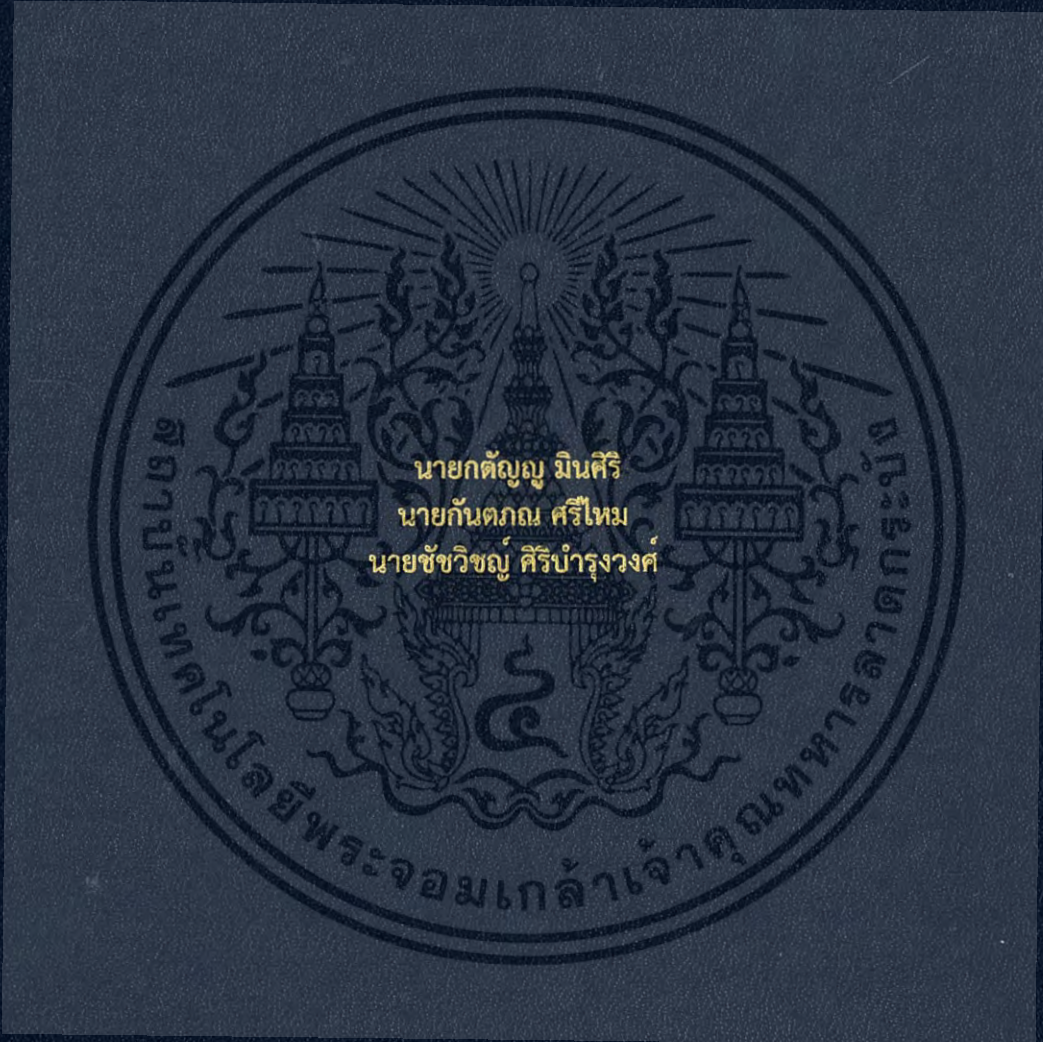


การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชีวมวล
QUANTITY REDUCTION OF CARBON MONOXIDE USING ACTIVATED CARBON FROM
BIOMASS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการใช้ถ่านกัมมันต์จากชีวมวล
QUANTITY REDUCTION OF CARBON MONOXIDE USING ACTIVATED CARBON FROM
BIOMASS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY REDUCTION OF CARBON MONOXIDE USING ACTIVATED CARBON FROM BIOMASS



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการใช้ถ่านกัมมันต์จากชีวมวล

Quantity Reduction of Carbon Monoxide using Activated Carbon from Biomass

ผู้จัดทำ

1. นาย กตัญญู มินศิริ รหัสประจำตัว 57010006
2. นาย กันตภณ ศรีไหม รหัสประจำตัว 57010063
3. นาย ชัชวิชญ์ ศิริบำรุงวงศ์ รหัสประจำตัว 57010293



[Handwritten Signature]

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการใช้ถ่านกัมมันต์จากชีวมวล

| | | |
|---|---------------|----------|
| นายกตัญญู | มินศิริ | 57010006 |
| นายกันตภณ | ศรีใหม่ | 57010063 |
| นายชัชวิชัย | ศิริบำรุงวงศ์ | 57010293 |
| ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา | | |
| ปีการศึกษา 2560 | | |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ เป็นตัวกรอง ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัสดุต่างกันคือ ชี้เลื่อย ใบรูดฤาษี และชานอ้อย โดยทำการศึกษาจากลักษณะพื้นผิว ขนาดของรูพรุน หมู่ฟังก์ชัน และผลของอุณหภูมิ ของถ่านกัมมันต์แต่ละแบบ นอกจากนั้นยังนำถ่านกัมมันต์ไปทำการกระตุ้นในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับด้วย แล้วทำการเปรียบเทียบกรณีต่าง ๆ ด้วยวิธี SEM, FT-IR และวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ออกจากปลายปล่องด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า และถ่านกัมมันต์จากชี้เลื่อยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพดีที่สุด และปริมาณ CO ในชุดทดลองอยู่ในช่วง 2500-3000 ppm และหลังผ่านชั้นกรองอยู่ในช่วง 1400-1800 ppm ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถดูดซับ CO ได้ 38.79%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantity Reduction of Carbon Monoxide using Activated Carbon from Biomass

| | | |
|--------------|-----------------|----------|
| Katanyu | Minsiri | 57010006 |
| Kantapon | Srimai | 57010063 |
| Chatchawit | Siribumrungwong | 57010293 |
| Dr.Natthawut | Ruangtrakoon | Advisor |
| Year 2560 | | |

Abstract

This project presents the reduction in quantity of Carbon monoxide by using activated carbon as a filter. We use three difference materials include sawdust, bagasse and cattail to produce activated carbon. Study about texture, porosity, functional groups and temperature profile. Moreover, we activate our carbon by using Potassium hydroxide to increase surface area for more absorbability. Then we compare the result of each case by SEM, FT-IR and analyzing the concentration of CO at the end of chimney using flue gas analyzer. From the experimental, we found that the optimum condition for activated carbon is sawdust with activation by KOH and carbonization at 700 ° C, concentration of CO in experimental set is about 2500-3000 ppm, after adding activated carbon filter is about 1400-1800 ppm average efficiency of the filter is 38.79 %

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข และ ดร.ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนกุล อาจารย์ประจำภาควิชา ที่ให้คำแนะนำต่างๆในการทำโครงงานนี้ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้ และขอบคุณนายณภัส แก้วตระกูลชัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงงานนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นายกตัญญู

มินศิริ

นายกันตภณ

ศรีโหม

นายชัชวิญญ์

ศิริบำรุงวงศ์

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญรูป..... | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 1 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตการวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ถ่านกัมมันต์..... | 3 |
| 2.2 ประเภทของถ่านกัมมันต์..... | 3 |
| 2.3 วิธีการกระตุ้นถ่าน..... | 4 |
| 2.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์..... | 4 |
| 2.5 ลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์..... | 5 |
| 2.6 ทฤษฎีการดูดซับของถ่านกัมมันต์..... | 5 |
| 2.7 ชนิดของชั้นกรองถ่านกัมมันต์..... | 6 |
| 2.8 กระบวนการคาร์บอนไอเซชัน..... | 6 |
| 2.9 เตาแบบเรเดียนท์ทิวป์..... | 6 |
| 2.10 คาร์บอนมอนอกไซด์..... | 7 |
| 2.11 Scanning electron microscope..... | 8 |
| 2.12 Fourier Transform InfraRed Spectrometer..... | 9 |
| 2.13 มลพิษจากท่อไอเสีย..... | 10 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| 3.1 ตัวแปรควบคุม..... | 12 |
| 3.2 ตัวแปรหลักที่ใช้ในการวิจัย..... | 12 |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 12 |
| 3.4 ขั้นตอนการทำวิจัย..... | 16 |
| 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล..... | 21 |

