



การศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการ  
เผาไหม้ใบยางพารา

STUDY OF MASS MEDIAN AERODYNAMIC DIAMETER AND  
CONCENTRATION OF SOOT PARTICLE FROM RUBBER LEAVES  
COMBUSTION

ณัฐวุฒิ พลายเสน

NATTAWUT PLAISEN

อนุวัฒน์ กาญจนะ

ANUWAT KANJANA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล  
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการ  
เผาไหม้ใบยางพารา

STUDY OF MASS MEDIAN AERODYNAMIC DIAMETER AND  
CONCENTRATION OF SOOT PARTICLE FROM RUBBER LEAVES  
COMBUSTION



ณัฐวุฒิ พลายเสน

NATTAWUT PLAISEN

อนุวัฒน์ กาญจนะ

ANUWAT KANJANA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล  
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF MASS MEDIAN AERODYNAMIC DIAMETER AND  
CONCENTRATION OF SOOT PARTICLE FROM RUBBER LEAVES  
COMBUSTION



NATTAWUT PLAISEN

ANUWAT KANJANA

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL  
ENGINEERING DEPARTMENT OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHONE CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจาก  
การเผาไหม้ใบยางพารา

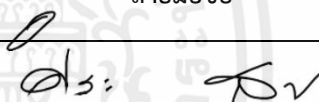
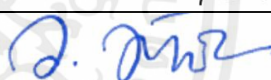


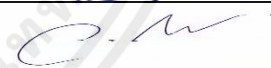
PROJECT TITLE STUDY OF MASS MEDIAN AERODYNAMIC DIAMETER AND  
CONCENTRATION OF SOOT PARTICLE FROM RUBBER LEAVES  
COMBUSTION

ชื่อนักศึกษา ณัฐวุฒิ พลายเสน รหัสประจำตัว 62201225  
อนุวัฒน์ กาญจนะ รหัสประจำตัว 62201238

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วชร กาลาสี

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
ผศ.ววรรษชล	วัฒน์นะ	กรรมการสอบ	
ดร.อดิเรก	สุริยวงศ์	กรรมการสอบ	
ดร.ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	
ผศ.วชร	กาลาสี	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 กรกฎาคม 2565 เวลา 13.00-17.00 น.

สถานที่ ตึก C ห้อง112 ห้องประชุมวิทยาศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา	
ชื่อนักศึกษา	ณัฐวุฒิ พลายเสน อนุวัฒน์ กาญจนะ	รหัสประจำตัว 62201225 รหัสประจำตัว 62201238
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วชร กาลาสี	
ปริญญานิพนธ์		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา โดยศึกษาจากทั้งชนิดไบแห้งและใบสด เพื่อเปรียบเทียบการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน ซึ่งใช้เครื่อง Andersen air sampler ที่สามารถแยกอนุภาคในช่วง 0.43 ถึง 11 ไมโครเมตร โดยได้ทำการทดสอบที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที 2. ความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน ได้ใช้เครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน โดยทำการทดสอบการเผาไหม้ไบอยางพาราจำนวน 10 กรัม เป็นเวลา 20 นาที แบ่งเป็น 4 ช่วงเวลาได้แก่ 1-5 นาที 6-10 นาที 11-15 นาที และ 16-20 นาที กำหนดอัตราการไหลที่ทดสอบคือ 5 10 และ 15 ลิตรต่อนาที และความชื้นที่ทำการทดสอบ 15 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ส่วนอุณหภูมิควบคุมคงที่ 25 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง โดยทำการทดลองจะทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า ขนาดอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราชนิดไบแห้งและใบสดมีขนาดอนุภาค 1.1 ไมโครเมตร และ 1.25 ไมโครเมตร ตามลำดับ ในกรณีพิจารณาอัตราการไหลของอากาศพบว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจะลดลง สำหรับการเพิ่มความชื้นของเชื้อเพลิงพบว่า เมื่อค่าความชื้นของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ขนาดของอนุภาคเขม่าควันและปริมาณอนุภาคเขม่าควันมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นปริมาณอนุภาคเขม่าควันจะมีค่าลดลง

**คำสำคัญ :** มวลมัธยฐานแอโรไดนามิกเส้นผ่านศูนย์กลาง, การเผาไหม้, ขนาดของอนุภาคควัน

<b>Project Title</b>	STUDY OF MASS MEDIAN AERODYNAMIC DIAMETER AND CONCENTRATION OF SOOT PARTICLE FROM RUBBER LEAVES COMBUSTION	
<b>Student</b>	NATTAWUT PLAISEN	Student ID 62201225
	ANUWAT KANJANA	Student ID 62201238
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Mechanical Engineering	
<b>Project Advisor</b>	Asst.Prof. Wachara Kalasee	

### Abstract

This research is to study the size distribution and density of soot particles from the burning of para rubber leaves. By studying both dry and fresh leaves. To compare the size distribution and density of soot particles. The experiment is divided into 2 parts: 1. The size distribution of soot particles. The Andersen air sampler was used to separate particles in the range of 0.43 to 11  $\mu\text{m}$ . The test was carried out at a flow rate of 28.3 liters per minute for 10 minutes. Used to capture soot particles The burning test of 10 grams of para rubber leaves for 20 minutes was divided into 4 time periods, namely 1-5 minutes, 6-10 minutes, 11-15 minutes, and 16-20 minutes. The flow rate tested was 5, 10 and 15 liters. Per minute and tested humidity 15, 30 and 45 percent dry base, the control temperature was kept constant at 250 °C throughout the experiment. All experiments were repeated 3 times. Particle size of soot from burning of dry and fresh para rubber leaves has particle sizes of 1.1  $\mu\text{m}$  and 1.25  $\mu\text{m}$ , respectively. When the air flow rate increases, the amount of soot particles is reduced. For increasing the moisture content of the fuel, it was found that when the moisture content of the fuel increases, The size of the soot particles and the amount of soot particles increased. It was also found that as the combustion time increased, the amount of soot particles decreased.

**Keywords :** Mass Median Aerodynamic Diameter, Combustion, Particle size smoke

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์วชิร กาลาสี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา แนวคิด คำแนะนำ ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอน และวิธีการในการทำปริญญาโท

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนทุนทรัพย์ตลอดมาในการศึกษาและการเป็นอยู่ เพื่อนร่วมรุ่น ทุกท่านและช่างเทคนิคสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตรในการช่วยเหลือการทำงาน ตลอดจนบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้การสนับสนุนให้กำลังใจ และคำปรึกษาเสมอมา

ณัฐวุฒิ พลายเสน  
อนุวัฒน์ กาญจนะ  
กรกฎาคม 2565



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.2.1 หาขนาดของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากไบอยางพารา	1
1.2.2 ความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3.1 ความชื้นของไบอยางพาราที่ทำการทดสอบมีค่า 15 30 45 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง	1
1.3.2 เวลาที่ใช้ในการทดลองมี 4 ช่วงเวลาคือ 1-5 6-10 11-15 และ 16-20 นาที	1
1.3.3 น้ำหนักของไบอยางพาราที่ใช้ในการทดลองมีค่า 10 กรัม	1
1.3.4 อัตราการไหลที่ทำการทดสอบมีค่า 5 10 และ 15 ลิตรต่อนาที	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4.1 ทราบขนาดของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากไบอยางพารา	1
1.4.2 ทราบความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.5.2 ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องวัดปริมาณอนุภาค	2
1.5.3 ติดตั้งเครื่องวัดปริมาณอนุภาคเพื่อเก็บตัวอย่าง	2
1.5.4 ทดลองและเก็บผลจากการทดลอง	2
1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	2

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อนุภาคเขม่าควัน	2
2.1.1 รูปร่างของอนุภาค (shape)	2
2.1.2 โครงสร้างของอนุภาค	2
2.1.3 คุณสมบัติของผิวอนุภาค	2
2.2 การแยกอนุภาคออกจากแก๊ส	4
2.3 ขนาดอนุภาค (Particles size)	7
2.4 การกระจายขนาดอนุภาค (Particles size distribution)	7
2.5 การเผาไหม้	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 วัสดุ	16
3.1.1 ไบยางพารา	16
3.1.2 ถ่านซีวมวลอัดเม็ดจากไบยางพารา	16
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	18
3.2.1 เครื่องบดและอัดเม็ดซีวมวล	18
3.2.2 Tubular Electric Tube Furnace and Andersen sampler (Dylic, An200)	18
3.2.3 ชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน	19
3.2.4 กระจดาชกรอง (Filter)	20
3.2.5 ถังซีปล็อก	20
3.2.6 ที่คืบหรือแหนบ	21
3.2.7 ถังมือ	21
3.2.8 เครื่องซังน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)	22
3.3 หลักการทำงานของ Andersen air sampler	22
3.3.1 ขั้นตอนการทดลอง	23
3.4 หลักการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน	24
3.4.1 ขั้นตอนและการเก็บตัวอย่าง	24
3.4.2 วิธีการทดลองเก็บตัวอย่าง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	
4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน	27
4.1.1 ผลการเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคจากการเผาไหม้ไบอยางพาราชนิดใบแห้งและใบสด	27
4.1.2 ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่มีความชื้นเพิ่มขึ้น	28
4.2 ผลการทดลองของปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ชีวมวลจากไบอยางพารา	29
4.2.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลจากไบอยางพาราแห้ง และไบอยางพาราสด	29
4.2.2 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่มีความชื้น 15%	30
4.2.3 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่มีความชื้น 30%	31
4.2.4 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่มีความชื้น 45%	31
4.2.5 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา	32
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	37
ภาคผนวก ข	45
ประวัติผู้เขียน	60

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การดำเนินงาน	2
4.1	ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากไบอยางพาราชนิดใบแห้ง	28
4.2	ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากไบอยางพาราชนิดใบสด	28
4.3	ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่มีความชื้น 15 %	29
4.3	ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่มีความชื้น 30 %	29
4.3	ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่มีความชื้น 45 %	29
ข.1	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	46
ข.2	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	46
ข.3	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	47
ข.4	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	47
ข.5	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	48
ข.6	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	48
ข.7	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	49
ข.8	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	49
ข.9	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	50
ข.10	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	50
ข.11	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	51
ข.12	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	51
ข.13	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	52
ข.14	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	52
ข.15	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	53
ข.16	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	53
ข.17	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	54
ข.18	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	54
ข.19	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	55
ข.20	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	55
ข.21	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	56
ข.22	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	56
ข.23	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	57
ข.24	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	57
ข.25	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	58
ข.26	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	58
ข.27	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที	59

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปร่างของอนุภาค	2
2.2	การแยกอนุภาคอนุภาคแบบสกัดกัน (Interception)	5
2.3	การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction)	5
2.4	การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการแพร่ (Diffusion)	6
2.5	ช่วงการกระจายของขนาดเชิงแอร์โรไดนามิกของ Andersen air sampler	8
3.6	กระดาษกรอง (Filter)	20
3.7	ถุงซีปล็อค	20
3.8	ที่คีบหรือแหวน	21
3.9	ถุงมือ	21
3.10	เครื่องซั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)	22
3.11	Andersen air sampler	22
3.12	แผนภาพการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยใช้ Andersen air sampler	23
3.13	ระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน	24
3.14	นำแผ่นกระดาษกรองไปแช่ซีลีกาเจล	24
3.15	เตาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส	25
3.16	ซั่งน้ำหนักกระดาษกรอง	25
3.17	ซั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากไบอยาฟารา	26
3.18	การนำกระดาษกรองใส่ลงใน Filter holder	26
3.19	กระดาษกรองที่ใส่ในถุงซีปล็อคหลังการทดลอง	27
3.20	กระดาษกรองแช่ซีลีกาเจล	27
4.1	กราฟเปรียบเทียบขนาดของอนุภาค	2
4.2	กราฟเปรียบเทียบเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเขม่าควันที่	30
4.3	ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยาฟาราที่ความชื้น 15%	30
4.4	ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยาฟาราที่ความชื้น 30%	33
4.5	ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยาฟาราที่ความชื้น 45%	55
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์	56

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาเรื่องวิกฤตพลังงานเชื้อเพลิงขาดแคลนอย่างหนักเนื่องจากมีการใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อสนองต่อความสะดวกสบายของมนุษย์ ซึ่งนับวันพลังงานที่มีอยู่ก็มีปริมาณน้อยลงทุกทีและคงต้องหมดไปในอนาคตอันใกล้ ส่งผลให้ราคาของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในปัจจุบันมีการนำชีวมวลที่ได้มาจาก พืชผลทางการเกษตรและวัสดุธรรมชาติมาใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ [1] ซึ่งการใช้งาน ชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยการนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ ในกระบวนการผลิตแต่พลังงานที่ได้ก็ยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ในภาคใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่ปลูกยางพาราและได้รับความนิยมในการใช้งานทั้งในชุมชนและในงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่โดยการใช้ไม้พินจากต้นยางพารามาเป็นเชื้อเพลิงก่อไฟ หรือ ใช้ในการเผาไหม้เพื่ออบยางแผ่นรมควัน แต่ในส่วนของไบอยางพารายังถูกทิ้งขว้างไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากนัก โดยทั่วไปก็ใช้แค่การนำมาทำเป็นปุ๋ย จากการศึกษาพบว่าไบอยางพาราสามารถนำมาผลิตอัดแท่งเป็นชีวมวลใช้ในการเผาไหม้ได้ [2] แต่จากการศึกษายังไม่พบบทความวิจัยที่ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ชีวมวลไบอยางพารา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคควัน ที่เกิดจากการเผาไหม้ของไบอยางพารา

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อหาขนาดของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากไบอยางพารา
- 1.2.2 เพื่อหาปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ความชื้นของไบอยางพาราที่ทำการทดสอบมีค่า 15 30 45 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง
- 1.3.2 เวลาที่ใช้ในการทดลองมี 4 ช่วงเวลาคือ 1-5 6-10 11-15 และ 16-20 นาที
- 1.3.3 น้ำหนักของไบอยางพาราที่ใช้ในการทดลองมีค่า 10 กรัม
- 1.3.4 อัตราการไหลที่ทำการทดสอบมีค่า 5 10 และ 15 ลิตรต่อนาที

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบขนาดของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากไบอยางพารา
- 1.4.2 ทราบความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องวัดปริมาณอนุภาค
- 1.5.3 ติดตั้งเครื่องวัดปริมาณอนุภาคเพื่อเก็บตัวอย่าง
- 1.5.4 ทดลองและเก็บผลจากการทดลอง
- 1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## 1.6 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 1.1 การดำเนินงานการศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา

ขั้นตอนการทำงาน	ปี 2564			ปี 2565		
	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-พ.ย.	พ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.พ.	มี.ค.-เม.ย	เม.ย.-พ.ค
1.ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	←→					
2.วางแผนการทำงาน		←→				
3.ทำการทดลองและรวบรวมเก็บข้อมูล			←→			
4.เก็บผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง				←→		
5.สรุปผลและจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์					←→	

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคเขม่าควัน ซึ่งประกอบด้วยการแยกอนุภาคออกจากแก๊ส การกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางสู่กระบวนการวิจัย

#### 2.1 อนุภาคเขม่าควัน

2.1.1 รูปร่างของอนุภาค (shape) จะแตกต่างกันตามลักษณะของวิธีการเกิดขึ้นและธรรมชาติของวัสดุของอนุภาคนั้นแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. อนุภาคที่มีขนาดเท่ากันทั้งสามมิติ (Isometric particles) เป็นอนุภาคที่มีขนาดความกว้าง ความยาว ความสูงเท่ากัน หรือเกือบเท่ากัน โดยอาจมีรูปร่างทรงกลม เกือบกลม หรือหลายเหลี่ยม ตัวอย่างของอนุภาคได้แก่ คาร์บอนแบล็ค สนิมเหล็ก และละอองเกสรดอกไม้ [3]

2. อนุภาคที่มีรูปร่างแผ่นแบน (Platelets) เป็นอนุภาคที่มีขนาดความกว้าง ความยาวมากแต่มีความหนาน้อย ทำให้มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน ได้แก่ เศษใบชา และเศษใบยาสูบ

3. อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย (Fibers) มีขนาดความยาวมากเมื่อเทียบกับอีก 2 มิติ โดยอาจมีรูปร่างคล้ายปริซึม เข็ม ท่อ หรือเส้นด้าย ได้แก่ ใยฝ้าย ขนสัตว์ และไฟเบอร์กลาส



รูปที่ 2.1 รูปร่างของอนุภาค

2.1.2 โครงสร้างของอนุภาค อนุภาคอาจล่องลอยในบรรยากาศในลักษณะอนุภาคเดี่ยวหรือบางชนิดอาจจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนในลักษณะที่เป็นเส้นยาว ทรงกลม หรือลูกบาศก์ เรียกว่า แอ็กโกเมอเรต หรือฟล็อก ตัวอย่างเกิดจากการจับตัวกันของขนาดเล็กที่มีประจุไฟฟ้า ตัวอย่างของอนุภาคแบบนี้ ได้แก่ ควันที่มีความหนาแน่นสูง หรือพุ่มโลหะ อนุภาคบางชนิดเกิดขึ้นโดยมีขนาดใหญ่และมีด้านในกลวงบรรจุด้วยก๊าซ หรือด้านในกลวงบรรจุด้วยอนุภาคขนาดเล็ก

2.1.3 คุณสมบัติของผิวอนุภาค มีขนาดเล็กดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวมากและมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การติดไฟ การดูดซับการดูดซึม หรือผลจากไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ขนาดของพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ในอนุภาคต่างกลุ่มกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยของขนาดเท่ากันและมี

