทดลองและอากาศถูกนำเข้าโดยใช้พัดลม ส่วนของถังจ่ายน้ำจะมีการใช้ถังจ่ายน้ำ อยู่เหนือชุดทดลองส่งผลให้มีความดันของน้ำเพิ่มขึ้นตามผลต่างของระดับความสูงของน้ำในถังกับจุดที่ ทำการฉีดน้ำหรือคอคอด เมื่อทำการฉีดน้ำเข้าในส่วนของคอคอด ทำให้อากาศเกิดความดันสถิตย์ แตกต่างของภายในและภายนอก ทำให้อากาศไหลเข้าในชุดทดลอง นอกจากนั้นในชุดทดลองส่วนลู่ ออกมีการติดตั้งเครื่องสร้างการหมุนวน เพื่อให้ น้ำและอากาศที่ผ่านจากคอคอดเกิดการหมุนวนและ น้ำถูกผลักออกไปที่กำแพง ทำให้อากาศที่ยังคงผสมอยู่กับฝุ่นไหลออกทางปลายท่อ

ผลการทดลองในเชิงของพฤติกรรมการไหลของการทำงานโดยการสร้างแรงดันน้ำเองของถัง น้ำบนชุดทดลอง แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการ ทดลอง และความสูงของระดับน้ำที่จ่ายออก และสามารถสรุปได้ว่า ความสูงของระดับน้ำที่มากและ อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ จะทำให้เกิดอัตราการไหลของน้ำสูง ซึ่งเป็นผลมาจากความดันของน้ำ ภายนอกคอคอดสูงจากระดับน้ำที่สูง

ผลการทดลองในส่วนของการแยกฝุ่นออกจากอากาศเป็นที่ชัดเจนว่า ระดับการแยกตัวของ ฝุ่นและอากาศเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

ต่อมา Nochur V. Ananthanarayanan และ Shekar Viswanathan [4] ได้ศึกษาผลของ การวางตัวหัวฉีดต่อการกระจายกระแสการไหลโดยใช้โปรแกรม FLUENT โดยให้การไหลสมมาตร ทางด้านกว้างและด้านลึกและมีการพิจารณาการไหลย้อนของอากาศด้วย โดยการสร้างแบบจำลอง เครื่องดักฝุ่นแบบเปือกทำการวางหัวฉีดในแนวตั้งฉากกับการไหลของอากาศเข้าที่คอคอด ใช้โมเดล Eulerian-Lagrangian ให้การกระจายตัวของน้ำขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดและ มุมในการฉีดน้ำลงในแกนของอากาศ ความดันอากาศภายนอกเป็นความดันบรรยากาศ และยัง กล่าวถึงว่าเมื่อหยดน้ำถูกฉีดออกมาเกาะอยู่ที่ผนังของห้องผสมมีผลเพิ่มความสูญเสียทางด้านแรง เสียดทานด้วย โดยกำหนดแบบการวางหัวฉีด 4 แบบที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งแบบที่ 1 คือ วาง หัวฉีดเป็นแนวยาวแนวเดียว แบบที่ 2 คือวางแบบสามเหลี่ยม โดยแถวที่สองจะวางที่จุดกึ่งกลางของ แถวแรก แบบที่สามคือ วาง 2 แถวขนานกัน และแบบสุดท้ายวางขนานกัน 3 แถว โดยมีหัวฉีดที่ใช้ใน การทดลองทั้งหมด 9 หัวสำหรับทุกรูปแบบการวางตัว ผลการทดลองสรุปได้ว่า ได้ผลการทดลองว่า การกระจายของไหลในแบบที่ 1 ถึง 3 มีผลไม่ต่างกันมาก แต่ในแบบที่ 4 จะมีการกระจายของของ ไหลได้ดีกว่าสามแบบแรก และจะส่งผลถึงสมรรถนะของเครื่องบำบัดอากาศแบบเปือกด้วย รวมถึง ระยะเวลาการวางหัวฉีดในคอคอดควรต้องวางหัวฉีดทางด้านต้นทางของทางเข้าคอคอดเพื่อให้ น้ำมีการ กระจายตัวที่สม่ำเสมอและการวางหัวฉีดแบบที่ 3 เทียบกับแบบที่ 2 ซึ่งทำให้มีระยะระหว่างหัวฉีด เพิ่มขึ้น ส่งผลถึงความสะอาดของอากาศที่ออกมาจากเครื่องดักฝุ่นแบบเปือกด้วย

ในการทดลองยังมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนแถวของหัวฉีดในชุดทดลองเป็น 3 และ 5 แถว และทำการจำลองหยดน้ำที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดกระจายออกเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน สังเกตได้ ว่าการเรียงตัวของหัวฉีด 5 แถวมีการกระจายตัวของน้ำสม่ำเสมอมากกว่าการเรียงตัวแบบ 3 แถวหรือ เรียกได้ว่ามีพื้นที่ผิวมากกว่า

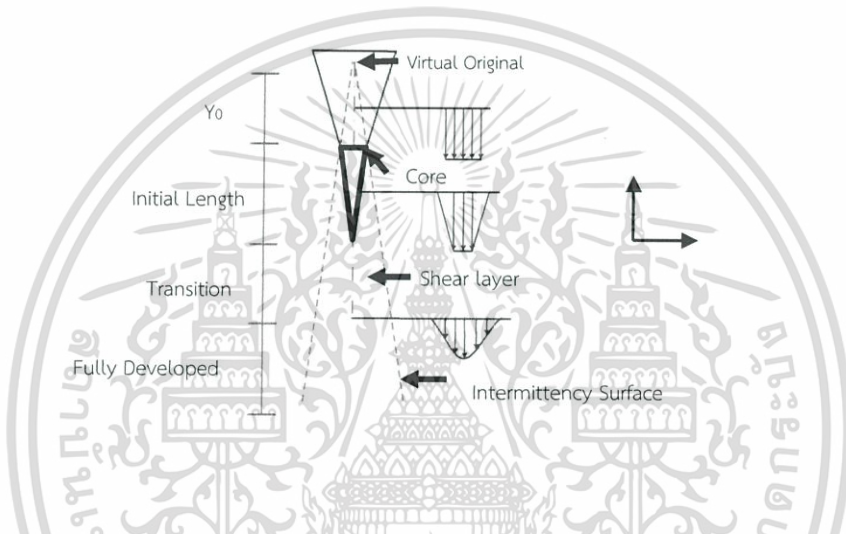
บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีเจ็ท

3.1.1 โครงสร้างและการพัฒนาของเจ็ทอิสระ

เจ็ทอิสระ (Free jet) คือมวลของของไหลที่ถูกอัดฉีดเข้าไปในสภาพแวดล้อมขนาดใหญ่ของของไหลรอบนอก สามารถแบ่งระยะของเจ็ทออกเป็น 4 ระยะ โดยแบ่งตามการกระจายตัวกับความเร็วของของไหลที่ศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะกระแสน้ำไหลแบบเจ็ทของของไหลที่ออกจากหัวฉีด

ลักษณะของของไหลในแต่ละบริเวณสามารถอธิบายได้ ดังนี้

บริเวณที่ 1: บริเวณที่กระแสน้ำเข้า (Convergent zone) บริเวณนี้เรียกว่าแกนหลัก (Potential Core) ของเจ็ท ความเร็วที่เส้นแกนกลางมีค่าเท่ากับความเร็วที่ออกมาจากหัวฉีด บริเวณนี้อยู่ในช่วงระยะ $4D_j$ ถึง $6D_j$ นับจากปลายหัวฉีด

บริเวณที่ 2: บริเวณเปลี่ยนแปลง (Transition zone) เจ็ทพยายามสร้างรูปร่างการไหลเป็นวงกลม เป็นบริเวณที่ความเร็วเส้นแกนกลางเริ่มเสื่อมและลดลง ความเร็วที่ลดลงนั้นสามารถประมาณค่าเป็นฟังก์ชันแปรผกผันตรงกับ

$x^{-0.5}$ โดย x คือระยะห่างจากปลายหัวฉีดในแนวเส้นแกนกลาง บริเวณนี้เกิดขึ้นในช่วงระยะ $6D_j$ ถึง $20D_j$ และทราบกันว่าเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการผสมเมื่อชั้นความเค้นจากทั้งสองด้านเริ่มบรรจบกัน

บริเวณที่ 3: บริเวณจำลองตัวเอง (Self similar zone) ในบริเวณนี้รูปร่างของความเร็วที่เส้นแกนกลางมีลักษณะคล้ายๆ กันในทุกๆ จุดบนระยะ x และความเร็วที่เส้นแกนกลางจะลดลงเป็นฟังก์ชันแปรผันตรงกับ x^{-1}

บริเวณที่ 4: บริเวณสลายตัว (Termination zone) ความเร็วที่เส้นแกนกลางของเจ็ทจะลดลงอย่างรวดเร็วในบริเวณนี้ ถึงแม้ว่ามีการศึกษาพฤติกรรมของของไหลในบริเวณนี้โดยนักวิจัยจำนวนมาก แต่กลไกของพฤติกรรมของของไหลในบริเวณนี้ยังคงไม่เป็นที่เข้าใจอย่างแท้จริง

ในบริเวณที่ 2 กระแสเจ็ทที่ถูกฉีดออกมาจะมีพฤติกรรมในการสร้างรูปร่างการไหลเป็นวงกลม ความสัมพันธ์ของความเร็วเส้นแกนกลางของเจ็ทกับความเร็วเริ่มต้นสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{\bar{U}_x}{\bar{U}_0} = K \frac{\sqrt{A_0}}{x} \quad (3.1)$$

หรือ

$$\bar{U}_x = \frac{K \dot{Q}_0}{\sqrt{A_0 x}} \quad (3.2)$$

เมื่อ

\bar{U}_x = ความเร็วที่เส้นศูนย์กลางของกระแสเจ็ทที่ระยะ x ใดๆ, (m/s)

\bar{U}_0 = ความเร็วเริ่มต้นที่ช่องจ่ายอากาศ, (m/s)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดของช่องจ่ายอากาศ, (m²)

x = ระยะห่างระหว่างช่องจ่ายอากาศถึงจุดสังเกต, (m)

\dot{Q}_0 = อัตราการไหลของอากาศที่จุดจ่ายอากาศ, (m³)

K = ค่าคงที่ตามสัดส่วน

ในสองบริเวณแรกของเจ็ทอิสระในแนวแกนนั้น ได้รับผลกระทบจากตัวกระจาย (Diffuser) อย่างรุนแรง บริเวณที่ 3 คือเจ็ทที่พัฒนาแล้ว (The developed jet) และบริเวณที่ 4 คือบริเวณที่เจ็ทถูกทำลาย (Jet termination) ในสามบริเวณแรก ของไหลรอบเจ็ทถูกเหนี่ยวนำเข้ามาในกระแสหลักและผสมกันกับของไหลหลัก ในบริเวณที่ 4 เจ็ทสลายตัวจากภายในขอบและของไหลหลักกระจายออกสู่สภาพแวดล้อมในขณะที่กระแสของเจ็ทเสื่อมและสลายไป

เจ็ทขยายออกเนื่องจากการดึงอากาศรอบนอกเจ็ทมาผสม ของไหลเหนือบริเวณที่ 2 ถูกเหนี่ยวนำมาผสมกับของไหลปฐมภูมิ อัตราส่วนของปริมาตรสุทธิของกระแสเจ็ทต่อปริมาตรเริ่มต้นที่ระยะใดๆ จากปลายหัวฉีดหลักๆ แล้วขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเร็วเริ่มต้น \bar{U}_0 ต่อความเร็วปลายทาง \bar{U}_x อัตราการเหนี่ยวนำ (Inducing ratio) คือ

$$\frac{\dot{Q}_x}{\dot{Q}_0} = C \frac{\bar{U}_0}{\bar{U}_x} \quad (3.3)$$

เมื่อ \dot{Q}_x = อากาศผสมสุทธิที่ระยะ x จากหัวฉีด, (m/s^2)

C = สัมประสิทธิ์ความเหนียวน้ำ (มีค่าเท่ากับ 2 สำหรับกระแสอิสระแบบหน้าตัดกลม)

ในกระบวนการทางวิศวกรรมส่วนมากนั้น ความรู้ความเข้าใจในสามบริเวณแรกก็เพียงพอแล้ว เพราะความแตกต่างของความเร็วที่พื้นผิวของช่วงที่ไม่ต่อเนื่องระหว่างเจ็ทและสภาวะแวดล้อมมีมาก อันทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy) ซึ่งทำให้เกิดการผสมกันระหว่างของไหลหลักกับของไหลรอบนอกบริเวณด้านข้าง การผสมกันนี้ทำให้ของไหลภายในเจ็ทมีความเร็วลดลง ในขณะที่เดียวกันทำให้ของไหลรอบนอกเจ็ทมีความเร็วเพิ่มขึ้น และในความเป็นจริงนั้น ของไหลรอบนอกถูกเหนียวน้ำเข้าสู่กระแสเจ็ท ซึ่งผลที่ตามมาคือความกว้างของเจ็ทเพิ่มขึ้นนั่นเอง

3.1.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการกระจายของเจ็ท

องค์ประกอบหลากหลายที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของเจ็ท เช่น รูปแบบของความเร็วเจ็ท ณ ปลายหัวฉีด, รูปทรงของหัวฉีด, เลขเรย์โนลด์ของเจ็ท และอุณหภูมิของเจ็ทที่หัวฉีด ล้วนส่งผลกระทบต่อ การกระจายตัวของเจ็ท องค์ประกอบและปรากฏการณ์ที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของเจ็ทสามารถอธิบายอย่างง่ายในหัวข้อต่อไปนี้

3.1.2.1 รูปแบบของความเร็วเจ็ท ณ ปลายหัวฉีด (Inlet Velocity Profile)

สภาวะเริ่มต้นของเจ็ทส่งผลกระทบต่อ การก่อตัวในกระแสการไหล รูปแบบของการไหลที่ปลายหัวฉีดโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ แบบราบเรียบ (Laminar), เสมือนราบเรียบ (Nominally laminar), ถูกรบกวนอย่างมาก (Highly disturbed) และ ปั่นป่วนอย่างสมบูรณ์ (Fully turbulent) กรณีการไหลแบบราบเรียบมีชั้นความเค้นมีรูปแบบแบบบลาสีเยส (Blasius's profile) ชั้นความเค้นที่ไม่มั่นคงเหนียวน้ำให้เกิดความผันผวนขึ้น โดยความผันผวนนี้มีค่ามากที่สุดที่บริเวณขอบของเจ็ท การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ปลายหัวฉีดในสภาวะต่างๆ สามารถกำหนดได้เป็น

- ค่าความหนาของการกระจัด (Displacement thickness), δ , คือระยะทางที่พื้นผิวของรูปแบบการไหลต้องเคลื่อนที่ไปในทิศตั้งฉากกับเวกเตอร์ปกติ จากระนาบอ้างอิงในกระแสของไหลไร้ความหนืดที่มีความเร็วเริ่มต้น \bar{U}_0 เพื่อให้อัตราการไหลคงเดิมดังที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวกับระนาบอ้างอิงในของไหลจริง
- ค่าความหนาโมเมนตัม (Momentum thickness), θ คือระยะทางที่พื้นผิวของรูปแบบการไหลต้องเคลื่อนที่ไปในทิศขนานกับเวกเตอร์ของระนาบอ้างอิง เพื่อให้ผลรวมของโมเมนตัมมีค่าคงเดิม (จากกฎอนุรักษ์โมเมนตัม)

พารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถกำหนดค่าได้จากสมการต่อไปนี้

ความหนาของชั้นขอบเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = \int_0^\infty \left(1 - \frac{\bar{u}}{\bar{u}_0}\right) dy \quad (3.4)$$

ความหนาโมเมนต์

$$\theta = \int_0^\infty \frac{\bar{u}}{\bar{u}_0} \left(1 - \frac{\bar{u}}{\bar{u}_0}\right) dy \quad (3.5)$$

สัดส่วนรูปร่าง (Shape factor)

$$H = \frac{\delta}{\theta} \quad (3.6)$$

ค่าของสัดส่วนรูปร่างของสถานะชั้นขอบเขตแบบราบเรียบ (Laminar boundary layer condition) ที่ปลายหัวฉีดมีค่าเป็น 2.5 และสำหรับสถานะชั้นขอบเขตแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ (Fully developed turbulent boundary layer condition) มีค่าเป็น 1.4 ค่าที่อยู่ระหว่างช่วงนี้หมายถึงชั้นขอบเขตเปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติ

3.1.2.2 รูปร่างของหัวฉีด (Nozzle Geometry)

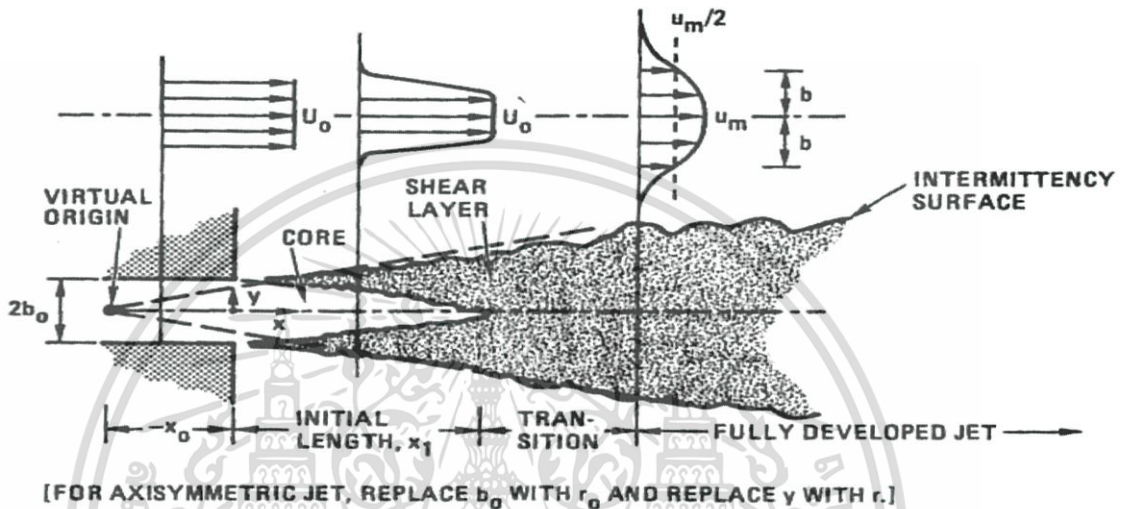
ลักษณะของกระแสวิ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากรูปร่างของหัวฉีด และรูปแบบของผนังที่ล้อมรอบเจ็ท ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยของความเร็วที่แกนกลางของเจ็ทแบบวงกลมกับแบบแผ่นนั้นต่างกัน โดยที่ฟังก์ชันของแบบวงกลมแปรผันตรงกับ x^{-1} ในขณะที่แบบแผ่นแปรผันตรงกับ $x^{0.5}$ ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงของเจ็ทขึ้นอยู่กับลักษณะภาพตัดขวางของหัวฉีดด้วยเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหัวฉีดรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัตราส่วนความกว้างยาวสูง รูปทรงชนิดนี้ก่อให้เกิดปรากฏการณ์การสับเปลี่ยนแกน ในขณะที่เกิดปรากฏการณ์นี้ มวลในแกนหลักและแกนรองจะสลับเปลี่ยนกันไปตลอดระยะแนวเส้นแกนกลาง สิ่งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการกระจายตัวที่แตกต่างกันของเจ็ทบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะไม่เกิดในหัวฉีดแบบวงกลม รูปทรงของหัวฉีดมีผลอย่างมากในการนิยามรูปแบบของความเร็วเริ่มต้นของเจ็ท ออริฟิซ (Orifice) แบบขอบคมทำให้เกิดรูปแบบความเร็วเริ่มต้นแบบอานม้า (Saddle-backed profile) ในขณะที่รูปแบบแบบหมวกทรงสูง (Top hat profile) ได้จากหัวฉีดที่ขอบเรียบลื่น เป็นต้น

3.1.2.3 ครึ่งความกว้างและจุดกำเนิดเสมือนของเจ็ท (Half Width and Virtual Origin of the Jet)