| | |
|---|----|
| บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล | |
| 4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน..... | 22 |
| 4.2 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์..... | 26 |
| 4.3 ผลการทดลองการวัดไอเสีย | 27 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 33 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 33 |
| บรรณานุกรม..... | 34 |
| ภาคผนวก..... | 36 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 4.1 ค่าปริมาณ CO ในการทดลองครั้งที่ 1..... | 28 |
| ตารางที่ 4.2 ค่าปริมาณ CO ในการทดลองครั้งที่ 2..... | 29 |
| ตารางที่ ก.1 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ..... | 37 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างภายในถ่านกัมมันต์..... | 3 |
| รูปที่ 2.2 ถ่านกัมมันต์แบบผง(1) แบบเกล็ด(2) และแบบอัดแท่ง(3)..... | 4 |
| รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์..... | 5 |
| รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Granular Loose-Fill Filter และ Bonded Carbon Filter..... | 6 |
| รูปที่ 2.5 แบบจำลองเตาแบบเรเดียนท์ฮีท..... | 7 |
| รูปที่ 2.6 แบบจำลองการรวมตัวของคาร์บอนนอกไซด์กับฮีโมโกลบิน..... | 8 |
| รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของ Scanning electron microscope | 9 |
| รูปที่ 2.8 กราฟแสดงผล FT-IR..... | 10 |
| รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมลพิษจากไอเสียกับ A/F ratio | 11 |
| รูปที่ 3.1 ตู้อบลมร้อน..... | 12 |
| รูปที่ 3.2 เตาเผาแบบท่อ 3 ส่วน | 13 |
| รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 14 |
| รูปที่ 3.4 เครื่อง FT-IR..... | 14 |
| รูปที่ 3.5 ชุดทดลอง | 15 |
| รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้..... | 15 |
| รูปที่ 3.7 โฟແສສເຂັ້ມไฮดรอกไซด์..... | 16 |
| รูปที่ 3.8 เตรียมวัสดุดิบให้มีขนาดที่ต้องการ..... | 16 |
| รูปที่ 3.9 ตู้อบลมร้อน..... | 17 |
| รูปที่ 3.10 เตาเผาแบบท่อ 3 ส่วน | 17 |
| รูปที่ 3.11 เครื่อง SEM และ FT-IR | 18 |
| รูปที่ 3.12 ซีลี้อยที่นำมาใช้ในโฟແສສເຂັ້ມไฮดรอกไซด์ | 18 |
| รูปที่ 3.13 ถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังจากกระบวนการคาร์บอนไอเซชัน | 19 |
| รูปที่ 3.14 ชุดทดลอง | 20 |
| รูปที่ 3.15 ชุดทดลอง | 20 |
| รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพที่ได้จากเครื่อง SEM..... | 21 |
| รูปที่ 3.17 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่อง FT-IR..... | 21 |
| รูปที่ 4.1 ภาพ SEM ของซีลี้อยที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไอเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 22 |
| รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ของชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไอเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 22 |
| รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของใบธูปฤาษีที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไอเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 23 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ของใบรูปไข่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 23 |
| รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของใบรูปไข่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 24 |
| รูปที่ 4.6 ภาพ SEM ของใบรูปไข่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 24 |
| รูปที่ 4.7 ภาพ SEM ของใบรูปไข่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 24 |
| รูปที่ 4.8 ภาพ SEM ของซีลี้อยที่ถูกกระตุ้นโดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 25 |
| รูปที่ 4.9 กราฟ FT-IR สเปกตรัม ของใบรูปไข่, ซีลี้อย และ ชานอ้อย ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... | 26 |
| รูปที่ 4.10 น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนการทดลองครั้งที่ 1 | 27 |
| รูปที่ 4.11 น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนการทดลองครั้งที่ 2..... | 27 |
| รูปที่ 4.12 ปริมาณ CO ในไอเสียของการทดลองครั้งที่ 1 | 29 |
| รูปที่ 4.13 ปริมาณ CO ในไอเสียของการทดลองครั้งที่ 2 | 30 |
| รูปที่ 4.14 น้ำหนักของถ่านกัมมันต์หลังการทดลองครั้งที่ 1..... | 31 |
| รูปที่ 4.15 น้ำหนักของถ่านกัมมันต์หลังการทดลองครั้งที่ 2..... | 31 |
| รูปที่ ข.1 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำและเตาเผา รุ่น testo 330-2LL | 40 |
| รูปที่ ข.2 ช่วงการวัดและค่าความละเอียด | 41 |
| รูปที่ ข.3 ค่าความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในการตอบสนอง | 42 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบัน มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่น่าเป็นห่วง เพราะเป็นสาเหตุของการเกิดโรค การเสียชีวิตของมนุษย์ และทำลายสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ซึ่งกิจกรรมที่เกิดขึ้น มนุษย์ล้วนเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุด ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม การผลิตพลังงานไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงภายในบ้าน และการใช้ยานพาหนะ

ยานพาหนะต่างๆ ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานการเผาไหม้ของน้ำมันเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอากาศเสียมากที่สุด โดยจะมีการปล่อยสารพิษ ไอควัน ก๊าซต่างๆ หลายชนิดออกมาทางท่อไอเสียสู่อากาศ มลพิษที่ออกจากท่อไอเสียรถยนต์ ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เขม่าควัน ฝุ่นละออง และโลหะหนัก เป็นต้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน เป็นก๊าซที่ไม่มีสี รส กลิ่น และเบากว่าอากาศทั่วไป เมื่อหายใจเข้าไป ก๊าซนี้จะรวมตัวฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงได้มากกว่าออกซิเจนถึง 200-250 เท่า เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin) ซึ่งลดความสามารถของเลือดในการเป็นตัวนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถรับ O_2 ได้ตามปกติ ร่างกายได้รับ O_2 น้อยลงและหัวใจต้องสูบฉีดโลหิตมากขึ้น เพื่อให้โลหิตผ่านปอดมากขึ้น จะได้มีการรับ O_2 ให้มากขึ้นหัวใจและปอดจะต้องทำงานหนักขึ้น อาการทั่วไปเมื่อร่างกายได้รับ CO คือ จะทำให้อึดอัดเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย โลหิตเปลี่ยนรูปแข็งตัวขึ้น ไหลไม่ได้ เซลล์ก็ขาดออกซิเจน เพราะสมองได้รับออกซิเจนน้อย ถ้าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศสูงมาก ผู้ที่ได้รับจะมีอาการรุนแรง หมดสติ และถึงตายทันที ได้โดยไม่ต้องมีอาการนำ

วิธีที่สามารถลดมลพิษไอเสียจากยานพาหนะได้นั้นมีหลากหลายวิธี ได้แก่ การเผาทำลายที่อุณหภูมิสูง การดูดซึมด้วยน้ำ (Wet scrubber) การกรองผ่านตัวกรอง (Filter) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวกรองไอเสีย ก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง เพราะมีรูเล็กๆ (Microporosity) จำนวนมาก และสามารถเพิ่มพลังการดูดซับได้อีกโดยใช้สารเคมีในการปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดเหมาะกับงานไม่เหมือนกัน วัสดุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์มีผลอย่างมากกับขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะทำถ่านกัมมันต์มาจากของเหลือทิ้งและวัชพืช เช่น ชานอ้อย ชี้อ้อย หรือแม่แต่ใบธูปฤาษี ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำ และเป็นการนำของเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

2. เพื่อศึกษาความแตกต่างของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีการเผาในบรรยากาศไนโตรเจน จาก

วัสดุดิบที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับแก๊สไอเสียของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. วัตถุดิบเริ่มต้นมีความสัมพันธ์กับลักษณะพื้นผิวของถ่าน
2. การกระตุ้นด้วยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความสัมพันธ์ต่อลักษณะพื้นผิวของถ่าน
3. ลักษณะพื้นผิวของถ่านแต่ละแบบมีความสัมพันธ์ต่อการดูดซับแก๊สไอเสีย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

เนื้อหาการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการลดมลพิษที่เกิดจากยานพาหนะ คือ เพื่อศึกษาว่า วัตถุดิบชนิดใดสามารถจับปริมาณก๊าซเสียได้ดีที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ทราบพฤติกรรมและลักษณะการดูดซับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
2. ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่ทำจากของเหลือใช้และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

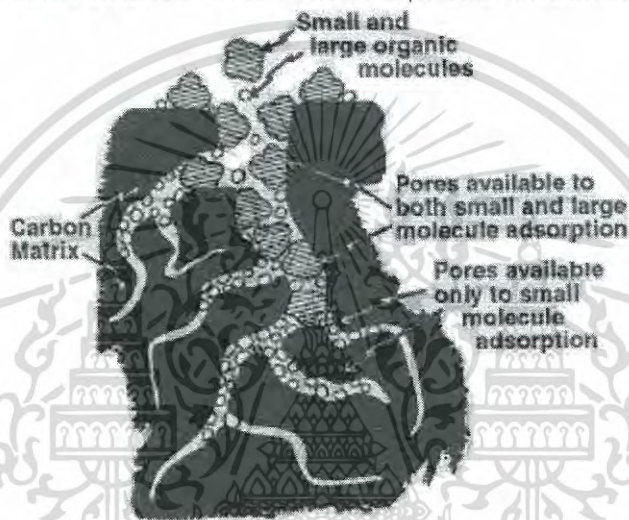


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon หรือ Activated Charcoal) เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 80-90 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก และมีพื้นที่ผิวสูง โดยจะมีปริมาตรรูพรุนประมาณ 0.20-1.00 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวประมาณ 600-2400 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดีและถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ต่างๆที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ



รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างภายในถ่านกัมมันต์

2.2 ประเภทของถ่านกัมมันต์

หากแบ่งประเภทของถ่านกัมมันต์ตามลักษณะทางกายภาพจะสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่

2.2.1 ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered Activated Carbon, PAC) มีขนาดประมาณ 0.15-0.25 มิลลิเมตร นิยมใช้ในการดูดซับสารในสถานะก๊าซหรือของเหลว

2.2.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon, GAC) มีขนาดประมาณ 1-5 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้เมื่อใช้งานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นิยมใช้เป็นไส้กรองในเครื่องกรองน้ำ

2.2.3 ถ่านกัมมันต์อัดแท่ง (Extruded Activated Carbon, EAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด(extruder) ใช้ในการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ถ่านกัมมันต์แบบผง(1) แบบเกล็ด(2) และแบบอัดแท่ง(3)

2.3 วิธีการกระตุ้นถ่าน

การกระตุ้น (Activation) เป็นการทำให้คาร์บอนมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวและรูพรุน การกระตุ้นถ่านแบ่งได้ 2 วิธีดังนี้

2.3.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) ด้วยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600-1000 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเพื่อไม่ให้เกิดการลุกไหม้ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่

2.3.2 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี เช่น $ZnCl_2$ KOH H_3PO_4 เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส

2.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.4.1 ความหนาแน่น (Density) ค่าความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยถ่านกัมมันต์ทั่วไปจะมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.4.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการของบีอีที (BET) ในการทดสอบพื้นที่ผิว โดยปกติถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 600-2500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.4.3 ค่าความแข็ง (Hardness number) ค่านี้จะบอกถึงความต้านทานการสึกกร่อนและการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ ซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาผ่านการกระตุ้น

2.4.4 ไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม โดยโมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดรัศมีเท่ากับ 0.54 นาโนเมตร

2.4.5 เมทิลีนบลู (Methylene Blue) บ่งบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร เนื่องจากเมทิลีนบลูมีขนาดรัศมีโมเลกุลเท่ากับ 1.6 นาโนเมตร

