

การเปลี่ยนน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วไปเป็นอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วย
กระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวเพื่อนำไปประยุกต์เป็นตัวกำจัดสีย้อม

CONVERSION OF USED MOTOR OIL INTO CARBON NANOPARTICLES BY
SOLUTION PLASMA PROCESS FOR DYE REMOVAL APPLICATIONS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONVERSION OF USED MOTOR OIL INTO CARBON NANOPARTICLES BY
SOLUTION PLASMA PROCESS FOR DYE REMOVAL APPLICATIONS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปลี่ยนน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วไปเป็นอนุภาคนาโนคาร์บอน ด้วยกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวเพื่อนำไปประยุกต์เป็นตัวกำจัดสีย้อม

Special Project Title CONVERSION OF USED MOTOR OIL INTO CARBON NANOPARTICLES BY SOLUTION PLASMA PROCESS FOR DYE REMOVAL APPLICATIONS

นักศึกษา นางสาว นภัสวรรณ แสงอรุณทอง
นาย ปริญา คงทอง

รหัสประจำตัว 56110018
56110022

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. กษิตศ พนมสุวรรณ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร. สากล ระหงษ์	นทว 56110018
ผศ.ดร. นวพันธ์ ชัยนิกิจ	นางพิมพ์ 56110022
ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ	ดร. กษิตศ

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ศรียุทธ ฟูจิไพบิจิตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรียุทธ ฟูจิไพบิจิตร)

หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วันที่.....!!..... เดือน.....พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การเปลี่ยนน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งาน แล้วนำมาผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวเพื่อนำไปประยุกต์เป็นตัวกำจัดสีย้อมในอุตสาหกรรม

นักศึกษา

นางสาวณภัทรวรรณ แสงอรุณทอง

นายปริญญา คงทอง

รหัสประจำตัว

56110018

56110022

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุนาโน

พุทธศักราช

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร.อภิรักษ์ณธ์ เอียดเอื้อ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.กษิติศ พนมสุวรรณ

บทคัดย่อ

อนุภาคนาโนคาร์บอน (CNPs) ได้รับการสังเคราะห์จากส่วนผสมของน้ำมันเครื่องและเบนซินที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) การสังเคราะห์ทำได้ภายในขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ในการทดลองศึกษาถึงผลของอัตราส่วนการผสมระหว่างน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับน้ำมันเบนซินต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (FE-SEM), ตรวจวัดหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR), องค์ประกอบของเฟสด้วยการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD) และตรวจวัดความเป็นผลึกด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี ผลการทดลองพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกลุ่มฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่อัตราส่วนการผสมที่แตกต่างกัน ขนาดของอนุภาคพบว่ามีขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-30 นาโนเมตร ความเป็นผลึกของอนุภาคนาโนคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการสังเคราะห์ขึ้นภายใต้การใช้น้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วซึ่งอาจเป็นผลมาจากโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons :PAHs) ที่อยู่ในน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานจากการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่การสังเคราะห์ที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว (UO) กับเบนซิน (BZ) ที่สัดส่วน 80:20 มีความเป็นผลึกสูงสุดจึงได้นำเอาไปสังเคราะห์เพื่อเพิ่มผลผลิต และนำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้ออกมานั้นไปทำการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้ใช้วิธีการผลิต 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกก็คือวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น แล้วใช้อุณหภูมิในการเผาอยู่ที่ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ส่วนวิธีที่สองก็คือวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (ใช้ไอน้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้อุณหภูมิในการเผาอยู่ที่ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส และทำการนำไปตรวจวัดพื้นผิว และความเป็นรูพรุน ด้วยเทคนิคการดูดซับ การคายซับของก๊าซไนโตรเจน (N_2 adsorption desorption isotherm) จากนั้นนำไปทำการทดสอบการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู (Methylene blue) ซึ่งเป็นตัวแทนสีย้อมจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม โดยในการทดสอบทำการเลือกใช้สีย้อมที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ดังนี้ 25, 50 และ 75 ppm โดยใช้เวลาในการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน และสุดท้ายนำไปตรวจสอบความสามารถในการดูดกลืน ด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-visible spectroscopy) โดยจากผลการทดสอบการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว (SPP) สามารถดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูได้ทั้ง 3 ความเข้มข้น และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมได้ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมได้



Special Project Title	Conversion of used motor oil into carbon nanoparticles by liquid phase plasma for dye removal applications
Student	Ms. Napatsawan Saengarunthong Mr. Parinya Khongthong
Student ID	56110018 56110022
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2016
Special Project	Asst. Prof. Dr. Apiluck Eiad-ua
Special Project Co-advisor	Dr. Gasidit Panomsuwan

ABSTRACT

Carbon nanoparticles (CNPs) were successfully synthesized from the mixture of used motor oil and benzene via a solution plasma process (SPP). The synthesis was achieved within a single step at room temperature and atmospheric pressure. The effects of mixing ratio between used motor oil and benzene on the physical and chemical properties of CNPs were investigated by means of field-emission scanning electron microscopy (FESEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy. The results revealed that there were no significant changes in morphological feature and chemical functional groups on CNPs at different mixing ratios. The CNPs exhibited the aggregates of fine particles with the diameter of about 20–30 nm. The crystallinity of CNPs was found to be slightly increase when synthesized under the presence of used motor oil, possibly due to the effect of aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in used motor oil. The results indicated that the ratio between used motor oil and benzene at 80:20 had highest crystallinity. Therefore, we synthesized more CNPs to increase mass product and synthesized the activated carbon from the increasing CNPs by 2 process: steam activation at 600, 700 and 800°C and chemical activation at 400, 500 and 600°C. The specific surface and pore structure were analyzed by N₂ adsorption/desorption isotherm. After the activated carbons are obtained, we study the adsorption capacity of methylene blue dye at 25, 50 and 75 ppm, shaking for

180 min and the absorbance of the methylene blue solution was investigated by ultraviolet-visible spectroscopy. The result showed that CNPs were synthesized via a solution plasma process (SPP) has a good efficiency for removals of methylene blue (MB) dye and can be applied for a good adsorbent for wastewater treatment.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ ผศ. ดร.อภิรักษ์ ญีเยียดเอื้อ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ การปรับปรุงแก้ไข รวมไปถึงข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. กษิตศ พนมสุวรรณ สำหรับข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย รวมไปถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมบ่มวิชา ดูแลเป็นอย่างดี นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในวิทยาลัยนาโนฯ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ และขอบคุณคณะวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยนวัตกรรมจัดการข้อมูล และอาคารวิจัยนาโนเทคโนโลยีสีรินธร ที่ได้มอบพื้นที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นภัสวรรณ แสงอรุณทอง
ปริญญา คงทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญ.....	vi
สารบัญตาราง.....	xiii
สารบัญรูป.....	xiv
คำย่อและสัญลักษณ์.....	xviii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษาวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	3
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 น้ำมัน.....	4
2.1.1 น้ำมันหล่อลื่น.....	4
2.1.2 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น.....	8
2.1.2.1 การเสื่อมสภาพของตัวเนื่อน้ำมันที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	8
2.1.2.2 สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพไป.....	9
2.1.2.3 มีสิ่งสกปรกหรือสารอื่นจากภายนอกเข้าไปปะปน.....	9
2.1.3 การขจัดน้ำมันหล่อลื่นที่หมดอายุใช้งาน.....	9
2.1.4 การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้งานแล้วกลับมาใช้งานใหม่.....	10
2.1.4.1 การบำบัดโดยใช้สารเคมี.....	10
2.1.4.2 การบำบัดโดยวิธีการกลั่น และบำบัดของโคลน.....	11
2.1.4.3 การบำบัดโดยวิธีการกลั่น และกระบวนการไฮโดรฟิไนซิง.....	11
2.1.4.4 กระบวนการแอสิต/การบำบัดของโคลน	12
2.1.4.5 การบำบัดน้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพโดยวิธีฟิวอาร์โอพี.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 เบนซิน.....	12
2.2.1 โครงสร้างของเบนซิน.....	13
2.2.2 ประโยชน์เบนซิน.....	13
2.2.3 การผลิตเบนซิน.....	13
2.2.3.1. การแยกเบนซินจากกระบวนการเผาถ่านหิน.....	13
2.2.3.2. การแยกเบนซินจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม.....	13
2.2.3.3 การสังเคราะห์เบนซินจากสารตั้งต้นต่างๆ.....	14
2.2.4 เกรดเบนซิน.....	14
2.2.4.1 เบนซินเกรดดีป.....	14
2.2.4.2 เบนซินเกรดบริสุทธิ์.....	14
2.2.5 ความเป็นพิษ.....	14
2.2.5.1 พิษเฉียบพลัน.....	14
2.2.5.2 พิษเรื้อรัง.....	15
2.3 กระบวนการพลาสติกของเหลว.....	15
2.3.1 พลาสติก.....	15
2.3.2 พลาสติกของเหลว.....	15
2.3.2.1 หลักการของพลาสติกของเหลว.....	15
2.3.2.2 เครื่องกำเนิดพลาสติกของเหลว.....	16
2.3.2.3 การประยุกต์ใช้พลาสติกของเหลว.....	17
2.4 การย้อมสี.....	18
2.4.1 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	18
2.4.1.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต.....	18
2.4.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ.....	18
2.4.1.3 น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น.....	18
2.4.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน.....	18
2.4.1.5 น้ำที่ใช้จากแหล่งอื่นๆ.....	19
2.4.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย.....	19
2.4.2.1 สีย้อม.....	19
2.5 สีย้อม.....	19
2.5.1 โครงสร้างของโมเลกุลสีย้อม.....	19
2.5.1.1 หมู่โครโมฟอร์ของสีย้อม.....	19
2.5.1.2 หมู่ออกซิโครมของสีย้อม.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 การจำแนกสีย้อม.....	20
2.5.2.1 สีย้อมแอซิด.....	20
2.5.2.2 สีย้อมเอโซ.....	20
2.5.2.3 สีย้อมเบสิค.....	21
2.5.2.4 สีย้อมไดเรกท์	21
2.5.2.5 สีย้อมดิสเพอร์ส.....	21
2.5.2.6 สารสี.....	21
2.5.2.7 สีย้อมรีแอคทีฟ.....	22
2.5.2.8 สีย้อมซัลเฟอร์.....	22
2.5.2.9 สีย้อมแวต.....	22
2.6 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	24
2.6.1 โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี.....	24
2.6.2 ออกซิเดชัน-รีดักชัน.....	24
2.6.2.1 คลอรีนชัน.....	25
2.6.2.2 โอโซนเนชัน.....	25
2.6.2.3 ถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์.....	25
2.6.2.4 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา.....	25
2.6.2.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น.....	25
2.7 ถ่านกัมมันต์.....	27
2.7.1 กระบวนการผลิต.....	28
2.7.1.1 การกระตุ้นด้วยสารเคมี.....	28
2.7.1.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ.....	28
2.7.2 ทฤษฎีการดูดซับ.....	28
2.7.2.1 กระบวนการดูดซับเชิงกล.....	28
2.7.2.2 กระบวนการดูดซับเชิงเคมี.....	29
2.7.3 ชนิดของตัวกรองถ่านกัมมันต์.....	29
2.7.3.1 ตัวกรองเม็ดชนิดหลวม.....	29
2.7.3.2 ตัวกรองชนิดผูกมัด.....	29
2.7.4 ข้อดีของตัวกรองถ่านกัมมันต์.....	31
2.8 วัสดุนาโน.....	31
2.8.1 วัสดุนาโนจากการผลิตที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ.....	31
2.8.1.1 ฟูลเลอร์ีนส์.....	31
2.8.1.2 คาร์บอนแบล็ก.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.1.3 เส้นใยนาโนคาร์บอน.....	33
2.8.1.4 ท่อนาโนคาร์บอน.....	33
2.8.1.5 แผ่นนาโนกราฟีน.....	34
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
2.10 เครื่องมือและเทคนิคการวัด.....	71
2.10.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	71
2.10.1.1 ส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	71
2.10.1.2 หลักการทำงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	72
2.10.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดอิมมิจัน (FE-SEM).....	73
2.10.3 เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR).....	76
2.10.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี.....	76
2.10.3.2 หลักการการทำงานของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR).....	77
2.10.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR).....	77
2.10.3.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR).....	78
2.10.3.5 การทำงานของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR).....	79
2.10.3.6 ข้อดีของฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR).....	80
2.10.4 เทคนิครามานสเปกสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy).....	80
2.10.4.1 คุณลักษณะทั่วไป.....	80
2.10.4.2 คุณลักษณะเฉพาะทางวิชาการ.....	80
2.10.5 เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD).....	84
2.10.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD.....	85
2.10.5.2 ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD.....	85
2.10.5.3 ลักษณะตัวอย่างที่เหมาะสมในการส่งเพื่อทดสอบ.....	86
2.10.6 การวัดพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนโดยวิธีบีอีที (BET).....	86
2.10.6.1 หลักการวิเคราะห์.....	86
2.10.6.2 ความรู้พื้นฐานพื้นที่ผิวและการกระจายขนาดของรูพรุน.....	86
2.10.7 เครื่องยูวี วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis).....	88
2.10.7.1 หลักการเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10.7.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	89
2.10.7.3 ชนิดของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	89
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	90
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	90
3.1.1 อุปกรณ์.....	90
3.1.2 วัสดุและสารเคมี.....	90
3.1.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์.....	91
3.2 วิธีการทดลอง.....	91
3.2.1 เตรียมน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้แล้วและเบนซิน.....	91
3.2.2 การติดตั้งระบบพลาสติกภาควัสดุของเหลว.....	92
3.2.3 ผสมน้ำมันเครื่องที่ใช้น้ำมันกับเบนซิน.....	92
3.2.4 นำไปผ่านกระบวนการพลาสติกภาควัสดุของเหลว.....	93
3.2.5 ทำการกรองอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยเครื่องกรอง.....	93
3.2.6 ทำการอบด้วยตู้อบ.....	93
3.2.7 ทำการบดอนุภาคนาโนคาร์บอน.....	94
3.2.8 นำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้นำมาเก็บในบรรจุภัณฑ์ และติดป้ายชื่อ.....	94
3.2.9 นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและของเคมี.....	95
3.3 การศึกษากระบวนการทำถ่านกัมมันต์เพื่อประยุกต์เป็นตัวกำจัดสีข้อม.....	95
3.3.1 การกระตุ้นด้วยสารเคมี.....	95
3.3.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ.....	96
3.3.3 ทดสอบการกำจัดสีข้อมด้วยถ่านกัมมันต์.....	97
3.4 การวิเคราะห์วัสดุหลังการสังเคราะห์.....	99
3.4.1 การวิเคราะห์ด้วยช่วงแบบดิฟเฟอเรนเชียลความละเอียดสูง.....	99
3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	99
3.4.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน	100
3.4.4 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	101
3.4.5 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	102
3.4.6 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี.....	102
3.4.7 การวัดวิเคราะห์ขนาดรูพรุน และพื้นที่ผิว โดยวิธีบีอีที.....	103
3.4.8 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	107
4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ.....	107
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว.....	107
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ.....	108
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว.....	108
4.2.1.1 วิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5,000x.....	108
4.2.1.2 วิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิค FE-SEM ที่กำลังขยาย 100,000x.....	109
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของพันธะและหมู่ฟังก์ชัน.....	111
4.4 ผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์และความเป็นผลึกของวัสดุ.....	112
4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะองค์ประกอบของเฟสและโครงสร้างเฟส.....	114
4.6 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	116
4.7 การนำอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้.....	120
4.7.1 การทดสอบดูดซับน้ำสี.....	120
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	124
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	124
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	125
บรรณานุกรม.....	126
ภาคผนวก (ก).....	
ภาคผนวก(ข).....	
ประวัติผู้เขียน.....	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สีย้อมแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน.....	23
2.2 ข้อดี-ข้อเสียของวิธีการกำจัดสีย้อม.....	26
3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว.....	93
3.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	100
3.3 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิล์มอิมิสชัน.....	101
3.4 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	101
3.5 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี.....	102
3.6 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์.....	103
3.7 เงื่อนไขในการวิเคราะห์โครงสร้างของรูพรุน และพื้นที่ผิว.....	104
3.8 เงื่อนไขในการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	104
4.1 แสดงตำแหน่งของพีค D และ G และความเข้มของสัดส่วนของ I_D/I_G ของอนุภาคนาโนคาร์บอน.....	114
4.2 แสดงค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี.....	120
4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Removal) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 25, 50 และ 75 ppm.....	122
4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (%Removal) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 25, 50 และ 75 ppm.....	122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หอกลิ้นน้ำมัน.....	4
2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น.....	5
2.3 โมเลกุลเบนซีน.....	13
2.4 แบบจำลองของพลาสมาวิญญากาศของเหลว.....	16
2.5 ไดอะแกรมของการผลิตพลาสมาวิญญากาศของเหลว.....	17
2.6 โครงสร้างของเมทิลเรด.....	21
2.7 โครงสร้างของเมทิลีนบลู.....	21
2.8 โครงสร้างของเมทิลออเรนจ์.....	22
2.9 ลักษณะของรูพรุนภายในของถ่านกัมมันต์.....	28
2.10 ภาพของถ่านกัมมันต์เม็ดเล็กละเอียด.....	29
2.11 ลักษณะโครงสร้างของตัวกรองเม็ดชนิดหลวมและตัวกรองชนิดผูกมัด.....	30
2.12 ภาพลักษณะโครงสร้างทางเคมีของฟูลเลอร์รีน.....	32
2.13 ภาพลักษณะทั่วไปของคาร์บอนแบลค.....	32
2.14 ภาพเส้นใยนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้พัฒนาแบดเตอร์รี่เทียมคุณภาพสูง.....	33
2.15 ภาพลักษณะของท่อนาโนคาร์บอน.....	34
2.16 ภาพลักษณะของแผ่นนาโนกราฟีน.....	35
2.17 การตั้งค่าของกระบวนการโซลูชันพลาสมาในการสังเคราะห์อนุภาคแคสซิเทอไรต์.....	36
2.18 (a-c) แสดงภาพ TEM และ HRTEM ของอนุภาคนาโนสเฟียร์ ที่มีความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ (d-f) แสดงภาพอนุภาคนาโนสเฟียร์ที่มีความถี่ 65 กิโลเฮิร์ตซ์.....	38
2.19 ภาพไอโซเทอมการดูดซับ/คายซับของไนโตรเจนของอนุภาคนาโนสเฟียร์.....	39
2.20 รูปแบบกราฟ XRD ของอนุภาคนาโนสเฟียร์.....	40
2.21 กราฟรามานสเปกตรัมของอนุภาคนาโนสเฟียร์.....	41
2.22 กระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว.....	43
2.23 ภาพ TEM ของอนุภาคนาโนทองคำที่สังเคราะห์.....	44
2.24 การกระจายขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนเมตร.....	44
2.25 ภาพ TEM แบบความละเอียดสูงของอนุภาคนาโนทองคำ.....	45
2.26 อนุภาคนาโนของทองแบบเหลี่ยมที่สังเคราะห์โดยกระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว.....	45
2.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน.....	46
2.28 เชื้อจุลินทรีย์หลังจากทำการบำบัดด้วยกระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว.....	47
2.29 วิธีการเตรียมตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพด.....	49
2.30 สบู่ชาโคลที่ทำจากถ่านกัมมันต์.....	50
2.31 การเปรียบเทียบค่าไอโอดีนของชาโคลและถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว.....	50
2.32 การเปรียบเทียบค่าไอโอดีนของชาโคลและถ่านกัมมันต์ที่ทำจากซังข้าวโพด.....	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.33 การเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่นำไปใช้งานกับน้ำเสีย จากร้านอาหารในเขตจอมทอง กทม.เป็นเวลาหลายครั้ง.....	52
2.34 การเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่นำไปใช้งานกับน้ำเสียจาก ขอยอยู่เย็น ถนนรามอินทรา กม.5 กทม. เป็นเวลาหลายครั้ง.....	53
2.35 การเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่นำไปใช้งานกับน้ำเสียจาก ขอยถนนมิตร เขตบางเขน กทม. เป็นเวลาหลายครั้ง.....	54
2.36 การเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่นำไปใช้งานกับน้ำเสีย จากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จ.อยุธยา เป็นเวลาหลายครั้ง.....	54
2.37 เลขคลื่นของวัสดุตั้งต้นและถ่านกัมมันต์.....	60
2.38 ภาพ SEM ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็ง โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีคือ H_3PO_4 และ KOH	61
2.39 ไอโซเทอมการดูดซับของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุสารตั้งต้น และถ่านกัมมันต์.....	62
2.40 รูปตัดโพรงหรือช่องว่างภายในของถ่านกัมมันต์.....	66
2.41 ภาพส่วนประกอบของเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	72
2.42 ภาพส่วนประกอบของเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน.....	74
2.43 ส่วนประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	76
2.44 ช่วงของรังสีอินฟราเรด.....	78
2.45 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นกับการส่งสัญญาณ.....	78
2.46 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	79
2.47 การกระเจิงแสงที่ตกกระทบวัตถุ.....	81
2.48 กระบวนการกระเจิงแสงในแบบ Reyleigh scattering และแบบ Raman scattering.....	82
2.49 พลังงานของการกระเจิงแสงแบบต่างๆ เฉพาะในกรอบเท่านั้น ที่เป็นการกระเจิงแบบรามานทั้งแบบ Stroke และ Anti-stroke.....	83
2.50 การเปรียบเทียบพลังงานที่เกิดจากการการกระเจิงและการสั่นของพันธะในโมเลกุล.....	84
2.51 ลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก.....	85
2.52 การจำแนกขนาดรูพรุนของวัสดุ.....	87
2.53 ไอโซเทอมของการดูดซับ.....	88
2.54 องค์ประกอบของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	89
3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วและเบนซิน.....	91
3.2 อุปกรณ์กำเนิดพลาสมาวัฏภาคของเหลว.....	92
3.3 การนำน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ผสมกับเบนซินไปผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาค ของเหลวโดยไปการปั่นกวาดด้วยเครื่องปั่นกวาด.....	92
3.4 กระบวนการกรอง และล้างด้วยเอทานอล และน้ำไร้ประจุ.....	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.5 การอบหลังกระบวนการกรอง และกระดาษกรองที่ได้หลังการอบ.....	94
3.6 การอบเพื่อให้ได้อนุภาคนาโนคาร์บอนออกมา.....	94
3.7 การนำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้ไปบรรจุภัณฑ์ และติดป้ายชื่อ.....	94
3.8 เครื่องเผาที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ.....	96
3.9 เครื่องเผาที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยเคมี.....	97
3.10 สีย้อมเมทิลีนบลู.....	98
3.11 สีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25, 50 และ 75 ppm.....	98
3.12 ภาพเครื่องชั่งแบบดิจิทัลความละเอียดสูง.....	99
3.13 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	100
3.14 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน.....	101
3.15 ภาพเครื่องฟูรีเยร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	102
3.16 ภาพเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี.....	102
3.17 ภาพเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	103
3.18 ภาพภาพเครื่องวัดขนาดรูพรุน และพื้นที่ผิว.....	104
3.19 ภาพเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	104
3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย.....	106
4.1 ผลของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว กับเบนซิน โดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลว ที่สัดส่วนที่สัดส่วนต่างๆ.....	107
4.2 ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 5,000x ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สัดส่วนต่างๆ ระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซิน.....	108
4.3 ภาพ FE-SEM ที่กำลังขยาย 100,000x ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สัดส่วนต่างๆ ระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซิน.....	110
4.4 แสดงกราฟฟูรีเยร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินโดยผ่าน SPP ที่สัดส่วนต่างๆ.....	111
4.5 กราฟ XRD ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว กับเบนซินโดยผ่าน SPP ที่สัดส่วนต่างๆ.....	112
4.6 แสดงรามานสเปกตร้าของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จาก น้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินโดยผ่าน SPP ที่สัดส่วนต่างๆ.....	114
4.7 ลักษณะการดูดซับของไนโตรเจน (ก-ค) และกราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน (ง-ฉ) ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกระบวนการกระตุ้น- ทางเคมี ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส.....	116

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงการดูดซับสี ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 25, 50 และ 75 ppm.....	121
4.9 กราฟแสดงการดูดซับสีก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 25, 50 และ 75 ppm.....	121



คำย่อและสัญลักษณ์

UO	Used motor oil
BZ	Benzene
SPP	Solution plasma process
CNP	Carbon nanoparticles
CA	Chemical activation
ST	Steam activation
KOH	Potassium hydroxide
H ₃ PO ₄	Phosphoric acid
SEM	Scanning electron microscope
TEM	Transmission Electron Microscope
FT-IR	Fourier transform infrared spectroscopy
XRD	X-ray Powder Diffraction
BET	Brunauer–Emmett–Teller theory
Cu ₂ O	Copper (I) oxide
TiO ₂	Titanium dioxide
ZrO	Zirconium(IV) chloride
Al ₂ O ₃	Aluminium oxide
ZnO	Zinc oxide
CuO	Copper(II) oxide
NiO	Nitric oxide
SnO ₂	Tin dioxide
CVD	Chemical vapor deposition
MWCNTs	Multiwalled carbon nanotubes
SWNHs	Single-walled carbon nanohorns
CNSs	Carbon nanospheres
kHz	Kilohertz
cm ³	Cubic centimeters
g	Gram
m ²	Square meter
nm	Nanometer
ppm	Part per million
ST600	Steam activation (Temperature activation at 600 degree Celsius)
ST700	Steam activation (Temperature activation at 700 degree Celsius)

ST800	Steam activation (Temperature activation at 800 degree Celsius)
CA400	Chemical activation (Temperature activation at 400 degree Celsius)
CA500	Chemical activation (Temperature activation at 500 degree Celsius)
CA600	Chemical activation (Temperature activation at 600 degree Celsius)
BA	Before activation
MB	Methylene blue



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้รถยนต์ยานพาหนะในการคมนาคมอย่างแพร่หลาย ทำให้น้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมีปริมาณมาก ซึ่งส่งผลเสียต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ทั้งยังไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ยิ่งไปกว่านั้น เทคโนโลยีในการจัดการกับน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานในปัจจุบันเป็นไปได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ทางผู้วิจัยจึงมีความคิดริเริ่มที่จะนำเอาน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผลิตเป็นวัสดุนาโนคาร์บอนเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งข้อดี หรือ จุดเด่นของอนุภาคนาโนคาร์บอนมีหลายประการ ประกอบด้วย น้ำหนักเบาแต่แข็งแรง, มีความยืดหยุ่นสูง กล่าวคือ แม้จะโดนแรงกระทำ ก็สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้, มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง, นำไฟฟ้าได้ดี, ระบายความร้อนได้ดี, ทนต่อการกัดกร่อน และทนความร้อนได้ ยิ่งไปกว่านั้น วัสดุนาโนคาร์บอนยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น เซนเซอร์ (Nano Sensor), การนำส่งยา (Drug Delivery) และนำไปใช้ประยุกต์เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) เป็นต้น

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบัน วัสดุนาโนคาร์บอน หรืออนุภาคนาโนคาร์บอน สามารถสังเคราะห์ได้หลากหลายวิธี เช่น วิธีอาร์คดิสชาร์จ (Arc-discharge), วิธีตกสะสมไอเคมี (Chemical vapor deposition; CVD), กระบวนการโซลโวเทอร์มอล (Solvothermal process), กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method) และวิธีกระบวนการพลาสมาวิญญภาคของเหลว (Solution plasma; SPP) วิธีการสังเคราะห์ที่ทางผู้วิจัยนำมาใช้ในการทดลอง คือ วิธีกระบวนการพลาสมาวิญญภาคของเหลว ซึ่งมีข้อดี คือ วิธีดังกล่าวมีความสามารถในการปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ และไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

โดยในการวิจัยของเราได้มุ่งเน้นที่จะประยุกต์ทำเป็นตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นต้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อม

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเป้าไปที่การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิญญภาคของเหลว (SPP) โดยใช้น้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นตัวตั้งต้น (Precursor) ในการสังเคราะห์เป็นอนุภาคนาโนคาร์บอน (CNPs) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วและถือว่าเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศเป็นอย่างมาก [1] แล้วนำเอาอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้นั้นไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสิ่งแวดล้อม

ทางผู้วิจัยต้องการศึกษาด้านการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งปัจจุบัน การบำบัดน้ำเสียก็มีหลากหลายวิธี อย่างเช่น การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะเกิดกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการนำไปกำจัด, กระบวนการเฟนตัน (Fenton) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ, การใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ ได้แก่ การดูดซับสีด้วยสาหร่าย การย่อยสลายสีโดยใช้เชื้อราบางชนิด ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา การขนส่ง รวมถึงการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการย่อยสลาย, และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง แต่มีข้อจำกัดคือ

การนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง แต่ในทางกลับกันวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์นั้นถือว่าเป็นอีกหนึ่งวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ถ้านำไปใช้งานจริงคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้นมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการบำบัดน้ำเสีย

ทางผู้วิจัยสืบค้นพบว่า สาเหตุหลักของปัญหาน้ำเสียเกิดจากสีย้อมจากโรงงานอุตสาหกรรม อย่างเช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ ย้อมผ้า-พิมพ์ผ้า สก็ดน้ำมันปาล์ม ฯลฯ [20] ซึ่งถูกพัฒนาให้มีความคงทนที่สูงมากยิ่งขึ้น จนทำให้การบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถดูดซับ หรือกำจัดสีย้อมได้ เราจึงต้องการที่จะการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสีย้อมจากโรงงาน การผลิตเป็นถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็น 2 วิธี คือ 1. วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) โดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้น (Activating agent) เนื่องจากเป็นเกลือกลางไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเลือกทำการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส 2. วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ หรือการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) โดยเลือกทำการเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ออกมา ซึ่งคาดว่าวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) นั้นอาจจะเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับ หรือกำจัดสีย้อม โดยในการทำการทดสอบการดูดซับ หรือกำจัดสีย้อมนั้นเราได้ใช้สีย้อมชนิดเมทิลีนบลู (Methylene blue) ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและทำเกิดน้ำเน่าเสียในอุตสาหกรรม รวมถึงอาคารบ้านเรือน โดยได้เลือกใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย ความเข้มข้นที่ 25, 50, และ 75 ppm เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ และความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่สังเคราะห์ขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาการนำน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้แล้วมาประยุกต์เป็นสารตั้งต้นทางเลือกใหม่ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่มีผลในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว

1.2.3 เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับเบนซินมีความเหมาะสม ส่งผลในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอน และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้น (Activation) จะส่งผลให้มีการดูดซับสีย้อมที่ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตการดำเนินการ

งานวิจัยนี้จะจำกัดขอบเขตของงานในส่วนการวิจัยพัฒนาการทดลองเพื่อศึกษาการนำน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้แล้วมาประยุกต์เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอน โดยศึกษาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่มีผลในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวและศึกษาถึงการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้น (Activation) เพื่อประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อม

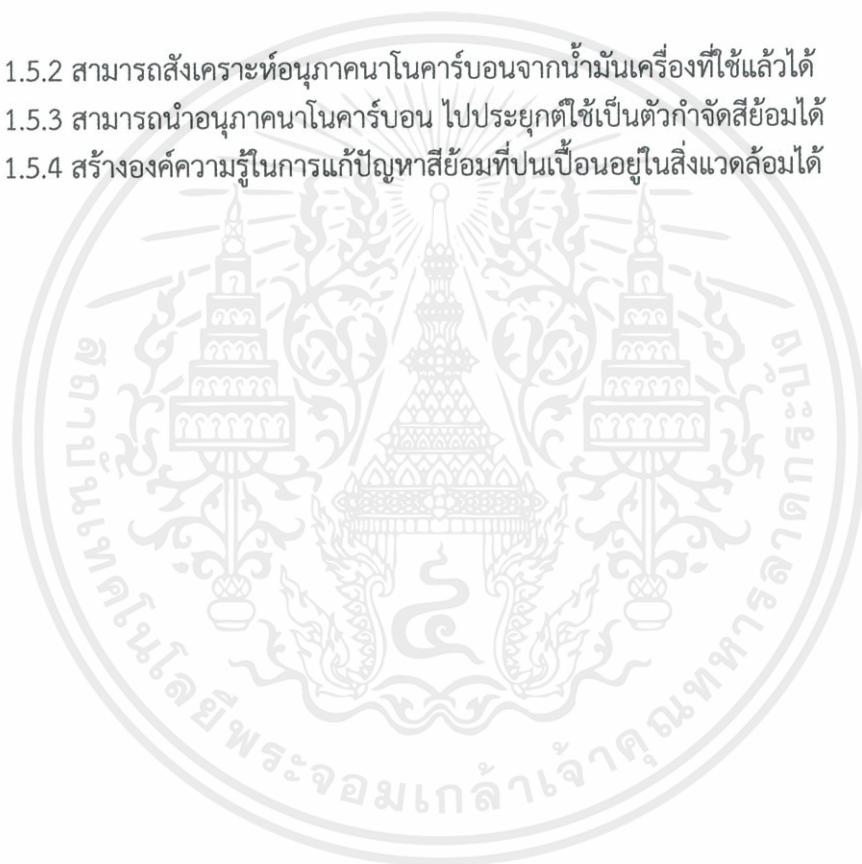
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถพัฒนาวิธีการกำจัดกับน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว ให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่ามากขึ้น

1.5.2 สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนจากน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วได้

1.5.3 สามารถนำอนุภาคนาโนคาร์บอน ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมได้

1.5.4 สร้างองค์ความรู้ในการแก้ปัญหาสีย้อมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

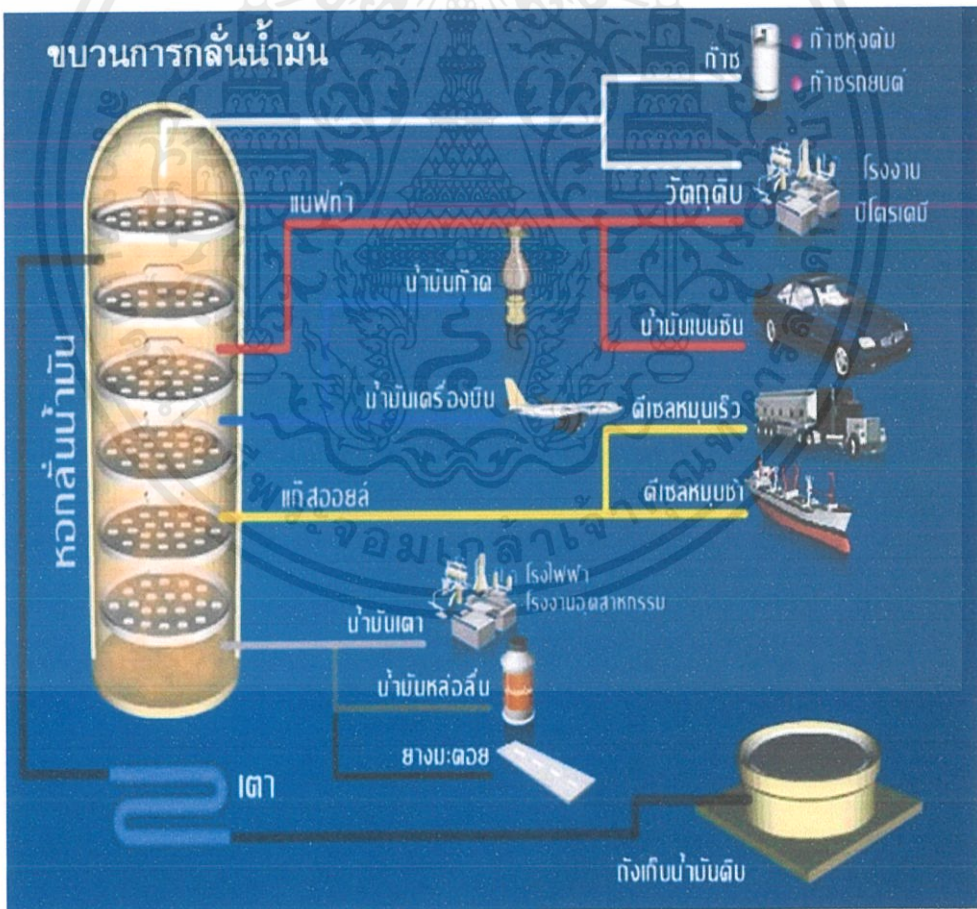
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 น้ำมัน (Oil)