หนักเท่ากัน อนุภาคกลุ่มที่มีความแตกต่างของขนาด มากจะทำให้มีพื้นที่ผิวรวมน้อยกว่าอนุภาคกลุ่มที่มีความแตกต่างของขนาดน้อยกว่าหรือมีขนาดเท่าๆ กัน

## 2.2 การแยกอนุภาคออกจากแก๊ส

ปัจจุบันมีวิธีที่ใช้ในการแยกอนุภาคออกจากแก๊สหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังนี้ คือ

1. การกรอง (Filtration)
2. การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation)
3. การตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational settling)
4. การแยกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal separation)
5. การใช้เครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet scrubbers separation)

โดยการเลือกเครื่องมือแยกอนุภาคนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังนี้คือ

1. ประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราที่ยอมปล่อยให้อนุภาคมวลสารออกสู่ภายนอกได้
2. การสูญเสียความดัน (Pressure loss) โดยการสูญเสียความดันจะต้องไม่สูงจนเกินไป
3. คุณสมบัติของแก๊สที่มีอนุภาคมวลสาร เช่น ชนิด อัตราการไหล อุณหภูมิ เป็นต้น
4. คุณสมบัติของอนุภาคมวลสาร เช่น ลักษณะ ความเข้มข้น การกระจายขนาดและน้ำ

หนัก เป็นต้น

ขั้นแรกของการเลือกเครื่องมือแยกอนุภาคที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของอนุภาคมวลสารในกระแสแก๊ส (gas stream) ที่ต้องการทำความสะอาด
2. การกระจายขนาดของอนุภาคมวลสารที่ต้องการแยกออก
3. อัตราการไหลของแก๊ส
4. อัตราที่ยอมปล่อยให้อนุภาคมวลสารออกสู่ภายนอกได้

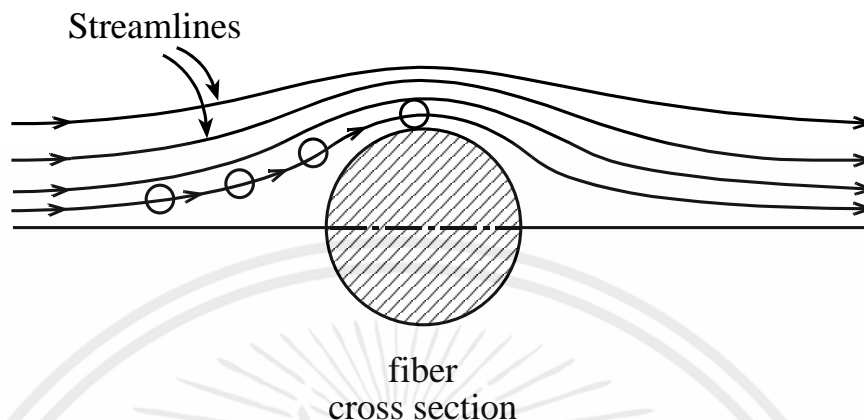
จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้สามารถเลือกระบบต่างๆ ซึ่งสามารถแยกอนุภาคมวลสารได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ก่อนจะพิจารณาการใช้งานและ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องมือได้แก่ ความดันที่สูญเสียในอุปกรณ์ [4] กำลังงานที่ต้องการและปริมาณของเหลวที่ต้องการ (กรณีใช้ระบบสัมผัสแบบเปียก) เป็นต้น

การแยกอนุภาคโดยการกรองเป็นวิธีการง่ายที่สุดในการสูดตัวอย่างแอโรซอล และเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำอากาศให้สะอาด [5] เนื่องจากการกรองเป็นวิธีการที่สะดวก มีประโยชน์กว้างขวางและประหยัด ซึ่งการจับอนุภาคโดยการกรองมีกลไกในการดักจับอยู่ 3 วิธีการ คือ การดักจับแบบสกัดกั้น (interception) การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction) และการแพร่ (diffusion)

การแยกอนุภาคแบบสกัดกั้น (Interception) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคมีขนาดระหว่าง 0.2-0.5 ไมโครเมตร [8] เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตามกระแสของแก๊ส (gas streamline) แล้วตกกระทบกับเส้นใย (fiber) โดยไม่ได้ชนจากนั้นจึงถูกจับไว้ ดังรูปที่ 2.2 เนื่องจากอนุภาคมีขนาดที่แน่นอนจึงถูกสมมติว่าอนุภาคเคลื่อนที่ตามกระแสของแก๊ส (streamline) เพียงอย่างเดียว โดยกลไกการแยกอนุภาคแบบ

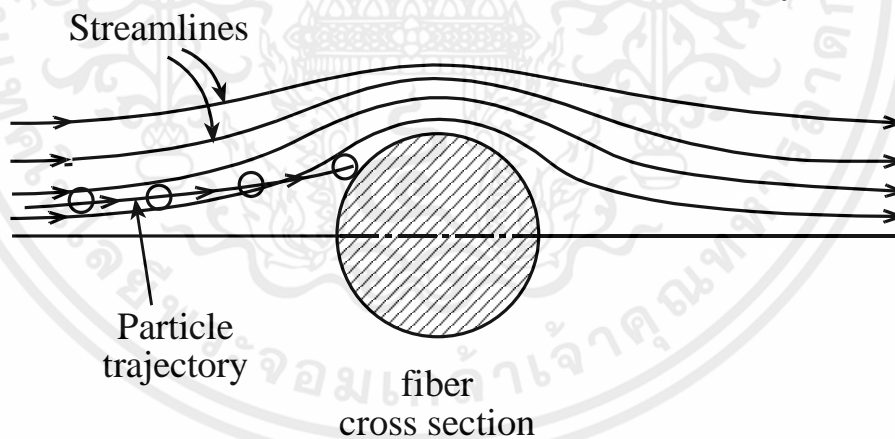
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สกัดกั้น (interception) เป็นกลไกอย่างเดียวกับที่อนุภาคไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากกระแสของแก๊สเลย ซึ่งอนุภาคที่ถูกดักจับด้วยวิธีนี้จะเป็อนุภาคที่เคลื่อนที่ในแนวกระแสที่มีระยะทางห่างจากเส้นใยไม่เกินรัศมีของอนุภาคนั้นๆ



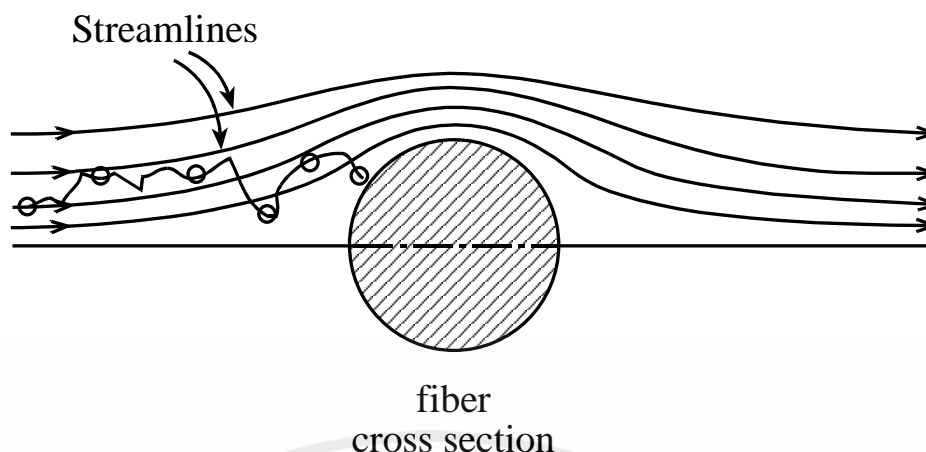
รูปที่ 2.2 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบสกัดกั้น (Interception)

การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมโครเมตร เพราะอนุภาคมีความเฉื่อย เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถปรับตัวให้วงไวหรือมีความเร็วพอที่จะเปลี่ยนทิศทางตามกระแสของแก๊สได้อย่างทันทีทันใด เมื่อเข้าไปใกล้บริเวณเส้นใย (fiber) ทำให้อนุภาคเคลื่อนออกจากแนวกระแสและชนกับเส้นใยตัวกรอง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction)

การแพร่ (Diffusion) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 0.2 ไมโครเมตร เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กจึงมีการเคลื่อนที่เป็นแบบไร้ระเบียบ (random) กระทบกับเส้นใย (fiber) จนถูกจับไว้ โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นจะเกิดจากอิทธิพลของการพาตามแนวกระแสและการเคลื่อนที่แบบไร้ระเบียบออกนอกแนวกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการแพร่ (Diffusion)

### 2.2.1 การวัดขนาดและนับจำนวนอนุภาค มีวิธีดังนี้

1. การใช้กล้องจุลทรรศน์ เก็บตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง หรือมิดเจ็ต อิมพิงเจอร์ (midjet impinger) ในกรณีใช้กระดาษกรองต้องนำกระดาษกรองมาวางบนสารละลายที่ทำให้กระดาษกรองโปร่งแสงเพื่อที่เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วจะทำให้สามารถมองเห็นอนุภาคได้ ในกรณีใช้กระดาษ มิดเจ็ต อิมพิงเจอร์ อาจต้องเขย่าอนุภาคให้กระจายตัวด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ก่อนทำการตรวจวัด

2. การใช้ไอเล็กตรอนไมโครสโคป คือกล้องจุลทรรศน์ชนิดหนึ่งซึ่งมีกำลังขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดา มากจึงใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเพื่อศึกษาโครงสร้างและลักษณะของอนุภาคอย่างละเอียด การตรวจวัดในการตรวจวัดต้องวางตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดไว้ในสุญญากาศบนฟิล์มบางๆ ที่มีความหนาแน่นต่ำโดยมีตะแกรงลวดทองแดงหรือสแตนเลสช่วยพยุงฟิล์ม แล้วใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่าง ก็จะเห็นอนุภาคได้อย่างละเอียด แต่พื้นที่มองเห็นผ่านกล้องมีขนาดเล็ก มองเห็นอนุภาคเพียงบางส่วน จึงวิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่าย

3. การใช้เครื่องมือที่ใช้แสง ใช้วิธีส่งลำแสงไปกระทบกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศที่ถูกดูดให้ไหลผ่านเครื่องมือเมื่อลำแสงกระทบอนุภาค ก็จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของลำแสงปริมาณการเบี่ยงเบนของลำแสงขึ้นกับจำนวนอนุภาคที่ลำแสงไปกระทบ เหมาะกับวัดจำนวนอนุภาค ไม่เหมาะกับวัดขนาด

4. การใช้เครื่องมือที่ใช้ประจุไฟฟ้า ใช้วิธีดูดอากาศที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ให้ไหลผ่านเครื่องมือแล้วให้ประจุไฟฟ้าแก้มอเลกุลของอากาศ ประจุไฟฟ้าก็จะถูกถ่ายทอดไปยังอนุภาคที่อยู่ในกระแสอากาศ จะมีแผ่นโลหะคู่ตรวจจับ และวัด

5. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงกระทบ เป็นเครื่องมือที่จัดเก็บและตรวจวัดในเครื่องเดียวกัน อนุภาคในกระแสอากาศจะถูกดูดเข้ามาในเครื่องด้วยความเร็วสูง แล้วกระทบกับวัตถุที่ถูกจัดวางขวางกั้นทิศทางการไหล อนุภาคใหญ่จะติด อนุภาคเล็กก็จะไปกระทบอีกชั้นถัดไป

6. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงเหวี่ยง เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดและเก็บตัวอย่างในเครื่องเดียวกัน ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ไซโคลน (cyclone) อนุภาคในกระแสอากาศจะถูกดูดเข้ามาในกรวยทรงกลมถูกทำให้หมุนด้วยแรงหนีศูนย์กลางลงสู่ก้นกรวย อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จะหลุดจากกระแสน้ำอากาศถูกเหวี่ยงลงสู่ก้นกรวย ส่วนอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมครอน จะถูกดูดหมุนย้อนมายังปากกรวยที่มีกระดาดทรงดักเอาไว้อนุภาคส่วนนี้จะติดที่กระดาดทรงเมื่อนำไปซึ่งจะทราบปริมาณของอนุภาคดังกล่าว

โดยทั่วไปคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของอนุภาคฝุ่นละอองที่นิยมวัด คือความเข้มข้นเชิงมวล (Mass concentration), จำนวนอนุภาค (Number concentration), ขนาดของอนุภาค (Particles size) และการกระจายขนาดของอนุภาค (Particles size distribution) โดยทั่วไปฝุ่นละอองจะมีขนาดแตกต่างกันกระจายอยู่ในบรรยากาศ

### 2.3 ขนาดอนุภาค (Particles size)

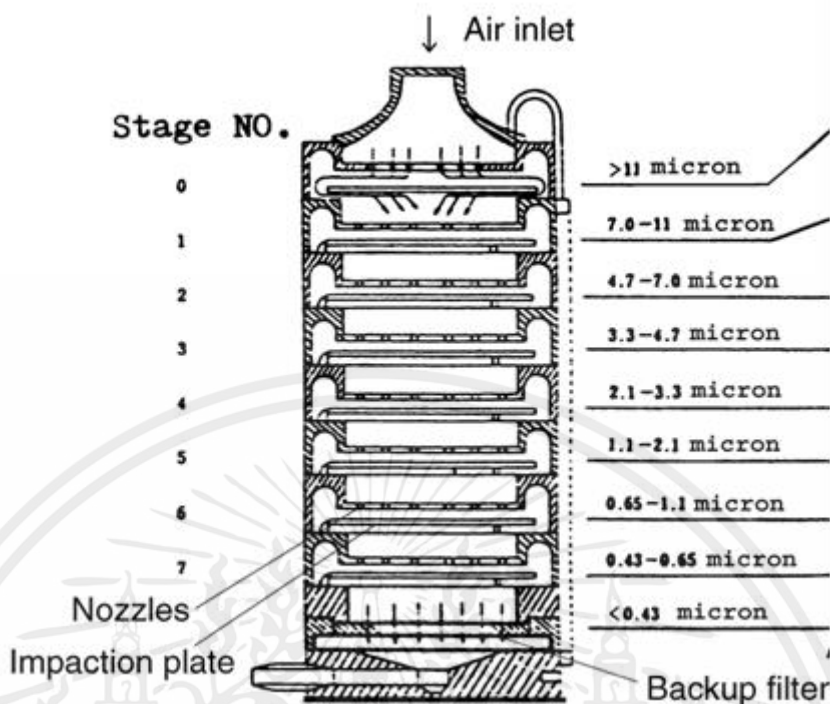
ขนาดของอนุภาคหมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter) อนุภาคโดยคุณสมบัติของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค [6] อนุภาคที่เป็นของแข็งมักอยู่ในรูปร่างที่ซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ และลักษณะของอนุภาคการกำหนดขนาดมักจะอนุมานว่าอนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลม และกำหนดขนาดของอนุภาคตามความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลม หน่วยเป็นไมโครเมตร แต่โดยทั่วไปอนุภาคมีรูปร่างหลายลักษณะนอกจากทรงกลม ดังนั้นอนุภาคที่ไม่เป็นทรงกลมมักบอกขนาดที่เป็น Equivalent Diameter โดยเทียบกับ Projected Area พื้นที่ผิว ปริมาตร มวล เป็นต้น นอกจากนี้อาจบอกลักษณะของขนาดอนุภาคที่วัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้ดังนี้

1. Martin's Diameter เป็นความกว้างของอนุภาคในแนวขนานกับ Microscopic scan ซึ่งแบ่งครึ่งอนุภาคให้มีขนาดเท่ากัน
2. Ferret's Diameter เป็นความยาวระหว่างเส้นสัมผัส 2 เส้นบนด้านตรงกันข้ามของอนุภาค ซึ่งตั้งฉากกับ Microscopic scan
3. Equivalent Diameter เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับ Projected Area ของอนุภาค
4. Aerodynamic Diameter เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีความหนาแน่น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความเร็วตกในอากาศ (Setting velocity) เท่ากับของอนุภาค ค่า Aerodynamic Diameter ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค รูปร่าง และความหนาแน่นของอนุภาค

Aerodynamic Diameter ได้จากเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยแรงเฉื่อย เช่น Cascade Impactor ขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของไหลนั้นมักใช้ค่า Aerodynamic Diameter

### 2.4 การกระจายขนาดอนุภาค (Particles size distribution)

ฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการหรือกิจกรรมต่าง ๆ หรือที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมักประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดต่างกัน ค่าที่ใช้บอกลักษณะของการกระจายขนาดของอนุภาคได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode) วิธีการแสดงการกระจายของอนุภาคคือฮิสโตแกรม (Histogram) ระหว่างความถี่กับช่วงขนาดของอนุภาค หรืออาจแสดงในรูปของกราฟแจกแจงความถี่ (Frequency distribution curve) กราฟแจกแจงความถี่แสดงปริมาณของอนุภาคอาจจะเป็นมวล (Mass) หรือจำนวน (Number) ของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดของอนุภาค



รูปที่ 2.5 ช่วงการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกของ Andersen air sampler

ช่วงของการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกในแต่ละชั้นของเครื่อง Andersen air sampler ถูกแบ่งเป็นช่วง cut off ได้ถึง 8 ขนาด ซึ่งประกอบด้วย cut off ที่ขนาด 11.0 ไมโครเมตร 7.0 ไมโครเมตร 4.7 ไมโครเมตร 3.3 ไมโครเมตร 2.1 ไมโครเมตร 1.1 ไมโครเมตร 0.65 ไมโครเมตร และ 0.43 ไมโครเมตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

