การเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้

COMPARISION OF PARTICLE CONCENTRATION AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS EMITTED BY RUBBER LEAVES OF COMBUSTION PERIODS

นายเจตน์สฤษฎ์ นนทิการ

CHETSARIT NONTHIKAN

นางสาวปิยะธิดา พลวัน

PIYATHIDA POLLAWAN

นางสาวสุรัสสา เครือบุตรสิน

SURATSA KHRUEABUTSIN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้

COMPARISION OF PARTICLE CONCENTRATION AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS EMITTED BY RUBBER LEAVES OF COMBUSTION PERIODS

นายเจตน์สฤษฎ์ นนทิการ

CHETSARIT NONTHIKAN

นางสาวปิยะธิดา พลวัน

PIYATHIDA POLLAWAN

นางสาวสุรัสสา เครือบุตรสิน

SURATSA KHRUEABUTSIN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISION OF PARTICLE CONCENTRATION AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS EMITTED BY RUBBER LEAVES OF COMBUSTION PERIODS

CHETSARIT NONTHIKAN

PIYATHIDA POLLAWAN

SURATSA KHRUEABUTSIN

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 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้

PROJECT TITLE COMPARISION OF PARTICLE CONCENTRATION AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS EMITTED BY RUBBER LEAVES OF COMBUSTION PERIODS

ชื่อนักศึกษา เจตน์สฤษฎ์ นนทิการ **รหัสประจำตัว** 62201039

ปิยะธิดา พลวัน **รหัสประจำตัว** 62201067

สุรัสสา เครือบุตรสิน **รหัสประจำตัว** 62201106

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วชร กาลาสี

ปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.อดิเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการสอบ	
ผศ.วรรษชล	วัฒนะ	กรรมการสอบ	
ดร.ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	
รศ.วชร	กาลาสี	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 13 มิถุนายน 2566 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ตึก A ห้อง309 ห้องประชุมกาสะลอง

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 มิถุนายน 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้

PROJECT TITLE COMPARISION OF PARTICLE CONCENTRATION AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS EMITTED BY RUBBER LEAVES OF COMBUSTION PERIODS

ชื่อนักศึกษา เจตน์สฤษฎ์ นนทิการ **รหัสประจำตัว** 62201039

ปิยะธิดา พลวัน **รหัสประจำตัว** 62201067

สุรัสสา เครือบุตรสิน **รหัสประจำตัว** 62201106

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ รศ.วชร กาลาสี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้ โดยจะแบ่งออกเป็น ศึกษาใบยางที่มีปริมาณความชื้นฐานแห้งที่แตกต่าง โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1.การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันเฉลี่ย โดยการใช้เครื่อง Andersen air sampler ที่สามารถแยกอนุภาคในช่วง 0.43 ถึง 11 ไมโครเมตร โดยได้ทำการทดสอบที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที 2.ความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน โดยใช้เครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน ทำการทดสอบโดยการให้ความร้อนอุณหภูมิคงที่ ที่ 250 องศาเซลเซียส เผาไหม้ชีวมวลจากใบยางพาราจำนวน 10 กรัม กำหนดอัตราการไหลของอากาศในทดสอบคือ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที กำหนดความชื้นของชีวมวลที่ทำการทดสอบ 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ทุกการทดลองจะทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันเพิ่มขึ้นตามความชื้นของชีวมวล เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของชีวมวล ในทางกลับกันปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศในห้องเผาไหม้ 3.การตรวจหาค่าความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของชีวมวลมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นของ PAHs คือชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นสูงทำให้ค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงตามไปด้วย และลดลงเรื่อยๆตามปริมาณความชื้นของชีวมวลที่กำหนดในการทดลอง

คำสำคัญ: การเผาไหม้, สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, ความเข้มข้นของมวลอนุภาคทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	COMPARISION OF PARTICLE CONCENTRATION AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS EMITTED BY RUBBER LEAVES OF COMBUSTION PERIODS	
Student	CHETSARIT NONTHIKAN	**Student ID** 62201039
	PIYATHIDA POLLAWAN	**Student ID** 62201067
	SURATSA KHRUEABUTSIN	**Student ID** 62201106
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Assoc. Prof. Wachara Kalasee	

Abstract

The research aimed to study and compare the concentrations and size distribution of soot particles and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) emitted during the combustion of Para rubber leaves over a period of burning time. The study was divided into three parts: 1. Size distribution of soot particles. The average size distribution of soot particles was determined using an Andersen air sampler, which can separate particles in the range of 0.43 to 11 micrometers. The sampling was conducted at a constant flow rate of 28.3 liters per minute for a duration of 10 minutes. 2. The mass concentration of soot particles. The mass concentration of soot particles was measured using a PM sampling device. The combustion of 10 grams of Para rubber leaves was performed at a constant temperature of 250 degrees Celsius. The airflow rates used in the tests were 10, 15, and 20 liters per minute. The moisture content of the biomass during testing varied at 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% on a dry basis. Each test was repeated three times. 3. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) Analysis. The study also involved the analysis of PAHs. It was found that the moisture content of the biomass influenced the concentration of PAHs. Higher moisture content resulted in higher PAH concentrations due to the effect of moisture on the complete combustion of the biomass. Conversely, increasing the airflow rates in the combustion chamber led to a continuous decrease in the concentration of PAHs.

Keywords: Combustion, polycyclic aromatic hydrocarbons, total particle mass concentration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วชร กาลาสี อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยเป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำปรึกษา คำชี้แนะและข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านเป็นอย่างมากที่ให้คำปรึกษาข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดลองงานวิจัย รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่อนุเคราะห์ทุนสนับสนุนงานวิจัยและสถานที่สำหรับการดำเนินงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนสำคัญในการศึกษาและสนับสนุนด้านกำลังใจมาโดยตลอดขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกท่านทั้งสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตร และวิศวกรรมพลังงานในการช่วยเหลือการทำงาน ตลอดจนบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้การสนับสนุนมาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้เสร็จลงด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เจตน์สฤษฎ์ นนทิการ

ปิยะธิดา พลวัน

สุรัสสา เครือบุตรสิน

13 มิถุนายน 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง V

สารบัญรูป VI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.6 แผนการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคเขม่าควัน 4

2.2 การแยกอนุภาคออกจากแก๊ส 5

2.3 ขนาดอนุภาค (Particles size) 9

2.4 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 10

2.5 การกระจายขนาดอนุภาค 16

2.6 การเผาไหม้ 19

2.7 เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง 21

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

บทที่ 3 วัสดุและอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุ 29

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง 30

3.3 หลักการทำงานของ Andersen air sampler 34

3.4 หลักการสกัด PAHs 36

3.5 หลักการวิเคราะห์ HPLC 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 หลักการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน 37

3.7 ขั้นตอนและการเก็บตัวอย่าง 37

3.8 Mass median aerodynamic diameter (MMAD) 41

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลศึกษาปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้ 42

4.2 ผลศึกษาหาปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้ 44

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันตลอดช่วงการเผาไหม้ 45

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 46

5.2 ปัญหาที่พบ 47

5.2 ข้อเสนอแนะ 47

บรรณานุกรม VII

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง 48

ประวัติผู้จัดทำ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินงาน 3

2.1 โครงสร้างของ PAHs 16 11

2.2 แหล่งกำเนิดของ PAHs 12

2.3 การแบ่งกลุ่มแหล่งกำเนิดตามความสามารถในการก่อให้เกิดมะเร็ง 13

2.4 การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง 14

2.5 การกำหนดค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งของ PAHs 15

4.1 วิธีการโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) 44

ก.1 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 10% db 49

ก.2 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 20% db 50

ก.3 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 30% db 51

ก.4 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 40% db 52

ก.5 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 50% db 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 รูปร่างของอนุภาค 4
2.2 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบสกัดกั้น (Interception) 6
2.3 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction) 6
2.4 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการแพร่ (Diffusion) 7
2.5 ช่วงการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกของ Andersen air sampler 16
2.6 แสดงกระบวนการทำงานขั้นพื้นฐานสำหรับกระบวนการ HPLC 21
2.7 แผนภาพการทำงานของกระบวนการ HPLC 22
2.8 แสดงตัวอย่างการแยก HPLC 23
2.9 โครมาโตแกรมและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 24
3.1 ใบยางพารา 29
3.2 ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา 29
3.3 เครื่องบดและอัดเม็ดชีวมวล 30
3.4 ชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน 30
3.5 กระดาษกรอง (Filter) 31
3.6 ถุงซิปล็อค 32
3.7 ที่คีบหรือแหนบ 32
3.8 ถุงมือ 33
3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 33
3.10 Andersen air sampler 34
3.11 แผนภาพการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยใช้ Andersen air sampler 35
3.12 ระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน 37
3.13 แผ่นกระดาษกรองไปแช่ซิลิกาเจล 37
3.14 เตาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส 38
3.15 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง 38
3.16 ชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา 39
3.17 การนำกระดาษกรองใส่ลงใน Filter holder 39
3.18 กระดาษกรองที่ใส่ในถุงซิปล็อคหลังการทดลอง 40
3.19 กระดาษกรองแช่ซิลิกาเจล 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.20 กระดาษกรองที่ใส่ในถุงซิปล็อคหลังจากการชั่งน้ำหนัก 41

4.1 Flow chart แสดงเงื่อนไขการทดลอง 42

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคเขม่าควันกับอัตราการไหลของอากาศ 43

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Median Aerodynamic Diameter (d_p) และ $dm/d\log(d_p)$ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันในประเทศไทย มากกว่า 90% ของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ คือ แผ่นยางรมควัน (RSS) น้ำยางข้น (RCL) และยางแท่ง [1] แผ่นยางจะถูกล้างและแขวนไว้บนราวไม้ไผ่ในห้องรมควัน และความร้อนจากการเผาไม้ยางไหม้พาราจะไหลเข้าสู่ห้องรมควันผ่านช่องที่สร้างอยู่ใต้พื้นห้องรมควัน เมื่อไม้ยางพาราถูกเผาจะเกิดขี้เถ้าคาร์บอน ไอน้ำ เขม่าควัน ซึ่งอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากการเผาไหม้จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในที่ทำงานและอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพของพนักงานด้วย [2] โดยทั่วไปแล้ว PAHs จะไม่เกิดปฏิกิริยาและมีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายและเปลี่ยนรูปทางชีวภาพของ PAHs อาจเป็นสารก่อมะเร็งที่มีศักยภาพมาก PAHs อาจก่อนให้เกิดมะเร็งปอด มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ และมะเร็งผิวหนัง PAHs หลายตัวจัดอยู่ในประเภทที่น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ในขณะที่การสัมผัสกับ PAHs ในระดับสูงนั้นทำให้ภูมิคุ้มกันลดลง ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับอนุภาคขนาดเล็ก คือ 0.5 ไมครอนเมตรหรือเล็กกว่า [3]

เขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีการบ่มและแห้ง ตัวอย่างเช่น แผ่นยางรมควัน (RSS) ที่เป็นผลมาจากการเผาไหม้วัสดุคาร์บอน ในที่นี้ คือไม้ยางพารา การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไม้ยางพาราส่งผลให้เกิดการปล่อยอนุภาคเขม่าควันที่มีขนาด 1 ไมครอนเมตร และองค์ประกอบทางเคมี เช่น PAHs และกรดฟลีนอลิก ที่มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดเชื้อราในแผ่นยางรมควัน ในปัจจุบันมีการใช้ไม้ยางพารากันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย จึงส่งผลให้มีราคาสูงขึ้น เราจึงเล็งเห็นว่าใบยางพารา (Rubber Leaves) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของต้นยางพาราที่ถูกปล่อยทิ้ง นำมาใช้ประโยชน์ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการรมควันแผ่นยางพาราแทนไม้ยางพาราที่มีราคาสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน คือ ในการเผาไหม้ใบยางพารานั้นมีการปล่อยอนุภาคเขม่าควัน และองค์ประกอบทางเคมีออกมาเช่นเดียวกันกับไม้ยางพารา จำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ใบยางพาราตลอดช่วงการเผาไหม้ โดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การกระจายขนาดของอนุภาคและความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ใบยางพารา ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค เช่น PAHs และสารประกอบอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้

1.2.2 เพื่อหาปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้

1.2.3 เพื่อหาขนาดของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากใบยางพารา

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ความชื้นของใบยางพาราที่ทำการทดสอบมีค่า 10 20 30 40 50 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง

1.3.2 เวลาที่ใช้ในการทดลอง คือ ตลอดช่วงการเผาไหม้

1.3.3 น้ำหนักของใบยางพาราที่ใช้ในการทดลองมีค่า 10 กรัม

1.3.4 อัตราการไหลที่ทำการทดสอบมีค่า 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

1.3.5 วิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอาโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ ด้วยเทคนิคไฮเปอร์ ฟอร์แมน ลิควิท โครมาโตรกราฟ (HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY; HPLC)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบขนาดของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้

1.4.2 ทราบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้

1.4.3 ทราบปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควันและเครื่อง Andersen simpler

1.5.3 ติดตั้งเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควันและเครื่อง Andersen simpler
เพื่อเก็บตัวอย่าง

1.5.4 ศึกษาเทคนิคไฮเปอร์ ฟอร์แมน ลิควิท โครมาโตรกราฟ (HPLC)

1.5.5 ทดลองและเก็บผลจากการทดลอง

1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 1.1 การดำเนินงานการศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้

ขั้นตอนการทำงาน	ปี 2565					ปี 2566					
	ส.ค	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1.ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูล	←	—	→								
2.วางแผนการดำเนินงาน			←	—	→						
3.จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์				←	—	—	→				
4.ทำการทดลองและรวมรวมผลข้อมูล						←	—	—	→		
5.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง								←	—	→	
6.จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์										←	— →

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคเขม่าควัน

2.1.1 รูปร่างของอนุภาค (Shape) จะแตกต่างกันตามลักษณะของวิธีการเกิดขึ้นและธรรมชาติของวัสดุของอนุภาคนั้น แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. อนุภาคที่มีขนาดเท่ากันทั้งสามมิติ (Isometric Particles) เป็นอนุภาคที่มี ขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงที่เท่ากันหรือเกือบเท่ากัน โดยมีรูปร่างเป็นทรงกลม เกือบกลม หรือหลายเหลี่ยม ได้แก่ คาร์บอนแบล็ค สนิมเหล็ก และละอองเกสรดอกไม้ [4]

2. อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน (Platelets) เป็นอนุภาคที่มีขนาดความกว้างและความยาวมาก แต่มีขนาดความหนาน้อย ทำให้มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน ได้แก่ เศษใบชา และเศษใบไม้