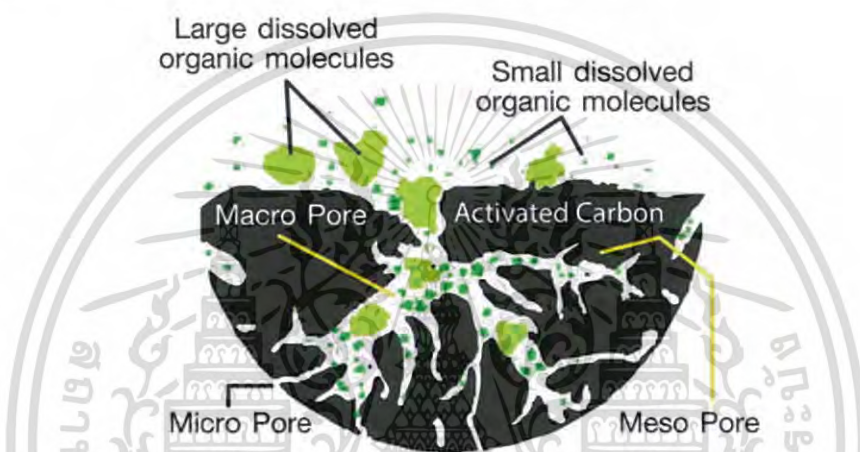
2.5 ลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์

รูพรุนของถ่านกัมมันต์แบ่งได้ตามขนาดรัศมีของรูพรุน ได้แก่

2.5.1 แมโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมีค่าประมาณ 100-200 นาโนเมตร และพื้นที่ผิวน้อยกว่า 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการดูดซับแต่เป็นทางผ่านให้อนุภาคผ่านไปยังรูพรุนที่เล็กกว่า

2.5.2 เมโซพอร์ (Mesopores) รัศมีของรูพรุนมีค่าประมาณ 1.5-100 นาโนเมตร และพื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม

2.5.3 ไมโครพอร์ (Micropores) รัศมีของรูพรุนมีค่าน้อยกว่า 1.5นาโนเมตร และพื้นที่ผิวมีค่า 100-1500 ตารางเมตรต่อกรัมหรือมากกว่า มีความสามารถในการดูดซับมากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (Adsorption energy) มากที่สุด



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์

2.6 ทฤษฎีการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ถ่านกัมมันต์ มีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดี ซึ่งกระบวนการดูดซับนั้นเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างแก๊สกับพื้นผิวของคาร์บอน โดยกระบวนการดูดซับถูกแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการ คือกระบวนการดูดซับเชิงกล (Physical Adsorption) และกระบวนการดูดซับเชิงเคมี (Chemisorption)

2.6.1 การดูดซับเชิงกล (Physical Adsorption) เป็นการเคลื่อนย้ายอนุภาคมาสะสมที่ผิวของถ่านกัมมันต์ การดูดซับจะเป็นการยึดกันของสารอินทรีย์กับคาร์บอนที่บริเวณผิวนอกของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์

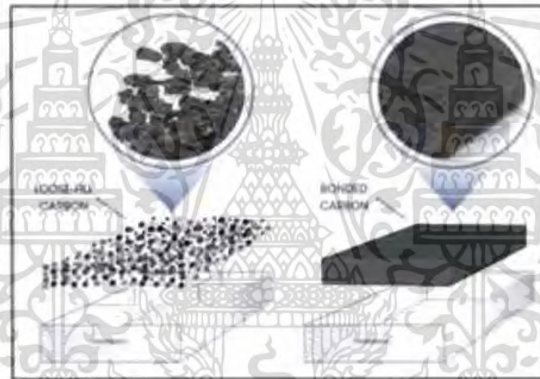
2.6.2 กระบวนการดูดซับเชิงเคมี (Chemisorption) เกิดจากการแพร่ของก๊าซหรือสารประกอบเข้าไปในร่างแหรูพรุนภายในถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเคมีบสร้างพันธะที่หนาแน่นกับคาร์บอนของถ่านกัมมันต์

2.7 ชนิดของชั้นกรองถ่านกัมมันต์ (types of Activated Carbon Filter)

ในระบบการกรองอากาศนั้นได้มีการนำถ่านกัมมันต์ มาเป็นส่วนประกอบในชั้นกรอง ซึ่งสามารถแบ่งตามการผลิตได้เป็น 2 ชนิดหลักๆด้วยกันคือ

2.7.1 Granular Multi-Layer Carbon Filter ประกอบด้วย ชั้นของเนื้อใยกรองและชั้นของ ชั้นกรองถ่านกัมมันต์ แบบเม็ดเล็กละเอียดวางตัวกันอยู่อย่างหลวมๆภายใน ชั้นกรอง โดย ชั้นกรอง ประเภทนี้จะคงคุณสมบัติเชิงกลและเชิงเคมีของ ถ่านกัมมันต์ ไว้อย่างครบถ้วน

2.7.2 Bonded Carbon Filter จะเป็นการสร้างพันธะระหว่าง ถ่านกัมมันต์ กับเนื้อใยกรองโดยใช้กระบวนการทางเคมีต่างๆ สารที่ใช้สร้างพันธะหรือที่รู้จักกันในชื่อของ Bonding Agent สารที่ใช้สร้างพันธะนั้นส่วนใหญ่จะเป็นพวกเรซิน เช่น พอลิสไตรีน ปริมาณของสารที่ใช้สร้างพันธะจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากพื้นที่ผิวของ ถ่านกัมมันต์ จะถูกปกคลุมด้วยสารที่ใช้สร้างพันธะ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับไอต่างๆลดลงชั่วคราวหรือถาวรก็ได้ ปกติแล้ว ชั้นกรองคาร์บอน ประเภทนี้เป็นที่นิยมสำหรับระบบกรองอากาศ เนื่องจากมีความสะดวกมากกว่าและปราศจากปัญหาเรื่องฝุ่นผงที่มาจากตัวของถ่านกัมมันต์เอง (dust-free) เพราะถ่านกัมมันต์ ได้ถูกทำเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อใยกรอง



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Granular Loose-Fill Filter และ Bonded Carbon Filter

2.8 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization Process)

กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เป็นการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) เพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นถ่าน เป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ให้มีออกซิเจนเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้ออกซิเจนกลายเป็นแก๊สแทนที่จะได้ถ่าน ในระหว่างกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ธาตุต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนจะถูกขจัดออกไปอยู่ในสถานะแก๊ส ส่วนคาร์บอนจะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบและจะมีช่องว่างระหว่างผลึกและเกิดเป็นโครงสร้างรูพรุน

2.9 เตาแบบเรเดียนทิวป์ (Radiant Tube Furnace)

เตาแบบเรเดียนทิวป์ถูกออกแบบสำหรับการบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งต้องการควบคุมสภาพแวดล้อมของการเผาโดยไม่ให้ออกซิเจนสัมผัสกับอากาศและเกิดการเผาไหม้โดยตรง เพื่อรักษาคุณสมบัติและไม่ให้เกิดการแปรสภาพของวัตถุดิบ วัสดุที่ใช้ทำเรเดียนทิวป์ได้แก่ เซรามิก โลหะหล่อผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเตาแบบเรเดียนท์ฮีทติ้ง คือการให้ความร้อนกับเรเดียนท์ฮีทติ้ง จากนั้นเรเดียนท์ฮีทติ้งจะถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุโดยการแผ่รังสี โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเท่ากับ

$$q = \varepsilon\sigma(T_h^4 - T_c^4)A_c$$

เมื่อ

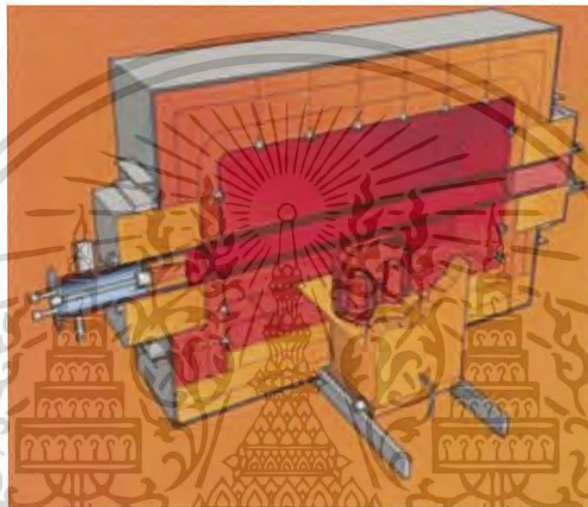
ε = ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของผิววัสดุ มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1

σ = 5.6703×10^{-8} (W/m²K⁴) ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann

T_h = อุณหภูมิผิวงร้อนของพื้นผิว (K)

T_c = อุณหภูมิผิวย็นของพื้นผิว (K)

A_c = พื้นที่ผิว (m²)



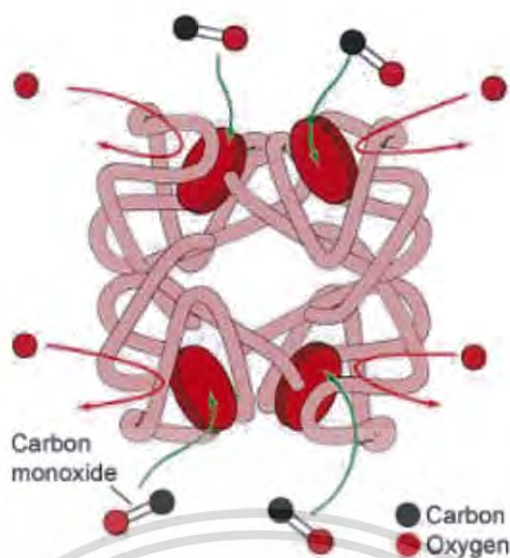
รูปที่ 2.5 แบบจำลองเตาแบบเรเดียนท์ฮีทติ้ง

2.10 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีสูตรทางเคมี “CO” โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอมเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ มีจุดเดือดที่ 109 องศาเซลเซียส และจุดเยือกแข็งที่ -205 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้เล็กน้อย ระเหยได้ง่าย และติดไฟได้เองที่ 607 องศาเซลเซียส เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่มีอันตรายต่อสุขภาพ เมื่อเราได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปในร่างกาย คาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกดูดซับได้ดีที่ปอด และสามารถรวมกับฮีโมโกลบินได้ดีกว่าออกซิเจน 250 เท่า ทำให้ไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆของร่างกายได้ ส่งผลให้ร่างกายเกิดภาวะขาดออกซิเจน ร่างกายจะเกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ เกิดภาวะเลือดเป็นกรด หมดสติ และถึงแก่ชีวิตได้หากได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์ในจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