โดย Andersen air sampler 1 ชุด ประกอบด้วยชั้นดักจับอนุภาคจำนวน 8 ชั้น เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) และปั๊มสุญญากาศ (Linear motor Vacuum pump Model VP 0935) ซึ่งในการหาขนาดเชิงแอโรไดนามิกในแต่ละชั้น (Cut size diameter) ของเครื่อง Andersen air sampler สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$dp_{50} = \sqrt{\frac{18\mu\psi_{50}N\pi D_j^3 60}{4C_c Q\rho_p}} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหลสำหรับเครื่องนี้ออกแบบไว้ที่ 28.3 ลิตรต่อนาที  $\rho_p$  คือ ความหนาแน่นของอนุภาค (1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)  $\mu$  คือ ความหนืดของอากาศ ( $1.84 \times 10^{-4}$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร-นาที)  $\psi$  คือ ตัวประกอบอิมแพคชัน (Impaction parameter) จากการออกแบบโดยที่  $\psi_{50} = 0.14$  เมื่อประสิทธิภาพอิมแพคชันมีค่า 50%  $N$  คือ จำนวนของหัวฉีด  $C_c$  คือ แฟคเตอร์ปรับแก้ของคันทันนิ่งแฮม (Cunningham correction factor =  $1.00 + 0.16 \times 10^{-4}$ )  $D_j$  คือ ขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ jet (เซนติเมตร)  $dp_{50}$  คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิกที่ประสิทธิภาพ 50%

- หาน้ำหนักของอนุภาคเขม่าควันแต่ละชั้น (Collected weight) จาก

$$M_i = (m_2 - m_1) \quad (2.2)$$

- หาน้ำหนักอนุภาคเขม่าควันรวม

$$M_{total} = \sum_{i=1}^i M_i \quad (2.3)$$

เมื่อ  $M_i$  คือ มวลของอนุภาคที่ชั้น  $i$   $M_{total}$  คือ มวลของอนุภาคทั้งหมด

- หาสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) จาก

$$\text{Mass fraction} = \frac{M_i}{M_{total}} \quad (2.4)$$

- หาความเข้มข้นเชิงมวลโดยรวม (Total mass concentration) จาก

$$\text{Total mass concentration} = \frac{M_{total}}{V_{total}} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $V_{total}$  คือ ปริมาตรของแก๊สทั้งหมดที่ไหลผ่าน Andersen sampler ตลอดการเก็บตัวอย่าง ซึ่งหาได้จาก

$$V_{total} = Qt \quad (2.6)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหล (28.3 ลิตรต่อนาที)  $t$  คือ ระยะเวลาทั้งหมดตลอดการเก็บตัวอย่าง

ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางกลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (Mass Median Aerodynamic Diameter, MMAD) สามารถหาได้โดยการนำข้อมูลที่วัดได้ไปวิเคราะห์โดยใช้กราฟ Log-Probability ที่มีค่าแกนของความถี่สะสมเป็นมาตราส่วน Probability และค่าแกนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (diameter) เป็นหน่วยของลอการิทึม (Logarithm) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่

สะสมของการกระจายของขนาดอนุภาคในแต่ละชั้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งสามารถนำไปหาค่าเฉลี่ยโดยมวลของอนุภาคส่วนใหญ่ได้โดย

$$MMAD = d_{50\%} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $d_{50\%}$  คือ ความถี่สะสมที่ 50%

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (Geometric Standard Deviation, GSD) คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดของอนุภาค ซึ่งนับสะสมที่ 84.1% กับค่าขนาดเฉลี่ย ซึ่งนับสะสมที่ 50% หรือ อัตราส่วนระหว่างขนาดสะสมที่ 50% กับขนาดสะสมที่ 15.9% ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$GSD = \frac{d_{84\%}}{d_{50\%}} = \frac{d_{50\%}}{d_{15.9\%}} = \left[ \frac{d_{84\%}}{d_{15.9\%}} \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (GSD) ของอัตราส่วนทั้งสองขนาดจะไม่มีหน่วยและต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.0 เสมอ

## 2.5 การเผาไหม้

การเผาไหม้ (Combustion) [7] เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิง และออกซิเจนซึ่งให้พลังงานความร้อน และแสงสว่างออกมา (Exothermic) องค์ประกอบของการเผาไหม้มีองค์ประกอบ 4 อย่าง คือ เชื้อเพลิง (Fuel) , ออกซิเจน (Oxygen) , ความร้อน (Heat) , ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction)

เชื้อเพลิง คือ สารซึ่งเมื่อเผาไหม้แล้วให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเกิดการเผาไหม้อยู่ในระดับที่ควบคุมได้ โดยสามารถแบ่งเชื้อเพลิงออกได้เป็น 3 ชนิด

1. เชื้อเพลิงแข็ง หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชนิดนี้ส่วนมากจะประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และเถ้า เมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา โดยปกติเมื่อเกิดเผาไหม้คาร์บอนจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนไฮโดรเจนเมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้น้ำ เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ ถ่านหิน หินน้ำมัน ถ่านไม้ และถ่านโค้ก เป็นต้น

2. เชื้อเพลิงเหลว หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ เชื้อเพลิงประเภทนี้ ได้แก่ น้ำมันที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันจากพืช น้ำมันจากสัตว์ เป็นต้น เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้มากในประเทศไทยโดยจะนิยมใช้กับยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพราะสะดวกต่อการใช้งาน และให้ค่าทางความร้อนสูง เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้กันส่วนมากจะได้ออกจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น สำหรับเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากพืชผลทางการเกษตร เช่น การผลิตไบโอดีเซล การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ เป็นต้น

3. เชื้อเพลิงก๊าซ หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ หรืออาจหมายถึงก๊าซทุกชนิดที่สามารถนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดการเผาไหม้ทำให้ได้พลังงานความร้อนที่สามารถ

นำไปใช้ประโยชน์ได้ เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และก๊าซแต่ละชนิดจะให้ความร้อนจากการเผาไหม้ที่ไม่เท่ากัน เช่น ก๊าซชีวมวล ก๊าซธรรมชาติ หรือก๊าซ เอ็น.จี.วี. เป็นต้น

ออกซิเจน (Oxygen) คือ ก๊าซที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของทั้งพืช และสัตว์ รวมถึงมนุษย์เราด้วย เพราะถ้าร่างกายขาดออกซิเจนเพียงไม่กี่นาทีก็เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ออกซิเจนเป็นธาตุที่สัญลักษณ์คือ O มีเลขอะตอมเท่ากับ 8 มีความหนาแน่น 1.43 กรัมต่อลิตร น้อยกว่าอากาศเล็กน้อย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีปริมาณเป็นอันดับ 2 ในส่วนประกอบของบรรยากาศโลก อากาศที่เราหายใจจะมีออกซิเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ รองมาจากก๊าซไนโตรเจนที่มีอยู่ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจนนอกจากจะอยู่ในอากาศแล้วยังพบอยู่ร่วมกับธาตุชนิดอื่นๆ รอบตัวเรอีกด้วย เช่น น้ำ (H<sub>2</sub>O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ในสภาวะปกติออกซิเจนจะอยู่ในสถานะก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ ละลายน้ำได้ ไม่ติดไฟ แต่ว่าออกซิเจนเป็นสารที่ช่วยให้ติดไฟ นั่นคือถ้าไม่มีออกซิเจนก็จะไม่สามารถติดไฟได้ ออกซิเจน เป็นธาตุที่สามารถอยู่ได้ทั้ง 3 สถานะ คือ

1. ก๊าซที่สภาวะปกติออกซิเจนจะอยู่ในสถานะก๊าซ
2. ของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ -182.5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าออกซิเจนจะเปลี่ยนสถานะจากก๊าซ กลายเป็นของเหลวสีฟ้าอ่อน
3. ของแข็งที่อุณหภูมิ-218.4 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าออกซิเจนจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลว กลายเป็นของแข็งสีฟ้าอ่อน

ความร้อน (Heat) คือ พลังงานชนิดหนึ่ง สามารถทำงานได้ และสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ๆ ได้รวมไปถึงพลังงานรูปอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนได้ พลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปอีกร่างวัตถุหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และจะหยุดการถ่ายเทเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิเท่ากัน

ปฏิกิริยาลูกโซ่ คือ ปฏิกิริยาที่ 1 ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 2 และจากปฏิกิริยาที่ 2 ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 3 เป็นต้นไปเรื่อย ๆ

การเผาไหม้แบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ การเผาไหม้แบบมีเปลว (Flammable) และการเผาไหม้แบบไม่มีเปลว (Non-Flammable)

การเผาไหม้แบบมีเปลว แบ่งออกเป็นสองลักษณะ

1. เปลวไฟแบบแพร่ (Diffusion flame) คือ การที่เชื้อเพลิง และอากาศแพร่เข้าหากัน และเกิดการเผาไหม้ขึ้นในบริเวณที่สัดส่วนของอากาศ และเชื้อเพลิงเหมาะสมซึ่งลักษณะเปลวไฟจะมีความซับซ้อนกว่าแบบผสมก่อน โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอัตราการไหลและเชื้อเพลิง

2. เปลวไฟแบบผสมก่อน (Pre-mixed flame) คือ เปลวไฟที่เชื้อเพลิง และอากาศผสมกันก่อนเกิดการเผาไหม้ ลักษณะของเปลวไฟขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง และอากาศที่เข้ามาผสมกันโดยตรง

การเผาไหม้แบบไม่มีเปลวไฟ แบ่งออกเป็นสองลักษณะ

1. แบบเผาคุ (smoldering combustion)
2. แบบลุกไหม้ได้ด้วยตนเอง (Spontaneous combustion)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจแอล ดอร์ รอนโซโร [8] ได้ศึกษาการใช้ชีวมวลที่เพิ่มขึ้นเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเปลี่ยนสภาพทางความร้อนเคมีในปีต่อๆ ไป ทำให้การวิจัยกระบวนการที่สะอาดและมีประสิทธิภาพมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จำเป็น การทดลองได้ดำเนินการในโรงงานเผาไหม้แบบฟลูอิดไชด์เบตบรรยากาศนำร่องขนาด 1 เมกะวัตต์[th] ซึ่งพารามิเตอร์ได้รับการปรับให้เหมาะสมเพื่อให้ได้กระบวนการเผาไหม้ชีวมวลที่สะอาดการเผาไหม้ทุกประเภททำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะพอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (PAHs) การแยกการกระจายของ PAHs แยกได้จากเศษส่วนของอนุภาคขนาดแปรขนาดที่เก็บรวบรวมในถ้ำลอยที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ชีวมวล การกระจายขนาดอนุภาคดำเนินการด้วย ระบบส่งผลกระทบต่อแบบคาดแบบหลายขั้นตอน (Andersen Mark III) ที่มีการตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.01 ถึง 4.00 นาโนเมตร

จิราภรณ์ ชมณี และคณะ [9] ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคจากการเผาไหม้ไม้ยางพาราในกระบวนการรมควันแผ่นยางธรรมชาติพารามิเตอร์ทดลองประกอบด้วยความชื้นไม้และระยะเวลาการเผาไหม้ การกระจายขนาดของอนุภาคควัน คือ วัดโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ Andersen 8 ขั้นตอน ความเข้มข้นของอนุภาคควันทั้งหมดถูกกำหนดโดยการรวบรวมอนุภาคโดยใช้ a ดัดแปลงตัวอย่างปริมาณมาก Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) สกัดด้วย Benzene-Ethanol โดยใช้ Ultrasonic เทคนิคและวิเคราะห์โดยการตรวจจับ HPLC/UV ผลการวิจัยพบว่าการกระจายขนาดของอนุภาคควันเป็นแบบโหมดเดียวโดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางแอโรไดนามิกมวลรวม (MMAD) เท่ากับ 0.68 ไมโครเมตร และความเข้มข้นของควันเฉลี่ยอยู่ที่ 15.806 มก./ลบ.ม. ซึ่งเทียบเท่ากับ a การปล่อยมวลสุ้ที่ทำงาน 4.33 กก./เดือน/ห้อง ความเข้มข้นของอนุภาคควันและความเข้มข้นของ PAH ที่เกี่ยวข้องขึ้นอยู่กับความชื้นไม้และระยะเวลาการเผาไหม้ ความเข้มข้นของ PAH และความเข้มข้นของอนุภาคควันสูงสุดพบว่า 60.59 ถึง 118.06 ไมโครกรัม/ลบ.ม และ 23.35 ถึง 47.54 มก./ลบ.ม ตามลำดับ สำหรับความชื้นไม้ 37.4 ถึง 73.6% d.b. (พื้นฐานแห้ง) ที่ช่วงเริ่มต้น PAHs ที่จับกับอนุภาคควันถูกรอบงำโดยสารประกอบ PAH วงแหวน 4-6 ที่มีส่วนทำให้มากกว่า 60% ของทั้งหมด PAHs

FURUUCHI Masami และคณะ [10] งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะของอนุภาคควันจากการเผาไหม้ไม้ยางและการประเมินอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมของสถานที่ทำงานและบรรยากาศ มีการประเมินความเข้มข้น การกระจายขนาด และส่วนประกอบทางเคมีสำหรับอนุภาคที่ตัวอย่างในสถานที่ต่างๆ ในเมืองหาดใหญ่ ประเทศไทย รวมถึงแหล่งกำเนิดและสถานที่ทำงาน ในฐานะองค์ประกอบที่เป็นอันตรายทั่วไป มีการวิเคราะห์ PAHs ที่นี้เพื่อหาหรือเกี่ยวกับลักษณะทางเคมีของควัน PM พบว่าความเข้มข้นของ PAH ภายในสถานที่ทำงานสำหรับการสูบบุหรี่ที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่มีวงแหวนกลืนมากขึ้นในส่วนบางของพาร์ทิเคิล ความเข้มข้นของ PAHs สูงกว่าสภาพแวดล้อมประมาณสิบเท่า ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหา healthb ที่ร้ายแรงสำหรับแรงงาน ความเข้มข้นและเศษส่วนของ PaHs เปลี่ยนไปตามสถานที่ แสดงให้เห็นถึงการละลาย การผสมและการเสื่อมสภาพของสารมลพิษ

ธีระศักดิ์ และคณะ [11] การศึกษาการกระจายของอนุภาคฝุ่น โดยทำการเก็บอนุภาคฝุ่นจากจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด ภายในจังหวัดชุมพร อันได้แก่ 1.โรงพยาบาลท่าแซะ 2.โรงพยาบาลปะทิว 3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ใช้เครื่อง filter holder ในการเก็บข้อมูลได้นำตัวอย่างไปหาปริมาณอนุภาคฝุ่น ผลการศึกษาพบว่าปริมาณอนุภาคฝุ่นมีมากในจุดที่ 2 จุดเก็บที่ 1 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอนุภาคโลหะหนัก ได้แก่ Al Cd Cu Fe Na และ Pb พิจารณาในช่วงเวลาเป็น 5 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 (08.00-10.00 น.) ช่วงที่ 2

(10.00-12.00 น.) ช่วงที่ 3 (12.00-14.00 น.) ช่วงที่ 4 (14.00-16.00 น.) และช่วงที่ 5 (16.00-18.00 น.) ผลการศึกษาพบว่า ช่วงเวลาที่ 1 และ 5 มีปริมาณอนุภาคฝุ่นมากกว่าทุกช่วงเวลา

S. Tekasakulet และคณะ [12] ได้ศึกษาในการผลิตแผ่นยางรมควันไม้พินถูกเผาเพื่อให้ความร้อนแก่แผ่นยางในห้องสูบบุหรี่ยาง การเผาไม้สดทำให้เกิดความร้อนสูงความเข้มข้นของอนุภาคควันที่ปล่อยออกมาสู่บริเวณที่ทำงานของโรงงาน อนุภาคควันจากการเผาไหม้ไม้มีความเข้มข้นสูงมากของมลพิษที่เป็นอันตราย เช่น โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) PAHs อาจก่อให้เกิดมะเร็งของปอด กระเพาะปัสสาวะ และผิวหนัง PAHs ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับอนุภาคในอากาศละเอียดโดยทั่วไปแล้ว 0.5 ไมโครเมตรหรือเล็กกว่านั้น ในนอกจากนี้ PAHs ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคในอากาศที่ดีสามารถจะถูกขนส่งในระยะทางไกล นี่เป็นหนึ่งในแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศที่สำคัญในบริเวณใกล้เคียง วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของ PAHs ในระยะอนุภาคในอากาศในบรรยากาศประเทศไทยมีความเกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ยางพาราในการผลิตอย่างไร เมืองตั้งอยู่ในกลางพื้นที่โรงงานที่ใช้ไม้พินรวมทั้งสหกรณ์ยางหลายแห่ง

พีรพงศ์ ชีวมสกุล และคณะ [13] ยางธรรมชาติเป็นสินค้าโภคภัณฑ์หลักของประเทศไทย โดยครึ่งหนึ่งเป็นยางแผ่นรมควัน (RSS) ไม้เชื้อเพลิงถูกเผาในระหว่างการผลิต RSS เพื่อให้ความร้อนและทำให้แผ่นยางแห้ง ควันจากไม้ที่เผาไหม้ประกอบด้วยสารเคมีในอนุภาคและก๊าซ โดยเฉพาะพอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ในการศึกษานี้ได้ประเมินอิทธิพลของควันจากการเผาไหม้พินของสหกรณ์การสูบยางต่ออากาศในบรรยากาศในเมืองหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทางภาคใต้ของประเทศไทย ในปี 2548 การกระจายขนาดอนุภาคของอากาศแวดล้อมใน ตัวเมืองหาดใหญ่และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แสดงให้เห็นพฤติกรรมสองกิริยาอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้แหล่งที่มาของอนุภาคหลายแหล่ง TSP โดยทั่วไปต่ำ เฉลี่ย 45.6 และ 46.2 ไมโครกรัม