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

รูปที่ 2.1 รูปร่างของอนุภาค

2.1.2 โครงสร้างของอนุภาค อนุภาคอาจล่องลอยในบรรยากาศในลักษณะอนุภาคเดี่ยวหรือบางชนิดอาจจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนในลักษณะที่เป็นเส้นยาว ทรงกลม หรือลูกบาศก์ เรียกว่า แอกโกเมอเรต หรือฟล็อก ตัวอย่างเกิดจากการจับตัวกันของขนาดเล็กที่มีประไฟฟ้า ตัวอย่างของอนุภาคแบบนี้ ได้แก่ ควันที่มีความหนาแน่นสูง หรือฟูมโลหะ อนุภาคบางชนิดเกิดขึ้นโดยมีขนาดใหญ่และมีด้านในกลวงบรรจุด้วยก๊าซ หรือด้านในกลวงบรรจุด้วยอนุภาคขนาดเล็ก

2.1.3 คุณสมบัติของผิวอนุภาค มีขนาดเล็กดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวมากและมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การติดไฟ การดูดซับการดูดซึม หรือผลจากไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ขนาดของพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ในอนุภาคต่างกลุ่มกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยของขนาดเท่ากันและมีหนักเท่ากัน อนุภาคกลุ่มที่มีความแตกต่างของขนาด มากจะทำให้มีพื้นที่ผิวรวมน้อยกว่าอนุภาคกลุ่มที่มีความแตกต่างของขนาดน้อยกว่าหรือมีขนาดเท่าๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแยกอนุภาคออกจากแก๊ส

ปัจจุบันมีวิธีที่ใช้ในการแยกอนุภาคออกจากแก๊สหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมาก มีดังนี้ คือ

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

โดยการเลือกเครื่องมือแยกอนุภาคนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ มีขั้นตอนดังนี้คือ

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

ขั้นแรกของการเลือกเครื่องมือแยกอนุภาคที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้

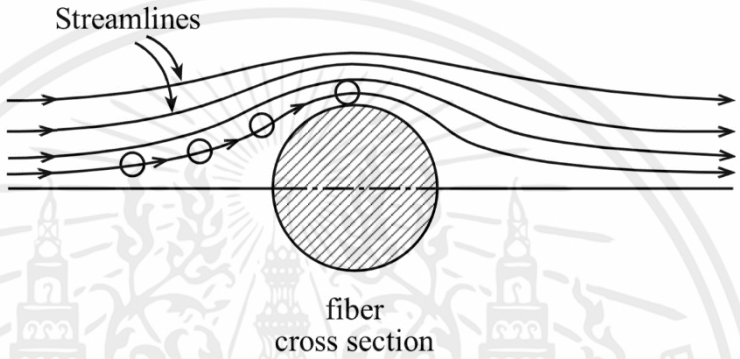
1. ความเข้มข้นของอนุภาคมวลสารในกระแสแก๊ส (gas stream) ที่ต้องการทำความสะอาด
2. การกระจายขนาดของอนุภาคมวลสารที่ต้องการแยกออก
3. อัตราการไหลของแก๊ส
4. อัตราที่ยอมปล่อยให้อนุภาคมวลสารออกสู่ภายนอกได้

จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้สามารถเลือกระบบต่างๆ ซึ่งสามารถแยกอนุภาคมวลสารได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ก่อนจะพิจารณาการใช้งานและ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องมือได้แก่ ความดันที่สูญเสียในอุปกรณ์ [5] กำลังงานที่ต้องการและปริมาณของเหลวที่ต้องการ (กรณีใช้ระบบสัมผัสแบบเปียก) เป็นต้น

การแยกอนุภาคโดยการกรองเป็นวิธีการง่ายที่สุดในการสุ่มตัวอย่างแอโรซอล และเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำอากาศให้สะอาด [6] เนื่องจากการกรองเป็นวิธีการที่สะดวก มีประโยชน์กว้างขวางและประหยัด ซึ่งการจับอนุภาคโดยการกรองมีกลไกในการดักจับอยู่ 3 วิธีการ คือ การดักจับแบบสกัดกั้น (interception) การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction) และการแพร่ (diffusion)

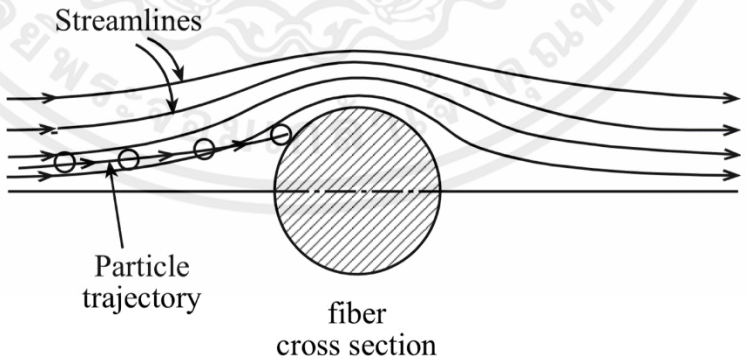
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกอนุภาคแบบสกัดกั้น (Interception) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคมีขนาดระหว่าง 0.2-0.5 ไมโครเมตร [7] เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตามกระแสของแก๊ส (gas streamline) แล้วตกกระทบกับเส้นใย (fiber) โดยไม่ได้ชนจากนั้นจึงถูกจับไว้ ดังรูปที่ 2.2 เนื่องจากอนุภาคมีขนาดที่แน่นอนจึงถูกสมมติว่าอนุภาคเคลื่อนที่ตามกระแสของแก๊ส (streamline) เพียงอย่างเดียว โดยกลไกการแยกอนุภาคแบบ สกัดกั้น (interception) เป็นกลไกอย่างเดียวที่อนุภาคไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากกระแสของแก๊สเลย ซึ่งอนุภาคที่ถูกดักจับด้วยวิธีนี้จะเป็นอนุภาคที่เคลื่อนที่ในแนวกระแสที่มีระยะทางห่างจากเส้นใยไม่เกินรัศมีของอนุภาคนั้นๆ



รูปที่ 2.2 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบสกัดกั้น (Interception)

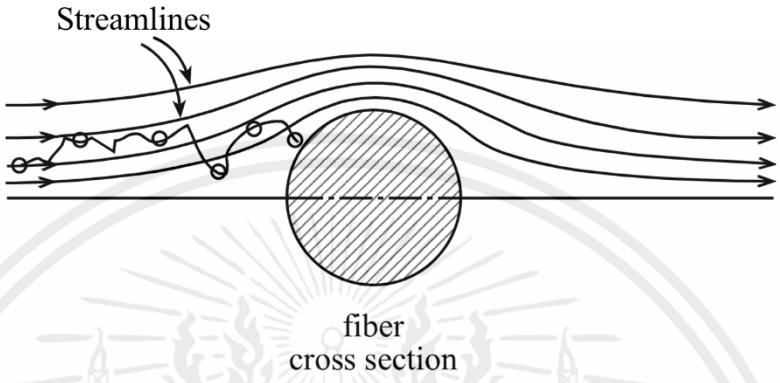
การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมโครเมตร [7] เพราะอนุภาคมีความเฉื่อย เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถปรับตัวให้ว่องไวหรือมีความเร็วพอที่จะเปลี่ยนทิศทางตามกระแสของแก๊สได้อย่างทันทีทันใด เมื่อเข้าใกล้บริเวณเส้นใย (fiber) ทำให้อนุภาคเคลื่อนออกจากแนวกระแสและชนกับเส้นใยตัวกรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่ (Diffusion) เกิดขึ้นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 0.2 ไมโครเมตร [7] เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กมากจึงมีการเคลื่อนที่เป็นแบบไร้ระเบียบ (random) กระทบกับเส้นใย (fiber) จนถูกจับไว้ โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นจะเกิดจากอิทธิพลของการพาตามแนวกระแสและการเคลื่อนที่แบบไร้ระเบียบออกนอกแนวกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแยกอนุภาคอนุภาคแบบการแพร่ (Diffusion)

2.2.1 การวัดขนาดอนุภาคและนับจำนวนอนุภาค มีวิธีดังนี้

1. การใช้กล้องจุลทรรศน์ ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง หรือมิดเจ็ต อิมพิงเจอร์ (mid-jet impinger) ในกรณีใช้กระดาษกรอง ต้องนำกระดาษกรองมาวางบนสารละลายที่ทำให้กระดาษกรองโปร่งแสง เพื่อที่เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วจะทำให้สามารถมองเห็นอนุภาคได้ ในกรณีใช้กระดาษ มิดเจ็ต อิมพิงเจอร์ อาจต้องเขย่าอนุภาคให้กระจายตัวด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ก่อนทำการตรวจวัดขนาด

2. การใช้อิเล็กตรอนไมโครสโคป คือกล้องจุลทรรศน์ชนิดหนึ่งซึ่งมีกำลังในการขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดามาก จึงใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเพื่อศึกษาโครงสร้างและลักษณะของอนุภาคอย่างละเอียด

3. การใช้เครื่องมือที่ใช้แสง ใช้วิธีส่งลำแสงไปกระทบกับอนุภาคที่ล่องลอยอยู่ในอากาศที่ถูกดูดให้ไหลผ่านเครื่องมือเมื่อลำแสงกระทบอนุภาค ก็จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของลำแสงปริมาณการเบี่ยงเบนของลำแสงขึ้นกับจำนวนอนุภาคที่ลำแสงไปกระทบ เหมาะกับวัดจำนวนอนุภาค ไม่เหมาะกับวัดขนาดของอนุภาค

6. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงเหวี่ยง เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดและเก็บตัวอย่างในเครื่องเดียวกันโดนที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ไซโคลน (cyclone) อนุภาคในกระแสอากาศจะถูกดูดเข้ามาในกรวยทรงกลมถูกทำให้หมุนด้วยแรงหนีศูนย์กลางลงสู่ก้นกรวย อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนจะหลุดจากกระแสอากาศถูกเหวี่ยงลงสู่ก้นกรวย ส่วนอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมครอนเมตร จะถูกดูดหมุนย้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มายังปากกรวยที่มีกระดาษกรองดักเอาไว้อนุภาคส่วนนี้จะติดที่กระดาษกรองเมื่อนำไปชั่งจะทราบปริมาณของอนุภาคดังกล่าว

1. การใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อวัดขนาดและนับจำนวนอนุภาคสามารถใช้กระดาษกรองหรือมิดเจ็ตอิมพิงเจอร์ (midjet impinger) เพื่อเก็บตัวอย่างอนุภาคได้. ในกรณีใช้กระดาษกรอง, กระดาษจะถูกวางบนสารละลายที่ทำให้เป็นโปร่งแสงเพื่อให้สามารถมองเห็นอนุภาคเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์. ส่วนในกรณีใช้มิดเจ็ตอิมพิงเจอร์, อนุภาคจะต้องถูกเขย่าให้กระจายตัวด้วยเครื่องอุลตราโซนิคก่อนที่จะทำการตรวจวัด.

2. การใช้อิเล็กตรอนไมโครสโคปเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเพื่อศึกษาโครงสร้างและลักษณะอนุภาคอย่างละเอียด.

3. การใช้เครื่องมือที่ใช้แสงใช้วิธีส่งลำแสงไปกระทบกับอนุภาคที่ล่องลอยอยู่ในอากาศเพื่อเกิดการเบี่ยงเบนของลำแสง ปริมาณการเบี่ยงเบนของลำแสงขึ้นกับจำนวนอนุภาคที่ลำแสงกระทบ วิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดจำนวนอนุภาคแต่ไม่เหมาะกับการวัดขนาดของอนุภาค.

4. การใช้เครื่องมือที่ใช้ประจุไฟฟ้าเป็นวิธีหนึ่งในการวัดจำนวนอนุภาคในอากาศ วิธีนี้เรียกว่าการใช้เครื่องมือที่ใช้ประจุไฟฟ้า. กระบวนการเริ่มต้นด้วยการดูดอากาศที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ให้ไหลผ่านเครื่องมือ แล้วให้ประจุไฟฟ้าแก่โมเลกุลของอากาศ ประจุไฟฟ้าก็จะถูกถ่ายทอดไปยังอนุภาคที่อยู่ในกระแสอากาศ โดยการวัดจะใช้แผ่นโลหะคู่ตรวจจับและวัดปริมาณประจุไฟฟ้าที่ถูกส่งผ่าน

5. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงกระทบเป็นเครื่องมือที่จัดเก็บและตรวจวัดในเครื่องเดียวกัน อนุภาคในกระแสอากาศจะถูกดูดเข้ามาในเครื่องด้วยความเร็วสูง แล้วกระทบกับวัตถุที่ถูกจัดวางขวางกั้นทิศทางการไหล อนุภาคใหญ่จะติด ส่วนอนุภาคเล็กกว่าจะไปกระทบอีกชั้นถัดไป

6. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงเหวี่ยงเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดและเก็บตัวอย่างในเครื่องเดียวกัน มีตัวอย่างเช่นไซโคลน (cyclone) โดยอนุภาคในกระแสอากาศจะถูกดูดเข้ามาในกรวยทรงกลมและถูกทำให้หมุนด้วยแรงหนีศูนย์กลางลงสู่ก้นกรวย อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนจะหลุดจากกระแสอากาศและถูกเหวี่ยงลงสู่ก้นกรวย ส่วนอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมครอนจะถูกดูดหมุนย้อนมายังปากกรวยที่มีกระดาษกรองดักเอาไว้ อนุภาคส่วนนี้จะติดที่กระดาษกรอง เมื่อนำไปชั่งจะทราบปริมาณของอนุภาคดังกล่าว

โดยทั่วไปคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของอนุภาคฝุ่นละอองที่นิยมวัดคือความเข้มข้นเชิงมวล (Mass concentration), จำนวนอนุภาค (Number concentration), ขนาดของอนุภาค (Particle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.3 ขนาดอนุภาค (Particles size)

ขนาดของอนุภาคหมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter) โดยคุณสมบัติของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค [8] อนุภาคที่เป็นของแข็งมักจะอยู่ในรูปร่างที่มีความซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ และลักษณะของอนุภาคการกำหนดขนาดมักจะสมมติว่าอนุภาคมีรูปร่างเป็นลักษณะทรงกลม และกำหนดขนาดของอนุภาคตามความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม หน่วยเป็นไมโครเมตร แต่โดยทั่วไปอนุภาคมีรูปร่างหลายลักษณะที่ไม่เป็นทรงกลม ดังนั้นอนุภาคที่ไม่เป็นทรงกลมมักบอกขนาดที่เป็น Equivalent Diameter ทำการเทียบกับ พื้นที่ผิว ปริมาตร มวล เป็นต้น นอกจากนี้อาจบอกลักษณะของขนาดอนุภาคที่วัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ได้ดังนี้

1. Martin's Diameter เป็นความกว้างของอนุภาคในแนวขนานกับ Microscopic scan ซึ่งแบ่งครึ่งอนุภาคให้มีขนาดเท่ากัน

2. Ferret's Diameter เป็นความยาวระหว่างเส้นสัมผัส 2 เส้นบนด้านตรงกันข้ามของอนุภาคซึ่งตั้งฉากกับ Microscopic scan

3. Equivalent Diameter เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับ Projected Area ของอนุภาค

4. Aerodynamic Diameter เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีความหนาแน่น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความเร็วตกในอากาศ (Setting velocity) เท่ากับของอนุภาคค่า Aerodynamic Diameter ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค รูปร่าง และความหนาแน่นของอนุภาค