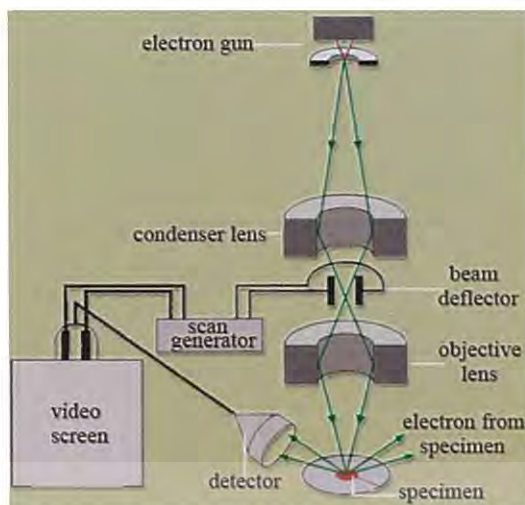
รูปที่ 2.6 แบบจำลองการรวมตัวของคาร์บอนมอนอกไซด์กับฮีโมโกลบิน

2.11 Scanning electron microscope (SEM)

Scanning electron microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุด 10 นาโนเมตร การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนมาจากพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ จึงนิยมนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตีพิมพ์ได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



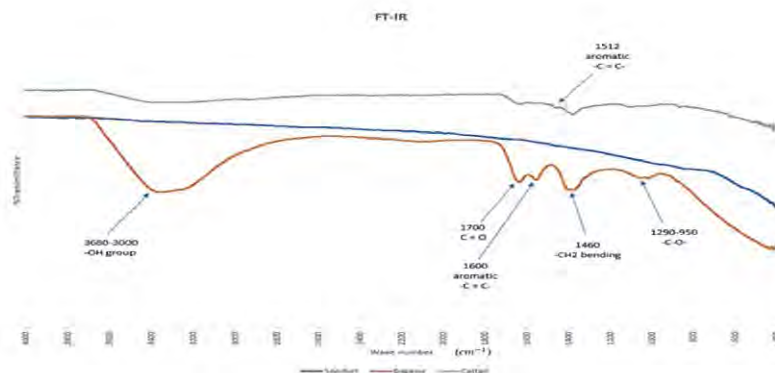
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของ Scanning electron microscope

2.12 Fourier Transform InfraRed Spectrometer (FT-IR Spectrometer)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ที่พัฒนามาจากเครื่อง IR Spectrometer เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น มีความสามารถในการแยกสูงและสภาพไวสูง สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีในปริมาณน้อยๆได้ แหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดของเครื่อง FT-IR Spectrometer เป็นแท่งเซรามิกที่เผาด้วยขดลวดความร้อน ทำให้เกิดรังสีอินฟราเรด สู่กระจกเงาที่ทำด้วยโลหะซดมัน สะท้อนคลื่นแสงสู่ส่วนสำคัญคือตัวแยกแสง (Beam Splitter) เพื่อแยกคลื่นแสงออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ส่วนหนึ่งจะผ่านทะลุออกไป อีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับสู่กระจกเงา โดยมีแสงเลเซอร์ปรับระยะการเคลื่อนที่ของกระจกให้มีระยะและทิศทางที่คลื่นแสงทั้งสองส่วนมารวมกันเป็นลำแสงเดี่ยวผ่านไปยังสารตัวอย่างซึ่งเรียกระบบนี้ว่า The Michelson Interferometer

คลื่นรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ อยู่ระหว่างย่านที่มองเห็น (Visible region) กับย่านไมโครเวฟ ความยาวของคลื่นอินฟราเรด แบ่งเป็นช่วง ๆ คือช่วง wave number $4,000 - 12,800 \text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านอินฟราเรดใกล้ (Near infrared region) ช่วง wave number $200 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านอินฟราเรดกลาง (Middle infrared region) ช่วง wave number $10 - 200 \text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านอินฟราเรดไกล (Far infrared region) นักเคมีวิเคราะห์จะให้ความสนใจและใช้ประโยชน์คลื่นรังสี อินฟราเรดช่วงกลาง (Middle IR.) มากกว่าช่วงอื่น คลื่นอินฟราเรดในช่วง wave number $4,000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งจัดเป็นแสงอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle IR.) มีความถี่ซึ่งตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะโควาเลนซ์ในโมเลกุลของสาร เมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นหรือการหมุนของพันธะของโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่ง ผ่านออกมา แสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ wave number กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่า อินฟราเรด สเปกตรัม (Infrared Spectrum –IR spectrum) ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงผล FT-IR

อินฟราเรดสเปกตรัมเป็นข้อมูลเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ซึ่งแตกต่างจากสารชนิดอื่น โมเลกุลที่มีพันธะต่างชนิดกันจะมีความถี่ของการดูดกลืนคลื่นต่างกัน ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้นๆว่ามีหมู่ฟังก์ชันอะไรบ้าง ในตำแหน่งไหน เช่น สารกลุ่มแอลกอฮอล์จะพิกของพันธะ O-H อยู่ที่ประมาณ $3,300-3,600\text{ cm}^{-1}$ หมู่เอมีน มีพิกพันธะ N-H อยู่ที่ $3,500\text{ cm}^{-1}$ สารเอสเทอร์พิกของ หมู่C=O อยู่ที่ประมาณ $1,000-1,300\text{ cm}^{-1}$ เป็นต้น เมื่อพิจารณาในรายละเอียดที่ปรากฏใน IR spectrum พิกในช่วง $1,350 - 4,000\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นช่วงความถี่ของแถบการดูดกลืนคลื่นแสงของพันธะในของหมู่ฟังก์ชันต่างๆที่ค่อนข้างคงที่ซึ่งกำหนดเป็น ย่านความถี่ของหมู่ฟังก์ชัน (Group functional region) และในช่วงประมาณ $910 - 1,350\text{ cm}^{-1}$ จะได้แถบการดูดกลืนคลื่นแสง ที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เรียกว่าย่านรอยพิมพ์นิ้วมือ (Finger print region) การใช้เครื่อง FT-IR Spectrometer วิเคราะห์ตัวอย่างใช้เวลาอันน้อยมากและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี จึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์เพื่อการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพ หรือเพื่อการยืนยัน สูตรโครงสร้างของสารตัวอย่าง โดยการพิจารณา เปรียบเทียบจากอินฟราเรด สเปกตรัมของสารประกอบ มาตรฐานกับตัวอย่าง ที่วัดในตัวกลางชนิดเดียวกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พิกต่อพิก ถ้าตรงกันเหมือน กันย่อมแสดงว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน เช่นการวิเคราะห์ชนิดหมึกพิมพ์บนแผ่นกระดาษ ชนิดเส้นใยของสิ่งทอ สารเคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างโพลีเมอร์แผ่นพลาสติก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการเทียบ ค่า % Transmittance เช่น การ หาปริมาณด้วยยา, สารออกฤทธิ์ในยาเม็ด เป็นต้น

2.13 มลพิษจากท่อไอเสีย

มลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F ratio) มลพิษจากเครื่องยนต์มีดังนี้

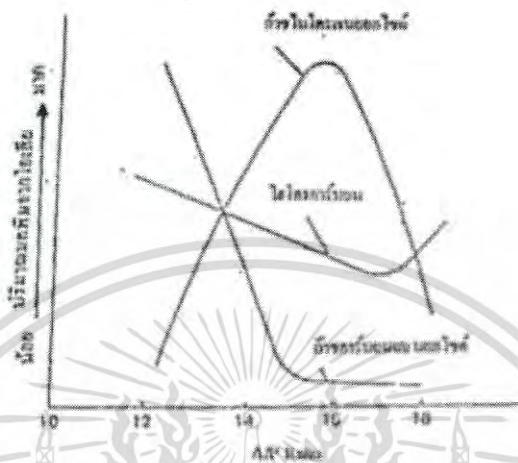
2.13.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง(A/F ratio) หากค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมากขึ้น การเผาไหม้จะสมบูรณ์มากขึ้นและทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง และจากสาเหตุอื่นๆเช่น แรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่หัวฉีดมากเกินไป

2.13.2 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอนที่ออกมาทางท่อไอเสียเกิดจากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสม ซึ่งทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลง และการจุดระเบิดไม่ถูกจังหวะ เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ไฮโดรคาร์บอนจะมีค่าลดลง แต่เมื่อค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 17/1 ไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มขึ้น และจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้ไปไซ่ประโยชน์ดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุอื่นๆเช่น ระบบจุดระเบิดไม่ทำงาน การจุดระเบิดไม่ถูกจังหวะ กำลังอัดของกระบอกสูบน้อยเกินไป วาล์วไอเสียรั่ว

2.13.3 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดจากการเผาไหม้ของไนโตรเจนกับออกซิเจนภายในห้องเผาไหม้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งตรงกันข้ามกับการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมลพิษจากไอเสียกับ AVF ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการทำวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล ตามลำดับดังนี้

3.1 ตัวแปรควบคุม

3.1.1 แหล่งกำเนิดของไอเสีย ซึ่งในที่นี้มาจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่เดินเครื่องแบบเดินเบา เพื่อให้ก๊าซเสียที่ผ่านชั้นกรองมีปริมาณความเข้มข้นของสารพิษใกล้เคียงกันในการทดลองแต่ละครั้ง

3.1.2 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในชุดทดลอง จะใช้ถ่านกัมมันต์ 20 กรัม ตลอดการทดลองจริง

3.2 ตัวแปรหลักที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ชนิดของวัสดุดิบที่ใช้ในการทำถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ ชี้อ้อย, ชานอ้อย และใบธูปฤาษี

3.2.2 อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งจะใช้ตั้งแต่ 500 – 800 องศาเซลเซียส

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UN55 ยี่ห้อ MEMMERT เป็นตู้ที่ใช้อบวัสดุดิบก่อนที่จะนำไปเผา เพื่อไม่ให้วัสดุดิบมีความชื้น เนื่องจากโมเลกุลของออกซิเจน ที่อยู่ในรูปของน้ำจะขัดขวางการเกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และได้ผลิตภัณฑ์เป็นซีโอไลท์ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.1 ตู้อบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เตาเผาแบบท่อ 3 ส่วน (Rotary three zones tube furnace)

เป็นเตาเผาทรงท่อที่ออกแบบสำหรับกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งต้องการควบคุมสถานะการให้ความร้อนของผลิตภัณฑ์และการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอโดยไม่ให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอากาศหรือการเผาไหม้โดยตรง โดยจะใช้ไนโตรเจนแทนออกซิเจนในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)