ราชา เดชชาญชัยวงศ์ และคณะ [14] การขนส่งละอองลอยข้ามพรมแดนและภายในประเทศระหว่างปี 2561-2562 ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในกรุงเทพฯ ได้รับการตรวจสอบแล้ววิเคราะห์ลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของอนุภาคแวดล้อมที่มีการแยกขนาดจนถึงอนุภาคนาโนที่เก็บรวบรวมในช่วงที่ไม่มีหมอกควันในปี 2560

Constantinos Sioutas และคณะ [15] เปรียบเทียบความเข้มข้นของมวลที่กำหนดโดย SMPS และ APS ที่มีการวัดความเข้มข้นแบบกราวิเมตริกบนตัวกรองเทฟลอน การทดสอบประเมินประสิทธิภาพก่อนหน้าของเครื่องมือเหล่านี้มุ่งเน้นไปที่ความสามารถในการวัดความเข้มข้นของหมายเลขอนุภาคเป็นหลัก (Kinney et al. 1991; Wang และ Flagan 1990) หรือความเข้มข้นมวลของละออง polydisperse ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแอร์ไดนามิกมวลรวม (MMAD)

Cedric Van Holsbeke และคณะ [16] อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อการสะสมของปอด (LD) และประสิทธิภาพของยาที่สูดดมนั้นถูกกล่าวถึงมากขึ้นเรื่อยๆ แต่บทบาทของ FPF ก็มีถูกมองข้ามไป FPF คือเศษส่วนของขนาดยาทั้งหมด  $<5.0\mu\text{m}$ ; MMAD คือขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่ประกอบเป็นขนาดยาที่ไปถึงตัวส่งผลกระทบ ไม่รวมอนุภาคที่สะสมอยู่ใน 'ลำคอ' การศึกษานี้ตรวจสอบอิทธิพลของ FPF และ MMAD ต่อ LD โดยใช้ Functional Respiratory Imaging (FRI)

BF Magnussen และคณะ [17] การแปรผันของจำนวน Reynolds ส่งผลอย่างมากต่อปริมาณเขม่า โดยความเข้มข้นของเขม่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน Reynolds ลดลง การเติมไนโตรเจนและไอน้ำลงในเชื้อเพลิง รวมถึงการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง ช่วยลดปริมาณเขม่า การสังเกตเหล่านี้โดยทั่วไปสามารถ

อธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคำนึงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ปั่นป่วนอันเนื่องมาจากเงื่อนไขอินพุตต่างๆ

IrvinGlassman [18] แนวโน้มการเกิดเขม่าของเชื้อเพลิงจะได้รับการวิเคราะห์โดยคำนึงถึงประเภทของรูปแบบการทดลองที่ใช้ เช่น เปลวไฟต่อแบบผสม, วงแหวนร่วมแบบปกติและแบบผกผัน, Wolfhard-Parker และเปลวไฟแบบทวนกระแส หรือท่อข้อต่อ ตรวจสอบผลกระทบที่สำคัญของอุณหภูมิในการทดลองแต่ละประเภท แนวโน้มสัมพัทธ์ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่จะเขม่าเมื่อบริโภคในเปลวไฟผสมล่วงหน้าและเปลวไฟแบบกระจาย ถูกกำหนดโดยการวัดเชิงคุณภาพของอัตราส่วนสมมูลของเขม่าวิกฤตและความสูงของควันที่อุณหภูมิต่างๆ และยืนยันในเชิงปริมาณโดยการวัดชนิดเคมี ความหนาแน่นของจำนวนเขม่าและเศษส่วนปริมาตร

H.G.G.Wagner [19] การก่อตัวของเขม่าในการเผาไหม้ ในตอนเริ่มต้นของ industrialisation ปล่องควันถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณของความมั่งคั่งของพื้นที่ วันนี้ถือว่าเป็นเรื่องของสุขภาพเพื่อหลีกเลี่ยงการปล่อยเขม่า อนุภาคเขม่าที่ไอเสียจากอุปกรณ์เผาไหม้ เช่น เครื่องยนต์หรือเตาหลอมเป็นผลพลอยได้ที่ไม่พึงปรารถนาอย่างมาก ไม่เพียงเพราะเป็นสารมลพิษทางอากาศเท่านั้น แต่ยังรวมถึงเหตุผลด้านประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาอุปกรณ์เผาไหม้ด้วย แนวทางการสร้างเครื่องเผาไหม้แบบผลิตไฟฟ้าอาจเป็นดังนี้ “หลีกเลี่ยงการเกิดเขม่า

WH Dalzell และคณะ [20] ความถูกต้องของการวัดการกระจายแสงเป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดขนาดอนุภาคเขม่าและความเข้มข้นจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในเปลวไฟได้รับการตรวจสอบแล้วโดยสัมพันธ์กับการตรวจวัดบนหัวเผาโพเทนพิเศษ พบว่าแบบจำลองอนุภาคทรงกลมแบบ monodisperse ที่อาศัยในอดีตสามารถทำนายไดอะแกรมการกระจายในข้อตกลงที่แยกแยะกับการทดลองมากกว่าแบบจำลองคลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นที่นี้ ทั้งแผนภาพกระจายและไมโครกราฟอิเล็กทรอนิกส์ของเขม่าที่รวบรวมได้รองรับแบบจำลองคลัสเตอร์ลูกโซ่ ซึ่งทำนายความเข้มข้นของมวลเพิ่มเติมที่อยู่ภายในปัจจัย 2 ของที่กำหนดโดยการกรองทั้งหมด

นฤมล ภาณุภา และคณะ [21] ประเทศไทยมีชีวมวลที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น กะลามะพร้าว กิ่งก้าน เศษไม้ยางพารา เศษเหลือ ทางภาคเกษตรที่มีมากมายของประเทศไทยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะ นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน และยังเป็นการจัดการของเสียอีกวิธีหนึ่ง โดยชีวมวลแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการนำมาใช้แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชีวมวลและศักยภาพของชีวมวลแต่ละชนิด

วชร และคณะ [22] ศึกษาประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนทางไฟฟ้า สถิติแบบชนิดขั้วเดียวในการดักจับอนุภาคเขม่าควัน และฝุ่นแป้ง จากผลการทดลองประกอบด้วย คือ ส่วนที่ 1 การหาประสิทธิภาพของการดักจับเขม่าจะใช้กระดาษกรองอากาศก่อน และหลังผ่านเครื่องตกตะกอน ซึ่งผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเขม่าและฝุ่นแป้งจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วงแรก เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงเนื่องจากการเกาะของเขม่าและฝุ่นแป้ง มีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยการดักอนุภาคมีค่าเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับฝุ่นแป้ง และ 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเขม่า ส่วนที่ 2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ เริ่มต้น และความต่างศักย์ ด้านทุติยภูมิโดยผลที่ได้ พบว่าค่าความต่างศักย์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแบบเชิงเส้น คณะวิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่าต้องมีการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพใช้งานที่สูงขึ้น

ดารณี และวิทยา [22] การศึกษาการดักจับอนุภาคขนาดเล็กโดยใช้เครื่องจับฝุ่นแบบเปียกชนิด Baffle Plate จากการศึกษาพบว่าเครื่องจับฝุ่นแบบเปียกชนิด Baffle plate ที่เพลท 1 ชั้นจะให้

ประสิทธิภาพการจับฝุ่นประมาณร้อยละ 20 ที่ความดันลด 1.5 ถึง 3 นิ้ว น้ำและที่เพลท 3 ชั้น ประสิทธิภาพการจับฝุ่นประมาณ ร้อยละ 40 ที่ความดันลด 7 ถึง 9 นิ้ว น้ำสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่เกิน 2 ไมโครเมตร และความเร็วลมมีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยที่ความเร็วลมสูงจะให้ประสิทธิภาพมากกว่าที่ความเร็วลมต่ำ เนื่องจากผลของแรงเฉื่อยของอนุภาคฝุ่นในอากาศที่มากขึ้น จากการเพิ่มความเร็วลมทำให้เกิดการแยกอนุภาคจากอากาศได้ดีขึ้น

อัศวิน สืบบุญการณ [23] เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก ได้พัฒนาเตาเผามูลฝอยต้นแบบ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ห้องเผาไหม้ และห้องดักจับมลพิษโดยห้องเผาไหม้เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.6 เมตร ปริมาตรห้องเผา 0.945 ลบ.ม. และใช้หอพ่นน้ำ (Spray Tower) เป็นเครื่องควบคุม มลพิษอากาศ ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศการศึกษานี้ เพื่อประเมินหาอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสม ซึ่งความสามารถในการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Self-Burning Capacity) โดยเปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้ อุณหภูมิในเตาเผา ในกรณีติดตั้งเหล็กก้างปลา ใช้อัตราส่วนผสมระหว่าง มูลฝอยแห้งและเปียก คือ 1:0 4:1 3:1 2:1 และ 1:1 ผลการศึกษาจากการติดตั้งเหล็กก้างปลาในห้องเผาไหม้ เพื่อช่วยเพิ่มความร้อนในกองมูลฝอยที่เข้าเผา สามารถเพิ่มอัตราการป้อนมูลฝอยเฉลี่ย 114 กก.ต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการเผาไหม้อยู่ที่ 150 - 1,100 องศาเซลเซียส

วงศ์พันธ์ และคณะ [24] การศึกษาสารมลพิษในอากาศ สารที่ปนเปื้อน หรือเจือปนอยู่ในอากาศตั้งแต่หนึ่งชนิด และมีความเข้มข้นสามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้ในระยะเวลาที่นานพอที่สามารถจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้อนุภาคสาร (Particulates) คือ มวลสารที่อยู่ในสถานะของแข็งหรือของเหลวที่ อุณหภูมิ และความดันปกติ (ยกเว้นไอน้ำ) โดยมีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 200 ไมครอน ไปจนถึง 0.1 ไมครอน เรียกว่าฝุ่น ผง ละออง หมอกควัน และสเปรย์ มักเกิดจากยานพาหนะที่ขับเคลื่อนโดยใช้เชื้อเพลิงจากคริวเรือน โรงงาน อุตสาหกรรม การเผาขยะมูลฝอย และโรงงานไฟฟ้า

ธิดารัตน์ และคณะ [25] การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว รวมทั้งความต้องการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ส่งผลให้ ภาคเหนือของประเทศไทยมีอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เพิ่มสูงขึ้น อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ได้นำไปสู่ความกังวลในเรื่องของสุขภาพของประชากร โดยเฉพาะโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเป็น ที่รู้กันดีว่าอัตราการเกิดโรคมะเร็งปอดในเพศหญิงบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าสูงที่สุดในเอเชียข้อมูล พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ช่วงก่อน และหลังเกิดปัญหาวิกฤติหมอกควันในปี 2556 ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2555 ถึง มีนาคม 2556 ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการเผาในพื้นที่ป่า และการเผาพื้นที่ทำการเกษตร ในขณะที่เดียวกันพบว่าค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM 2.5 ในบรรยากาศทั่วไปมีปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานที่ทาง สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ และกรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้คือ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีส่วนสำคัญในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลอง วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในเรื่องราคา และคุณภาพในการใช้งาน

#### 3.1 วัสดุ

3.1.1 ไบอยางพารา ในภาคใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมปลูกยางพารา แต่ในส่วนของไบอยางพารายังถูกทิ้งขว้างไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ไบอยางพารา

3.1.2 ถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากไบอยางพารา ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากไบอยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

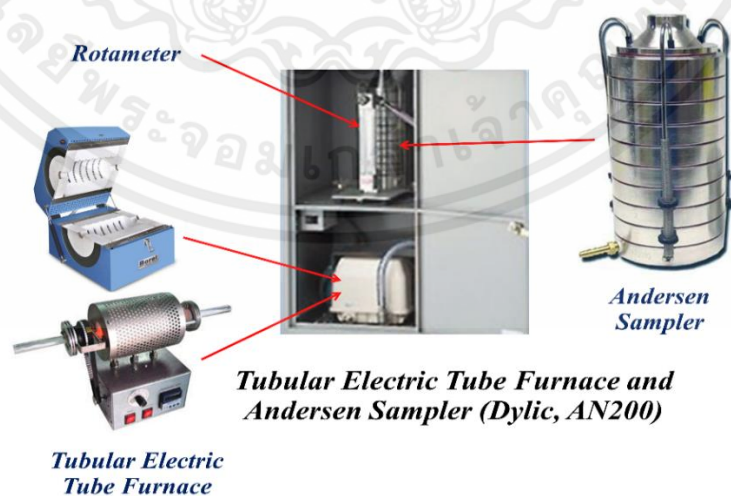
3.2.1 เครื่องบดและอัดเม็ดชีวมวล ใช้สำหรับการบด และการอัดเม็ดวัสดุชนิดต่างๆ เพื่อผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (Wood pellet) หรือเรียกชื่ออื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ เชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด



รูปที่ 3.3 เครื่องบดและอัดเม็ดชีวมวล

#### 3.2.2 Tubular Electric Tube Furnace and Andersen sampler (Dylic, An200)

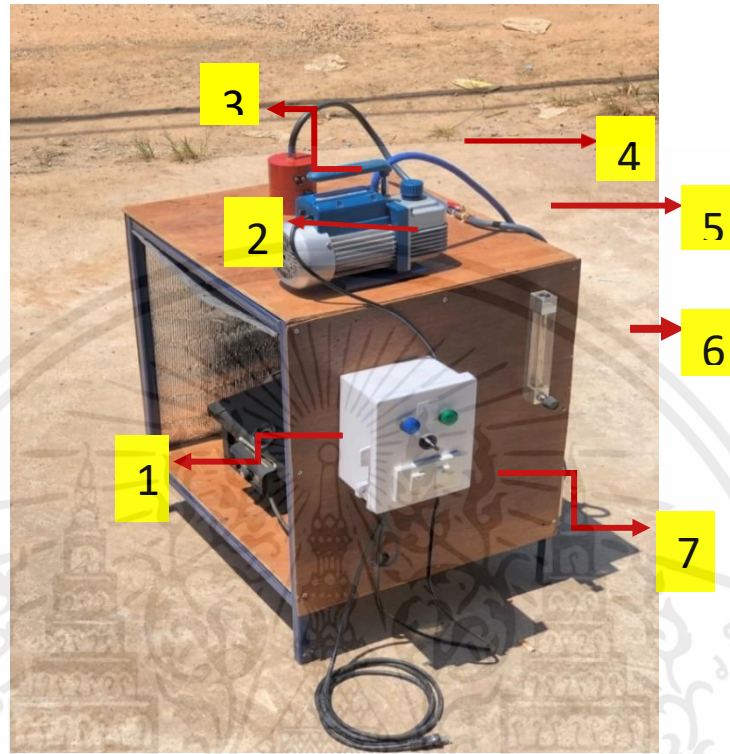
ใช้สำหรับทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันโดย Andersen air sampler 1 ชุด ประกอบด้วยชิ้นดักจับอนุภาคจำนวน 8 ชั้น เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) โดยสำหรับเครื่องนี้ออกแบบไว้ที่ 28.3 ลิตรต่อนาที และปั๊มสุญญากาศ (Linear motor Vacuum pump Model VP 0935) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 Tubular Electric Tube Furnace and Andersen sampler (Dylic, An200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน ใช้สำหรับดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้า ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยมีโรตารีมิเตอร์ควบคุมอัตราการไหล และมี แว้คัมป์ปั๊มสร้างแรงดูด เพื่อดูดเขม่าควันผ่านกระดาษกรอง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

- หมายเลข 1 เตาเผา
- หมายเลข 2 แว้คัมป์ปั๊ม
- หมายเลข 3 Filter holder
- หมายเลข 4 ท่อทนความร้อน
- หมายเลข 5 วาล์ว
- หมายเลข 6 โรตารีมิเตอร์
- หมายเลข 7 กล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 กระดาษกรอง (Filter)

ทำหน้าที่ดักจับอนุภาคฝุ่นเมื่อใส่ไปใน Filter holder ซึ่งกระดาษกรองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระดาษกรอง (Filter)

### 3.2.5 ถุงซิปล็อค

ใช้เพื่อใส่กระดาษกรองก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ถุงซิปล็อค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 ที่คีบหรือแหนบ

ใช้สำหรับจับกระดาษกรองเพื่อใส่ลงใน Filter holder ทั้งก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ที่คีบหรือแหนบ

### 3.2.7 ถุงมือ

ใช้สำหรับใส่เพื่อกันความร้อนช่วงเปิดเตา ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ถุงมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

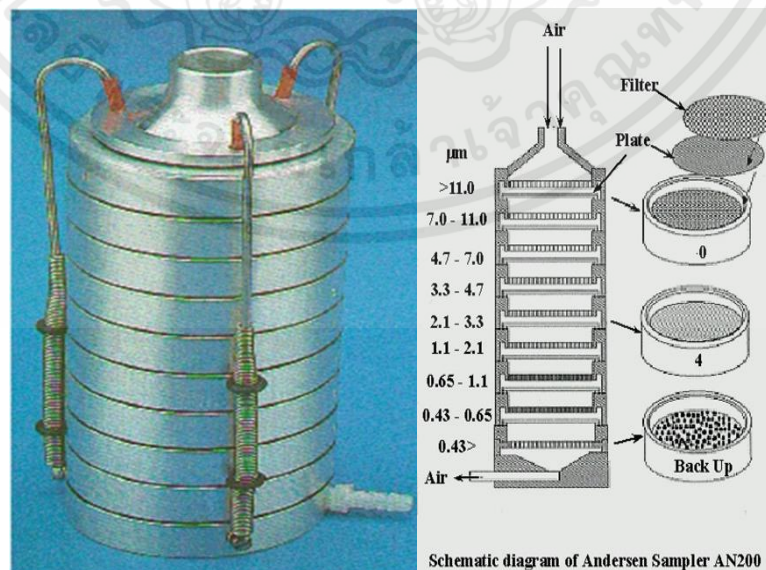
ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของกระดาศกรอง และชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากไบอยาพารา ก่อนทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