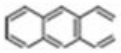
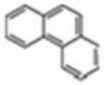
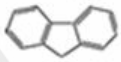
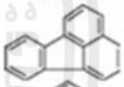
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) เป็นสารประกอบเคมีที่มีโครงสร้างที่แตกต่างกันกว่า 200 ชนิด แต่ละชนิดจะมีลักษณะและมีความเป็นพิษที่แตกต่างกัน [9] เป็นกลุ่มสารที่มีความเป็นพิษค่อนข้างรุนแรง โดยส่วนใหญ่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และเป็นสารก่อมะเร็งกับสิ่งมีชีวิต [10] [11] [12] [13] [14] แหล่งกำเนิด PAHs เกิดขึ้นจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด [15] [16] รวมถึงการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไม้ หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์และอุตสาหกรรมต่างๆ [17] [18] [19]องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ระบุให้ Benzo[a]pyrene (B[a]P) เป็น PAHs ที่มีความเสี่ยงสูงในการเป็นสาเหตุของมะเร็งและมีผลต่อการก่อให้เกิดการกลายพันธุ์สูง โดยค่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ควรไม่เกิน 1 ng/m3 ซึ่งหากเกินถือเป็นระดับที่เสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็ง เพื่อลดความเสี่ยงอันตรายต่อการเป็นโรคมะเร็ง [20] [21] [22] [23] [24] [25] สำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดให้ PAHs 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่มีความสำคัญในอันดับต้นๆ โดยโครงสร้างโมเลกุลของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของ PAHs 16 ชนิดหลักเป็นสารก่อมะเร็ง ที่กำหนดโดย US EPA

PAHs	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	โครงสร้าง
Naphthalene	Nap	128	
Acenaphthylene	Acy	152	
Acenaphthene	Ace	154	
Anthracene	An	178	
Phenanthrene	Phe	178	
Fluorene	Flu	166	
Chrysene	Chry	228	
Benzo[a]anthracene	B[a]A	228	
Pyrene	Pyr	202	
Fluoranthene	Fl	202	
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	252	
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	252	
Benzo[a]pyrene	B[a]P	252	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	276	
Benzo[ɡ,h,i]perylene	B[ɡ,h,i]P	276	
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	278	

ที่มา: IARC (2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs

โดยแหล่งกำเนิด PAHs แบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ แหล่งจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งแหล่งกำเนิด PAHs แต่ละที่จะมีการปลดปล่อยสาร PAHs ที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังตาราง 2.2

ตารางที 2.2 แหล่งกำเนิดของของ PAHs

แหล่งกำเนิดของ PAHs	ชนิดของ PAHs
การเผาไหม้ถ่านหิน	Phe, Fl, Pyr
การผลิตถ่านโค้ก	An, Phe, B[a]P
การเผาขยะ	Pyr, Phe, Fl
การเผาไหม้ไม้	B[a]P, Fl
การเผาไหม้น้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรม	Fl, Pyr, Chry

ที่มา: Kulkami *et al.* (2000) [32]

2.4.2 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่ร่างกาย

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและรวดเร็ว โดย PAHs ในอากาศจะรวมกับอนุภาคแขวนลอยเข้าสู่ปอดและไปสู่เนื้อเยื่อจนถึงชั้นไขมัน สะสมในตับ ไต [26] [23] ด้วยความไม่มีขั้วของ PAHs (non-polar) ทำให้มันละลายได้ดีในไขมัน นอกจากนี้ PAHs ยังอาจสะสมได้ในผิวหนังชั้นเมมเบรนซึ่งเป็นฟอสโฟไลบิต (Phospholipids) [27] แต่บางชนิดของ PAHs ถูกขับออกผ่านทางปัสสาวะและอุจจาระ เช่น D[a,h]A [28] PAHs สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง [29]

PAHs ในสิ่งแวดล้อม จะมีแหล่งกำเนิดจำนวนมากและมีหลายชนิด ซึ่ง International Agency for Research on Cancer (IARC) และ U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) ได้แบ่งกลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็งทั้งต่อคนและสัตว์ ดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มแหล่งกำเนิดตามความสามารถในการก่อให้เกิดมะเร็ง โดย IARC

แหล่งกำเนิด	กลุ่ม1	กลุ่ม2A	กลุ่ม2B	กลุ่ม3
ฝุ่นจากการผลิตถ่านหิน (Coal dust)				X
น้ำมันจากถ่ายหิน (Coal tars)	X			
ยาฆ่าเชื้อและกันผุ (Creosotes)		X		
น้ำมันดิบ (Crude oil)				X
น้ำมันเบนซีน (Gasoline)			X	
เชื้อเพลิงเครื่องบิน (Jet fuel)				X
ตัวทำละลายน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum solvents)				X
น้ำมันปิโตรเลียมจากแผ่นหิน (Shale oil)	X			
เขม่าดำ, เขม่าถ่านหิน (Soots)	X			
ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel exhausts)		X		
ไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซีน (Gasoline exhausts)				
ควันจากการสูบบุหรี่ (Tobacco smoke)	X		X	

ที่มา: IARC (1984a, 1984b, 1985)

หมายเหตุ: กลุ่ม1 คือ กลุ่มที่สามารถก่อมะเร็งต่อคน
กลุ่ม2A คือ กลุ่มที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่จะก่อมะเร็งต่อคน
กลุ่ม2B คือ กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน
กลุ่ม3 คือ ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง โดย IARC (1987) และ US-EPA (1993)

Name with abbreviation	Classification	
	IARC[a]	US EPA[b]
Reference		
Banzo[a]pyrene (B[a]P)	2A	B2
PAHs		
Acenaphthene (Ace)	3	D
Benzo[a]anthracene (B[a]A)	2A	B2
Benzo[b]fluoranthene (B[b]F)	2B	B2
Benzo[k]fluoranthene (B[k]F)	2B	B2
Banzo[e]pyrene (B[e]P)	3	
Benzo[g,h,i]perylene (B[g,h,i]P)	3	D
Chrysene (Chry)	3	B2
Dibenzo[a,h]anthracene (D[a,h]A)	2[a]	B2
Fluoranthene (Fl)	3	D
Fluorene (Flu)	3	D
Indeno[1,2,3-cd]pyrene (Ind)		B2
Naphthalene (Nap)	2B	D
Phenanthrene (Phe)	3	D
Pyrene (Pyr)	3	D

ที่มา:

[a] IARC (1987)

2A: กลุ่มที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่จะก่อมะเร็งในคน (มีข้อมูลเพียงพอที่จะระบุว่าสามารถก่อมะเร็งต่อคนได้)

2B: กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน (มีข้อมูลเพียงพอที่จะระบุว่าสามารถก่อมะเร็งต่อสัตว์ และน่าจะก่อมะเร็งต่อคนได้)

[b] US EPA (1993)

B2: กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน (มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะระบุว่าสามารถก่อมะเร็งต่อคน แต่มีข้อมูลพอที่จะระบุว่าสามารถก่อมะเร็งต่อสัตว์ได้

D: ไม่สามารถจัดกลุ่มได้สำหรับ คนและสัตว์ (มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะระบุว่าสามารถก่อมะเร็งต่อสัตว์ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAHs แต่ละชนิดมีความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งไม่เท่ากัน จึงมีการกำหนดค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งของสาร PAHs แต่ละชนิดดังตารางที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่าสถาบันส่วนใหญ่กำหนดให้ B[a]P มีค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งสูง [30]

ตารางที่ 2.5 การกำหนดค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งของ PAHs แต่ละชนิดของแต่ละสถาบัน

PAHs		MOE (1997)	US-EPA (1993)	Cal EPA (1993)
Fluoranthene	Fl			0.01
Phenanthrene	Phe	0.0064		
Anthracene	An	0.28		0.1
Fluorene	Flu			0.01
Pyrene	Pyr	0.0		0.1
Benzo[a]anthracene	B[a]A	0.014	0.145	0.1
Chrysene	Chry	0.026	0.0044	0.01
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	0.11	0.167	0.1
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	0.037	0.020	0.1
Benzo[a]pyrene	B[a]P	1.0	1	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	0.067	0.055	0.1
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	0.89	1.11	
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	0.012		0.01

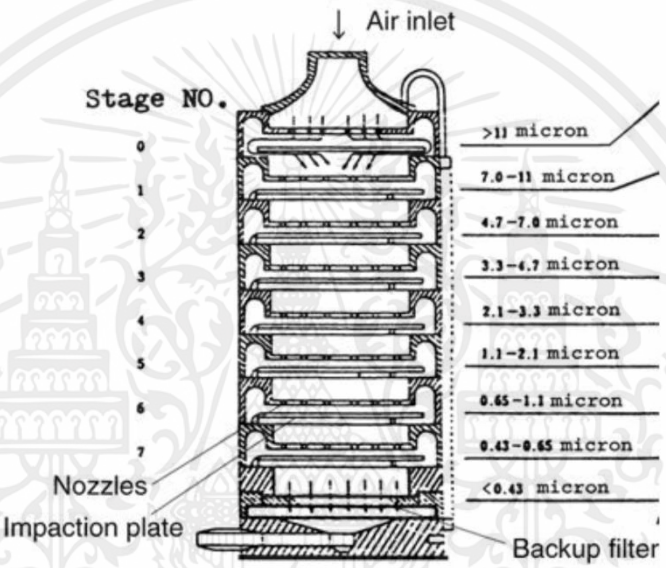
2.4.3 การแพร่กระจาย PAHs สู่สิ่งแวดล้อม

อนุภาคในชั้นบรรยากาศ (Airborne Particulate Matter) ประกอบด้วยก๊าซและอนุภาคที่ลอยอยู่ โดยที่อนุภาคประกอบขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนของของเหลวและของแข็ง และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ โดย PAHs จะกระจายตัวสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งอนุภาคจะถูกปลดปล่อยออกมาจากหลายแหล่งสู่ชั้นบรรยากาศและแพร่กระจายไปทั่วสิ่งแวดล้อม สาร PAHs สามารถแพร่กระจายสู่ผิวน้ำได้จากการปล่อยของโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียที่เกิดจากการบำบัดน้ำ และการดูดซับที่ผิวหน้าโดยตรงกับ PAHs ในบรรยากาศ [31] [32] [33] สำหรับในดินพบว่า PAHs สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลและเป็นบริเวณกว้าง มักพบดินปนเปื้อนสาร PAHs ได้บริเวณแหล่งที่มีของเสียอันตราย หรือโรงงานอุตสาหกรรม PAHs ในดินก็สามารถปนเปื้อนลงสู่น้ำบาดาลได้ [34] [35] [52]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การกระจายขนาดอนุภาค (Particles size distribution)

ฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการหรือกิจกรรมต่าง ๆ หรือที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมักประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดต่างกัน ค่าที่ใช้บอกลักษณะของการกระจายขนาดของอนุภาคได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode) วิธีการแสดงการกระจายของอนุภาคคือฮีสโตแกรม (Histo gram) 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 ไมโครเมตร7.0 ไมโครเมตร 4.7 ไมโครเมตร 3.3 ไมโครเมตร 2.1 ไมโครเมตร 1.1 ไมโครเมตร 0.65 ไมโครเมตรและ 0.43 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

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 สามารคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลสำหรับเครื่องนี้ออกแบบไว้ที่ 28.3 ลิตรต่อนาที ρ_pคือ ความหนาแน่นของอนุภาค (1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) μ คือ ความหนืดของอากาศ (1.84×10^{-4} กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร-นาที) ψ คือ ตัวประกอบอิมแพคชัน (Impaction parameter) จากการออกแบบ โดยที่ ψ_{50} = 0.14 เมื่อประสิทธิภาพอิมแพคชันมีค่า 50% N คือ จำนวนของหัวฉีด C_C คือ แฟคเตอร์ปรับแก้ของคันนิงแฮม (Cunningham correction factor = $1.00+0.16 \times 10^{-4}$) D_j คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet (เซนติเมตร) dp_{50} คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิก ที่ประสิทธิภาพ 50%

- หาน้ำหนักของอนุภาคเข่ม่าควันแต่ละชั้น (Collected weight) จาก

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

- หาน้ำหนักอนุภาคเข่ม่าควันรวม

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

เมื่อ M_i คือ มวลของอนุภาคที่ชั้น i M_{total} คือ มวลของอนุภาคทั้งหมด

- หาสัดส่วนของน้ำหนักอนุภาคในแต่ละชั้น (Mass fraction) จาก

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

- หาความเข้มข้นเชิงมวลโดยรวม (Total mass concentration) จาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{total} คือ ปริมาตรของแก๊สทั้งหมดที่ไหลผ่าน Andersen sampler ตลอดการเก็บตัวอย่าง ซึ่งหาได้จาก

$$V_{total} = Qt \tag{2.6}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (28.3 ลิตรต่อนาที) t คือ ระยะเวลาทั้งหมดตลอดการเก็บตัวอย่าง

ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์มัธยฐานเชิงมวล (Mass Median Aerodynamic Diameter, MMAD) สามารถหาได้โดยการนำข้อมูลที่วัดได้ไปวิเคราะห์โดยใช้กราฟ Log-Probability ที่มีค่าแกนของความถี่สะสมเป็นมาตราส่วน Probability และค่าแกนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (diameter) เป็นหน่วยของล็อกการิทึม (Logarithm) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการกระจายของขนาดอนุภาคในแต่ละชั้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถนำไปหาค่าเฉลี่ยโดยมวลของอนุภาคส่วนใหญ่ได้โดย

$$MMAD = d_{50\%} \tag{2.7}$$

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

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

โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (GSD) ของอัตราส่วนทั้งสองขนาดจะไม่มีหน่วยและต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.0 เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การเผาไหม้

การเผาไหม้ (Combustion) [8] 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 เชื้อเพลิงประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้มากในประเทศไทยโดยจะนิยมใช้กับยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพราะสะดวกต่อการใช้งาน และให้ค่าทางความร้อนสูง เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้กันส่วนมากจะได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น สำหรับเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากพืชผลทางการเกษตร เช่น การผลิตไบโอดีเซล การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ เป็นต้น

3. เชื้อเพลิงก๊าซ หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ หรืออาจหมายถึงก๊าซทุกชนิดที่สามารถนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดการเผาไหม้ทำให้ได้พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และก๊าซแต่ละชนิดจะให้ความร้อนจากการเผาไหม้ที่ไม่เท่ากัน เช่น ก๊าซชีวมวล ก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซ เอ็น.จี.วี. เป็นต้น