ครึ่งหนึ่งของความกว้างของเจ็ทในแนวแกนตำแหน่งใดๆ นิยามได้เป็น ระยะห่างระหว่างเส้นแกนกลางและระนาบทแยง โดยระนาบทแยงนี้คือระนาบที่ค่าเฉลี่ยของความเร็วตามแนวความกว้างที่ระยะนั้นมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วแนวเส้นแกนกลาง ครึ่งความกว้างนี้โดยปกติจะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเชิงเส้นตลอดระยะ x ยกเว้นในกรณีที่มีบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์การสลับแกนขึ้น ความชันของฟังก์ชันเชิงเส้นในทิศทางตามแนวแกนกลางเรียกว่าอัตราส่วนการกระจายตัว (Spread rate) ส่วนใหญ่แล้วค่าอัตราส่วนการกระจายตัวของเจ็ทแบบปั่นป่วนที่มีเลขเรย์โนลด์สูงๆ คือ 0.11 (ทำมุม 6 องศากับแนวแกน) ในขณะที่เจ็ทแบบราบเรียบมีค่าอัตราส่วนการกระจายตัวประมาณ 0.4 (ทำมุม 21 องศากับแนวแกน) จุดกำเนิดเสมือนของเจ็ทคือจุดที่เป็นเสมือนจุดกำเนิด (จุดยอด) ของรูปกรวยของเจ็ท ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของจุดกำเนิดเสมือนและระยะครึ่งความกว้าง

จุดกำเนิดเสมือนนี้ในบางครั้งอาจแตกต่างกับจุดกำเนิดตามรูปทรงเรขาคณิตและอาจอยู่ภายนอกหัวฉีดก็เป็นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของความเร็วของของไหลที่ปลายหัวฉีด จุดกำเนิดเสมือนนี้เกี่ยวข้องกับครึ่งความกว้างตามสมการต่อไปนี้

$$\frac{b_u}{D_j} = K_{2u} \left(\frac{x}{D_j} \pm C_{2u} \right) \quad (3.7)$$

- เมื่อ
- C_{2u} = จุดกำเนิดเสมือน (Virtual origin)
 - K_{2u} = อัตราส่วนการกระจายตัว (Spread ratio)
 - b_u = ครึ่งความกว้างของเจ็ท (Jet half width)
 - D_j = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางหัวฉีด (Nozzle diameter), (mm)
 - x = ระยะห่างจากปลายหัวฉีด, (mm)

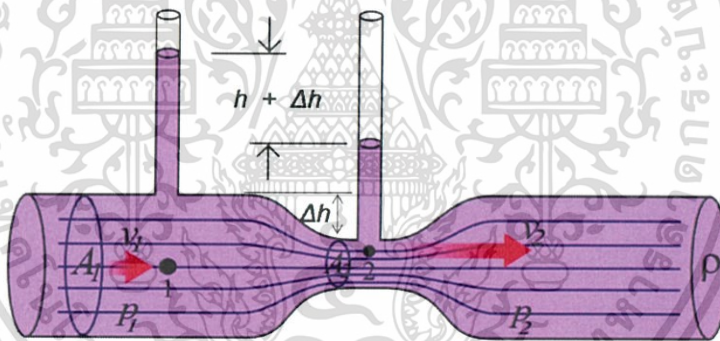
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ

ปรากฏการณ์การไหลที่เกิดขึ้นใน Ejector คือ ของไหลปฐุมุมิ (น้ำ) จากเครื่องสูบน้ำเข้าสู่หัวฉีด(Nozzle)ด้วยความดันสูงผ่านปลายหัวฉีด ความดันของของไหลปฐุมุมิจะเปลี่ยนเป็นความเร็ว ทำให้ความดันที่ห้องผสม(mixing chamber)ต่ำลง และเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ(อากาศ)เข้าสู่ห้องผสมทำให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศเกิดขึ้น [5]

3.3 ปรากฏการณ์เวนทูรี(Venturi effect)

เป็นการลดความดันของของไหลซึ่งเป็นผลมาจากการที่ของไหลไหลผ่านส่วนที่เป็นคอคอด ปรากฏการณ์นี้ถูกตั้งชื่อตาม Giovanni Battista venturo (1746-1822) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี เมื่อของไหล ไหลผ่านช่วงที่แคบลงความเร็วของของไหลจะเพิ่มขึ้น อ้างอิงได้จากสมการความต่อเนื่อง ในขณะที่ความดันสถิตย์ของของไหลจะลดลงอ้างอิงจากกฎอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้น เมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ที่แคบลงพลังงานจลน์ของของไหลจะมีมากขึ้นและจะถูกทำให้สมดุลด้วยการลดความดันลง ซึ่งจากข้อนี้ทำให้สามารถคำนวณความดันจากการวัดอัตราของการไหลของของไหล ณ จุดที่ต้องการคำนวณได้



รูปที่ 3.3 แสดงการไหลภายในท่อ

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วในการไหล

สมการที่แสดงถึงความดันตกสามารถหาได้จากการพิจารณาของ Benoulli ร่วมกับสมการความต่อเนื่อง จากการใช้สมการ Benoulli ในกรณีที่ของไหลไม่สามารถอัดตัวได้ความดันตกที่คอคอดสามารถหาได้จาก

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ p คือความหนาแน่นจุดที่ 1 คือจุดที่ท่อมีความกว้างมากกว่าจุดที่ 2 ซึ่งในกรณีนี้พิจารณาของไหลมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นต่อการเปลี่ยนแปลงความดันน้อยมาก (p ประมาณคงที่)

3.3.2 การไหลแบบโซ้ค (Choked flow)

การไหลแบบเวนตูรี (Venturi) จะถูกจำกัดที่การไหลแบบโซ้ค ซึ่งเป็นสถานะที่ความเร็วของของไหลเข้าใกล้ความเร็วเสียง ความเร็วของของไหลจะไม่เพิ่มมากขึ้น แม้ว่าความดันจุดปลายน้ำจะลดลงมากขนาดไหนก็ตาม แต่สำหรับของไหลที่สามารถอัดตัวได้แล้ว ยังสามารถเพิ่มความเร็วของการไหลได้ด้วยการเพิ่มความดันที่ต้นน้ำซึ่งจะส่งผลให้ความหนาแน่นของของไหลที่ไหลไปทางปลายสายเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้ใน de Laval nozzle การเพิ่มอุณหภูมิของแหล่งของไหลยังสามารถเพิ่มความเร็วของของไหลในสถานะความเร็วเสียงได้ซึ่งส่งผลให้มีการส่งมวลได้มากกว่าของไหลที่อุณหภูมิต่ำ

3.4 ทฤษฎีการถ่ายเทโมเมนตัม (Momentum Transfer Theory)

ทฤษฎีการถ่ายเทโมเมนตัม เป็นปรากฏการณ์ที่มีการถ่ายเทโมเมนตัมจากสิ่งหนึ่งไปอีกสิ่งหนึ่ง การถ่ายเทโมเมนตัมเป็นหนึ่งในปรากฏการณ์ขนส่ง (Transport Phenomena) ซึ่งประกอบด้วย การถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทมวล และการถ่ายเทโมเมนตัม

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการถ่ายเทโมเมนตัมต่อการกระจายตัวของลำเจ็ทในอากาศ
สมการของแรงเฉือนคือ

$$\tau = -\rho \overline{U'V'}$$

และ นำไปสู่ความคิดของระยะผสม ' l ', ' U ' และ ' V ' ซึ่งถูกเขียนเป็นสัดส่วนกับ $l \frac{\partial U}{\partial y}$ จึงสามารถเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned} \tau &= -\rho \overline{U'V'} = -\rho \overline{V'l'} \frac{\partial U}{\partial y} \\ &= \rho l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial U}{\partial y} \end{aligned} \quad (3.9)$$

ที่ $l^2 = (\overline{l'})^2$

ระยะการผสมถูกเขียนเป็นสัดส่วนกับขนาดของเจ็ท และขนาดของเจ็ทเป็นสัดส่วนกับระยะห่างจากออริฟิซ ดังนั้น จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l = cx$$

และ

$$\tau = \rho c^2 x^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial U}{\partial y}$$

โดยให้

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (3.10)$$

นำ 3.9 รวมกับ 3.10 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} &= \left(\frac{1}{\rho} \right) \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) [\rho l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial U}{\partial y}] \\ &= 2 l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \end{aligned}$$

3.5 สกรับเบอร์แบบเวนทิวรี (Venturi scrubber)

เป็นสกรับเบอร์ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กสูงมาก โดยสามารถดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรได้ กระแสอากาศเสียจะถูกบังคับให้ไหลผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เวนทิวรี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาให้มีคอที่แคบลง ทำให้กระแสอากาศไหลผ่านด้วยความเร็วสูงหรือถูกเร่งความเร็ว โดยจะมีการฉีดพ่นน้ำที่บริเวณคอหรือบริเวณก่อนที่จะถึงบริเวณคอ และจากการไหลของกระแสอากาศด้วยความเร็วสูงทำให้น้ำเกิดการแตกตัวเป็นละอองหรือหยดน้ำเล็กๆ ที่มีความเร็วสูง ส่งผลให้สามารถดักจับอนุภาคด้วยกลไกทั้ง 3 ดังที่กล่าวข้างต้น โดยมีกลไกการกระทบด้วยความเฉื่อยจะเป็นกลไกที่สำคัญที่สุดในการดักจับอนุภาค และเนื่องจากการแตกตัวเป็นหยดน้ำเล็กๆ ที่มีความเร็วสูงนี้ทำให้สกรับเบอร์แบบเวนทิวรีนี้บางทีถูกเรียกว่า gas atomizing spray scrubbers ภายหลังจากที่หยดน้ำดักจับอนุภาคได้แล้วจะถูกปล่อยให้แยกตัวออกจากกระแสของอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไซโคลน และ/หรือที่ดักละอองน้ำในการแยกน้ำออกจากกระแสอากาศ สกรับเบอร์แบบเวนทิวรีถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูง แต่ก็มีค่าความดันสูญเสียที่สูงด้วย

3.6 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส (Liquid-to-Gas Ratio, L/G Ratio)

ตัวแปรหนึ่งที่สามารถบ่งบอกสมรรถนะของหัวฉีดเหนี่ยวนำคือค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส (Liquid-to-Gas Ratio) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของเหลวที่ใช้เหนี่ยวนำต่อปริมาณอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L/G \text{ Ratio} = \frac{Q_{\text{Water}}}{Q_{\text{Air}}} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Q_{water} คืออัตราการไหลของน้ำที่ใช้เหนี่ยวนำในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ Q_{Air} คืออัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ซึ่งหากค่า L/G Ratio มีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าหัวฉีดเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือใช้น้ำในการเหนี่ยวนำปริมาณน้อยแต่สามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาได้ในปริมาณที่สูงกว่า ในทางกลับกัน หากค่า L/G Ratio มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าหัวฉีดเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพต่ำ หรือใช้น้ำในการเหนี่ยวนำปริมาณสูงแต่สามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาได้ปริมาณต่ำ

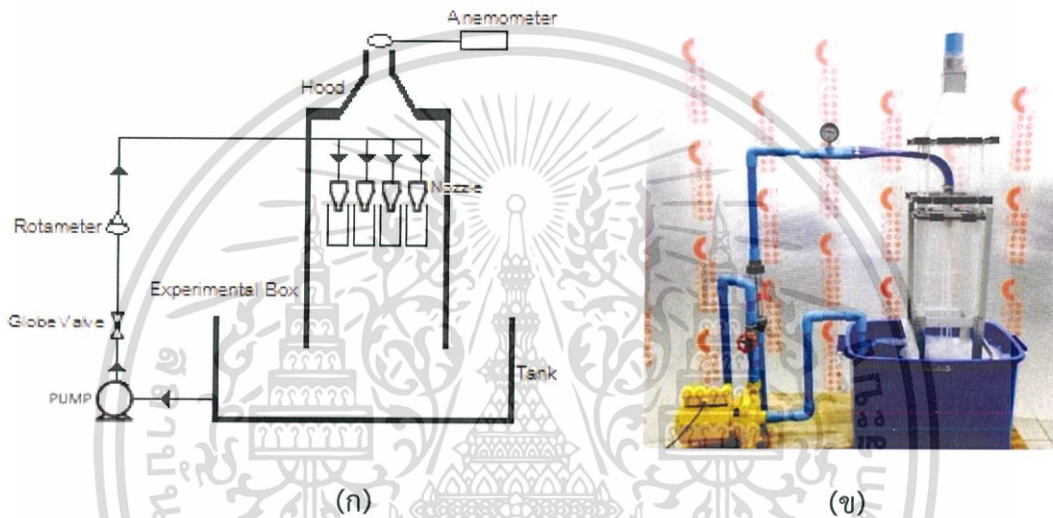
3.7 การใช้ไซโคลนหลายตัว (Multiple Cyclone)

เมื่ออากาศที่เข้าสู่ไซโคลนมีปริมาณมากหากใช้ไซโคลนเพียงตัวเดียวก็อาจทำให้ไซโคลนมีขนาดที่ใหญ่เกินไปซึ่งอาจเกิดปัญหาในเรื่องของพื้นที่ติดตั้งรวมถึงประสิทธิภาพในการแยกฝุ่นที่ต่ำกว่า ด้วยเหตุนี้จึงมักใช้ไซโคลนขนาดเล็กหลายตัวมาทำงานร่วมกันในลักษณะต่อขนาน หรือการติดตั้งไซโคลนในรูปแบบแพค (Pack) ซึ่งอากาศจะเข้ามาสู่ห้องแชมเบอร์ก่อนที่จะกระจายเข้าสู่แต่ละไซโคลนพร้อมๆกัน โดยการติดตั้งไซโคลนแบบขนานกันนั้นเรียกว่ามัลติไซโคลน (Multicyclone) ซึ่งมีข้อดีคือไซโคลนแต่ละตัวจะมีขนาดเล็กกว่าการใช้ไซโคลนแบบตัวเดียว

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 ชุดทดลอง



รูปที่ 4.1 (ก) แผนผังโครงสร้างชุดทดลอง, (ข) การติดตั้งชุดทดลองจริง

4.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

4.1.1.1 หัวฉีดเหนี่ยวนำอากาศ (Nozzle)

หัวฉีดเหนี่ยวนำอากาศที่ใช้ในการทดลองนั้นทำจากวัสดุคือ อลูมิเนียม โดยอ้างอิงงานวิจัยของ จิรพล เนียมพินิจสกุล และคณะ [1] ที่ได้ทำการศึกษาไว้ โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางปลายหัวฉีดเป็น 6 มิลลิเมตร โดยการออกแบบขนาดและสัดส่วนจะเป็นไปตามมาตรฐานของ ASME MFC-3M-1989 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 (ก) แบบของหัวฉีดที่ใช้ในการสร้าง, (ข) หัวฉีดเหนียวนำที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.2 ห้องผสม (Mixing Chamber)

ห้องผสมที่ใช้ในการทดลองนี้ทำจากวัสดุคือ อลูมิเนียม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของจิรพล เนียมพินิจสกุล และคณะ [1] และมีความยาว 81 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3



(ก)

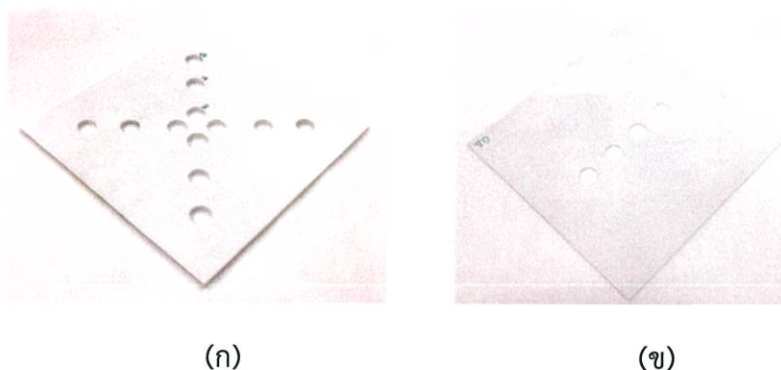


(ข)

รูปที่ 4.3 (ก) แบบของห้องผสมที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ห้องผสมที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.3 แผ่นวางห้องผสม

แผ่นวางห้องผสมทำจากวัสดุคือ อะคริลิก โดยมีขนาดกว้างxยาวxหนา เท่ากับ 270x270x5 มิลลิเมตร มีรูขนาด 21 มิลลิเมตร จำนวน 4 รูเพื่อใช้ในการวางห้องผสม โดยสามารถแบ่งรูปแบบของรูบนแผ่นวางห้องผสมได้ 2 แบบคือแบบจัตุรัส (ดังแสดงในรูปที่ 4.4ก) และแบบม่าน (ดังแสดงในรูปที่ 4.4ข) โดยระยะห่างของศูนย์กลางรูแต่ละรูในรูปแบบม่านคือ 30, 36, 42, 48 และ 54 มิลลิเมตร หรือเท่ากับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D, 6D, 7D, 8D และ 9D และระยะห่างของศูนย์กลางรูแต่ละรูทั้งในด้านกว้างและด้านยาวของรูปแบบจัตุรัสคือ 30, 66, 102, 138, 168 มิลลิเมตร หรือเท่ากับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D เมื่อ D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเหนียวนำ (6 มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.4 (ก) แผ่นวางห้องผสมแบบจัตุรัส, (ข) แผ่นวางห้องผสมแบบม่าน

4.1.1.4 แผ่นวางหัวฉีดเหนียวนำ

แผ่นวางหัวฉีดเหนียวนำทำจากวัสดุคือ อะคริลิกใส โดยใน1ชุดจะมีแผ่นวางหัวฉีดเหนียวนำ2ชั้นซึ่งมีขนาดในด้านกว้างที่เท่ากันคือ3เซนติเมตร แต่ด้านยาวเป็น 19และ22เซนติเมตรและบนแผ่นวางหัวฉีดเหนียวนำจะมีรูขนาด21มิลลิเมตร จำนวน4รูเมื่อใช้ร่วมกับแผ่นวางห้องผสมแบบม่าน และจำนวน2รูเมื่อใช้ร่วมกับแผ่นวางห้องผสมแบบจัตุรัส โดยระยะห่างของศูนย์กลางรูแต่ละรูในรูปแบบม่านคือ 30, 36, 42, 48 และ54มิลลิเมตร หรือเท่ากับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D, 6D, 7D, 8D และ9D และระยะห่างของศูนย์กลางรูแต่ละรูทั้งในด้านกว้างและด้านยาวของรูปแบบจัตุรัสคือ 30, 66, 102, 138, 168 มิลลิเมตร หรือเท่ากับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D เมื่อDคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเหนียวนำ (6มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 (ก) แบบของแผ่นวางหัวฉีดที่ใช้ในการสร้าง,(ข) แผ่นวางหัวฉีดเหนียวนำที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ถังผสม

4.1.2.1 ถังผสมส่วนบน

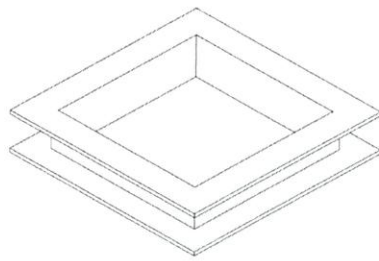
ถังผสมส่วนบนทำจากวัสดุคือ อคริลิกใส โดยมีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ $20 \times 20 \times 20$ เซนติเมตร และมีรูขนาด19มิลลิเมตรจำนวน 4รู สำหรับใส่สายยางฉีดน้ำเพื่อเชื่อมกับหัวฉีดเหนียวนำอากาศ โดยผนังด้านบนและด้านล่างของถังผสมส่วนบนจะเปิดโล่งเพื่อให้อากาศที่ถูกเหนียวนำสามารถไหลผ่านถังผสมส่วนบนได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง แต่ผนังด้านอื่นๆจะเชื่อมต่อกันด้วยน้ำยาประสานอะคริลิกและใช้ซิลิโคนใสยาตามแนวเชื่อมต่ออีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มีการเหนียวนำอากาศเข้าสู่ถังผสมผ่านทางผนังหรือรอยต่ออื่นๆ ที่ไม่ใช่ทางปล่องดูดอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



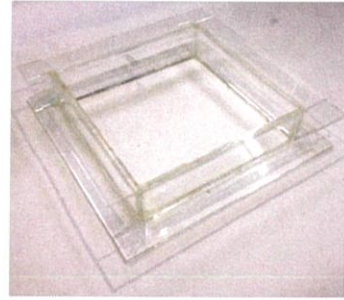
รูปที่ 4.6 (ก) แบบของถังผสมส่วนบนที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ถังผสมส่วนบนที่ใช้ในการทดลอง