### 3.3 หลักการทำงานของ Andersen air sampler

ซึ่งใช้หลักการดักจับอนุภาคแบบตกระแทบ (impaction) กล่าวคือเมื่อกระแสแก๊สเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลอย่างกะทันหัน อนุภาคที่มีความเฉื่อยมากจะไม่สามารถเปลี่ยนเส้นโคจรตามเส้นทางการไหลของแก๊สได้ทัน จึงถูกดักเก็บไว้ เครื่องมือนี้สามารถแยกอนุภาคในช่วง 0.43 ถึง 11 ไมโครเมตร ช่วงของการกระจายของขนาดเชิงเอโรไดนามิกในแต่ละชั้นของเครื่อง Andersen air sampler ที่ทำการทดสอบถูกแบ่งเป็นช่วง cut off ได้ถึง 8 ขนาด ซึ่งประกอบด้วย cut off ที่ขนาด 11.0 ไมโครเมตร, 7.0 ไมโครเมตร, 4.7 ไมโครเมตร, 3.3 ไมโครเมตร, 2.1 ไมโครเมตร, 1.1 ไมโครเมตร, 0.65 ไมโครเมตร และ 0.43 ไมโครเมตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Andersen air sampler [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

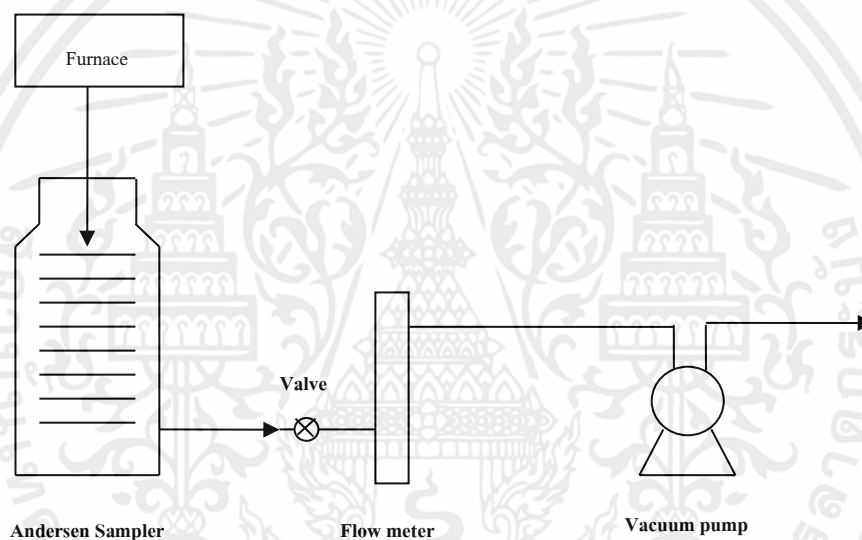
การหาขนาดการกระจายของอนุภาคเขม่าควัน สามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น

#### 1 เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

- ล้างทำความสะอาดแผ่นกระจก (Plate) และ Andersen air sampler
- อบแผ่นกระจกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักของ Plate เปล่าก่อนนำไปใช้งาน ( $m_1$ ) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกริม: Denver Instrument TC-254
- เก็บ Plate ที่ชั่งน้ำหนักแล้วไว้ในกล่องปิดสนิทและมีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

#### 2 ทำการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

- ทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยใช้ Andersen air sampler

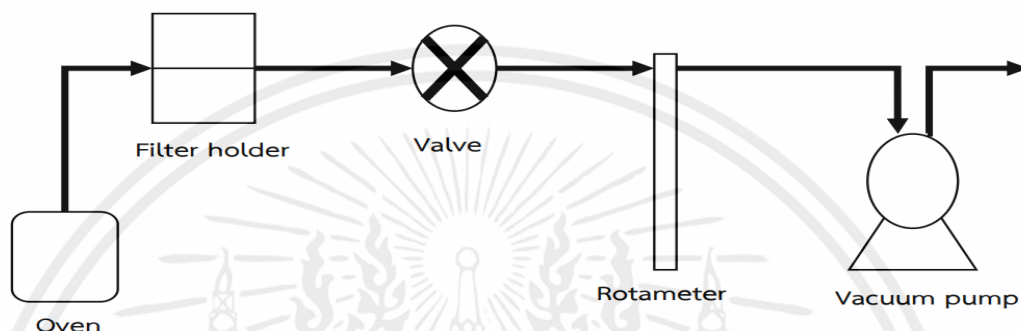
- ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊มสุญญากาศ โดยตั้งอัตราการไหลที่ 28.3 ลิตรต่อนาที และจับเวลาที่เริ่มเดินเครื่อง
- เมื่อครบ 10 นาทีทำการปิดปั๊มสุญญากาศและนำ Plate ออกจาก Andersen air sampler และเก็บ Plate ในกล่องปิดสนิทที่มีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เพื่อดูดความชื้นออกจาก Plate

#### 3 นำผลที่ได้มาหาการกระจายของอนุภาคเขม่าควัน

#### 4 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล

### 3.4 หลักการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

ระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควันเมื่อนำกระดาศกรองใส่ไปใน Filter holder แล้วนำกากตะกอนใส่ในเตาเผา ทำการเปิดเตาเผา เปิด Vacuum pump จากนั้นทำการเปิดวาล์ว ปรับอัตราการไหลโดยโรตاميเตอร์ที่เราต้องการทดสอบ (5,10 และ 20 ลิตรต่ออนาที) ปรับอุณหภูมิที่เราต้องการเผาไหม้ (250 องศาเซลเซียส) อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้จากเตาเผาจะเคลื่อนที่ผ่านท่อ และถูกดักจับโดยกระดาศกรองใน Filter holder จากนั้นอากาศบริสุทธิ์จะเคลื่อนที่ผ่านวาล์วเข้าโรตاميเตอร์ และออกทาง Vacuum pump ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

#### 3.4.1 ขั้นตอนและการเก็บตัวอย่าง

การทดลองเก็บตัวอย่างปริมาณอนุภาคจะแบ่งการทดสอบการเผาไหม้ของถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา จะทดลองที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส อัตราการไหล (5,10 และ15) โดยทำการลองที่ ความชื้น(%) 15,30,45 ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการแยกเก็บตัวอย่างกระดาศกรองเป็นชุด

#### 3.4.2 วิธีการทดลองเก็บตัวอย่าง

1. ก่อนทำการเก็บตัวอย่างการทดลอง นำแผ่นกระดาศกรองไปแช่ซิลิกาเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 นำแผ่นกระดาศกรองไปแช่ซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำแผ่นกระดาษกรองที่ผ่านการแช่ซิลิกาเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เตาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

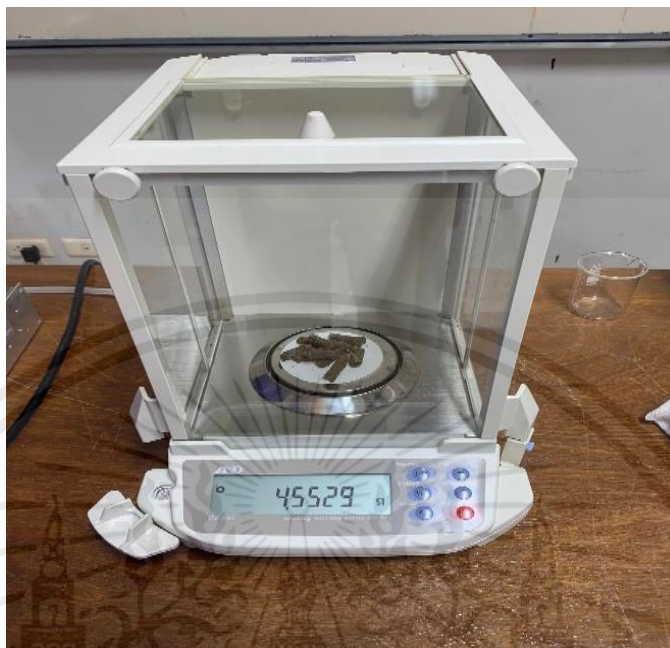
3. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด บันทึกค่าน้ำหนักกระดาษกรองก่อนทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากไບอยางพารา ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักก่อนทำการเผา ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากไບอยางพารา

5. นำกระดาศกรองไปทดลองเก็บตัวอย่าง โดยนำกระดาศกรองใส่ใน Filter holder ตามแต่ค่าความชื้นที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.18 การนำกระดาศกรองใส่ลงใน Filter holder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ทำการเก็บตัวอย่างการทดลองหรือกระดาษกรองลง ไปในถุงซิปล็อค ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 กระดาษกรองที่ใส่ในถุงซิปล็อคหลังการทดลอง

7. นำกระดาษกรองที่ทดลองเสร็จไปแช่ซิลิกาเจล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อีกครั้งดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 กระดาษกรองแช่ซิลิกาเจล

8. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังแช่ซิลิกาเจลรอบสองจากการเผาไหม้ถ่านชีวมวลอัดเม็ด จากไบอยาพารา

9. คำนวณน้ำหนักของอนุภาคที่ติดบนกระดาษกรองแต่ละช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

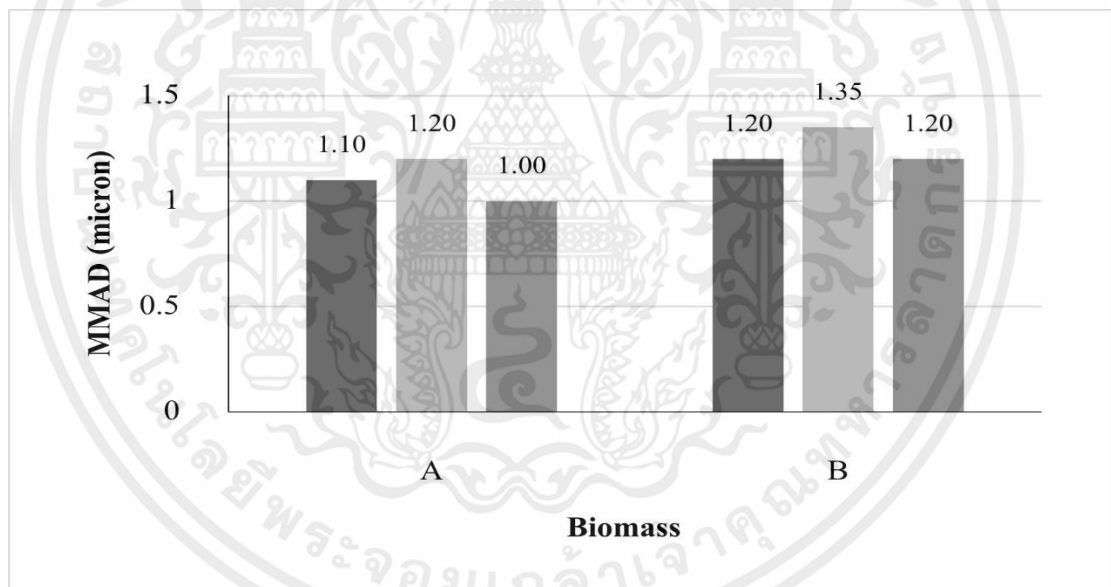
## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอผลของการศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน และความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา

#### 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน

4.1.1 ผลการเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคจากการเผาไหม้ไบอยางพาราชนิดใบแห้งและใบสด จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงถึงการเปรียบเทียบปริมาณขนาดของอนุภาคเขม่าควันระหว่างไบอยางพาราชนิดใบแห้งและใบสดจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง โดยพบว่าไบอยางพาราชนิดใบแห้งมีขนาด 1.1 ไมครอนและใบสดมีขนาด 1.25 ไมครอน และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต 2.19 และ 1.98 ตามลำดับดังตารางที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบขนาดของอนุภาค

A คือ ขนาดของขนาดของอนุภาคจากการเผาไหม้ไบอยางพาราชนิดใบแห้ง

B คือ ขนาดของขนาดของอนุภาคจากการเผาไหม้ไบอยางพาราชนิดใบสด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากไบโอยางพาราชนิดใบแห้ง

ครั้งที่	การกระจายขนาดของมวล ส่วนใหญ่โดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.20	2.00
2	1.35	1.94
3	1.20	2.00
เฉลี่ย	1.25	1.98

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากไบโอยางพาราชนิดใบสด

ครั้งที่	การกระจายขนาดของมวล ส่วนใหญ่โดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.20	2.00
2	1.25	1.98
3	1.00	2.50
เฉลี่ย	1.15	2.16

4.1.2 ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบโอยางพาราที่มีความชื้นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่มีความชื้น 15 %

ครั้งที่	การกระจายขนาดของมวล ส่วนใหญ่โดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.25	1.98
2	1.20	2.00
3	1.15	2.16
เฉลี่ย	1.20	2.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่มีความชื้น 30 %

ครั้งที่	การกระจายขนาดของมวล ส่วนใหญ่โดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.10	2.36
2	1.20	2.00
3	1.00	2.50
เฉลี่ย	1.10	2.19

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันที่มีความชื้น 45 %

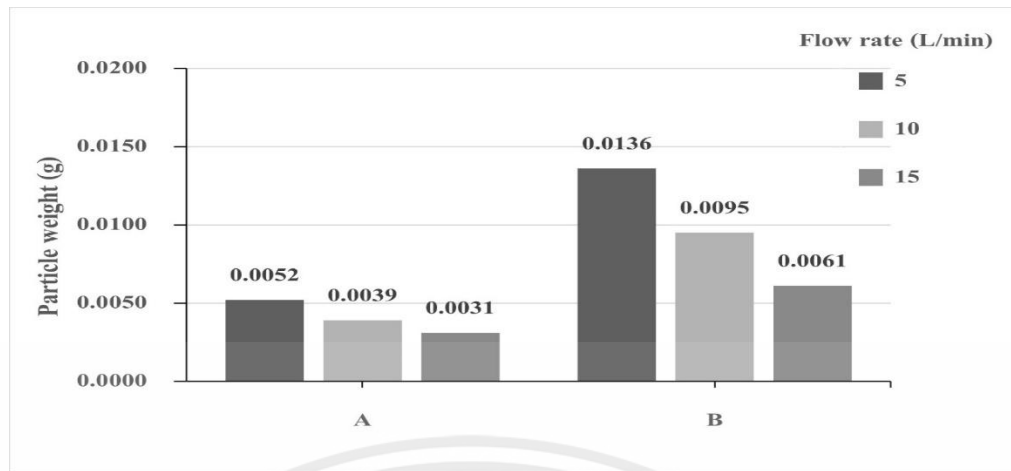
ครั้งที่	การกระจายขนาดของมวล ส่วนใหญ่โดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.15	2.20
2	1.25	1.96
3	1.30	1.94
เฉลี่ย	1.23	2.03

จากตารางที่ 4.3 4.4 และ 4.5 แสดงผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 1.15 1.20 และ 1.23 ไมครอน ตามลำดับโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.16 2.04 และ 2.03 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความชื้นของชีวมวล ผลการทดลองพบว่าจะทำให้ขนาดของอนุภาคเขม่าควันจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นความสมบูรณ์ในการเผาไหม้จะลดลง

#### 4.2 ผลการทดลองของปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ชีวมวลจากใบยางพารา

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลจากใบยางพาราแห้ง และใบยางพาราสด

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าในกรณีใบยางพาราแห้งมีปริมาณอนุภาคเขม่าควัน 0.0052 0.0039 และ 0.0031 กรัม ที่อัตราการไหล 5 10 และ 15 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ส่วนใบยางพาราสดมีปริมาณอนุภาคเขม่าควัน 0.0136 0.0095 และ 0.0061 กรัม ที่อัตราการไหล 5 10 และ 15 ลิตรต่อนาที ซึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลปริมาณของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ทั้งใบยางพาราสดและใบยางพาราแห้งจะมีค่าลดลง เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นเมื่อมีออกซิเจนมากขึ้น

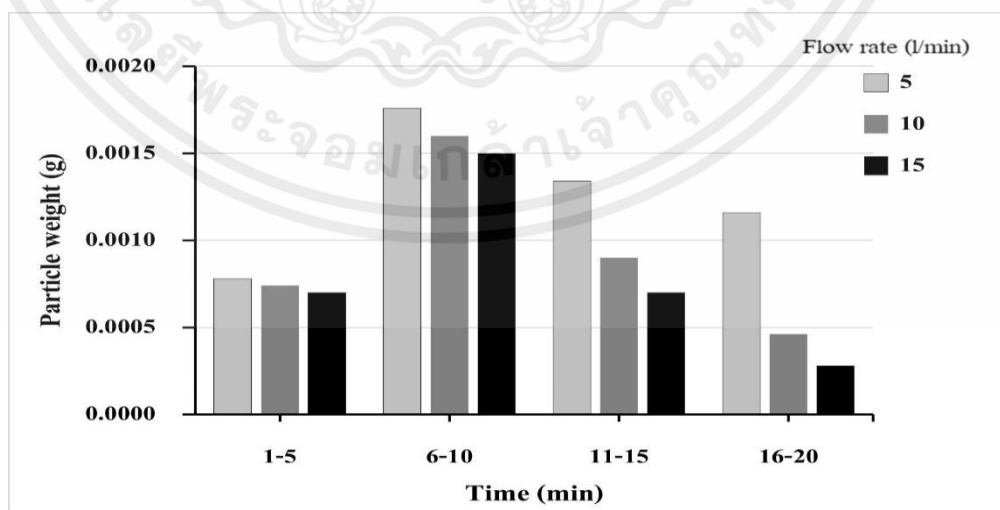


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลจากใบ  
ยางพาราแห้ง และใบยางพาราสด