ออกซิเจน (Oxygen) คือ ก๊าซที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของทั้งพืช และสัตว์ รวมถึงมนุษย์เราด้วย เพราะถ้าร่างกายขาดออกซิเจนเพียงไม่กี่นาทีก็เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ออกซิเจนเป็นธาตุที่สัญลักษณ์ คือ O มีเลขอะตอมเท่ากับ 8 มีความหนาแน่น 1.43 กรัมต่อลิตร หนักกว่าอากาศเล็กน้อย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีปริมาณเป็นอันดับ 2 ในส่วนประกอบของบรรยากาศโลก อากาศที่เราหายใจจะมีออกซิเจนประมาณ 21 เปอร์เซนต์รองมาจากก๊าซไนโตรเจนที่มีอยู่ประมาณ 78 เปอร์เซนต์ออกซิเจนนอกจากจะอยู่ในอากาศแล้วยังพบอยู่รวมกับธาตุชนิดอื่นๆ รอบตัวเราอีกด้วย เช่น น้ำ (H_2O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ในสภาวะปกติออกซิเจนจะอยู่ในสถานะก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ ละลายน้ำได้ ไม่ติดไฟ แต่ว่าออกซิเจนเป็นสารที่ช่วยให้ติดไฟ นั่นคือถ้าไม่มีออกซิเจนก็จะไม่สามารถติดไฟได้ ออกซิเจน เป็นธาตุที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอยู่ได้ทั้ง 3 สถานะ คือ

1. ก๊าซที่สภาวะปกติออกซิเจนจะอยู่ในสถานะก๊าซ

2. ของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ -182.5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าออกซิเจนจะเปลี่ยนสถานะจากก๊าซ กลายเป็นของเหลวสีฟ้าอ่อน

3. ของแข็งที่อุณหภูมิ -218.4 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าออกซิเจนจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็งสีฟ้าอ่อน

ความร้อน (Heat) คือ พลังงานชนิดหนึ่ง สามารถทำงานได้ และสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ๆ ได้รวมไปถึงพลังงานรูปอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนได้ พลังงานความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และจะหยุดการถ่ายเทเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิเท่ากันปฏิกิริยาลูกโซ่ คือ ปฏิกิริยาที่ 1 ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 2 และจากปฏิกิริยาที่ 2 ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 3 เป็นดังนี้เรื่อย ๆ การเผาไหม้แบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ การเผาไหม้แบบมีเปลว (Flammable) และการเผาไหม้แบบไม่มีเปลว (Non-Flammable) การเผาไหม้แบบมีเปลว แบ่งออกเป็นสองลักษณะ

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

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

การเผาไหม้แบบไม่มีเปลวไฟ แบ่งออกเป็นสองลักษณะ

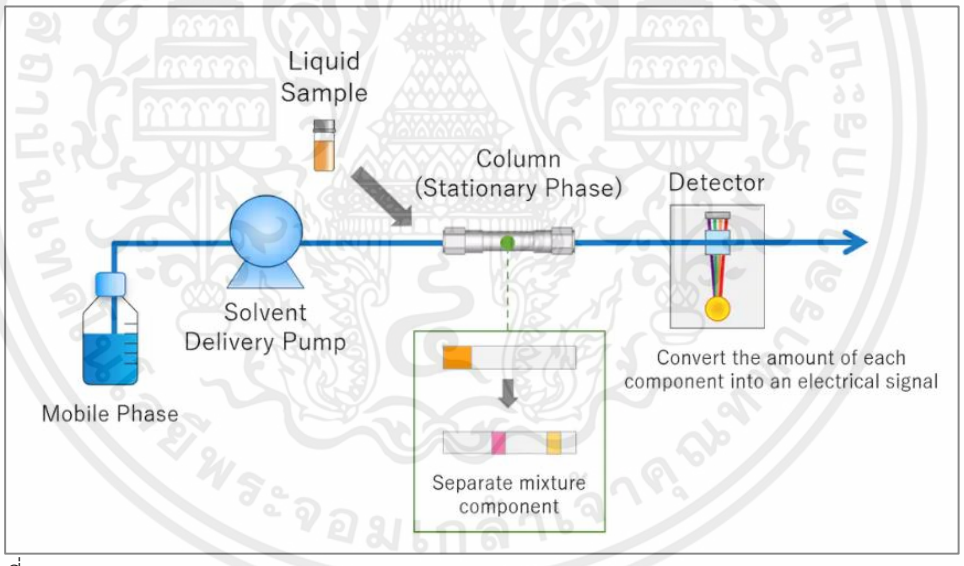
1. แบบเผาคุ (smoldering combustion)

2. แบบลุกไหม้ได้ด้วยตนเอง (Spontaneous combustion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)

HPLC ย่อมาจากโครมาโตกราฟีของเหลวที่มีประสิทธิภาพสูง " สเปกตรัม " [36] คือเทคโนโลยีที่แยกกันในเทคโนโลยีต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นสำหรับสเปกตรัม อุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการแยกโมเลกุล (เรียกว่า สเปกตรัมสี) และ เมื่อเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยทั่วไปจะเรียกสั้นๆ ว่า " LC " ของสเปกตรัม ทุกวันนี้ สเปกตรัมของเหลวที่มีประสิทธิภาพสูง (UHPLC) ยังสามารถวิเคราะห์ได้เร็วยิ่งขึ้นเฉพาะสารประกอบที่ละลายในสารละลายเท่านั้น ที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย HPLC รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการทำงานขั้นพื้นฐานสำหรับกระบวนการ HPLC สารละลายที่ใช้ในการแยกตัวอย่างของเหลว เพื่อวิเคราะห์ HPLC เรียกว่าเฟสการไหล เฟสการไหลจะถูกส่งไปยังเสาแยกหรือที่เรียกว่าเฟสคงที่จากนั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องตรวจจับด้วยอัตราการไหลคงที่ซึ่งควบคุมโดยปั๊มลำเลียง ตัวทำละลายตัวอย่างจำนวนหนึ่งถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์เพื่อแยกสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง ส่วนประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น ถูกแยกออกจากกัน สารประกอบที่แยกได้ในคอลัมน์จะถูกตรวจจับโดยเครื่องตรวจจับที่ปลายน้ำของคอลัมน์และแต่ละสารประกอบจะถูกระบุและวัดปริมาณ



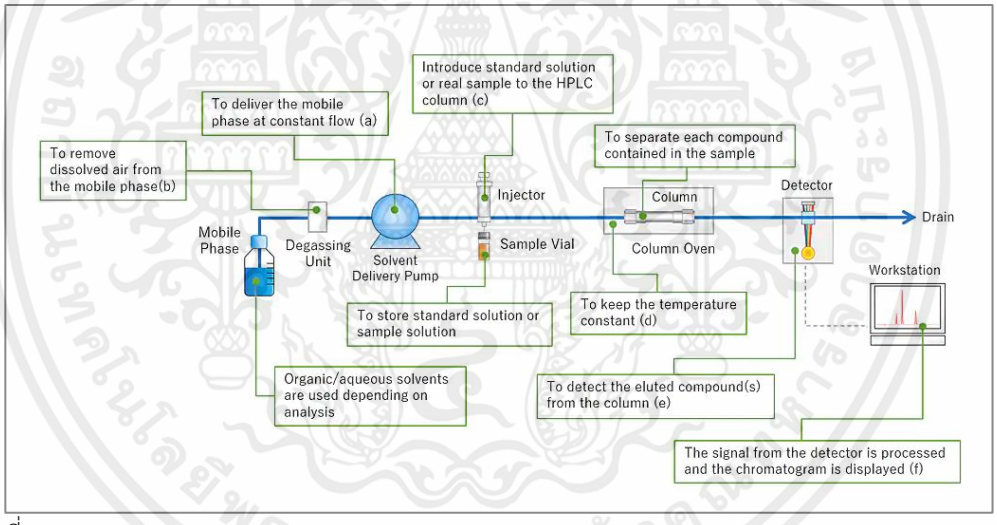
ที่มา: SHIMAZU Excellence in Science (2022)

รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการทำงานขั้นพื้นฐานสำหรับกระบวนการ HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 หลักการทำงานของโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)

สำหรับกระบวนการทำงาน HPLC ปั๊มจะส่งเฟสการเคลื่อนที่ที่อัตราการไหลที่ควบคุมได้ (a) อากาศสามารถละลายได้ง่ายในเฟสเคลื่อนที่ภายใต้ความดันบรรยากาศมาตรฐานที่เราอาศัยอยู่ หากเฟสเคลื่อนที่มีฟองอากาศและเข้าสู่ปั๊มส่งของ ปัญหาต่างๆ เช่น ความผันผวนของอัตราการไหลและเสียงพื้นฐาน/การเบี่ยงเบนอาจเกิดขึ้นได้ หน่วยกำจัดก๊าซช่วยป้องกันปัญหานี้โดยการกำจัดฟองอากาศในเฟสเคลื่อนที่ (ข) หลังจากกำจัดอากาศที่ละลายแล้ว เฟสเคลื่อนที่จะถูกส่งไปยังคอลัมน์ จากนั้น หัวฉีดตัวอย่างจะป้อนสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างเข้าสู่เฟสเคลื่อนที่ (c) ความผันผวนของอุณหภูมิอาจส่งผลต่อการแยกสารประกอบในคอลัมน์ คอลัมน์ถูกวางไว้ในเตาอบแบบคอลัมน์เพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ (d) สารประกอบที่ชะออกจากคอลัมน์จะถูกตรวจพบโดยเครื่องตรวจจับซึ่งวางอยู่ด้านล่างของคอลัมน์ (e) เวิร์กสเตชันจะประมวลผลสัญญาณจากเครื่องตรวจจับเพื่อรับโครมาโตแกรมเพื่อระบุและหาปริมาณสารประกอบ (f) แสดงในรูปที่ 2.7



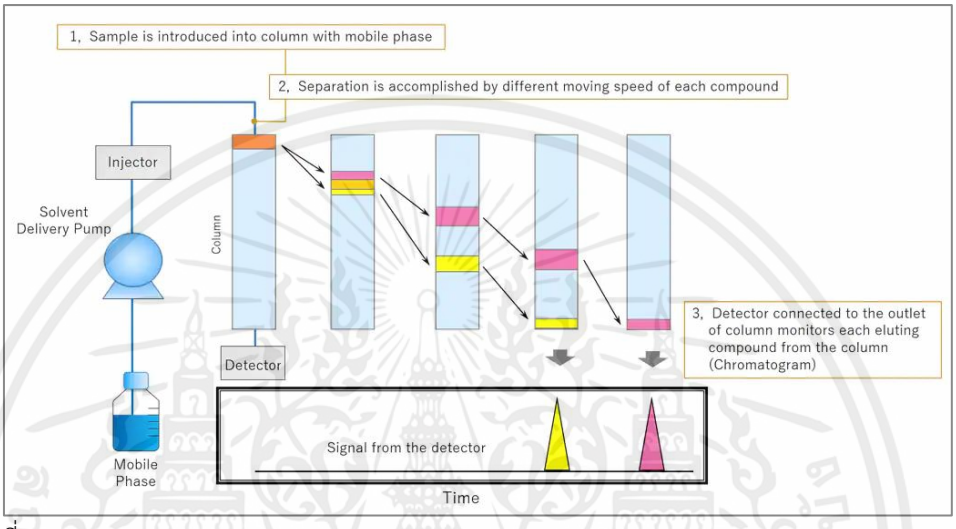
ที่มา: SHIMAZU Excellence in Science (2022)

รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานของกระบวนการ HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การแยก HPLC

HPLC สามารถแยกและตรวจจับสารประกอบแต่ละชนิดด้วยความแตกต่างของความเร็วของสารประกอบแต่ละชนิดผ่านคอลัมน์ รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการแยก HPLC มีสองเฟสสำหรับ HPLC: เฟสเคลื่อนที่และเฟสอยู่กับที่ เฟสเคลื่อนที่เป็นของเหลวที่ละลายสารประกอบเป้าหมาย เฟสนิ่งเป็นส่วนหนึ่งของคอลัมน์ที่มีปฏิสัมพันธ์กับสารประกอบเป้าหมาย



ที่มา: SHIMAZU Excellence in Science (2022)

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการแยก HPLC

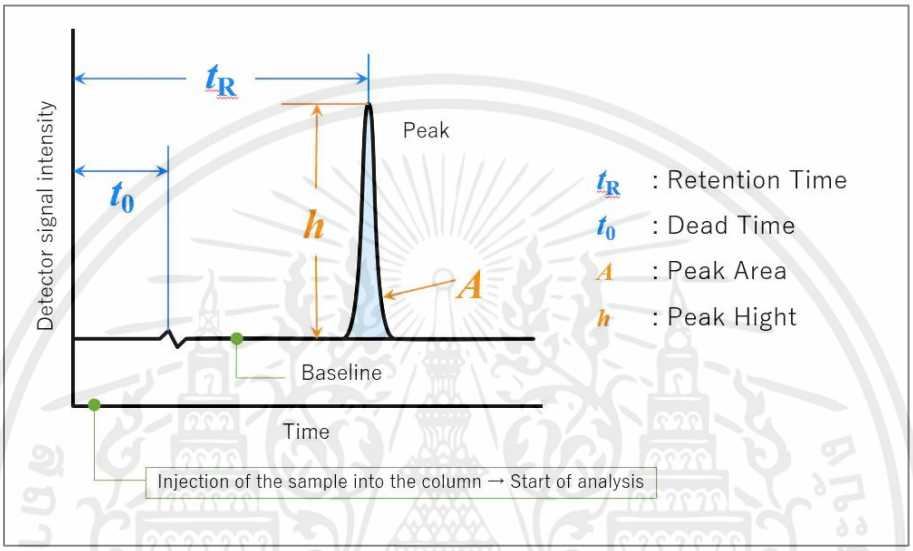
ในคอลัมน์ ยิ่งความสัมพันธ์แน่นแฟ้นมากขึ้น (เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์) ระหว่างส่วนประกอบและเฟสการเคลื่อนที่ ส่วนประกอบจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ไปพร้อมกับเฟสการเคลื่อนที่ได้เร็วยิ่งขึ้น ในทางกลับกัน ยิ่งความสัมพันธ์กับเฟสหยุดนิ่งมากเท่าไหร่ การเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ก็จะยิ่งช้าลงเท่านั้น รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างที่องค์ประกอบสีเหลืองมีความสัมพันธ์ที่ดีกับเฟสการเคลื่อนที่และเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ส่วนประกอบสีชมพูมีความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งกับเฟสเคลื่อนที่และเคลื่อนที่ผ่านอย่างช้าๆ ความเร็วในการชะในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบกับเฟสที่อยู่นิ่ง

2.7.3 วิธีอ่านโครมาโตแกรม

คำว่า "โครมาโตกราฟี" หมายถึง กราฟที่ได้จากโครมาโทกราฟี รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างโครมาโตแกรม โครมาโตแกรมเป็นแผนภาพสองมิติที่มีแกนตั้งแสดงความเข้มข้นในแง่ของความเข้มของสัญญาณเครื่องตรวจจับ และแกนนอนแสดงถึงเวลาในการวิเคราะห์ เมื่อไม่มีสารประกอบถูกชะออกจากคอลัมน์ เส้นที่ขนานกับแกนนอนจะถูกพล็อต สิ่งนี้เรียกว่าพื้นฐาน เครื่องตรวจจับจะตอบสนองตามความเข้มข้นของสารประกอบเป้าหมายในแถบชะล้าง โครงร่างที่ได้จะมีรูปร่างคล้ายระฆังมากกว่าสามเหลี่ยม รูปร่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า "ยอด" Retention time (R_t) คือช่วงเวลาระหว่างจุดฉีดตัวอย่างและจุดสูงสุดของจุดสูงสุด เวลาที่จำเป็นสำหรับสารประกอบที่ไม่คงอยู่ (สารประกอบที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์สำหรับเฟสที่อยู่นิ่ง) ไปจากหัวฉีดไปยังเครื่องตรวจจับเรียกว่าเวลาตาย (t_0) ความสูงสูงสุด (h) คือระยะห่างแนวตั้งระหว่างปลายยอดและเส้นฐาน และพื้นที่พีค (A) สีฟ้าอ่อนคือพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยจุดสูงสุดและเส้นฐาน ผลลัพธ์เหล่านี้จะใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของส่วนประกอบของตัวอย่าง