4.1.2.2 ถังผสมส่วนกลาง

ถังผสมส่วนกลางมีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ $20 \times 20 \times 4.5$ เซนติเมตร ในบริเวณถังผสมส่วนกลางนี้จะเป็นบริเวณที่ใช้ในการสังเกตการเหนียวนำอากาศที่เกิดจากหัวฉีดเหนียวนำ โดยผนังด้านบนและด้านล่างของถังผสมส่วนกลางจะเปิดโล่ง ผนังทั้ง4ด้านเป็นแผ่นอะคริลิกใสปราศจากการเจาะรู รอยต่อทั้ง4ด้านใช้น้ำยาประสานอะคริลิกและใช้ซิลิโคนใสยาตามแนวเชื่อมต่ออีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มีรอยรั่วเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) แบบของถังผสมส่วนกลางที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ถังผสมส่วนกลางที่ใช้ในการทดลอง

4.1.2.3 ถังผสมส่วนล่าง

ถังผสมส่วนล่างทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับถังผสมส่วนบนและส่วนกลางคือ อะคริลิกใส โดยมีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 20x20x41 เซนติเมตร ผนังด้านบนเปิดโล่งเพื่อสามารถติดตั้งห้องผสมที่ตั้งอยู่บนแผ่นวางห้องผสมได้ เช่นเดียวกับกับผนังด้านล่างที่เปิดโล่งเพื่อให้ น้ำที่ฉีดออกมาจากหัวฉีดเหนียวสามารถไหลลงสู่ถังน้ำที่อยู่ด้านล่างของถังผสมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



(ก)



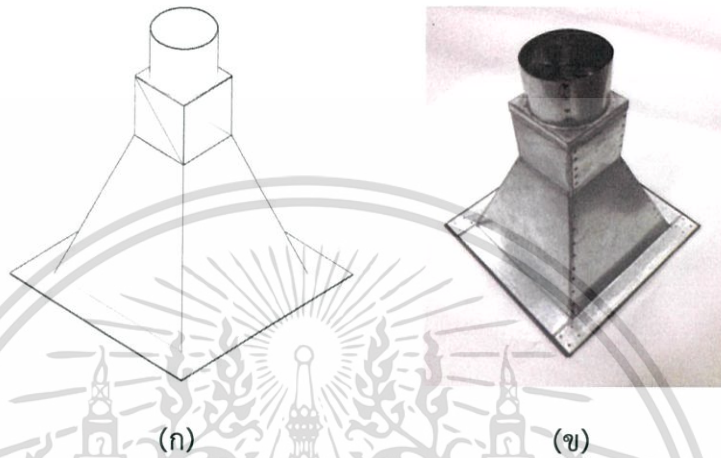
(ข)

รูปที่ 4.8 (ก) แบบของถังผสมส่วนล่างที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ถังผสมส่วนล่างที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ปล่องดูดอากาศ (Hood)

ปล่องดูดอากาศถูกออกแบบตามมาตรฐานACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางเข้าอากาศ อยู่ที่ 7.62 เซนติเมตร (3 นิ้ว) และส่วนล่างของปล่องจะมีขนาดกว้างxยาว เท่ากับ20x20 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 (ก) แบบของปล่องดูดอากาศที่ใช้ในการสร้าง, (ข) ปล่องดูดอากาศที่ใช้ในการทดลอง หากประกอบอุปกรณ์ทดลองในหัวข้อ 4.1.1, 4.1.2 และ4.1.3 เข้าด้วยกันนั้นจะเป็นดังรูปที่ 4.10

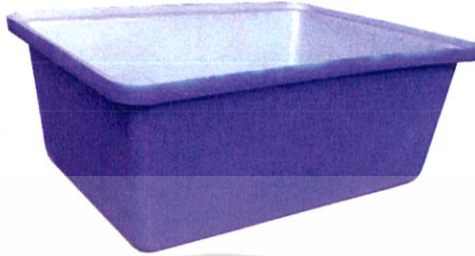


รูปที่ 4.10 (ก) แบบประกอบของชุดทดลอง, (ข) ชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ถังน้ำ

ถังน้ำที่ใช้ในการทดลองคือถังพลาสติกขนาดความจุ 110 ลิตร โดยชุดทดลองทั้งหมดจะติดตั้งอยู่ภายในถังใบนี้ และถังยังถูกใช้เพื่อการเก็บน้ำสำหรับจ่ายให้กับเครื่องสูบน้ำอีกด้วย



รูปที่ 4.11 ถังน้ำ

4.1.5 ระบบสูบน้ำ ท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ

4.1.5.1 เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้คือเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง SUPER PUMP MODEL WCH-755S ของบริษัท MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION กำลังขับ 1 HP (745.6 Watt) แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้อัตราการไหลสูงสุดได้ 120l/min เหนือสูงสุด 37.3 เมตร



รูปที่ 4.12 เครื่องสูบน้ำ

4.1.5.2 โกลบวาล์ว (Globe Valve)

คืออุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำ โดยในการทดลองนี้จะใช้ Globe valve ขนาด 1 นิ้ว ติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องสูบน้ำ และหัวฉีดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.13 Globe valve

4.1.5.3 ท่อ และข้อต่อพีวีซี

ท่อพีวีซีถูกใช้ในการทดลองนี้เพื่อการส่งผ่านน้ำ และข้อต่อถูกใช้เพื่อการเชื่อมต่อท่อพีวีซีในทิศทางและขนาดที่ต่างกัน



รูปที่ 4.14 ท่อ และข้อต่อพีวีซี

4.1.5.4 สายยาง

สายยางขนาด 18.5 มิลลิเมตรถูกใช้เพื่อการส่งน้ำจากท่อพีวีซีเข้าสู่หัวฉีดเหนียวน้ำ



รูปที่ 4.15 สายยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 เครื่องมือวัด

4.1.6.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Rota meter)

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการทดลองสามารถวัดอัตราการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 0.6 – 6.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.16 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

4.1.6.2 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

เครื่องวัดความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดของบริษัท TESTO รุ่น testo 445 โดยสามารถวัดความเร็วอากาศได้ในช่วง 0 – 60m/s ความละเอียดในการวัด 0.01m/s ความแม่นยำในการวัด $\pm 3\%$ ทำการสอบเทียบมาจากโรงงาน

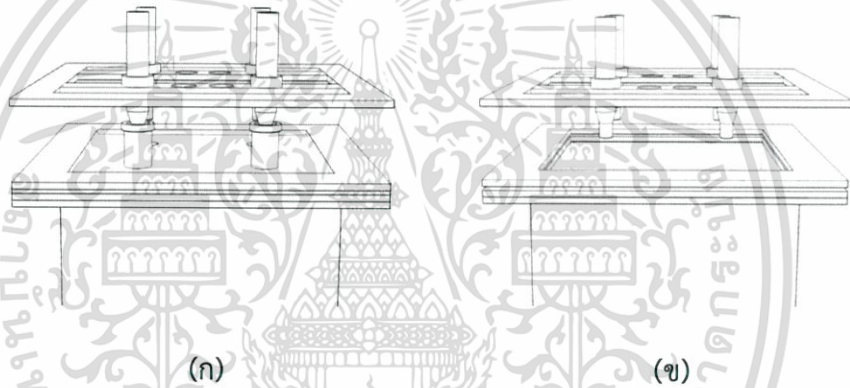


รูปที่ 4.17 เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดลอง

ทำการทดลองจำนวน 2รูปแบบ โดยแบ่งตามรูปแบบการเรียงตัวของหัวฉีดคือ 1.แบบจัตุรัส(ดังรูปที่4.4 ก) 2.แบบม่าน(ดังรูปที่4.4 ข) ซึ่งในรูปแบบจัตุรัสจะแบ่งการทดลองเป็นอีก 5รูปแบบย่อยโดยแบ่งตามระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดของหัวฉีด ประกอบด้วยอัตราส่วนเท่ากับ 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D โดยติดตั้งให้ศูนย์กลางของรูปแบบจัตุรัสนั้นตรงกันกับศูนย์กลางของถังผสม เช่นเดียวกันกับการเรียงหัวฉีดในรูปแบบม่าน จะแบ่งการทดลองเป็นอีก 5รูปแบบย่อยโดยมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดของหัวฉีดเท่ากับ 5D, 6D, 7D, 8D และ9D โดยติดตั้งให้แนวศูนย์กลางของแบบม่านนั้นตรงกันกับแนวศูนย์กลางของถังผสม นอกจากนั้นแล้วการทดลองทั้งในรูปแบบจัตุรัส และแบบม่านนั้นจะทำการทดลองและบันทึกผลทั้งในรูปแบบที่ติดตั้งห้องผสม (ดังรูปที่4.18 ก) และไม่ติดตั้งห้องผสม(ดังรูปที่4.18 ข) อีกด้วย



รูปที่ 4.18 (ก) การทดลองแบบติดตั้งห้องผสม, (ข) การทดลองแบบไม่ติดตั้งห้องผสม

โดยการทดลองนั้นทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ติดตั้งหัวฉีดเหนียวน้ำทั้ง 4 หัวเข้ากับแผ่นวางหัวฉีดเหนียวน้ำแบบจัตุรัสที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D และติดตั้งห้องผสมทั้ง 4 ชั้นเข้ากับแผ่นวางห้องผสมแบบจัตุรัสที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D
2. ต่อสายยางฉีดน้ำเข้าสู่หัวฉีดเหนียวน้ำทั้ง 4 หัว
3. ปรับอัตราการไหลของน้ำไปยังค่าเริ่มต้นที่ 3.2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
4. เริ่มทำการวัดค่าความเร็วของอากาศ โดยอาศัยฟังก์ชันของเครื่องวัด ซึ่งนำค่าความเร็วของอากาศที่วัดได้ตลอดระยะเวลา 30 วินาทีมาหาค่าเฉลี่ย โดยทำการวัดทั้งหมด3ครั้ง และนำผลการวัดทั้ง 3 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง

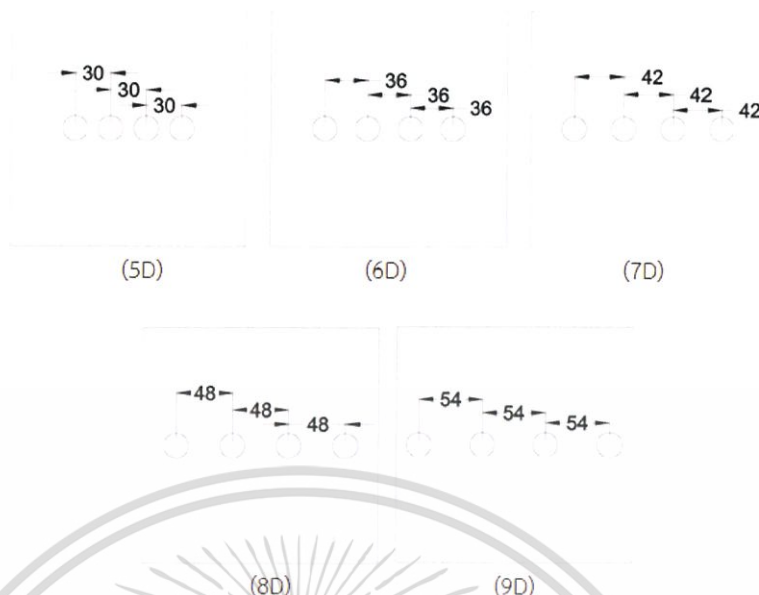
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำให้กลายเป็น 3.6, 4.0, 4.4 และ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และทำการวัดค่าความเร็วของอากาศเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 4
6. ทำการถอดแผ่นวางห้องผสมออกจากชุดทดลอง(เพื่อทำการทดลองแบบไม่ติดตั้งห้องผสม) และทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5
7. เปลี่ยนการติดตั้งหัวฉีดเหนี่ยวนำทั้ง4หัวเข้ากับแผ่นวางหัวฉีดเหนี่ยวนำแบบจัตุรัสที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D (ดังรูปที่ 4.19 ก) และติดตั้งห้องผสม ทั้ง4ชิ้นเข้ากับแผ่นวางห้องผสมแบบจัตุรัสที่ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D และทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 6
8. เปลี่ยนการติดตั้งหัวฉีดเหนี่ยวนำทั้ง4หัวเข้ากับแผ่นวางหัวฉีดเหนี่ยวนำแบบม่านที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 5D, 6D, 7D, 8D และ9D (ดังรูปที่ 4.19 ข) และติดตั้งห้องผสม ทั้ง4ชิ้นเข้ากับแผ่นวางห้องผสมแบบม่านที่ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 5D, 6D, 7D, 8D และ9D และทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 6



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)
รูปที่ 4.19 (ก)ระยะการวางหัวฉีดแบบจัตุรัส (ข) ระยะการวางหัวฉีดแบบม่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

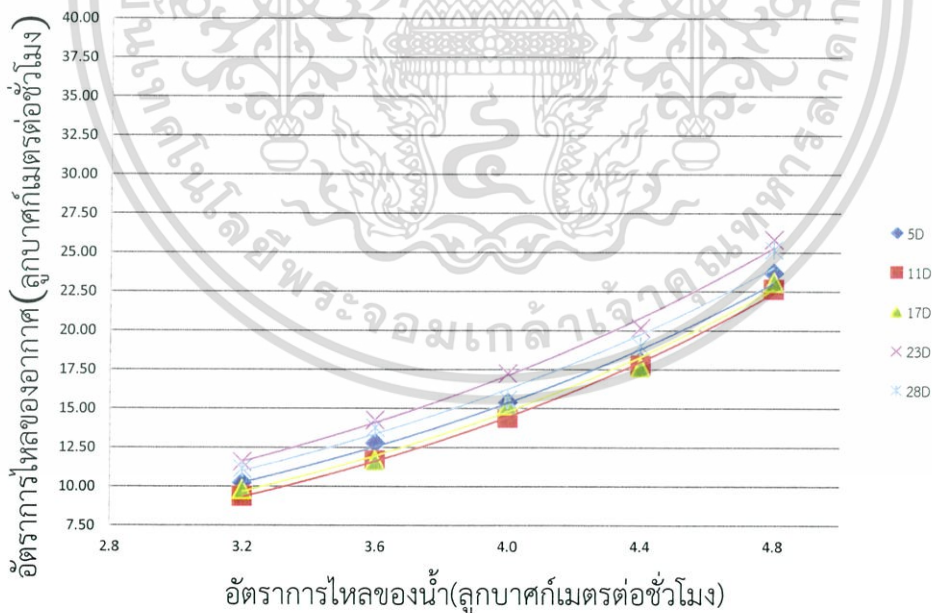
ผลการทดลอง

การทดลองของหัวฉีดขนาด 6 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ($D_c = 3D$) ความยาวห้องผสมเท่ากับ 81 มิลลิเมตร ชุดทดลองทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดความกว้างเท่ากับ 20 เซนติเมตร ความสูงของชุดทดลองรวมเท่ากับ 117 เซนติเมตร กำหนดตำแหน่งของหัวฉีดในรูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D และ ในรูปแบบม่านมีค่าเป็น 5D, 6D, 7D, 8D และ 9D โดยทำการทดลองทั้งในรูปแบบที่ติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม เพื่อหารูปแบบที่สามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ชุดทดลองได้สูงที่สุด ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 3.2, 3.6, 4.0, 4.4 และ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดลองการวางหัวฉีดแบบจัตุรัส

5.1.1 ผลจากการวางหัวฉีดแบบจัตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม

5.1.1.1 ผลของอัตราการไหล

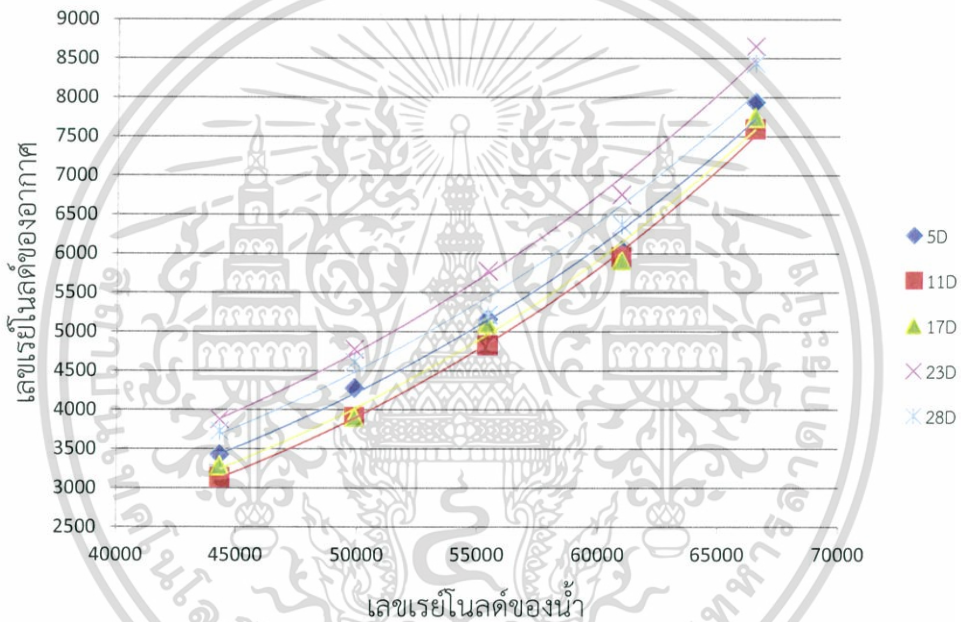


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจัตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม

กราฟรูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอัตราการไหลของอากาศในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากกราฟจะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำอัตราการไหลของอากาศก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดโดยที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น23Dจะมีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดซึ่งเท่ากับ25.82ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 11D จะมีอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดเท่ากับ22.66ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศในกราฟรูปที่5.1 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติได้คือเลขเรย์โนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.2

5.1.1.2 ผลของเรย์โนลด์



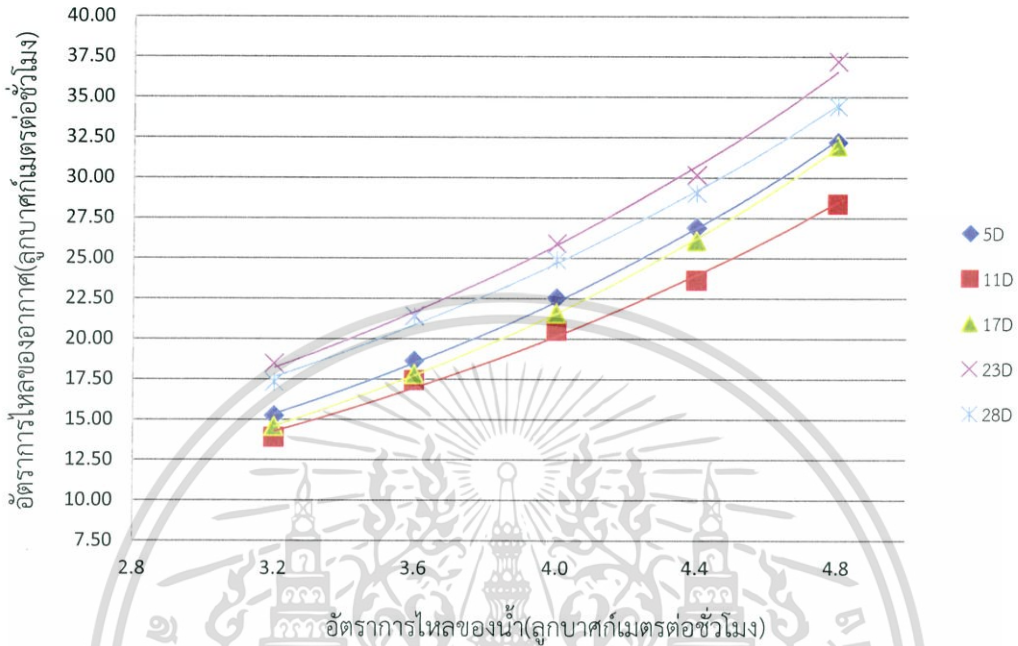
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและเลขเรย์โนลด์ของอากาศเมื่อวางหัวฉีด

รูปแบบจตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม

จากกราฟรูปที่ 5.1 และ 5.2 กล่าวได้ว่าการติดตั้งหัวฉีดแบบจตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสมนั้นมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ระยะ 23D ที่ก่อให้เกิดอัตราการเหนียวนำอากาศสูงที่สุด

5.1.2 ผลจากการวางหัวฉีดแบบจัตูรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม

5.1.2.1 ผลของอัตราการไหล

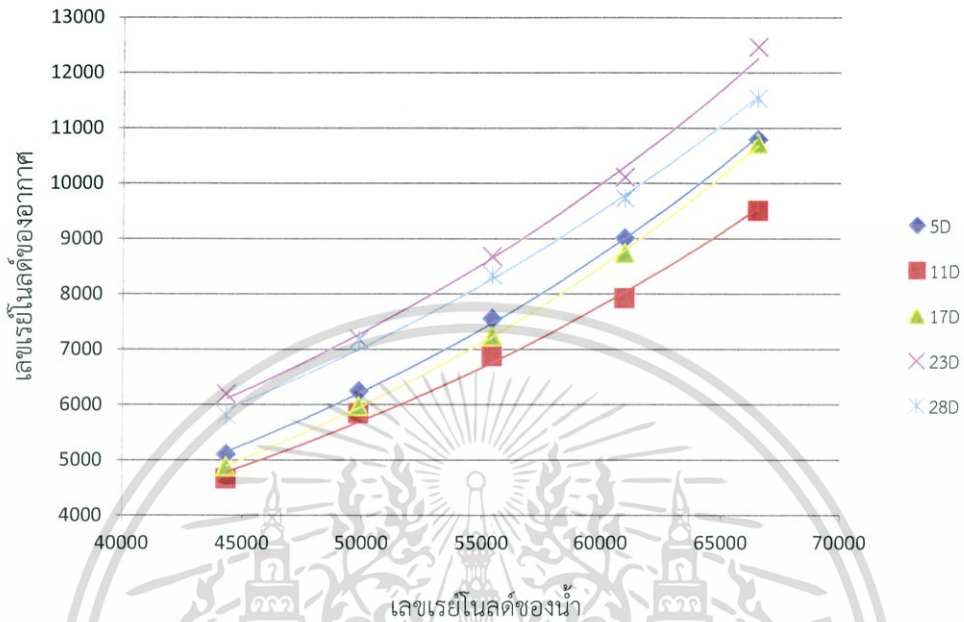


รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดแบบจัตูรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม

กราฟรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ จะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดโดยที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 23D จะมีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 37.19 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดเป็น 11D จะมีอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดเท่ากับ 28.37 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศในกราฟรูปที่ 5.3 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติได้คือเลขเรย์โนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.4

5.1.2.1 ผลของเรย์โนลด์



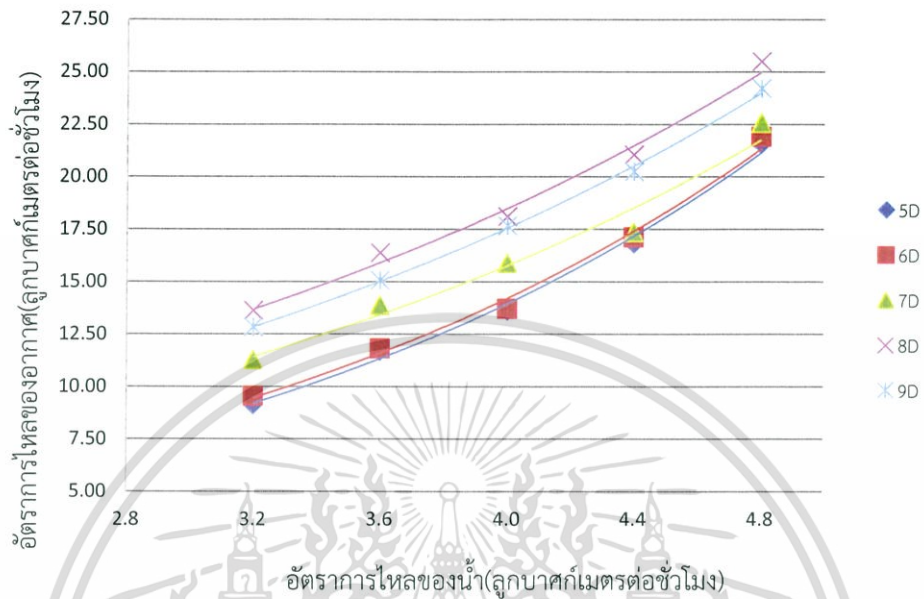
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจตุรัส และไม่ติดตั้งห้องผสม

จากกราฟรูปที่ 5.3, 5.4 กล่าวได้ว่าการติดตั้งหัวฉีดแบบจตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ก่อให้เกิดอัตราการเหนี่ยวนำอากาศสูงที่สุด อยู่ที่ระยะ 23D

5.2 ผลการทดลองการวางหัวฉีดแบบม่าน

5.2.1 ผลจากการวางหัวฉีดแบบม่านพร้อมติดตั้งห้องผสม

5.2.1.1 ผลของอัตราการไหล

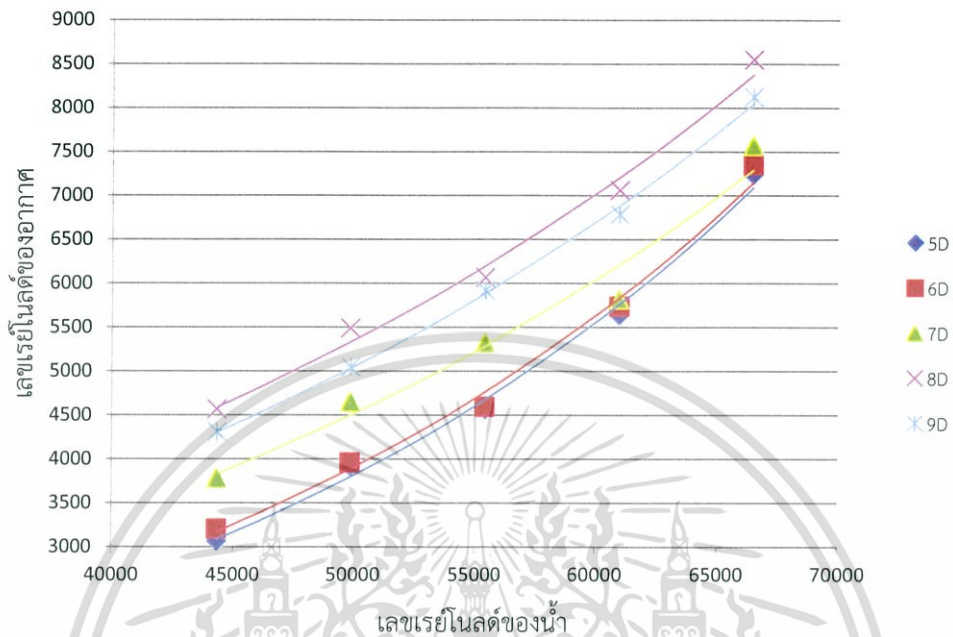


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมันพร้อมติดตั้งห้องผสม

จากกราฟที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะก่อให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดของหัวฉีดที่ระยะ 8D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดที่ 25.49 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ระยะ 5D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดที่ 21.59 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศในกราฟรูปที่ 5.5 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติได้คือเลขเรย์โนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.6

5.2.1.1 ผลของเลขเรย์โนลด์

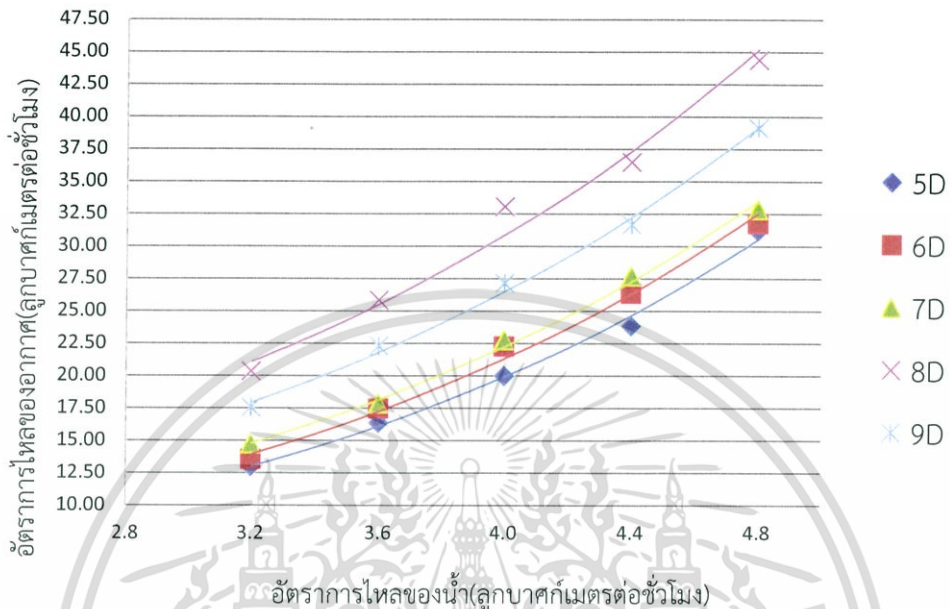


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบม่านพร้อมติดตั้งห้องผสม

จากกราฟรูปที่ 5.5, 5.6 กล่าวได้ว่าการติดตั้งหัวฉีดแบบม่านพร้อมติดตั้งห้องผสม มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ก่อให้เกิดอัตราการเหนี่ยวนำอากาศสูงที่สุด อยู่ระยะ 8D

5.2.2 ผลจากการวางหัวฉีดแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม

5.2.2.1 ผลของอัตราการไหล

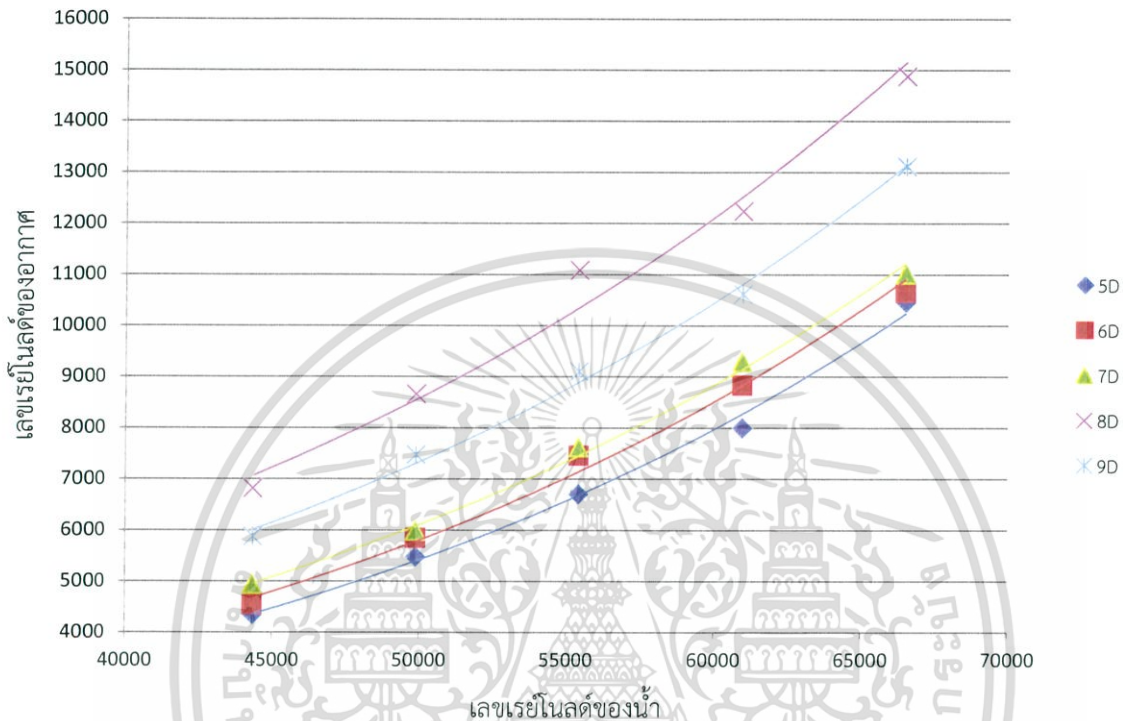


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม

จากกราฟที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะก่อให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดของหัวฉีดที่ระยะ 8D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดที่ 44.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ระยะ 5D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดที่ 31.20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศในกราฟรูปที่ 5.7 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติได้คือเลขเรย์โนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.8

5.2.2.2 ผลของเลขเรย์โนลด์



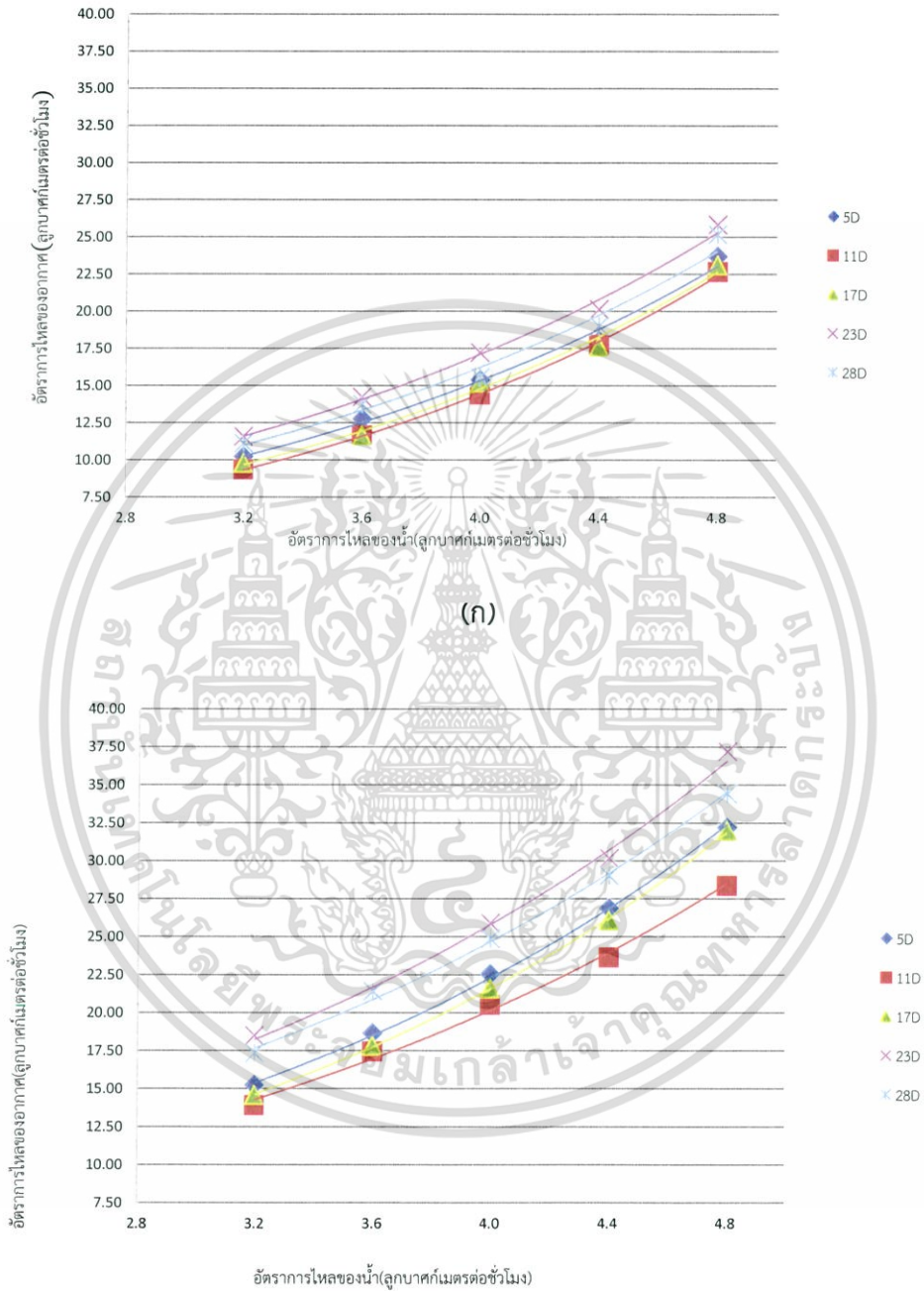
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม

จากกราฟรูปที่ 5.7, 5.8 กล่าวได้ว่าการติดตั้งหัวฉีดแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสม มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ก่อให้เกิดอัตราการเหนี่ยวนำอากาศสูงที่สุด อยู่ระยะ 8D

เมื่อพิจารณากราฟบันทึกผลการทดลองข้างต้นทั้งหมด (กราฟ 5.1 ถึง 5.8) สามารถสรุปได้ว่า ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ก่อให้เกิดอัตราการเหนี่ยวนำอากาศสูงที่สุดในรูปแบบจตุรัสคือ 23D และในรูปแบบม่านคือ 8D

5.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของแบบพร้อมห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม

5.3.1 เปรียบเทียบแบบจตุรัส



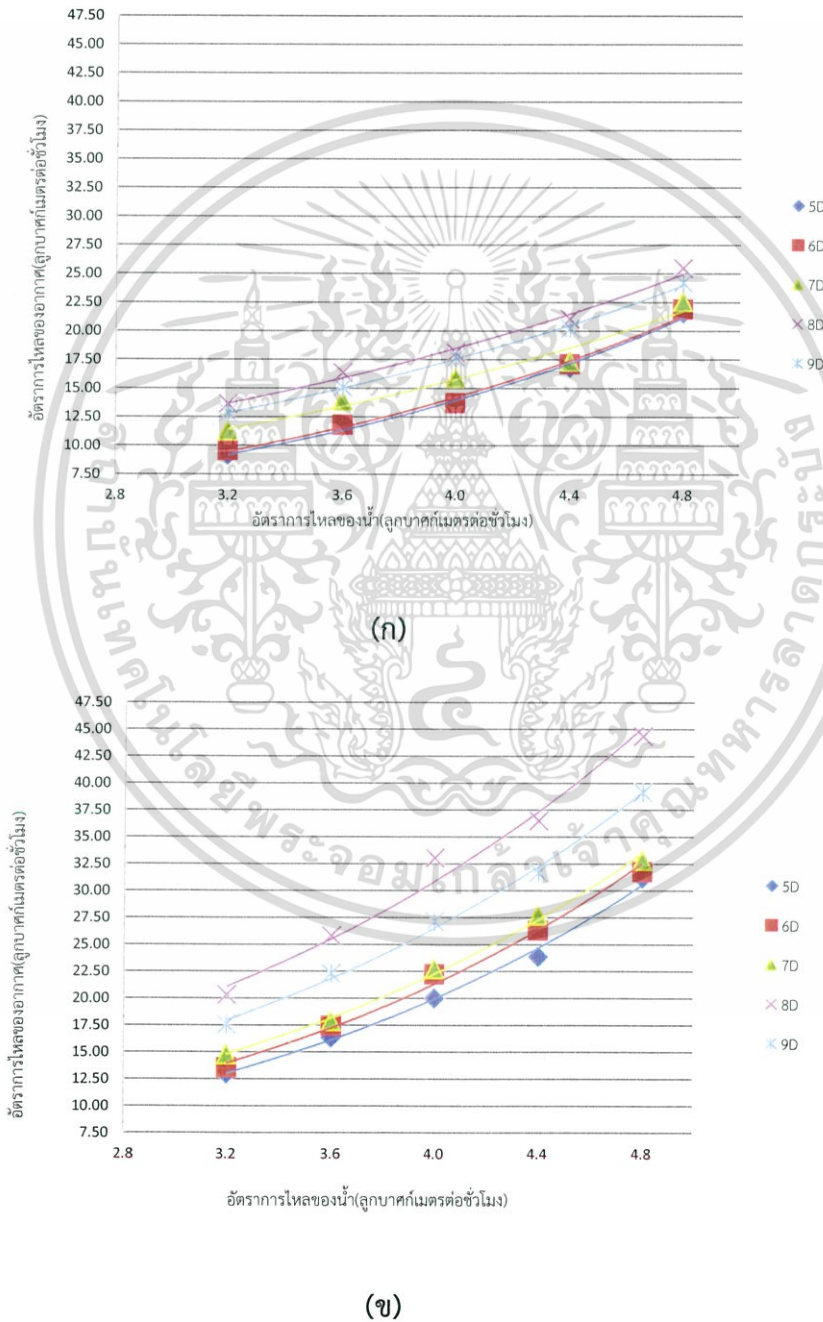
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดแบบจัตรัส (ก)พร้อมห้องผสม (ข)ไม่ติดตั้งห้องผสม

จากรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศของรูปแบบการวางหัวฉีดแบบจัตรัสพร้อมห้องผสมเมื่อเทียบกับรูปแบบการวางหัวฉีดแบบจัตรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม เห็นได้ว่า อัตราการไหลของอากาศในแบบไม่ติดตั้งห้องผสม จะมากกว่าแบบติดตั้งห้องผสม

5.3.2 เปรียบเทียบแบบผ่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบม่าน (ก)พร้อมห้องผสม (ข)ไม่ติดตั้งห้องผสม