2.1.1 น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oils)

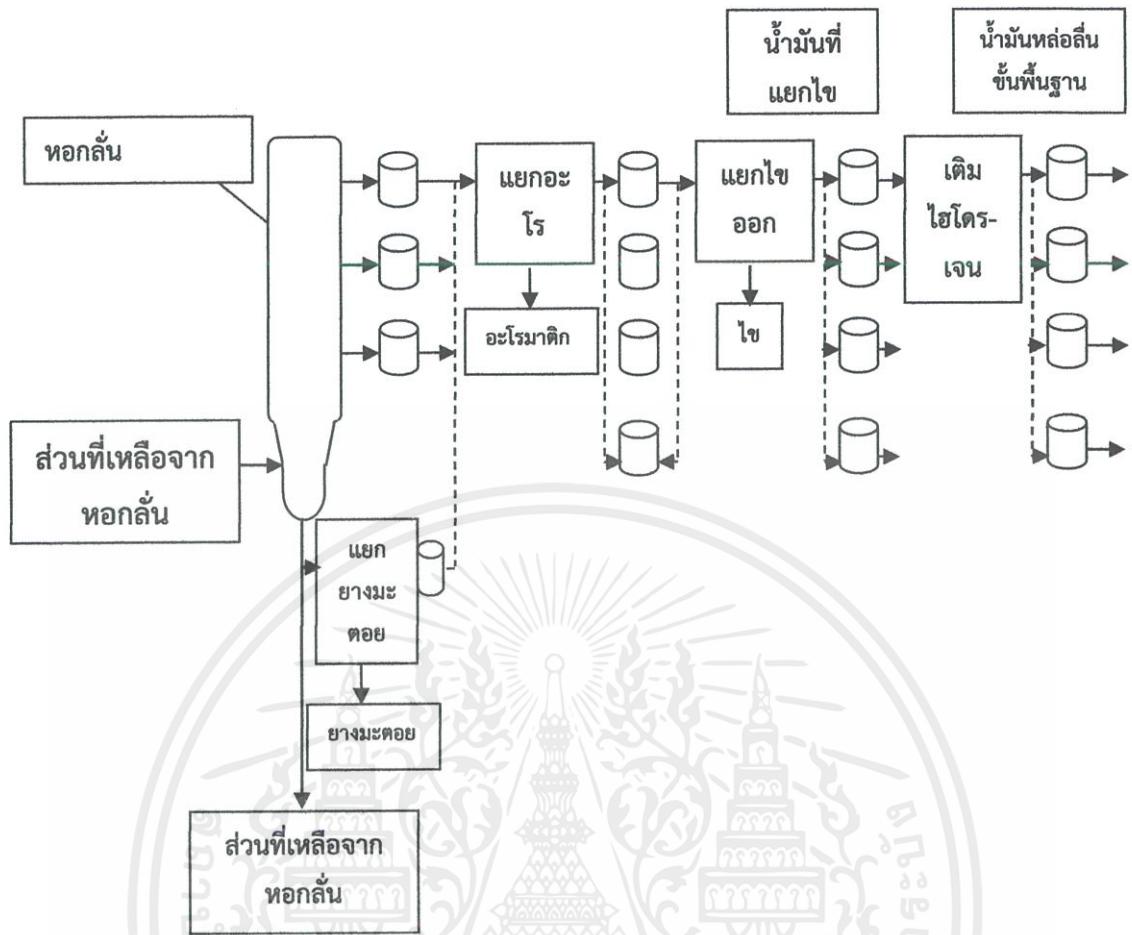
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oils) หรือบางครั้งเรียกน้ำมันเครื่อง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งจะแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นส่วนประกอบของปิโตรเลียม ออกเป็นกลุ่ม น้ำมันหล่อลื่นถูกกลั่นแยกออกมาก่อนอย่างระมัดระวัง โดยจะต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ เช่น การสกัดด้วยตัวทำ-ละลาย การเติมไฮโดรเจน และการแยกไซ เพื่อกำจัดสารที่ไม่อึดตัว จำพวกสารอะโรมาติก กำมะถัน และสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของ น้ำมันหล่อลื่นให้มีความหนืดสูง คงตัวได้ดี จุดไหลเทต่ำ และรวมตัวกับออกซิเจนได้ยาก ดังแสดงใน ภาพที่ 2.1 [2]



ภาพที่ 2.1 แสดงหอกกลั่นน้ำมัน

(ที่มา: www.oknation.net, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น

(ที่มา: http://www.chaiwbi.com/0derm/web_children/2545/m5302/oil.html)

น้ำมันหล่อลื่น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือน้ำมันหล่อลื่นปิโตรเลียมพื้นฐาน (Petroleum base oils) ที่ได้จากกรกลั่นน้ำมันดิบ, น้ำมันพืช/สัตว์ และน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ (Synthesis base oils) เป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี น้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้กันมีอยู่หลายชนิด แต่ราคาค่อนข้างสูง มักจะใช้กับงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ แบ่งน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มไฮโดรคาร์บอนสังเคราะห์ เป็นไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้มาจากน้ำมันดิบ เช่น โอลิฟินโอลิโกเมอร์ (Olefin oligomers), อัลคิลเอเตดอะโรมาติก (Alkylated aromatics) และโพลีบิวทีนส์ (Polybutenes) มีคุณสมบัติด้านความคงตัวที่อุณหภูมิสูง มีการไหลเทที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการระเหยต่ำ และอายุการใช้งานยาวนาน

2) กลุ่มเอสเทอร์อินทรีย์ ได้แก่ ไดเอสเทอร์ (Diesters) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง ไดเบสิกแอซิด (Dibasic acid) กับโมนไฮดริกแอลกอฮอล์ (Monohydric alcohol) และโพลีโอลเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์ (Polyol esters) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโพลีไฮดริคแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) กับโมโนเบสิกแอซิด (Monobasic acid) นิยมใช้ในการหล่อลื่นเครื่องยนต์เจ็ท และระบบไฮดรอลิก

1) กลุ่มโพลีไกลคอลส์ มีคุณสมบัติคือ จุดเดือดสูงและและจุดไหลเทต่ำ นิยมใช้กับงานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก เช่น ระบบเบรก และระบบไฮดรอลิกที่ติดไฟได้

2) กลุ่มฟอสเฟตเอสเทอร์ มีคุณสมบัติด้านการทนไฟ ติดไฟได้ยาก นิยมใช้กับงานอากาศยาน

3) กลุ่มน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์อื่นๆ เช่น ซิลิโคน และซิลิเคตเอสเทอร์ (Silicate esters) มีคุณสมบัติ คือ ดัชนีความหนืดสูง นิยมใช้กับงานที่อุณหภูมิต่ำมาก

ในขณะที่น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป คือ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผสมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน สารเพิ่มคุณภาพที่นิยมใช้ ได้แก่

1) สารลดจุดไหลเท (Pour point depressants) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดผลึกไขที่ป้องกันไม่ให้น้ำมันไหลที่อุณหภูมิต่ำ เป็นสารพวกโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งที่ใช้กันอยู่มีสองชนิด คือ อัลคิลอะโรมาติกโพลีเมอร์ (Alkylaromatic polymers) ทำหน้าที่ในการดูดซับผลึกของไข เพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโตและยึดติดกัน ชนิดที่สอง คือ โพลีเมทาคริเลต (Polymethacrylates) ทำหน้าที่ตกผลึกร่วมกับไขเพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโต สำหรับอุณหภูมิของจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่น เมื่อเติมสารนี้ลงไปจะลดลงประมาณ 11 ถึง 17 องศาเซลเซียส

2) สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (Viscosity index improvers) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ช่วยไม่ให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเป็นสารจำพวกโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นลูกโซ่ยาว สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดมีหลายตัว เช่น เมทาคริเลตโพลีเมอร์ (Methacrylate polymers), โอลิฟินโพลีเมอร์ (Olefin polymers), และอะคริเลตโพลีเมอร์ (Acrylate polymers)

3) สารป้องกันการเกิดฟอง (Defoamants) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศที่ผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อน้ำมันถูกหมุนเวียนใช้ในระบบ สารนี้จะทำหน้าที่โดยโมเลกุลของสารจะเข้าไปติดกับฟองอากาศทำให้ฟองอากาศขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ลอยขึ้นผิวและแตกออกในที่สุด สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารป้องกันการเกิดฟอง คือ ซิลิโคนโพลีเมอร์ (Silicone polymer) และกลุ่มโพลีเมอร์อินทรีย์ (Organic polymer)

4) สารป้องกันออกซิเดชัน (Oxidation inhibitors) เมื่อน้ำมันหล่อลื่นร้อนและสัมผัสกับอากาศจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหล่อลื่นและออกซิเจนในอากาศที่เรียกว่า ออกซิเดชันขึ้น ผลการเกิดออกซิเดชันทำให้ความหนืดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้เกิดไขและตะกอน สารป้องกันการออกซิเดชัน คือ ซิงค์ไดไทโอฟอสเฟต (Zinc dithiophosphate)

5) สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion inhibitors) การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อลื่นนั้นมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดมีสองชนิดก็คือ การกัดกร่อนซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้นในตัวหรือน้ำมันเอง และการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารปนเปื้อนที่ถูกนำไปโดยน้ำมัน สำหรับสารป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้กันทั่วไป คือ ซิงค์ไดทีโอฟอสเฟตที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส

6) สารป้องกันสนิม (Rust inhibitors) ใช้เพื่อป้องกันสนิมที่อาจเกิดขึ้นที่ผิวของชิ้นส่วนโลหะที่มีการหล่อลื่น โดยสารป้องกันสนิมจะทำปฏิกิริยากับผิวโลหะเกิดเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิวเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าถึงผิวโลหะ สารที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ อะไมนซัคซิเนต (Amine succinates) และอัลคาไลเอิร์ทซัลโฟเนต (Alkaline earth sulfonates)

7) สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (Detergents and dispersants) ใช้เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวของชิ้นส่วนและกระจายมิให้รวมตัวกันเป็นโคลนหรือตะกอน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล โคลนหรือตะกอนที่เกิดขึ้นจะอุดช่องทางน้ำมันหล่อลื่น และอาจรวมตัวกันอยู่ด้านหลังของแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจทำให้แหวนติดขัดได้ สารที่เป็นตัวชะล้างที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ สบู่อินทรีย์ (Organic soaps) และบาเรียม (Barium), แคลเซียม และแมกนีเซียมซัลโฟเนต (Magnesium sulfonates) สารกระจายสิ่งสกปรกจะทำหน้าที่ในการกระจายหรือทำให้สารที่จะรวมตัวกันเป็นโคลนแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน สารที่เป็นตัวกระจายที่ใช้กัน ได้แก่ โพลีเมอร์ซัคซิไมด์ (Polymeric succinimides) และเบนซิลไมด์ (Benzylamides)

8) สารป้องกันการสึกหรอ (Antiwear additives) เป็นสารที่ช่วยลดความเสียหายและการสึกหรอภายใต้สภาวะการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (Boundary lubrication) ซึ่งหมายถึงในสภาวะที่ฟิล์มน้ำมันจะสามารถแยกผิวสัมผัสได้อย่างสมบูรณ์ สารป้องกันการสึกหรอแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามการใช้งาน ประเภทที่ 1 เป็นสารที่ช่วยลดความเสียหายและการสึกหรอสำหรับสภาวะการทำงานเบา เรียกว่า สารเพิ่มคุณภาพสำหรับน้ำมันหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (Boundary lubrication additives) ได้แก่ กรดไขมัน (Fatty acids) และน้ำมันไขมัน (Fatty oils) ประเภทที่ 2 เป็นสารที่ลดการเสียหายและการสึกหรอภายใต้สภาวะความดันสูงมาก เรียกว่า สารรับแรง-กดแรงกระแทก (Extreme Pressure Additive หรือ EP) ซึ่งทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ เกิดเป็นฟิล์มเคลือบที่ผิวโลหะเพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผิวโลหะสารรับแรงกดกระแทก โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบของซัลเฟอร์คลอรีน หรือฟอสฟอรัสตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวรวมกัน

คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจะมีการกำกับโดยสถาบันปิโตรเลียมของอเมริกา (American Petroleum Institute หรือ API) เพื่อทดสอบและกำหนดมาตรฐานด้านคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่น การกำกับคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ตลอดจนการใช้งานเฉพาะอื่นๆ กำกับด้วยตัวอักษร ดังนี้ น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซินใช้ตัวอักษร S และสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลใช้ตัวอักษร C ตัวอักษรถัดมาจะบอกถึงระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นนั้นๆ จากคุณภาพต่ำไปถึงคุณภาพสูงจะลำดับจาก A ไปถึง L แต่โดยปกติน้ำมันหล่อลื่นจะสามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้ทั้งสองชนิดแตกต่างกันตรงสารเพิ่มคุณภาพบางชนิดที่จะเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ชนิดใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่ากัน การกำหนดอักษรจึงอาจพบได้ทั้ง 2 แบบ โดยจะพบอักษรกำหนดคุณสมบัติดังกล่าวที่ ภาชนะ เช่น API SL/CD หมายถึง คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นนี้มีความเหมาะสมกับชนิดเครื่องยนต์เบนซินมากกว่าชนิดเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์เบนซินจะได้ระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นสูงสุด หากใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นจะอยู่ที่ระดับปานกลาง ส่วนการกำหนดคุณสมบัติด้านความหนืดจะถูกกำหนดตามมาตรฐานความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นโดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ (Society of Automotive Engineers หรือ SAE) ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะเกี่ยวข้องกับการสร้างชั้นเคลือบและการไหลเวียนของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งระดับความหนืดคือ อัตราการไหลของปริมาณต่อขนาดและความยาวของรู ต่อหน่วยเวลา ณ อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งความหนืดจะถูกกำกับเป็นตัวเลขจาก 5 ถึง 50 โดยตัวเลขยิ่งมากความหนืดยิ่งสูง หากความหนืดที่มีความเหมาะสมกับอุณหภูมิต่ำจะมีการกำกับตัวอักษร W (Winter) ไว้ท้ายตัวเลขด้วย เช่น SAE 40W หมายถึง น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดที่ 40 และเหมาะสมกับการใช้งานที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่วนมาตรฐานกำกับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ ที่นิยมใช้จะให้การรับรองโดยองค์การมาตรฐานยานยนต์ญี่ปุ่น (Japanese Automotive Standards Organization หรือ JASO) โดยกำกับระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นด้วยตัวอักษร F ตามด้วยตัวอักษรจาก A ถึง D เรียงลำดับจากคุณภาพต่ำไปถึงคุณภาพสูง ตัวอย่างเช่น JASO FD หมายถึง น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ คุณภาพสูง [3]

2.1.2 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ส่วนมากเป็นพวกน้ำมันแร่ (Mineral Oil) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ พวกที่เป็นน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oil) ก็มีใช้อยู่บ้าง แต่เป็นจำนวนน้อยและใช้ในงานพิเศษๆ เท่านั้น ในที่นี้จะขอกกล่าวเฉพาะการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นชนิดน้ำมันแร่เท่านั้น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดได้ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีคุณสมบัติและคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานหล่อลื่นแต่ละประเภท โดยการนำเอาน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดพอเหมาะมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเคมีเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้คุณสมบัติพิเศษตามความต้องการ เช่น คุณสมบัติในการชะล้างป้องกันฟอง หรือรับแรงกด เป็นต้น เมื่อถูกใช้งานคุณสมบัติและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นต้องสูญเสียหรือเสื่อมถอยลงไปเรื่อยๆ จนในที่สุดไม่อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานอีกต่อไป ลักษณะการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.1.2.1 การเสื่อมสภาพของตัวเนื่อน้ำมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น ผลก็คือน้ำมันจะเปลี่ยนสภาพและเกิดความเป็นกรดขึ้น ความหนืดของน้ำมันก็มักจะสูงขึ้นด้วย ถ้าปล่อยให้ความเป็นกรดสูงมากๆ จะทำให้เนื่อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น ผลก็คือเกิดมีพวกยางเหนียวและวานิชเกาะอยู่ตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจจะเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักรกลได้ ใน

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเทอร์ไบน์ และน้ำมันเครื่องอัดอากาศกำลังสูง ได้มีการใส่ตัวเพิ่มคุณภาพเพื่อป้องกันปฏิกิริยานี้อยู่แล้ว หากตัวเติมนี้ถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพไป น้ำมันอาจเกิดปฏิกิริยากับอากาศได้ที่อุณหภูมิสูงๆ

2.1.2.2 สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพไป

สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นมีมากมายหลายชนิด สารเหล่านี้ช่วยให้ น้ำมันหล่อลื่นมีคุณสมบัติดีขึ้น และเหมาะสมในสภาพการใช้งานแต่สารเหล่านี้อาจถูกใช้หมดไปได้ โดยเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารอื่นที่ไม่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติอีกต่อไป ทำให้น้ำมันมีสภาพที่ไม่เพียงพอที่จะทำงานได้ดีต่อไปได้

2.1.2.3 มีสิ่งสกปรกหรือสารอื่นจากภายนอกเข้าไปปะปน

สารอื่นจากภายนอก เช่น น้ำ ฝุ่นผง เหม่า และอื่นๆ เมื่อเข้าไปปะปนกับ น้ำมันหล่อลื่นแล้วอาจทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพได้ เช่น น้ำเมื่อไปปะปนกับน้ำมัน ถ้าถูกตีขึ้น กับน้ำมันจะทำให้ไขมันเกิดขุ่นขาวเพราะมีอนุภาคของน้ำแทรกอยู่ทั่วไปในเนื้อน้ำมัน ทำให้ความหนืด เปลี่ยนไป และไม่เหมาะที่จะใช้งานอีกต่อไป ในน้ำมันเทอร์ไบน์ได้มีการเติมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อทำให้น้ำแยกตัวออกมาตกอยู่ในก้นอ่างน้ำมันเพื่อที่จะได้ถ่ายทิ้งได้ ฝุ่นผงและเหม่า โดยเฉพาะพวกที่เป็น เศษโลหะถ้าเข้ามาปะปนอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นเป็นจำนวนมากแล้วจะไปขัดสีกับผิวโลหะของ เครื่องจักรกล ทำให้เกิดรอยขีดข่วนและสึกหรอได้ นอกจากนั้นยังทำให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น ด้วย พวกน้ำมันเชื้อเพลิงถ้าเล็ดลอดไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้ น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืด ลดลงไปตาม ไม่เหมาะกับการใช้งานอีกต่อไป ดังนั้นการระวังมิให้สิ่งอื่นภายนอกเข้าไปปะปนกับ น้ำมันหล่อลื่นจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ถึงแม้จะเป็นน้ำมันหล่อลื่นต่างชนิดกันก็ไม่ควรจะนำมาผสมกัน เพราะอาจทำให้คุณภาพของน้ำมันเสื่อมลงได้ ตัวอย่างเช่น พวกน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จำนวน เล็กน้อยปะปนลงในน้ำมันเทอร์ไบน์ อาจทำให้คุณภาพในการป้องกันสนิมของน้ำมันเทอร์ไบน์เสียไป เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์อาจทำปฏิกิริยากับสารช่วยป้องกันสนิมในน้ำมัน เทอร์ไบน์ทำให้สารช่วยป้องกันสนิมแปรสภาพไป

2.1.3 การขจัดน้ำมันหล่อลื่นที่หมดอายุใช้งาน

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานไปจนหมดสภาพไม่เหมาะที่จะใช้งานนั้นๆ ต่อไป โดยปกติผู้ใช้ มักจะเททิ้งตามพื้นดินหรือไม่ก็ขายให้กับผู้รับซื้อในราคาถูกๆ การกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดผลเสียคือ การเททิ้งตามพื้นดินจะก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะซึ่งจะแก้ไขกำจัดในภายหลังได้ยาก การขายให้ ผู้รับซื้อซึ่งมักจะเอาไปทำน้ำมันปลอมซึ่งอาจจะกลับมาสู่เรา ทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ ดังนั้น จึงควรหาประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยมีแนวทาง ดังนี้

1. ใช้น้ำมันที่ใช้แล้วจากงานหนึ่งไปหล่อลื่นในงานที่ไม่รุนแรง (งานอุณหภูมิปกติ ภาระ น้ำหนักต่ำ รอบไม่สูง) เช่น น้ำมันหล่อลื่นเทอร์ไบน์หรือไฮดรอลิกหรือน้ำมันเกียร์ เมื่อใช้งานถึงอายุ แล้วสามารถนำมากรองแล้วใช้หล่อลื่นพวกแบร์ริงกัปและแบร์ริงลูกปืนที่ต้องการน้ำมันหนืดเบอร์ เดียวกัน และใช้ระบบหล่อลื่นแบบหยอดทิ้งได้

2. ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากเครื่องจักรต่างๆ ไปใช้ในงานอื่นที่ไม่เกี่ยวกับการหล่อลื่น

เช่น ใช้ทาไม้แบบสำหรับคอนกรีต ใช้ทาไม้ป้องกันปลวก มอด และ แมลง ใช้ใส่ซาตู่กับข้าวเพื่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันมดขึ้นได้

3. ใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผสมกับเชื้อเพลิง ใช้เผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาหรือหม้อไอน้ำ ก็สามารถผสมน้ำมันเตาได้ในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 25% โดยต้องมีถังตักตะกอนที่มีฝาปิดมิดชิด สามารถถ่ายเอาตะกอนสกปรกออกจากถังได้ การตักตะกอนต้องทำอย่างน้อยสัปดาห์ 2 วัน ถังตักตะกอนดังกล่าวอาจใช้เป็นถังเก็บสะสมน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายมาทีละไม่มากจนได้ปริมาณมากพอ จึงนำไปผสมลงในน้ำมันเตา ท่อดูดน้ำมันออกจากถังตะกอนต้องอยู่เหนือพื้นถึงไม่น้อยกว่า 10 ซม. และควรมีหม้อกรองขนาด 60 – 80 Mesh ก่อนเข้าปั๊มเพื่อส่งเข้าถังน้ำมันเตา น้ำมันเครื่องยนต์ดีเซลที่หมดอายุใช้งานแล้ว สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลได้ในอัตราส่วนไม่เกิน 5% โดยต้องกำจัดพวกเขม่า ตะกอน และน้ำออกไปให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อน โดยอาจใช้ Centrifugal Separator การผสมน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลบางส่วนลงไป ในน้ำมันเครื่องใช้แล้วจะทำให้การแยกตะกอนและน้ำได้รวดเร็วและง่ายขึ้น เมื่อแยกสิ่งสกปรกและน้ำออกแล้วจึงนำไปผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงนำไปใช้งาน ไม่แนะนำให้ใช้น้ำมันเครื่องเบนซินหรือน้ำมันเกียร์มาผสมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องดีเซล หากไม่มี เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separator) อาจใช้ระบบง่ายๆ คือ ระบบที่ประกอบด้วยถังพักขนาดราว 200 – 500 ลิตร ซึ่งบรรจุน้ำมันเครื่องใช้แล้วและน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในอัตราส่วนราว 1:1 น้ำมันผสมนี้จะถูกปั๊มผ่านหม้อกรองขนาด 10 – 20 ไมครอน (อาจใช้หม้อกรองน้ำมันเครื่องได้) 3 ชุด เพื่อกรองเอาสิ่งสกปรกออกให้มากที่สุด แล้วไหลคืนสู่ถังพักปั๊มหมุนเวียนจนกระทั่งน้ำมันไหลกลับมีสภาพที่สะอาด ในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนหม้อกรองน้ำมันเครื่องหากหม้อกรองเริ่มต้น โดยดูจากผลต่างระหว่างความดันตรงก่อนชุดหม้อกรองและหลังชุดหม้อกรองว่าเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก และปริมาณน้ำมันไหลกลับถึงพักข้างล่างมาก เมื่อน้ำมันสะอาดดีแล้วจึงปั๊มไปผสมเข้าในถังน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยควบคุมให้มีจำนวนน้ำมันเครื่องในเชื้อเพลิงไม่เกิน 5%

2.1.4 การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้งานแล้วกลับมาใช้งานใหม่

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานไปจนหมดสภาพไม่เหมาะที่จะใช้งานนั้น ๆ ต่อไป โดยปกติผู้ใช้มักจะทิ้งตามพื้นดินหรือขายให้ผู้รับซื้อในราคาถูก ๆ การกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดผลเสียทั้งด้านมลภาวะ ซึ่งยากที่จะแก้ไขในภายหลัง หรือผู้รับซื้ออาจจะนำไปทำน้ำมันปลอมมาขายใหม่อีกครั้งทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ จึงควรที่จะหาประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้มากที่สุด เช่น การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผ่านกระบวนการกำจัดของเสียออกเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ กระบวนการหรือวิธีการเหล่านี้มีหลายวิธีด้วยกัน พอที่จะกล่าวได้ดังนี้

2.1.4.1 การบำบัดโดยใช้สารเคมี (Chemical Treatment)

การบำบัดโดยใช้สารเคมี ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ได้แก่ กรดซัลฟูริก โดยปกติที่อุณหภูมิห้อง สารประกอบไฮโดรคาร์บอน พาราฟิน และ แนพทีน จะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกได้เพียงเล็กน้อย แต่จะสามารถทำปฏิกิริยา ได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของกรดสูงขึ้นโดยเฉพาะสารประกอบที่มีโซ่ข้าง (Side chain) มาก ๆ เช่น เบนซีน ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก 93% ได้เพียงเล็กน้อย แต่สารประกอบโอเลฟินส์ไดโอฟินส์ (Olefin diolifin) และอะซิไธลีน (Acetylene) จะทำปฏิกิริยาได้แม้กรดจะมีความเข้มข้น 35% ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดสูง จะทำให้โอเลฟินส์ (Olefin) เกิดเป็นสารพอลิเมอร์ได้มาก แต่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่ำจะทำให้เกิดเป็นกรดอัลโคไนล์ซัลเฟต (Alkyl acid sulphates), นิวทรัลเอสเทอร์ (Neutral ester), แอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิ (Secondary alcohol) และแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิ (Tertiary alcohol) ซึ่งสามารถซัลเฟต (Sulphate) เหล่านี้จะสามารถละลายในคอสติกโซดา หรือโซดาไฟ (Caustic soda) ได้ และที่อุณหภูมิ 285 °F จะสลายตัวเป็นสาเหตุให้เกิดสารประกอบยางเหนียว

2.1.4.2 การบำบัดโดยวิธีการกลั่น และบำบัดของโคลน (Clay)

การบำบัดโดยวิธีการกลั่น และบำบัดของโคลน คือ การกลั่นแบบสุญญากาศโดยเริ่มจากการทำการเสียน้ำ (Dehydration) เพื่อไล่น้ำ สารละลายเชื้อเพลิงและสารที่จุดเดือดต่ำออกไปต่อมาเป็นขั้นกระบวนการปรับสภาพ (Pretreatment) เป็นการทำความสะอาดน้ำมันโดยเฉพาะเพื่อลดการเกิด ฟาวลิง (Fouling) ในเครื่องกลั่นขณะกลั่นจะเป็นการแยกเอาน้ำมันหล่อลื่นออกจากสารแขวนลอยทั้งหลาย ผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพสารเพิ่มคุณภาพและสารอื่นๆ ที่มีจุดเดือดสูงหรือไม่สามารถเดือดได้ สารทั้งหลายนี้จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นกลางและมีความหนืดสูง มีปริมาณต่ำ และมีความเข้มข้นสูงด้วยเช่นกัน สามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวแก่ยางมะตอยได้ส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการกลั่นจะนำมาบำบัดโดยใช้โคลน (Clay) แล้วกรองออก ก็จะได้ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีคุณภาพสูง

2.1.4.3 การบำบัดโดยวิธีการกลั่น (Hydrofinishing)

การบำบัดโดยวิธีการกลั่น และกระบวนการไฮโดรฟินิชซิง (Hydrofinishing) จากวิธีการขั้นแรกจนถึงขั้นการกลั่นแบบสุญญากาศจะเหมือนกับกระบวนการกลั่นและบำบัดด้วยโคลน (clay) ทุกประการ หลังจากนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่กลั่นได้จะถูกนำไปผสมกับไฮโดรเจนในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิสูงและความดันสูงไฮโดรเจนที่มากเกินไปจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ และน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะถูกคั้น (Stripped) ออกโดยไอน้ำ ซึ่งจะทำให้ได้น้ำมันพื้นฐานคุณภาพสูง

2.1.4.4 กระบวนการเอซิด/การบำบัดของโคลน (Acid/Clay treatment)

กระบวนการเอซิด/การบำบัดของโคลน เป็นกระบวนการที่ใช้กันกว้างขวางและเป็นวิธีที่รู้จักกันดีในการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีเทคนิคคล้ายกับการทำการเอซิด/การบำบัดของโคลน (Acid/Clay treatment) ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันหล่อลื่นเริ่มกระบวนการไล่น้ำ และตามด้วยการใช้กรดซัลฟูริก ขั้นตอนการไล่น้ำมัน จะเป็นการกระจัดน้ำ น้ำมันเชื้อเพลิงและสารทำละลายอื่น ๆ ออกแล้วจึงผสมกับกรดซัลฟูริกหลังจากนั้นตะกอน (Sludge) จะก่อตัวขึ้นแล้วตกตะกอนใน 24-48 ชั่วโมง แล้วจึงถูกกำจัดออก นำน้ำมันที่ผ่านการบำบัดโดยกรดแล้วไปผ่านความร้อนและกวนกับโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Clay) เพื่อกำจัดสารที่มีสี และสารปนเปื้อนที่ยังคงเหลืออยู่ออกไป ส่วนโคลนจะถูกแยกออกจากน้ำมันโดยการกรอง

กระบวนการนี้มีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน คือ

1. การตกตะกอน
2. การบำบัดด้วยกรด
3. การบำบัดของโคลน (Clay)
4. การกรองโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ

2.1.4.5 การบำบัดน้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพโดยวิธีฟิอาร์โอพี (Phillips Re-refining Process; Prop) ประกอบด้วยขั้นตอน 2 ใหญ่ ๆ คือ การกำจัดโลหะโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical Demetallization) และการบำบัดโดยใช้ไฮโดรเจน (Hydrotreating)

1. กระบวนการขั้นแรกจะผสมน้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพกับสารละลายไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium phosphate) ในที่ผสมในขั้นนี้จะเกิดปฏิกิริยาได้เป็นเมทอลลิคฟอสเฟต (Metallic phosphate) ขึ้นบางส่วนซึ่งมีคุณสมบัติการละลายในน้ำหรือน้ำมันน้อย น้ำมันจึงมีสภาพเป็นส่วนที่ผสมของเหลวกับของแข็ง (Slurry) ที่มีปริมาณของแข็งประมาณ 1% ขึ้นต่อมาน้ำและน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกกำจัดออกไป ปฏิกิริยาการเกิด Metallic phosphate จะสมบูรณ์ (ยกเว้นโลหะและสังกะสี และฟอสฟอรัส ที่จะได้เป็นซิงค์ไดไทโอฟอสเฟต (Zinc Dithiophosphate) ในขั้นนี้สารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้าจะถูกกำจัดออกไปถึง 99%

2. ขั้นตอนต่อมาเป็นการบำบัดโดยไฮโดรเจน โดยให้ความร้อนแก่น้ำมันแล้วผสมกับไฮโดรเจนที่มีการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ตลอดเวลา มีนิเกิลโมลิบดีนัมเป็นสารเร่งปฏิกิริยาแล้วกรองด้วยโคลน (Clay) ซึ่งจะเป็นตัวกำจัดสารอนินทรีย์และช่วยให้เกิดการสลายตัวของกรดซัลฟูริกมากยิ่งขึ้น ขั้นนี้จะสามารถกำจัดสารประกอบกำมะถัน ไนโตรเจน ออกซิเจนและสารที่มีสีต่าง ๆ ออกได้

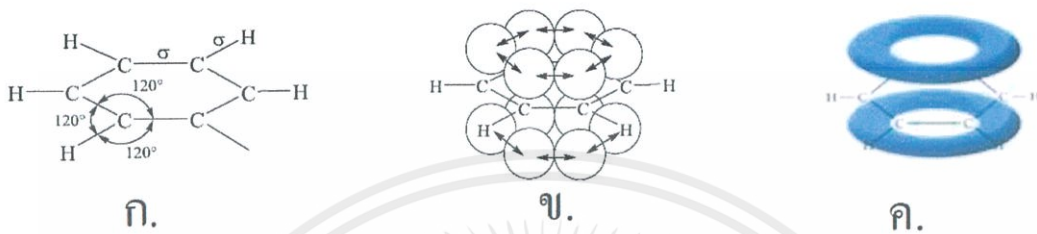
2.2 เบนซีน (Benzene)

เบนซีนจัดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนตัวหนึ่งสถานะเป็นของเหลวจุดเดือดที่ 80°C แยกได้ครั้งแรกโดยไมเคิลฟาราเดย์ ในปี ค.ศ. 1825 จากแก๊สให้แสงสว่างต่อมาพบว่าเบนซีนมีสูตรโมเลกุลเป็น C_6H_6 ซึ่งสูตรนี้แสดงให้เห็นว่าเป็นสารไม่อิ่มตัว แต่พบว่าเบนซีนไม่ทำปฏิกิริยาการเติมดังเช่นที่แอลคีนคือไม่ฟอกจางสีโบรมีนหรือโปแตส-เซียมเปอร์แมงกานेटแต่จะทำปฏิกิริยาแทนที่ได้โดยมีผู้พยายามเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับสูตรโครงสร้างของเบนซีนในปี ค.ศ. 1865 Kekule ได้เสนอว่าเบนซีนเป็นรูปหกเหลี่ยมและมีพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวโดยโครงสร้างที่ถูกต้องของเบนซีนถูกค้นพบโดยวิธีเอกซ์เรย์คริสตัลโลกราฟีพบว่ามียูปร่างเป็นหกเหลี่ยมเช่นเดียวกับที่ ฟรีดริช เคคูเล (Friedrich August Kekule) เสนอไว้วัดความยาวพันธะได้ 1.40 \AA เท่ากันหมดความยาวนี้อยู่ระหว่างความยาวพันธะเดี่ยว (1.54 \AA) และความยาวพันธะคู่ (1.33 \AA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

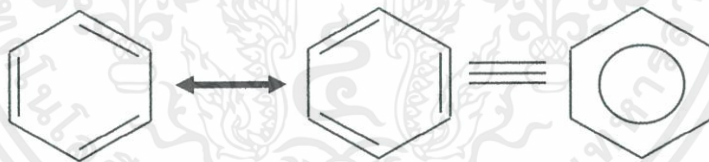
2.2.1 โครงสร้างของเบนซีน

โมเลกุลเบนซีนมีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยมแบนราบคาร์บอนและไฮโดรเจนทุกตัวอยู่ระนาบเดียวกันคาร์บอนแต่ละตัวที่ประกอบกันเป็นรูปหกเหลี่ยมมีไฮบริดเซชันแบบ sp^2 มุมพันธะเป็น 120° นอกจากนี้แต่ละคาร์บอนยังประกอบไปด้วย p-ออร์บิทัลอยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบของโมเลกุล π - อิเล็กตรอน ทั้งหมดที่โลคัลไลซ์อยู่ใน p-ออร์บิทัล ทั้งหมดนี้ทำให้เกิดเป็นหมอกอิเล็กตรอนอยู่ในแนวด้านบนและด้านล่างของระนาบโมเลกุล ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงโมเลกุลเบนซีน ก. แสดงเฉพาะพันธะซิกมา
 ข. แสดงการซ้อนทับของ p-ออร์บิทัลเพื่อเกิดเป็นพันธะไพ
 ค. แสดงหมอกอิเล็กตรอนในแนวด้านบนและด้านล่างของระนาบโมเลกุล