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.2 หากพิจารณาจะพบว่าใบยางพาราสดมีปริมาณอนุภาคเขม่า  
มากกว่าใบยางพาราแห้งทุกช่วงอัตราการไหล เพราะว่า ใบยางพาราสดมีค่าความชื้นมากกว่าใบ  
ยางพาราแห้ง

#### 4.2.2 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ใบยางพาราที่ความชื้น 15%

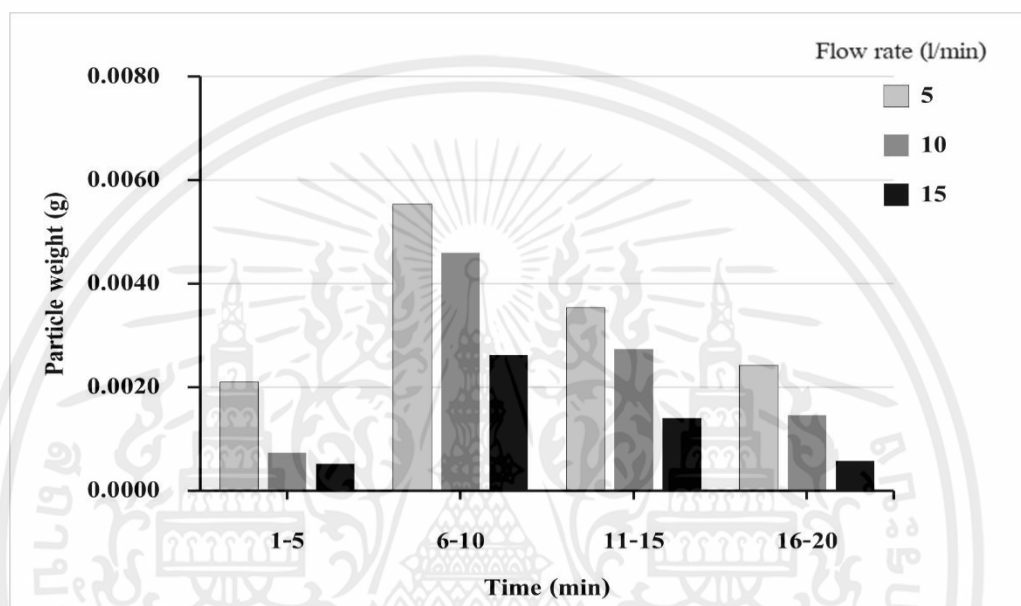
จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงถึงผลการทดลองการเผาไหม้ชีวมวลจากใบยางพาราที่  
ความชื้น 15% และทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยแบ่งเป็น 4  
ช่วงเวลาในทุกๆ 5 นาที เพื่อหาปริมาณอนุภาคเขม่าควัน จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 5 ลิตร  
ต่อนาที มีปริมาณอนุภาคเขม่าควันรวมมากที่สุด คือ 0.0113 กรัม และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 10  
และ 15 ลิตรต่อนาที มีปริมาณอนุภาคเขม่าควันลดลงเหลือ 0.0068 และ 0.0032 กรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ใบยางพาราที่ความชื้น 15%

#### 4.2.3 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่ความชื้น 30%

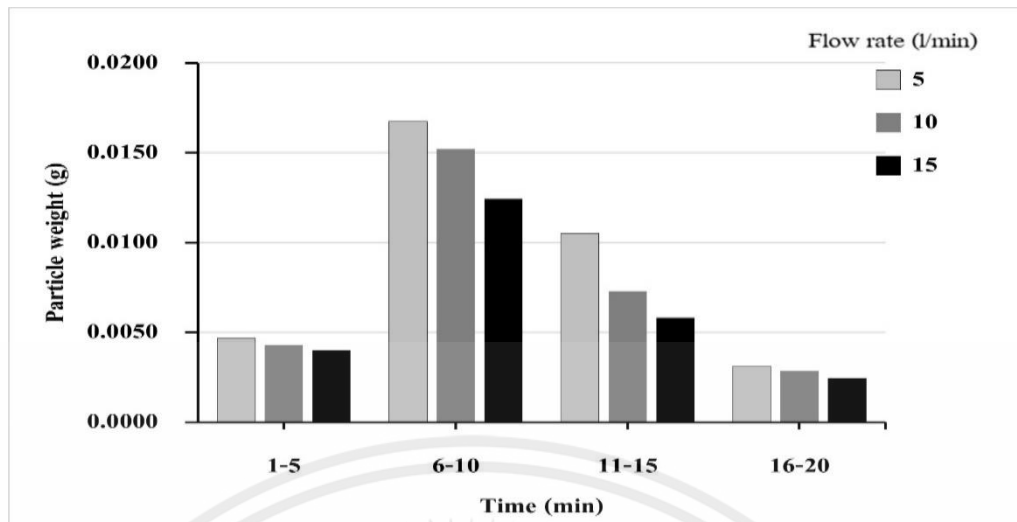
จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงถึงผลการทดลองการเผาไหม้ชีวมวลจากไบอยางพาราที่ความชื้น 30% และทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลาในทุกๆ 5 นาที เพื่อหาปริมาณอนุภาคเขม่าควัน จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที มีปริมาณอนุภาคเขม่าควันรวมมากที่สุด คือ 0.0236 กรัม และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 10 และ 15 ลิตรต่อนาที มีปริมาณอนุภาคเขม่าควันลดลงเหลือ 0.0172 และ 0.0110 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการทดลองที่ 4.2.2



รูปที่ 4.4 ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่ความชื้น 30%

#### 4.2.4 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่ความชื้น 45%

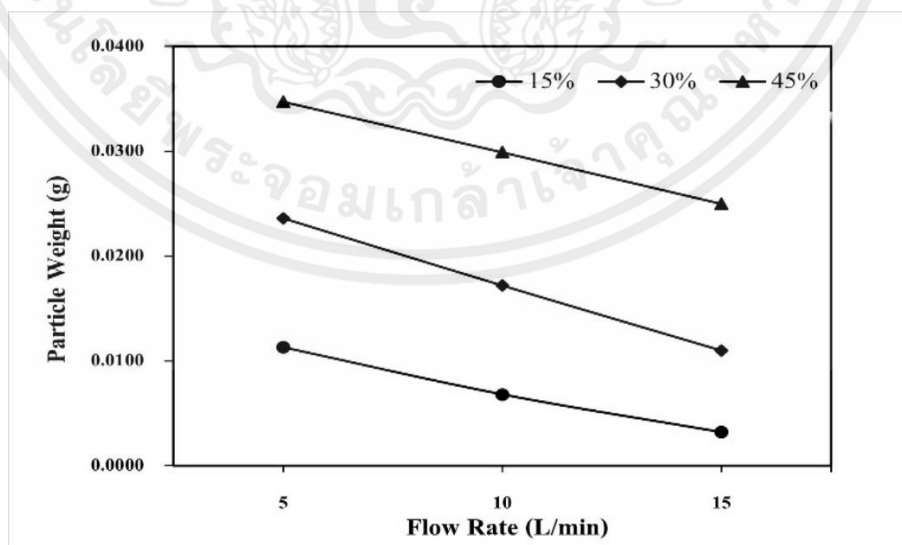
จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงถึงผลการทดลองการเผาไหม้ชีวมวลจากไบอยางพาราที่ความชื้น 30% และทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลาในทุกๆ 5 นาที เพื่อหาปริมาณอนุภาคเขม่าควัน จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที มีปริมาณอนุภาคเขม่าควันรวมมากที่สุด คือ 0.0347 กรัม และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 10 และ 15 ลิตรต่อนาที มีปริมาณอนุภาคเขม่าควันลดลงเหลือ 0.0299 และ 0.0250 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการทดลองที่ 4.2.2 และ 4.2.3



รูปที่ 4.5 ปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราที่ความชื้น 45%

จากกราฟแสดงดังรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 พบว่าปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราในช่วงแรกมีปริมาณที่ต่ำ โดยมีปริมาณสูงสุดในช่วงที่ 6-10 นาที แล้วค่อยๆ ลดลง ซึ่งอาจแตกต่างกับการทดลองของ วชร และคณะ [26] ที่ได้กล่าวไว้ว่าช่วงเริ่มต้นของการเผาไหม้อนุภาคเขม่าควันจะมีปริมาณสูง เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเตาเผาไหม้โดยใช้ขดลวด ซึ่งต้องใช้เวลาในการอุ่นให้ร้อนประมาณ 3-4 นาที ดังนั้นในช่วง 1-5 นาทีแรกจึงเป็นช่วงที่กำลังอุ่นเตาให้ร้อน และเริ่มการเผาไหม้ ระยะเวลาในการวัดอนุภาคเขม่าควันจึงวัดในช่วงสั้นประมาณ 1-2 นาที ดังนั้นปริมาณอนุภาคเขม่าควันในช่วงแรกจึงต่ำกว่าช่วงอื่น

#### 4.2.5 ผลการทดลองปริมาณอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคเขม่าควันกับอัตราการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงดังรูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคเขม่าควันกับ อัตราการไหลของอากาศที่ 5 10 และ 15 ลิตรต่อนาที โดยชีวมวลอัดแท่งจากไบอยาพาราที่มีความชื้น 15 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลจะทำให้ปริมาณอนุภาค เขม่าควันมีแนวโน้มลดลง และเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณอนุภาคเขม่าควันเพิ่มขึ้นเนื่องจาก มี น้ำหรือความชื้นมากขึ้นในเชื้อเพลิงชีวมวลจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเมื่อการเผาไหม้ไม่ สมบูรณ์ก็จะทำให้เกิดควันมากขึ้น กรณีถ้าเพิ่มอัตราการไหลจะทำให้เพิ่มอากาศบริสุทธิ์เข้าไป เปรียบเสมือนการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงหนึ่งที่อากาศหรือ ออกซิเจนเพียงพอการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ก็จะมีแนวโน้มลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระยะกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพารา โดยศึกษาจากทั้งชนิดใบแห้งและใบสด เพื่อเปรียบเทียบการกระจายขนาดขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน 2. ความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 1. การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน

1.1 จากการศึกษาการกระจายขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราพบว่า Mass median aerodynamic diameter (MMAD) เส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวลของชีวมวลแบบใบสดมีขนาด 1.25 ไมครอน และใบแห้งมีขนาด 1.1 ไมครอน โดยใบสดมีขนาดผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (MMAD) มากกว่าใบแห้งเนื่องจากว่ามี Tannin และ Lignin เป็นส่วนประกอบและใบสดมีน้ำเจือปนอยู่เป็นส่วนประกอบทำให้อนุภาคชนกันและมีขนาดใหญ่

1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ไบอยางพาราสดมีค่า 2.19 และจากการเผาไหม้ไบอยางพาราแห้งมีค่า 1.98

##### 2. ปริมาณอนุภาคเขม่าควัน

2.1 การหาปริมาณอนุภาคเขม่าควันในช่วงแรกของการเผาไหม้จะเห็นว่าค่าที่ได้มาจะต่ำกว่าปกติเนื่องจากเตาที่ใช้ทดลองการเผาไหม้เป็นแบบขดลวดความร้อนภายในห้องเผาไหม้จึงไม่สูงเท่าช่วงที่ 2 ถึงช่วงที่ 4 เพราะเพิ่งเริ่มการทำงานของเตา

2.2 ในส่วนของใบสดปริมาณของอนุภาคเขม่าที่มากกว่าเพราะใบสดมีปริมาณความชื้นมากกว่าใบแห้งจึงทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2.3 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะทำให้ปริมาณอนุภาคเขม่าควันมีแนวโน้มลดลง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาอนุภาคเขม่าควันควรมีการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุมมลพิษต่อไป
3. ควรมีการปรับปรุงแก้ไขระบบเตาเผาให้เป็นระบบสุญญากาศ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2558. พลังงานชีวมวล [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: [http://biomass.dede.go.th/biomass\\_web/index.html](http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html).
- [2] จารุวรรณ วงศ์ทะเนตร และคณะ. 2563. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
- [3] George W. AMholland. 2012. Smoke Production and Properties. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering SFPE Handbook of Fire Protection Engineering
- [4] ฉันทร ออกวะลา. 2553. กลศาสตร์ของไหล. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <http://irre.ku.ac.th/books/pdf/19.pdf>
- [5] Hinkley, P. L. 1995. Smoke and Heat Venting. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed, National Fire Protection Association, One Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101, U.S.A.
- [6] Kandola, B. S. 1978. Aerodynamic. Journal of Industry, 3, 267.
- [7] Ingason, H. 1996. Experimental and Theoretical Study of Rack Storage fires. Swedish National Testing and Research Institute.
- [8] สมจินตนา แชนงแก้ว. 2559. การวัดและการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองจากกิจกรรมในโครงการก่อสร้างถนน. กรณีศึกษาการก่อสร้างถนนในเขตจังหวัดลำปาง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] สุภาพ จันทร์หงส์. 2514. การเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM2.5) ระหว่างวิธีอ้างอิงและวิธีเทียบเคียง, Comparison of particulate matter 2.5 Micron (PM2.5) measuring methods between reference method and equivalent method. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] Hinds, WC (1999) เทคโนโลยีละอองลอย คุณสมบัติ พฤติกรรม และการวัดอนุภาคในอากาศ.
- [11] ชีระศักดิ์ โพนชัด,ทิพโชค ชูวิจิตร. 2552. การศึกษาการกระจายของอนุภาคฝุ่น. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์.
- [12] Tekasakul et al .2006. Characteristics of particulates emitted from rubber wood Burning. Prince of Songkla University.
- [13] ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน. 2553. ทฤษฎีการเผาไหม้. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: [http://www2.dede.go.th/bhrd /old/Download/file\\_handbook /Pre\\_Heat/pre\\_heat\\_3.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd /old/Download/file_handbook /Pre_Heat/pre_heat_3.pdf)
- [14] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) 2562. ไบอยาพารา. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <http://para-buy.blogspot.com/2014/02/ChemecalPara.html>.
- [15] PT ALL INSTRUMENT. 2562. การวัดสี (Color Measurement). [Online].แหล่งที่เข้าถึง : <https://www.ptallinstrument.com/article/5/การวัดสี-color-measurement>.

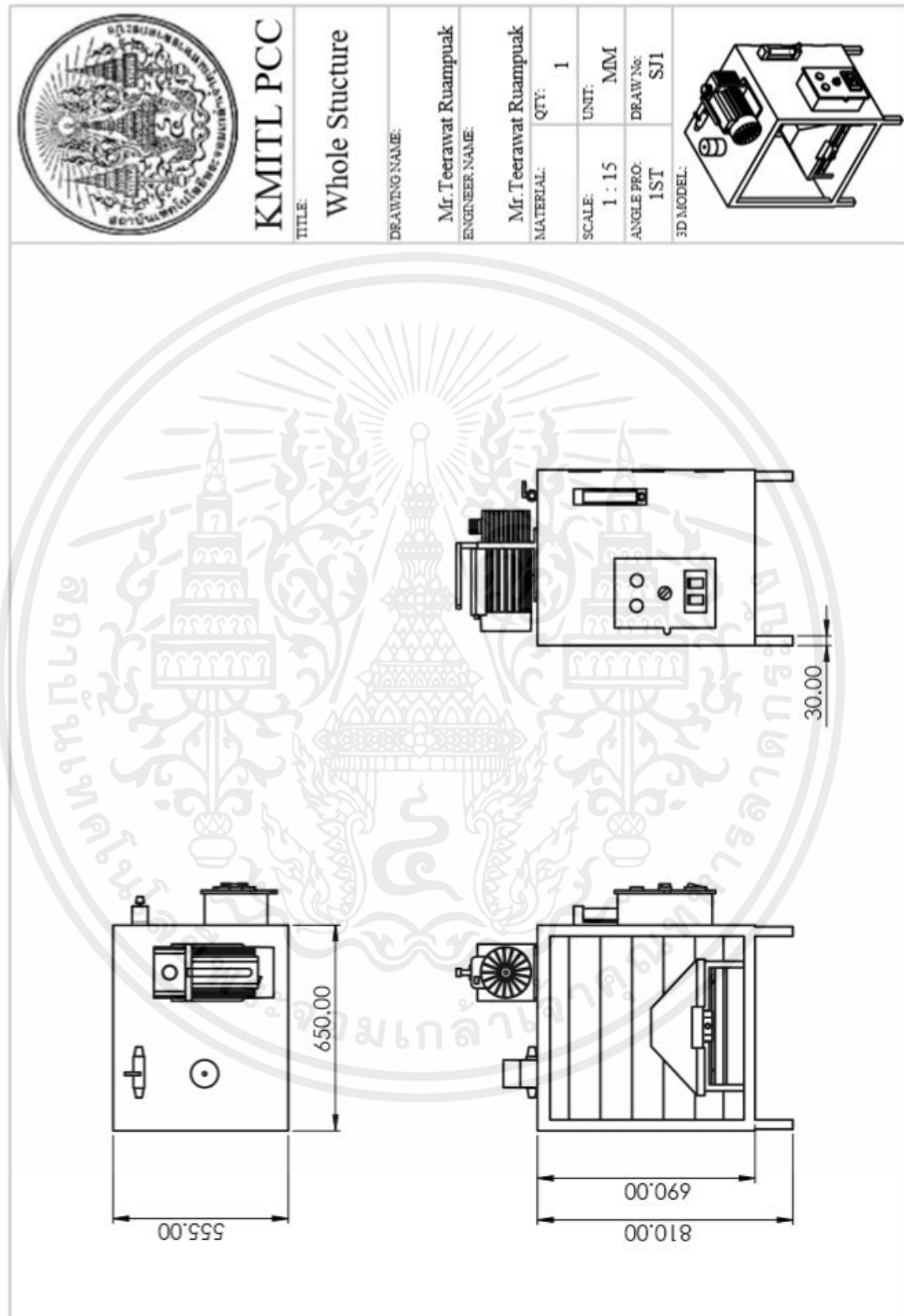
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] วินัย มีแสง. 2549. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามแนวเส้นทางโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [17] Hinds, WC (1999) เทคโนโลยีละอองลอย คุณสมบัติ พฏิกิริยา และการวัดอนุภาคในอากาศ.
- [18] อาภาวี เบ็ญจมาธารกุล. 2546. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ;Energy Recovery from Industrial Wastewater Sludge. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [19] Williams, A.; Jones, J.M.; Ma, L.; Pourkashanian, M (2012) Pollutants from the combustion of solid biomass fuels.
- [20] ดารณี จันทร์อำภากุล และ วิทยา เทพไพฑูริย์. (2544). การศึกษาการดักจับอนุภาคขนาดเล็กโดยใช้เครื่องดักจับฝุ่นชนิดเปียก. สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [21] พาณิช อินตะ และณัฐวดี ดุซฎี. 2550. คุณลักษณะทางไฟฟ้าสถิตของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมสำหรับการกำจัดอนุภาคที่ปล่อยออกจากเตาเผาชีวมวล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วารสารวิศวกรรมศาสตร์.
- [22] วชร และคณะ. 2006. ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (วิทยาเขตชุมพร) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [20] ดารณี จันทร์อำภากุล และ วิทยา เทพไพฑูริย์. (2544). การศึกษาการดักจับอนุภาคขนาดเล็กโดยใช้เครื่องดักจับฝุ่นชนิดเปียก. สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [23] อัศวิน สีนุกุลกรณ์. 2544. การพัฒนาเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [24] Pornrudee Sanguansuk, Lerpong Jarupan and Chaisit Thongjoo. 2552. Chemical Compositions and Plant Nutrients in Palm Oil and Water Treatment Sludge used as Raw Materials for Developing Environmentally Friendly Package: Kasetsart University.
- [25] จิตรัตน์ และคณะ. 2557. ภัยในหน้าหนาวจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก(PM2.5). วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย.
- [26] Wachara Kalasee and Panya Dangwilailux .2021. Prediction of Size Distribution and Mass Concentration of Smoke Particles on Moisture Content and Combustion Period from Para Rubber Wood Burning
- [27] Schematic-diagram-and-picture-of-the-Andersen-sampler-with-an-inertial-filter-ANIF [Online].
- แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.researchgate.net/>