จากรูปที่ 5.10 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศของรูปแบบการวางหัวฉีดแบบม่านพร้อมห้องผสมเมื่อเทียบกับรูปแบบการวางหัวฉีดแบบจตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม เห็นได้ว่า อัตราการไหลของอากาศในแบบไม่ติดตั้งห้องผสม จะมากกว่าแบบติดตั้งห้องผสม

พิจารณาจากรูปที่ 5.9 ถึง 5.10 สามารถสรุปได้ว่า อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบไม่ติดตั้งห้องผสมจะสูงกว่าอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบติดตั้งห้องผสม

5.3.3 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำและอากาศของรูปแบบที่ดีที่สุดในแต่ละระยะการวางตัว

Q water (m ³ /h)	Q air(m ³ /h)			
	รูปแบบจตุรัส ระยะ 23D		รูปแบบม่าน ระยะ 8D	
	ติดตั้งห้องผสม	ไม่ติดตั้งห้องผสม	ติดตั้งห้องผสม	ไม่ติดตั้งห้องผสม
3.2	11.577322	18.47445	13.630038	20.321895
3.6	14.245853	21.430362	16.380679	25.823175
4	17.24282	25.905284	18.104961	33.048738
4.4	20.157677	30.174953	21.060873	36.497302
4.8	25.823175	37.195226	25.494741	44.379734

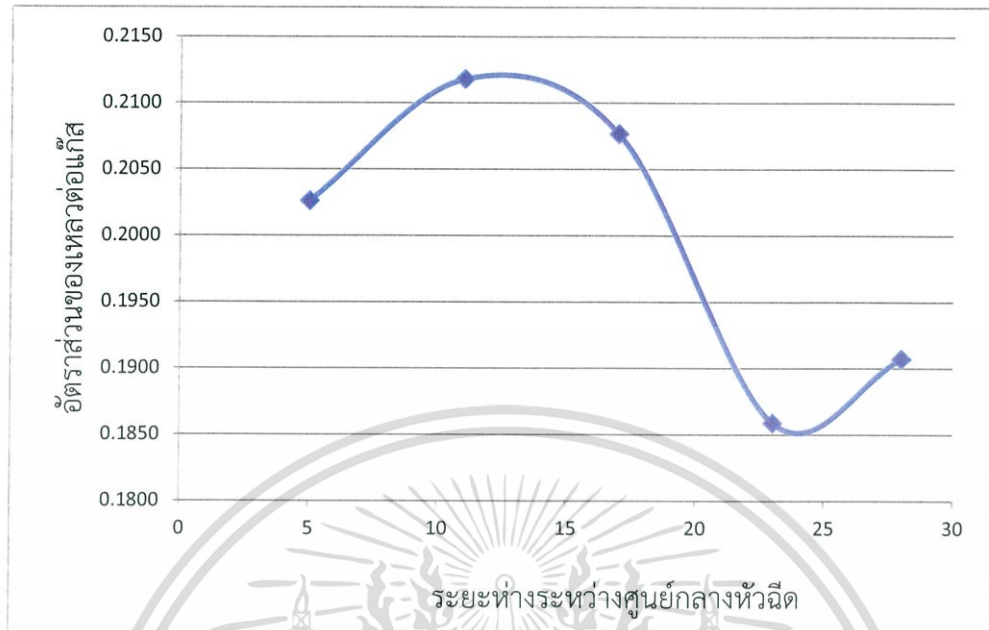
รูปที่ 5.11 ตารางการเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำและอากาศของรูปแบบจตุรัสระยะ 23D และรูปแบบม่าน ระยะ 8D

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลเป็น 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงของรูปแบบม่าน ระยะ 8D และไม่ติดตั้งห้องผสมจะมีอัตราการเหนี่ยวนำอากาศที่ดีที่สุดเป็น 44.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

5.4 ผลของอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สจากการทดลอง

จากกราฟที่ 5.1 ถึง 5.8 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของน้ำที่ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะทำให้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่ชุดทดลองมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นจึงนำค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส(L/G Ratio)ของแต่ละระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่อัตราไหลของน้ำ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงมาพิจารณา โดยใช้อัตราการไหลของน้ำและอากาศในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

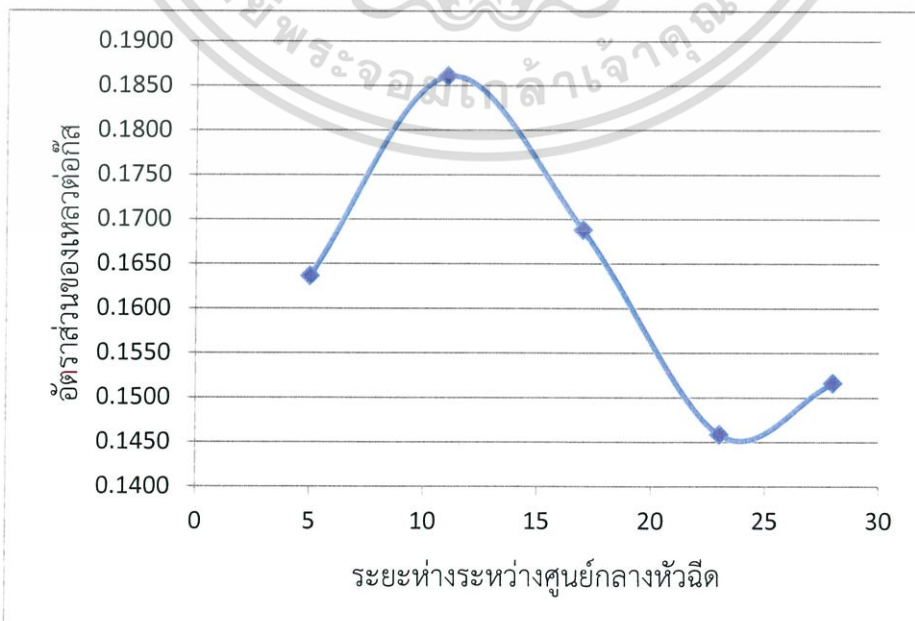
5.4.1 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉีดแบบจัตูรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส เมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจัตูรัสพร้อมติดตั้งห้องผสม

จากรูปที่ 5.12 เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 23D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.184 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 11D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.212 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

5.4.2 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉีดแบบจัตูรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม

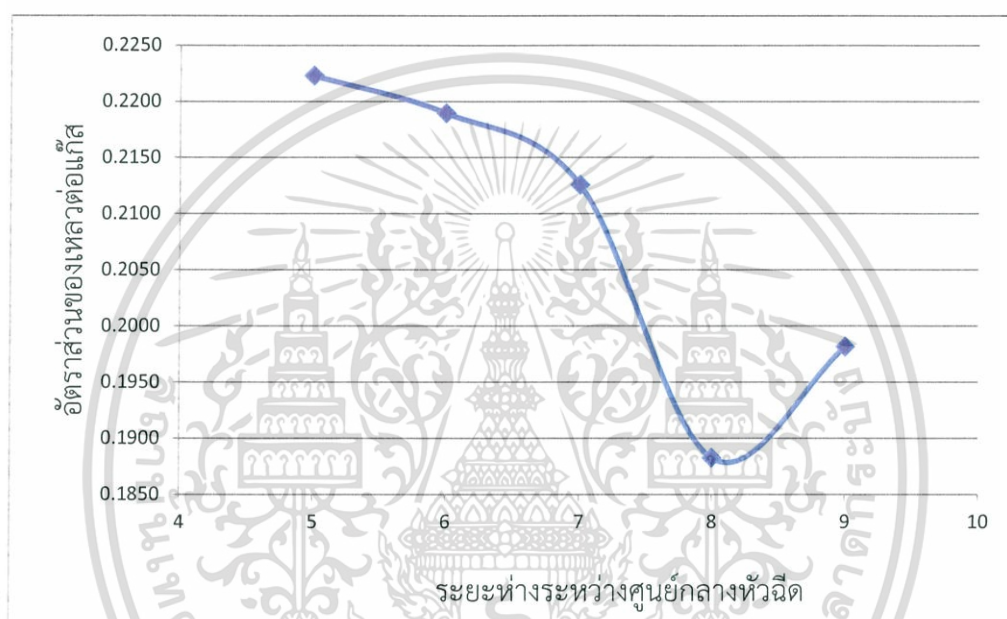


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส เมื่อวางหัวฉีดรูปแบบจัตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม

จากรูปที่ 5.13 เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 23D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.129 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 11D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.169 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

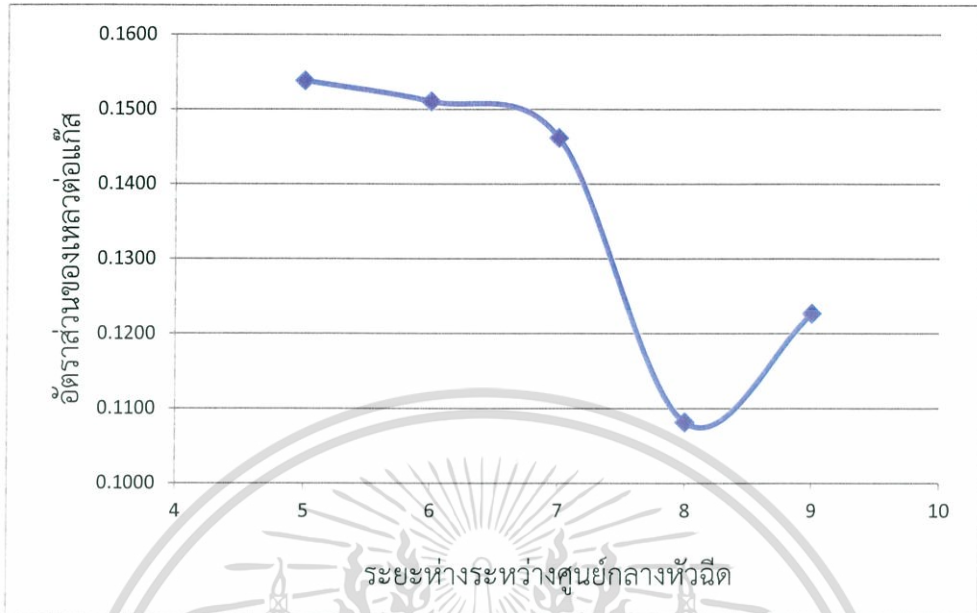
5.4.3 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉีดแบบมาพร้อมติดตั้งห้องผสม



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส เมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมาพร้อมติดตั้งห้องผสม

จากรูปที่ 5.14 เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 8D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.188 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.222 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

5.4.4 อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สของการวางหัวฉีดแบบมันและไม้ติดตั้งห้องผสม



รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดและอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเมื่อวางหัวฉีดรูปแบบมันและไม้ติดตั้งห้องผสม

จากรูปที่ 5.15 เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 8D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.108 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่ 5D จะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.154 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด (มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

จากกราฟรูปที่ 5.12 ถึง 5.15 สามารถสรุปได้ว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวฉีดที่มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ชุดทดลองสูงที่สุด (อัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สต่ำที่สุด) ในรูปแบบจัดรัศคือ 23D และในรูปแบบมันคือ 8D

5.4.5 การเปรียบเทียบ L/G Ratio กับระยะของการวางหัวฉีดที่อัตราการไหล 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ระยะการวางหัวฉีด Q=4.8 m ³ /h	รูปแบบจัดรัศ		ระยะการวางหัวฉีด Q=4.8 m ³ /h	รูปแบบมัน	
	ติดตั้งห้องผสม	ไม่ติดตั้งห้องผสม		ติดตั้งห้องผสม	ไม่ติดตั้งห้องผสม
5D	0.2026	0.1491	5D	0.2223	0.1538
11D	0.2118	0.1692	6D	0.2189	0.1511
17D	0.2077	0.1501	7D	0.2126	0.1461
23D	0.1859	0.1290	8D	0.1883	0.1082
28D	0.1907	0.1395	9D	0.1982	0.1227

รูปที่ 5.16 ตารางการเปรียบเทียบ L/G Ratio กับระยะของการวางหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.16 จะเห็นว่าที่รูปแบบมานในระยการวางตัวแบบ 8D และไม้ติดตั้งห้องผสมจะได้ค่า L/G Ratio ที่ต่ำที่สุด(ซึ่งมีประสิทธิภาพการเหนียวนำสูงที่สุด)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติและรูปแบบการวางตัวของชุดหัวฉีดเหนี่ยวนำที่ส่งผลต่ออัตราการเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาในถังผสม โดยฉีดน้ำซึ่งเป็นของไหลหลักด้วยความเร็วสูงผ่านหัวฉีดจำนวน 4 หัวที่มีขนาดเท่ากันทำให้เกิดบริเวณที่มีความดันต่ำรอบๆปลายหัวฉีดและเหนี่ยวนำอากาศซึ่งเป็นของไหลรองจากภายนอกถังผสมเข้ามาภายในถังผสมโดยลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ โดยการทดลองได้ศึกษาการเรียงตัวของหัวฉีดจำนวน 2 รูปแบบคือแบบจัตุรัส และแบบมันซึ่งแต่ละรูปแบบนั้นถูกแบ่งเป็นอีก 5 รูปแบบย่อย โดยแบ่งตามระยะการวางตัวของหัวฉีด อัตราการไหลของน้ำที่ใช้คือ 3.2, 3.6, 4.0, 4.4 และ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

6.1.1 ผลการทดลองของการวางหัวฉีดแบบจัตุรัสพร้อมติดตั้งห้องผสมจะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำอัตราการไหลของอากาศก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดโดยที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติเป็น 23D จะมีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดเท่ากับ 25.82 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส(L/G)เท่ากับ 0.184 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติที่ 11D จะมีอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดเท่ากับ 22.66 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.212 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

6.1.2 ผลการทดลองของการวางหัวฉีดแบบจัตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสมเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดโดยที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติเป็น 23D จะมีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดเท่ากับ 37.19 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊ส(L/G)กับ 0.129 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติที่ 11D จะมีอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดเท่ากับ 28.37 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.169 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

6.1.3 ผลการทดลองของการวางหัวฉีดแบบมันพร้อมติดตั้งห้องผสมเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดและที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติของหัวฉีดที่ระยะ 8D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดที่ 25.49 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและมีค่าอัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวต่อแก๊ส(L/G)เท่ากับ 0.188 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติที่ 5D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดที่ 21.59 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยจะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.222 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

6.1.4 ผลการทดลองของการวางหัวฉีดแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสมเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดและที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติของหัวฉีดที่ระยะ 8D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดที่ 44.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและจะมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่า(L/G)กับ 0.108 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำสูงที่สุด) และที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติที่ 5D จะทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดที่ 31.20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สเท่ากับ 0.154 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด(มีประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำต่ำที่สุด)

โดยจากผลของการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่า การวางหัวฉีดแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสมที่อัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติที่ 8D จะมีประสิทธิภาพของการเหนี่ยวนำสูงที่สุด

6.2 วิจัยผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการวางตัวเชิงมิติและรูปแบบการวางตัวของชุดหัวฉีดเหนี่ยวนำที่ส่งผลต่ออัตราการเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาในถังผสมนั้นเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบต่างๆในการนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องดักฝุ่นแบบเปียก เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานลดลง และผลของการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นด้วย สำหรับการทดลองนี้ใช้หัวฉีดจำนวน 4 หัวเท่านั้น หากเพิ่มการทดลองของหัวฉีดเป็น 1, 2, 3 และ 4 หัวฉีดจะทำให้ได้ผลการทดลองในการเทียบของจำนวนหัวฉีดด้วยและควรทำการทดลองในห้องที่ไม่มีลมไหลผ่านเพื่อป้องกันการวัดความเร็วลมที่ผิดพลาดและตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำในขณะที่ทำการทดลองให้คงที่

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรพล เนียมพินิจสกุล, ธีรพล พาโคกทม และพนาสุขเจริญ (2556). รายงานการวิจัยเรื่อง อัตราส่วนเชิงมิติของหัวฉีดเหนียวนำไปใช้ในการผสมก๊าซและของเหลว, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] K. S. Agrawal, Performance of Venturi Scrubber, International Journal of Engineering Research and Development, 2013. International Journal of Engineering Research and Development Volume 7 Issue 11 p.53-69
- [3] F. Mayinger, M. Lehner, Operating results and aerosol deposition of a venturi scrubber in self-priming operation, Elsevier Science Ltd., 1995. Chemical Engineering and Processing 34 p.283-288
- [4] Nochur V. Ananthanarayanan and Shekar Viswanathan, Effect of Nozzle Arrangement on Venturi Scrubber Performance, Industrial and Engineer Chemistry Reserach 1999. Volume 38 p.4889-4900
- [5] ดร.อนันต์ พงศ์ธรรกุลพานิช,ดร.สุชฤดี สุขใจ,นายสรวิศ สอนสารี,นายวิสุทธิ แซ่มสะอาด,นายไพฑูรย์ เหล่าดี(2555) ระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งฮีเจคเตอร์,วิทยาลัยพลังงานทดแทน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การสร้างชุดหัวฉีดด้วยโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD)

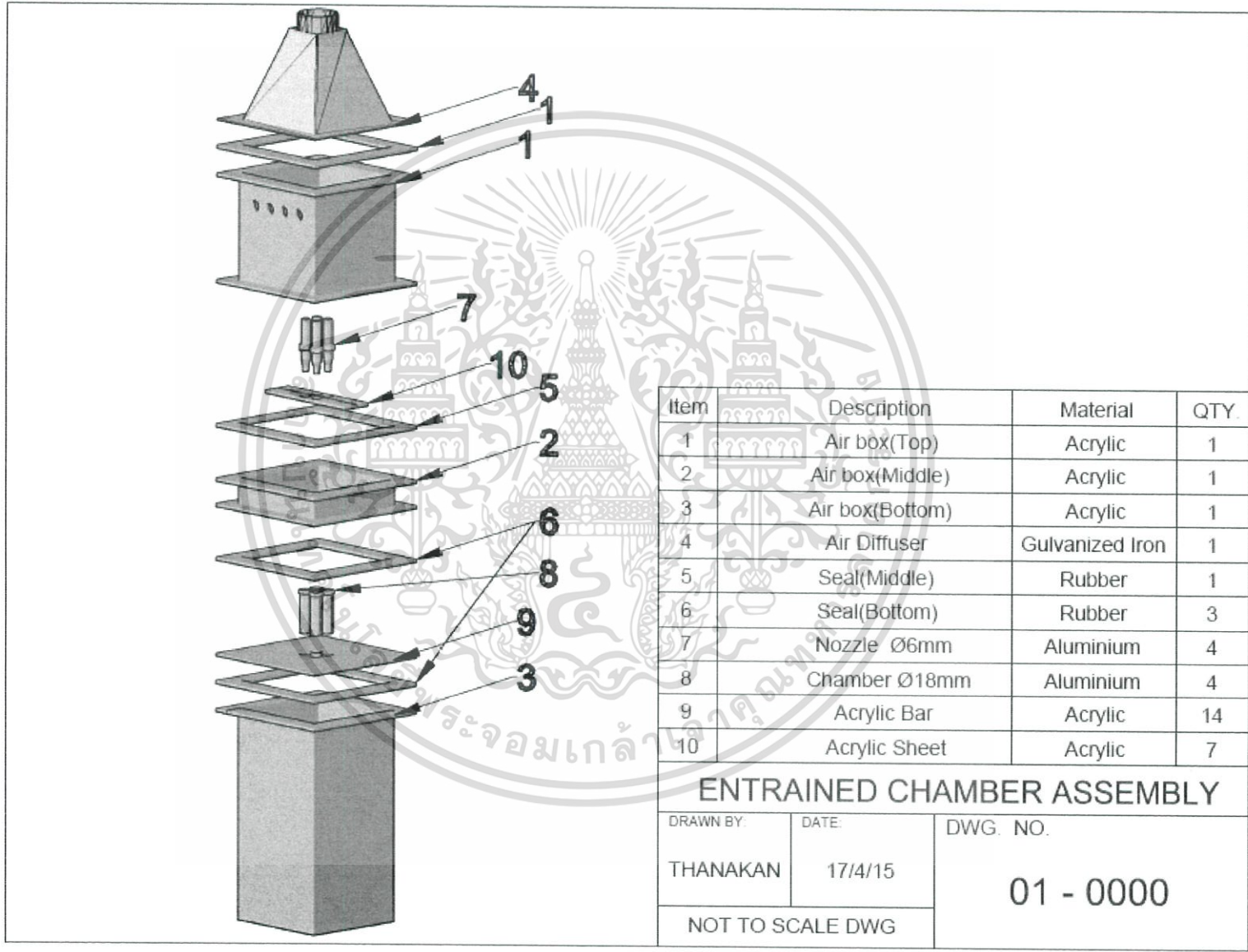
ชุดหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองได้จากการสร้างชุดหัวฉีดจากอลูมิเนียม และชุดทดลองในการทดลองสร้างจากแผ่นอะคริลิกและอลูมิเนียม การสร้างชุดหัวฉีดและชุดทดลองสร้างโดยใช้โปรแกรมออโตแคด (AutoCAD) ในการออกแบบ พร้อมทั้งกำหนดขนาดและขนาดที่ออกแบบทั้งหมดแสดงดังนี้