รูปที่ 2.9 โครมาโตแกรมและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจแอล ดอร์ รอนโซโร (2003) [37] ได้ศึกษาการใช้ชีวมวลที่เพิ่มขึ้นเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเปลี่ยนสภาพทางความร้อนเคมีในปีต่อๆ ไป ทำให้การวิจัยกระบวนการที่สะอาดและมีประสิทธิภาพมีความจำเป็น การทดลองได้ดำเนินการในโรงงานเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์เบดบรรยากาศนำร่องขนาด 1 เมกะวัตต์ซึ่งพารามิเตอร์ได้รับการปรับให้เหมาะสมเพื่อให้ได้กระบวนการเผาไหม้ชีวมวลที่สะอาดการเผาไหม้ทุกประเภททำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะพอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (PAHs) การแยกการกระจายของ PAHs แยกได้จากเศษส่วนของอนุภาคขนาดแปดขนาดที่เก็บรวบรวมในเถ้าลอยที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ชีวมวล การกระจายขนาดอนุภาคดำเนินการด้วย ระบบส่งผลกระทบแบบคาสเคดแบบหลายขั้นตอน (Andersen Mark III) ที่มีการตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0·01 ถึง 4·00 นาโนเมตร

จิราภรณ์ ชมณี และคณะ (2009) [38] ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคจากการเผาไหม้ไม้ยางพาราในกระบวนการรมควันแผ่นยางธรรมชาติพารามิเตอร์ทดลองประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นไม้และระยะเวลาการเผาไม้ 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 การปล่อยมวลสู่ที่ทำงาน 4.33 กก./เดือน/ห้อง ความเข้มข้นของอนุภาคควันและความเข้มข้นของ PAH ที่เกี่ยวข้องขึ้นอยู่อย่างชัดเจนเกี่ยวกับความชื้นไม้และระยะเวลาการเผาไหม้ 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 ที่จับกับอนุภาคควันถูกครอบงำโดยสารประกอบ PAH วงแหวน 4-6 ที่มีส่วนทำให้มากกว่า 60% ของทั้งหมด PAHs

Tekasakul และคณะ (2008) [39] งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะของอนุภาคควันจากการเผาไหม้ไม้ยางและการประเมินอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมของสถานที่ทำงานและบรรยากาศ มีการประเมินความเข้มข้น การกระจายขนาด และส่วนประกอบทางเคมีสำหรับอนุภาคที่ตัวอย่างในสถานที่ต่างๆ ในเมืองหาดใหญ่ ประเทศไทย รวมถึงแหล่งกำเนิดและสถานที่ทำงาน ในฐานะองค์ประกอบที่เป็นอันตรายทั่วไป มีการวิเคราะห์ PAHs ที่นี่เพื่อหารือเกี่ยวกับลักษณะทางเคมีของควัน PM พบว่าความเข้มข้นของ PAH ภายในสถานที่ทำงานสำหรับการสูบบุหรี่ยางสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่มีวงแหวนกลิ่นมากขึ้นในส่วนบางของพาร์ทิเลส ความเข้มข้นของ PAHs สูงกว่าสภาพแวดล้อมประมาณสิบเท่า ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหา healtb ที่ร้ายแรงสำหรับแรงงาน ความเข้มข้นและเศษส่วนของ PAHs เปลี่ยนไปตามสถานที่ แสดงให้เห็นถึงการละลาย การผสมและการเสื่อมสภาพของสารมลพิษ

ธีระศักดิ์ และคณะ (2552) [40] 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.) และช่วงที่5 (16.00-18.00 น.) ผลการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่ 1 และ 5 มีปริมาณอนุภาคฝุ่นมากกว่าทุกช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tekasakul และคณะ (2006) [41] ได้ศึกษาในการผลิตแผ่นยางรมควันไม้ฟืนถูกเผาเพื่อให้ความร้อนแก่แผ่นยางในห้องสูบบุหรี่ยาง การเผาไม้สดทำให้เกิดความร้อนสูงความเข้มข้นของอนุภาคควันที่ปล่อยออกมาสู่บริเวณที่ทำงานของโรงงาน อนุภาคควันจากการเผาไหม้ไม้มีความเข้มข้นสูงมากของมลพิษที่เป็นอันตราย เช่น โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) PAHs อาจก่อให้เกิดมะเร็งของปอด กระเพาะปัสสาวะ และผิวหนัง PAHs ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับอนุภาคในอากาศละเอียด โดยทั่วไปแล้ว 0.5 ไมโครเมตรหรือเล็กกว่านั้น ในนอกจากนี้ PAHs ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคในอากาศที่ดีสามารถจะถูกขนส่งในระยะทางไกล นี่เป็นหนึ่งในแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศที่สำคัญในบริเวณใกล้เคียง วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของ PAHs ในระยะอนุภาคในอากาศในบรรยากาศประเทศไทยมีความเกี่ยวข้องกับการเผาไม้ยางพาราในการผลิตอย่างไร เมืองตั้งอยู่ในกลางพื้นที่โรงงานที่ใช้ไม้ฟืนรวมทั้งสหกรณ์ยางหลายแห่ง

พีรพงศ์ ซีฆสกุล และคณะ (2555) [42] ยางธรรมชาติเป็นสินค้าโภคภัณฑ์หลักของประเทศไทย โดยครึ่งหนึ่งเป็นยางแผ่นรมควัน (RSS) ไม้เชื้อเพลิงถูกเผาในระหว่างการผลิต RSS เพื่อให้ความร้อนและทำให้แผ่นยางแห้ง ควันจากไม้ที่เผาไหม้ประกอบด้วยสารเคมีในอนุภาคและก๊าซ โดยเฉพาะพอลิไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ในการศึกษานี้ ได้ประเมินอิทธิพลของควันจากการเผาไม้ฟืนของสหกรณ์การสูบยางต่ออากาศในบรรยากาศในเมืองหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทางภาคใต้ของประเทศไทย ในปี 2548 การกระจายขนาดอนุภาคของอากาศแวดล้อมใน ตัวเมืองหาดใหญ่และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์แสดงให้เห็นพฤติกรรมสองกิริยาอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้แหล่งที่มาของอนุภาคหลายแหล่ง TSP โดยทั่วไปต่ำเฉลี่ย 45.6 และ 46.2 ไมโครกรัม

BF Magnussen และคณะ (1997) [44] การแปรผันของจำนวน Reynolds ส่งผลอย่างมากต่อปริมาณเขม่า โดยความเข้มข้นของเขม่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน Reynolds ลดลง การเติมไนโตรเจนและไอน้ำลงในเชื้อเพลิง รวมถึงการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง ช่วยลดปริมาณเขม่า การสังเกตเหล่านี้โดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคำนึงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ปั่นป่วนอันเนื่องมาจากเงื่อนไขอินพุตต่างๆ

Irvin Glassman (1989) [44] แนวโน้มการเกิดเขม่าของเชื้อเพลิงจะได้รับการวิเคราะห์โดยคำนึงถึงประเภทของรูปแบบการทดลองที่ใช้ เช่น เปลวไฟต่อแบบผสม, วงแหวนร่วมแบบปกติและแบบผกผัน, Walthard-Parker และเปลวไฟแบบทวนกระแส หรือท่อช็อต ตรวจสอบผลกระทบที่สำคัญของอุณหภูมิในการทดลองแต่ละประเภท แนวโน้มสัมพัทธ์ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่จะเขม่าเมื่อบริโภคในเปลวไฟผสมล่วงหน้าและเปลวไฟแบบกระจาย ถูกกำหนดโดยการวัดเชิงคุณภาพของอัตราส่วนสมมูลของเขม่าวิกฤตและความสูงของควันที่อุณหภูมิต่างๆ และยืนยันในเชิงปริมาณโดยการวัดชนิดเคมี ความหนาแน่นของจำนวนเขม่าและเศษส่วนปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H.GG.Wagner (2003) [45] การก่อตัวของเขม่าในการเผาไหม้ในตอนเริ่มต้นของ industrialization ปล่องควันถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณของความมั่งคั่งของพื้นที่ วันนี้ถือว่าเป็นเรื่องของสุขภาพเพื่อหลีกเลี่ยงการปล่อยเขม่า อนุภาคเขม่าที่ไอเสียจากอุปกรณ์เผาไหม้ เช่น เครื่องยนต์หรือเตาหลอมเป็นผลพลอยได้ที่ไม่พึงปรารถนาอย่างมาก ไม่เพียงเพราะเป็นสารมลพิษทางอากาศเท่านั้น แต่ยังรวมถึเหตุผลด้านประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาอุปกรณ์เผาไหม้ด้วย

WH Dalzell (1970) และคณะ [46] ความถูกต้องของการวัดการกระจายแสงเป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดขนาดอนุภาคเขม่าและความเข้มข้นจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในเปลวไฟได้รับการตรวจสอบแล้วโดยสัมพันธ์กับการตรวจวัดบนหัวเผาโพรเพนพิเศษ พบว่าแบบจำลองอนุภาคทรงกลมแบบ mono-disperse ที่อาศัยในอดีตสามารถทำนายไดอะแกรมการกระจายในข้อตกลงที่แย่กว่ากับการทดลองมากกว่าแบบจำลองคลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นที่นี่ ทั้งแผนภาพกระจายและไมโครกราฟอิเล็กตรอนของเขม่าที่รวบรวมได้รองรับแบบจำลองคลัสเตอร์ลูกโซ่ ซึ่งทำนายความเข้มข้นของมวลเพิ่มเติมที่อยู่ภายในปัจจัย 2 ของที่กำหนดโดยการกรองทั้งหมด

วชร และคณะ (2006) [47] ศึกษาประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนทางไฟฟ้าสถิตแบบชนิดขั้วเดี่ยวในการดักจับอนุภาคเขม่าควัน และฝุ่นแป้ง จากผลการทดลองประกอบด้วย คือ ส่วนที่ 1 การหาประสิทธิภาพของการดักจับเขม่าจะใช้กระดาษกรองอากาศก่อน และหลังผ่านเครื่องตกตะกอน ซึ่งผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเขม่าและฝุ่นแป้งจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วงแรก เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงเนื่องจากการเกาะของเขม่าและฝุ่นแป้ง มีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยการดักอนุภาคมีค่าเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับฝุ่นแป้ง และ 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเขม่า ส่วนที่ 2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ เริ่มต้น และความต่างศักย์ด้านทุติยภูมิโดยผลที่ได้ พบว่าค่าความต่างศักย์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแบบเชิงเส้น คณะวิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่าต้องมีการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพใช้งานที่สูงขึ้น

ดารณี และคณะ (2544) [48] การศึกษาการดักจับอนุภาคขนาดเล็กโดยใช้เครื่องจับฝุ่นแบบเปียกชนิดBaffle Plate จากการศึกษาพบว่าเครื่องจับฝุ่นแบบเปียกชนิด Baffle plate ที่เพลท 1 ชั้นจะให้ประสิทธิภาพการจับฝุ่นประมาณร้อยละ 20 ที่ความดันลด 1.5 ถึง 3 นิ้ว น้ำและที่เพลท 3 ชั้น ประสิทธิภาพการจับฝุ่นประมาณ ร้อยละ 40 ที่ความดันลด 7 ถึง 9 นิ้ว น้ำสำหรับอนุภาคขนาดไม่เกิน 2 ไมโครเมตรและความเร็วลมมีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยที่ความเร็วลมสูงจะให้ประสิทธิภาพมากกว่าที่ความเร็วลมต่ำเนื่องจากผลของแรงเฉื่อยของอนุภาคฝุ่นในอากาศที่มากขึ้นจากการเพิ่มความเร็วลมทำให้เกิดการแยกอนุภาคจากอากาศได้ดีขึ้น

อัศวิน สืบนุการณ์ (2544) [49] เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก ได้พัฒนาเตาเผามูลฝอยต้นแบบประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ห้องเผาไหม้ และห้องดักจับมลพิษโดยห้องเผาไหม้เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เมตร ปริมาตรห้องเผา 0.945 ลบ.ม. และใช้หอพ่นน้ำ (Spray Tower) เป็นเครื่องควบคุม มลพิษอากาศ ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศการศึกษานี้ เพื่อประเมินหาอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสม ซึ่งความสามารถในการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Self-Burning Capacity) โดยเปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้อุณหภูมิในเตาเผา ในกรณีติดตั้งเหล็กก้างปลา ใช้อัตราส่วนผสมระหว่าง มูลฝอยแห้งและเปียก คือ 1:0 4:1 3:1 2:1 และ 1:1 ผลการศึกษาจากการติดตั้งเหล็กก้างปลาในห้องเผาไหม้ เพื่อช่วยเพิ่มความพรุนในกองมูลฝอยที่เข้าเผา สามารถเพิ่มอัตราการป้อนมูลฝอยเฉลี่ย 114 กก.ต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการเผาไหมอยู่ที่ 150 - 1,100 องศาเซลเซียส

ธิดารัตน์ และคณะ (2557) [50] การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว รวมทั้งความต้องการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ส่งผลให้ ภาคเหนือของประเทศไทยมีอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เพิ่มสูงขึ้น อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ได้นำไปสู่ความกังวลในเรื่องของสุขภาพของประชากร โดยเฉพาะโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเป็น ที่รู้กันดีว่าอัตราการเกิดโรคมะเร็งปอดในเพศหญิงบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าสูงที่สุดในเอเชียข้อมูล พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ช่วงก่อน และหลังเกิดปัญหาวิกฤติหมอกควันในปี 2556 ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2555 ถึง มีนาคม 2556 ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการเผาในพื้นที่ป่า และการเผาพื้นที่ทำการเกษตร ในขณะเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM 2.5 ในบรรยากาศทั่วไปมีปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานที่ทางสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ และกรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้คือ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุและอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงาน

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีส่วนสำคัญในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลอง วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในเรื่องราคา และคุณภาพในการใช้งาน

3.1 วัสดุ

3.1.1 ใบยางพารา ในภาคใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมปลูกยางพารา แต่ในส่วนของใบยางพารายังถูกทิ้งขว้างไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ใบยางพารา