เขียนแสดงโครงสร้างของเบนซีนซึ่ง π - อิเล็กตรอนทั้งหมดที่โลคัลไลซ์ตลอดบนวงแหวนด้วยเรโซแนนซ์ไฮบริด 2 โครงสร้างหรืออาจจะเขียนเป็นรูปหกเหลี่ยมมีวงกลมภายในแทนเรโซแนนซ์ไฮบริดทั้งสอง



2.2.2 ประโยชน์เบนซีน

2.2.2.1 ใช้ในกระบวนการผลิตเอทิลเบนซีน คูมิน ไซโคลเฮกเซน ไนโตรเบนซีน ดี-เทอเจนอัลคิลเลท คลอโรเบนซีน และมาลิกแอนไฮโดร

2.2.2.2 ใช้เป็นสารทำละลายในอุตสาหกรรมเคมีหลายอย่าง อาทิ สีพ่น สีทาบ้าน หมึกพิมพ์ เป็นต้น [4]

2.2.3 การผลิตเบนซีน

2.2.3.1. การแยกเบนซีนจากกระบวนการเผาถ่านหินในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.2.3.2. การแยกเบนซีนจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 การสังเคราะห์เบนซีนจากสารตั้งต้นต่างๆ เช่น การสังเคราะห์เบนซีนจากโทลูอีนด้วยกระบวนการ โทลูอีน ไฮโดรดีอัลคิเลชัน (Toluene hydrodealkylation) [4]

2.2.4 เกรดเบนซีน

2.2.4.1 เบนซีนเกรดดิบ เป็นเบนซีนที่มีสารไฮโดรคาร์บอนอื่นผสม หรือสิ่งเจือปนมากกว่า 0.5% มีจุดเดือดในช่วง 80 ± 4 องศาเซลเซียส

2.2.4.2 เบนซีนเกรดบริสุทธิ์ เป็นเบนซีนที่มีสารอื่นเจือปนไม่เกิน 0.5% มีจุดเดือด มีจุดเดือดในช่วง 80 ± 2 องศาเซลเซียส [4]

2.2.5 ความเป็นพิษ

2.2.5.1 พิษเฉียบพลัน

– มีอาการง่วงเหงาหาวนอน ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ และทำให้หมดสติได้

– การสัมผัสของเหลวหรือไอเบนซีนที่ความเข้มข้นต่ำจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่ตาหรือผิวหนัง มีอาการหายใจติดขัด เป็นผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน มีอาการบวมพอง ผิวหนังแห้ง และตกสะเก็ด

– การสูดดมที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจอย่างรุนแรง หายใจติดขัด ระบบหายใจล้มเหลว และเสียชีวิตได้

– หากดื่มเข้าร่างกายทางระบบทางเดินอาหารในปริมาณน้อยจะทำให้วิงเวียนศีรษะ อาเจียน หากได้รับมากจะทำให้เกิดการปวดท้องรุนแรง เยื่อบุกระเพาะอาหารอักเสบ ชัก และทำให้เสียชีวิตได้

– หากได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิตได้ เช่น ได้รับที่ความเข้มข้น 7,500 ppm ใน 1 ชั่วโมงครึ่ง หรือ มากกว่า 20,000 ppm ในเวลา 5-10 นาที [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.2 พืชเรื้อรัง

- ทำลายไซกระดุก เซลล์เม็ดเลือดแดงแตก จำนวนเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือดต่ำ ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง
- ทำให้เกิดโรคหอบหืด โรคภูมิแพ้ และเกิดโรคมะเร็ง
- ผิวหนังแห้ง เป็นผื่นแดง ตกสะเก็ด
- ทำให้เกิดโรคประสาทเสื่อม มีอาการร่วงเหงาหาวนอน ปวดศีรษะ

วิงเวียนศีรษะ ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร มีอาการกระวนกระวาย หงุดหงิด นอนไม่หลับ และสมองถูกทำลาย หากได้รับที่ความเข้มข้น 1,500 ppm จะทำให้ระบบประสาททำงานผิดปกติ [4]

2.3 กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (Solution Plasma Process)

2.3.1 พลาสมา (Plasma) [5]

พลาสมา (Plasma) พลาสมาในที่นี้คือ สถานะที่ 4 ของสสารที่ไม่ใช่ ของแข็งของเหลว หรือก๊าซ แต่เป็นสถานะที่สสารมีการปลดปล่อยพลังงานและแสงจากการแตกไอออนแบบเบาบาง โดยพลาสมามีสองประเภทแบ่งตามอุณหภูมิคือ เทอร์มอลพลาสมา (Thermal plasma) และ นอน-เทอร์มอลพลาสมา (Non-thermal plasma) โดยในกรณีของเทอร์มอลพลาสมา จะมีอุณหภูมิของโมเลกุลภายในก๊าซสูงได้ถึง 10,000 K หรือมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงเรียก พลาสมาแบบนี้ว่า พลาสมาร้อน (Hot plasma) โดยอุณหภูมิของโมเลกุลมีค่าเท่ากับอุณหภูมิก๊าซ จึงทำให้มีชื่อเรียกอีกแบบว่า Equilibrium plasma โดยตัวอย่างของพลาสมาประเภทนี้ได้แก่ ระบบเดาเผาขยะพลาสมา ระบบแยก/สังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจน ระบบหัวตัดโลหะพลาสมา เครื่องเชื่อมโลหะ TIG/MIG เป็นต้น ในส่วนของนอน-เทอร์มอลพลาสมา จะมีอุณหภูมิของโมเลกุลก๊าซสูงเช่นกัน แต่มีอุณหภูมิของก๊าซรอบๆโมเลกุลต่ำกว่ามากๆ หรืออาจเท่ากับอุณหภูมิห้อง (298 K) ด้วยเหตุนี้จึงเรียกพลาสมาแบบนี้ว่า พลาสมาเย็น (Cold plasma) โดยอุณหภูมิของก๊าซรอบโมเลกุลมีค่าไม่เท่ากับอุณหภูมิของโมเลกุล จึงทำให้มีชื่อเรียกอีกแบบว่า Non-equilibrium plasma โดยตัวอย่างของพลาสมาเย็นนี้ ได้แก่ ไฟสปาร์กจุดระเบิดในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ฟ้าผ่า (Lightening) ระบบฟอกอากาศ หรือแม้กระทั่งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ก็อาจจัดอยู่ในหมวดพลาสมาเย็นได้

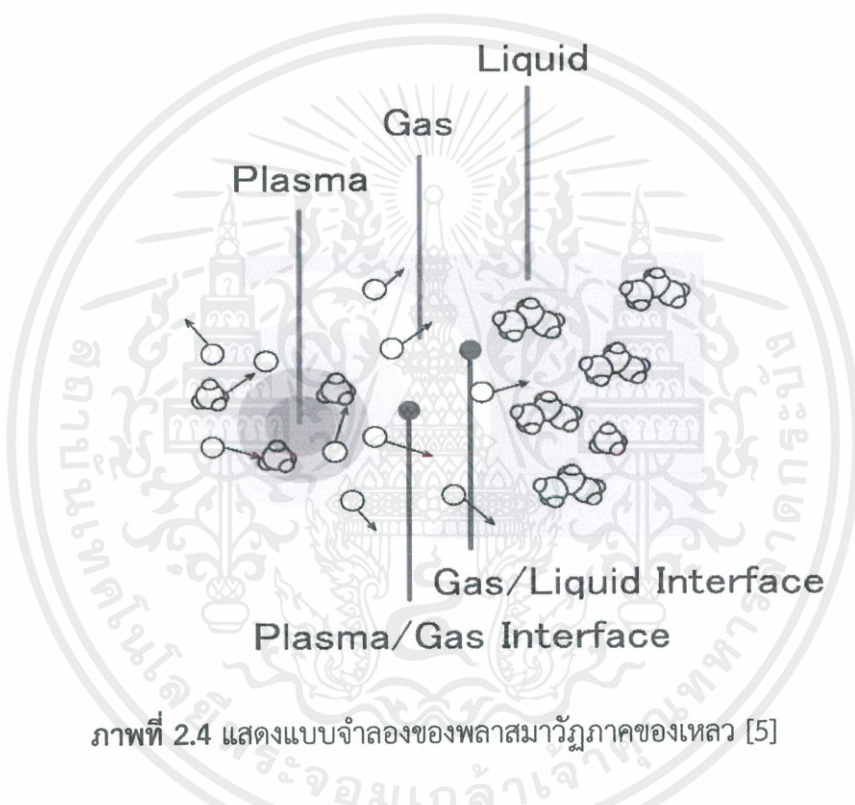
2.3.2 พลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (Liquid Phase Plasma)

2.3.2.1 หลักการของพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว

พลาสมาวิวัฒนาการของเหลว คือ กระบวนการผลิตพลาสมาที่ล้อมรอบด้วยวิวัฒนาการของเหลวโดยใช้ความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดหมู่ว่องไว (Free radical) ซึ่งหมู่ว่องไวที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้เร็วข้อดีของพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวคือสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลายเนื่องจากสามารถเลือกชนิดของตัวทำละลายและสารละลายที่ใช้ในการผลิตพลาสมาได้ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการพลาสมาที่ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ อาทิ การสังเคราะห์อนุภาคนาโน การดัดแปลงพื้นผิวของโลหะ และการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น รูปแบบการเกิดพลาสมาวิภาคของเหลว ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยพลาสมาเกิดขึ้นที่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างอิเล็กโทรดซึ่งถูกล้อมรอบด้วยแก๊สและของเหลวส่งผลให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างสถานะ 2 บริเวณกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงเมื่อถึงจุดที่สารเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคหรือสถานะพลาสมาที่สามารถนำไฟฟ้าได้ จะทำให้เกิดฟองแก๊สขึ้นบริเวณรอบๆพลาสมาในขณะที่พลาสมาถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจะทำให้หมว่องไวระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้นเกิดการเคลื่อนตัวไปอยู่บริเวณของเหลวที่มีหมว่องไวน้อยกว่าโดยอาศัยหลักการถ่ายโอนมวล ดังนั้นสารที่อยู่ในวิภาคของเหลวจะแพร่เข้ามาแทนที่และถูกกระตุ้นให้แตกตัวกลายเป็นหมว่องไวต่อไปจากหลักการดังกล่าวส่งผลให้หมว่องไวภายในสารละลายเพิ่มขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นด้วย



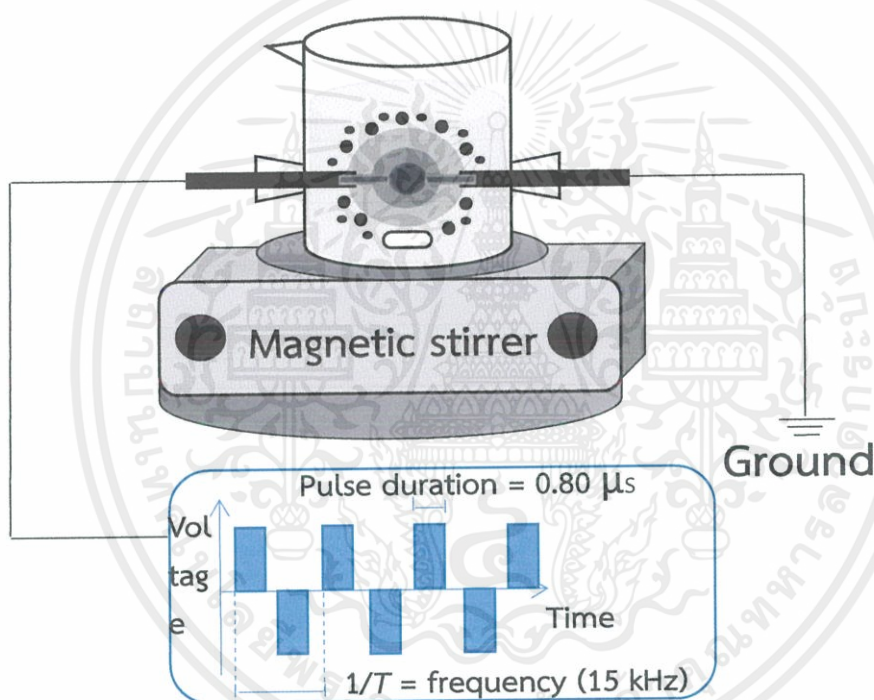
ภาพที่ 2.4 แสดงแบบจำลองของพลาสมาวิภาคของเหลว [5]

2.3.3.2 เครื่องกำเนิดพลาสมาวิภาคของเหลว [6]

พลาสมาวิภาคของเหลวสามารถผลิตได้จากเครื่องกำเนิดพลาสมา ดังแสดงในภาพที่ 2.5 โดยเครื่องกำเนิดพลาสมาจะประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือส่วนแรกเป็นพาวเวอร์ซัพพลายแรงดันและความถี่สูงระบบกระแสตรงซึ่งพาวเวอร์ซัพพลายจะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ให้กับระบบโดยมีทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้าแบบสลับขั้วบวกและลบ (Bipolar pulsed) เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยทั่วไปเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับดังนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในพาวเวอร์ซัพพลายที่มีหน้าที่ในการแปลงระบบไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังถึงปฏิกรณ์พลาสมาเพื่อผลิตพลาสมาต่อไปสำหรับองค์ประกอบส่วนที่ 2 คือถึงปฏิกรณ์พลาสมาโดยทั่วไปแล้วนิยมทำจากแก้วรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-10 เซนติเมตร ซึ่งตำแหน่งด้านข้างทั้งสองด้านของถังปฏิกรณ์จะติดตั้งอิเล็กโทรดที่ทำจากวัสดุทังสเตนทองแดงและเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรและระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 0.5 มิลลิเมตรอิเล็กโทรดทั้งสองจะถูกหุ้มด้วยเซรามิกเพื่อป้องกันความร้อนและการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตพลาสมาในการผลิตพลาสมาวิภาคของเหลวจะเชื่อมต่อพาวเวอร์ซัพพลายเข้ากับอิเล็กโทรดทั้งสองด้านโดยใช้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สูงโดยค่าแรงดันและความถี่ที่ใช้ในการผลิตพลาสมาขึ้นอยู่กับ การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารละลายภายในเครื่องกำเนิดพลาสมาพลาสมาสามารถสร้างหมว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายภายในเครื่องปฏิกรณ์ โดยหมว่องไวที่เกิดขึ้นเป็นสารตัวนำไฟฟ้าเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากกระแสไฟฟ้าจะแตกตัวเป็นไอออนที่สามารถนำไฟฟ้าได้ไอออนต่างๆเหล่านี้เรียกว่าหมว่องไว [7-11] โดยหมว่องไวที่มักเกิดขึ้นระหว่างการทรานส์เฟอร์พลาสมาด้วยพลาสมา เช่น Hydroxyl radical ($\text{OH}\cdot$), Hydroperoxy radical ($\text{H}_2\text{O}_2\cdot$), Free electron (e^-), Superoxide anion (O^-) เป็นต้น นอกจากนี้ชนิดของขั้วอิเล็กโทรดยังมีผลต่อความสามารถในการสร้างหมว่องไวของแสงพลาสมาที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดซึ่งอยู่ภายในสารละลายแสดงถึงชนิดของหมว่องไว



ภาพที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมของการผลิตพลาสมาวิภาคของเหลว

2.3.2.3 การประยุกต์ใช้พลาสมาวิภาคของเหลว

ในปัจจุบันพลาสมาวิภาคของเหลวได้รับความนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายอาทิ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุและการบำบัดน้ำเสีย [5] เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ในสภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้องซึ่งทำให้ต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสมาวิภาคของแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การย้อมสี (Dyeing)

การย้อมสีเป็นการใช้สารประกอบเคมีที่มีความสามารถละลายเป็นสารละลายหรือกระจายตัวอยู่ในสารละลายไปทำให้เกิดสีบนวัตถุที่ย้อมอย่างถาวรโดยทั่วไปสีย้อมจะอยู่ในรูปของสารละลายที่สามารถดูดซึม-และเกาะติดบนเส้นใยด้วยแรงหรือพันธะทางเคมีรวมทั้งแรงดึงดูดทางกายภาพเช่นแรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นต้นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอของสีย้อม ได้แก่อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างระยะเวลาในการย้อมและสารช่วยย้อม

2.4.1 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดจากเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อมโดยคุณสมบัติและปริมาณของน้ำเสียจะแตกต่างกันตามปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนของการฟอกย้อมดังนั้นแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) คือ

2.4.1.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมน้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิตแต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังกระบวนการผลิตน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1) น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อมซึ่งนำส่วนนี้มีปริมาณไม่มากนักแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง

2) น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อมซึ่งน้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมากแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรกลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อมสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย้อมและชนิดของกระบวนการย้อมแหล่งกำเนิดและลักษณะของเสียจากขั้นตอนกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและภาวการณ์ปล่อยมลพิษจากขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตผ้าคอตตอน (Cotton)

2.4.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อมมักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบน้ำถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรงก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อมและถูกรวบรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

2.4.1.3 น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อมมีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันรวดเร็วซึ่งจะทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็นน้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.4.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วยเช่นน้ำล้างถังเตรียมสีย้อม

2.4.1.5 น้ำที่ใช้จากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังที่กล่าวข้างต้นแล้วโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆอีกเช่นน้ำใช้ของคนงานหรือน้ำฝน เป็นต้น

2.4.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

ในแต่ละขั้นตอนของอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีการใช้น้ำและสารเคมีต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกันน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนจะกลายเป็นน้ำเสียน้ำเสียที่ได้จะมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มากมายหลายประเภทซึ่งอาจจะจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญๆได้ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

2.4.2.1 สีย้อม ในขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้นสีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลายสีย้อมและจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียโดยปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

2.5 สีย้อม (Dye)

สีเป็นพารามิเตอร์หลักที่ทำให้เกิดปัญหาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม กล่าวคือในปัจจุบันสีย้อมส่วนใหญ่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความคงทนสูงไม่สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพดังนั้นจึงไม่สามารถกำจัดได้โดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพที่ใช้โดยทั่วไปทำให้น้ำที่ผ่านออกจากระบบบำบัดดังกล่าวยังคงมีความเข้มข้นสีที่ยังสูงอยู่จึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบบำบัดให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม (ปวีณา ธาระสังข์, 2539)

สีย้อม (Dye) คือ เป็นสารอินทรีย์ที่สร้างมาเพื่อดูดกลืนหรือดูดซับแสงโดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุเพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมาซึ่งความทนทานจะมีต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสีย้อมและพันธะในการยึดติดกับวัตถุนั้นๆ (เทพฤทธิ 9 ปีติฤทธิ 9, 2544; สกล ศิริรัตน์, 2546) การทำให้สีย้อมมีความคงทนและเพิ่มความสดใสของสีจึงมีการใช้สารโลหะหนักเข้ามาช่วยได้แก่แมงกานีสทองแดงอาร์เซนิกแคดเมียมโครเมียมตะกั่วโคบอลต์ปรอท และสังกะสี เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงมีการปนเปื้อนของโลหะหนักและก่อให้เกิดปัญหาจากความเป็นพิษของโลหะหนัก (สุกานดา กาสังข์, 2548)

2.5.1 โครงสร้างของโมเลกุลสีย้อม

โครงสร้างของโมเลกุลสีย้อมประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน (สกล ศิริรัตน์, 2546; เทพฤทธิ 9 ปีติฤทธิ 9, 2544; Buckley, 1992) ได้แก่

2.5.1.1 หมู่โครโมฟอร์ของสีย้อม (Dye chromophore group)

องค์ประกอบของโมเลกุลส่วนนี้จะประกอบไปด้วยพันธะคู่และเป็นส่วนที่ทำให้เกิดสีของสีย้อมโดยเมื่อโมเลกุลของสีย้อมถูกแสงกระทบโครงสร้างโครโมฟอร์ของสีย้อมจะเกิดการสั่นเนื่องจากการดูดกลืนแสงบางความยาวคลื่นไปเป็นผลทำให้เกิดการเห็นสีในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนโครโมฟอร์ของสีย้อมมีอยู่ประมาณ 20 กลุ่มด้วยกันตัวอย่างของโครโมฟอร์ ได้แก่

- N = N กลุ่มเอโซ (Azo group)
- C = O หมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group)
- NO₂ หมูไนโตร (Nitro group)

2.5.1.2 หมูเอโซโครมของสีย้อม (Auxochrom group)

เอโซโครมคือหมู่ปฏิกิริยาที่อิมตัวที่มีอิเล็กตรอนซึ่งยังไม่เกิดพันธะเชื่อมอยู่กับพันธะคู่สลับโครงสร้างส่วนนี้มักจะเป็นวงเบนซีน (Benzene aromatic) ที่มีหมู่อะตอมที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Reactive group) ติดอยู่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเอโซโครมยังมีคุณสมบัติการละลายน้ำและเป็นส่วนที่ก่อพันธะระหว่างโมเลกุลสีย้อมกับเส้นใยซึ่งจะทำให้เกิดการยึดติดของสีย้อมกับเส้นใยโดยการยึดติดโมเลกุลสีย้อมกับเส้นใยอาจเป็นพันธะโควาเลนต์พันธะไฮโดรเจนแรงแวนเดอร์วาลส์หรือโดยการแทรกซึมของอนุภาคเข้าไปในเส้นใยตัวอย่างของเอโซโครม ได้แก่

- COOH กลุ่มหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic group)
- OH กลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl group)
- NH₂ กลุ่มเอมีน (Amino group)

โครโมฟอร์และเอโซโครมจะเชื่อมอยู่กับพันธะคู่สลับโดยทั้ง 3 ส่วนนี้รวมกันเรียกว่าโครโม-เจนการรวมกันของพันธะคู่สลับกับโครโมฟอร์ทำให้เกิดสีขึ้นแต่ความเข้มและความสว่างของสีขึ้นอยู่กับเอโซโครม

2.5.2 การจำแนกสีย้อม

การจำแนกชนิดของสีย้อม (Dye classification) มีด้วยกันหลายระบบเช่นจำแนกตามแหล่งกำเนิดตามกลุ่มเคมีภายในโครงสร้างหรือจำแนกตามการใช้งานระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นระบบดัชนีสี (Color Index) ที่แบ่งตามการใช้งาน (ลิลี โศคัยยานนท์, 2541) ได้ดังต่อไปนี้

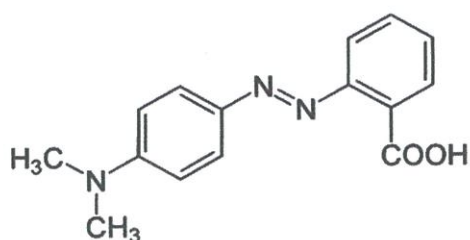
2.5.2.1 สีย้อมแอซิด (Acid dyes)

สีย้อมชนิดนี้รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า สีแอนไอออน (Anionic dyes) โดยส่วนมากสีย้อมชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นเกลือโซเดียมของกรดอินทรีย์ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุลบ

2.5.2.2 สีย้อมเอโซ (Azo dyes)

สีย้อมชนิดนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แนปทอล ซึ่งเป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ โดยเกิดจากการรวมตัวของสารประกอบ 2 ชนิดคือ (1) แนปทอล และ (2) เกลือไดเอโซเนียม (Diazonium) ที่ต่างก็ละลายน้ำได้กลายเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น เมทิลเรด (Methyl red)

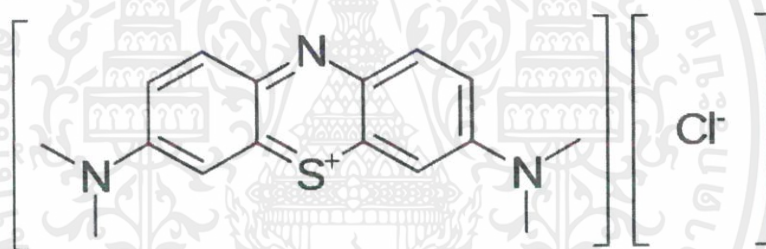
- เมทิลเรด (Methyl red) ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี คือ 4.2-6.3 สีที่เปลี่ยน คือ แดง-เหลือง หมายถึง ถ้าสารละลายมี pH ต่ำกว่า 4.2 จะมีสีแดงถ้าสารละลายมี pH ช่วง 4.2-6.3 จะมีสีส้ม (สีผสมของสีแดงกับสีเหลือง) ถ้าสารละลายมี pH มากกว่า 6.3 จะมีสีเหลือง



ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของเมทิลเรด (Methyl red)

2.5.2.3 สีย้อมเบสิด (Basic Dyes)

สีย้อมชนิดนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สีแคทไอออนิก (Cationic dyes) เนื่องจากสีย้อมชนิดนี้จะให้ประจุบวกเมื่อแตกตัวในน้ำ ลักษณะเด่นของสีย้อมกลุ่มนี้ คือเป็นสีย้อมที่มีความสว่างสดใสและมีความเข้มข้นสูงแต่มีความทนต่อแสงต่ำสามารถละลายได้ง่ายในแอลกอฮอล์แต่ละลายน้ำได้ยากตัวอย่างเช่น สีย้อมเมทิลีนบลู (Methylene blue) เป็นสีย้อมที่เป็นด่าง (Basic dye) ซึ่งมีไอออนบวกเป็นตัวให้สี เมื่อนำไปย้อมรวมกับส่วนประกอบของเซลล์ที่อยู่บนผิว หรือภายในเซลล์ ไอออนบวกของสีจะจับกับไอออนลบของ กรดนิวคลีอิก โดยจับกันด้วยพันธะหลายชนิด เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์



ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของเมทิลีนบลู (Methylene blue)

2.5.2.4 สีย้อมไดเรกต์ (Direct dyes)

เป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้และแสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาพสารละลายมีแรงยึดกับเส้นใยเซลลูโลสวิธีการย้อมทำได้ง่ายและต้องการสารช่วยย้อมคือเกลือต่างๆ

2.5.2.5 สีย้อมดิสเพอร์ส (Disperse dyes)

เป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้น้อยที่อุณหภูมิห้องแต่สามารถกระจายตัวในน้ำได้ การละลายของสีย้อมชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

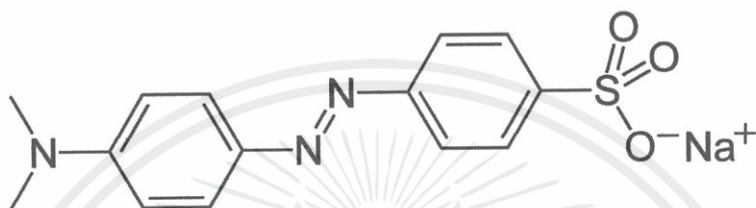
2.5.2.6 สารสี (Pigments)

สารสีประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำยึดติดกับผิวเส้นใยโดยมีกาวพอลิเมอร์เป็นตัวเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.7 สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive dye)

เป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดีและแสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาพสารละลายสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำได้ทำให้เกิดการสูญเสียสีย้อมบางส่วนไป เช่น สีย้อมเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) เป็นสารเคมีที่มีลักษณะเป็นผงสีส้มเหลือง ใช้เป็นตัวบ่งชี้พีเอชในการไทเทรตเนื่องจากให้สีที่ชัดเจน เมทิลออเรนจ์จะเปลี่ยนสีในกรดที่มีความแรงปานกลาง จึงมักใช้ในการไทเทรตสำหรับกรด เมทิลออเรนจ์แตกต่างจากยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์คือ ไม่ได้เปลี่ยนสีครบสเปกตรัม แต่จะเปลี่ยนสีเมื่อถึงจุดยุติ โดยจะให้สีส้มเมื่อเป็นกรดและสีเหลืองเมื่อเป็นเบส ในสารละลายที่เป็นกรดอ่อน เมทิลออเรนจ์จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีส้ม และกลายเป็นสีเหลืองในที่สุด และจะกลับกันเมื่อสารละลายมีความเป็นกรดมากขึ้น และเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) มีค่า pH 3.47



ภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange)

2.5.2.8 สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulphur dyes)

เป็นสีย้อมที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบโดยในสภาพปกติจะไม่ละลายน้ำแต่สามารถใช้สารรีดิวซ์เปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำในสภาวะต่างได้

2.5.2.9 สีย้อมแวต (Vat dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำในการย้อมต้องทำการรีดิวซ์เปลี่ยนให้อยู่ในรูปลิวโคที่สามารถละลายน้ำได้ซึ่งเป็นรูปที่ยึดเกาะกับเส้นใยได้จากนั้นทำการออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำกลับคืนมา

ตารางที่ 2.1 แสดงสีย้อมแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและเคมี	พันธะหรือกลไกติดสี
สีย้อมแอซิด	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- พันธะไอออนิก
สีย้อมรีแอคทีฟ	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดแน่น	- พันธะโควาเลนต์
สีย้อมไดเรกต์	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- พันธะไอออนิก
สีย้อมเบสิก	- กระจุก - ละลายน้ำน้อย	- พันธะไอออนิก
สีย้อมเมทัล คอมเพล็กซ์แอซิด	- กระจุก - ละลายน้ำได้น้อย - สีติดแน่นดี	- พันธะไอออนิก
สีย้อมดิสเพอร์ส	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย มาก - กระจายอยู่ในน้ำเป็นอนุภาค คอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- คอลลอยด์ของสีย้อม ดูดติดผิวเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีย้อมซัลเฟอร์	- เป็นคอลลอยด์หลังเกิดปฏิกิริยา ในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ปฏิกิริยาตกตะกอน ผลึกภายในเส้นใย
สีย้อมแวต	- เป็นคอลลอยด์หลังเกิดปฏิกิริยา กับน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ปฏิกิริยาตกตะกอน ผลึกภายในเส้นใย
สีย้อมเอโซอิก	เป็นคอลลอยด์หลังเกิดปฏิกิริยากับ น้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ปฏิกิริยาตกตะกอน ผลึกภายในเส้นใย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

หมายเหตุ : อภิชาติ หิรัญจิตต์ (2539); เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์ (2544); สกถ ศิริรัตน์ (2546)

2.6 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

วิธีการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมและการเลือกใช้วิธีการกำจัดที่เหมาะสม (ตารางที่ 2.1) และข้อดี-ข้อเสียของวิธีการกำจัด (ตารางที่ 2.2) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยมักจะใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างซึ่งสามารถใช้เป็นกระบวนการกำจัดขั้นต้นก่อนการบำบัดทางชีวภาพหรือวิธีการบำบัดอื่นๆ สารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้ได้แก่ไอออนของอลูมิเนียม (Al^{3+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) และเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (Mishra and Bajpai, 2006; Yue et al., 2008) เป็นต้น โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับสารช่วยสร้างตะกอนแต่ละชนิดซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความสามารถในการตกตะกอน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542; Lee et al., 2006) โดยหากค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในสถานะที่เหมาะสมอาจไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยสร้างตะกอนมากเกินไป

2.6.2 ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation and Reduction)

การออกซิเดชัน-รีดักชันด้วยสารเคมีเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของกลุ่มโครโม-ฟอร์ที่ทำให้เกิดสีไปอยู่ในอีกรูปหนึ่งซึ่งมองไม่เห็นสี สารเคมีที่ใช้ในการออกซิเดชัน-รีดักชันจะเลือกจากศักยภาพในการออกซิไดซ์และรีดิวซ์ทางเคมีซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการเกิดการออกซิเดชันจากการศึกษาที่ผ่านมาสารที่ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ที่นำมาใช้ได้แก่คลอรีนไฮโอโซนและเพนตันรีเอเจนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.1 คลอรีเนชัน (Chlorination)

การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนสามารถกำจัดสีย้อมที่ละลายน้ำได้เช่นสีย้อมรีแอคทีฟสีย้อมแอซิดและสีย้อมไตรเรกท์แต่ไม่สามารถกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สซึ่งเป็นสีที่ละลายน้ำได้

2.6.2.2 โอโซนเนชัน (Ozonation)

การออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเป็นการกำจัดสีย้อมที่เกิดจากการที่โอโซนไปออกซิไดซ์พันธะคู่ของหมู่โครโมฟอร์ในโมเลกุลของสีย้อมแต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อมซึ่งส่วนใหญ่มักจะประกอบด้วยไนโตรเจนคลอรีนหรือซัลเฟอร์จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารตั้งต้นเดิมแต่มีข้อดีคือสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย

2.6.2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์

2.6.2.4 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ในการลดสี โดยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่จะมีการดูดซับสีไปด้วย โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) และระบบที่ 2 คือระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon)

2.6.2.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) และไดนามิกเมมเบรน (Dynamic membrane)

ตารางที่ 2.2 ข้อดี-ข้อเสียของวิธีการกำจัดสีย้อม

กระบวนการบำบัด	ข้อดี	ข้อเสีย
การโคแอกกูเลชัน ด้วยสารเคมี	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถกำจัดสีที่ไม่ละลายน้ำได้ดี - ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและสีย้อมร้อยละ 90-98 - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้เกิดกากตะกอนทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจากการบำบัด - มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีและซีโอดี เพียงร้อยละ 20-50 - ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสีสูง - ไม่สามารถใช้สารส้มกำจัดสีย้อมที่มีโมเลกุลขนาดเล็กได้
ออกซิเดชัน-รีดักชัน	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถกำจัดสีย้อมได้ดี - ใช้พื้นที่บำบัดน้อย - ไม่มีกากตะกอน - สามารถกำจัดได้ทั้งสีย้อมที่ละลายน้ำ เช่น สีย้อมรีแอคทีฟสีย้อมไคเรกท์ และสารสีได้ดีเมื่อใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ - เป็นวิธีที่มีราคาถูกเมื่อใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ - สามารถบำบัดน้ำเสียปริมาณมากได้เมื่อใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ - ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยเมื่อใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ - สามารถกำจัดได้ทั้งสีย้อมที่ละลายน้ำ เช่น สีย้อมรีแอคทีฟสีย้อมไคเรกท์ และสารสีได้ดีเมื่อใช้เพนตันรีเอเจนต์เป็นตัวออกซิไดซ์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้นทุนค่าก่อสร้างสูง - มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูง - ไม่สามารถกำจัด COD ได้ - สามารถกำจัดสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สีย้อมแวตและสีย้อมดิสเพอร์สได้น้อยเมื่อใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ - ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษเมื่อใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ - เกิดสารประกอบใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารตั้งต้นเมื่อใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ - สามารถกำจัดสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สีย้อม C.I. Vat Red (ร้อยละ 50) และสีย้อม C.I. Disperse Blue (ร้อยละ 0.50) ได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