1. รูปแสดงชุดทดลอง
2. รูปแสดงชุดทดลองส่วนบน
3. รูปแสดงชุดทดลองส่วนกลาง
4. รูปแสดงชุดทดลองส่วนล่าง
5. รูปแสดงปล่องอากาศเข้า
6. รูปแสดงยางกันรั่วส่วนบน
7. รูปแสดงยางกันรั่วส่วนล่าง
8. รูปแสดงหัวฉีดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายหัวฉีดเท่ากับ 6 มิลลิเมตร
9. รูปแสดงห้องผสมเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 18 มิลลิเมตร
10. รูปแสดงแผ่นวางห้องผสม
11. รูปแสดงแผ่นวางหัวฉีด

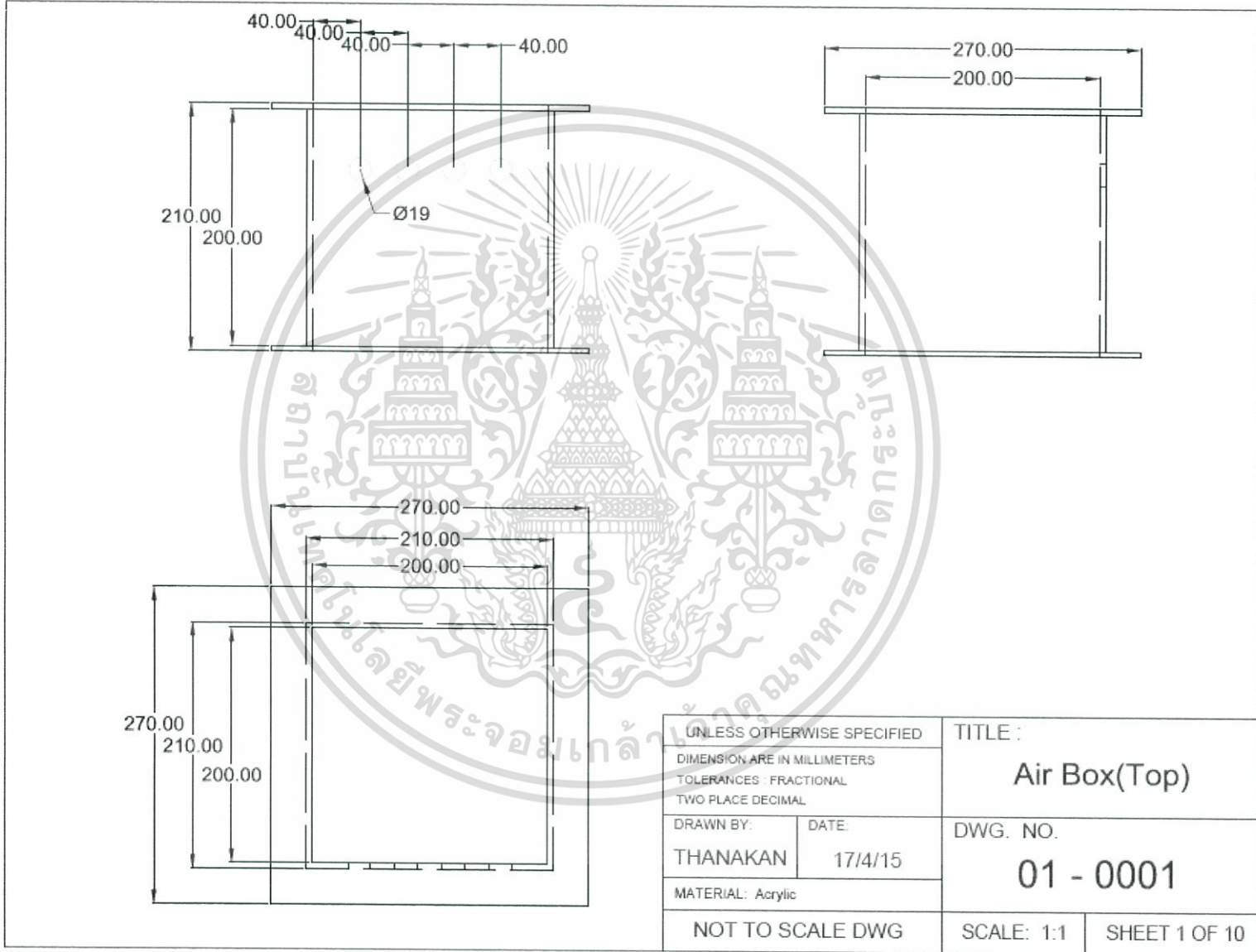


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แสดงแบบชุดทดลอง

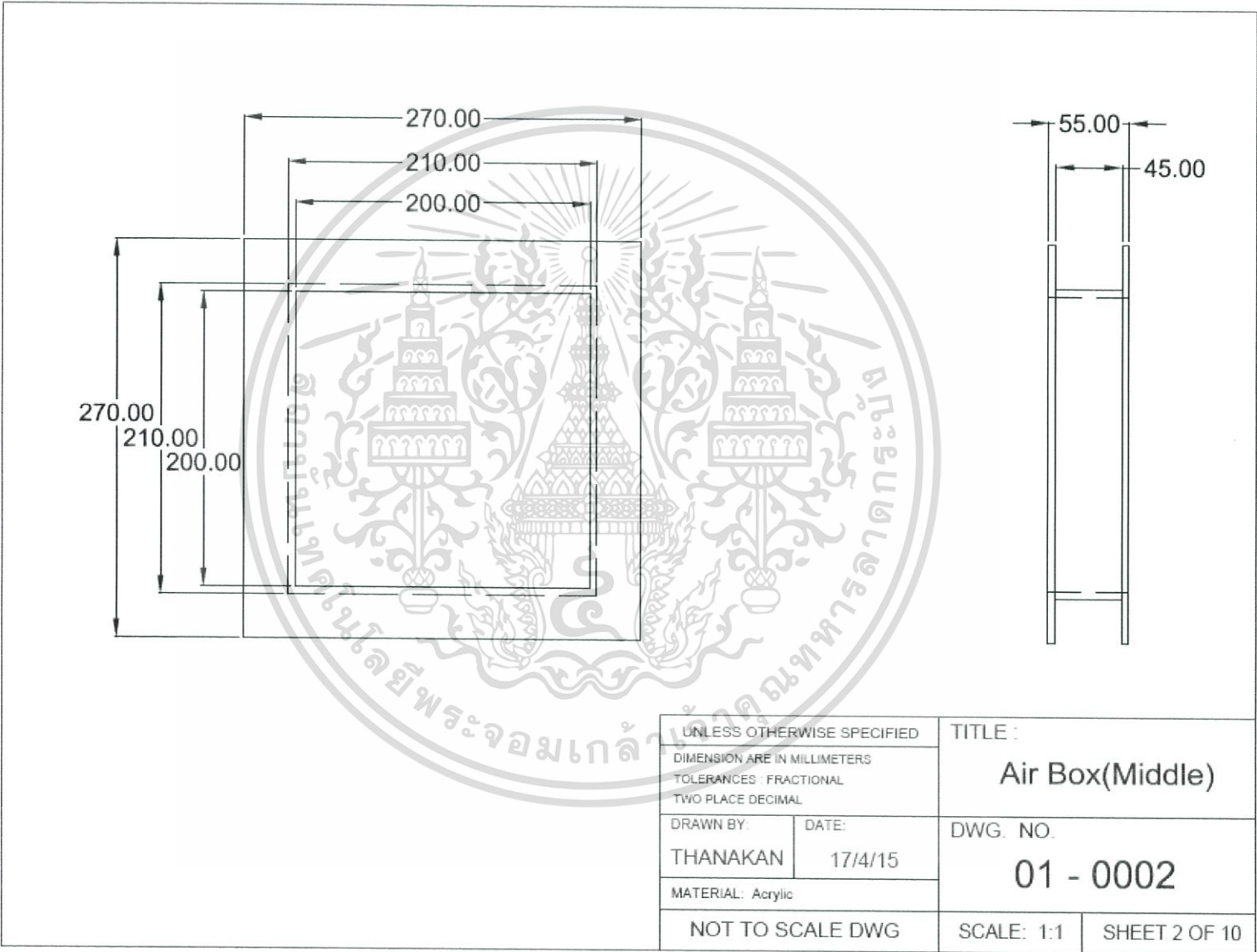


รูปที่ 2 แสดงแบบชุดทดลองส่วนบน

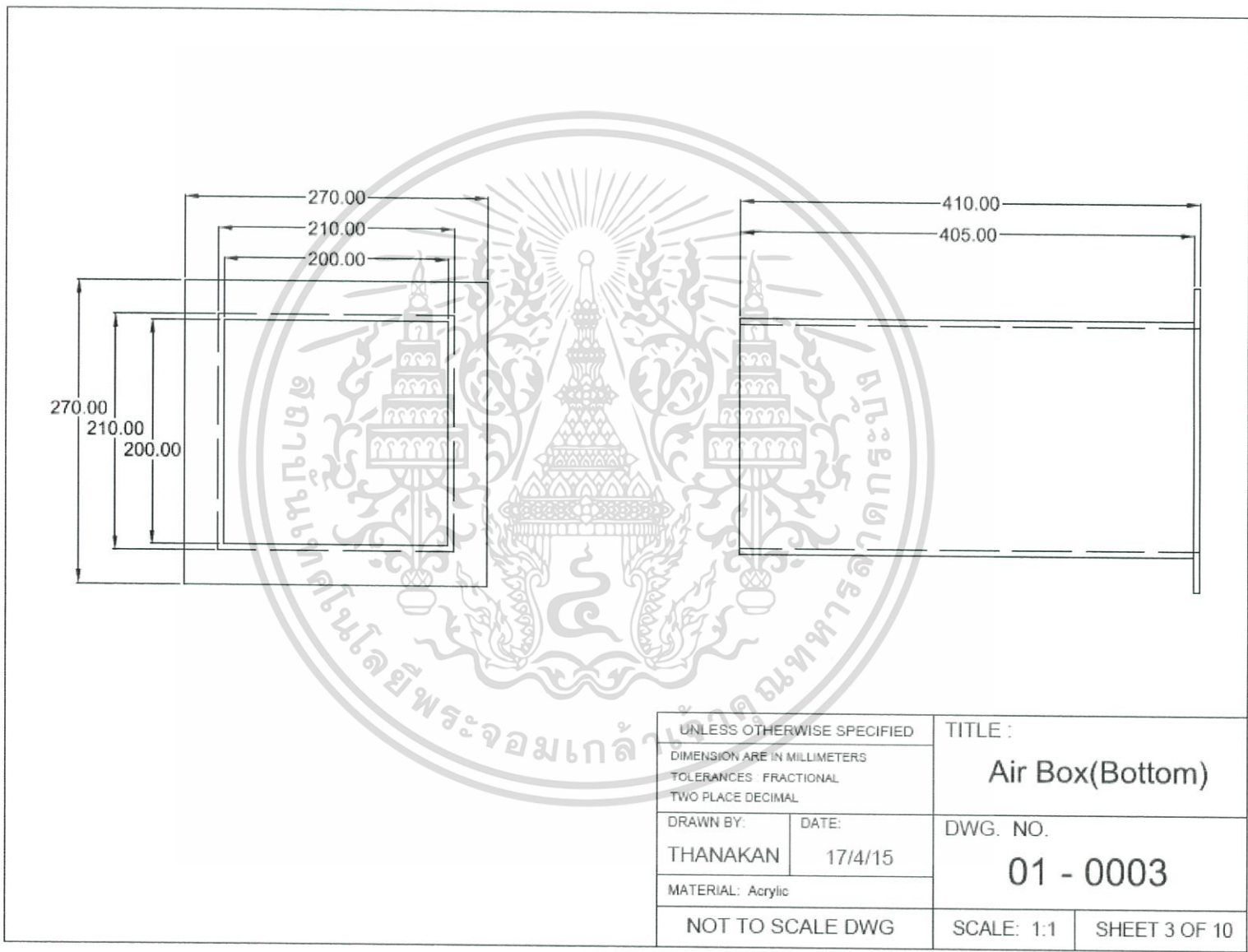


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		TITLE :	
DIMENSION ARE IN MILLIMETERS		Air Box(Top)	
TOLERANCES : FRACTIONAL		DWG. NO.	
TWO PLACE DECIMAL		01 - 0001	
DRAWN BY:	DATE:	SCALE: 1:1	
THANAKAN	17/4/15	SHEET 1 OF 10	
MATERIAL: Acrylic			
NOT TO SCALE DWG			