3.1.2 ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา

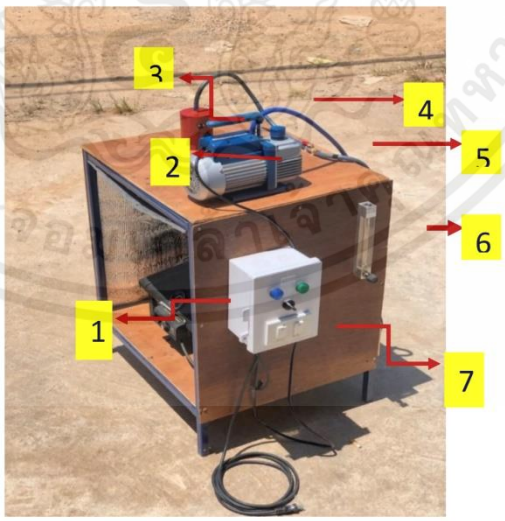
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3.2.1 เครื่องบดและอัดเม็ดชีวมวล ใช้สำหรับการบด และการอัดเม็ดวัตถุดิบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (Wood pellet) หรือชื่อเรียกอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ เชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด

รูปที่ 3.3 เครื่องบดและอัดเม็ดชีวมวล

3.2.3 ชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน ใช้สำหรับดักจับอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้า ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยมีโรตามิเตอร์ควบคุมอัตราการไหล และมีเว็คคั่มปั๊มสร้างแรงดูด เพื่อดูดเขม่าควันผ่านกระดาษกรอง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของชุดเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

หมายเลข 1 เตาเผา

หมายเลข 2 เว็คคั่มปั๊ม

หมายเลข 3 Filter holder

หมายเลข 4 ท่อทนความร้อน

หมายเลข 5 วาล์ว

หมายเลข 6 โรตามิเตอร์

หมายเลข 7 กล่องควบคุม

3.2.3 กระดาษกรอง (Filter)

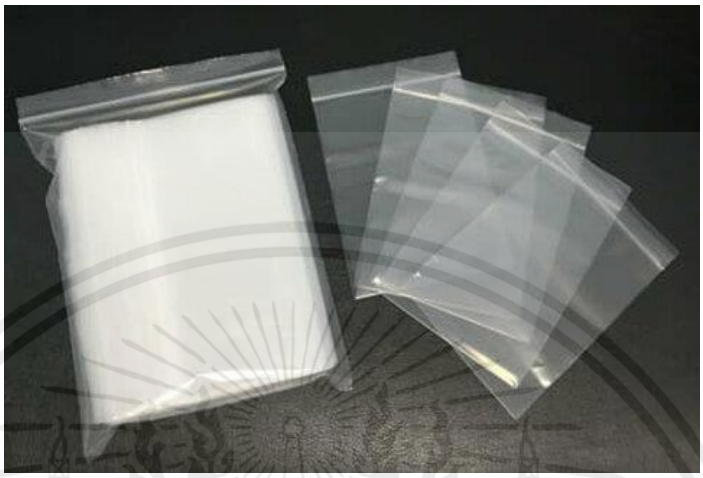
ทำหน้าที่ดักจับอนุภาคฝุ่นเมื่อใส่ไปใน Filter holder ซึ่งกระดาษกรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 กระดาษกรอง (Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ถุงซิปล็อค

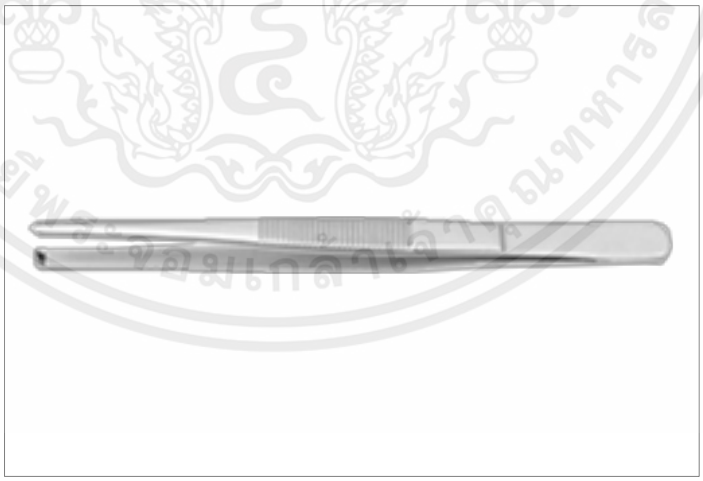
ใช้เพื่อใส่กระดาษกรองก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ถุงซิปล็อค

3.2.6 ที่คีบหรือแหนบ

ใช้สำหรับจับกระดาษกรองเพื่อใส่ลงใน Filter holder ทั้งก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ที่คีบหรือแหนบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 ถุงมือ

ใช้สำหรับใส่เพื่อกันความร้อนช่วงเปิดเตา ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 ถุงมือ

3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

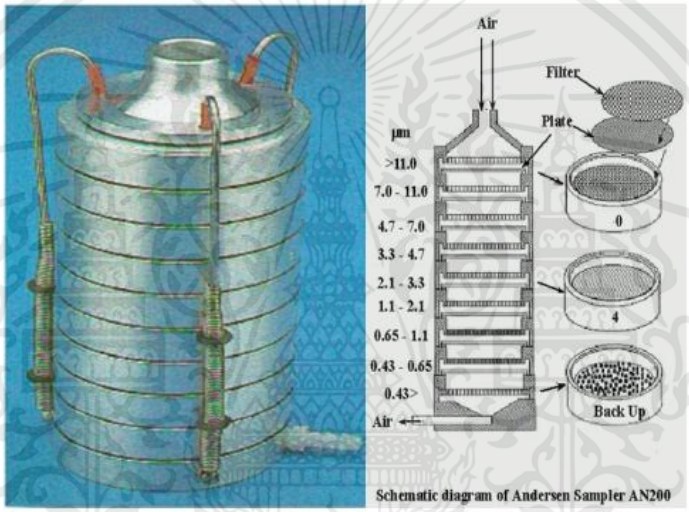
ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของกระดาษกรอง และชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพาราก่อนทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการทำงานของ Andersen air sampler

ซึ่งใช้หลักการดักจับอนุภาคแบบตกกระทบ (impaction) กล่าวคือเมื่อกระแสแก๊สเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลอย่างกะทันหัน อนุภาคที่มีความเฉื่อยมากจะไม่สามารถเปลี่ยนเส้นโคจรตามเส้นทางการไหลของแก๊สได้ทัน จึงถูกดักเก็บไว้ เครื่องมือนี้สามารถแยกอนุภาคในช่วง 0.43 ถึง 11 ไมโครเมตร ช่วงของการกระจายของขนาดเชิงแอโรไดนามิกในแต่ละชั้นของเครื่อง Andersen air sampler ที่ทำการทดสอบถูกแบ่งเป็นช่วง cut off ได้ถึง 8 ขนาด ซึ่งประกอบด้วย cut off ที่ขนาด 11.0 , 7.0 ไมโครเมตร, 4.7 ไมโครเมตร, 3.3 ไมโครเมตร, 2.1 ไมโครเมตร, 1.1 ไมโครเมตร, 0.65 ไมโครเมตร และ 0.43 ไมโครเมตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Andersen air sampler

3.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

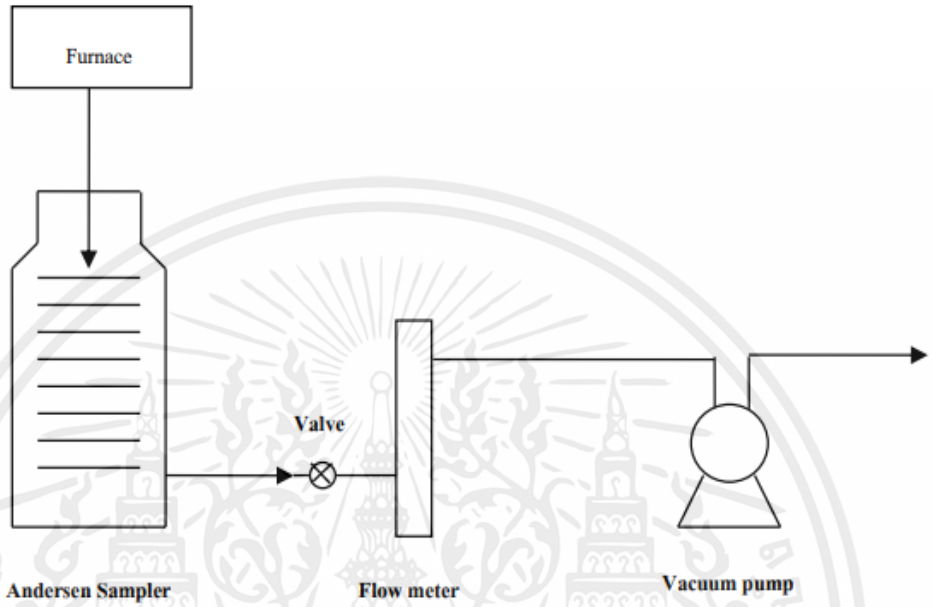
การหาขนาดการกระจายของอนุภาคเขม่าควัน สามารถแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง
   - ล้างทำความสะอาดแผ่นกระจก (Plate) และ Andersen air sampler
   - อบแผ่นกระจกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนัก ของ Plate เปล่าก่อนนำไปใช้งาน (m1) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของ กรัม: Denver Instrument TC-254
   - เก็บ Plate ที่ชั่งน้ำหนักแล้วไว้ในกล่องปิดสนิทและมีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

- ทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 แผนภาพการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยใช้ Andersen air sampler

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

3. นำผลที่ได้มาหาการกระจายของอนุภาคเชม่าควัน

4. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการสกัด PAHs

PAHs เป็นสารก่อมลพิษที่สำคัญ [25] และสามารถแบ่งออกได้เป็นสิบหกรูปแบบ ได้แก่ Acenaphthene, Acenaphthylene, Anthracene, Fluorene, Phenanthrene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Naphthalene, Pyrene, Chrysene, Fluoranthene, Dibenz[a,h]anthracene, Benz[a]anthracene, Benzo[a]pyrene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene และ Benzo[g,h,i]perylene ตามที่กำหนดโดย United States Environmental Protection Agency (US-EPA) ในการศึกษานี้ PAHs บนตัวกรองตัวอย่างถูกสกัดโดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก (USE) ตัวอย่างตัวกรองชิ้นเล็ก ๆ ถูกสกัดด้วยอัลตราโซนิกสองครั้งในเอทานอล:เบนซิน (1:3) หลังจากเติมไดเมทิลซัลฟอกไซด์ 50 µL แล้ว สารละลายที่สกัดได้จะถูกทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุนเพื่อกำจัดเบนซินและเอทานอล จากนั้นกรองเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ –20 ℃ ก่อนการ วิเคราะห์

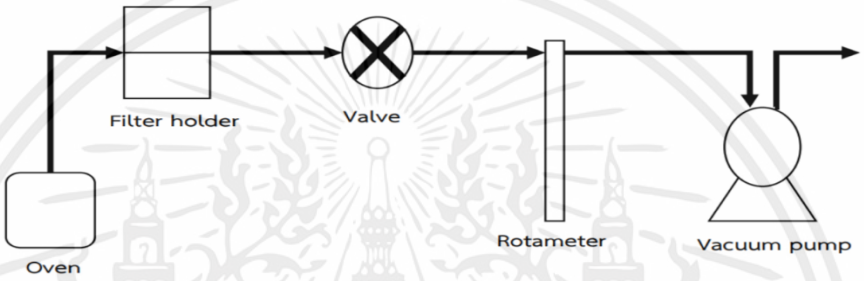
3.5 หลักการวิเคราะห์ HPLC

ทำตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในรายงานก่อนหน้า การตรวจจับ HPLC/UV ใช้สำหรับการตรวจจับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ในการศึกษานี้ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนถูกสกัดและวิเคราะห์โดยใช้โครมาโตกราฟีแบบของเหลว (1100, Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) พร้อมการตรวจจับการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต สารผสมและสารสกัดถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์แบบกลับเฟสของ UPS C 18 (ขนาดอนุภาค 5 µm, ความยาว 250 mm, เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มม.) พร้อมเสาป้องกัน วัฏภาคเคลื่อนที่เป็นของผสมของน้ำและแอซีโทไนไตรล์ที่มีการชะแบบเกรเดียนต์และอัตราการไหล 1.0–1.2 มล./นาที ความยาวคลื่นของเครื่องตรวจจับรังสียูวีคือ 254 nm สำหรับ PAH แต่ละตัว สารละลายมาตรฐานภายนอกเตรียมจากมาตรฐานผสม PAH 16 ชนิด [51] การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของ PAHs ขึ้นอยู่กับการเปรียบเทียบสเปกตรัม UV และค่าเวลากักเก็บกับมาตรฐานอ้างอิงโดยใช้โปรแกรม Chemstation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 หลักการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

ระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควันเมื่อนำกระดาษกรองใส่ไปใน Filter holder แล้วนำกากตะกอนใส่ในเตาเผา ทำการเปิดเตาเผา เปิด Vacuum pump จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลโดยโรตามิเตอร์ที่เราต้องการทดสอบ (10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที) ปรับอุณหภูมิที่เราต้องการเผาไหม้ (250 องศาเซลเซียส) อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้จากเตาเผาจะเคลื่อนที่ผ่านท่อ และถูกดักจับโดยกระดาษกรองใน Filter holder จากนั้นอากาศบริสุทธิ์จะเคลื่อนที่ผ่านวาล์วเข้าโรตามิเตอร์และออกทาง Vacuum pump ดังรูปที่ 3.12



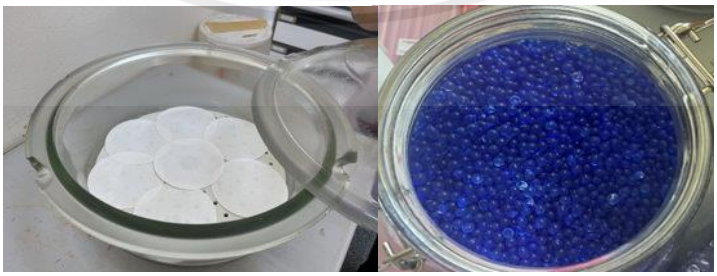
รูปที่ 3.12 ระบบการทำงานของเครื่องดักจับอนุภาคเขม่าควัน

3.7 ขั้นตอนและการเก็บตัวอย่าง

การทดลองเก็บตัวอย่างปริมาณอนุภาคจะแบ่งการทดสอบการเผาไหม้ของถ่านชีวมวล อัดเม็ดจากใบยางพารา จะทำการทดลองที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ปรับอัตราการไหลโดยโรตามิเตอร์ที่ 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที โดยทำการลองความชื้นของใบยางพาราที่มีค่า 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้งซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการแยกเก็บตัวอย่าง กระดาษกรอง เป็นชุด

3.7.1 วิธีการทดลองเก็บตัวอย่าง

1. ก่อนที่จะดำเนินการเก็บตัวอย่างการทดลอง ให้นำแผ่นกระดาษกรองไปแช่ซิลิกาเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 นำแผ่นกระดาษกรองไปแช่ซิลิกาเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำแผ่นกระดาษกรองที่ผ่านการแช่ซิลิกาเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปอบต่อในเตาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 เตาอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