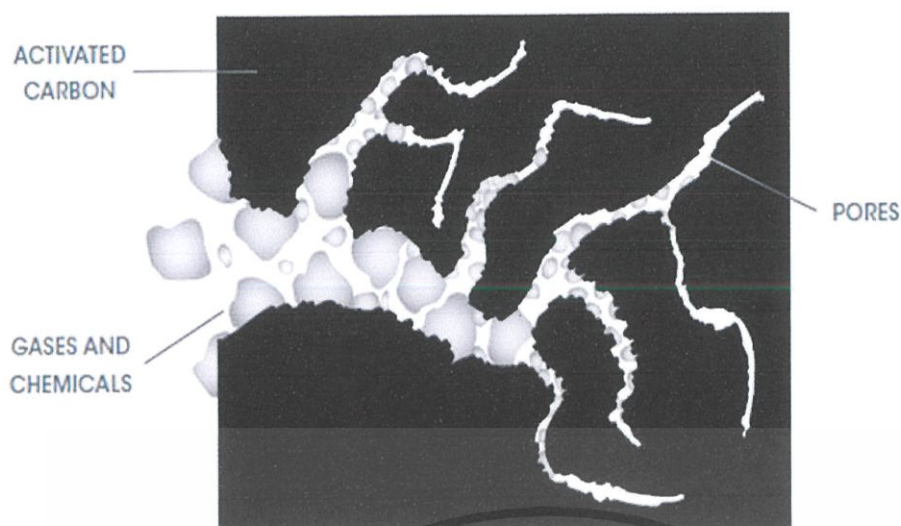
การดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูง - ประสิทธิภาพในการกำจัดสีชนิดต่างๆสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - ถ่านกัมมันต์มีราคาสูง - เกิดการอุดตันจากสารแขวนลอย - ไม่เหมาะที่จะนำไปกำจัดสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ - มีต้นทุนในการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์สูง
การย่อยสลาย ทางชีวภาพ เช่น ระบบตะกอนเร่ง	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการกำจัดสารที่ออกซิไดซ์ได้ร้อยละ 90 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำ - ในการเดินระบบจะเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวบ่อย
เทคโนโลยีเยื่อกรอง	<ul style="list-style-type: none"> - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูง - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงถึง ร้อยละ 99.40-99.90 	<ul style="list-style-type: none"> - การกำจัดกากตะกอนที่เหลือนอกจากการแยกออกจากน้ำเสีย - ต้นทุนค่าก่อสร้างสูง - อาจเกิดการอุดตัน - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ร้อยละ 20.00-50.00

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

2.7 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon หรือ Activated charcoal) เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเนื่องจากพื้นผิวถูกทำปฏิกิริยาด้วยออกซิเจนส่งผลให้เกิดรูพรุน (Porosity) ขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิว (Surface area) สูงมากซึ่งลักษณะเด่นนี้ส่งผลให้ Activated carbon มีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดีและถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ เช่น การเตรียมน้ำดื่มบริสุทธิ์อุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ การบำบัดน้ำเสียใช้ในการฟอกสีของเหลวต่างๆ การทดลองวิจัยในการแยกและเตรียมสารเคมีทางการแพทย์นำไปใช้ในการกำจัดพิษการฟอกเลือด และอื่นๆ ใช้กรองกลิ่นและก๊าซที่ไม่ต้องการรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากและมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ระดับไมโครเมตรจนถึงระดับนาโนเมตรทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะของรูพรุนภายในของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)
(ที่มา: http://www.pcd.go.th/Info_Serv/Datasmell/design_absorbtion.htm)

2.7.1 กระบวนการผลิต (Production)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) มีหลายชนิดซึ่งมักเป็นพวกอินทรีย์สารที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืช และต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย แกลบ กะลามะพร้าว โดยกระบวนการแอคทีเวตคาร์บอน นั้นแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ดังนี้

2.7.1.1 การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแอคทีเวตวัตถุดิบประเภทไม้ และถ่าน วัตถุดิบจำพวกนี้จะถูกทำให้อิมตัวด้วยสาร Dehydrating Agent ชนิดเข้มข้นจำพวกกรดฟอสเฟอริกหรือซิงค์คลอไรด์แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500-800 °C

2.7.1.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแอคทีเวตวัตถุดิบประเภทกะลามะพร้าวและถ่านหินในสถานะที่เต็มไปด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-1100 °C

2.7.2 ทฤษฎีการดูดซับ (Principles of adsorption)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) มีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดีซึ่งกระบวนการดูดซับนั้นเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างก๊าซกับพื้นผิวของคาร์บอน โดยกระบวนการดูดซับถูกแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการคือกระบวนการดูดซับเชิงกล (Physical adsorption) และกระบวนการดูดซับเชิงเคมี (Chemical adsorption)

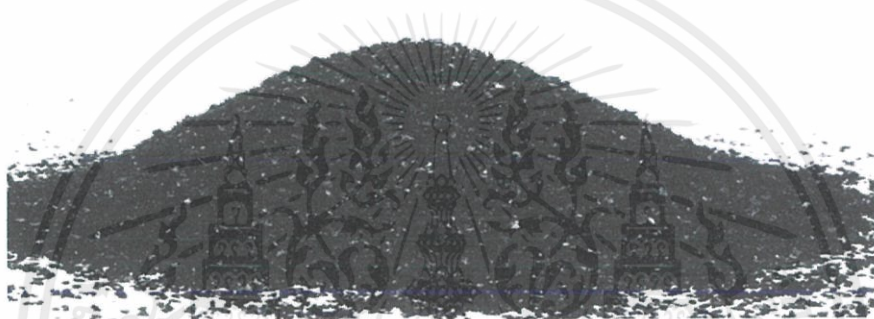
2.7.2.1 กระบวนการดูดซับเชิงกล (Physical adsorption)

กระบวนการดูดซับเชิงกล (Physical adsorption) เป็นกระบวนการดูดซับโมเลกุลของแก๊สโดยอาศัยหลักการแพร่ (Diffusion or Brownian Movement) หรือหลักการดูดซับ/ควบแน่นโดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่ไปบริเวณที่ว่างและแพร่เข้าสู่รูเอกซาร์นเป็นเอกซาร์นทรวงวนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอรุนซึ่งจะถูกดักจับไว้ในที่สุด

2.7.2.2 กระบวนการดูดซับเชิงเคมี (Chemical adsorption)

กระบวนการดูดซับเชิงเคมี (Chemisorption adsorption) เป็นกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นหลังจาก กระบวนการดูดซับเชิงกล (Physical adsorption) โดยเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารสองชนิดสารเคมีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะถูกดักจับโดยเนื้อเยื่อกรองถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะปรากฏได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นแบบผง (Powder), เม็ดกลม (Bead), เม็ดเล็กละเอียด (Granular) เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แบบผงกับถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แบบเม็ดเล็กละเอียดพบว่าถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แบบเม็ดเล็กละเอียดเป็นที่นิยมใช้ในระบบการกรองอากาศมากกว่าเนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าและมีพื้นผิวด้านนอกน้อยกว่าทำให้โมเลกุลของแก๊สแพร่ผ่านได้ง่ายกว่าส่งผลให้อัตราการแพร่เพิ่มมากขึ้นจึงนิยมใช้ในกระบวนการดูดซับไอต่างๆ



ภาพที่ 2.10 แสดงภาพของถ่านกัมมันต์เม็ดเล็กละเอียด (Granular activated carbon)

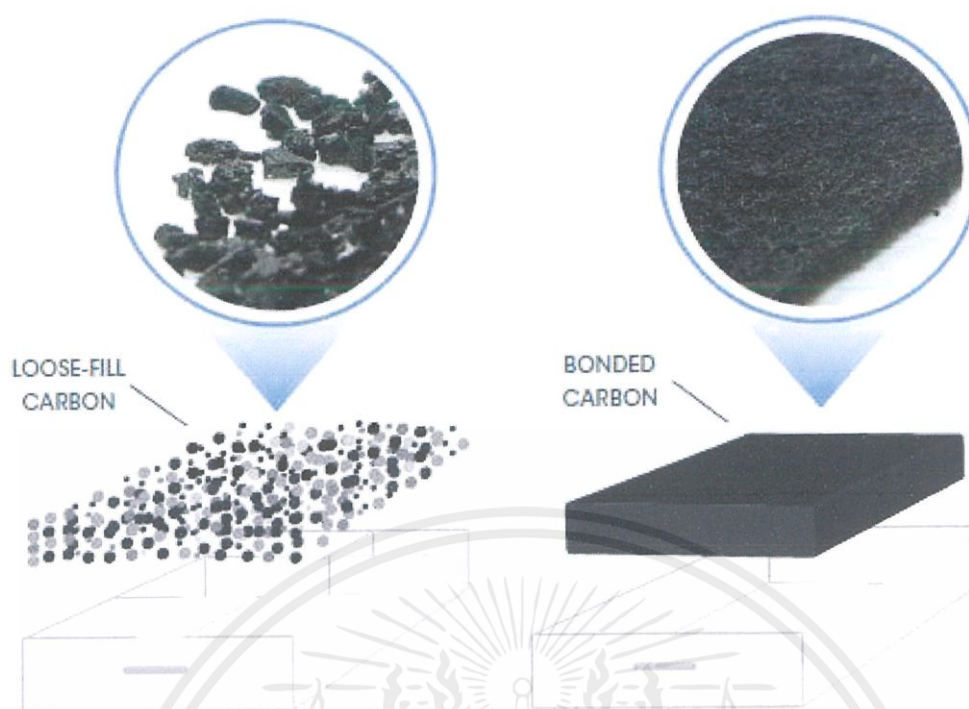
2.7.3 ชนิดของตัวกรองถ่านกัมมันต์ (Activated carbon filter)

ในระบบการกรองอากาศนั้นได้มีการนำถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) มาเป็นส่วนประกอบในตัวกรอง (Filter) ซึ่งสามารถแบ่งตามการผลิตได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ด้วยกัน คือ

2.7.3.1 ตัวกรองเม็ดชนิดหลวม (Granular Loose-Fill Filter)

2.7.3.2 ตัวกรองชนิดผูกมัด (Bonded Carbon Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะโครงสร้างของตัวกรองเม็ดชนิดหลวม (Granular Loose-Fill Filter) และตัวกรองชนิดผูกมัด (Bonded Carbon Filter)

ตัวกรองเม็ดชนิดหลวม (Granular Loose-Fill Filter) ประกอบด้วยชั้นของเนื้อใยกรองและชั้นของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แบบเม็ดเล็กละเอียดวางตัวกันอยู่อย่างหลวมๆภายใน Filter โดย Filter ประเภทนี้จะคงคุณสมบัติเชิงกลและเชิงเคมีของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ไว้อย่างครบถ้วนแต่ในกรณีของ Bonded carbon filter จะเป็นการสร้างพันธะระหว่างถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) กับเนื้อใยกรองโดยใช้กระบวนการทางเคมีต่างๆ สารที่ใช้สร้างพันธะหรือที่รู้จักกันดีในชื่อของ Bonding agent สารที่ใช้สร้างพันธะนั้นส่วนใหญ่จะเป็นพวกเรซิน เช่น พอลิสไตรีน (Polystyrene) ปริมาณของสารที่ใช้สร้างพันธะจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เนื่องจากพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) จะถูกปกคลุมด้วยสารที่ใช้สร้างพันธะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับไอต่างๆ ลดลงชั่วคราวหรือถาวรก็ได้ปกติแล้ว Carbon Filter ประเภทนี้เป็นที่นิยมสำหรับระบบกรองอากาศเนื่องจากมีความสะดวกมากกว่าและปราศจากปัญหาเรื่องฝุ่นผงที่มาจากตัวของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เอง (Dust-free) เพราะถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ได้ถูกทำเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อใยกรองแต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากอนุภาคของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) นั้นเปราะง่ายอาจจะทำให้อนุภาคนั้นหลุดหรือถูกทำให้เสียหายได้ถ้าขนส่งและจัดเก็บไม่ดี

2.7.4 ข้อดีของ Activated carbon filter

ลักษณะเด่นของตัวกรองถ่านกัมมันต์ (Activated carbon filter) คือความสามารถในการกำจัดก๊าซ, สารเคมี, คาร์บอน, รวมไปถึงกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่างๆ ในอากาศซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับไอของแก๊สที่แตกต่างกันด้วย

2.8 วัสดุนาโน (Nanomaterials)

วัสดุนาโน (Nanomaterials) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอก หรือโครงสร้างภายใน หรือโครงสร้างที่พื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล (ช่วงขนาด 1 – 100 นาโนเมตร โดยประมาณ) ทั้งนี้ วัสดุนาโนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามแหล่งกำเนิด คือ วัสดุนาโนจากธรรมชาติ และวัสดุนาโนจากการผลิต โดยที่วัสดุนาโนจากธรรมชาติ เป็นวัสดุนาโนที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ กระบวนการให้ความร้อน และการดำเนินการอื่น ๆ ซึ่งก่อให้เกิดวัสดุนาโนอย่างไม่ตั้งใจ ส่วนวัสดุนาโนจากการผลิต (Manufactured nanomaterial) หมายถึง วัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้ในวัตถุประสงค์ทางการค้า เพื่อให้มีสมบัติ หรือองค์ประกอบที่จำเพาะ โดยสามารถแบ่งวัสดุนาโนจากการผลิตออกเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างได้ 2 กลุ่ม คือ

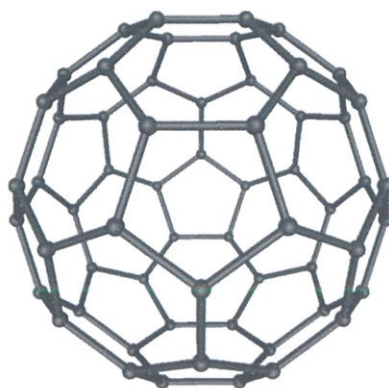
- 1) วัสดุนาโน (Nano-object) หมายถึง วัสดุที่มีขนาดของมิติภายนอกจำนวน 1 มิติ (เช่น แผ่นนาโน) 2 มิติ (เช่น แท่งนาโน) หรือ 3 มิติ (เช่น อนุภาคนาโน) ในระดับนาโน
- 2) วัสดุโครงสร้างนาโน (Nanostructured material) หมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างภายในอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล เช่น นาโนคอมโพสิต (Nanocomposite) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีวัสดุนาโนฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ที่เป็นของแข็ง หรือเป็นวัสดุนาโนที่ยึดเกาะกันด้วยการจัดเรียงตัวแบบสุ่มง่ายๆ ในรูปแบบของอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น และอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม หรือจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในรูปแบบของผลึก เช่น กลุ่มผลึกของฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) หรือกลุ่มของท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) เป็นต้น ตัวอย่างของวัสดุนาโนจากการผลิตที่กำลังได้รับความนิยมในการนำไปใช้เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลุ่มต่าง ๆ มีดังนี้

2.8.1 วัสดุนาโนจากการผลิตที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

2.8.1.1 ฟูลเลอร์รีน (Fullerenes)

ฟูลเลอร์รีนเป็นกลุ่มของสารเคมีที่มีลักษณะคล้ายทรงกลม เกิดจากอะตอมของคาร์บอนสร้างพันธะเคมีกับคาร์บอนสามอะตอมที่อยู่ติดกัน ตัวอย่าง ของฟูลเลอร์รีนที่เป็นที่รู้จักกันดีที่สุด คือ ฟูลเลอร์รีน C₆₀ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายลูกฟุตบอล โมเลกุลของฟูลเลอร์รีนประกอบด้วย อะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 28 อะตอม จนถึงมากกว่า 100 อะตอม จากรายงานผลการศึกษาค้นคว้าทดลองบางฉบับพบว่า โมเลกุลของฟูลเลอร์รีนประกอบด้วย อะตอมคาร์บอนได้ถึง 1,500 อะตอม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลเท่ากับ 8.2 นาโนเมตร โดยฟูลเลอร์รีนที่มีผนังหลายชั้นคล้ายอนุภาคนาโน หรือที่เรียกกันว่า คาร์บอนนาโนอเนียนส์ (Carbon nano-onions) มีขนาดอยู่ระหว่าง 4 – 36 นาโนเมตร ในปัจจุบันมีการใช้งานฟูลเลอร์รีนอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบในการพัฒนาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิง วัสดุสำหรับกักเก็บแก๊สออกซิเจนและแก๊สมีเทน สารเติมแต่งในพลาสติก น้ำมันยาง และใช้เพื่อบำบัดรักษามะเร็งและภูมิคุ้มกันบกพร่อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 แสดงภาพลักษณะโครงสร้างทางเคมีของฟูลเลอร์รีน
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:C60a.png>)

2.8.1.2 คาร์บอนแบล็ก (Carbon black)

คาร์บอนแบล็ก ประกอบด้วย วัสดุที่มีบางส่วนเป็นอสัณฐาน มีประเภทที่จัดเรียงตัวของอนุภาคทรงกลม หรืออนุภาคที่ใกล้เคียงทรงกลมที่รวมกันเป็นอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น หรืออนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม และท้ายที่สุดมักรวมเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ในการผลิตคาร์บอนแบล็กทั่วโลกปริมาณกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ เป็นการผลิตที่ได้จากการเผาในเตาหลอม และอยู่ในรูปแบบของอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่าง 80 – 500 นาโนเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคปฐมภูมิเฉลี่ยที่ 11 – 95 นาโนเมตร ปัจจุบันมีการนำคาร์บอนแบล็กไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเม็ดสี และสารเสริมแรงสำหรับอุตสาหกรรมยางรถยนต์



ภาพที่ 2.13 แสดงภาพลักษณะทั่วไปของคาร์บอนแบล็ก
(ที่มา: http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info2.php?cat_id=13&p_id)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.3 เส้นใยนาโนคาร์บอน (Carbon nanofiber)

เส้นใยนาโนคาร์บอน มีโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกหรือทรงกรวย โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2 -100 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ในช่วงน้อยกว่าไมโครเมตรถึงหลายมิลลิเมตร โครงสร้างภายในประกอบด้วยชั้นแกรไฟต์หลายชั้นซ้อนกัน หรือแผ่นกราฟีนหลายแผ่น ซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปกรวย (โครงสร้างรูปแฉกเป็นรูปตัววี) รูปถ้วย (โครงสร้างแบบไม้ไผ่) รูปแท่ง (โครงสร้างของแข็ง) หรือรูปท่อ (โครงสร้างเป็นโพรง) ลักษณะเฉพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่แตกต่างจากท่อนาโนคาร์บอน คือ การซ้อนกันของแผ่นกราฟีนโดยทำมุมกับแกนของเส้นใยนาโนคาร์บอนซึ่งมีค่าไม่เท่ากับ 0° แต่เมื่อแผ่นกราฟีนวางตัวเป็นแนวขนานกับแกนเส้นใยจะมีรูปร่างเป็นท่อนาโนคาร์บอน เนื่องจากการมีองค์ประกอบที่จัดเรียงตัวทั้งในระนาบและระหว่างระนาบของการขนส่งและสมบัติเชิงกลตามแกนเส้นใย ตลอดจนการมีพันธะที่ไม่อิ่มตัวที่คล้ายกับแกรไฟต์ ทำให้ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนคาร์บอนแตกต่างจากท่อนาโนคาร์บอน เส้นใยนาโนคาร์บอนเกิดขึ้นในช่วงที่มีการสะสมไอระเหยของแก๊สที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก เช่น ไฮโดรคาร์บอนกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะ การควบคุมเพื่อให้เกิดโครงสร้างและองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยนาโนคาร์บอนสามารถทำได้ด้วยการใช้พลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระตุ้นให้เกิดไอระเหยของสารเส้นใยนาโนคาร์บอนที่ผลิตได้จากอุตสาหกรรมนั้น นำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ วัสดุสำหรับกักเก็บแก๊ส และวัสดุสำหรับการยึดเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น



ภาพที่ 2.14 แสดงภาพเส้นใยนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้พัฒนาแบดเตอร์ลิเทียมคุณภาพสูงด้วยแสงซินโครตรอน

(ที่มา:http://www.sri.or.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=4054:2015-09-11-09-13-21&catid=44:2010-11-01-18-55-24&Itemid=326)

2.8.1.4 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube)

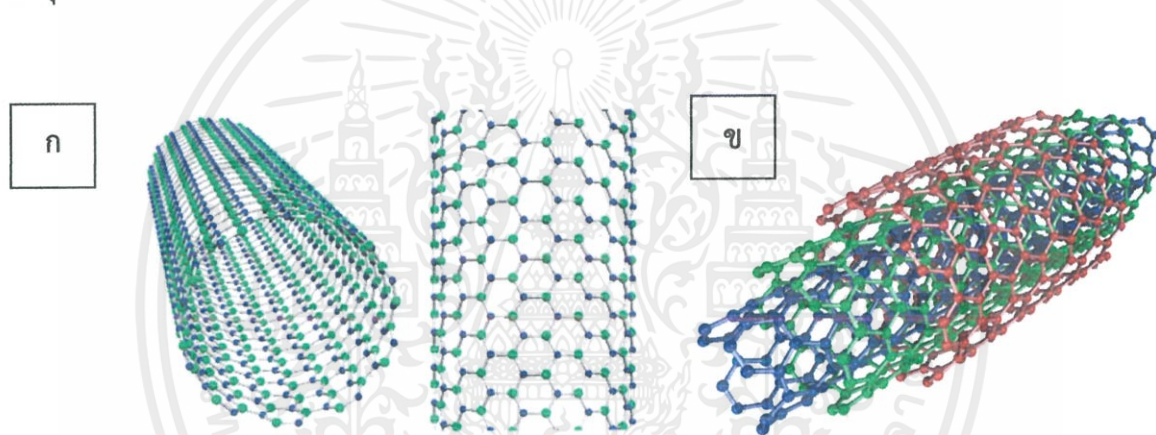
ท่อนาโนคาร์บอน เป็นหนึ่งในตัวอย่างของวัสดุหลาย ๆ กลุ่มที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งท่อนาโนคาร์บอนเกิดจากการเรียงตัวของแผ่นกราฟีนที่ม้วนเป็นท่อนาโนคาร์บอนอาจเกิดจากกราฟีนชั้นเดียว หรือเกิดจากกราฟีนหลายชั้น ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดียวสามารถเปิดหรือปิดที่ปลายท่อ ขึ้นอยู่กับว่าท่อนาโนคาร์บอนเหล่านั้นจะหุ้มด้วยฟูลเลอร์ีนส์ครึ่งหนึ่งที่ปลายแต่ละด้านหรือไม่ ท่อนาโนคาร์บอนอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเพียง 0.4 นาโนเมตร และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความยาวท่อได้หลายเซนติเมตร ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ถึง 100 นาโนเมตร

ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวมีสมบัติเป็นโลหะ หรือสารกึ่งตัวนำได้ โดยขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของแผ่น กราฟีน และการตอบสนองทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถปรับได้โดยการแทนที่ธาตุ ท่อนาโนคาร์บอนอาจมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กถึง 60 เท่า ในขณะที่มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กถึง 6 เท่า นอกจากนี้ ท่อนาโนคาร์บอนยังมีสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลได้ดีมาก อีกทั้งมีความเสถียรทางเคมีและความร้อนสูง สำหรับวิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี วิธีที่ 1 คือ การทำให้ธาตุคาร์บอนกลายเป็นไอด้วยการใช้เลเซอร์ หรืออาร์กไฟฟ้า (Electric arc) และวิธีที่ 2 คือ การแยกคาร์บอนที่อุณหภูมิต่ำจากแหล่งคาร์บอนรวมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือพลาสมา

ในปัจจุบันมีการนำท่อนาโนคาร์บอนมาใช้งานหลากหลาย เช่น เป็นวัสดุคอมโพสิต พอลิเมอร์ ฉนวนป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวปล่อยสนามอิเล็กทรอนิกส์ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด แบตเตอรี่ วัสดุสำหรับเก็บแก๊สไฮโดรเจน และคอมโพสิตโครงสร้าง



ภาพที่ 2.15 แสดงภาพลักษณะของท่อนาโนคาร์บอน

ก. ลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (แบบ armchair)

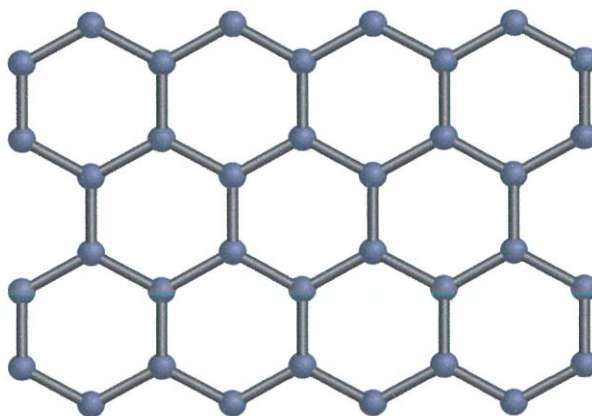
ข. แสดงลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (ในรูปแบบท่อนาโนผนังสามชั้นแบบ armchair)

(ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Multi-walled_Carbon_Nanotube.png)

2.8.1.5 แผ่นนาโนกราฟีน (Grapheme nanosheet)

แผ่นนาโนกราฟีน วัสดุที่มีโครงสร้างของแกรไฟต์ แบบชั้นเดี่ยว โดยที่พันธะของกลุ่มคาร์บอนสามอะตอมไปสร้างพันธะกับกลุ่มคาร์บอนสามอะตอมข้างเคียง จนมีลักษณะเชื่อมต่อกันเป็นทกเหลี่ยม เป็นแผ่นขนาดเล็กแบบหยาบตลอดทั้งแผ่น ทำให้แผ่นกราฟีนมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร กราฟีนมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ แม่เหล็กเชิงแสง และเชิงกล และมีการประยุกต์ใช้ในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่แบบยืดหยุ่น และใช้ในการเคลือบ ในปัจจุบันการผลิตแผ่นนาโนกราฟีน ใช้วิธีการแยกเชิงกลระดับจุลภาค (Micromechanical cleavage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 แสดงภาพลักษณะของแผ่นนาโนกราฟีน
(ที่มา: <https://pixabay.com/th/-161773/>)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสังเคราะห์อนุภาคนาโน SnO₂ โดยใช้วิธีการ Solution plasma และคุณสมบัติแก๊ส เซนเซอร์

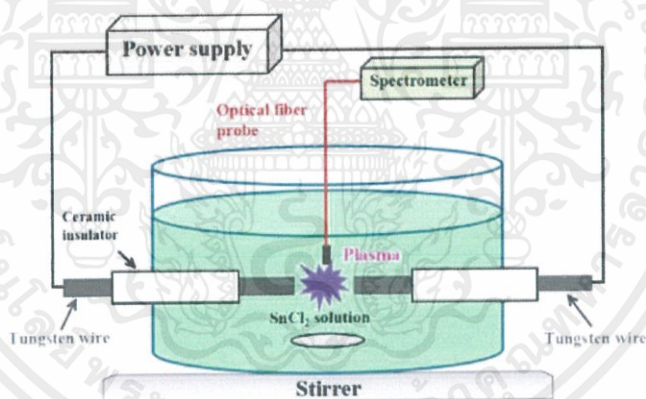
เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ solution plasma เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ SnO₂ nanoparticles จากสารละลาย Tin (II) chloride โดยตรง โดยไม่มีการเพิ่ม Precipitant, Stabilizer หรือ Agents ใดๆ ที่ความดันบรรยากาศ เพราะว่าการ solution plasma อาศัยหลักการ การเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการกระตุ้นด้วยพลังงานสูง ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray power diffraction (XRD) และการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง transmission electron microscopy (TEM)

ซึ่งได้มีแนวคิดมาจาก Metal oxide nanoparticles ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะว่า Metal oxide nanoparticles มีศักยภาพที่ดีในการนำไปใช้งานในหลายๆด้าน Tin oxide (SnO₂) เป็นสารกึ่งตัวนำประเภท n-type oxides ที่สำคัญตัวหนึ่ง มี wide-band-gap เท่ากับ 3.6–4.0 eV และมีคุณสมบัติทางแสง ทางไฟฟ้าและทางไฟฟ้าเคมีที่ดี SnO₂ ได้นำไปใช้ประโยชน์ใน อุปกรณ์ทางแสง ในเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้เป็น High-capacity Lithium storage devices และใช้ใน Gas sensor ซึ่งวิธีกระบวนการทางกายภาพ (Physical) และทางเคมี (Chemical) ที่ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์ SnO₂ nanoparticles เช่น วิธี Ball milling, Thermal decomposition, Sol-gel, Chemical precipitation, และ Hydrothermal synthesis โดยทั่วไป วิธีกระบวนการทางเคมีมักจะ ต้องมีการใช้ Metal-salt และ Chemical agents (เช่น Precipitants, Surfactants, หรือ Polymers ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม) เพื่อใช้ในการเตรียม SnO₂ nanoparticles โดยหลายขั้นตอน วิธีกระบวนการทางกายภาพเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก แต่เป็นวิธี กระบวนการที่ยากต่อการสังเคราะห์อนุภาคให้มีขนาดเล็กได้ ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้การใช้งานของ กระบวนการ Solution plasma method ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปราศจากการเติมตัว Precipitants หรือ Stabilizing agents ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ เพราะ plasma เป็นกระบวนการการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าระดับพลังงานสูง

วิธีการ Solution plasma เป็นวิธีที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนขนาดเล็กด้วยพื้นผิวที่สะอาด วิธีการ Solution plasma ค่อนข้างแตกต่างจากวิธีการแบบเดิมที่ใช้พลาสมาความร้อนที่กระตุ้นโดยแก๊สเฉื่อย ซึ่งต้องการความสุญญากาศ ระบบทำความเย็นและอุปกรณ์ที่ซับซ้อน Energetic radical หลากหลายชนิด เช่น Hydrogen, Oxygen, Hydroxyl radicals, และ Super oxides ถูกสร้างขึ้นจากวิธีการ Solution plasma ซึ่ง Metal oxide nanoparticles สามารถที่จะสังเคราะห์จากการเกิดปฏิกิริยาของ Metal ions ด้วย Energetic radical species โดยไม่มีการเติมสารใดๆ ความหลากหลายของ Metal oxide nanomaterials รวมทั้ง CuO nanofibers, Cu₂O nanoparticles, ZrO nanoparticles, Al₂O₃ nanoparticles, และ ZnO nanoflowers ได้รับการสร้างโดยการปลดปล่อยของโลหะซัลไฟในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำ ในทางตรงข้าม TiO₂ nanocrystals, NiO nanoflowers, และ ZnO nanospheres ถูกจัดเตรียมโดยการปลดปล่อยในสารละลาย Metal-salt



ภาพที่ 2.17 แสดงการตั้งค่าของกระบวนการโซลูชันพลาสมาในการสังเคราะห์อนุภาค SnO₂

ในการศึกษานี้ เขาจึงได้ตรวจสอบขั้นตอนในการผลิตอย่างรวดเร็วของ SnO₂ nanoparticles ที่มีขนาด 2-5 nm จากสารละลายของ Tin(II) chloride ศึกษากลไกการก่อตัว และผลของ Microstructure และคุณสมบัติการเป็น Gas-sensing ของ SnO₂ nanoparticles และสรุปได้ว่า ความเป็นผลึกที่ดีของ SnO₂ nanoparticles ในช่วงขนาดของ 2-5 nm ถูกสังเคราะห์ได้อย่างง่ายจากสารละลาย tin(II) chloride โดยใช้กระบวนการ solution plasma โดยไม่มีการเติม agent ใดๆ SnO₂ nanoparticles ถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาของ Sn²⁺ ที่เป็นอนุภาคชนิดพลังงานรุนแรง ที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำในบริเวณการเกิด plasma SnO₂ nanoparticles มีความไวต่ออะซิโตนลดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮด์ และเอทานอลที่ความเข้มข้นสูงของเอทานอล ซึ่ง SnO₂ nanoparticles แสดงให้เห็นว่ามีกรดตอบสนองที่รุนแรงต่อเอทานอล

การสังเคราะห์โครงสร้าง และควบคุมอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์โดยวิธีการ Solution plasma process

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมโครงสร้างอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ (CNSs) ที่ถูกสังเคราะห์โดยวิธี Solution plasma process (SPP) โดยอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ (CNSs) ถูกสังเคราะห์โดยใช้เบนซีนเป็นสารตั้งต้น ในช่วงที่ผ่านมาวัสดุได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก หลังจากที่ได้ค้นพบฟลูเลอรีน และท่อคาร์บอน โครงสร้างในการฟอร์มตัวของ carbon nanospheres (CNSs) จัดว่าเป็นโครงสร้างใหม่ของคาร์บอนที่มีคุณสมบัติเอกลักษณ์ เช่น น้ำหนักเบา, น้ำความร้อนสูง, มีความแข็งแรงสูง สามารถที่จะประยุกต์ใช้เป็นฐานรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา, เป็นขั้วแอโนดในลิเทียมไอออนแบตเตอรี่, เป็นตัวดูดซับ และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งวิธีการสังเคราะห์อนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ (CNSs) สามารถสังเคราะห์ได้หลายเทคโนโลยีที่แตกต่างกันไป เช่น Chemical vapor deposition (CVD), Pyrolysis, Hydrothermal treatment, ultrasonic treatment, Template method และ The reduction of carbonate or supercritical carbon dioxide ซึ่งในปัจจุบันวิธีการพลาสมาของเหลวเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่สามารถสังเคราะห์วัสดุพวกวัสดุคาร์บอนที่ดี เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย, ต้นทุนต่ำ และสังเคราะห์ได้ปริมาณสูง. Multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs), Nano-onions, Single-walled carbon nanohorns (SWNHs) และ Carbon nanoparticles สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ (CNSs) โดยใช้วิธีการ SPP ซึ่งข้อดีของ SPP ในการสังเคราะห์ CNSs เมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิมของ Plasma in liquid method คือไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าแกรไฟต์และแก๊ส และเมื่อไม่นานมานี้การศึกษาวีธี Solution plasma process ได้นำไปใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโน โดยในกระบวนการจะประกอบไปด้วย Bipolar power supply, Pure benzene เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้น และใช้ทั้งเสตนเป็นขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว โดยมีการเพิ่มขึ้นของความถี่ Pulse ของ Bipolar power supply ซึ่งมันสามารถเป็นไปได้ที่จะใช้ในการควบคุมโครงสร้างในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอน ในบทความวิจัยนี้, เขาได้ประยุกต์ใช้วิธีการ SPP ในการสังเคราะห์โครงสร้างเมโสพอร์ัส และโครงสร้าง graphitic ของ CNSs โดยการ varies ความถี่ Pulse ของ Bipolar power supply

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

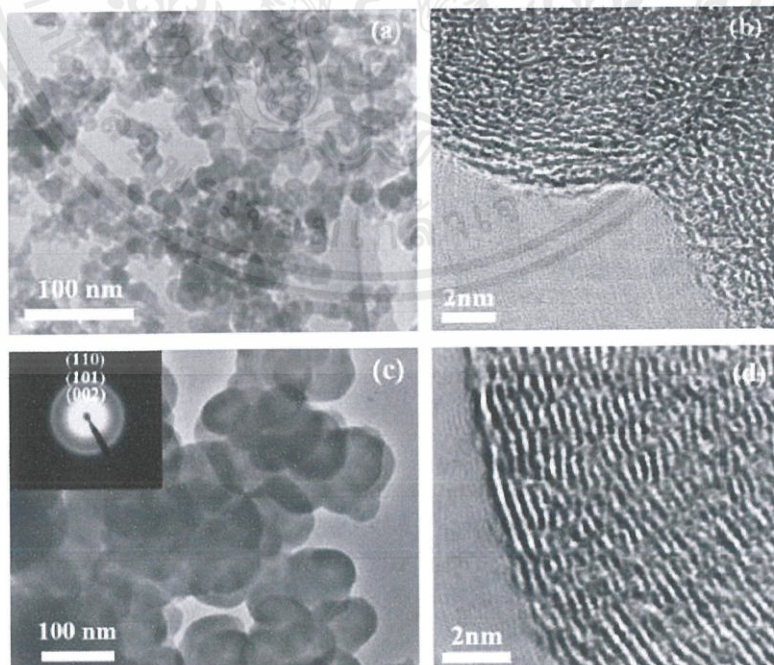
การเกิด Plasma discharge ในตัวทำละลาย aromatic carbons (benzene) โดย Bipolar pulse power supply และมีขั้วไฟฟ้า Electrode ที่ห่อหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันความร้อน โดยใช้ ceramic tube และใช้เวลาในการเกิดกระบวนการพลาสมา 20 นาที โดยมีการให้ความถี่ Pulse ของ Bipolar supply เข้าไปโดยมีการตั้งถี่ที่ 25, 40, 50, and 65 kHz และ ตัวแปลนอกเหนือจากนี้ของการทำให้เกิดการพลาสมาต้องมีการควบคุมศักย์ไฟฟ้าและความกว้างของ Pulse โดยความกว้างของ Pulse และระยะห่างระหว่างขั้วสองขั้ว จะควบคุมอยู่ที่ 1.3 kv, 2.0 us และ 1 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