รูปที่ 3.2 เตาเผาแบบท่อ 3 ส่วน

3.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

เป็นกล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของวัตถุด้วยกำลังขยายในระดับ 100,000 เท่าโดยการยิงอิเล็กตรอนไปบนวัตถุทำให้เกิดสัญญาณและพลังงานต่าง ๆ ออกมาแล้วตรวจจับแปลงสัญญาณให้เป็นภาพ ลักษณะตัวอย่างเป็นของแข็งหรือเป็นผงที่ไม่มีความชื้นหรือการระเหยของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด

3.3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform - infrared spectroscopy); FT-IR รุ่น UATR Two ยี่ห้อ Perkin Elmer เป็นเครื่องสำหรับศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวอย่าง โดยจะใช้หัวเพชรและโหมด ATR ในการวิเคราะห์ สแกนในช่วงระหว่างเลขคลื่นที่ 400cm^{-1} ถึง 4000 cm^{-1}



รูปที่ 3.4 เครื่อง FT-IR

3.3.5 ชุดทดลอง

เป็นอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นมาเพื่อรองรับการทดสอบการทำงานของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวกรองไอเสีย โดยที่ตัวท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ช่วงล่างไปถึงช่วงบนสุดมีความยาว 25, 10 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนที่เป็นชั้นกรองจะเป็นส่วนที่ 2 ซึ่งจะมีลวดตาข่ายละเอียดตรงไว้ทั้ง 2 ทางที่หน้าแปลนเพื่อให้ใส่ถ่านกัมมันต์ได้ โดยท่อเหล็กนี้ถูกเจาะรูไว้ก่อนผ่านชั้นกรองเพื่อวัดค่าความเข้มข้นของ CO และมีท่ออ่อนติดไว้ด้านล่างสุดเพื่อไปเชื่อมต่อกับท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์เพื่อดึงไอเสียที่ได้มาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ชุดทดลอง

3.3.6 เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue gas analyzer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดแก๊สไอเสียจากปล่องระบาย และวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยวัดจากปริมาณของ O_2 , CO , CO_2 ที่ออกมากับแก๊สไอเสียแล้ววิเคราะห์ออกมาเป็นตัวเลข

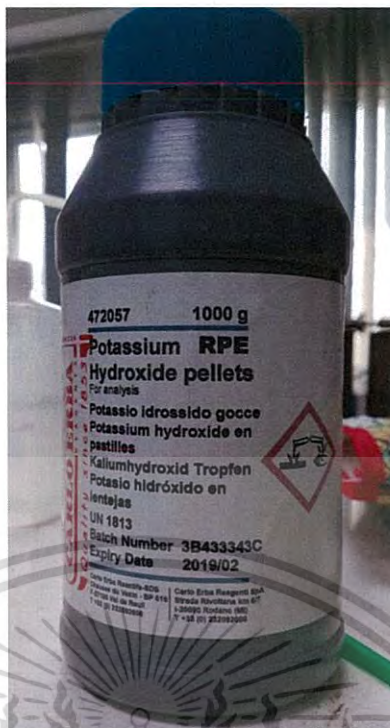


รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

3.3.7 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)

หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าด่างคลี มีสูตรโมเลกุลว่า KOH มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรงต่อเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.4 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์

3.4.1.1 เตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ให้มีขนาดประมาณ $1 \times 1 \text{ cm}^2$



รูปที่ 3.8 เตรียมวัตถุดิบให้มีขนาดที่ต้องการ

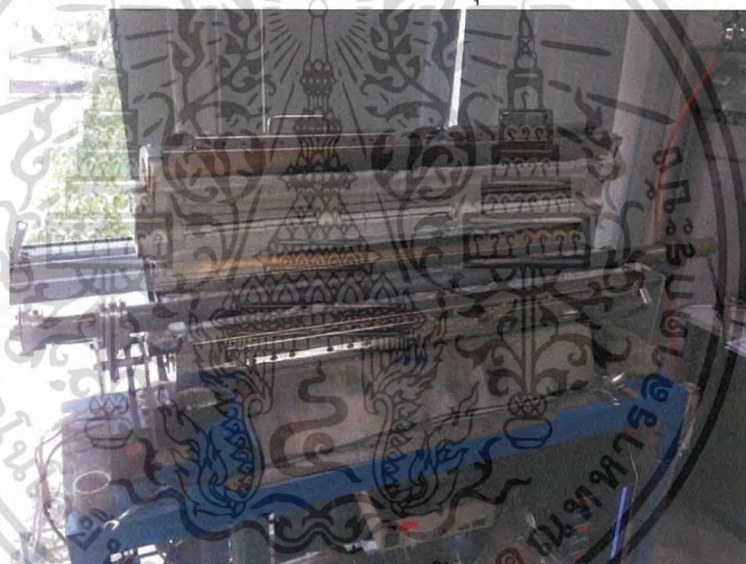
3.4.1.2 นำวัตถุดิบแต่ละชนิดไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ตู้อบลมร้อน

3.4.1.3 นำวัตถุดิบที่ผ่านการอบแล้วไปเผาในเตาเผาแบบท่อที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และจัดเก็บถ่านกัมมันต์ที่ได้ในบรรจุภัณฑ์ป้องกันความชื้น



รูปที่ 3.10 เตาเผาแบบท่อ 3 ส่วน

3.4.1.4 นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระบวนการคาร์บอนเซชันไปตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยเครื่อง SEM เพื่อหาลักษณะพื้นผิวและขนาดของรูพรุน และศึกษาหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่อง FT-IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เครื่อง SEM และ FT-IR

3.4.1.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จาก 3.4.1.4 เพื่อเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการทดลองต่อไป

3.4.1.6 เมื่อทราบวัตถุดิบที่เหมาะสมแล้ว จะทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน โดยนำวัตถุดิบดังกล่าวไปเข้ากระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลที่ได้โดยเครื่อง SEM อีกครั้ง

3.4.1.7 เมื่อทราบที่อุณหภูมิเหมาะสมที่สุดแล้ว นำวัตถุดิบดังกล่าวไปแช่ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเป็นการกระตุ้น และนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปเข้ากระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลที่ได้โดยเครื่อง SEM อีกครั้ง



รูปที่ 3.12 ซีลี้อยที่นำมาแช่ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังจากกระบวนการคาร์บอนเซชัน

3.4.2 เตรียมชุดทดลองและการทดสอบ

ในการทดสอบความสามารถในการดักจับของถ่านกัมมันต์ จำเป็นต้องทำการสร้างชุดทดลองขึ้นมาเพื่อควบคุมการไหลของไอเสียที่ต้องการวัดความเข้มข้น ซึ่งแหล่งกำเนิดไอเสียนั้นใช้เป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟของรถจักรยานยนต์ และอยู่ในสถานะเดินเบา เพื่อควบคุมอัตราการปล่อยเสียมาสู่ชุดทดลอง

3.4.2.1 ทำการจัดซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น ได้แก่ ท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 10 เซนติเมตร 2 ท่อ, 25 เซนติเมตร 1 ท่อ มีเกลียวทั้งหัวและท้าย, หน้าแปลนขนาด 3 นิ้ว 4 ชิ้น มีเกลียวใน, สกรู M8 6 ตัว, M12 2 ตัว, น็อต M8 6 ตัว, แหวน M8 12 วง, ตาข่ายละเอียด, แผ่นยาง, ท่ออ่อน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 1 เมตร และ ท่อลด จาก 3 เป็น 1 นิ้ว

3.4.2.2 ทำการเจาะรูหน้าแปลนด้วย ดอกสว่าน M8 3 รู ทั้ง 4 ชิ้น เพื่อไว้ใส่สกรูยึด

3.4.2.3 เจาะรูที่ท่อเหล็กที่ยาว 25 เซนติเมตร โดยใช้ดอกสว่าน M12 1 รู ไว้สำหรับวัดค่าความเข้มข้นของ CO

3.4.2.4 ตัดแผ่นยางให้มีขนาดเท่าหน้าแปลน และเจาะรูเช่นเดียวกันกับหน้าแปลน ใช้สำหรับชั้นระหว่างหน้าแปลนที่ประกบกันโดยมีตาข่ายอยู่ตรงกลาง

3.4.2.5 นำทุกส่วนมาประกอบกัน โดยที่มีแอสตันช่วยในการค้ำชุดทดลอง ดังรูปที่ 3.14 เป็นถังเหล็ก และ เศษเหล็กฉาก



รูปที่ 3.14 ชุดทดลอง



รูปที่ 3.15 ชุดทดลอง

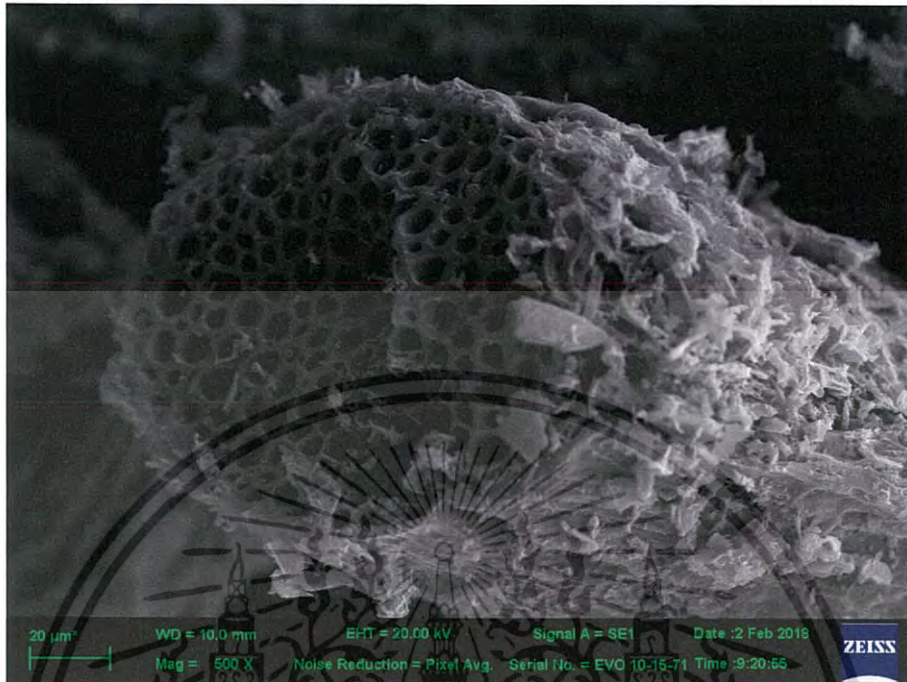
3.4.2.6 ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์และรอให้เครื่องยนต์เข้าสู่สภาวะคงที่ ประมาณ 1 - 2 นาที