3. หลังจากผ่านการอบ นำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด บันทึกค่าน้ำหนักกระดาษ กรองก่อนทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักก่อนทำการเผา ดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 ชั่งน้ำหนักถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา

5. นำกระดาษกรองไปทดลองเก็บตัวอย่าง โดยนำกระดาษกรองใส่ใน Filter holder ตามแต่ละค่าความชื้นที่ได้กำหนดไว้ในทำการทดลองแต่ละครั้ง ดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 การนำกระดาษกรองใส่ลงใน Filter holder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว นำกระดาษกรองไปชั่งอีกหนึ่งครั้ง แล้วทำการเก็บตัวอย่างการทดลองหรือกระดาษกรองลง ไปในถุงซิปล็อค ดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 กระดาษกรองที่ใส่ในถุงซิปล็อคหลังการทดลอง

7. นำกระดาษกรองที่ทดลองเสร็จไปแช่ซิลิกาเจล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อีกครั้ง ดังรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 กระดาษกรองหลังจากการเก็บตัวอย่างแช่ซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังแช่ซิลิกาเจลรอบสองจากการเผาไหม้ถ่านชีวมวลอัดเม็ดจากใบยางพารา แล้วใส่กระดาษกรองลงในถุงซิปล็อครูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 กระดาษกรองที่ใส่ในถุงซิปล็อคหลังจากการชั่งน้ำหนัก

9. คำนวณหาน้ำหนักของอนุภาคที่ติดบนกระดาษกรองแต่ละการทดลอง

3.8 Mass median aerodynamic diameter (MMAD)

3.8.1 วิธีการหา MMAD

1.นำชีวมวล 30 g ไฟเผาไหม้

2. หาค่า MMAD และ GSD โดยใช้ Anderson Air Sampler 8 ชั้น

3.8.2 ขั้นตอนการทดลอง

1.ชั่งน้ำหนัก Plate ทั้ง 8 ชั้น และกระดาษกรอง(Backup filter)

2.ติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

3.กำหนดอัตราการไหล 28.3 lpm

4.ทำการทดลอง 10 นาที

5.นำ Plate ทั้ง 8 ชั้น และกระดาษกรองที่มีอนุภาคเขม่าควันเกาะอยู่ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องเดิม

6.นำน้ำหนักที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่า MMAD และ GSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

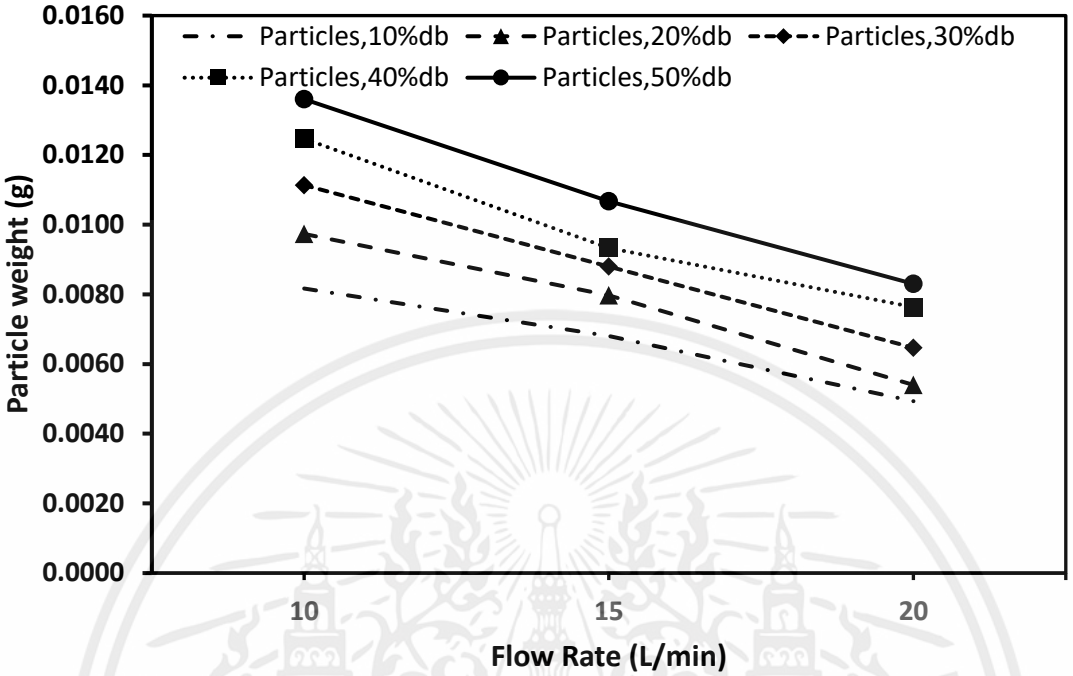
ในบทนี้จะนำเสนอผลของการศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้ โดยจะแบ่งออกเป็น ศึกษาใบยางที่มีปริมาณความชื้นฐานแห้งที่แตกต่างกัน คือ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% db โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 Flow chart แสดงเงื่อนไขการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพาราตลอดช่วงการเผาไหม้

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันและสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ชั่งชีวมวลตัวอย่างละได้ 10 กรัม ที่มีเงื่อนไขความชื้นดังนี้ คือ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% db และอัตราการไหลโดยโรตามิเตอร์ที่เราต้องการทดสอบ 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที ปรับอุณหภูมิที่เราต้องการเผาไหม้ (250 องศาเซลเซียส) ทำการทดลอง 3 ครั้งต่อ 1 ความชื้นและต่อ 1 อัตราการไหล อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้จากเตาเผาจะเคลื่อนที่ผ่านท่อและถูกดักจับโดยกระดาษกรองใน Filter holder จากนั้นอากาศบริสุทธิ์จะเคลื่อนที่ผ่านวาล์วเข้าโรตามิเตอร์และออกทาง Vacuum pump นำแผ่นกรองมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผลการทดลองที่ได้ และนำไปทำเป็นกราฟ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันกับอัตราการไหลของอากาศ

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันกับอัตราการไหลของอากาศที่ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที โดยชีวมวลที่ทำการทดลองมีค่าความชื้น 10%db 20%db 30%db 40%db และ 50%db ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นความชื้นของชีวมวลมีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของชีวมวล ดังนั้นเมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจึงเพิ่งขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศในห้องเผาไหม้ ปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันมีค่าลงลดอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศเข้าไปเพิ่มความสามารถในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของชีวมวล โดยปริมาณความหนาแน่นที่พบสูงสุด คือ 0.016 กรัม ที่ความชื้น 50%db อัตราการไหล 10L/min และน้อยที่สุดคือ 0.0049 กรัม ที่ความชื้น 10%db อัตราการไหล 20L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาหาปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพาราตลอดช่วงการเผาไหม้

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากการหาปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน โดยการนำเอาแผ่นกรองได้ที่ได้จากทดลองหาปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันมาตรวจหาค่าสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) โดย

No.	PAH	Concentration (μg ml^{-1})				
		1st	2nd	3rd	4th	5th
1	Naphthalene	11.34	5.62	2.57	1.05	1.02
2	Acenaphthylene	21.24	11.25	5.62	2.25	1.17
3	Fluorene	1.89	1.34	0.97	0.27	0.65
4	Acenaphthene	10.07	5.27	2.27	1.34	1.07
5	Phenanthrene	1.24	0.67	0.29	0.12	0.09
6	Anthracene	1.32	1.15	0.52	0.25	0.11
7	Fluoranthene	2.98	1.04	0.55	0.19	0.18
8	Pyrene	2.34	0.95	0.58	0.12	0.07
9	Benz[a]anthracene	1.39	0.85	0.52	0.11	0.08
10	Chrysene	1.12	0.51	0.19	0.12	0.05
11	Benzo[b]fluoranthene	2.08	0.52	0.31	0.11	0.07
12	Benzo[k]fluoranthene	2.29	1.18	0.24	0.15	0.09
13	Benzo[a]pyrene	2.27	1.15	0.51	0.22	0.18
14	Dibenz[a,h]anthracene	1.04	0.52	0.31	0.15	0.05
15	Benzo[g,h,i]perylene	3.23	1.63	1.27	0.72	0.24
16	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1.72	1.18	0.87	0.35	0.59

วิธีการโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)ได้ผลดังตารางที่ 4.1

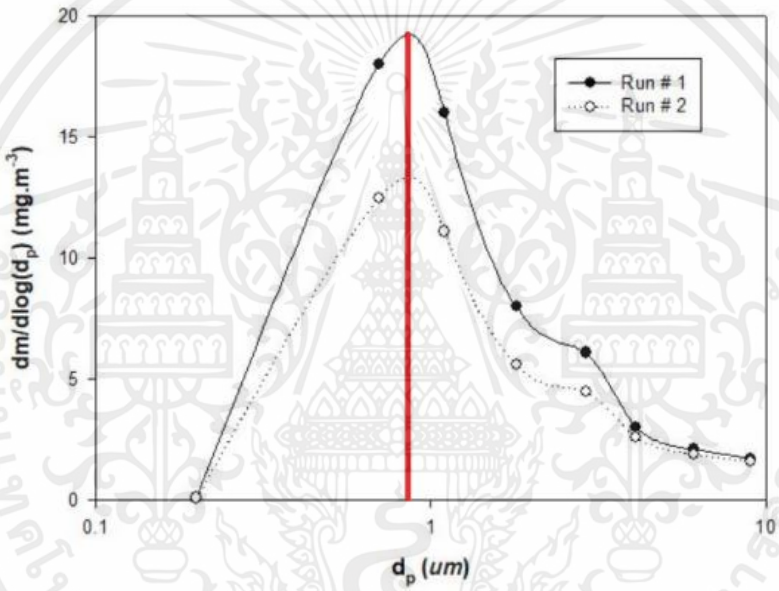
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองปริมาณความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงการเผาไหม้โดยวิธี HPLC

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงผลการทดลองปริมาณความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ทำการตรวจหาทั้งหมด 5 ครั้ง ในการตรวจหาครั้งที่ 1 พบปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ในอนุภาคเขม่าขวันสูงที่สุด และลดลงเรื่อยๆตามปริมาณเปอร์เซ็นความชื้นของชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าความชื้นของชีวมวลแปรผันตรงปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ในอนุภาคเขม่าขวัน โดยจะพิจารณาที่ Benzo[a]pyrene (B[a]P) เนื่องจากเป็นตัวที่มีค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งสูง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นอยู่ที่ 1.18-2.27 μg/ml ค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่ระบุว่า ไม่ควรเกิน 1 ng/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันตลอดช่วงการเผาไหม้

จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Median Aerodynamic Diameter (d_p) และ dm/dlog(d_p) ที่เป็นรูปแบบกราฟ single mode คือ ขึ้นแล้วลงครั้งเดียว ทำการลากเส้นจากจุดที่สูงที่สุดของกราฟลงมาที่แกน x จะได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิก (MMAD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 ไมครอน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิก (MMAD) จากการเผาไหม้ไม้ยางพารา ที่มีค่าเท่ากับ 1.27 ไมครอน [51] และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (GSD) คือ 2.83



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Median Aerodynamic Diameter (d_p) และ dm/dlog(d_p)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพารา ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้ โดยศึกษาจากใบยางที่มีปริมาณความชื้นฐานแห้งที่แตกต่างกัน คือ 10%db 20%db 30%db 40%db และ 50%db เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควัน และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ปริมาณอนุภาคเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ใบยางพาราตลอดช่วงการเผาไหม้

จากทดลองพบว่าปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันที่พบสูงสุด คือ 0.016 กรัม ที่ความชื้น 50%db อัตราการไหล 10L/min และน้อยที่สุดคือ 0.0049 กรัม ที่ความชื้น 10%db อัตราการไหล 20L/min สามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นความชื้นของชีวมวลมีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของชีวมวล ดังนั้นเมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันจึงมีค่าเพิ่งขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศในห้องเผาไหม้ ปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคเขม่าควันมีค่าลงลด เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศเข้าไปเพิ่มความสามารถในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของชีวมวล

5.1.2 ปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ยางพารา

จากการตรวจหาทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าในการตรวจหาครั้งที่ 1 ที่ปริมาณความชื้น 50%db ปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ในอนุภาคเขม่าควันมีค่าสูงที่สุด และลดลงเรื่อยๆตามปริมาณเปอร์เซ็นความชื้นของชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าความชื้นของชีวมวลแปรผันตรงปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ในอนุภาคเขม่าขวัน โดยความเป็นพิษจะพิจารณาที่ Benzo[a]pyrene (B[a]P) เนื่องจากเป็นตัวที่มีค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งสูง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นอยู่ที่ 1.18-2.27 µg/ml ค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่ระบุว่า ไม่ควรเกิน 1 ng/m3

5.1.3 การกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควัน

จากการทดสอบเกี่ยวกับการกระจายขนาดของอนุภาคเขม่าควันจากการเผาไหม้ใบยางพาราตลอดช่วงการเผาไหม้ ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Median Aerodynamic Diameter (d_p) และ $dm/d\log(d_p)$ ที่เป็นรูปแบบ single-mode พบว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นามิก (MMAD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 ไมครอน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทางแอโรไดนามิก (MMAD) จากการเผาไหม้ไม้ยางพารา ที่มีค่าเท่ากับ 1.27 ไมครอน [51] และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (GSD) คือ 2.83

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 เนื่องจากในการทดลองหาสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ตรวจไม่พบสารครบทั้ง 16 ตัว จึงทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ และ เปรียบเทียบผลต่างในแต่ละความชื้น

5.2.2 เนื่องจากชีวมวลมีความชื้นมาก ในขั้นตอนการเก็บรักษาชีวมวลจึงพบการเกิดเชื้อรา

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการปรับปรุงแก้ไขระบบเตาเผาให้เป็นระบบสุญญากาศ

5.3.2 ควรป้องกันการสูดดมควันขณะการทดลองเนื่องจากมีผลอันตรายต่อร่างกาย

5.3.3 ควรเก็บรักษาชีวมวลไว้ในตู้เย็นเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] การยางแห่งประเทศไทย. (2563). **ข้อมูลการส่งออกยางพาราในประเทศไทย (พ.ศ. 2563)** [Online]. เข้าถึงได้ที่ https://www.ditp.go.th/contents_attach/730300/730300.pdf (วันที่ 28 มิถุนายน 2565).

[2] วชร กาลาสี. (2547). **การปรับปรุงห้องรมยางโดยการกรองแก๊สร้อนก่อนให้ไหลผ่านแผ่นยางโดยตรง."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[3] วราภรณ ฉุยฉาย. (2554). **การแพร่กระจายและความเป็นพิษต่อพืชของโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน** วารสารวิชาการและวิจัย, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

[4] George W. AMholland. 2012. **Smoke Production and Properties. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**

[5] ธันดร ออกวะลา. 2553. กลศาสตร์ของไหล. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: http://irre.ku.ac.th/books/pdf/19.pdf

[6] 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.