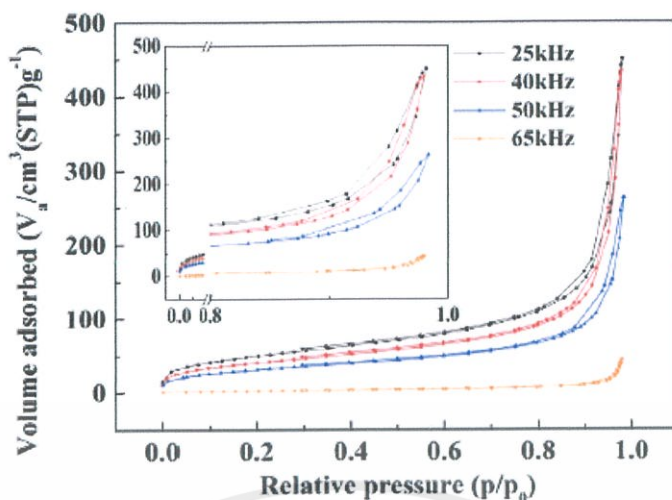
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะความเป็นรูพรุน

จากการเฉลี่ยแล้ว CNSs ปริมาณ 500 mg จะได้รับการสังเคราะห์มาจากปริมาณของเหลวเบนซีนที่ปริมาณ 100 ml ที่ผ่านการพลาสมาเป็นเวลา 20 นาที ภาพที่ 2.18 แสดงภาพ TEM images ของ CNSs ที่เกิดจากการผ่านกระบวนการ SPP โดย CNSs มีห่วงโซ่ (Chain) ที่มีลักษณะเหมือนสัณฐานทรงกลมที่มีขนาดที่ค่อนข้างปกติและมีการรวมตัวกันที่มีรูปร่างคล้ายกับคาร์บอนแบลค หลักการวิธีคาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่เกิดการรวมตัวกันสามารถเข้าใจได้โดยการใช้รูปแบบ diffusion limited cluster aggregation (D.L.C.A) เหมือนกับ คาร์บอนแบลค นั่นคืออนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์เมื่อที่มีปริมาณมากๆที่ได้รับมาจากการพลาสมาที่เวลาเดียวกัน อนุภาคนี้จะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มเนื่องจาก Brownian motion และหลังจากที่อนุภาคนี้ได้รับการเชื่อมต่อกันจากทิศทางที่ต่างกัน ในกระบวนการอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ได้รับรูปแบบจากการเชื่อมต่อกันจากสามทิศทางและกลายเป็นโครงสร้างการรวมตัวกัน ในขณะที่บริเวณพลาสมาของ SPP มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับพลาสมาแบบดั้งเดิม และอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่ได้จากพลาสมาอนุภาคที่ได้จะหนีออกจากโซนพลาสมาเนื่องจากฟลักซ์ ของสารละลาย ดังนั้นจึงมีเวลาไม่พอที่อนุภาคเติบโตด้วยเหตุนี้อนุภาคจึงกลายเป็นอนุภาคเล็ก มันสามารถสังเกตได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์จะอยู่ในช่วง 20-30 nm ในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 65 kHz มันสามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิในการพลาสมาและอัตราในการสังเคราะห์ที่ได้รับอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของความถี่ของ bipolar pulse power ภาพ high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM) แสดงถึงการสังเคราะห์อนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่ 25 kHz จะประกอบด้วยอะมอร์ฟัสคาร์บอน ขณะที่อนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่ 65 kHz จะประกอบด้วยกราฟีนสายสั้นๆต่อกัน และพบว่าขนานไปกับทิศทางศูนย์กลางที่มีโครงสร้างแบบเทอร์โบสตาติก (Turbostratic)



ภาพที่ 2.18 (a-c) แสดงภาพ TEM และ HRTEM ของอนุภาคนาโนสเฟียร์ที่ความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ (d-f) แสดงภาพอนุภาคนาโนสเฟียร์ที่ความถี่ 65 กิโลเฮิร์ตซ์

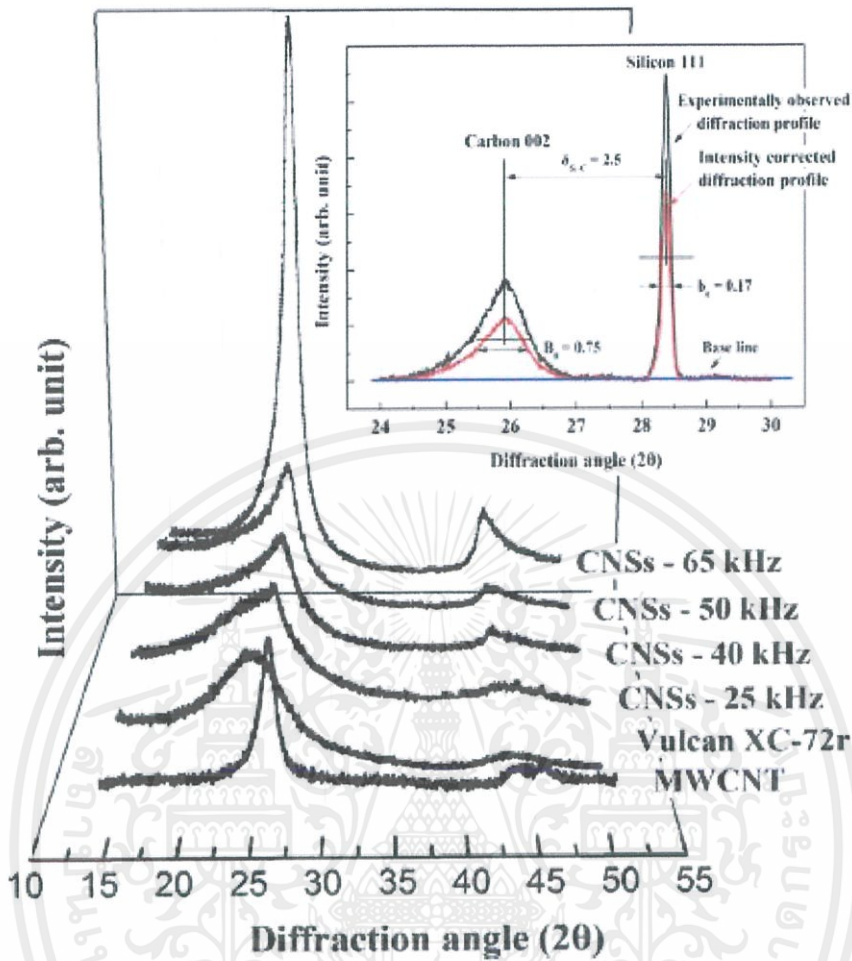
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 แสดงภาพไอโซเทอมการดูดซับ/คายซับของไนโตรเจนของอนุภาคนาโนสเฟียร์

ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (Pore diameter), สามารถได้รับจากกราฟการดูดซับ N_2 (N_2 adsorption-desorption) (ดังภาพที่ 2.19, ตารางที่ 1) จากกราฟ N_2 adsorption-desorption isotherm ของการสังเคราะห์ CNSs จากที่ความถี่ของ pulse 25 ถึง 50 kHz แสดงถึงความสอดคล้องกับปริมาณในการดูดซับของ N_2 เพิ่มขึ้นจาก 100 ถึง $500 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ เมื่อมีความสัมพันธ์ของความดันที่เพิ่มขึ้นจาก 0.8 จนถึง 1 ด้วย การเพิ่มขึ้นนี้อยู่ภายใต้การควบคุมของ capillary และแสดงได้ว่าโครงสร้าง อนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์มีโครงสร้างแบบเมโสพอร์ส เพื่อรับรองการดูดซับของ N_2 จำนวนมาก จึงตั้งสมมุติฐานได้ว่าโครงสร้างเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นโดยช่องว่างระหว่างอนุภาค (รูพรุนเนื้อสัมผัส) ระหว่างอนุภาคหลัก ในการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนปริมาณการดูดซับ/คายของ N_2 ของอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ลดลงที่มีการเพิ่มขึ้นของความถี่ pulse BET surface area และปริมาตรรูพรุนทั้งหมดของอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ลดลงจาก 163 ไปยัง $10 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ และจาก 0.75 ไปจนถึง $0.07 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ การลดลงของค่าทั้งสองน่าจะมาจากการเติบโตของขนาดอนุภาคคาร์บอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 17 จนถึง 31 nm เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจาก 25-60 kHz

ลักษณะทางโครงสร้าง

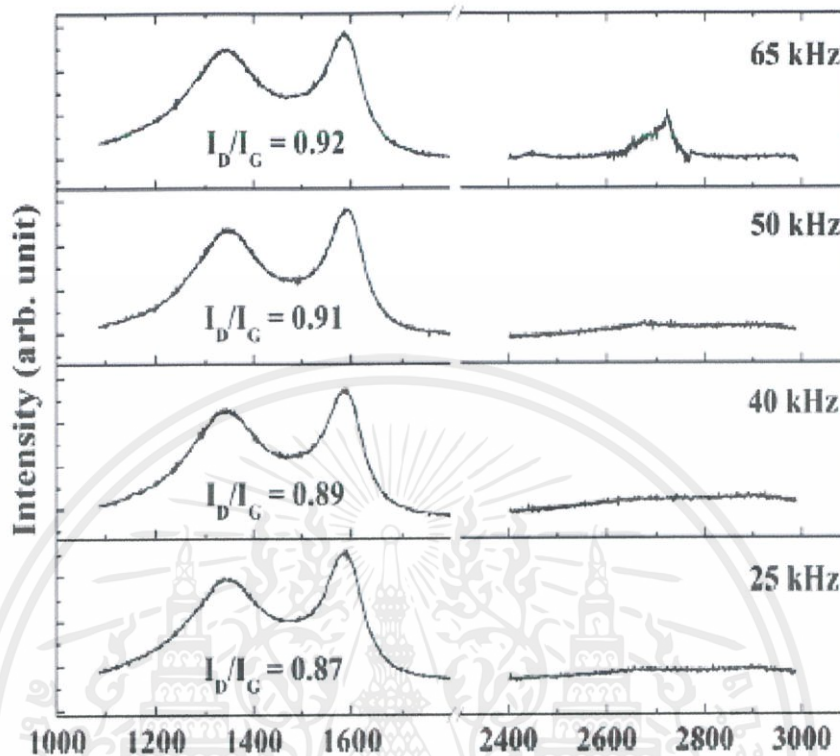


ภาพที่ 2.20 แสดงรูปแบบกราฟ XRD ของอนุภาคนาโนสเฟียร์

การวิเคราะห์ XRD วิเคราะห์จากผลตัวอย่างเพื่อตรวจสอบถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของ อนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่สังเคราะห์ที่ความถี่ pulse ต่างๆ และเปรียบเทียบกับ MWCNT และ Vulcan XC-72 ดังภาพที่ 2.20 ซึ่งแสดงถึง XRD pattern ที่มีการปรากฏขึ้นของพีค 2 พีค ซึ่งเป็นพีคที่ปรากฏขึ้นสะท้อนของระนาบ 002 และ 101 ของการสอดคล้องเกี่ยวข้องกับโครงสร้างคาร์บอนที่มี hexagonal phase การสังเคราะห์ CNSs ที่ความถี่ 25 และ 50 kHz ในภาพประกอบของพื้นที่ Broad peak ในระนาบ 002 มันแสดงว่ามีความเป็นผลึกต่ำ (Low graphitization) และเป็นไปได้ที่จะแสดงถึงความ เป็น amorphous carbon ลักษณะของ Broad peak ของระนาบ 002 จะมีลักษณะที่ sharp มากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความถี่ของ pulse ไปที่ 65 kHz ซึ่งบอกเป็นนัยได้ว่าโครงสร้างมีการประกอบขึ้นของชั้น graphite sheet และมีพื้นฐานโครงสร้างเป็นลำดับในระนาบ การสะท้อนจากพีค 101 ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับโครงสร้างผลึกสองมิติ สังเกตได้เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความถี่ การแสดงให้เห็นของพีค 002 ที่ชัดเจน ที่ $2\theta = 25.5^\circ$ และการแสดงของพีค 101 ที่ $2\theta = 42.3^\circ$ แสดงได้ว่า CNSs จะประกอบด้วยบางส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึกแกรไฟต์ (Crystallite carbon) ความเป็นผลึกของ CNSs ประกอบด้วยโครงสร้างสื่อกลางระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกรไฟต์ และ Amorphous state ซึ่งเช่นเดียวกันกับโครงสร้าง Turbostatic ซึ่งแตกต่างจากการมีลำดับแบบ ABAB ของผลึกก้อนแกรไฟต์



ภาพที่ 2.21 แสดงกราฟรามานสเปกตรัมของอนุภาคนาโนสเฟียร์

Raman spectroscopy ใช้ในการศึกษาลักษณะโหมดการสั่นของอนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ (ดังภาพที่ 2.21) จะเห็นว่าการปรากฏขึ้นของพีค 2 พีคแยกกัน ที่ 1350 cm^{-1} และ 1580 cm^{-1} (เรียกว่า D band และ G band) Raman ใช้ยืนยันความเป็นผลึกจากค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ซึ่งคำนวณได้จากความสูงของพีค แสดงในภาพที่ 2.21 พบว่า ค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เพิ่มขึ้นเมื่อมีความถี่ pulse เพิ่มขึ้นด้วยตามระดับที่ 2 ของ model ของ Ferrari and Robertson ใน stage นี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนจาก Amorphous-carbon ไปเป็น Nanocrystallite graphite (NCG) ซึ่งจะมาพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G

Raman spectra ยังแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของ G band จะคล้ายกับ NCG ของ nanometer-size clusters บนพื้นฐานของผลจนวนการจัดกลุ่มของ sp^2 ใน CNSs เพิ่มขึ้น และเกิดขึ้นของพันธะที่เป็นโครงสร้าง Chain-like (ห่วงโซ่) โครงสร้างที่มากกว่าแบบไม่เป็นระเบียบ อย่าง 2D band ในช่วง $2600 - 2750\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับ D band second order สามารถสังเกตได้ในการสังเคราะห์อนุภาคคาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่ 65 kHz มันพิสูจน์ได้ว่ามีความเป็นผลึกที่ค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับการเติบโตของ NCG คุณลักษณะนี้อาจจะมีการสร้างขึ้นโดยแกรไฟต์ของชั้น Multiple curve NCG

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ CNSs จาก 25 - 60 kHz สามารถอธิบายได้โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการสังเคราะห์และการพัฒนาของการจัดตำแหน่งในช่วงผลึก การเติบโตของ Amorphous carbon ไปเป็น Nanocrystallite carbon จำเป็นต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1700 ไปจนถึงสูงกว่า 2000K ในทางอนเดียวกันมีความสอดคล้องกันของอุณหภูมิแก๊ส/พลาสมา ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

65 kHz ควรจะสูงกว่าที่ 25 – 50 kHz ซึ่งเป็นการเติบโตแบบ exponential ของการป้อนพลังงานเข้าไป ซึ่งสังเกตได้จาก 50 - 65 kHz ใน fig.2d ดังนั้นมันเป็นเหตุผลที่จะตั้งสมมติฐานได้ว่า อุณหภูมิของแก๊ส/พลาสมาสำหรับในการสังเคราะห์ CNSs ที่ความถี่ 25-50 kHz ซึ่งจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1700K – 2000K และอุณหภูมิในการพลาสมาหลังจากเข้าสู่สูงกว่า 2000K ที่ความถี่เท่ากับ 65 kHz ทำให้เกิดการจัดเรียงโครงสร้างผลึกและเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้าง nanocrystalline

ลักษณะความต้านทานทางไฟฟ้าของอนุภาคนาโนสเฟียร์

การประเมินค่าการนำไฟฟ้าของ CNSs ด้วยวิธีเข็มวัด 4 จุด ทำการเตรียมตัวอย่างคือ 60%wt ของ CNSs ผสมกับ 40%wt ของตัวผสมโพลีเมอร์ (PVDF, polyvinylidene fluoride, ค่าเฉลี่ย Mw 534,000, Aldrich) ผสมโดยใช้ครก Motar และ Pestle เป็นเวลา 10 นาที หลังจากการผสมจะถูกลงในแม่พิมพ์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm และถูกบีบอัดด้วยแรง 8 Mpa ที่ภายใต้ความดัน 25° C เป็นเวลา 5 นาที ผงคอมโพสิตที่ถูกอัดเม็ดจะมีความหนา 2 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 mm และการวัดค่าการนำจะวัดจากบนเม็ดเหล่านี้ ดังแสดงผลใน ตารางที่ 1. ผลของค่าเฉลี่ยในการวัด 5 ครั้ง สำหรับในการวัดของแต่ละความถี่ พบว่า ค่าความต้านทานมีความเปลี่ยนแปลงไป 2 magnitude เมื่อมีความถี่เพิ่มขึ้นจาก 40 ไปจนถึง 65 kHz การสังเคราะห์ CNSs ที่ความถี่ 65 kHz จะแสดงลักษณะของความต้านทาน (0.185Ω) ที่คล้ายกับวัสดุคาร์บอนแบล็ค ในทางการค้าทั่วไป เช่น Vulcan XC-72R (0.201Ω) มันเสนอได้ว่าค่า contact resistance ระหว่าง CNSs อาจลดลง เมื่อพื้นที่ผิวมีความเป็นระเบียบสูง

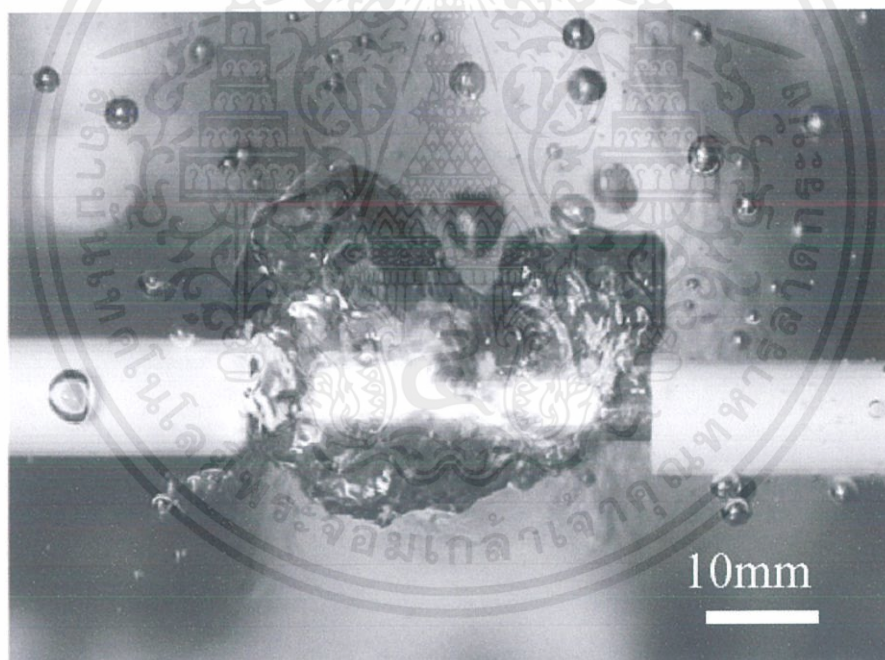
สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ได้พบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนสเฟียร์พอร์สามารถที่จะสังเคราะห์ได้สำเร็จด้วยกระบวนการวิธี SPP ที่สังเคราะห์ให้มีขนาดอยู่ในช่วง 20 ถึง 100 nm ผลแสดงได้ว่าโครงสร้างของรูพรุน (Pore structure) และระดับความเป็นผลึก (Graphitization degree) ของ CNSs สามารถที่จะควบคุมได้ง่ายโดยการปรับค่าความถี่ของกระบวนการ SPP ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการเติบโตของ CNSs ที่สูงขึ้น ขึ้นอยู่กับการป้อนพลังงานเข้าไปในของเหลวตัวกลาง สำหรับการเกิดการ discharge การปล่อยแสงที่มีการป้อนพลังงานต่ำเข้าไป ที่การสังเคราะห์ CNSs ที่ความถี่อยู่ในช่วง 25 และ 50 kHz จะแสดงให้เห็นว่ามีความเป็น Amorphous carbon ที่มีพื้นที่ผิวสูงและ pore volume สูงด้วย และสำหรับการเกิดการ spark discharge ที่มีการป้อนพลังงานสูงเข้าไป ที่การสังเคราะห์ CNSs ที่ความถี่ 65 kHz จะประกอบด้วยชั้น Short range ของกราฟีนชั้นสั้นๆ ต่อเนื่องกันไป ที่มีโครงสร้างแบบ Turbostatic และมีการนำไฟฟ้าสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CNSs เพิ่มขึ้นจาก 20-30 nm และ 90-100 nm เมื่อที่ความถี่ Pulse ของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 25 จนถึง 65 kHz คุณสมบัติของโครงสร้างรูพรุนอื่นๆ รวมทั้งพื้นที่ผิวเฉพาะ BET, ปริมาตรของรูพรุน (pore volume), ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของรูพรุน (pore diameter) ที่แตกต่างกันจาก $163 \text{ ถึง } 10 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, $0.75 \text{ ถึง } 0.07 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, และ $17 \text{ ถึง } 31 \text{ nm}$ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจาก 25 จนถึง 65 kHz

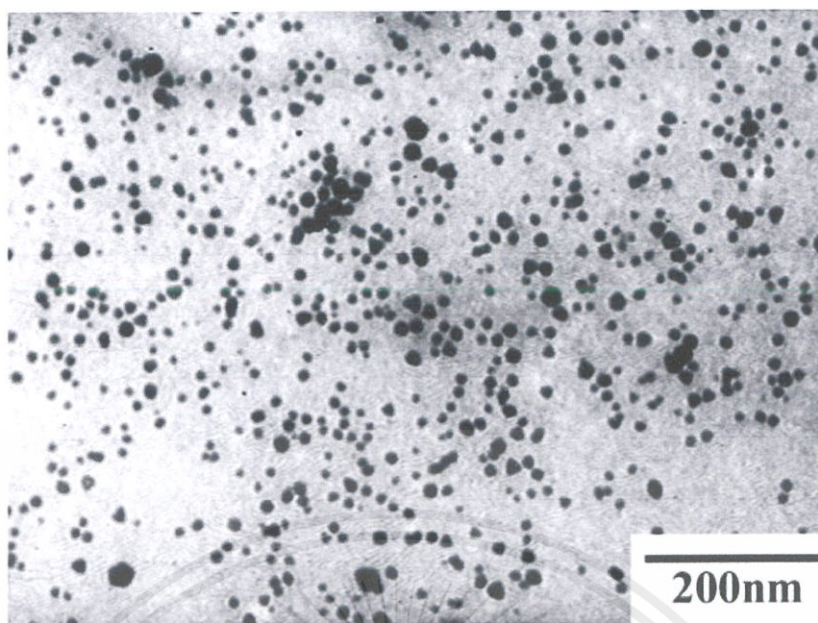
การสังเคราะห์อนุภาคทองคำขนาดนาโนด้วยกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว

ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำขนาดนาโนด้วยพลาสมาจะสังเคราะห์ภายใต้สารละลาย HAuCl₄ ซึ่งเป็นสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ (Aqueous Solution) และไม่ใช่ น้ำ (Nonaqueous Solution) ในระบบเปิด ในกระบวนการสังเคราะห์จะติดตั้งระบบพลาสมาแรงดัน 2.5 กิโลโวลต์ ความถี่ 60 กิโลเฮิรตซ์ และความกว้างพัลส์ (Pulse Width) 2×10^{-6} วินาที จากการศึกษาพบว่า อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวโดยใช้สารละลาย HAuCl₄ ความเข้มข้น 0.60 มิลลิโมลาร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยสูงสุด 10.5 ± 3.6 นาโนเมตร จากการศึกษาด้วยเทคนิค Energy dispersive x-ray analyzer (EDX) และ UV-Vis spectroscopy พบว่า อนุภาคนาโนมีองค์ประกอบของทองและมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยความเข้มข้นของฟิสิกจะสูงขึ้นตามระยะเวลาในการดีสชาร์จ (Discharge Time) นอกจากนี้ พลาสมาวิวัฒนาการของเหลวยังสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่เป็นทองให้มีรูปร่างแบบเรขาคณิตที่แตกต่างกันได้ อาทิ สามเหลี่ยม ห้าเหลี่ยม และหกเหลี่ยม โดยใช้สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังนั้น การสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยวิธีพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวจึงง่ายต่อการควบคุมรูปร่างของอนุภาคนาโนในรูปแบบต่างๆ ได้

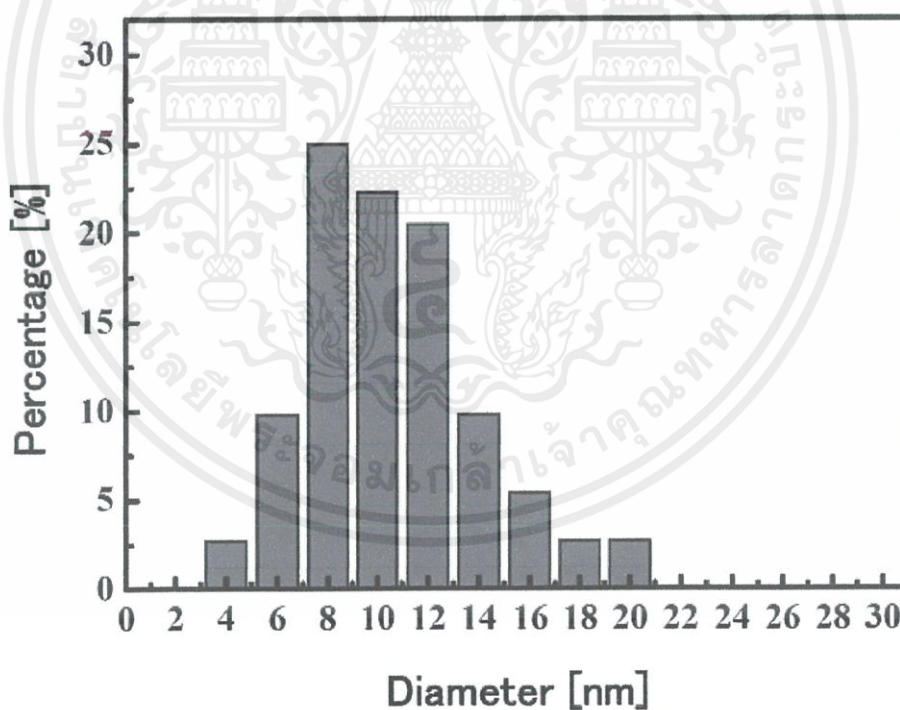


ภาพที่ 2.22 แสดงกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (SPP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

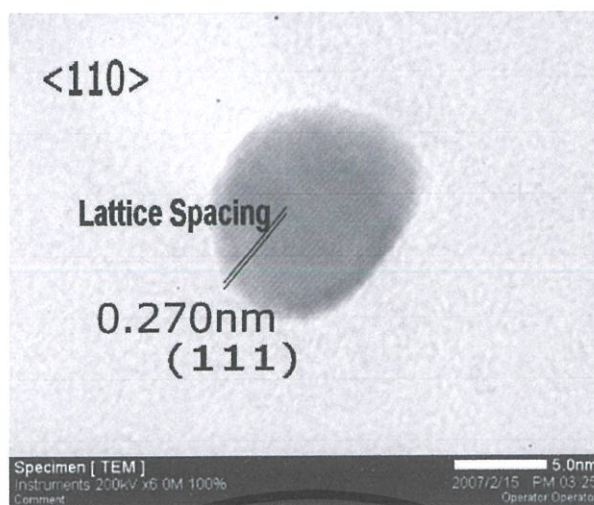


ภาพที่ 2.23 แสดงภาพ TEM ของอนุภาคนาโนทองคำที่สังเคราะห์ภายใต้สารละลาย HauCl_4 ที่ 0.60 mM แบบที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ โดยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว



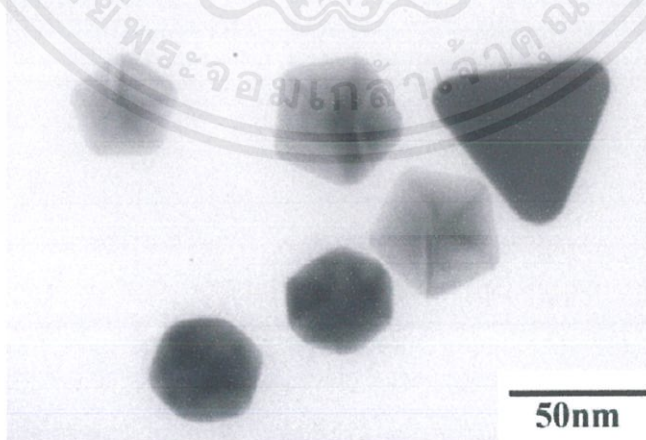
ภาพที่ 2.24 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคนาโนทองคำระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ในสารละลาย HauCl_4 ที่ 0.60 mM แบบที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ โดยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.25 แสดงภาพ TEM แบบความละเอียดสูงของอนุภาคนาโนทองคำ โดยมีค่า lattice spacing เป็น 0.270 nm บนระนาบ (111) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทองเล็กน้อย

ภาพที่ 2.25 แสดงอนุภาคนาโนทองแบบทรงกลมที่สังเคราะห์โดยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนเมตรลักษณะทางกายภาพหรือลักษณะภายนอกมีความเป็นไปได้ว่าผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวแบบที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังเช่นแสดงในภาพที่ 2.25 ในภาพนี้แสดงให้เห็นรูปร่างสามเหลี่ยม, ห้าเหลี่ยม และหกเหลี่ยมของอนุภาคนาโนของทอง ที่มีกลไกการพัฒนาอนุภาคนาโนที่แปลกใหม่อยู่ภายใต้การวินิจฉัย ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีแนวโน้มมากในการก่อตัวของอนุภาคนาโนของทองที่มีรูปทรงหลากหลายแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงสามารถใช้สังเคราะห์อนุภาคนาโนเพื่อให้ได้รูปร่างที่แปลกใหม่ได้

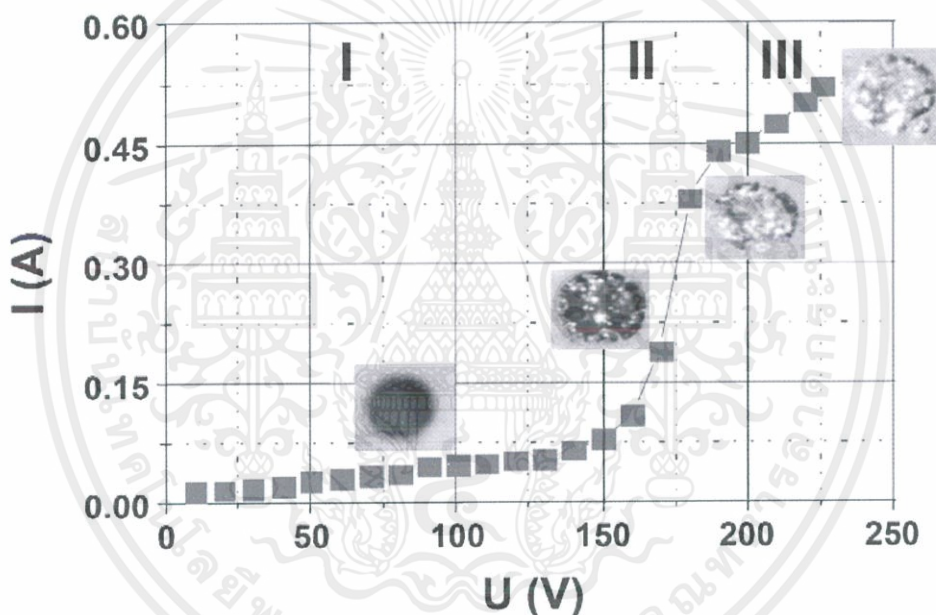


ภาพที่ 2.26 อนุภาคนาโนของทองแบบเหลี่ยมที่สังเคราะห์ โดยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงพื้นผิวของโลหะด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

ในการปรับปรุงพื้นผิวของโลหะด้วยพลาสมาจะใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนด และขั้วแคโทดเป็นสแตน-เลสสตีล สารละลายที่ใช้มีค่าความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 8 และ 12 จากการศึกษาผลของค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่มีต่อการปรับปรุงพื้นผิวโลหะพบว่า ช่วงที่ให้ค่าความต่างศักย์ต่ำ 0 ถึง 150 โวลต์ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของขั้วแอโนดและแคโทด จากการเพิ่มค่าความต่างศักย์มากขึ้น จะสังเกตเห็นฟองอากาศเกิดขึ้นบนพื้นผิว เมื่อให้ค่าความต่างศักย์ 175 โวลต์ พบว่าพื้นผิวของขั้วแอโนดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จากผลการศึกษาสัณฐานพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM ของพื้นผิวโลหะพบว่า พื้นผิวชั้นนอกของอะลูมิเนียมมีรูพรุนสูงซึ่งส่งผลให้มีความแข็งแรงต่ำ ในขณะที่พื้นผิวชั้นในของอะลูมิเนียมจะมีความหนาแน่นของเนื้อโลหะสูงกว่าชั้นนอกและมีความแข็งแรงมากกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นผิวชั้นนอกของอะลูมิเนียมสัมผัสกับพลาสมาได้มากกว่าพื้นผิวชั้นในทำให้พื้นผิว มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า

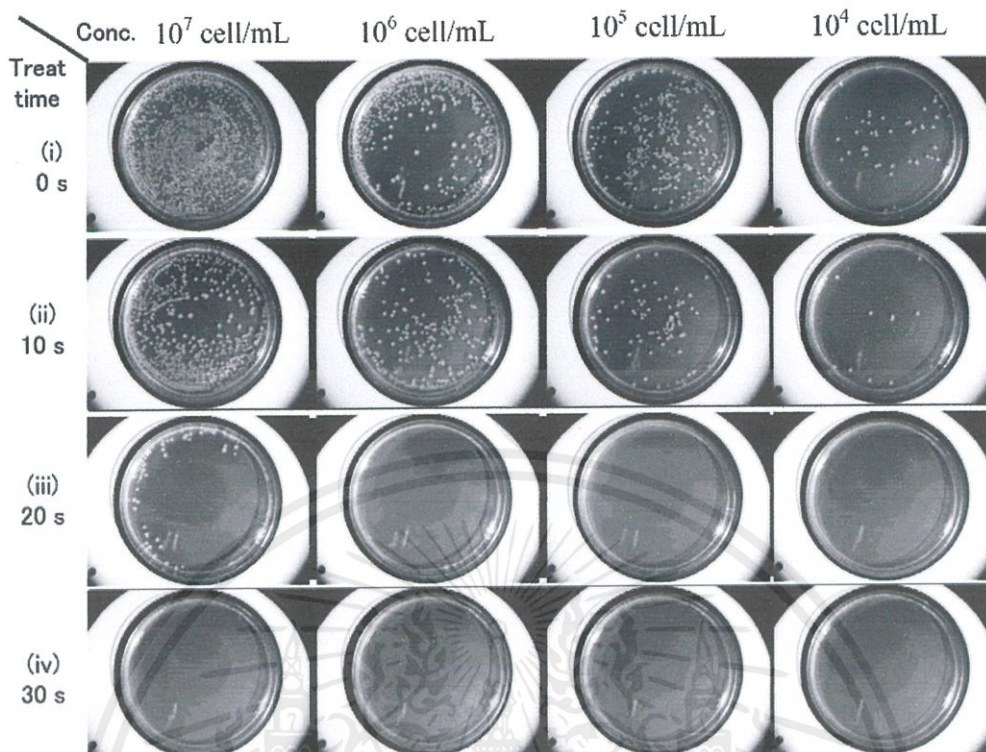


ภาพที่ 2.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวของอะลูมิเนียม โดยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว (SPP)