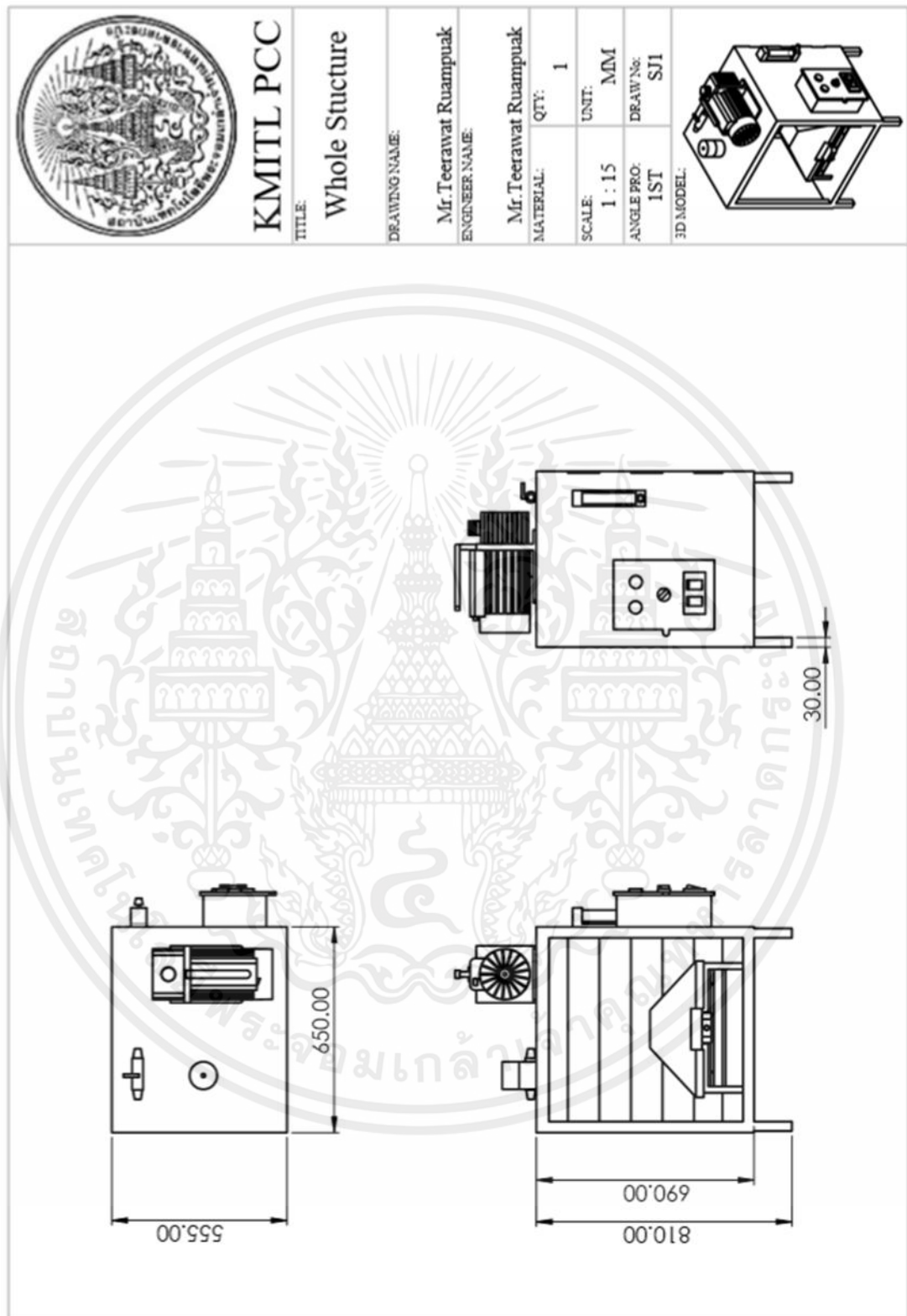
**ภาคผนวก ก**  
**โครงสร้าง และแบบเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



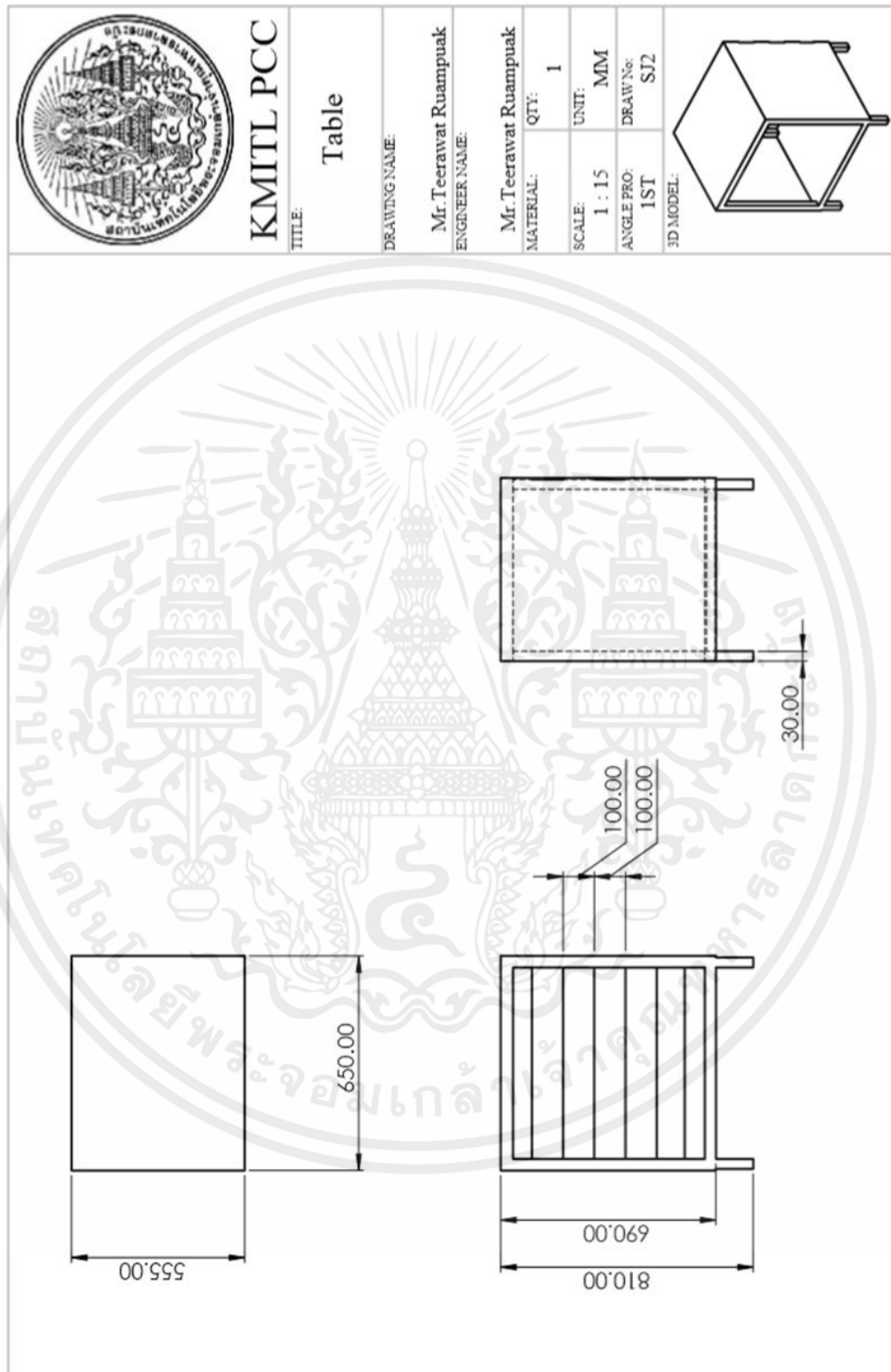
รูปที่ ก.1 แบบเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



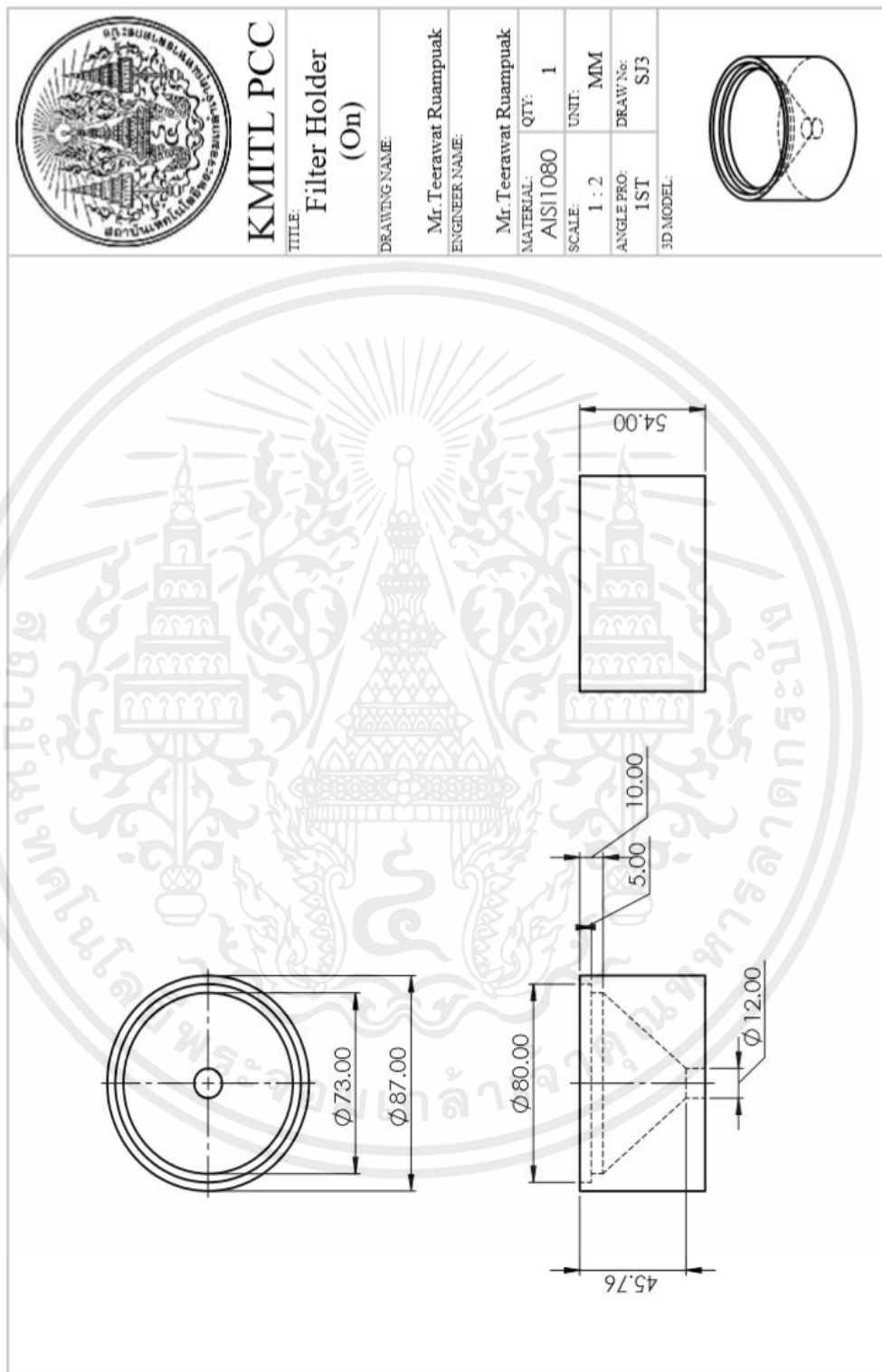
รูปที่ ก.2 แบบเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



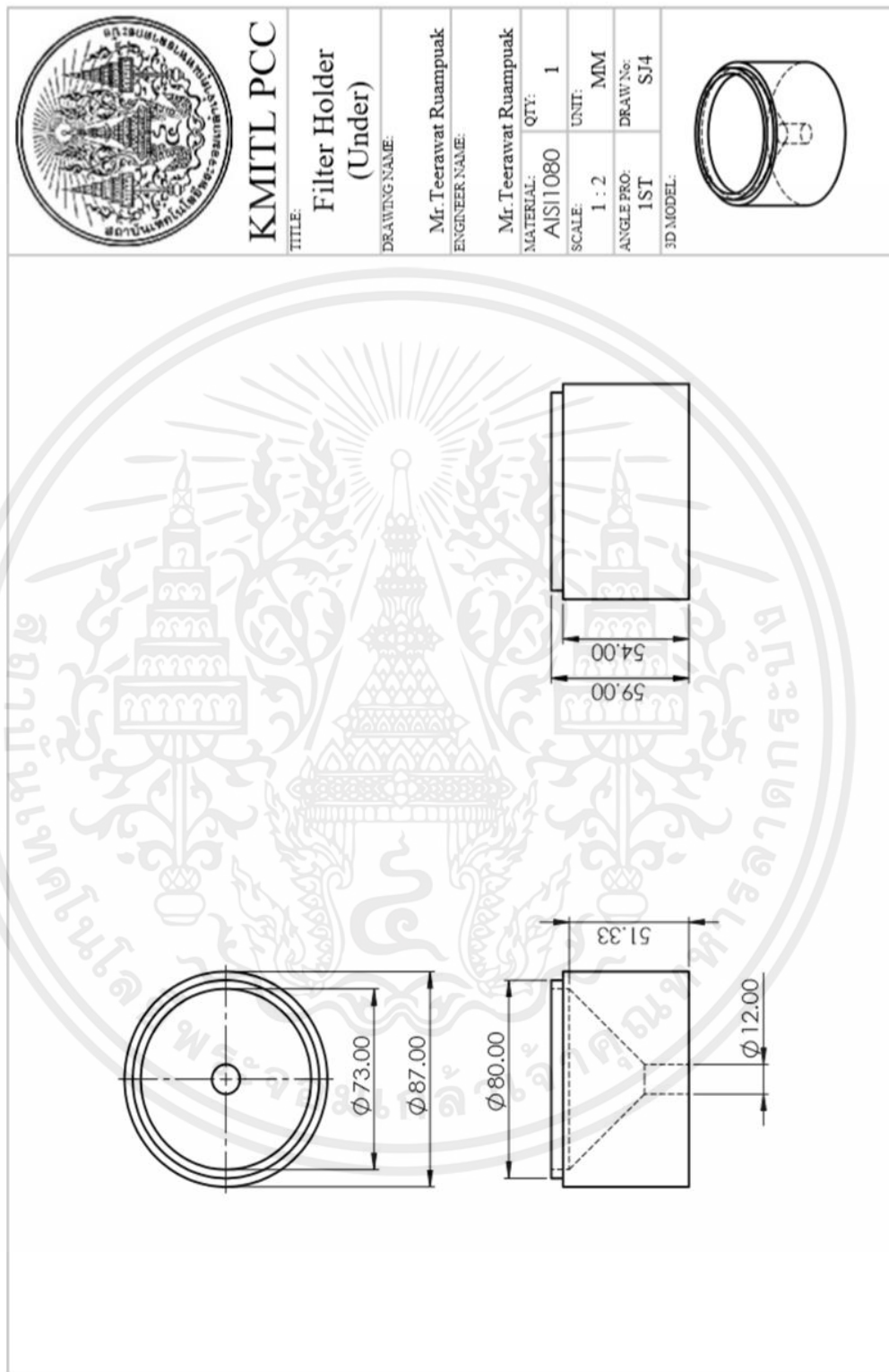
รูปที่ ก.3 แบบโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