3.4.2.7 เริ่มทำการวัดค่าความเข้มข้นของ CO ในไอเสีย โดยเสียบเครื่องวัดเข้าทางรูที่เจาะไว้ และวัดหลังจากที่ผ่านชั้นกรอง สลับกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

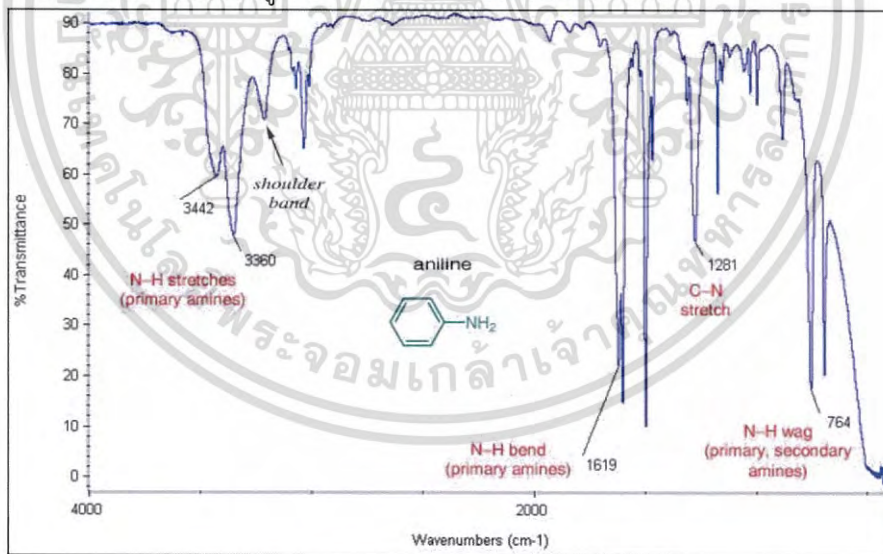
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาจะสามารถระบุลักษณะพื้นผิว และขนาดได้จากเครื่อง SEM



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพที่ได้จากเครื่อง SEM

3.5.2 สามารถตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของถ่านได้โดยเครื่อง FT-IR



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่อง FT-IR

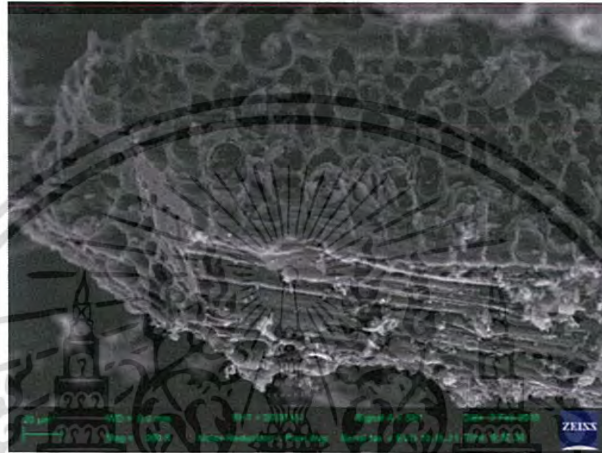
3.5.3 การวัดปริมาณของก๊าซชนิดต่างๆได้โดยการอ่านค่าจาก เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope)

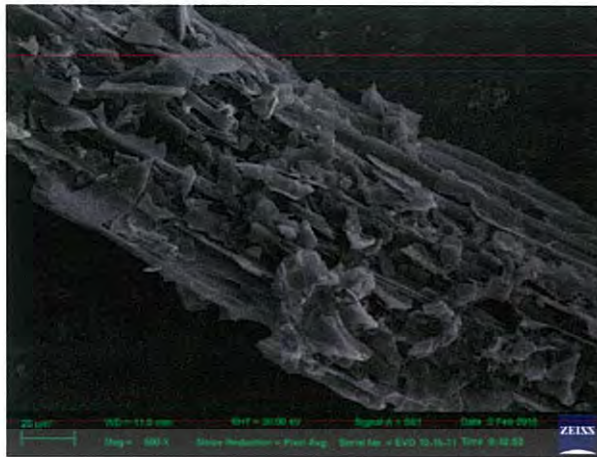


รูปที่ 4.1 ภาพ SEM ของซีลี้อยู่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



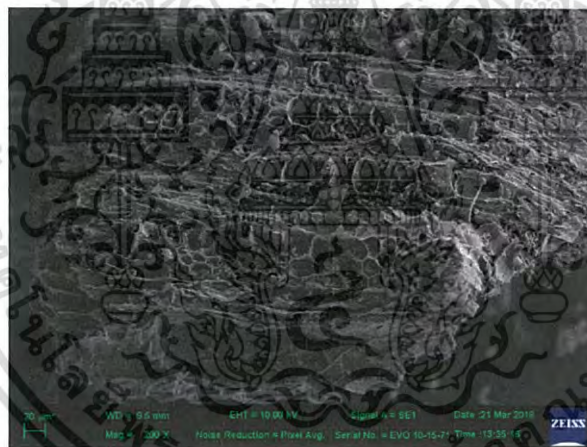
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ของชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



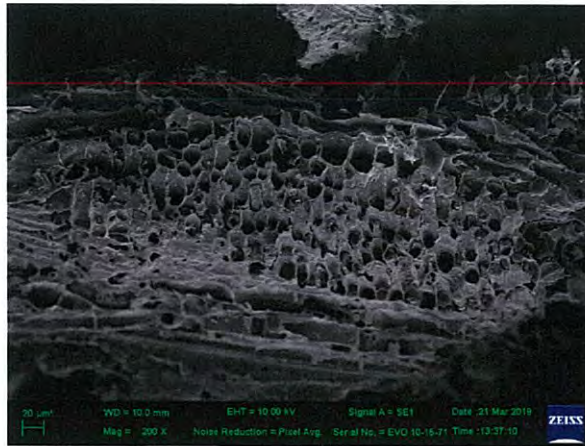
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของไบรูปถาซีที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นโครงสร้างของวัสดุที่ทั้ง 3 อย่างที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันแล้ว และจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของซีลื้อยมีการก่อตัวของรูพรุนเกิดขึ้นมากกว่าชานอ้อย และไบรูปถาซี ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ซีลื้อยในการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ของซีลื้อยที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของซีลี้อยู่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



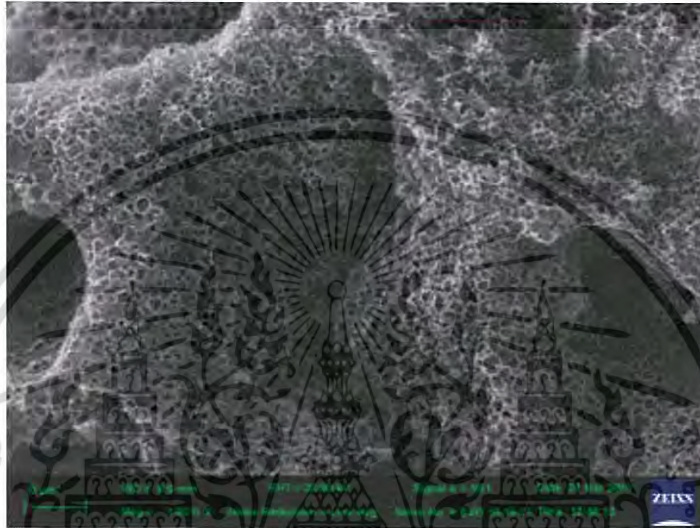
รูปที่ 4.6 ภาพ SEM ของซีลี้อยู่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 ภาพ SEM ของซีลี้อยู่ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

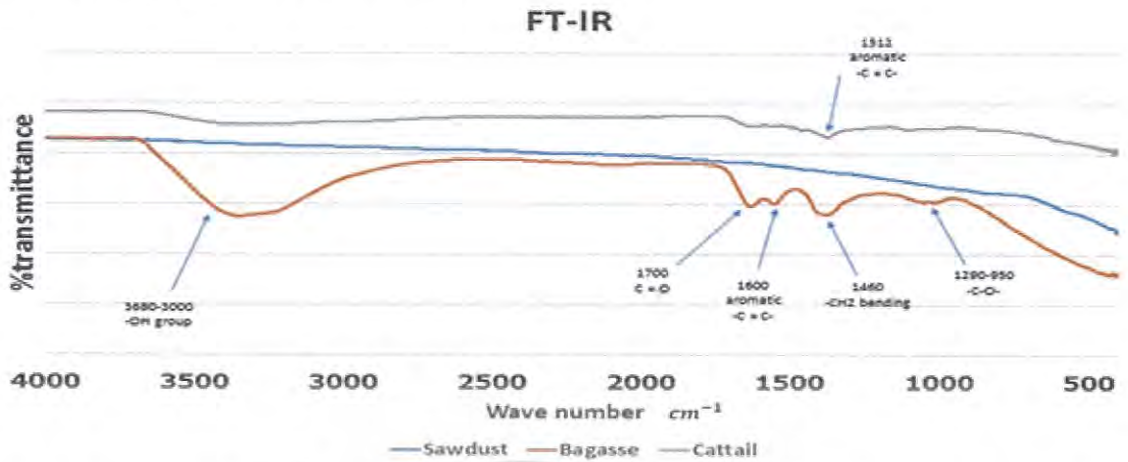
รูปที่ 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่ส่งผลต่อการก่อตัวของรูพรุนของซีลื้อย จะเห็นได้ว่าตั้งแต่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียสนั้น มีแนวโน้มการก่อตัวของรูพรุนที่ดีขึ้นเรื่อยๆโดยอ้างอิงจากการสร้างสเกลพื้นที่ $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ และนับจำนวนรูพรุนในกรอบสเกลนั้น ซึ่งจะได้เท่ากับ 14, 18, 30 รูพรุนตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างของซีลื้อยเริ่มมีการพังทลายเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนที่มากเกินไปจนทำให้โครงสร้างของซีลื้อยเสียสภาพ ดังนั้นจึงเลือกใช้ที่ 700 องศาเซลเซียสต่อไป