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

การบำบัดน้ำเสียด้วยพลาสมาจะใช้ค่าความต่างศักย์ 800 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดพัลส์ 40 วินาที และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยพลาสมา คือสารละลาย Na_2SO_4 และ CH_3COONa จากการทดลองกับน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรีย E.Coil uc 4100 (แบคทีเรียแกรมลบ) และ Staphylococcus aureus (แบคทีเรียแกรมบวก) พบว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยพลาสมาที่เวลาสูงสุด 30 วินาที แบคทีเรียที่อยู่ในสารละลายตายทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า พลาสมาสามารถทำลายแบคทีเรียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.28 แสดงพัฒนาการของเชื้อจุลินทรีย์ E.coli หลังจากทำการบำบัดด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว (SPP)

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวลมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอโอดีนหรือค่าไอโอดีน ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม โดยนำตัวอย่างชีวมวล คือ กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด มาเผาเป็นถ่านใน เตาถึงน้ำมัน 200 ลิตร แล้วนำไปเผากระตุ้นกับสารละลายน้ำเกลือเข้มข้น 4 ระดับ คือร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 500 – 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากชุมชน ร้านอาหาร และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อดูดซับสีและกลิ่นของน้ำทิ้ง

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง พืชและสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญของโลก และถูกจัดเป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ดังนี้ (กระทรวงกลาโหม, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หวานที่เป็น แหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้

2. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง

3. ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระจินธรงค์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น

4. ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (waste streams) เช่น กากน้ำตาล และขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบ ชีเสื่อย เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม

ในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีชีวมวลที่เป็นของแข็งหลายประเภท เช่น ถ่านไม้ ฟืน และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ปริมาณรวมทั้งหมดเท่ากับ 60.8 ล้านตัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) ซึ่งเป็นปริมาณชีวมวลที่มาก สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อเพิ่มชีวมวลเหล่านี้มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์อย่างง่าย เป็นการเพิ่มมูลค่าของชีวมวลให้มากขึ้น โดยการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมให้ดีขึ้น ก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจและสังคมแก่ประเทศ

ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากกะลามะพร้าวและชังข้าวโพด สามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้ ภาพที่ 2.25

1.1 นำกะลามะพร้าวและชังข้าวโพดมาเผาให้เป็นถ่านโดยเผาในเตาถังน้ำมัน 200 ลิตร

1.2 นำถ่านจากกะลามะพร้าวและชังข้าวโพดที่ได้มาทำให้มีขนาดประมาณ 0.5 x 0.5 เซนติเมตร

1.3 ชังถ่านกะลามะพร้าว จำนวน 300 กรัม ใส่ลงในกระป๋องสังกะสี จำนวน 4 ใบ

1.4 ชังถ่านชังข้าวโพด จำนวน 200 กรัม (เนื่องจากถ่านชังข้าวโพดมีน้ำหนักเบาทำให้เต็มภาชนะจึงใช้ปริมาณลดลง) ใส่ลงในกระป๋องสังกะสี จำนวน 4 ใบ

1.5 เตรียมสารละลายน้ำเกลือจากเกลือแกง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร 1.6

นำน้ำ 1,500 มิลลิลิตรใส่ลงในกระป๋องที่ 1 และนำสารละลายน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 20, 40 และ 60 ที่ได้จากข้อ 3.1.5 จำนวน 1,500 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระป๋องที่ 2, 3 และ 4 ของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านชังข้าวโพดตามลำดับแล้วปิดฝา

1.7 นำตัวอย่างทั้งหมดไปเผากระตุ้นในเตาถังน้ำมัน 200 ลิตรแบบนอน และเตาอิฐก่อขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิประมาณ 500-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (กะลามะพร้าวเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส, ชังข้าวโพดเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 นำตัวอย่างถ่านที่ได้จากการกระตุ้นแล้วไปล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง จนกว่าน้ำมี pH คงที่แล้วนำไปผึ่งให้แห้ง

1.9 นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ

1.10 นำค่าไอโอดีนที่ได้ในข้อ 1.8 มาพิจารณาเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย น้ำเกลือในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ต่อไป



ภาพที่ 2.29 แสดงวิธีการเตรียมตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพด

2. การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ในการดูดซับสี และกลิ่นของน้ำทิ้งจากชุมชน ร้านอาหาร และโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

2.1 เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากชุมชน ร้านอาหาร และโรงงานอุตสาหกรรม และบันทึกลักษณะเบื้องต้นของน้ำทิ้ง

2.2 ซังถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร หลอดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ทำ 3 ซ้ำ

2.3 ซังถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด จำนวน 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม (เนื่องจากถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีน้ำหนักเบาทำให้เต็มภาชนะจึงใช้ปริมาณลดลง) ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร หลอดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ทำ 3 ซ้ำ

2.4 นำน้ำทิ้งจากชุมชน จากร้านอาหาร และจากโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจนครบทุกหลอด และปิดฝาหลอดทดลองทุกหลอด

2.5 บันทึกผลการทดลองโดยสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสี และความขุ่นที่เวลาเริ่มต้น, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง สำหรับคุณลักษณะของกลิ่น จะบันทึกผลที่เวลาเริ่มต้น และเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ในการทำสบู่ ดังนี้ ภาพที่ 2.26

3.1 นำถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมาบดละเอียดเป็นผงถ่าน

3.2 นำกลีเซอรินหั่นเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็กรวม 2 X 1 เซนติเมตร

3.3 นำน้ำใสในภาชนะสเตนเลส แล้วตั้งบนเตาแม่เหล็กโดยให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 70-80°C

3.4 ซังกลีเซอรินที่หั่นแล้ว จำนวน 250 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ นำบีกเกอร์วางในหม้อที่มีน้ำร้อนอยู่ รอจนกลีเซอรินละลายหมด (อย่าให้กลีเซอรินเดือด) แล้วเติมผงถ่าน จำนวน 0.5 กรัมลงในบีกเกอร์ ค่อยๆ คนจนผงถ่านเข้ากับกลีเซอริน แล้วเทลงในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จึงแกะสบู่ออกจากแบบพิมพ์

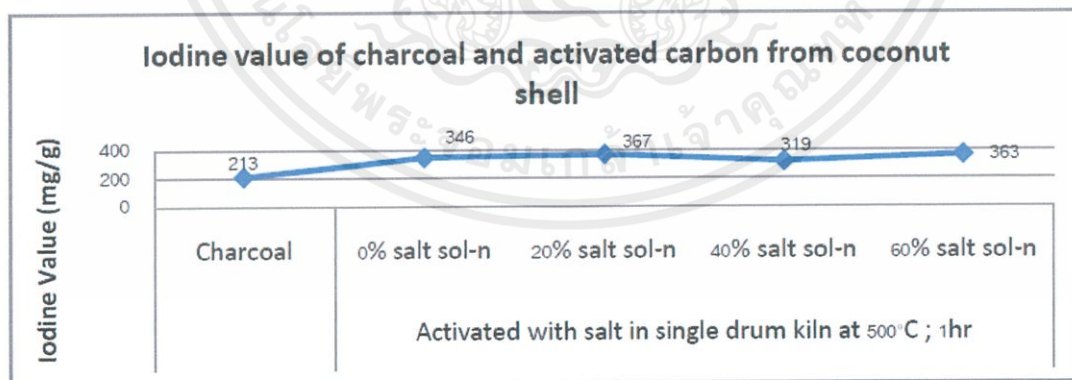


ภาพที่ 2.30 แสดงสบู่ชาโคลที่ทำจากถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การหาค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด

การหาค่าไอโอดีน หรือความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านและถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพดโดยนำตัวอย่างถ่านและถ่านกัมมันต์ ส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการ ทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลของค่าไอโอดีน ปรากฏผลดังภาพที่ 2.27 และ 2.28



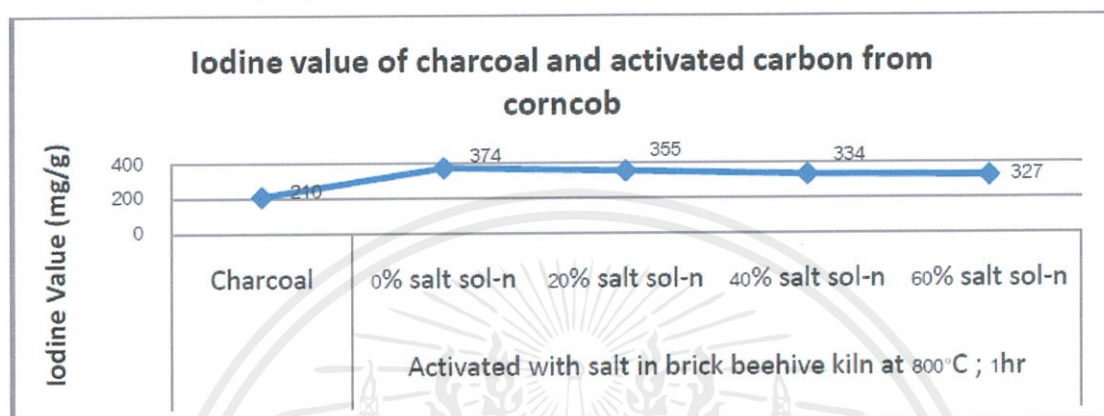
ภาพที่ 2.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าไอโอดีนของชาโคลและถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว

1.1 ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จากภาพที่ 2.27 พบว่า

1.1.1 ถ่านจากกะลามะพร้าวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำ มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 213 มิลลิกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 ถ่านจากกะลามะพร้าวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำแล้วกระตุ้นด้วยน้ำเกลือ ทั้ง 4 ระดับ พบว่า ได้ค่าไอโอดีนเฉลี่ยแตกต่างกันเท่ากับ 346, 367, 319 และ 363 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่ได้รับการกระตุ้นจากน้ำเกลือที่ความเข้มข้น ทั้ง 4 ระดับ จะทำให้ได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนมากกว่าที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ประมาณ 1.62, 1.72, 1.50 และ 1.70 เท่า ตามลำดับ และพบว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 เหมาะสมที่สุดในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เนื่องจาก มีค่าไอโอดีนสูงที่สุด



ภาพที่ 2.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าไอโอดีนของชาโคลและถ่านกัมมันต์ที่ทำจากซังข้าวโพด

1.2 ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด จากภาพที่ 2.28 พบว่า

1.2.1 ถ่านจากซังข้าวโพดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำ มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 210 มิลลิกรัมต่อกรัม

1.2.2 ถ่านจากซังข้าวโพดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำแล้วกระตุ้นด้วยน้ำเกลือ ทั้ง 4 ระดับ พบว่า ได้ค่าไอโอดีนเฉลี่ยแตกต่างกันเท่ากับ 374, 355, 334 และ 327 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ถ่านซังข้าวโพดที่ได้รับการกระตุ้นจากน้ำเกลือที่ความเข้มข้น ทั้ง 4 ระดับ จะทำให้ได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนมากกว่าที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ประมาณ 1.78, 1.69, 1.59 และ 1.56 เท่า ตามลำดับ และพบว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 หรือไม่ใส่น้ำเกลือเป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีค่าไอโอดีนสูงที่สุด

2. การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และซังข้าวโพด

2.1 การนำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากร้านอาหารในเขตจอมทอง กรุงเทพฯ และชุมชนในซอยอยู่เย็น ถนนรามอินทรา กม.5 เขตบางเขน กรุงเทพฯ

2.1.1 จากการศึกษา น้ำทิ้งจากร้านอาหารในเขตจอมทอง กรุงเทพฯ พบว่ามีลักษณะเบื้องต้น คือ เป็นน้ำที่มีสีเหลืองเข้มใส มีตะกอนแขวนลอยของซากพืชอยู่ปานกลาง มีสัตว์น้ำอาศัยอยู่บ้าง และมีกลิ่นเหม็นแรงมาก ดังภาพที่ 2.29

เมื่อเทน้ำทิ้งลงในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์อยู่จะเกิดฟองอากาศขึ้น เนื่องจากน้ำทิ้งเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ยิ่งถ่านกัมมันต์มีปริมาณมากฟองอากาศจะฟุดออกมามากขึ้น เพราะถ่านกัมมันต์ไปดูดซับสารในน้ำทิ้ง เช่น สี สารแขวนลอย และกลิ่น โดยฟองอากาศจะลดลง

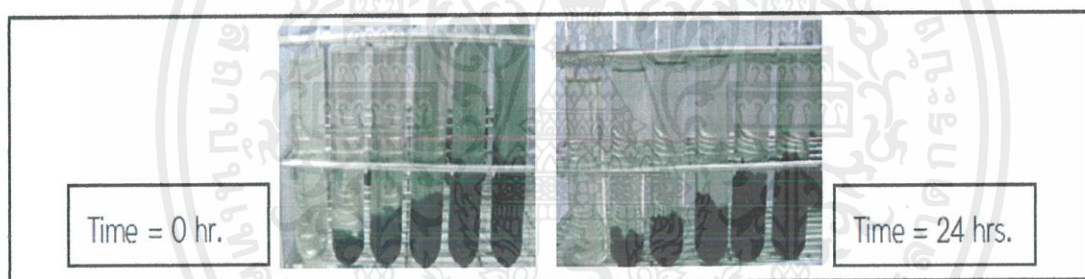
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อยๆ เมื่อถ่านกัมมันต์ดูดซับสารในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเต็ม โดยเฉลี่ยในเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงฟองอากาศก็จะมี

ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของ ถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้น ที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัม-มันต์จะมีสีเทาใส ซึ่งจะใสกว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์

ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะเหม็นแรงมาก และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีกลิ่นอยู่ในระดับปานกลาง แต่กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า จะมีกลิ่นอ่อนหรือจางมาก

ลักษณะของความขุ่น ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะมีสารแขวนลอยของสารอินทรีย์บ้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ก็เริ่มมีการตกตะกอน แต่ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีผงถ่านแขวนลอยอยู่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก็จะไม่พบผงถ่านแขวนลอย เนื่องจากผงถ่านจะตกตะกอนที่ก้นหลอดทดลองหรือในชั้นของถ่าน



ภาพที่ 2.33 แสดงการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ถูกนำไปใช้งานกับน้ำเสีย จากร้านอาหารในเขตจอมทอง กทม. เป็นเวลาหลายครั้ง

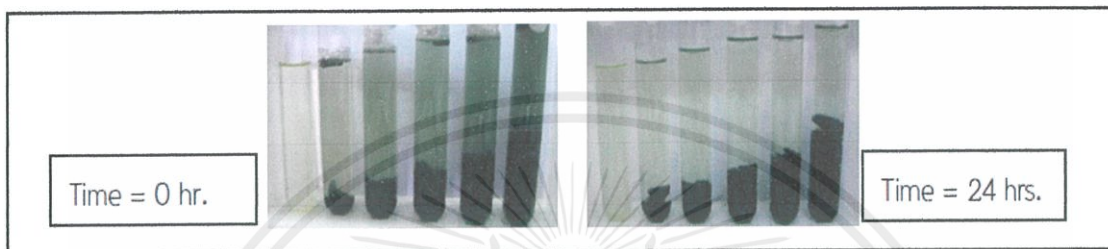
2.1.2 จากการศึกษา น้ำทิ้งจากชุมชนในซอยอยู่เย็น ถนนรามอินทรา กม.5 เขตบางเขน กรุงเทพฯ พบว่า มีลักษณะเบื้องต้น คือ เป็นน้ำที่มีสีเหลืองเข้มใส มีแขวนลอยของสารอินทรีย์ และมีกลิ่นเหม็นแรงมาก ดังภาพที่ 2.30

ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้นที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองอ่อนและใสกว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์

ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะเหม็นแรงมาก และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กลิ่นลดลงอยู่ในระดับแรง แต่กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า จะมีกลิ่นลดลงอยู่ที่ระดับที่รับได้ จนถึงกลิ่นอ่อนมาก โดยในหลอดทดลองที่มีปริมาณถ่านกัมมันต์มากขึ้น กลิ่นก็จะลดลงเรื่อยๆด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของความขุ่น ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะมีสารแขวนลอยของสารอินทรีย์บ้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ก็ไม่พบสารแขวนลอย สำหรับในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 1 กรัม จะมีสารแขวนลอยอยู่บ้าง แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ก็ไม่พบสารแขวนลอย ส่วนในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 2, 3, 4 และ 5 กรัม นั้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง พบว่ามีเพียงผงถ่านแขวนลอยอยู่ ซึ่งผงถ่านนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ ลงไป และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก็จะไม่พบแขวนลอยผงถ่านอยู่ เนื่องจากผงถ่านจะตกตะกอนที่ก้นหลอดทดลองหรือในชั้นของถ่าน



ภาพที่ 2.34 แสดงการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ถูกนำไปใช้งานกับน้ำเสียจากขอยอยู่เย็น ถนนรามอินทรา กม.5 กทม. เป็นเวลาหลายครั้ง

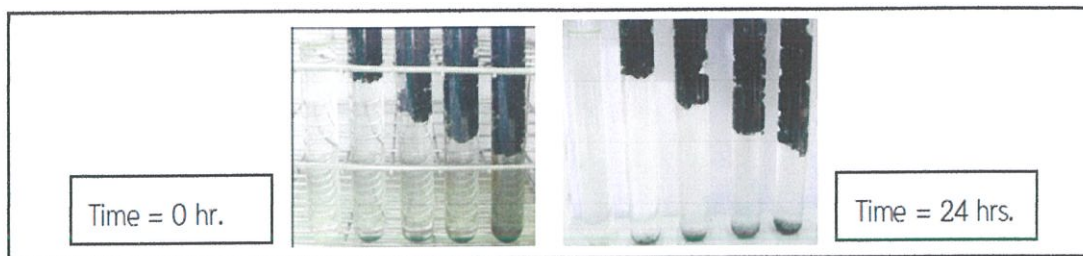
2.2 การนำถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากขอยถนนอมมิตร เขตบางเขน กรุงเทพฯ และนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จ.อยุธยา

2.2.1 จากการศึกษาน้ำทิ้งจากขอยถนนอมมิตร เขตบางเขน กรุงเทพฯ พบว่ามีลักษณะเบื้องต้น คือ เป็นน้ำที่มีสีเหลืองเข้มใส มีตะกอนแขวนลอยสีดำของสารอินทรีย์ และมีกลิ่นเหม็น ดังภาพที่ 2.31

ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้น ที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองอ่อนและใสกว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์

ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะเหม็นปานกลาง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีกลิ่นอ่อนหรือจางมาก แต่น้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ทุกหลอดเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า ไม่มีกลิ่นเลย

ลักษณะของความขุ่น ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะมีสารแขวนลอยของสารอินทรีย์บ้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ก็ไม่พบสารแขวนลอย สำหรับในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม จะมีผงถ่านแขวนลอยอยู่บ้างเล็กน้อย ตามปริมาณของถ่านที่ใส่ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง พบว่ามีเพียงผงถ่านแขวนลอยอยู่เหมือนเดิม ซึ่งผงถ่านนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ลงไป เนื่องจากผงถ่านกัมมันต์จาก ซังข้าวโพดมีน้ำหนักเบามากจึงแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ดี



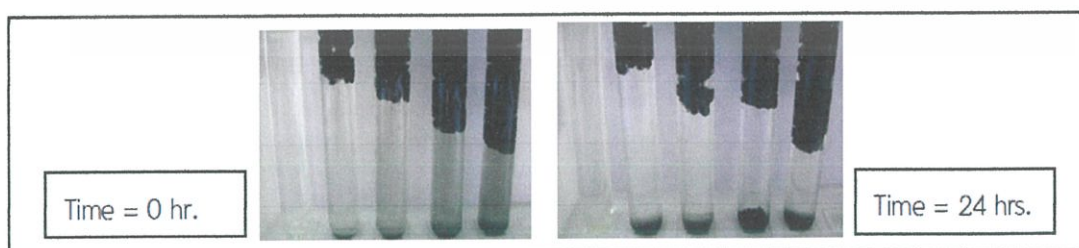
ภาพที่ 2.35 แสดงการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ถูกนำไปใช้งานกับน้ำเสียจากขอยถนอมมิตร เขตบางเขน กทม. เป็นเวลาหลายครั้ง

2.2.2 จากการศึกษา พบว่า น้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จ.อยุธยา มีลักษณะเบื้องต้นคือ เป็นน้ำที่มีสีเหลืองใส มีสารอินทรีย์แขวนลอยเล็กน้อย และมีกลิ่นเหม็นแรงมาก ดังภาพที่ 2.32

ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้นที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองอ่อนและใสกว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์

ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะเหม็นแรงมากและเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีกลิ่นอยู่ในระดับปานกลาง แต่กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.5, 1.0, และ 1.5 กรัมเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า มีกลิ่นอ่อนหรือจางมาก โดยในหลอดทดลองที่มีปริมาณถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม ไม่มีกลิ่นเลย

ลักษณะของความขุ่น ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะมีสารอินทรีย์แขวนลอยบ้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง พบว่าไม่มีสารแขวนลอยอยู่ สำหรับในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม จะมีผงถ่านแขวนลอยเล็กน้อยตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง พบว่ายังมีผงถ่านแขวนลอยอยู่ ซึ่งผงถ่านนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ลงไป และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก็ยังมีผงถ่านแขวนลอยอยู่เหมือนเดิม



ภาพที่ 2.36 แสดงการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ถูกนำไปใช้งานกับน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จ.อยุธยา เป็นเวลาหลายครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผล

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด

จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด สามารถทำได้โดยการนำกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดมาเผาที่อุณหภูมิต่ำจนเป็นถ่าน จากนั้นทำการเลือกขนาดที่เหมาะสมถ่านกะลามะพร้าวจำนวน 300 กรัม และถ่านซังข้าวโพดจำนวน 200 กรัม แล้วนำไปกระตุ้นด้วยน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยใช้น้ำหนักต่อปริมาตรประมาณ 1,500 มิลลิลิตร และนำไปเผาในเตาถ่านน้ำมัน 200 ลิตร แบบนอนและเตาอิฐก่อขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 500 – 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้น้ำเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีนเฉลี่ยสูงสุด คือ 367 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านซังข้าวโพดที่ผ่านการกระตุ้นโดยไม่มีน้ำเกลือ (0%) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 374 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ตามขั้นตอนในข้อ 1 และเมื่อนำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดที่ได้ไปทดสอบกับน้ำทิ้ง 4 แหล่ง คือ น้ำทิ้งจากร้านอาหารในเขตจอมทอง น้ำทิ้งจากชุมชนในซอยอยู่เย็น ถนนรามอินทรา กม.5 เขตบางเขน กรุงเทพฯ น้ำทิ้งจากซอยถนนมิตร เขตบางเขน กรุงเทพฯ และน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดสามารถดูดซับกลิ่น และสีของน้ำทิ้งได้ทั้ง 4 แหล่ง ทำให้น้ำทิ้งใสขึ้นและมีกลิ่นลดลง จนถึงไม่มีกลิ่น

จากการทดสอบเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากกะลามะพร้าว คือ ร้อยละ 20 โดยกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพด ร้อยละ 0 คือ ไม่ใส่น้ำเกลือแต่นำถ่านไปกระตุ้นต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 367 และ 374 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และปริมาณ ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม คือ ถ่านกัมมันต์ จากกะลามะพร้าว 1-5 กรัม และถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด 0.5-2.0 กรัม ต่อน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสขึ้น และมีกลิ่นลดลง หรือไม่มีกลิ่น

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งในการตรึงเอนไซม์ไลเปส

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbons; AC) ที่เตรียมขึ้นจากมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็ง ซึ่งใช้มะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็ง เป็นสารคาร์บอนตั้งต้นและใช้เพื่อเป็นตัวรองรับในการตรึงเอนไซม์ไลเปส ซึ่งคาร์บอนนั้นถูกเตรียมโดยวิธีกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยใช้กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์นั้นเป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น และอุณหภูมิในการเผานั้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของคาร์บอนแล้วทำการวินิจฉัย/ตรวจสอบ แม้ว่าคาร์บอนนั้นจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้น แต่ในทางกลับกันนั้นจำนวนของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวนั้นลดลง ในการกระตุ้นร่วมกับกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอริกนั้นผลที่ได้จะมีผลผลิตที่สูงขึ้น, มีพื้นที่ผิวที่สูง และมีปริมาตรของรูพรุนที่สูงเช่นกัน โดยเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการตรึงไลเปสไปยังถ่านกัมมันต์ได้ทำให้สมบูรณ์ เวลา, ค่าพีเอช, ความเข้มข้นของเอนไซม์เริ่มต้น และอุณหภูมิ ในการตรึงเอนไซม์นั้นคาร์บอนทั้งสองต่างก็มีประสิทธิภาพที่ดีและยังเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถเป็นตัวรองรับสำหรับการตรึงไลเปส

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon; AC) คือ เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากพื้นที่ผิวถูกทำปฏิกิริยาด้วยออกซิเจน ส่งผลให้เกิดรูพรุน (Porosity) ขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิว (Surface Area) สูงมาก ซึ่งลักษณะเด่นนี้ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดี และถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ เช่น การเตรียมน้ำดื่มบริสุทธิ์ อุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ การบำบัดน้ำเสีย ใช้ในการฟอกสีของเหลวต่างๆ การทดลองวิจัยในการแยกและเตรียมสารเคมี ทางทางการแพทย์นำไปใช้ในการกำจัดพิษ การฟอกเลือด และอื่นๆ ใช้กรองกลิ่นและก๊าซที่ไม่ต้องการ รูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ระดับไมโครเมตร จนถึงระดับนาโนเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตและวัสดุประสงคในการใช้งานวัสดุที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนที่มีผลผลิตที่สูง และมีสารประกอบอินทรีย์ระดับต่ำ ก็คือพวกวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น เช่น ชี้อเลื้อย แกลบ กะลามะพร้าว และชานอ้อย ถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยธรรมชาติของวัสดุที่เป็นตัวที่กำหนดคุณสมบัติทางเคมี และขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยปกติแล้วกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ก็คือ

1. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแอคทิเวตวัตถุดิบประเภทกะลามะพร้าว และถ่านหิน ในสภาวะที่เต็มไปด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-1100 องศาเซลเซียส

2. การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแอคทิเวตวัตถุดิบประเภทไม้และถ่านฟีด วัตถุดิบจากพวกนี้จะถูกทำให้อ้อมตัวด้วยสาร Dehydrating Agent ชนิดเข้มข้นจากพวกกรดฟอสฟอริกหรือซิงค์ คลอไรด์ แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยข้อดีของวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation) เมื่อเทียบกับวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) ก็คือใช้อุณหภูมิในการเผาที่ต่ำกว่า, ใช้เวลาในการผลิตที่ต่ำกว่า, ได้ผลผลิตที่สูง แล้วยังมีพื้นที่ผิวที่สูงอีกด้วย และมีการรวมกันของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวไลเปส (Lipases; triacylglycerol acylhydrolases, EC3.1.1.3) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ได้เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) พบในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์และสัตว์ ผลิตได้จากแบคทีเรีย (bacteria) รา (mold) หรือเป็นเอนไซม์ที่คะตะเลสส์ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสเอสเทอร์ของไขมัน ให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน ในปัจจุบันได้มีการนำเอนไซม์ไลเปสมาประยุกต์ใช้ในทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร, อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโอสตีโอเคมี (เป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตสารเคมีอุตสาหกรรมที่ผลิตมาจากไขมันและน้ำมันจากพืช ซึ่งมีประกอบคล้ายคลึงกับสารเคมีอุตสาหกรรมที่ผลิตมาจากปิโตรเคมี), อุตสาหกรรมยา รวมทั้งใช้ในการผลิตผงซักฟอก, ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และใช้ในสังเคราะห์เป็นสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดแรงดึงผิวทางชีวภาพ เป็นต้น โดยการตรึงเอนไซม์ไลเปสนั้น การตรึงเอนไซม์นับว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณสมบัติของเอนไซม์ในด้านต่างๆ เช่น เสถียรภาพ ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยา และความจำเพาะต่อสารตั้งต้น การที่เอนไซม์ถูกตรึงไว้นั้นมีผลดี คือ เอนไซม์ที่ถูกตรึงไว้จะเปลี่ยนสารตั้งต้นได้ตามตำแหน่งและเวลาที่ต้องการ นอกจากนี้การตรึงยังช่วยให้สามารถแยกเอนไซม์ออกมาได้ง่าย จึงช่วยลดความซับซ้อนในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์และการควบคุมปฏิกิริยา ทำให้ช่วยลดขั้นตอนในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถนำเอนไซม์กลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ ทำให้กระบวนการดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง สิ่งเหล่านี้ช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลงซึ่งส่งผลดีในเชิงเศรษฐกิจ แม้ว่าเทคนิคเฉพาะที่ใช้ในการตรึงเอนไซม์นั้นอาจมีมากกว่า 100 แบบ แต่โดยรวมแล้วเทคนิคเหล่านี้สามารถแบ่งออกตามกลไกที่ใช้ทั่วๆ ไปได้เป็น 4 วิธี ได้แก่ วิธีดูดซับทางกายภาพ, วิธีเชื่อมขวาง, วิธีห่อหุ้ม และวิธีห่อหุ้มในแคปซูลเล็ก แต่ละเทคนิคเหล่านี้มีความซับซ้อนแตกต่างกัน และประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ก็แตกต่างกันด้วย การที่จะเลือกใช้เทคนิคใดขึ้นอยู่กับความจำเพาะของปฏิกิริยา รวมไปถึงข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายและคุณสมบัติของเอนไซม์ที่ได้ ภายหลังจากกระบวนการตรึง โดยเลือกใช้วิธีดูดซับมาใช้เพราะเนื่องจากว่ามีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ และมีความเป็นอันตรายน้อยกว่าวิธีอื่นๆ โดยเขาได้ผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อเป็นตัวแทนตัวดูดซับเพื่อใช้ในการตรึงเอนไซม์ไลเปส โดยใช้มะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งมาทำเป็นวัสดุตั้งต้นเพื่อใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ซึ่งมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งเป็นผลไม้ที่พบได้มากทางตอนเหนือ และทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล เนื่องจากมีปริมาณมากจึงกลายเป็นเศษขยะชีวมวลเขาจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเอาตัวมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งเป็นวัตถุดิบทางเลือกเพื่อใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนการทดลอง

การเตรียมวัสดุตั้งต้นก่อนอื่นนำตัวมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งมาทำการล้าง แล้วนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำไปทำการบดให้ละเอียดด้วย และไปทำการกรอง ด้วยตะแกรงขนาด 420 ไมโครเมตร หลังจากนั้นก็จะได้ตัวเศษซากของมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งออกมา จากนั้นนำไปเผาก็จะได้เป็นคาร์บอนออกมา ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญของมันก็คือ lignin, hemicelluloses และ cellulose ซึ่งทั้ง 3 ตัวนี้ ถือเป็นองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Material) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืช ซึ่งเกิดขึ้นจากหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวหรือโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสซึ่ง lignocelluloses นั้นมีผลโดยตรงต่อความเป็นรูพรุนของคาร์บอน

การเตรียมถ่านกัมมันต์

- การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) โดยใช้กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid- H_3PO_4) นำเศษซากของของมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งไปแช่ในกรดฟอสฟอริก โดยสัดส่วนน้ำหนักระหว่างสารตั้งต้นต่อสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ที่ 1:1.5 จากนั้นนำไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำการเผาภายใต้การ flow ของ N_2 โดย Heat rate ที่ให้คือ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 450 และ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นก็จะได้ถ่านกัมมันต์ออกมา จากนั้นนำไปล้างโดยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนกว่าจะมี pH เท่ากับ 7 จากนั้นก็นำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองตัวตะแวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาด 420 ไมโครเมตร สุดท้ายก็จะได้อ่านกัมมันต์ออกมา (คือ CA450 และ CA500 โดย 450 และ 500 คืออุณหภูมิในการเผา)

- การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide – KOH) นำเศษซากของของมะกอกสีเหลืองเมล็ดแห้งไปแช่ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยสัดส่วนน้ำหนักระหว่างสารตั้งต้นต่อสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ที่ 1:1.5 จากนั้นนำไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำการเผาภายใต้การ flow ของ N_2 โดย Heat rate ที่ให้คือ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 450 และ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นก็จะได้อ่านกัมมันต์ออกมา จากนั้นนำไปแช่ HCl ใน reflux ก็จะเกิดการก่อตัวของ KCl จึงสามารถทำให้กำจัดออกไปได้ง่าย ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง แล้วนำล้างโดยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนกว่าจะมี pH เท่ากับ 7 จากนั้นก็นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองตัวตะแวงขนาด 420 ไมโครเมตร สุดท้ายก็จะได้อ่านกัมมันต์ออกมา (คือ CB450 และ CB500 โดย 450 และ 500 คืออุณหภูมิในการเผา)

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น โดยจะใช้เครื่องมือในการตรวจสอบ ดังนี้

- Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) โดย infrared region of 4000 5000 cm^{-1} ซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

- Scanning electron microscopy (SEM; Zeiss, Modelo DSM940): จะใช้ในการตรวจสอบ morphology ของถ่านกัมมันต์ โดยในการตรวจสอบจะมีการเคลือบทองเพื่อให้นำไฟฟ้าก่อนนำไปวัด

- Brunauer-Emmett-Teller method (BET): จะใช้ในการตรวจสอบ specific surface area, ปริมาตรของรูพรุน และเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุน

ทดสอบการตรึงเอนไซม์ไลเปสลงบนถ่านกัมมันต์: เป็นการตรึงเอนไซม์ไลเปสบนตัวถ่านกัมมันต์โดยจะใช้เอนไซม์ไลเปสของตับอ่อนของหมูมาใช้ในการตรวจสอบหรือทดสอบ ก่อนอื่นก็จะทำการกำหนดพวกเวลา, ค่าพีเอช, อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเอนไซม์เริ่มต้น จากนั้นนำสารละลายไลเปสเติมไปในทิวบ์ปริมาตร 0.1 กรัม จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง แล้วเอาไปไว้ในแชมเบอร์เพื่อที่จะทำการควบคุมอุณหภูมิซึ่งทำการควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นพอถึงเวลาที่กำหนด ก็นำเอาทิวบ์ออกมา แล้วนำไปทำการปั่นเหวี่ยงต่อไป และทำการคำนวณโปรตีนหลังจากการตรึงเอนไซม์: เป็นการคำนวณปริมาณโปรตีนหลังจากการตรึง ซึ่งหลังจากทำการปั่นเหวี่ยงแล้วทำการกรอง supernatant (ก็คือ ของเหลวที่ลอยอยู่ด้านบน) โดยใช้ไซริงก์ฟิวเตอร์จากนั้นก็นำมาทำการกำหนดความเข้มข้นของโปรตีน โดยใช้ Bradford method โดยวัดค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร แล้วไปเทียบกับ BSA calibration curve (ก็คือเอาไปเทียบกับค่าโปรตีนมาตรฐาน) และคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์: เป็นการคำนวณ Hydrolytic activity โดยวิธี titration โดย Hydrolytic activity ทั้งของสารละลายน้ำ (soluble) กับการตรึงเอนไซม์ถูกวัดด้วยวิธี Olive oil emulsion ซึ่งกล่าวได้ว่า 1 หน่วยของกิจกรรมสามารถปลดปล่อยกรดไขมันออกมาได้ 1 ไมโครโมลต่อนาทีในปฏิกิริยา

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

ตารางแสดงผลผลิต และเถ้าถ่านของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นในการทดลอง

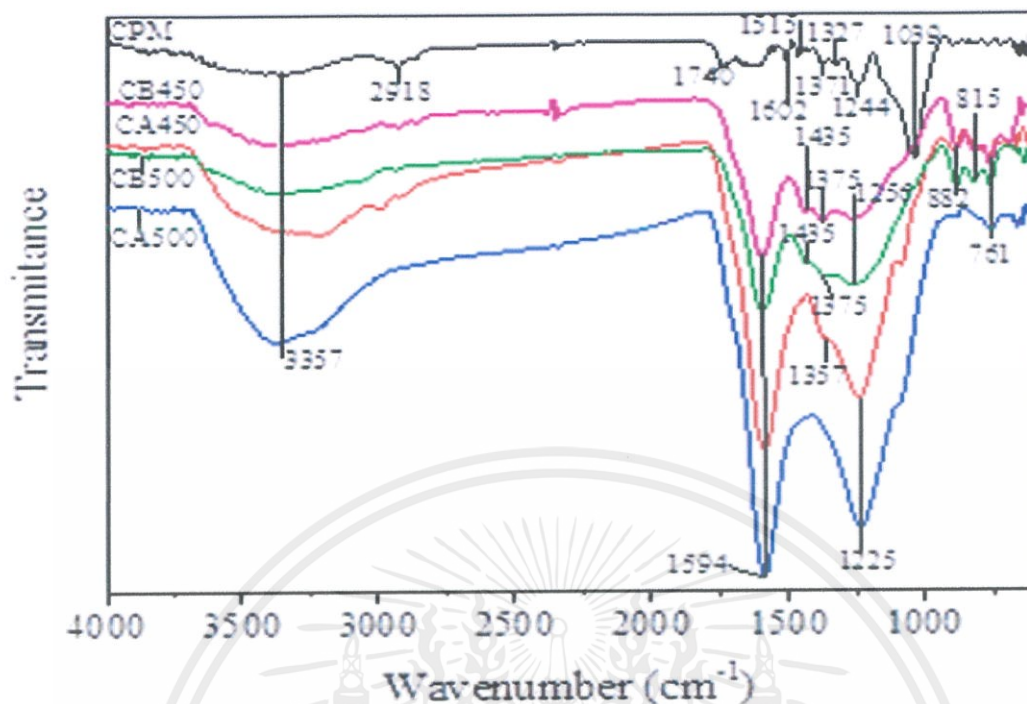
Table 1

Coding of samples, yield and ash content of the activated carbon.