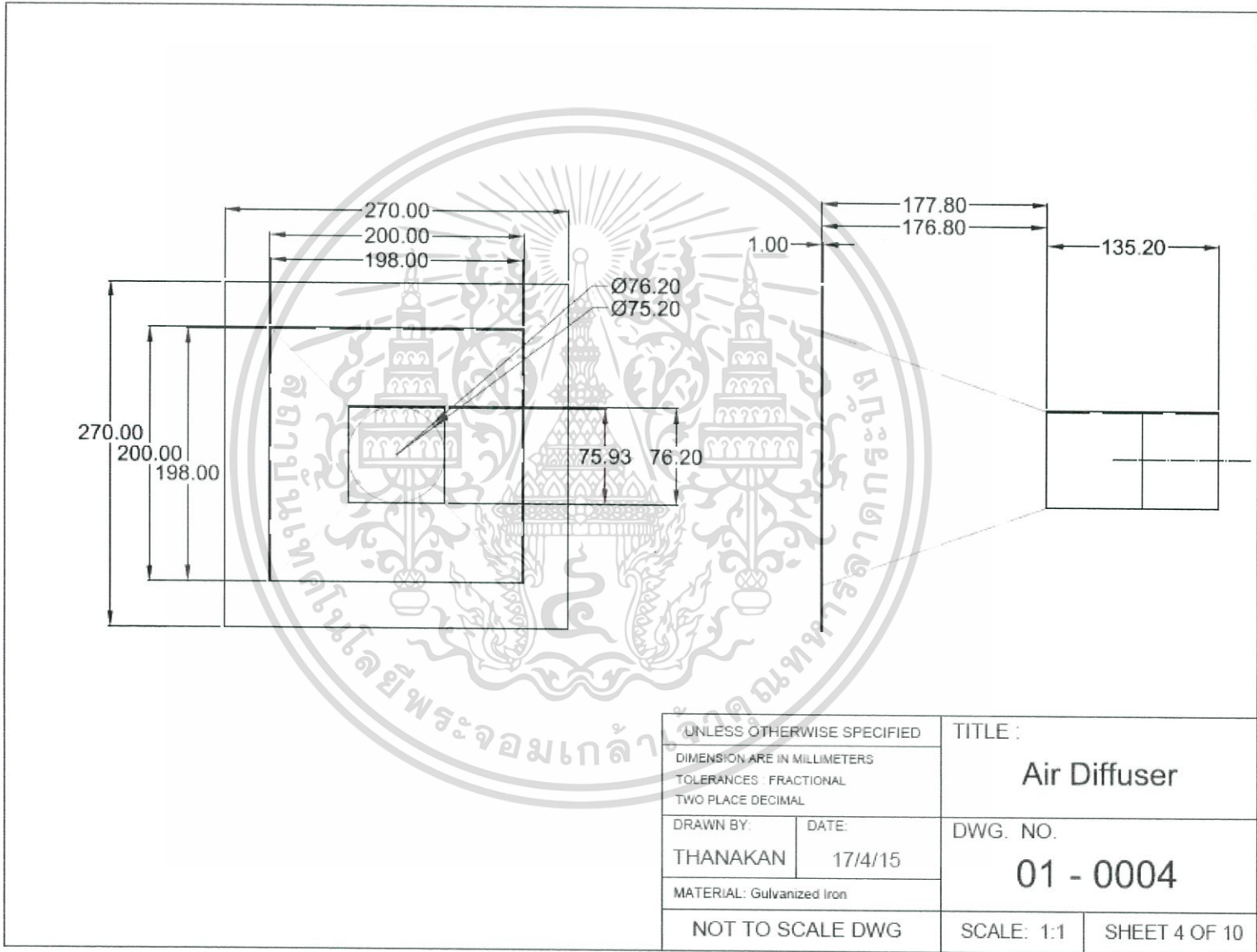
รูปที่ 3 แสดงแบบชุดทดลองส่วนกลาง

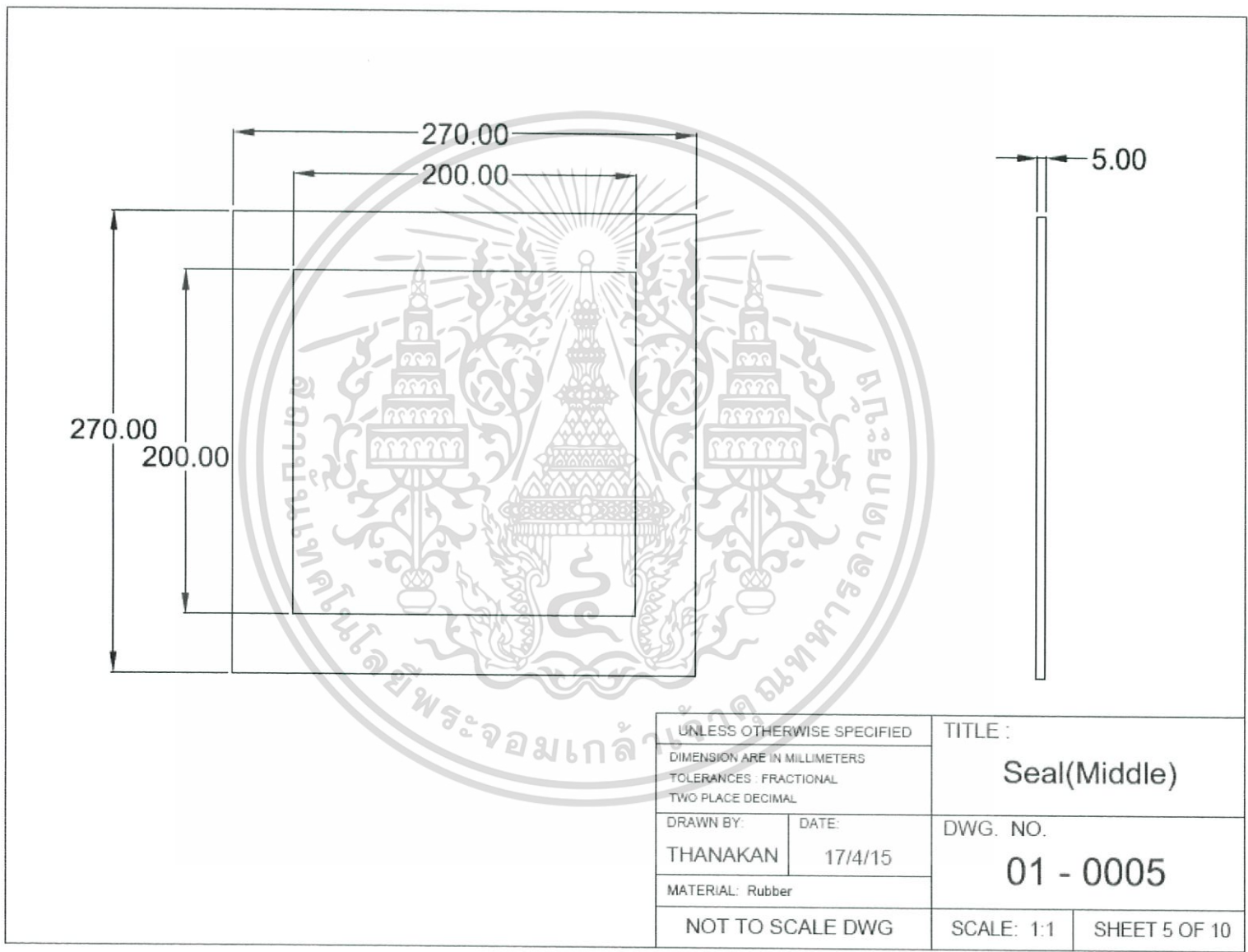


รูปที่ 4 แสดงแบบชุดทดลองส่วนล่าง

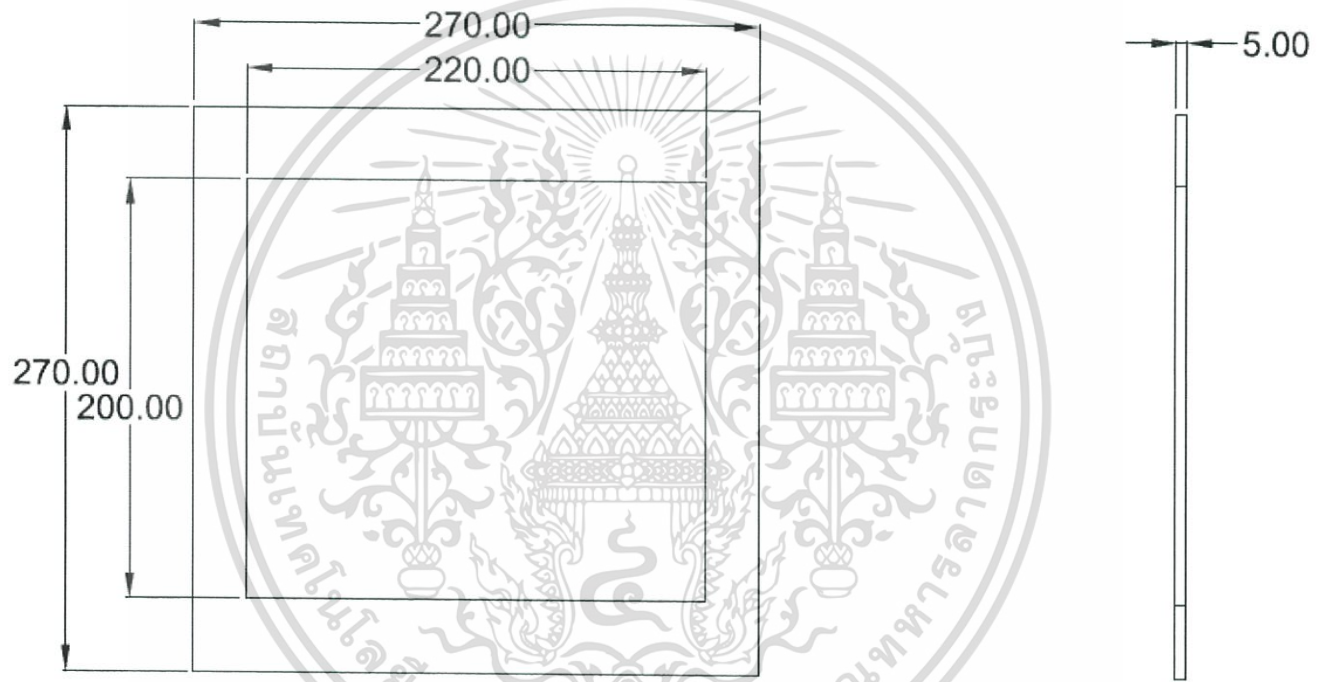


รูปที่ 5 แสดงปล่องอากาศเข้า



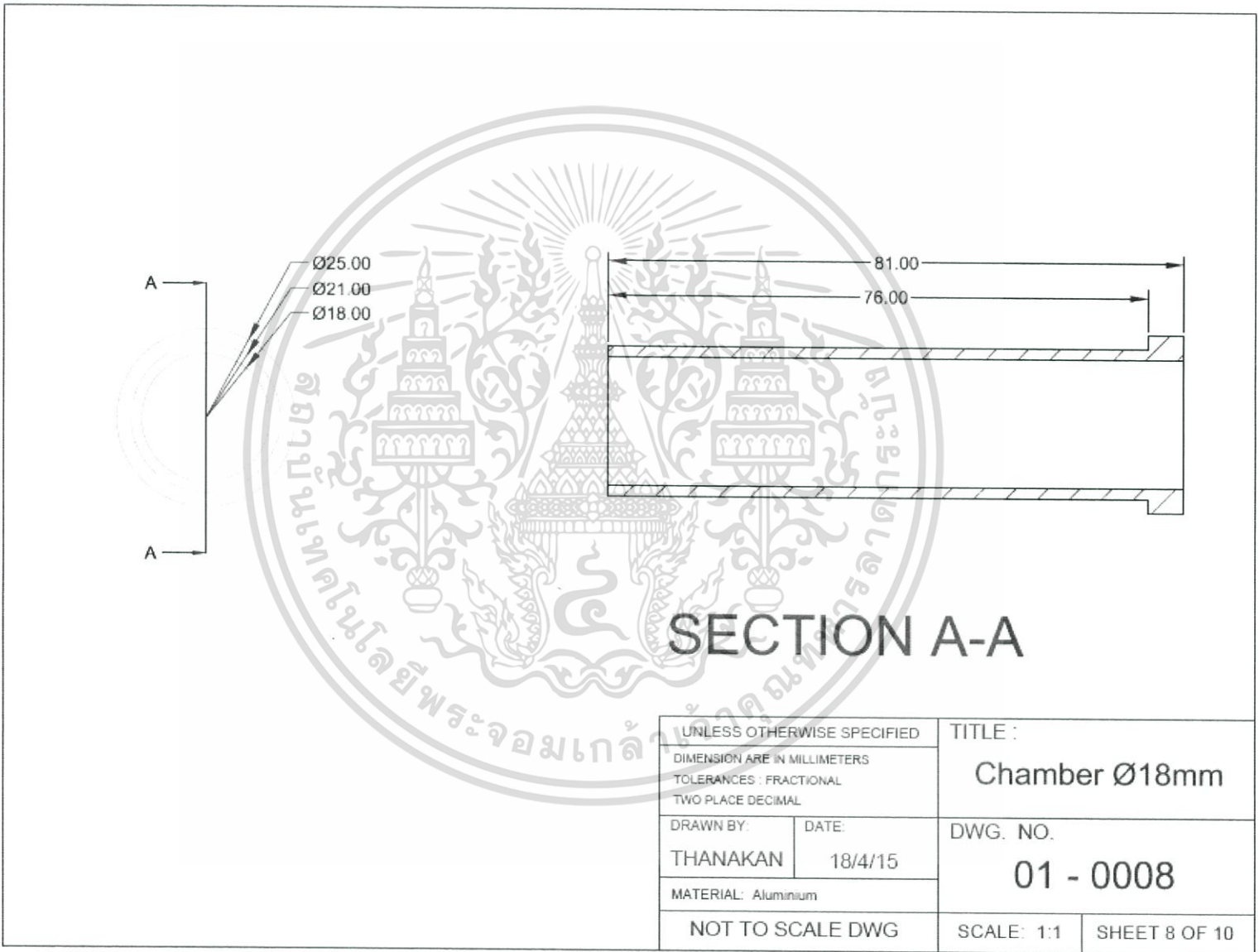


รูปที่ 7 แสดงแบบแผ่นยางกั้นริ้วส่วนล่าง

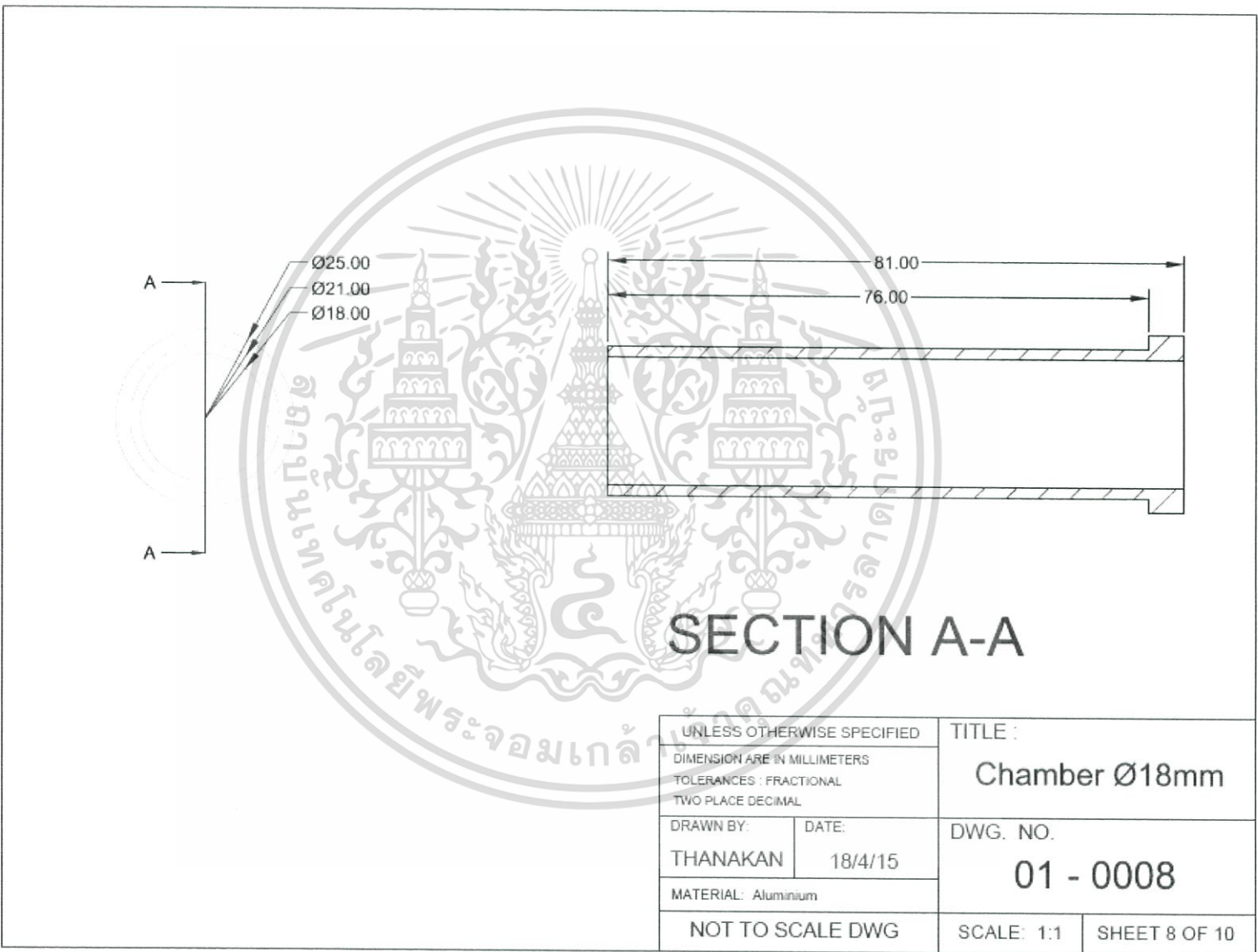


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		TITLE :	
DIMENSION ARE IN MILLIMETERS		Seal(Bottom)	
TOLERANCES - FRACTIONAL TWO PLACE DECIMAL			
DRAWN BY: THANAKAN	DATE: 17/4/15	DWG. NO. 01 - 0006	
MATERIAL: Rubber			
NOT TO SCALE DWG		SCALE: 1:1	SHEET 6 OF 10

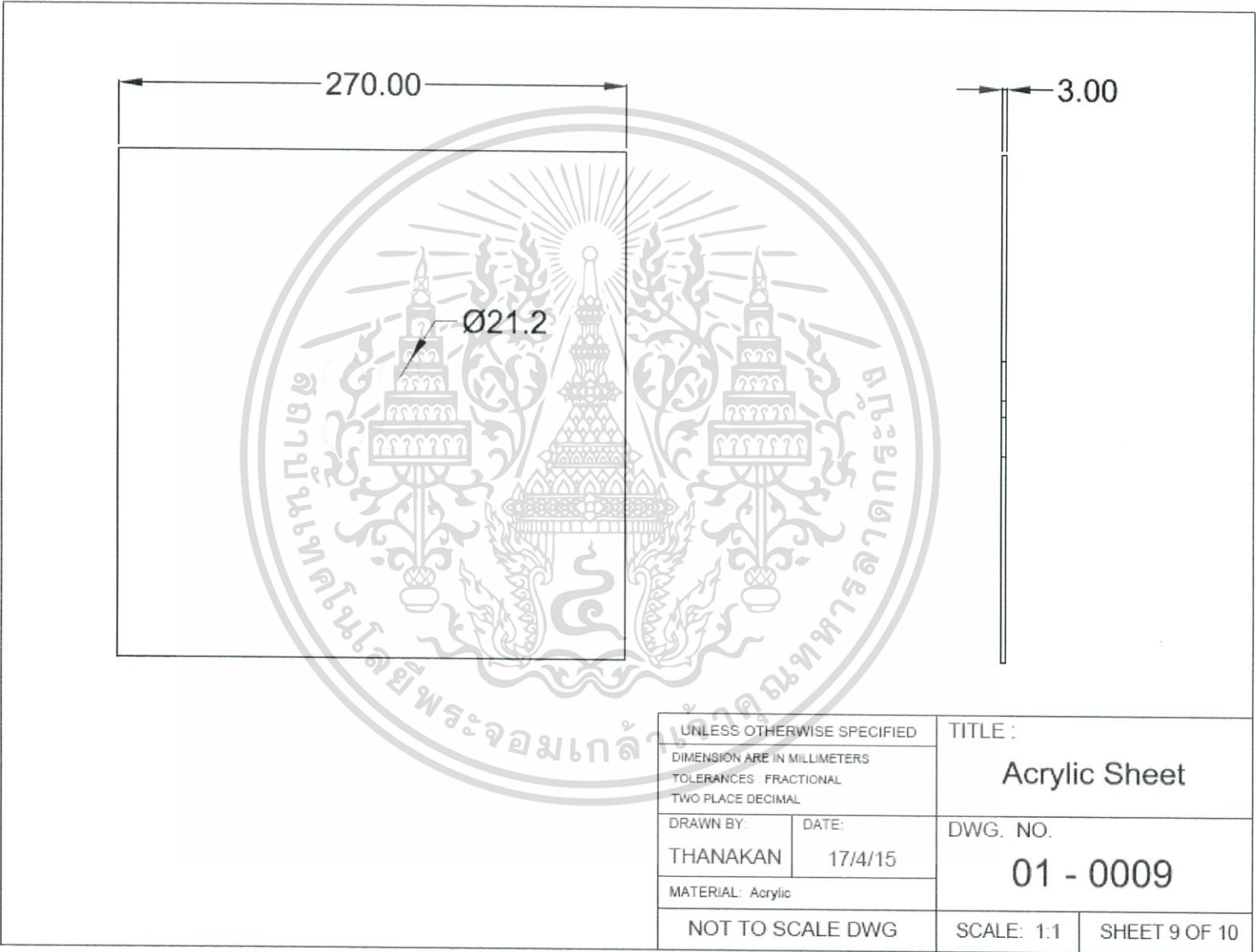
รูปที่ 8 แสดงแบบให้วัสดุเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายหัวฉีดเท่ากับ 6 มิลลิเมตร



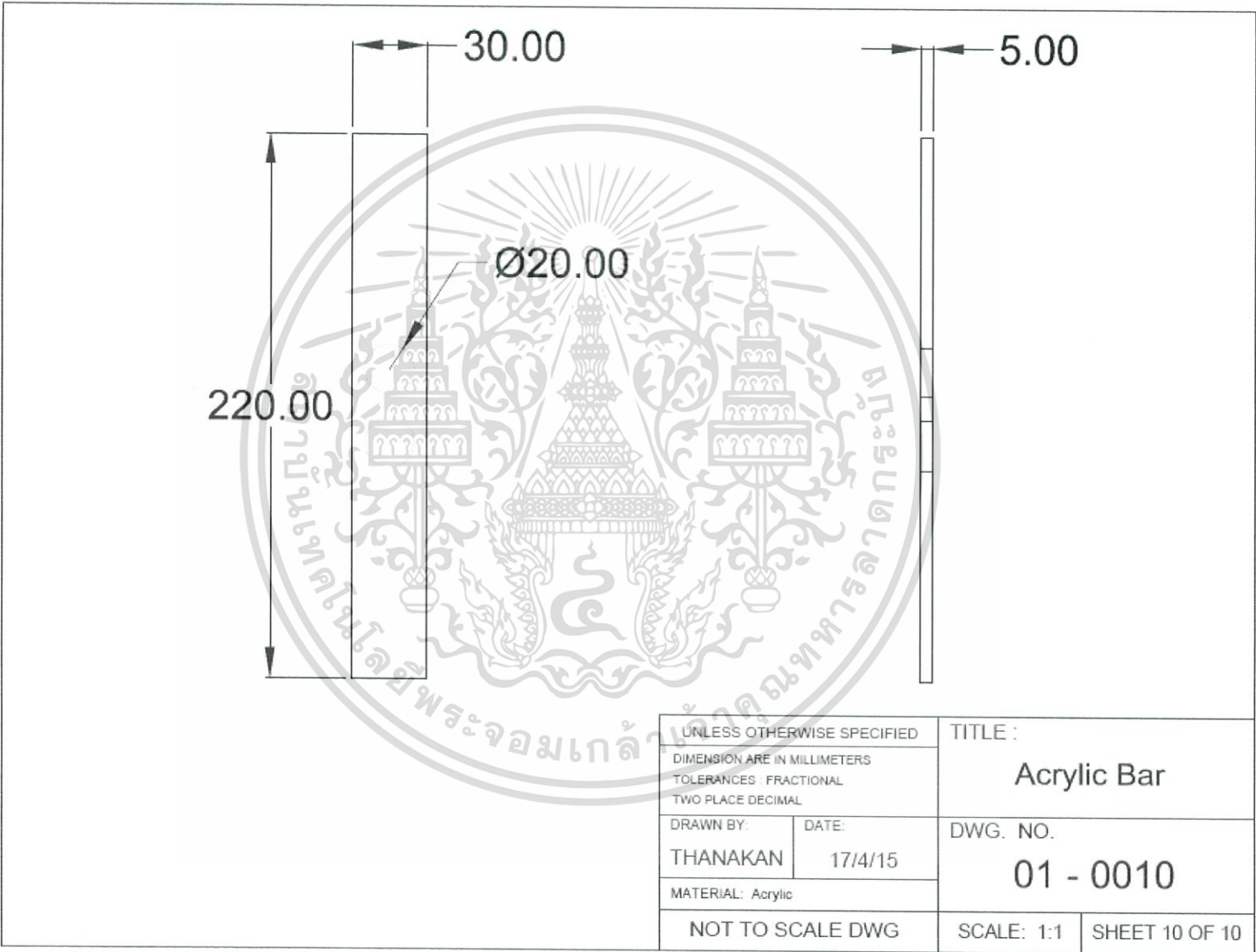
8. หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายหัวฉีดเท่ากับ 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 แสดงแบบห้องผสมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 18 มิลลิเมตร



รูปที่ 10 แสดงแบบแผ่นวางห้องผสม



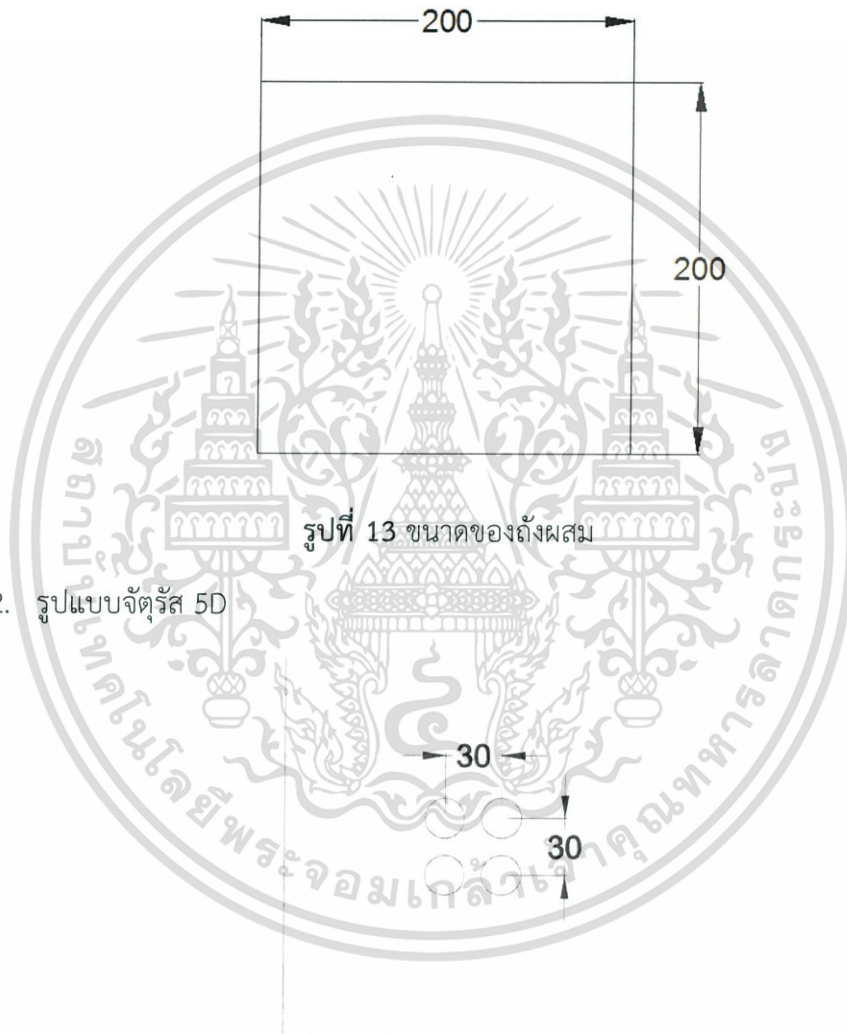
รูปที่ 11 แสดงแบบแผ่นนางพญาคันคาก

ภาคผนวก ข

รูปแบบการวางตัวของหัวฉีด

การวางตัวของหัวฉีดมีทั้งหมด 10 รูปแบบแบ่งออกเป็นแบบจัตุรัส 5 รูปแบบคือ 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D และแบบม่าน 5 รูปแบบคือ 5D, 6D, 7D, 8D และ 9D ดังรูปต่อไปนี้