รูปที่ 4.8 ภาพ SEM ของซีลื้อยที่ถูกกระตุ้นโดยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.8 เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรูพรุนหลังการที่ได้รับการกระตุ้นโดยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีการแตกออกมากขึ้นและมีการก่อตัวของรูพรุนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด รวมทั้งมีความเป็นระเบียบมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากสารละลายดังกล่าวไปช่วยในการแตกโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ในชีวมวลและช่วยกระตุ้นให้เกิดการก่อตัวของรูพรุนนั่นเอง

4.2 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.9 กราฟ FT-IR สเปกตรัม ของใบธูปฤาษี, ขี้เลื่อย และ ชานอ้อย ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนใน เซลล์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.6 เป็นการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบทั้งสามชนิดได้แก่ ใบธูปฤาษี, ขี้เลื่อย และ ชานอ้อย ตามลำดับ กราฟนี้จะสามารถบอกได้ว่าสารต่างๆมีหมู่ฟังก์ชันใดในตัวบ้าง โดยจะแสดงออกมาในรูปของ”พีค”นั่นเอง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าหากพีคในกราฟนั้นมีอยู่มาก แสดงว่าสารนั้นมีหมู่ฟังก์ชันอยู่มาก โดยในงานวิจัยนี้ เราต้องการให้หมู่ฟังก์ชันต่างๆในวัตถุดิบของเราถูกทำลายในกระบวนการคาร์บอนในเซลล์ให้มากที่สุด เพื่อที่เราจะได้สารที่มีพื้นที่ผิว(รูพรุน)มากที่สุดสำหรับการนำไปเป็นตัวกรอง ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ยังมีพีคน้อยยั้งคั่นเอง

จะเห็นได้ว่ามีพีคในช่วง 3000-3680 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ -OH พีคในช่วง 1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ C=O พีคในช่วง 1600 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ C=C พีคในช่วง 1450 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ -CH₂ และ พีคในช่วง 950-1290 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ C-O ในถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย และพบพีคในช่วง 1512 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ C=C ในถ่านกัมมันต์จากใบธูปฤาษี สรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยซึ่งไม่พบพีคใดๆแสดงได้ว่า สารประกอบอินทรีย์ต่างๆได้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน

4.3 ผลการทดลองการวัดไอเสีย

ในการทดลองนั้นใช้ไอเสียที่ได้จากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟในสถานะเดินเบา และใช้ถ่านกัมมันต์ 20 กรัม



รูปที่ 4.10 หน้าหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนการทดลองครั้งที่ 1



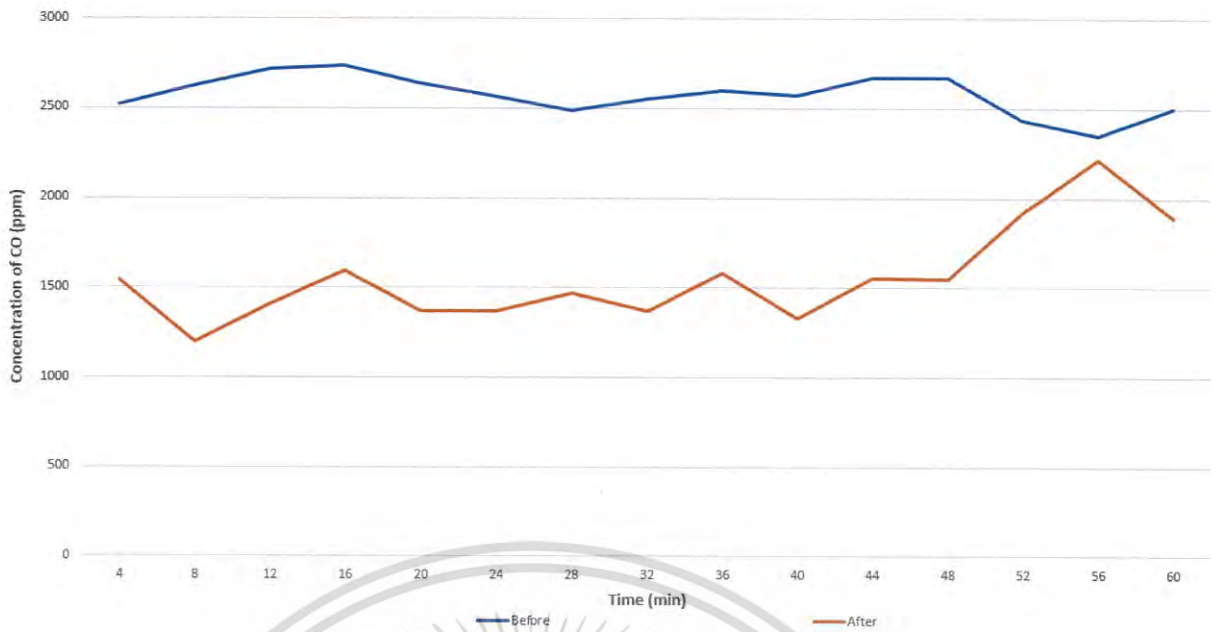
รูปที่ 4.11 หน้าหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าปริมาณ CO ในการทดลองครั้งที่ 1

| เวลา (นาที) | CO (ppm) แบบไม่มีชั้นกรอง | CO (ppm) แบบมีชั้นกรอง | ประสิทธิภาพการดักจับ CO (%) |
|-------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 4 | 2520 | 1540 | 38.89 |
| 8 | 2626 | 1195 | 54.49 |
| 12 | 2717 | 1410 | 48.10 |
| 16 | 2735 | 1594 | 41.71 |
| 20 | 2635 | 1370 | 48.00 |
| 24 | 2568 | 1371 | 46.61 |
| 28 | 2484 | 1470 | 40.82 |
| 32 | 2553 | 1372 | 46.25 |
| 36 | 2596 | 1581 | 39.09 |
| 40 | 2571 | 1330 | 48.27 |
| 44 | 2674 | 1556 | 41.81 |
| 48 | 2672 | 1549 | 42.03 |
| 52 | 2436 | 1921 | 21.14 |
| 56 | 2345 | 2213 | 5.62 |
| 60 | 2500 | 1890 | 24.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



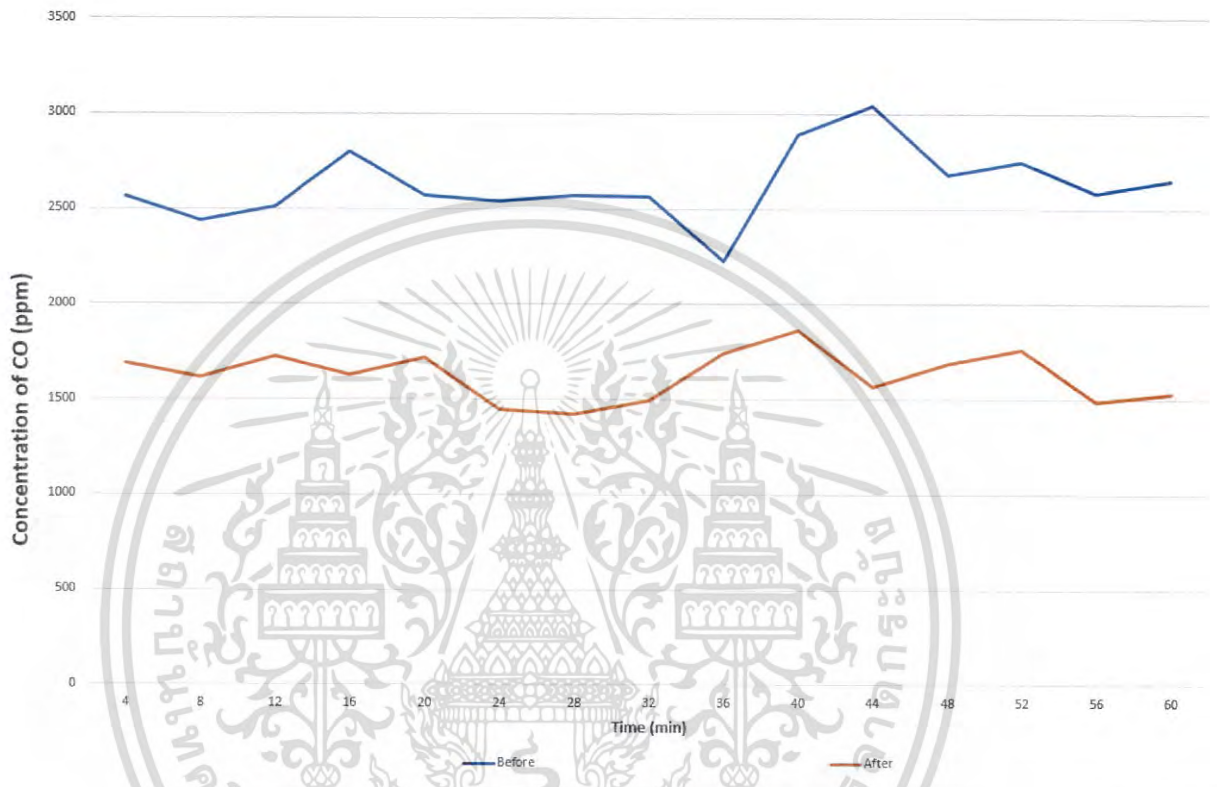
รูปที่ 4.12 ปริมาณ CO ในไอเสียของการทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.2 ค่าปริมาณ CO ในการทดลองครั้งที่ 2

| เวลา (นาที) | CO (ppm) แบบไม่มีชั้นกรอง | CO (ppm) แบบมีชั้นกรอง | ประสิทธิภาพการดักจับ CO (%) |
|-------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 4 | 2564 | 1687 | 34.20 |
| 8 | 2437 | 1617 | 33.65 |
| 12 | 2508 | 1722 | 31.34 |
| 16 | 2798 | 1628 | 41.81 |
| 20 | 2569 | 1720 | 33.04 |
| 24 | 2543 | 1445 | 43.17 |
| 28 | 2571 | 1424 | 44.61 |
| 32 | 2562 | 1497 | 41.57 |
| 36 | 2224 | 1745 | 21.54 |
| 40 | 2891 | 1863 | 35.56 |
| 44 | 3040 | 1570 | 48.36 |
| 48 | 2681 | 1689 | 37.00 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|----|------|------|-------|
| 52 | 2743 | 1759 | 35.87 |
| 56 | 2583 | 1487 | 42.43 |
| 60 | 2648 | 1530 | 42.22 |