Sample	Activating agent	Carbonization temperature (°C)	Yield (%)	Ash(%)
CA450	H ₃ PO ₄	450 °C	24.0	6.39
CA500	H ₃ PO ₄	500 °C	23.7	7.14
CB450	KOH	450 °C	13.6	3.20
CB500	KOH	500 °C	12.5	1.79

จากตาราง จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ H₃PO₄ เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นจะได้ผลผลิตและเถ้าถ่านที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ KOH เป็นตัว activating agent อาจจะเป็นเพราะว่ากลไกที่แตกต่างกันของการทำปฏิกิริยาของสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการแช่ โดยตัวแทนของกรด ก็คือ H₃PO₄ ถูกรบกวนในขั้นตอนแรกของการเผาซึ่งเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิต่ำๆ ในขณะที่ตัวแทนของด่าง ก็คือ KOH เริ่มเกิดปฏิกิริยาหลังเคมีหลังจากตัวสารตั้งต้นบางส่วนถูกเผาที่อุณหภูมิสูงๆ ไปบ้างแล้ว โดยถ่านกัมมันต์ที่ใช้ H₃PO₄ เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นได้ถูกปรับปรุงหรือทำให้ดีขึ้นโดยมีการก่อตัวของ phosphate ester bond ระหว่างสายโซ่ Hemicelluloses biopolymer แล้วมีการก่อตัวเป็นชั้นๆ เพื่อป้องกันพื้นผิวภายในของโครงสร้างรูพรุน เนื่องจากมีปรากฏของฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตเอสเทอร์ ซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของ rigid matrix ที่ปกป้องสารตั้งต้นไม่ให้ถูกเผาไหม้และช่วยลดการสูญหายของคาร์บอนที่จะระเหยไประหว่างให้ความร้อน ดังนั้นจึงส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ H₃PO₄ เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นมีผลผลิตที่สูง แต่ในทางกลับกันถ่านกัมมันต์ที่ใช้ KOH เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นนำไปสู่การระเหยที่สำคัญในการก่อตัวของสารประกอบอินทรีย์เนื่องจากการสลายตัวทางความร้อนของสารตั้งต้น ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงส่งผลให้ได้ผลผลิตที่ต่ำ ส่วนเถ้าถ่านที่ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ H₃PO₄ เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นมีเถ้าถ่านที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ KOH เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นอาจจะเพราะว่าฟอสเฟตที่ได้มาจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง H₃PO₄ กับวัสดุตั้งต้น ระหว่างทำการเผาและอาจจะเพราะว่าตอนล้างทำความสะอาดนั้นล้างไม่สะอาด ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ใช้ KOH เป็นสารที่ใช้ในการกระตุ้นที่มี เถ้าถ่านต่ำ อาจจะเพราะว่ามีการอุดตันของรูพรุน และผลการดูดซับน้ำเนื่องจากว่ามีสมบัติความชอบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.37 แสดงเลขคลื่นของวัสดุตั้งต้นและถ่านกัมมันต์

จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีพีคที่สำคัญ ดังนี้

วัสดุตั้งต้น (CPM):

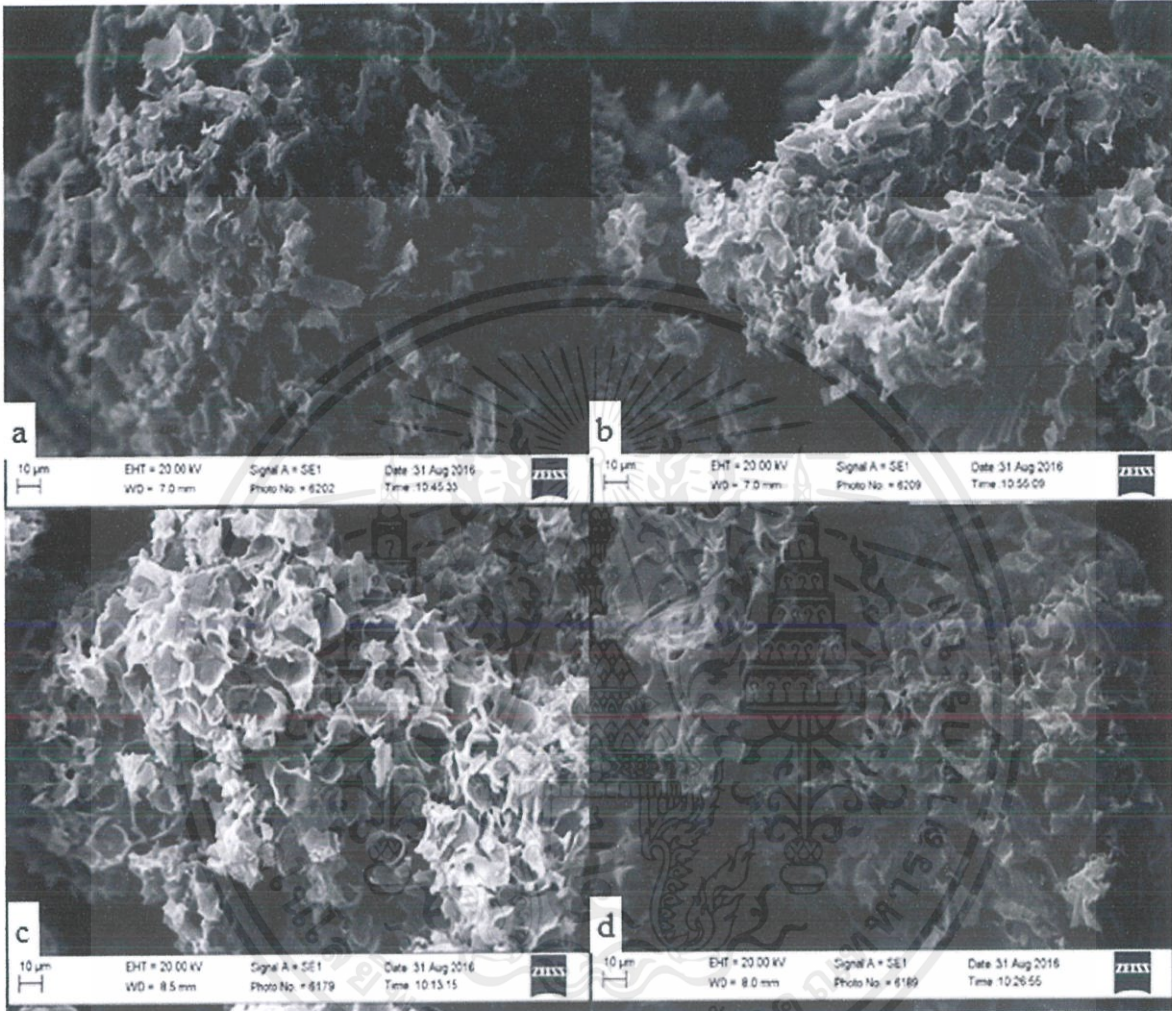
- 3375 cm^{-1} : stretching of hydroxyl in H-bond (cellulose)
- 2918 cm^{-1} : CH-bond (cellulose, lignin & hemicelluloses)
- 1602 cm^{-1} : aromatic compound
- 1039 cm^{-1} : stretching of glycoside bond (cellulose, hemicelluloses)
- 1371 cm^{-1} : OH or stretching (C-H)

ถ่านกัมมันต์ (CA & CB)

- 1375 cm^{-1} : -C-H₃- and -CH₂=
- 1594 cm^{-1} : C=C (only carbon)
- 1225 cm^{-1} : P=O (Phosphate ester bond)
- 882, 815 and 761 cm^{-1} : C-H stretching of aromatic compound

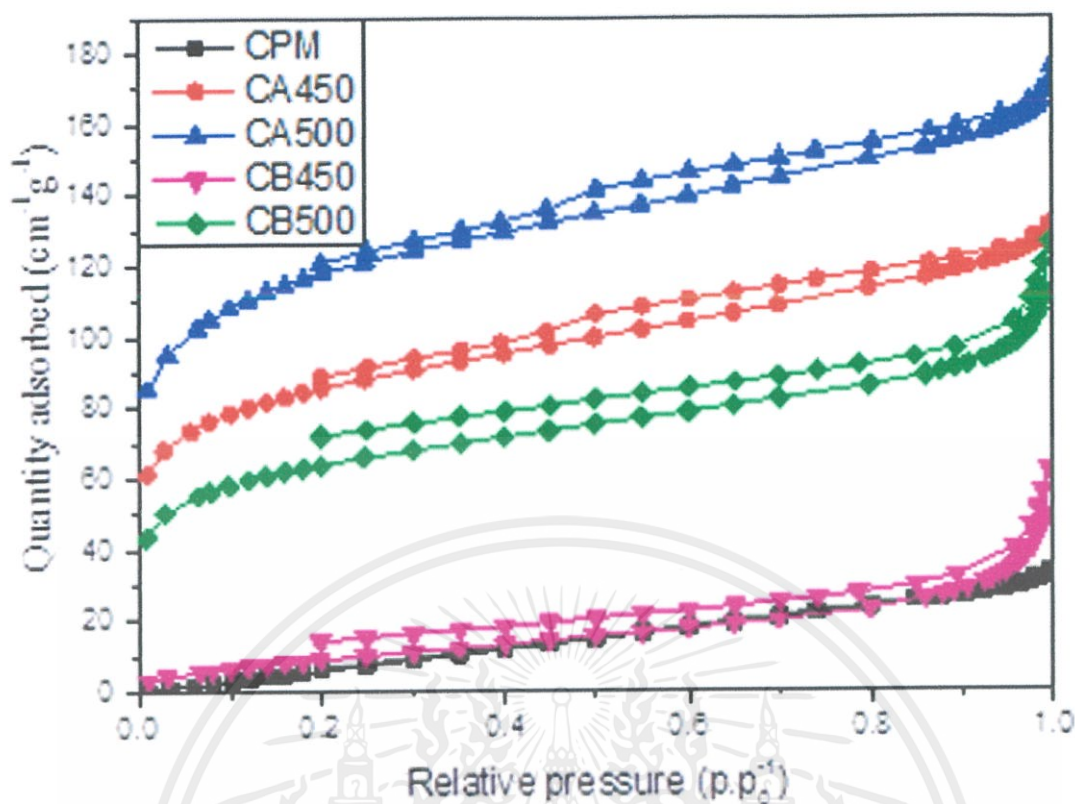
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะเห็นได้ว่าตัว precursor material นั้นมีจำนวนหมู่ฟังก์ชันที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ โดยอาจจะมีส่วนมาจากตัวสารกระตุ้นที่ใช้ในการเผาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าพอมีการ กระตุ้นที่ wave number ที่ 1371 cm^{-1} เปลี่ยนเป็น 1375 cm^{-1} อาจจะเพราะว่ามีการสั่นของวงแหวนอะโรมาติกจึงเป็นผลให้มีการเสียรูปเชิงมุม แล้วมีการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน



ภาพที่ 2.38 แสดงภาพ SEM ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากมะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็ง โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีคือ H_3PO_4 (a) CA450 และ (b) CB500 และ KOH (c) CB450 and (d) CB500

จากภาพ SEM ของถ่านกัมมันต์ (AC) แสดงในรูปที่ 2.38 ซึ่งคาร์บอนทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวมีความขรุขระ และไม่เป็นระเบียบ a) และ b) ซึ่งถูกนำไปแช่ activated แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของรูพรุน (pore structure) เป็นแบบมีโครงสร้างที่รวมกันระหว่างรูพรุนแบบไมโครพอร์ และเมโสพอร์ ส่วน c) และ d) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างพื้นผิวแบบเรียบเนียน ซึ่งสังเกตได้จากมีรูพรุนที่มีขนาดเท่าๆ กัน โคนรูที่เปิดนั้นมีการขยายไปถึงด้านในของคาร์บอน โดยมีการก่อตัวของช่องว่างระหว่างรูพรุน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากคาร์บอนทั้งหมด ก่อให้เกิดการเข้าถึงที่เพิ่มมากขึ้นของโมเลกุลของตัวดูดซับไปยังสร้างรูพรุน และเพิ่มความสามารถในการดูดซับอีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.39 แสดงไอโซเทอมการดูดซับของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุสารตั้งต้น และถ่านกัมมันต์

ภาพจากเทคนิค BET: แสดงให้เห็นถึงไอโซเทอมการดูดซับของแก๊สไนโตรเจน ที่ 77 K ของถ่านกัมมันต์ (ตาม IUPAC Classification) โดยสามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นรูปแบบที่ 4 เป็นปรากฏการณ์แสดงลักษณะของวัสดุแบบ-เมโสพอร์ส โดยมีการก่อตัวแบบขั้นเดียวก่อนและตามด้วยขั้นที่สองจนกว่าไอโซเทอมจะถึงจุดอิ่มตัว โดยสโลปที่หนึ่งนั้นเป็นขั้นเดียวส่วนสโลปที่สองแสดงการดูดซับแบบสองขั้น เนื่องจากที่ไอโซเทอมนั้นมีฮิสเทอรีซิสลูปที่กว้าง อาจจะเพราะว่าตัวดูดซับมีการรวมกันระหว่างโครงสร้างแบบไมโครพอร์สและเมโสพอร์สซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างส่วนใหญ่ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นแบบเมโสพอร์สซึ่งเป็นผลมาจากสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นและอุณหภูมิในการเผา

สรุปผลการทดลอง

มะกอกสีเหลืองเมล็ดแข็งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งมันกลายมาเป็นแหล่งคาร์บอนทดแทนแหล่งใหม่ และมีค่าใช้จ่ายน้อยในการสังเคราะห์เป็นตัวดูดซับ โดยคาร์บอนที่ได้นำมาทำการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยใช้สารเคมีใช้ในการกระตุ้นคือ H_3PO_4 และ KOH ซึ่งจากการทดลองจะพบได้ว่า สารเคมีใช้ในการกระตุ้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา นั้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวถ่านกัมมันต์ โดยเขาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ H_3PO_4 เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นได้ผลผลิตที่สูง และปริมาตรของรูพรุนที่สูง ซึ่งในการศึกษาการตรึงเอนไซม์ไลเปส ได้มีการกำหนดพวเวลลา, ค่าพีเอช, อุณหภูมิและความเข้มข้นของเอนไซม์เริ่มต้น ซึ่งในการทดสอบการตรึงเอนไซม์ได้แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ชนิด (คือ CA500 และ CB500) นั้นมีการทำงานที่ดีทั้งคู่ ซึ่งสามารถคาดหวังได้ว่าวิธีการนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ใช้ในการตรึงเอนไซม์ไลเปสได้

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากน้ำมันหนักเถ้าลอย

การใช้เถ้าลอยน้ำมันหนักที่มีปริมาณเถ้าสูง (45 wt.%) ในการเป็นสารตั้งต้นสำหรับในการเตรียมถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งได้รับจากการชะล้างโดยกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดไฮโดรฟลูออริก (HCl/HF) และได้รับการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และทำการผ่านกระบวนการกระตุ้นแอคติเวชันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่อุณหภูมิในช่วง 800-900 องศาเซลเซียสสำหรับเวลาที่แตกต่างกัน ทำการตรวจสอบลักษณะและพิจารณาพื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาณของรูพรุน (Pore volume) การเจริญเติบโตของลักษณะของรูพรุนเกี่ยวข้องกลับอุณหภูมิในการเผาไหม้

ปริมาณการบริโภคของน้ำมันหนักในประเทศอิตาลี ในปัจจุบัน คือ 14 ล้านตันต่อปี และผลที่เกิดขึ้นของเถ้าลอยน้ำมันหนักแต่ละปี เกิดขึ้นประมาณ 27,600 ตันของ 16% ของการระเบิดรวมกันกับถ่านหิน ส่วนที่เหลือถูกจัดการอยู่ในกองขยะ ซึ่งน้ำมันที่ตกค้างจากกระบวนการเผาไหม้ จะประกอบด้วย unburned carbon (40-60 wt.%) และ inorganic oxide, combined oxides, และซัลเฟตขององค์ประกอบต่างๆ เช่น แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), ซิลิกอน (Si), อลูมิเนียม (Al), เหล็ก (Fe), วานาเดียม (V) และนิกเกิล (Ni) และในซัลเฟตบางชนิดที่ละลายน้ำได้ง่าย มีผลต่อการปล่อยไอออนของโลหะหนัก เช่น วานาเดียม และนิกเกิล ฯลฯ ดังนั้น หากเถ้าลอย (fly ash) ไม่ถูกกำจัดอย่างเหมาะสม จะส่งผลให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ที่เป็นลักษณะคล้ายฝุ่น, ปล่อยของเหลวที่เป็นกรดและโลหะหนัก สำหรับในเรื่องนี้เถ้าลอยน้ำมันหนัก (heavy oil fly ash) จัดเป็นของเสียอันตราย โดยกฎหมายบังคับของประเทศอิตาลี ในงานวิจัยนี้จึงเปลี่ยนแปลงเถ้าลอยน้ำมันหนักไปเป็นถ่านกัมมันต์โดยในเบื้องต้นจะทำการลดแร่ธาตุของเถ้าลอยดิบ (Raw fly ash) และหลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) และผ่านกระบวนการกระตุ้นแอคติเวชันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม มีหลายวิธีได้แก่วิธีทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง แต่มีข้อจำกัดคือการนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น ก็จะต้องควบคุมระดับความดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ การสร้างตะกอนและการรวมตะกอนโดยใช้สารส้ม ปูนขาว และสารประกอบเหล็ก ก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการนำไปกำจัดกระบวนการเฟนตัน ก็ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา การใช้โอโซน ก็ต้องควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรดต่าง และความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางชนิดทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็ง ในการใช้เทคโนโลยีทางกายภาพและเคมีมีข้อจำกัด เนื่องจากมีการใช้สารเคมีในการกำจัดนอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณมาก และเป็น การเพิ่มสารเคมีในสิ่งแวดล้อมด้วย การใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ ได้แก่ การดูดซับสีย้อมด้วยสาหร่าย การย่อยสลายสีโดยใช้เชื้อราบางชนิด มีข้อจำกัดในเรื่องความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา การขนส่ง รวมถึงการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการย่อยสลาย การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ ในทางปฏิบัติควรมีการนำน้ำเสียมาทดสอบก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ ย้อมผ้า-พิมพ์ผ้าสกัดน้ำมันปาล์ม ฯลฯ มักมีปัญหาสีของน้ำ (Radha K.V., 2009; Mahesh S. *et al*, 2006; Süreyya Meriç *et al*, 2005) ถึงแม้สีบางชนิดจะไม่ใช่พิษ แต่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสีย

โดยทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพไม่น่าดู และกั้นขวางแสงปริมาณแสงส่องผ่านสู่แหล่งน้ำลดลงลดการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ การผลิตออกซิเจนลดลง แหล่งน้ำมีออกซิเจนไม่เพียงพอและไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (กัณธรีย์ ศรีพงศ์พันธ์, 2547; Chulhwan *et al*, 2007; Shaobin, 2008) นอกจากนี้สีที่เป็นสารอินทรีย์ละลายหรือคอลลอยด์ สามารถย่อยสลายได้ส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีเทคโนโลยีการกำจัดสีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการเลือกใช้ให้เหมาะสมสำหรับน้ำเสียของแต่ละอุตสาหกรรม

ประเภทของสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม (Types of color in industrial wastewater)

สีในแหล่งน้ำแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(1) สีแท้หรือสีจริง (True color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารต่างๆ ในน้ำ และละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ โดยสารที่มีผลต่อการเกิดสีแท้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิก และฟัลวิค (Humic acid and fulvic acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต และผลผลิตจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความคงตัวสูงมากจนไม่สามารถย่อยสลายและแยกออกโดยการกรองได้ การกำจัดสีแท้จึงทำได้ยาก (George *et al*, 2003; กัณธรีย์ ศรีพงศ์พันธ์, 2547; สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

(2) สีปรากฏ (Apparent color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่สะท้อนแสงปรากฏให้เห็นแก่สายตา เช่น แผลงก์ตอนพืช และแผลงก์ตอนสัตว์ เกล็ดของซากพืชซากสัตว์ ตะกอนของดินและทราย สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การกรอง หรือการตกตะกอน (George *et al*, 2003 ; กัณธรีย์ ศรีพงศ์พันธ์, 2547) สำหรับสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีทั้งสีแท้และสีปรากฏ โดยสีแท้มักเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม และอบไม้ยางพารา ส่วนสีปรากฏเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำจาก 2 กรณี คือ สีของน้ำเสียเองเนื่องจากการปนเปื้อนมาแต่แรกในน้ำเสีย เช่น สีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า ฟอกย้อม เยื่อกระดาษ ซึ่งสีที่เกิดขึ้นเป็นสีปรากฏจากสารเคมี ในกระบวนการผลิต รวมทั้งลิกนินและแทนนิน (มงคล ดำรงค์ศรี และต่อพงศ์ กริธาชาติ, 2546; วราภรณ์ อภิวฒนาภิวฒ และคณะ, 2550) โดยอาจแบ่งประเภทตามการแตกตัวให้ประจุ เส้นใยที่ไยย้อม หมูช่วยละลาย รวมทั้งโครงสร้างทางเคมีของสี นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียหลังจากการเก็บกัก หรือหลังจากผ่านการบำบัด เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง (Oxidation pond) ที่อาศัยสาหร่ายให้ออกซิเจน แต่สาหร่ายทำให้น้ำมีสีเขียว เป็นต้น (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

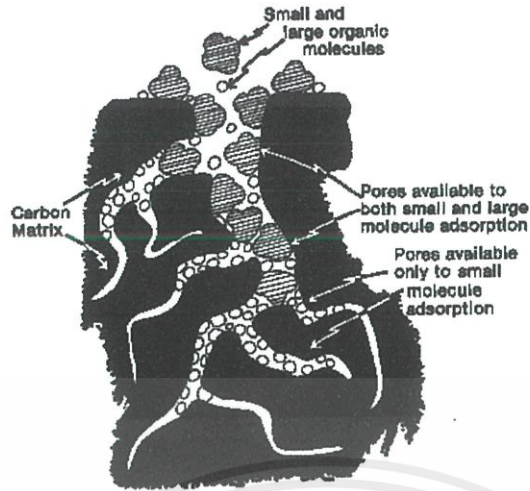
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการกำจัดสี (Color Removal Technology)

1. เทคโนโลยีทางกายภาพ (Physical technology)

1.1 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูง และมีคุณสมบัติในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในของเหลว หรือก๊าซเอาไว้ได้ ในปริมาณสูง เนื่องจากมีรูขนาดเล็ก (Microporosity) (Duygu & Van, 2010) ทำให้สามารถกำจัดสี แท้และสีปรากฏได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำวัสดุดิบพวกสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านหิน พีโตรเลียม กะลามะพร้าว เปลือกถั่วเมล็ดแข็ง กากชานอ้อย ชีล้อย กระดุกสัตว์ เป็นต้น นำมาเผาด้วยความร้อนในเตาอบอากาศ และเผาแรงที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดความพรุน (Porosity) แล้วอัดด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิประมาณ 200-1,600 องศาเซลเซียส (Roop & Meenakshi, 2005) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากที่สุด ความพรุนมีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสต่อมวล (Surface area per mass ratio) ระหว่าง 500-1,600 ตารางเมตรต่อกรัม (ไพศาล วิริกิจ, 2549) จากนั้นนำไปบดเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-2 มิลลิเมตร เรียกว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powered activated carbon) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-50 ไมครอน ในการกำจัดสีนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด โดยบรรจุในถังรูปทรงกระบอก (Fixed bed system) แล้วปล่อยให้ไหลผ่านชั้นถ่านด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสม คือ ระหว่าง 5-25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงต่อหนึ่งตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดถัง และมีระยะเวลาสัมผัส (Contact time) ประมาณ 10-15 นาที (อุตร จารรัตน์ และคณะ, 2542) ซึ่งจะเกิดกลไกการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ โดยโครงสร้างมีความพรุนสูงทำให้เกิดผิวสัมผัสโมเลกุลภายในจะถูกกระทำด้วยแรงต่างๆ กันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่อยู่บนผิวหน้าของถ่านกัมมันต์จะถูกกระทำด้วยแรงที่ไม่สมดุล ซึ่งแรงนี้สามารถทำให้สมดุลได้โดยทำให้โมเลกุลอื่นมาเกาะติดที่ผิวสัมผัสด้วยแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาล์ว (Van der wals force) โมเลกุลของสารละลายจะถูกยึดไว้ ในสภาวะที่ความเป็นกรดต่างต่ำจะดูดซับได้ดี เนื่องจากถ่านกัมมันต์จะมีสภาพเป็นประจุบวกอันเนื่องมาจากดูดซับประจุบวกของไฮโดรเจนไว้ ในขณะที่เดียวกันสารคอลลอยด์ และสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีมีประจุลบ แรงดึงดูดระหว่างกันจึงมีมาก แต่การเกาะยึดกันเป็นแรงอ่อนๆ ดังนั้นสามารถเกิดการเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ทำให้การฟื้นตัวของตัวดูดติดผิวทำได้ง่าย แต่มักเกิดปัญหาสารแขวนลอยติดค้างอุดตันผิวหน้าของชั้นถ่านจนทำให้อัตราการไหลผ่านลดลง สามารถแก้ไขได้โดยการอัดน้ำล้างเข้าทางด้านล่าง (Backwashing) เมื่อรูพรุนของเม็ดถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรกทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพการดูดซับสามารถฟื้นฟูสภาพโดยการเผาในเตาอบออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส และผ่านไอน้ำเพื่อเร่งคุณสมบัติของถ่าน (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) (ภาพที่ 1) การกำจัดสีด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นเพียงวิธีการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ออกจากน้ำโดยโมเลกุลของสิ่งสกปรกจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ โมเลกุลของสีจะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูของเม็ดถ่านจนเต็ม ถ่านกัมมันต์จะเสื่อมสภาพ แต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ซึ่งมีต้นทุนสูง เพราะการเผาและการกำจัดกากทำให้ไม่เป็นที่นิยม (พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, 2548; ธนภฤต พรหมทอง, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.40 แสดงภาพรูปตัดโพรงหรือช่องว่างภายในของถ่านกัมมันต์ (Bruce et al, 2007)

1.2 การกรองด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น สามารถแบ่งได้ 3 วิธี คือ ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) อัลตราฟิวเตรชัน (Ultrafiltration) และนาโนฟิวเตรชัน (Nanofiltration) แต่วิธีอัลตราฟิวเตรชันไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีขนาดรูเปิดของเยื่อกรองใหญ่ ไม่สามารถกรองอนุภาคของสีออกจากน้ำเสียได้ (กัลยา ศรีสุวรรณ, 2547; ศุภลักษณ์ อรรณพ, 2552) ส่วนวิธีออสโมซิสย้อนกลับเหมาะสำหรับการกำจัดสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้แก่ สีแท้ เป็น-การกรองแยกน้ำออกจากของแข็งแขวนลอย หรือของแข็งที่ละลายน้ำ โดยผ่านรูพรุนขนาดเล็กและใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนให้น้ำไหลผ่านตัวกรองเป็นกระบวนการที่ต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือ เยื่อออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล ซึ่งเยื่อแผ่นแรกสามารถกำจัดสีปรากฏ ซึ่งมาจากโรงฟอกย้อมได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 (ธนกฤต พนมทอง, 2552) สำหรับกระบวนการกำจัดสีโดยใช้แผ่นกรองนาโนใช้หลักการเหมือนออสโมซิสผันทกลับ แต่การกรองผ่านแผ่นนาโนมีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องจากมีรูขนาดเล็กกว่า ทำให้แยกสีออกจากน้ำได้ดีกว่าโดยสามารถแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกจากสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น สารอนินทรีย์ เชื้อจุลินทรีย์ กรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งขนาดของแผ่นกรองส่วนใหญ่เป็นแบบเชิงประกอบที่มีรูพรุนประมาณ 1.5-2.5 นาโนเมตรและมีช่วงความดันที่ใช้ประมาณ 10-34 บาร์ (Van et al, 1995; Seungkwan & Menachem, 1997; Yacubowicz, 2005) เยื่อแผ่นนาโนสามารถกำจัดสีย้อมที่ความดัน 10 บาร์ อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส มากกว่าร้อยละ 97 และจะลดลงเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ปิยนุช เหลืองโสวรรณ, 2544) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการกรองผ่านด้วยแผ่นนาโน ได้แก่ อัตราการไหลและลักษณะการไหล ความดัน ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ (ภัทร ศักดิ์เพชร, 2549) นอกจากนี้มีกระบวนการกำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อมโดยการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้แผ่นกรองร่วมกับไฟฟ้ากระแสตรงแยกสารประจุบวกและประจุลบออกจากน้ำ โดยมีแผ่นกรองที่มีประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ติดตั้งวางสลับกันเป็นชั้นๆ จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าไปในช่องระหว่างแผ่นกรอง และขณะเดียวกันก็มีการปล่อยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสน้ำผ่านแผ่นกรอง โดยแผ่นกรองประจุบวกยอมให้ประจุบวกไหลผ่านไปพร้อมกับน้ำส่วนหนึ่ง และแผ่นกรองประจุลบยอมให้สารประจุลบไหลผ่าน โดยน้ำที่มีประจุบวกและประจุลบ รวมกันแล้วไหลทิ้งออกไป แต่มักเกิดปัญหาตะกอนเกาะติดแผ่นกรองทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า มาก และต้องทำล้างทำความสะอาดบ่อยครั้งจึงไม่ได้รับความนิยม (ไพศาล วีริกิจ, 2549)

2. เทคโนโลยีการกำจัดสีทางเคมี (Chemical Technology)

2.1 การสร้างรวมตะกอน (Coagulation-flocculation) การรวมตะกอนด้วยสารเคมีเป็น กระบวนการกำจัดสีและสีปรากฏในน้ำเสียโดยใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรดต่าง สารที่นิยม ใช้เป็นสารเคมีสร้างตะกอน (Coagulant) คือ

สารส้ม (Aluminium Sulfate; Alum) ปูนขาว (Calcium oxide) และเหล็กในรูปเฟอร์ รัสซัลเฟต (FeSO_4) หรือเฟอร์รัสคลอไรด์ (FeCl_2) โดยถ้าโมเลกุลของสีมีขนาดเล็ก ละลายน้ำได้ดี การเกิดตะกอนของสีจะไม่สามารถทำได้ แต่ต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของการรวมตะกอนให้เป็นไป อย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) (ธนภฤต พรหมทอง, 2552) การกำจัดสีโดยการสร้างและรวมตะกอนเป็นการทำให้ตะกอนหรือสาร แขนวลอยขนาดเล็ก (Colloid) รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถตกตะกอน เนื่องจาก อนุภาคของสารแขวนลอยมีประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออนุภาคเหล่านั้นมาพบกันก็จะผลักรันไม่ สามารถรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงทำลายประจุของอนุภาคหรือทำให้อนุภาคเป็น กลางโดยการเติมสารเคมีสร้างตะกอนเรียกว่า กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) หลังจากนั้น เกิดกระบวนการรวมกัน (Flocculation) ได้มากขึ้นโดยการเติมสารเคมีรวมตะกอน (Flocculants) ลง ไปช่วยยึดหรือจับให้กลุ่มตะกอนที่รวมตัวกันเข้ามาจับเป็นกลุ่มตะกอนใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) เมื่อตะกอนกลุ่มใหญ่ขึ้นก็มีน้ำหนักมากขึ้นก็จะสามารถตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งสารส้มมี คุณสมบัติทำหน้าที่เป็นทั้งสารสร้าง และรวมตะกอน ในขั้นแรกจะเติมปริมาณน้อยเพื่อให้ประจุบวกที่ เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างตะกอน (Coagulant) ไปทำลายประจุลบ และเมื่อเติมสารส้มมากขึ้น จะเกิดเป็นตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งจะเป็นที่เกาะของอนุภาคต่างๆ ทำ หน้าที่เป็นสารรวมตะกอน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) โดยสามารถละลายน้ำได้ดีถึง 71 ส่วนใน น้ำ 100 ส่วน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อละลายน้ำจะทำปฏิกิริยาดังสมการที่ (1)