1. ขนาดของถังผสม

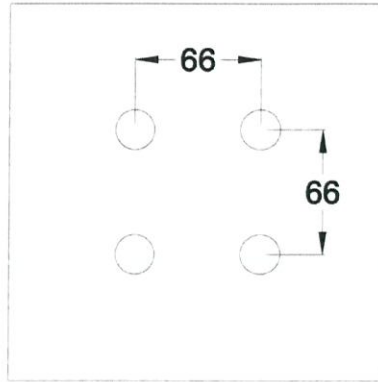


2. รูปแบบจัตุรัส 5D

รูปที่ 14 รูปแบบจัตุรัส 5D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบจัดรั้ว 11D



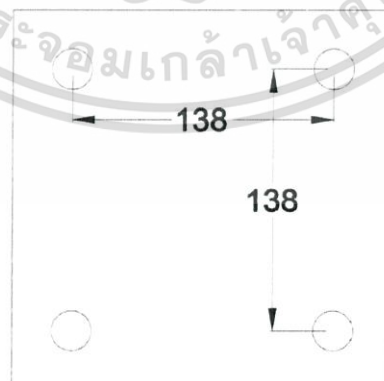
รูปที่ 15 รูปแบบจัดรั้ว 11D

4. รูปแบบจัดรั้ว 17D



รูปที่ 16 รูปแบบจัดรั้ว 17D

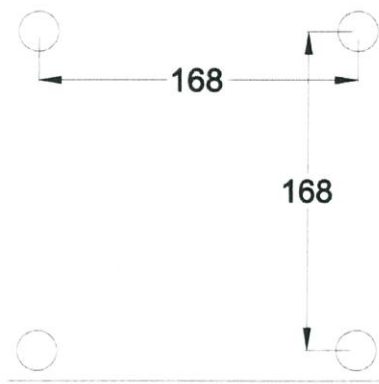
5. รูปแบบจัดรั้ว 23D



รูปที่ 17 รูปแบบจัดรั้ว 23D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รูปแบบจัดรั้ว 28D



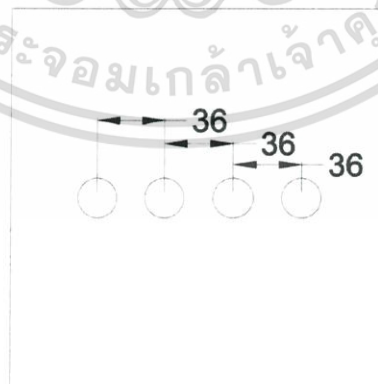
รูปที่ 18 รูปแบบจัดรั้ว 28D

7. รูปแบบม่าน 5D



รูปที่ 19 รูปแบบม่าน 5D

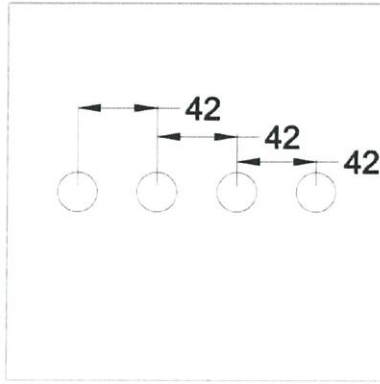
8. รูปแบบม่าน 6D



รูปที่ 20 รูปแบบม่าน 6D

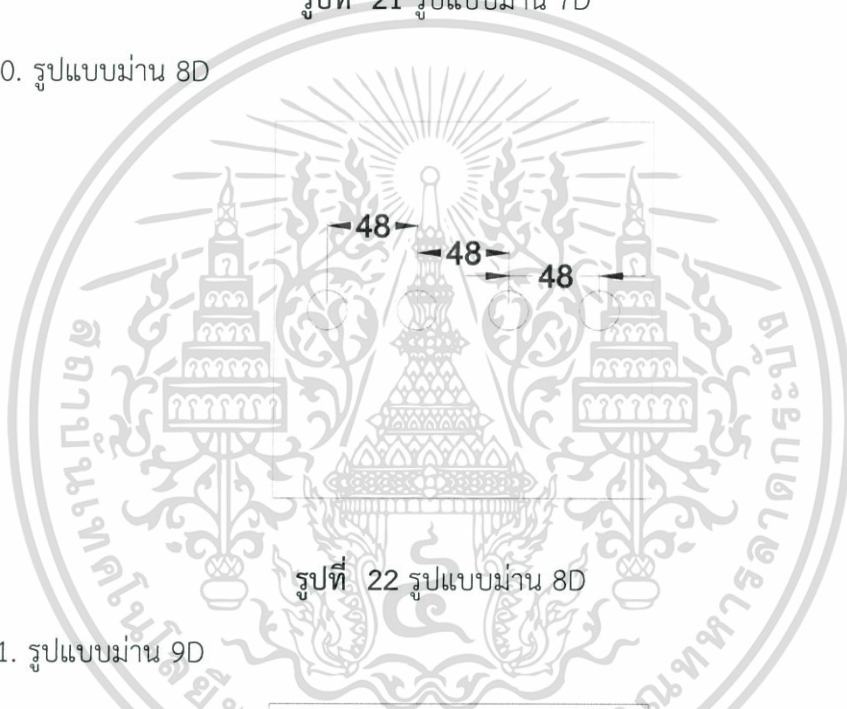
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. รูปแบบม่าน 7D



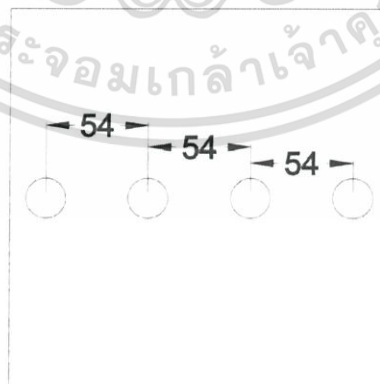
รูปที่ 21 รูปแบบม่าน 7D

10. รูปแบบม่าน 8D



รูปที่ 22 รูปแบบม่าน 8D

11. รูปแบบม่าน 9D



รูปที่ 23 รูปแบบม่าน 9D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 3.2, 3.6, 4.0, 4.4 และ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมง และ อัตราส่วนการวางตัวของหัวฉีดเท่ากับ 5D, 11D, 17D, 23D และ 28D สำหรับการวางตัวแบบจตุรัสแบบพร้อมห้องผสมแสดงข้อมูลความเร็วของอากาศที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสดงดังตารางที่ ค1, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบจตุรัสแบบไม่ติดตั้งห้องผสมแสดงข้อมูลความเร็วของอากาศที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสดงดังตารางที่ ค2, ผลการทดลอง สำหรับการวางตัวแบบม่านพร้อมห้องผสมแสดงข้อมูลความเร็วของอากาศที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสดงดังตารางที่ ค3, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบม่านแบบไม่ติดตั้งห้องผสมแสดงข้อมูลความเร็วของอากาศที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสดงดังตารางที่ ค4, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบจตุรัสพร้อมห้องผสมแสดงข้อมูลอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio แสดงดังตารางที่ ค5, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบจตุรัสแบบไม่ติดตั้งห้องผสมแสดงข้อมูลอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio แสดงดังตารางที่ ค6, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบม่านพร้อมห้องผสมแสดงข้อมูลอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio แสดงดังตารางที่ ค7, ผลการทดลอง สำหรับการวางตัวแบบม่านแบบไม่ติดตั้งห้องผสมแสดงข้อมูลอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio แสดงดังตารางที่ ค8, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบจตุรัสพร้อมห้องผสมแสดงข้อมูลเลขเรย์โนลด์ของอากาศจากการคำนวณแสดงดังตารางที่ ค9, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบจตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสมแสดงข้อมูลเลขเรย์โนลด์ของอากาศจากการคำนวณแสดงดังตารางที่ ค10, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบม่านพร้อมห้องผสมแสดงข้อมูลเลขเรย์โนลด์ของอากาศจากการคำนวณแสดงดังตารางที่ ค11, ผลการทดลองสำหรับการวางตัวแบบม่านและไม่ติดตั้งห้องผสมแสดงข้อมูลเลขเรย์โนลด์ของอากาศจากการคำนวณแสดงดังตารางที่ ค12

ค1 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจัตุรัสพร้อมห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	ความเร็วอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
5D	3.2	0.83
	3.6	1.037
	4	1.25
	4.4	1.463
	4.8	1.923
11D	3.2	0.76
	3.6	0.947
	4	1.17
	4.4	1.443
	4.8	1.84
17D	3.2	0.797
	3.6	0.947
	4	1.237
	4.4	1.433
	4.8	1.877
23D	3.2	0.94
	3.6	1.157
	4	1.4
	4.4	1.637
	4.8	2.097
28D	3.2	0.903
	3.6	1.117
	4	1.263
	4.4	1.543
	4.8	2.043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค2 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจัตุรัสและไม่ติดตั้งห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	ความเร็วอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
5D	3.2	0.83
	3.6	1.037
	4	1.25
	4.4	1.463
	4.8	1.923
11D	3.2	0.76
	3.6	0.947
	4	1.17
	4.4	1.443
	4.8	1.84
17D	3.2	0.797
	3.6	0.947
	4	1.237
	4.4	1.433
	4.8	1.877
23D	3.2	0.94
	3.6	1.157
	4	1.4
	4.4	1.637
	4.8	2.097
28D	3.2	0.903
	3.6	1.117
	4	1.263
	4.4	1.543
	4.8	2.043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค3 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่านพร้อมห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	ความเร็วอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
5D	3.2	0.743
	3.6	0.95
	4	1.107
	4.4	1.367
	4.8	1.753
6D	3.2	0.777
	3.6	0.96
	4	1.113
	4.4	1.39
	4.8	1.78
7D	3.2	0.917
	3.6	1.127
	4	1.29
	4.4	1.41
	4.8	1.833
8D	3.2	1.107
	3.6	1.33
	4	1.47
	4.4	1.71
	4.8	2.07
9D	3.2	1.043
	3.6	1.223
	4	1.433
	4.4	1.643
	4.8	1.967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค4 ความเร็วของอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบม่านเมื่อไม่ติดตั้งห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	ความเร็วอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
5D	3.2	1.053
	3.6	1.327
	4	1.623
	4.4	1.937
	4.8	2.533
6D	3.2	1.1
	3.6	1.417
	4	1.807
	4.4	2.14
	4.8	2.58
7D	3.2	1.197
	3.6	1.45
	4	1.847
	4.4	2.25
	4.8	2.667
8D	3.2	1.65
	3.6	2.1
	4	2.68
	4.4	2.96
	4.8	3.6
9D	3.2	1.42
	3.6	1.81
	4	2.2
	4.4	2.57
	4.8	3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค5 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัสพร้อมห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	L/G ratio
5D	3.2	10.222529	0.313
	3.6	12.767898	0.282
	4.0	15.395375	0.2598
	4.4	18.022852	0.2441
	4.8	23.688350	0.2026
11D	3.2	9.360388	0.3419
	3.6	11.659431	0.3088
	4.0	14.410071	0.2776
	4.4	17.776526	0.2475
	4.8	22.661992	0.2118
17D	3.2	9.811986	0.3261
	3.6	11.659431	0.3088
	4.0	15.231157	0.2626
	4.4	17.653363	0.2492
	4.8	23.113589	0.2077
23D	3.2	11.577322	0.2764
	3.6	14.245853	0.2527
	4.0	17.242820	0.232
	4.4	20.157677	0.2183
	4.8	25.823175	0.1859
28D	3.2	11.125724	0.2876
	3.6	13.753201	0.2618
	4.0	15.559592	0.2571
	4.4	19.008156	0.2315
	4.8	25.166306	0.1907

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค6 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัสและไม่ได้ตั้งห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	L/G ratio
5D	3.2	15.231157	0.2101
	3.6	18.638667	0.1931
	4.0	22.538829	0.1775
	4.4	26.890588	0.1636
	4.8	32.186597	0.1491
11D	3.2	13.917419	0.2299
	3.6	17.448091	0.2063
	4.0	20.527166	0.1949
	4.4	23.647296	0.1861
	4.8	28.368544	0.1692
17D	3.2	14.574288	0.2196
	3.6	17.817580	0.202
	4.0	21.594579	0.1852
	4.4	26.069501	0.1688
	4.8	31.981325	0.1501
23D	3.2	18.474450	0.1732
	3.6	21.430362	0.168
	4.0	25.905284	0.1544
	4.4	30.174935	0.1458
	4.8	37.195226	0.129
28D	3.2	17.324928	0.1847
	3.6	21.389307	0.1683
	4.0	24.878926	0.1608
	4.4	29.025413	0.1516
	4.8	34.403531	0.1395

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบมันพร้อมห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	L/G ratio
5D	3.2	9.155116	0.3495
	3.6	11.700485	0.3077
	4.0	13.630038	0.2935
	4.4	16.832276	0.2614
	4.8	21.594579	0.2223
6D	3.2	9.565660	0.3345
	3.6	11.823648	0.3045
	4.0	13.712147	0.2917
	4.4	17.119657	0.2570
	4.8	21.923014	0.2189
7D	3.2	11.289942	0.2834
	3.6	13.876364	0.2594
	4.0	15.888027	0.2518
	4.4	17.365983	0.2534
	4.8	22.579883	0.2126
8D	3.2	13.630038	0.2348
	3.6	16.380679	0.2198
	4.0	18.104961	0.2209
	4.4	21.060873	0.2089
	4.8	25.494741	0.1883
9D	3.2	12.850006	0.2490
	3.6	15.066940	0.2389
	4.0	17.653363	0.2266
	4.4	20.239786	0.2174
	4.8	24.222056	0.1982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค8 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบมานและไม่ติดตั้งห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	L/G ratio
5D	3.2	12.973169	0.2467
	3.6	16.339624	0.2203
	4.0	19.993460	0.2001
	4.4	23.852567	0.1845
	4.8	31.201293	0.1538
6D	3.2	13.547930	0.2362
	3.6	17.448091	0.2063
	4.0	22.251448	0.1798
	4.4	26.356882	0.1669
	4.8	31.776054	0.1511
7D	3.2	14.738505	0.2171
	3.6	17.858635	0.2016
	4.0	22.744100	0.1759
	4.4	27.711675	0.1588
	4.8	32.843466	0.1461
8D	3.2	20.321895	0.1575
	3.6	25.823175	0.1394
	4.0	33.048738	0.1210
	4.4	36.497302	0.1206
	4.8	44.379734	0.1082
9D	3.2	17.530200	0.1825
	3.6	22.292503	0.1615
	4.0	27.136914	0.1474
	4.4	31.652891	0.1390
	4.8	39.124779	0.1227

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค9 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัสพร้อมห้องผสม

อัตราส่วนการวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	เลขเรย์โนลด์น้ำ	เลขเรย์โนลด์อากาศ
5D	3.2	273385.84	3427.18
	3.6	307559.07	4280.53
	4.0	341732.30	5161.41
	4.4	375905.53	6042.29
	4.8	410078.77	7941.69
11D	3.2	273385.84	3138.14
	3.6	307559.07	3908.91
	4.0	341732.30	4831.08
	4.4	375905.53	5959.71
	4.8	410078.77	7597.60
17D	3.2	273385.84	3289.54
	3.6	307559.07	3908.91
	4.0	341732.30	5106.36
	4.4	375905.53	5918.42
	4.8	410078.77	7749.00
23D	3.2	273385.84	3881.38
	3.6	307559.07	4776.03
	4.0	341732.30	5780.78
	4.4	375905.53	6758.01
	4.8	410078.77	8657.41
28D	3.2	273385.84	3729.98
	3.6	307559.07	4610.86
	4.0	341732.30	5216.47
	4.4	375905.53	6372.62
	4.8	410078.77	8437.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค10 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศและ L/G ratio ในแต่ละการวางตัวของรูปแบบจตุรัสและไม้
ติดตั้งห้องผสม

อัตราส่วน การวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	เลขเรย์โนลด์น้ำ	เลขเรย์โนลด์อากาศ
5D	3.2	273385.84	5106.36
	3.6	307559.07	6248.75
	4.0	341732.30	7556.31
	4.4	375905.53	9015.27
	4.8	410078.77	10790.79
11D	3.2	273385.84	4665.92
	3.6	307559.07	5849.60
	4.0	341732.30	6881.88
	4.4	375905.53	7927.93
	4.8	410078.77	9510.76
17D	3.2	273385.84	4886.14
	3.6	307559.07	5973.47
	4.0	341732.30	7239.74
	4.4	375905.53	8739.99
	4.8	410078.77	10721.97
23D	3.2	273385.84	6193.69
	3.6	307559.07	7184.68
	4.0	341732.30	8684.93
	4.4	375905.53	10116.37
	4.8	410078.77	12469.97
28D	3.2	273385.84	5808.31
	3.6	307559.07	7170.92
	4.0	341732.30	8340.84
	4.4	375905.53	9730.98
	4.8	410078.77	11534.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค11 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบมันพร้อมห้องผสม

อัตราส่วน การวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	เลขเรย์โนลด์น้ำ	เลขเรย์โนลด์อากาศ
5D	3.2	273385.84	3069.32
	3.6	307559.07	3922.67
	4.0	341732.30	4569.57
	4.4	375905.53	5643.14
	4.8	410078.77	7239.74
6D	3.2	273385.84	3206.96
	3.6	307559.07	3963.96
	4.0	341732.30	4597.10
	4.4	375905.53	5739.49
	4.8	410078.77	7349.85
7D	3.2	273385.84	3785.04
	3.6	307559.07	4652.15
	4.0	341732.30	5326.58
	4.4	375905.53	5822.07
	4.8	410078.77	7570.07
8D	3.2	273385.84	4569.57
	3.6	307559.07	5491.74
	4.0	341732.30	6069.82
	4.4	375905.53	7060.81
	4.8	410078.77	8547.30
9D	3.2	273385.84	4308.06
	3.6	307559.07	5051.30
	4.0	341732.30	5918.42
	4.4	375905.53	6785.54
	4.8	410078.77	8120.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค12 เลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศในแต่ละการวางตัวของรูปแบบมันและไม้ติดตั้งห้องผสม

อัตราส่วน การวางตัว	อัตราการไหลน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	เลขเรย์โนลด์น้ำ	เลขเรย์โนลด์อากาศ
5D	3.2	273385.84	4349.35
	3.6	307559.07	5477.98
	4.0	341732.30	6702.95
	4.4	375905.53	7996.75
	4.8	410078.77	10460.46
6D	3.2	273385.84	4542.04
	3.6	307559.07	5849.60
	4.0	341732.30	7459.96
	4.4	375905.53	8836.34
	4.8	410078.77	10653.15
7D	3.2	273385.84	4941.19
	3.6	307559.07	5987.24
	4.0	341732.30	7625.13
	4.4	375905.53	9290.54
	4.8	410078.77	11011.01
8D	3.2	273385.84	6813.06
	3.6	307559.07	8657.41
	4.0	341732.30	11079.83
	4.4	375905.53	12235.99
	4.8	410078.77	14878.63
9D	3.2	273385.84	5877.13
	3.6	307559.07	7473.72
	4.0	341732.30	9097.85
	4.4	375905.53	10611.86
	4.8	410078.77	13116.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้