รูปที่ 4.13 ปริมาณ CO ในไอเสียของการทดลองครั้งที่ 2
จากการทดลองครั้งที่ 1 พบว่ามวลของถ่านกัมมันต์เพิ่มมาเป็น 25.54 กรัม และครั้งที่ 2 เพิ่มมา
เป็น 24.19 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 น้ำหนักของถ่านกัมมันต์หลังการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.15 น้ำหนักของถ่านกัมมันต์หลังการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหมายความว่ามีการดักจับเข้ามาได้ 5.53 และ 4.19 กรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ และสามารถหาความสามารถในการดักจับโดยเฉลี่ยได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\text{ความเข้มข้นของ } CO \text{ เฉลี่ยก่อนผ่านชั้นกรอง} - \text{ความเข้มข้นของ } CO \text{ เฉลี่ยหลังผ่านชั้นกรอง}}{\text{ความเข้มข้นของ } CO \text{ เฉลี่ยก่อนผ่านชั้นกรอง}} \times 100$$

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดักจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟโดยใช้ชั้นกรองถ่านกัมมันต์(ซีลื้อยที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และคาร์บอนเฮกเซนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในบรรยากาศไนโตรเจน)พบว่าประสิทธิภาพการดักจับเท่ากับ 38.79%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษาคุณสมบัติพื้นผิวและหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด คือ ซี้เลียย, ชานอ้อย และ ไบรอปฤาชี พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจาก ซี้เลียย มีแนวโน้มการก่อดตัวของรูพรุนมากที่สุด

5.1.2 จากการศึกษาการผลกระทบบของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนเซชันของซี้เลียย ตั้งแต่ 500-800 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ 500-700 มีแนวโน้มการก่อดตัวของรูพรุนที่ดีขึ้น คือ 14, 18, 30 รูพรุนต่อสเกลพื้นที่ $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ และที่ 800 องศาเซลเซียส รูพรุนมีการแตกตัวเนื่องจากความร้อนมากเกินไป จึงสรุปว่าที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานมากที่สุด

5.1.3 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นและคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่ามีการก่อดตัวของรูพรุนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

5.1.4 จากการศึกษาการทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาใช้ทดลองจริงโดยการสร้างชุดทดลองขึ้นและใช้ไอเสียที่เกิดจากการเดินเบาของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ใส่ถ่านกัมมันต์ในชั้นกรอง 20 กรัม พบว่า ความเข้มข้นของ CO ก่อนเข้าชั้นกรองอยู่ในช่วง 2500-3000 ppm และออกจากชั้นกรองด้วยความเข้มข้น 1400-1800 ppm ความสามารถในการดักจับเฉลี่ยอยู่ที่ 38.79 % และดักจับเข้ามาได้ 4-5.5 กรัม/ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากงบประมาณในการทำวิจัยมีจำกัด จึงไม่สามารถหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆได้โดยละเอียด ซึ่งโดยทั่วไปสามารถใช้ BET surface area analyzer ในการตรวจสอบได้

5.2.2 นอกจากการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นแล้วยังสามารถใช้กรด หรือ เบสตัวอื่นในการกระตุ้นได้เช่นกัน ผลที่ได้อาจจะมีความแตกต่างกันด้วย

5.2.3 ไม่สามารถศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในชุดทดลองได้ เนื่องจากการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นใช้เวลานาน ทำให้มีถ่านกัมมันต์ในปริมาณจำกัด

5.2.4 ไม่สามารถหาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ได้ เนื่องจากเวลาและเครื่องมือที่มีจำกัด

B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B8%94%E0%B9%8C.html [4 มิถุนายน 2561]

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ถ่านปลุกฤทธิ์. [Online]. สืบค้นได้จาก <https://mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/552-2016-02-09-03-10-28>

มหาวิทยาลัยรามคำแหง. อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี. [Online]. สืบค้นได้จาก <http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/index.html> [20 กุมภาพันธ์ 2561]

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. [Online]. สืบค้นได้จาก <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/nanotech/Page/Unit4-5.html> [4 มีนาคม 2561]

สุดา นันทวิทยา. มลพิษจากไอเสียจากรยานยนต์. [Online]. สืบค้นได้จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2540_45_145_p3-5.pdf [10 มิถุนายน 2561]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

| cm-1 | หมู่ฟังก์ชัน | รายละเอียด |
|---------------------------|-------------------------|--|
| 3600-3400 | O-H stretching | 3650-3590 cm-1 (sh, w) แอลกอฮอล์อิสระ 3400-3200 cm-1 (b) แอลกอฮอล์ที่เกิดพันธะไฮโดรเจน 3400-2400 cm-1 (vs, vb) กรดคาร์บอกซิลิก |
| 3500-3200 | N-H stretching | 3200-3400 cm-1(m) 1O เอมีนและเอมีต มี 2 แถบ 3200-3400 cm-1(w) 2O เอมีนและเอมีต มี 1 แถบ |
| 3300 (vs) | =C-H stretching | 3300 cm-1 อัลไคน์ที่มี =C-H ที่ปลายโซ่ |
| 3100-3000 (w, sh) | =C-H stretching | อัลคีนและเบนซีน (อาจมีหลายพีค) |
| 3000-2800 | C-H stretching | หมู่ CH ₃ , CH ₂ และ CH ของอัลเคน |
| 2850-2780 | C-H stretching | แอลดีไฮด์ |
| 2250-2225 | C=N stretching | ไนทริล (m) |
| 2260-2100 | C=C stretching | อัลไคน์ (w) โมเลกุลที่สมมาตรจะไม่มีแถบนี้ปรากฏ |
| 1820-1760 (s) | C=O stretching | แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ |
| 1800 (s) | C=O stretching | กรดคลอไรด์ |
| 1770 (s) | C=O stretching | แกมมา-แลกโตน |
| 1735 (s) | C=O stretching | เอสเทอร์ |
| 1725 (s) | C=O stretching | แอลดีไฮด์ |
| 1715 (s) | C=O stretching | คีโตน |
| 1710 (s) | C=O stretching | กรดคาร์บอกซิลิก |
| 1690-1650 (s) | C=O stretching | เอไมด์ |
| 1650-1600 (w) | C=C stretching | อัลคีน |
| 1650-1590 (s-m) | N-H bending | 1O เอมีน |
| 1650-1550 (w) | N-H bending | 2O เอมีน |
| 1620-1590 (s) | N-H bending | 1O เอมีต |
| 1550-1510 (s) | N-H bending | 2O เอมีต |
| 1600, 1580, 1500 และ 1450 | C=C stretching | เบนซีนและเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ ความเข้มข้นไม่แน่นอน อาจมี 2, 3 หรือมีทั้ง 4 แถบ |
| 1520 (s) และ 1350 (s) | NO ₂ bending | สารประกอบไนโตร |
| 1465-1450 | C-H bending | หมู่ CH ₂ |
| 1450-1375 | C-H bending | หมู่ CH ₃ |
| 1400-1000 | C-F stretching | สารประกอบฟลูออไรด์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ : s = ความเข้มสูง , vs = ความเข้มสูงมาก , m = ความเข้มปานกลาง , w = ความเข้มต่ำ ,
vw = ความเข้มต่ำมาก , sh = แหลมคม , b = กว้าง , vb = กว้างมาก , OOP = out - of - plane
(การยื่นออกนอกระนาบ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำและเตาเผา รุ่น testo 330-2LL



รูปที่ ข.1 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำและเตาเผา รุ่น testo 330-2LL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measuring ranges and resolution

| Parameter | Measuring range | Resolution |
|---|--|---|
| O ₂ | 0...21 Vol.% | 0.1 vol.% |
| CO | 0...4000 ppm | 1 ppm |
| CO, H ₂ -comp. ¹ | 0...8000 ppm | 1 ppm |
| CO _{low} | 0...500 ppm | 0.1ppm |
| AmbCO through flue gas probe | 0...2000 ppm | 1 ppm |
| AmbCO with probe 0632 3331 | 0...500 ppm | 1 ppm |
| NO | 0...3000 ppm | 1 ppm |
| Draught | -9.99...40 hPa | 0.01 hPa |
| ΔP | 0...300 hPa | 0.1 hPa |
| Temperature | -40...1200 °C | 0.1°C (-40.0...999.9 °C) 1°C (rest of range) |
| Efficiency net | 0...120 % | 0.1 % |
| Flue gas loss | 0...99.9 % | 0.1 % |
| AmbCO ₂ with probe 0632 1240 | 0...1 vol. 0...10000 ppm | - |
| Gas leak testing with probe 0632 3330 | 0...10000 ppm CH ₄ / C ₃ H ₈ | - |

รูปที่ ข.2 ช่วงการวัดและค่าความละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Accuracy and response time

| Parameter | Accuracy | Response time |
|------------------------------|--|-------------------|
| O ₂ | ±0.2 vol.% | < 20s (t90) |
| CO | ±20 ppm (0...400 ppm) ±5% of mv (401...1000 ppm) ±10% of mv (1001...4000 ppm) | < 60s (t90) |
| CO, H ₂ -comp. | ±10 ppm or ±10 % of mv ² (0...200 ppm) ±20 ppm or ±5 % of mv ² (201...2000 ppm) ±10% of mv (2001...8000 ppm) | < 60s (t90) |
| COlow | ±2 ppm (0...39.9 ppm) ±5 % of mv (rest of range) | < 40s (t90) |
| AmbCO through flue gas probe | ±10 ppm (0...100 ppm) ±10 % of mv (101...2000 ppm) | < 35s (t90) |
| AmbCO with 0632 3331 | ±5 ppm (0...100 ppm) ³ ±5 % of mv (>101 ppm) | approx. 35s (t90) |
| NO | ±5 ppm (0...100 ppm) ±5 % of mv (101...2000 ppm) ±10 % of mv (2001...3000 ppm) | < 30s (t90) |
| Draught ⁴ | ±0.02 ppm or ±5% of mv ² (-0.50...0.60 hPa) ± 0.03 hPa (0.61...3.00 hPa) ±1.5 % of mv (3.01...40.00 hPa) | - |
| ΔP | ± 0.5 hPa (0.0...50.0 hPa) ±1 % of mv (50.1...100.0 hPa) ±1.5 % of mv (rest of range) | - |

รูปที่ ข.3 ค่าความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในการตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้