[7] Kandola, B. S. 1978. **Aerodynamic. Journal of Industry, 3, 267.**

[8] Ingason, H. 1996. **Experimental and Theoretical Study of Rack Storage fires. Swedish National Testing and Research Institute.**

[9] International Agency for Research on Cancer (IARC). 1983. **IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. 32: Polycyclic aromatic hydrocarbons, Part 1**: Chemical, environmental and experimental data. IARC, Lyons, France.

[10] Grimmer, G. 1983. **Environmental Carcinogens: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.** CRC Press, Boca Raton, FL

[11] Varanasi, U., Reichert, W.L., Stein, J.E., Brown, D.W. and Sanborn, H.R. 1985. **Bioavailability and biotransformation of aromatic hydrocarbonsin benthic**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

organisms exposed to sediment from an urban estuary. Environ. Sci. Technol. 19: 836–841.

[12] Costantiono, J.P., Redmond, C.K. and Bearden, A. 1995. **Occupationally related ca ncer risk among coke oven workers: 30 years of follow-up**. J. Occup. Environ. Me. 37: 597–604.

[13] Kalina, I., Brezáni, P., Gajdošová, D., Binková, B., Šalagovič, J., Habalová, V., Mračková, G., Dobiáš, L. and Šrám, R.J. 1998. **Cytogenetic monitoring in coke oven workers**. Mutat. Res./Genetic Toxicol. Environ. Mutag. 417: 9–17.

[14] Oanh, N.H.K., Reutergardh, L.B. and Dung, N.T. 1999. **Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons and particulate matter from domesticcombustion of selected fuels.** Environ. Sci. Technol. 33: 2703–2709.

[15] Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas, G.S., Bence, A.E., Bence, W.A., Burn, W. A. and Mankiewicz, P.J. 1999. **Pyrogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sediments Record Past Human Activity: A case Atudy in Prince William Sound,Alaska.** Mar. Pollut. Bull. 4: 247-260

[16] Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, H., Goyette, D. and Silvestre, S. 2002. **PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of PAH rations as indicators of PAH soucer and composition.** Org. Geochem. 33: 489–515.

[17] Broddin, G., Cautreels, W. and Van Cauwenberghe, K. 1980. **On the aliphatic and polyaromatic hydrocarbon levels in urban and background aerosols from Belgium and the Netherlands. Atmos.** Environ. 14: 895-910.

[18] Dung, N.T. 1996. **Determination of some selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on particulates emitted from the thermal power plant of the Bai Bang paper company, Vietnam.** Master's Thesis. Division of Environmental Engineering. Asian Institute of Technology.

[19] Silva, M.A.B. 2005. **Sistema de classificacão Fuzzy para áreas contaminadas.** PhD thesis, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil. 11–13.

[20] Ames, B.N., Mccann, J. and Yamasaki, E. 1975. **Method for Detecting Carcinogens and Mutagens with the Salmonella/Mammalian - Microsome Mutagenicity Test.** Mutat. Res. 31: 347-364.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21] Møller, M., Alfheim, I., Larssen, S. and Mikalsen, A. 1982. **Mutagenicity of Airborne Particles in Relation to Traffic and Air Pollution Parameters. Environ.** Sci. Technol. 16: 221-225.

[22] WHO. 1987. **Air quality guideline for Europe, Copenhagen, World Health OrganiZation Regional Office for Europe.** 105-117.

[23] WHO. 2000. **Air Quarlity Guidelines for Europe, 2nd ed., WHO Regional Publication European Series No. 91.** World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe, Copenhegen. 273.

[24] Jone, H.H. 2001. **Economic Evaluation of Air Quality Target for PAHs. Final report for European Commission DG Environment.** AEA Technology Environment Culham Science Centre Abingdon Oxfordshire.

[25] US-EPA. 2003. **Appendix A to 40 CFR, Part 423-126 Priority pollutant.** เข่าถึงได้จาก URL:http://www.epa.gov/region01/npd/permits/generic/prioritypollutions.pdf. วันที่เขาสืบคน 12 กันยายน 2551

[26] Grariviat, H. 1999 **A study on air pollution by airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere.** Doctoral dissertation. School of Environment, Resource and Development. Asian Institute of Technology

[27] Nadal, M., Schuhmacher, M. and Domingo, J.L. 2004. **Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain.** Environ. Pollut. 132: 1–11.

[28] Kulkarni, P. and Venkataraman, C. 2000. **Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Mumbai, India.** Atmos. Environ. 34: 2785-2790.

[29] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. **Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Service, Public Health Service.** เข่าถึงได้จาก URL: http:// www.atsdr.cdc.gov/tfacts69.html. สืบคนเมื่อ 25 ธันวาคม 2551.

[30] Jacob, J. 1996. **The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens.** Pure & Appl. Chern. 68(2): 301-308.

[31] Platt, K.L., Pfeiffer, E., Petrovic, P., Friesel, H., Beermann, D., Hecker, E. and Oesch, F. 1990. **Comparative tumorigenicity of picene and dibenz[a,h]anthracene in the mouse.** Carcinogenesis. 11: 1721–1726.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[32] Schwartz, J. 1994. **J. Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis.** Environ. Res. 64: 36–52.

[33] Nisbet, C. and LaGoy, P. 1992. **Toxic Equivalency Factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).** Regul. Toxicol. Pharmacol. 16: 290–300.

[34] Qiao, M., Wang, C., Huang, S., Wang, D. and Wang, Z. 1999. **Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China.** Environ. Int. 32: 28–33.

[35] Gocht, T., Moldenhauer, K.M. and Püttmann, W. 2001. **Historical record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in floodplain sediments from the Rhine River (Hessisches Ried, Germany).** Appl. Geochem. 16: 1707–17821.

[36] Zakaria, M.P., Takada, H. and Tsutsumi, S. 2002. **Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs[J].** Environ. Sci. Technol. 36(9): 1907–1918.

[37] Lodge J P; Chan T L (1986). **Cascade Impactor Sampling to measure Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Biomass Combustion Processes.**

[38] Chomanee et al .2009. **Effects of Moisture Content and Burning Period on Concentration of Smoke Particles and Particle-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Rubber- Wood Combustion.** 404-411.

[39] Tekasakul et al., Aerosol and Air Quality Research, Vol. 8, No. 3, pp. 265-278, 2008

[40] ธีระศักดิ์ โพนชัด,ทิพโชค ชูวิจิตร. 2552. **การศึกษาการกระจายของอนุภาคฝุ่น. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์.**

[41] Tekasakul et al .2006. **Characteristics of particulates emitted from rubber wood Burning.** Prince of Songkla University

[42] Perapong Tekasaku , P. (2555). **"Energy efficiency enhancement of natural rubber smoking process by flow improvement using a CFD technique,"** Applied Thermal Engineering. 85, 878 - 895.[4] Mill, A .F. (1995). Heat and Mass Transfer. Chicago : Richard D.Irwin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[43] B.F. Magnussen, B.H. Hjertager. 1977. **On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion Symposium (International) on Combustion.** Volume 16, Issue 1, Pages 719-729

[44] Irvin Glassman. 1989. **Symposium (International) on Combustion.** Volume 22, Issue 1, Pages 295-311

[45] proy. Enerov. 1981. SOOT FORMATION, pp 229 273

[46] W.H. Dalzell, G.C. Williams, H.C. 1970. **Hottel A light-scattering method for soot concentration measurements Combustion and Flame.** Volume 14, Issue 2 , Pages 161-169

[47] วชร และคณะ. 2006. **ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต.** สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารอสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (วิทยาเขตชุมพร) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[48] ดารณี จันทร์อำภากุล และ วิทยา เทพไพฑูรย์. (2544). **การศึกษาการดักจับอนุภาคขนาดเล็กโดยใช้เครื่องดักจับฝุ่นชนิดเปียก.** สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[49] อัศวิน สืบนุการณ์. 2544. **การพัฒนาเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก.** มหาวิทยาลัยเทคโนยีสุรนารี

[50] ธิดารัตน์ และคณะ. 2557. **ภัยในหน้าหนาวจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5).** วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.

[51] Kalasee, W., Dangwilailux, P. (2021). **"Prediction of Size Distribution and Mass Concentration of Smoke Particles on Moisture Content and Combustion Period from Para Rubber Wood Burning."** Appl. Sci., 11, 5649.

[52] จิตรลดา. 2553. **องค์ประกอบสัดส่วนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(PAHs) ในPM$_{10}$จากแหล่งปลดปล่อยต่างประเภทในจังหวัดสงขลา.** สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มาหาวิทยาลัยสงขลาครินทร์. http://kb.psu.ac.th:8080/psukb/bitstream/2010/7041/1/316242.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลการศึกษาปริมาณอนุภาคเขม่าควัน
จากการเผาไหม้ใบยางพาราตลอดเวลาการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 10%db

ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 10%db					
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	ครั้งที่	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนอบ (กรัม)	เวลาในการอบ-รมควัน (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter หลังอบ (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)
10	1	0.2608	15.06	0.2692	0.0084
	2	0.2667	15.13	0.2746	0.0079
	3	0.2631	15.10	0.2713	0.0082
	เฉลี่ย		**15.10**		**0.0082**
15	1	0.2642	13.36	0.2710	0.0068
	2	0.2746	13.40	0.2816	0.0070
	3	0.2649	13.36	0.2715	0.0066
	เฉลี่ย		**13.37**		**0.0068**
20	1	0.2629	10.32	0.2678	0.0049
	2	0.2654	10.40	0.2706	0.0052
	3	0.2606	10.36	0.2653	0.0047
	เฉลี่ย		**10.36**		**0.0049**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 20%db

ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 20%db					
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	ครั้งที่	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนอบ (กรัม)	เวลาในการอบ-รมควัน (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter หลังอบ (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)
10	1	0.2606	15.45	0.2702	0.0096
	2	0.2625	15.49	0.2726	0.0101
	3	0.2591	15.43	0.2686	0.0095
	เฉลี่ย		**15.46**		**0.0097**
15	1	0.2643	13.52	0.2729	0.0086
	2	0.2664	13.56	0.2742	0.0078
	3	0.2689	13.51	0.2764	0.0075
	เฉลี่ย		**13.53**		**0.0080**
20	1	0.2609	10.34	0.2661	0.0052
	2	0.2301	10.31	0.2354	0.0053
	3	0.2576	10.39	0.2633	0.0057
	เฉลี่ย		**10.35**		**0.0054**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 30%db

ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 30%db					
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	ครั้งที่	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนอบ (กรัม)	เวลาในการอบ-รมควัน (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter หลังอบ (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)
10	1	0.2674	15.59	0.2782	0.0108
	2	0.2689	16.01	0.2801	0.0112
	3	0.2640	16.00	0.2754	0.0114
	เฉลี่ย		**15.87**		**0.0111**
15	1	0.2645	14.11	0.2729	0.0084
	2	0.2566	14.09	0.2657	0.0091
	3	0.2723	14.08	0.2812	0.0089
	เฉลี่ย		**14.09**		**0.0088**
20	1	0.2670	11.01	0.2730	0.0060
	2	0.2682	10.56	0.2750	0.0068
	3	0.2664	10.58	0.2730	0.0066
	เฉลี่ย		**10.72**		**0.0065**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 40%db

ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 40%db					
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	ครั้งที่	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนอบ (กรัม)	เวลาในการอบ-รมควัน (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter หลังอบ (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)
10	1	0.2658	16.10	0.2777	0.0119
	2	0.2695	16.13	0.2820	0.0125
	3	0.2699	16.11	0.2829	0.0130
	เฉลี่ย		**16.11**		**0.0125**
15	1	0.2704	14.32	0.2796	0.0092
	2	0.2795	14.31	0.2882	0.0087
	3	0.2771	14.29	0.2872	0.0101
	เฉลี่ย		**14.31**		**0.0093**
20	1	0.2626	11.26	0.2701	0.0075
	2	0.2578	11.28	0.2657	0.0079
	3	0.2682	11.25	0.2757	0.0075
	เฉลี่ย		**11.26**		**0.0076**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 50%db

ตารางบันทึกค่าน้ำหนักแผ่น Filter ในการทำการทดลองความชื้น 50%db					
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	ครั้งที่	น้ำหนักแผ่น Filter ก่อนอบ (กรัม)	เวลาในการอบ-รมควัน (นาที)	น้ำหนักแผ่น Filter หลังอบ (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักแผ่น Filter (กรัม)
10	1	0.2587	16.37	0.2716	0.0129
	2	0.2622	16.39	0.2759	0.0137
	3	0.2654	16.37	0.2796	0.0142
	เฉลี่ย		**16.38**		**0.0136**
15	1	0.2728	14.54	0.2827	0.0099
	2	0.2645	14.58	0.2760	0.0115
	3	0.2744	14.57	0.2850	0.0106
	เฉลี่ย		**14.56**		**0.0107**
20	1	0.2731	12.00	0.2814	0.0083
	2	0.2681	11.58	0.2766	0.0085
	3	0.2736	11.58	0.2817	0.0081
	เฉลี่ย		**11.72**		**0.0083**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	นายเจตน์สฤษฎ์ นนทิการ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ.2543
ภูมิลำเนา	จังหวัด ปัตตานี
ที่อยู่	122/1 หมู่ 4 ตำบลตุยง อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี 94170

ประวัติการศึกษา

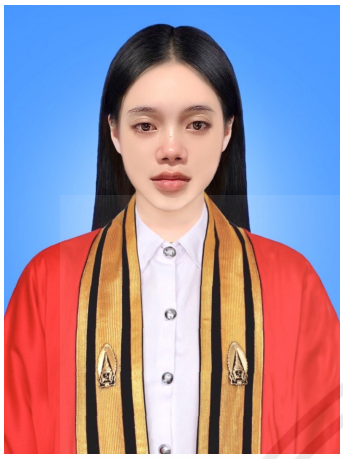
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ภาคการเรียนปกติ สพฐ.) ปีการศึกษา2562 จากโรงเรียนเดชะปัตนยานุกูล
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- อบรมความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าจาก ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ผ่านการฝึกงานในส่วนวิศวกรรม จากโรงไฟฟ้านครศรีพาราวู้ด จังหวัดนครศรีธรรมราช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปิยะธิดา พลวัน
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา	จังหวัด ระนอง
ที่อยู่	431 หมู่ที่ 9 ตำบล จ.ป.ร. อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง 85110

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ภาคการเรียนปกติ สพฐ.) ปีการศึกษา2562 จากโรงเรียนกระบุรีวิทยา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- อบรมความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าจาก ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ผ่านการฝึกงานในแผนกกองเรือและการซ่อมบำรุง จากบริษัท ซีทรานเฟอร์รี่ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุรัสสา เครือบุตรสิน
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2544
ภูมิลำเนา	จังหวัด ระนอง
ที่อยู่	149/39 หมู่ที่ 2 ตำบลบางนอน อำเภอเมือง จังหวัดระนอง 85000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ภาคการเรียนปกติ สพฐ.) ปีการศึกษา2562 จากโรงเรียนสตรีระนอง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- อบรมความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าจาก ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ผ่านการฝึกงานในส่วนวิศวกรรมจากสถาบันการบินในสังกัด บริษัท เอเชีย เอวิเอชั่น แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด ASIA AVIATION AND TECHNOLOGY COMPANY LIMITED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้