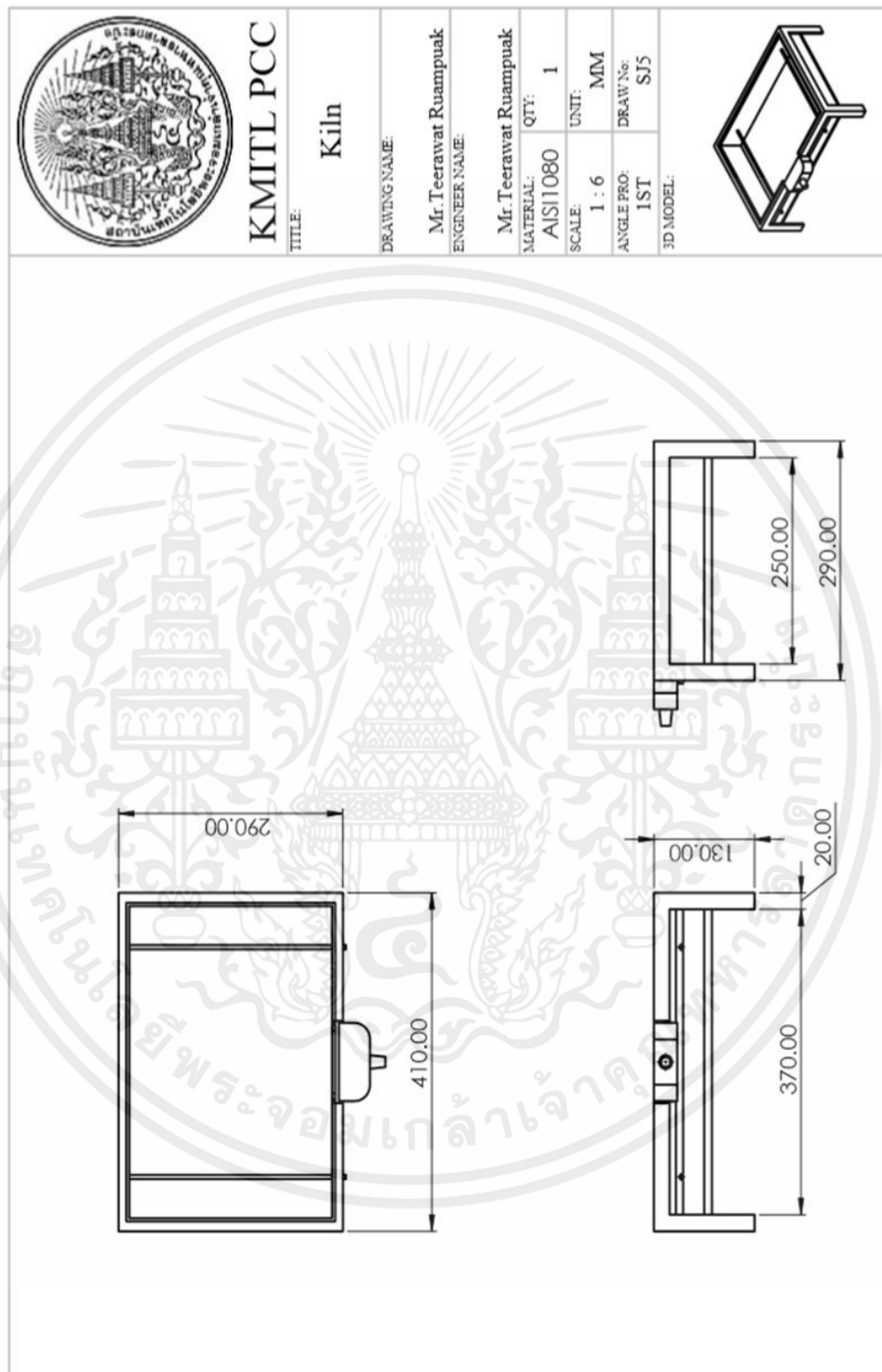
รูปที่ ก.4 แบบ Filter holder (บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



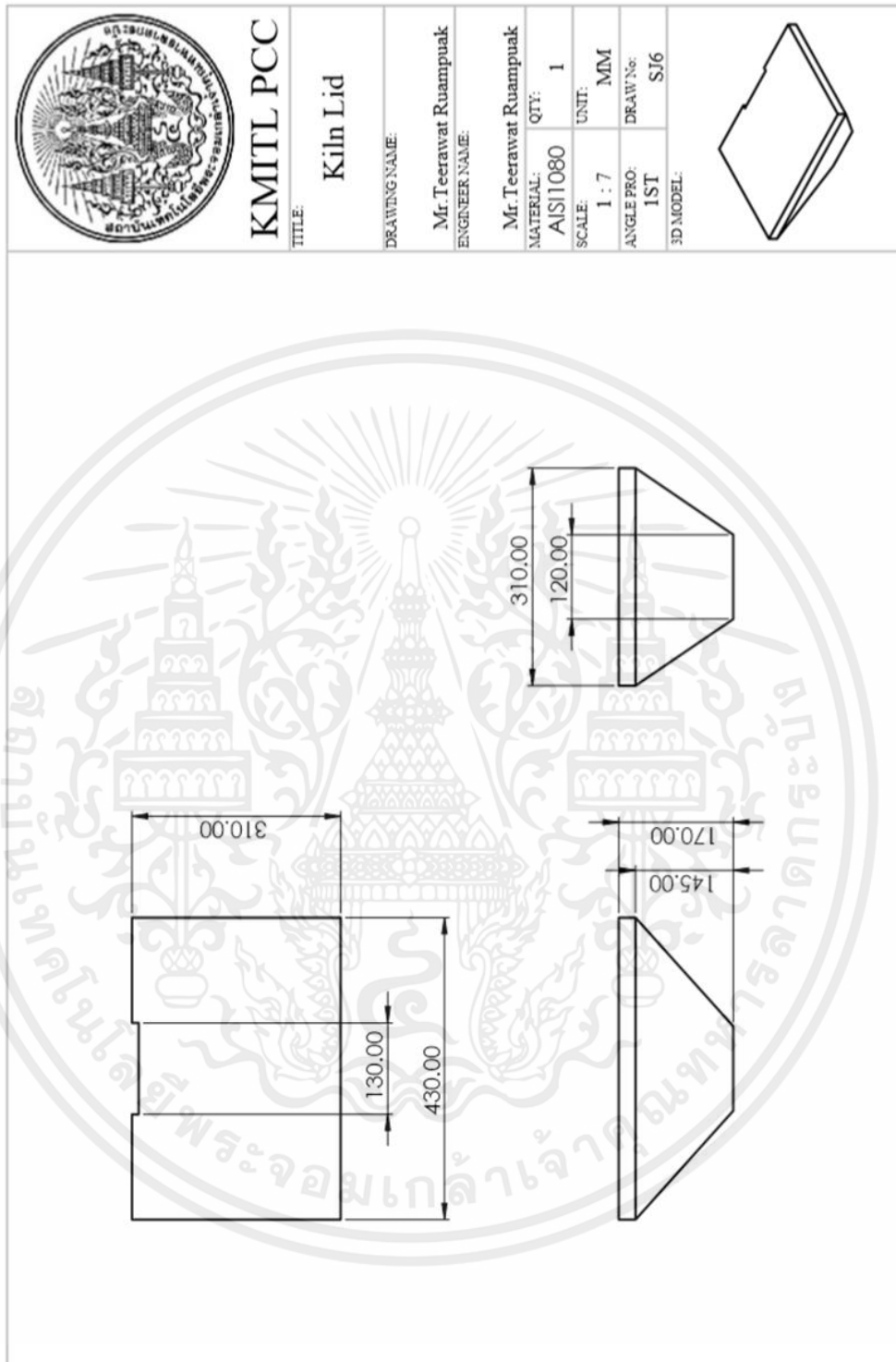
รูปที่ ก.5 แบบ Filter holder (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แบบฐานเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 แบบฝาเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
ผลการศึกษาปริมาณอนุภาคเขม่าควัน  
จากการเผาไหม้ไบโอยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3076	0.3154	0.3036	0.3144
2	0.3022	0.3043	0.3025	0.3153
3	0.3106	0.3180	0.3075	0.3083
4	0.3050	0.3114	0.3098	0.3060
5	0.3025	0.3075	0.3062	0.3030

ตารางที่ ข.2 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3083	0.3174	0.3042	0.3150
2	0.3027	0.3055	0.3029	0.3156
3	0.3114	0.3190	0.3088	0.3085
4	0.3058	0.3132	0.3104	0.3064
5	0.3031	0.3196	0.3066	0.3035

ตารางที่ ข.3 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0007	0.0020	0.0006	0.0006
2	0.0005	0.0012	0.0004	0.0003
3	0.0008	0.002010	0.0014	0.0002
4	0.0008	0.0018	0.0007	0.0004
5	0.0007	0.0020	0.0004	0.0005
ค่าเฉลี่ย	0.0007	0.0016	0.0007	0.0004

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.4 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3130	0.3074	0.3165	0.3306
2	0.3095	0.3106	0.3125	0.3068
3	0.3063	0.3118	0.3076	0.3110
4	0.3121	0.3125	0.3097	0.3095
5	0.3078	0.3186	0.3073	0.3081

ตารางที่ ข.5 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3137	0.3083	0.3177	0.3312
2	0.3112	0.3115	0.3135	0.3075
3	0.3065	0.3138	0.3088	0.3112
4	0.3128	0.3155	0.3101	0.3099
5	0.3082	0.3198	0.3080	0.3085

ตารางที่ ข.6 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0007	0.0009	0.0012	0.0006
2	0.0017	0.0009	0.0010	0.0007
3	0.0002	0.0020	0.0012	0.0002
4	0.0007	0.0030	0.0004	0.0004
5	0.0004	0.0012	0.0007	0.0004
ค่าเฉลี่ย	0.0007	0.0016	0.0003	0.0005

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.7 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3078	0.3158	0.3038	0.3148
2	0.3025	0.3045	0.3024	0.3153
3	0.3104	0.3181	0.3073	0.3085
4	0.3051	0.3112	0.3098	0.3061
5	0.3025	0.3077	0.3064	0.3032

ตารางที่ ข.8 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3085	0.3175	0.3043	0.3150
2	0.3029	0.3058	0.3028	0.3156
3	0.3114	0.3192	0.3088	0.3088
4	0.3059	0.3132	0.3105	0.3064
5	0.3031	0.3096	0.3068	0.3035

ตารางที่ ข.9 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 15 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0007	0.0017	0.0005	0.0002
2	0.0004	0.0013	0.0004	0.0003
3	0.0010	0.0011	0.0015	0.0003
4	0.0008	0.0020	0.0007	0.0003
5	0.0006	0.0019	0.0004	0.0003
ค่าเฉลี่ย	0.0007	0.0016	0.0007	0.0003

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.10 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3093	0.3118	0.3008	0.3151
2	0.3081	0.3202	0.3002	0.3117
3	0.3021	0.3109	0.3111	0.3112
4	0.3181	0.3121	0.3079	0.3146
5	0.3178	0.3056	0.3127	0.3076

ตารางที่ ข.11 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3120	0.3176	0.3045	0.3172
2	0.3098	0.3248	0.3032	0.3135
3	0.3050	0.3157	0.3146	0.3155
4	0.3198	0.3182	0.3125	0.3166
5	0.3194	0.3120	0.3156	0.3095

ตารางที่ ข.12 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0027	0.0058	0.0037	0.0021
2	0.0017	0.0046	0.0030	0.0018
3	0.0029	0.0048	0.0035	0.0043
4	0.0017	0.0061	0.0046	0.0020
5	0.0015	0.0064	0.0029	0.0019
ค่าเฉลี่ย	0.0021	0.0055	0.0035	0.0024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.13 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3137	0.3071	0.3070	0.3055
2	0.3142	0.3110	0.3118	0.3057
3	0.3092	0.3082	0.3125	0.3138
4	0.3110	0.3126	0.3109	0.3114
5	0.3072	0.3087	0.3114	0.3121

ตารางที่ ข.14 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3148	0.3108	0.3098	0.3075
2	0.3150	0.3155	0.3136	0.3078
3	0.3096	0.3128	0.3147	0.3148
4	0.3118	0.3198	0.3146	0.3136
5	0.3078	0.3117	0.3146	0.3121

ตารางที่ ข.15 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาทีก)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0011	0.0037	0.0028	0.0020
2	0.0008	0.0045	0.0018	0.0021
3	0.0004	0.0046	0.0022	0.0010
4	0.0008	0.0072	0.0037	0.0022
5	0.0006	0.0030	0.0032	0.0000
ค่าเฉลี่ย	0.0074	0.0046	0.0027	0.0015

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.16 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาทีก)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3196	0.3038	0.3154	0.3098
2	0.3056	0.3128	0.3145	0.3089
3	0.3120	0.3047	0.3071	0.3054
4	0.3070	0.3125	0.3091	0.3125
5	0.3173	0.3181	0.3065	0.3092

ตารางที่ ข.17 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3201	0.3070	0.3182	0.3112
2	0.3062	0.3152	0.3158	0.3092
3	0.3125	0.3068	0.3082	0.3060
4	0.3077	0.3152	0.3100	0.3128
5	0.3176	0.3208	0.3074	0.3095

ตารางที่ ข.18 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 30 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0005	0.0032	0.0028	0.0020
2	0.0006	0.0024	0.0013	0.0021
3	0.0005	0.0021	0.0011	0.0010
4	0.0007	0.0027	0.0009	0.0022
5	0.0003	0.0027	0.0009	0.0000
ค่าเฉลี่ย	0.0005	0.0026	0.0014	0.0006

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.19 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3014	0.3921	0.2961	0.3094
2	0.2924	0.2934	0.3123	0.2952
3	0.3043	0.2954	0.3094	0.2891
4	0.3034	0.2923	0.3151	0.2924
5	0.2882	0.2933	0.2892	0.2981

ตารางที่ ข.20 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3042	0.3142	0.3062	0.3133
2	0.2971	0.3051	0.3225	0.2971
3	0.3074	0.3073	0.3193	0.2925
4	0.3093	0.3084	0.3242	0.2959
5	0.2951	0.3152	0.3024	0.3010

ตารางที่ ข.21 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0028	0.0221	0.0101	0.0039
2	0.0047	0.0117	0.0102	0.0019
3	0.0031	0.0119	0.0099	0.0034
4	0.0059	0.0161	0.0091	0.0035
5	0.0069	0.0219	0.0132	0.0029
ค่าเฉลี่ย	0.0047	0.0167	0.0105	0.00312

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.22 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3070	0.3028	0.3012	0.3170
2	0.3097	0.3211	0.3112	0.3148
3	0.3112	0.3004	0.3159	0.3156
4	0.3127	0.3176	0.3025	0.3189
5	0.3156	0.3095	0.3067	0.3185

ตารางที่ ข.23 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3255	0.3288	0.3151	0.3199
2	0.3112	0.3325	0.3233	0.3186
3	0.3125	0.3159	0.3242	0.3182
4	0.3134	0.3272	0.3025	0.3215
5	0.3168	0.3230	0.3089	0.3208

ตารางที่ ข.24 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0185	0.0260	0.0139	0.0029
2	0.0015	0.0114	0.0121	0.0038
3	0.0013	0.0155	0.0083	0.0026
4	0.0007	0.0096	0.0000	0.0026
5	0.0015	0.0135	0.0022	0.0023
ค่าเฉลี่ย	0.0046	0.0152	0.0073	0.0028

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแผ่น (Filter) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ที่ความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข.25 น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3149	0.3095	0.3132	0.3105
2	0.3085	0.3064	0.3156	0.3067
3	0.3114	0.3068	0.3147	0.3064
4	0.3055	0.3207	0.3085	0.3112
5	0.3116	0.3201	0.3024	0.3078

ตารางที่ ข.26 น้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.3204	0.3350	0.3280	0.3127
2	0.3135	0.3095	0.3187	0.3093
3	0.3138	0.3075	0.3198	0.3085
4	0.3112	0.3425	0.3115	0.3144
5	0.3148	0.3311	0.3055	0.3099

ตารางที่ ข.27 ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter หลังทำการทดลองความชื้น 45 % อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

ครั้ง/เวลา (นาที)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)			
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
1	0.0055	0.0255	0.0148	0.0022
2	0.0050	0.0031	0.0031	0.0026
3	0.0024	0.0007	0.0051	0.0021
4	0.0057	0.0218	0.0030	0.0032
5	0.0032	0.0110	0.0031	0.0021
ค่าเฉลี่ย	0.0044	0.0124	0.0058	0.0024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นาย ณัฐวุฒิ พลายเสน  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2541  
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี  
 ที่อยู่ 64/448 หมู่ 4 ตำบลหัวเตย อำเภอพุนพิน  
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 8 4130  
 E-mail nattawut3840@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2561  
วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร  
วิชาชีพชั้นสูง ประจำปี 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นาย อนูวัฒน์ กาญจนะ  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541  
 ภูมิลำเนา จังหวัด สุราษฎร์ธานี  
 ที่อยู่ 137/3 หมู่ 5 ตำบลบางมะเดื่อ อำเภอพุนพิน  
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 8 4130  
 E-mail anuwat35738@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2561  
วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร  
วิชาชีพชั้นสูง ประจำปี 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้