จากสมการที่ (1) อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะเป็นเม็ดเหนียวๆ (คล้ายเม็ดแมงลักแต่เล็ก กว่า) ไม่ละลายน้ำและจะตกตะกอนช้าๆ และระหว่างที่ตกตะกอนก็จะดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ มา เกาะเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น จะมีประสิทธิภาพที่ดีที่ความเป็นกรดต่างระหว่าง 5.0-7.0 ถ้าน้ำมีค่าสภาพต่างต่ำ เติมสารส้มมาก ทำให้สภาพต่างจะถูกทำลายหมด และจะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำลดลงจน เป็นกรด ดังนั้นในบางกรณีจำเป็นต้องมีการเติมด่างไปพร้อมกับสารส้มเพื่อชดเชย ซึ่งปริมาณสารส้มที่ ต้องใช้นั้นจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับลักษณะของน้ำ จึงจำเป็นต้องหาปริมาณที่ถูกต้องด้วยวิธี ทดสอบกาดตกตะกอน (Jar Test) โดยการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วเริ่มการกวนเร็ว ไม่เกิน 1 นาที แล้วเปลี่ยนความเร็วใบพัดมากวนช้า ประมาณ 5-20 นาที และหยุดให้เกิดการ ตกตะกอน (ไพศาล วีริกิจ, 2549) ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมี ทำให้มีกากตะกอน (Sludge) จำนวนมากต้องกำจัดต่อไป (Badawy & Ali, 2006) สำหรับปูนขาว (CaO) มีประสิทธิภาพไม่เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารส้ม การใช้งานส่วนใหญ่มักจะเติมพร้อมกับสารส้ม เพื่อให้สารส้มตะตะกอนและปูนขาวปรับค่าความเป็นกรดต่างให้กับน้ำ ส่วนสารประกอบเหล็กในรูปต่างๆ ไม่ค่อยได้รับความนิยม เพราะมีราคาแพงกว่าสารส้ม และตะกอนของเหล็ก ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ที่เกิดขึ้นอาจจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารพิษ (ไพศาล วีร กิจ, 2549)

2.2 การออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี ใช้สารเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดส์สารประกอบต่างๆ ในน้ำเสีย โดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวออกซิแดนซ์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ สารเคมีเฟนต์ัน (Fenton's reagent) และโอโซน (O_3)

- กระบวนการเฟนต์ัน (Fenton process) กระบวนการเฟนต์ัน คือ การออกซิเดชันขั้นสูง โดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ทำปฏิกิริยากับเพอร์ร็อกซิไดส์ไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\bullet) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์สารอินทรีย์ (สุทธิณี นาควิทยา, 2551) ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัลเกิดจากปฏิกิริยาโดยอาศัยอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (OH^\bullet) ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาเป็นตัวกลางสำคัญ ซึ่งอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลมีค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันสูง แสดงถึงความสามารถในการในการรับอิเล็กตรอน ถ้าตัวออกซิไดส์ที่แรงจะรับอิเล็กตรอนได้ง่ายมาก (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จนเปลี่ยนเป็นรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Yang & James, 2006) มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีของโรงงานย้อมสิ่งทอ (Ruey-Fang Yu et al, 2009) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเฟนต์ัน ได้แก่ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (ธนกฤต พรหมทอง, 2552)

- กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (Ozone oxidation) การกำจัดสีด้วยโอโซนทำให้พันธะของโมเลกุลที่ทำให้เกิดสี (Chromophores) แตกออกกลายเป็นโมเลกุลเล็กและสีหายไป โดยสามารถแยกสลายโมเลกุลของสีที่มีความยาวมากให้มีขนาดสั้นลง ทำให้สีของน้ำเสียดลดลงซึ่งโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่รุนแรง มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายสีในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการละลายในน้ำของออกซิเจน สามารถกำจัดสีแท้จริง ทำลายโครงสร้างโมเลกุลแบบโครงสร้างแบบโซ่ของสารอินทรีย์ (Rice et al, 1980) ความสามารถในการกำจัดสีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสกับโอโซนให้นานขึ้น และสีของน้ำลดลงมากที่สุด เมื่อผ่านน้ำทิ้งเข้าระบบเป็นเวลา 60 นาที ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสียเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนออกซิเดชันในการกำจัดสีโดยความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ± 0.1 เป็นสภาวะที่สามารถกำจัดสีด้วยกระบวนการโอโซนออกซิเดชันได้ดีที่สุด (วราภรณ์ อภิวฒนาภิวฒ และคณะ, 2550) ก๊าซโอโซนไม่เสถียรสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่าย จึงต้องผลิตขึ้นมาใช้ ณ สถานที่ใช้งานเลย หรือเป็นแบบติดอยู่กับที่ (Generated on-site) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซนคืออากาศหรือออกซิเจน โดยออกซิเจน 2 โมเลกุลจะผลิตก๊าซโอโซนได้ 1 โมเลกุล ดังสมการ (2) และ (3) การผลิตก๊าซโอโซนโดยอากาศด้วยเครื่องผลิตโอโซน จะได้ก๊าซโอโซนประมาณร้อยละ 0.5-3 ในขณะที่การผลิตก๊าซโอโซน โดยใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซโอโซนประมาณร้อยละ 1 - 6 การผลิตโอโซนจะอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีในการเปลี่ยนออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซน โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีบางชนิดที่เป็นสารให้ออกซิเจน หรือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยป้อนออกซิเจนเข้าไปในห้องปฏิกิริยาที่มีขั้วประจุไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก แล้วทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจนเป็นอนุมูลออกซิเจนอิสระ และไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งการผลิตที่เป็นที่นิยมก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยหลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการผลิต (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549; วราภรณ์ กัลยาเลิศ, 2540)



โอโซนมีสถานะเป็นก๊าซที่ความดันและอุณหภูมิปกติ ความสามารถในการละลายของโอโซนในน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดันรวมทั้งค่าความเป็นกรดต่างเป็นสำคัญ โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรอัตราการสลายตัวจึงเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิสูงขึ้น (วราภรณ์ กัลยาเลิศ, 2540) อย่างไรก็ตามการใช้โอโซนอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น กรณีที่ก๊าซโอโซนเป็นสารให้ออกซิเจนอย่างแรง (Strongly oxidizing agent) อาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ รวมทั้งอาจมีการทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดในน้ำ และเกิดสารบางชนิดขึ้นโดยสารเหล่านั้นเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic compounds หรือ Mutagenic compound) (Lung, 2000) นอกจากนี้ มีกระบวนการกำจัดสีแบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical process) ซึ่งสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม โดยเป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเกิดขึ้น โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารที่เกิดออกซิเดชันไปยังสารที่เกิดรีดักชันผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เหมาะสม (Yasar et al, 2007) ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสี ทำให้เลขออกซิเดชันของไอออนของโลหะเปลี่ยนไป และสามารถดูดซับกับสารแขวนลอยต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบาในรูปของออกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของอิเล็กโทรดให้เกิดการตกตะกอนขึ้น (อมรภาค ชูทอง, 2551) กระบวนการไฟฟ้าเคมีมีกลไกการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ด้วยกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) และการลอยตัว (Floatation) ทำให้สามารถกำจัดสีออกจากน้ำเสียได้ (ปาริชาติ หมั่นสีทา, 2547 ; อมรภาค ชูทอง, 2551; Inan et al, 2004; Ugurlu et al, 2008) ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาการตกตะกอน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยเมื่อใช้ระดับกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาการตกตะกอนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดสี (ดวงตา กิจแก้ว, 2546)

3. เทคโนโลยีทางชีวภาพ (Biological technology) เทคโนโลยีทางกายภาพ และเคมีเป็นการใช้สารเคมีในการกำจัดสี ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเกิดตะกอน ทั้งยังเป็นการเพิ่มสารเคมีเข้าสู่ระบบสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ (โสภภาพรรณ รัตนพันธ์, 2547) จึงมีการศึกษาการย่อยสลายโครงสร้างของสีย้อมกลุ่มอะโซ(ประกอบด้วยหมู่ $-N=N-$ เกาะกับวงแอมโรแมติก) และแอนทราควิโนน (ประกอบด้วยหมู่ conjugated aromatics) โดยจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ ราและแบคทีเรียที่ย่อยบริเวณหมู่โครโมฟอร์และลดความเป็นพิษของสี (วีรานุช หลาง และคณะ, 2008) นอกจากนี้ Marco et al (2006) ศึกษาการย่อยสีรีแอกทีฟ กลุ่มไดอะโซโดยยีสต์ *Candida oleophila* ที่แยกได้จากน้ำทิ้งในโรงงานสกัดน้ำมันมะกอก พบว่าการย่อยเกิดได้ดีในช่วง การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในอัตราคงที่ (exponential growth phase) โดยการย่อยเกิดโดยเอนไซม์ที่มีกิจกรรมคล้ายกับเอนไซม์อะซอรีดักเทส (azoreductase) ที่พบในแบคทีเรีย ซึ่งสามารถลดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมได้

เทคโนโลยีทางชีวภาพสามารถนำมากำจัดสีแท้และสีปรากฏจากจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม เยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การดูดซับด้วยสาหร่าย (Algae absorption) สาหร่ายสามารถกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยการดูดซับสีเหล่านั้นภายใต้สภาวะที่มีแสงโดยเปลี่ยนโมเลกุลที่มีสีเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี (Dilek á F. B. et al, 1999) ซึ่งสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) สามารถดูดซับสีเบสิคจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้ โดยสมดุลของการดูดซับเป็นไปตามทั้งโมเดลของ Langmuir และ Freundlich (พิมล พันธุ์จางหาญ, 2549) นอกจากนี้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และกลุ่มสาหร่ายสีเขียวมีประสิทธิผลกำจัดสีของโรงงานผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ โดยมีปัจจัยด้านปริมาณความเข้มข้นของอาหาร ปริมาณความเข้มข้นแสง ปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ตั้งต้น รวมทั้งค่าความเป็นกรดต่าง และเมื่อนำปฏิกิริยาเฟนตันและโอโซนมาบำบัดร่วมกับการใช้สาหร่ายทั้งสองสายพันธุ์พบว่าสาหร่ายทั้งสองสามารถกำจัดสีได้เพิ่มขึ้น (ชินจิต ชาญชิตปรีชา, 2542)

3.2 การย่อยสลายโดยเชื้อรา (Fungi decomposition) กระบวนการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยเชื้อราเป็นการสร้างเอนไซม์นอกเซลล์กลุ่มลิกนินโนไลติก (Ligninolytic enzyme) (Iimura Y. et al, 1996; Leontievsky A. et al, 2001) ย่อยสลายเนื้อไม้โดยเฉพาะเห็ดราในกลุ่มเชื้อราไวท์ร็อตหรือบราวร็อต (White or brown rot fungi) ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนขอนไม้ โดยในเนื้อไม้มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ลิกนินเซลลูโลส ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษได้ (พิมพ์ชนก เต็งเจริญ, 2546; Yuzhu Fu & Viraraghavan T., 2001) นอกจากนี้เชื้อรา *Aspergillus fumigates* สามารถผลิตสารแลคเคส เพอร์แมงกานีส และไซลानเนสซึ่งมีประสิทธิผลกำจัดสีโดยย่อยสลายลิกนินในช่วงความเป็นกรดต่าง 6.0-9.0 (Debendra K. Sahoo & Rimpay Gupta, 2005) นอกจากนี้รา Isolate A19 ที่แยกได้จากเห็ด และรา Isolate B7 ที่แยกได้จากเห็ดและกิ่งไม้ผู้สามารถกำจัดสี และลิกนินของน้ำทิ้งในสภาวะที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นอาหาร คาร์บอน และโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งอาหารไนโตรเจน ที่ความเป็นกรดต่าง 5 รวมทั้งเชื้อราเส้นใยสีขาว *Datronia sp. KAPI0039* สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยสลายลิกนินแลคเคสและแมงกานีสเปอร์ออกซิเดส ซึ่งทำให้สีรีแอคทีฟของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอลดลง (จิรวาท เจตน์จันทร์ และคณะ, 2552; อรชिरา เพ็ชรช้อย และคณะ, 2552) การใช้ราในการกำจัดสีย้อมผ้าไม่ค่อยเป็นที่นิยมเนื่องจากมีข้อด้อยในด้านความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา รวมถึงการขนส่งจึงมีการทดลองนำราชนิด *Lentinus polychrous* Lev. ซึ่งอยู่ในรูปของเส้นใยแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบฟลูอิดซ์ (fluidized bed drying) กำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อม พบว่าสามารถกำจัดสีได้ รวมทั้งการทำแห้งเป็นวิธีง่ายและสะดวก อีกทั้งสามารถประหยัดพลังงานให้มีต้นทุนต่ำ (ปีทมา พลอยสว่าง และภคมน จิตประเสริฐ, 2551) โดยปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์และการเจริญเติบโต ได้แก่ สารอาหารคือ ระดับความเข้มข้นไนโตรเจน และคาร์บอน อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง สารยับยั้ง กระบวนการแคทาไลซิส หรือไฮโดไลซ์ของเอนไซม์ และออสโมลิตะ ได้แก่ แมงกานีส (โสภการวรรณรัตน์พันธ์, 2546)

3.3 การย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (Bacteria decomposition) การย่อยสลายสีด้วยแบคทีเรียสามารถลดสีหลายประเภทโดย Walker & Weatherley (2000) ศึกษาการดูดซับสีกลุ่มแอนทราควิโนนโดยเชื้อ *Bacillus gordonae*, *B. benzeovorans* และ *Ps. Putida* ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 13, 19 และ 18 ตามลำดับ และการย่อยสลายสีรีแอคทีฟ Red 2 พบว่า สามารถกำจัดได้ดีโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก แบคทีเรียที่มีความสำคัญในการกำจัดสี 3 สกุล คือ *Pseudomonas sp.*, *Proteus sp.* และ *Klebsiella sp.* (ฉาติศา เนียมมณี, 2542) นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วีรานูช หลาง และคณะ (2008) ศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียสายพันธุ์ *Burkholderia glumae* ในการย่อยสลายสีรีแอกทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า กระบวนการบำบัดแบบไม่เติมอากาศ ให้ผลเร่งการกำจัดสีได้ดีกว่าการบำบัดแบบเติมอากาศ โดยสามารถจัดสีในน้ำทิ้งได้ร้อยละ 76 ในเวลา 7 วัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ รวมถึงความต้องการอากาศในการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย และการย่อยสลายสี

สรุป

การกำจัดสีจากน้ำเสียอุตสาหกรรมซึ่งเป็นสีแท้หรือสีจริงจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานอบไม้ยางพารา ส่วนสีปรากฏจากโรงงานทอผ้า ฟอกย้อมหรือสีของน้ำเสียจากโรงงานกระดาษต้องมีกระบวนการกำจัดที่เหมาะสมกับลักษณะของสี โดยมีเทคโนโลยีทางกายภาพ ได้แก่ กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ และกระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น ส่วนเทคโนโลยีการกำจัดสีทางเคมี ได้แก่ การรวมตะกอนด้วยสารเคมี โดยใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรดต่าง โดยสารที่นิยมใช้เป็นสารเคมีสร้างตะกอน คือ สารส้ม ปูนขาว และเหล็กในรูปเฟอร์รัสซัลเฟต หรือเฟอร์รัสคลอไรด์ กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี โดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวออกซิแดนท์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ โอโซน และสารเคมีฟenant รวมถึงกระบวนการแบบเคมีไฟฟ้า การใช้เทคโนโลยีทางกายภาพ และเคมีสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีในการกำจัดสี นอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วยังเกิดตะกอนจากการบำบัดสูง ทั้งยังเป็นการเพิ่มสารเคมีเข้าสู่ระบบสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการทำปฏิกิริยาต่างๆ อาจก่อให้เกิดสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็ง และผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ จึงมีการนำเทคโนโลยีการกำจัดสีทางชีวภาพมาใช้ ได้แก่ การใช้สาหร่าย รา และแบคทีเรีย แต่มีข้อด้อยในด้านความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา รวมถึงการขนส่ง รวมถึงการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและย่อยสลาย ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีหลายประเภทสามารถกำจัดได้ทั้งสีแท้และสีปรากฏ ดังนั้นการเลือกเทคโนโลยีที่ใช้กับน้ำเสียที่เกิดขึ้นของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณ ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ เพื่อประโยชน์สูงสุดควรมีการทดสอบวิธีการในการกำจัดสี โดยการนำน้ำเสียมาทดลองก่อนและประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

2.10 เครื่องมือและเทคนิคการวัด

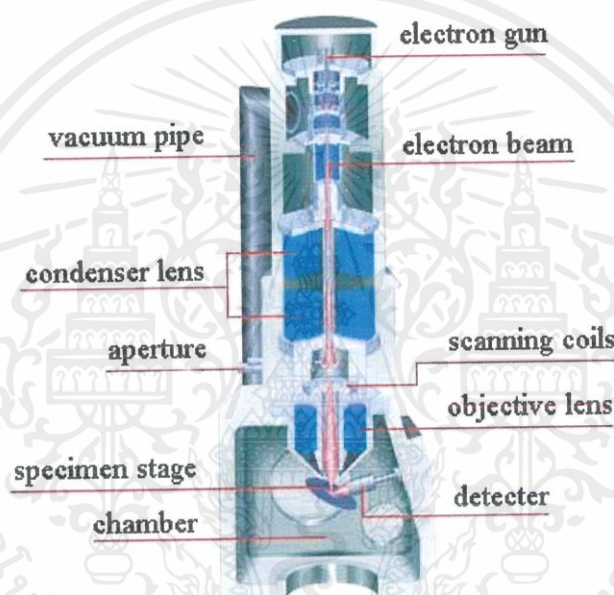
2.10.1 เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับอนุภาคซึ่งจะเห็นรายละเอียดที่เล็กมากเนื่องจากลำอิเล็กตรอนมีความยาวคลื่นที่สั้นมากกว่าแสงใช้ในกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดาซึ่งสามารถดูขนาดของวัตถุได้เล็กที่สุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตรแต่เมื่อเปลี่ยนเป็นแสงจากลำอิเล็กตรอนแล้วจะทำให้ได้กำลังขยายมากกว่า 100,000 เท่าสามารถดูรายละเอียดได้ในระดับนาโนเมตรและยังสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆได้เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS)

2.10.1.1 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ใช้สำหรับผลิตลำอิเล็กตรอน
- 2) เลนส์รวมแรง (Condenser lens) ใช้ในการรวมลำอิเล็กตรอนเพื่อให้แสงมีความเข้มมากขึ้น
- 3) ขดลวดสำหรับการส่องกราด (Scanning coil) ใช้ควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนตกในจุดที่ต้องการ
- 4) เลนส์วัตถุ (Objective lens) คือเลนส์ที่ใช้ทำให้อิเล็กตรอนเกิดภาพ
- 5) ตัวตรวจวัดอิเล็กตรอน (Detector) ใช้รับค่าสัญญาณจากอิเล็กตรอนแล้วเปลี่ยนไปเป็นภาพ
- 6) แท่นวางตัวอย่าง (Specimen stage) ใช้สำหรับวางตัวอย่างที่ต้องการวัด



ภาพที่ 2.41 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) [12]

2.10.1.2 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เริ่มต้นกำเนิดอิเล็กตรอนถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงให้แก่ขดลวดทั้งสแตนด์ส่งผลให้อิเล็กตรอนเกิดการหลุดออกจากขดลวดจากนั้นอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกควบคุมทิศทางภายใต้เส้นแรงสนามแม่เหล็กโดยเลนส์แม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (อิเล็กตรอนที่เกิดจากขดลวด) วิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงานเกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงานหลายแบบเพราะลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูงจากการให้ศักย์ไฟฟ้าพลังงานสูงทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงานแบ่งได้เป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) สามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่ายหรือเรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์จะเกิดภาพที่บริเวณพื้นผิวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานสำหรับอิเล็กตรอนชนิดนี้คืออิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เกิดจากลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับตัวอย่างชิ้นงานและมีการสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนส่งผลให้เกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงานซึ่งพลังงานต่างๆ ที่กระเจิงกลับมานั้นจะเกี่ยวข้องกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงานดังนั้นอิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับจึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุที่เป็นส่วนประกอบได้ [12] รังสีเอกซ์ (X-ray) เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงานทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M, ...) ได้รับความร้อนมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรส่งผลให้บริเวณนั้นไม่มีอิเล็กตรอนจึงเกิดการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่โคจรในชั้นถัดไปซึ่งการแทนที่นี้จะส่งผลให้เกิดการคายพลังงานออกมาหรือการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุโดยใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.10.2 เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)

Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับจุลภาค และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิจัย และการผลิตภาคอุตสาหกรรม FESEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงถึงระดับ 1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโคร หรือนาโนได้ FESEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษา ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุที่ศึกษาได้ อีกทั้ง FESEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือหัววัดอื่นๆ เพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไป เช่น เชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์การเรียงตัวของผลึกโดยใช้สัญญาณจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Electron Backscatter Diffraction; EBSD) นอกจากนี้ FESEM ยังสามารถประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ควบคุมลำอิเล็กตรอนเพื่อใช้เขียนลวดลายขนาดเล็กบนชิ้นงาน (Electron Beam Lithography) จะเห็นได้ว่า FESEM เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัย ด้วยกำลังขยายที่สูง และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและครอบคลุมการศึกษาวิจัยในระดับจุลภาค

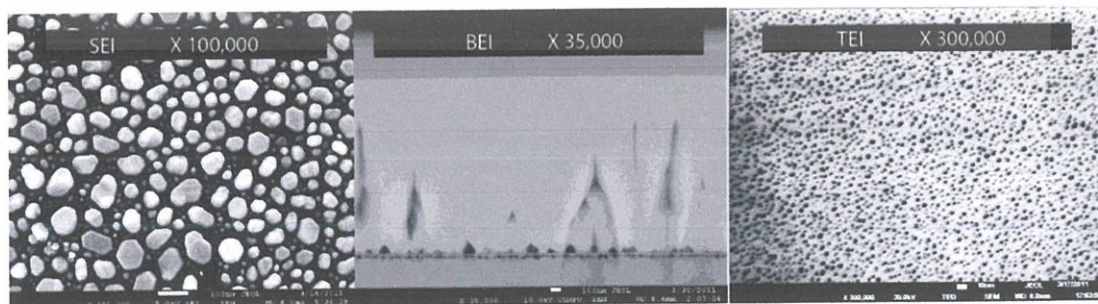


ภาพที่ 2.42 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์ อิมิชชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)

Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) เป็น กล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบ Schottky type field-emission (T-FE) มี resolution สูงถึง 1.2 nm ที่ 30 kV เหมาะสำหรับงานทางวิทยาศาสตร์ ภายภาพ คักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.5-30 kV ง่ายต่อการใช้งานเพราะควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบสุญญากาศในระบบลอาอิเล็กตรอนใช้ sputter-ion pump ส่วนห้อง ชิ้นงาน (sample chamber) ใช้ diffusion pump หัววัดหลักสำหรับการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายของ ระบบประกอบด้วย 3 หัววัด คือ

1. Secondary Electron Detector 2. Backscattered Electron Detector และ 3. Scanning Transmission Electron Detector สัญญาณภาพที่ได้จาก FESEM รุ่น JSM-7001F แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของภาพที่ได้จากหัววัดที่ต่างกัน ได้แก่

1. Secondary Electron Image (SEI)
2. Backscattered Electron Image (BEI) และ
3. Transmission Electron Image (TEI)



Secondary Electron Image (SEI) เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Secondary Electron Detector (SED) ที่รับเอาพลังงานจาก secondary electron ที่หลุดออกมาจากพื้นผิว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชิ้นงานเมื่อถูกลาอิเล็กตรอนชนมาประมวลผล ภาพที่ได้แสดงให้เห็นลักษณะของพื้นผิวของตำแหน่งที่สนใจบนชิ้นงาน (Morphology) ศักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.5-30 kV ตามประเภทของชิ้นงาน สามารถเพิ่มกำลังขยายได้สูงถึงประมาณ 1,000,000 เท่า ภายใต้สภาวะการใช้งานที่เหมาะสม โดยทั่วไปการใช้งานปกติมักจะกำลังขยายถึงประมาณ 300,000 เท่า และยังสามารถเลือกโหมดป้องกันการสะสมของประจุบนชิ้นงานโดยใส่ความต่างศักย์ไปยังชิ้นงานเพื่อไล่ประจุสะสม 2. Backscattered Electron Image (BEI) เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Backscattered Electron Detector (BED) ที่รับเอาพลังงานจาก Backscattered Electron ที่สะท้อนจากพื้นผิวของชิ้นงานมาประมวลผล โดยสัญญาณที่ได้ในแต่ละบริเวณจะแปรตามเลขอะตอม (atomic number, Z) ในเนื้อสารบริเวณนั้นๆ ภาพที่ได้จึงมีความสว่าง เข้มหรืออ่อนตามเลขอะตอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อสาร (Atomic contrast) BEI จึงสามารถแสดงภาพที่แยกแยะความแตกต่างของแต่ละบริเวณที่มีธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกันได้ หัววัด BED เป็นแบบ retractable สั่งการให้เลื่อนเข้าไปยังตำแหน่งเหนือชิ้นงานในระหว่างใช้งานและเลื่อนออกเมื่อไม่ได้ใช้งานได้เพื่อความปลอดภัยของหัววัด

3. Transmission Electron Image (TEI) เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Transmission Electron Detector (TED) อาศัยหลักการของ Transmission Electron Microscope (TEM) ประยุกต์มาติดตั้งในระบบของ FESEM โดย TED จะอยู่ในตำแหน่งใต้ชิ้นงานเพื่อรับพลังงานจาก transmission electron ที่ทะลุผ่านชิ้นงาน ศักย์เร่งอิเล็กตรอนที่ตั้งไว้สำหรับระบบนี้เป็นค่าสูงสุดคือ 30 kV และชิ้นงานจะต้องเตรียมด้วยเครื่องมือเฉพาะเพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดบางเพื่อให้อิเล็กตรอนสามารถทะลุผ่านไปยัง TED ได้ ภาพที่ได้จะแสดงถึงรูปร่างโครงสร้างภายในของชิ้นงาน สามารถเพิ่มกำลังขยายได้ถึงประมาณ 300,000 เท่า

นอกจาก FE-SEM จะสามารถใช้เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่ให้ภาพตามหัววัดทั้งสามชนิด (SEI, BEI และ TEI) ที่ติดตั้งมาพร้อมกับเครื่องแล้ว เครื่องนี้ยังได้ติดตั้งชุดอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมดังนี้ 1. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer; EDS) ของบริษัท Oxford รุ่น INCA PentaFETx3 การทำงานอาศัยหลักการ Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy ใช้การเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงพอเหมาะพุ่งเข้าชนชิ้นงานซึ่งประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะพื้นจนทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานวงในได้รับพลังงานจากการชนจนหลุดออกไปจากอะตอม แล้วอิเล็กตรอนจากวงนอกจึงคายพลังงานออกมาบางส่วนพร้อมกับเปลี่ยนชั้นพลังงานเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกไป พลังงานที่อิเล็กตรอนคายออกมาจะอยู่ในรูปรังสีเอกซ์และมีค่าเฉพาะตามธาตุนั้น เมื่อวัดค่าพลังงานรังสีเอกซ์นี้ด้วย EDS จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานประกอบด้วยธาตุชนิดใด

2.10.3 เทคนิคฟูเรียร์ทรานซ็อมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)

เป็นเครื่องมือที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการตรวจสอบตัวอย่างชิ้นงานโดยทั่วไปใช้วัดชิ้นงานทั้งในสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์พันธะเคมีโมเลกุลของสารที่ไม่ทราบชนิดโดยเทียบข้อมูลกับสารที่รู้จักคุณสมบัติอยู่แล้วโดยใช้เวลาในการตรวจวัดน้อย

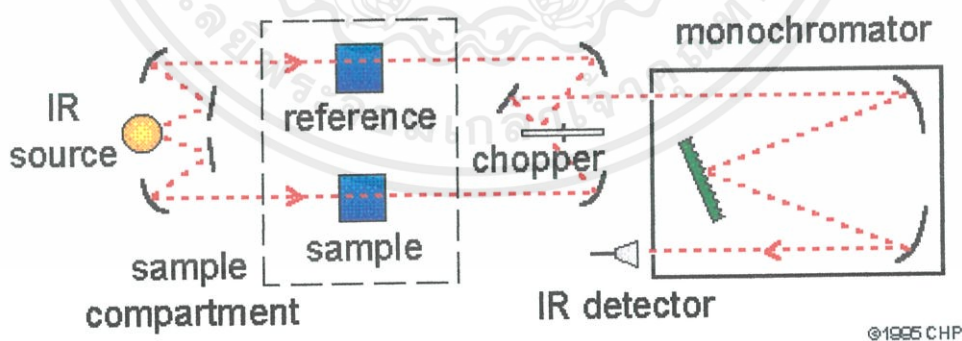
เทคนิคฟูเรียร์ทรานซ็อมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) เป็นเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ใช้อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer) ในการทำหน้าที่แยกแสงที่ผ่านออกจากเซลล์บรรจุสารตัวอย่างออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ (แทนที่การใช้โมโนโครมาเตอร์ในกรณีของเครื่องมืออินฟราเรดแบบดิสเพอร์ซีฟหรือแบบลำแสงคู่)

2.10.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานซ็อมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

2.10.3.1.1 ส่วนกำเนิดรังสีอินฟราเรดส่วนนี้จะให้กำเนิดรังสีอินฟราเรดโดยอาศัยการให้ความร้อนแก่สารเฉื่อยจนมีอุณหภูมิที่ 1,000-1,800 องศาเซลเซียสจนเกิดการปล่อยรังสีจากนั้นจะควบคุมความยาวคลื่นได้โดยใช้โมโนโครมาเตอร์

2.10.3.1.2 โมโนโครมาเตอร์เป็นส่วนที่ควบคุมความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาให้เป็นความถี่ที่ต้องการใช้ในการตรวจวัดโดยจะแบ่งเป็นช่วงใกล้อินฟราเรด (near IR) สำหรับใช้ตรวจวัดสารประกอบอะโรมาติกช่วงกลางอินฟราเรดใช้ตรวจวัดหมู่ฟังก์ชันซึ่งต้องเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทราบข้อมูลสเปกตรัมแล้วช่วงไกลอินฟราเรดจะเกิดการสั่นหรือหมุนของโครงสร้างโมเลกุลโดยช่วงนี้จะไม่ค่อยได้ใช้งาน

2.10.3.1.3 เครื่องตรวจวัดรังสี IR ทำการรับค่าข้อมูลที่ได้จากการสั่นของโมเลกุลโดยจะบันทึกค่าและแสดงออกมาเป็นสเปกตรัม



©1995 CHP

ภาพที่ 2.43 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานซ็อมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)

(ที่มา: www.chemicool.com/definition/fourier_transform_infrared_spectrometer_ftir.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

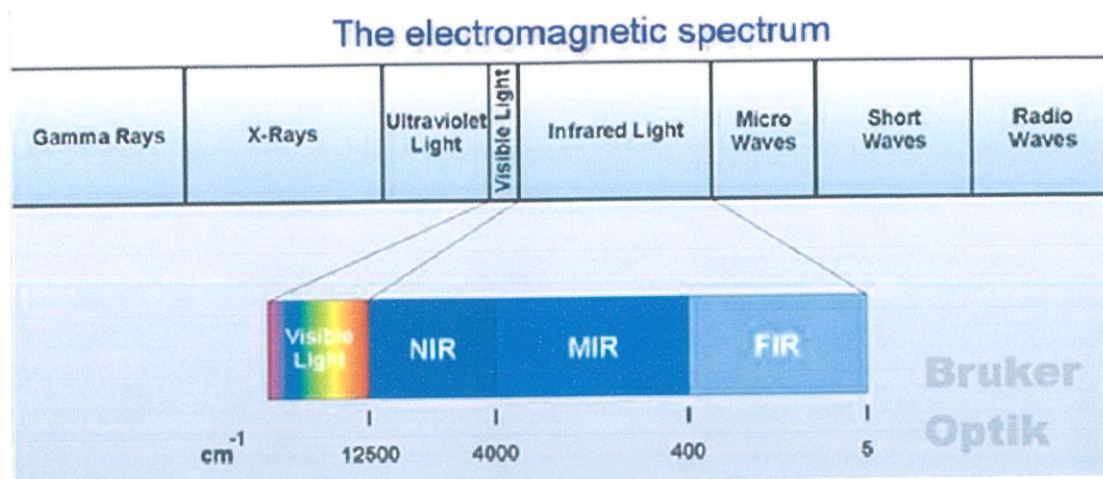
2.10.3.2 หลักการทำงานของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

รังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดจะถูกฉายไปยัง Interferometer ประกอบด้วยกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้และกระจกที่ตรึงอยู่กับที่โดยทั้งสองตั้งฉากซึ่งกันและกันและตัวแยกแสงที่ตัวแยกแสงลำรังสีครึ่งหนึ่งจะทะลุผ่านไปยังกระจกที่ตรึงอยู่กับที่และอีกครั้งหนึ่งจะสะท้อนไปยังกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้หลังจากนั้นลำรังสีจะสะท้อนจากกระจกกลับมารวมกันที่ตัวแยกแสงเกิดการแทรกสอดขึ้นต่อมัลรังสีจะผ่านไปยังตัวอย่างและเครื่องตรวจวัดในลำดับถัดมาจะเกิด Path difference ระหว่างลำรังสีที่ถูกแยกออกเกิดขึ้นจากระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างกระจกทั้งสองถ้าแขนยึดกระจกทั้งสองข้างของ Interferometer ยาวเท่ากันลำรังสีทั้งสองจะเดินทางด้วยระยะทางที่เท่ากันมีเฟสตรงกันทำให้สัญญาณที่ไปถึงเครื่องตรวจวัดมีความมากที่สุดเมื่อกระจกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ความเข้มของสัญญาณที่เครื่องตรวจวัดวัดได้จะมีลักษณะของอินเทอร์เฟอโรแกรม (Interferogram) เป็นรูปคลื่น sine โดยกราฟจะพล็อตระหว่างการตอบสนองของชิ้นงานที่เครื่องตรวจวัดบันทึกได้และเวลาที่กระจกมีการเคลื่อนที่ซึ่งตัวอย่างจะเกิดการดูดกลืนรังสีที่ค่าความถี่ต่างๆจะส่งผลให้ขนาดของแอมพลิจูดจะลดลงโดยสัมพันธ์กับปริมาณของตัวอย่างหลังจากนั้นใช้ Fourier Transform ซึ่งเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการแปลงผลที่ได้ (ขึ้นกับเวลา) ให้กลายเป็นค่าความเข้มกับความถี่

2.10.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) [13-14]

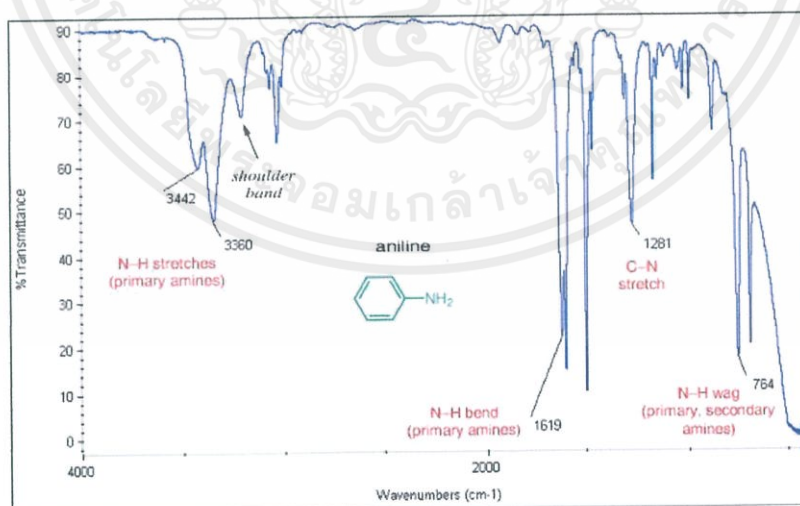
ฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างของสารโดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ 12800 – 10 ต่อเซนติเมตร (cm^{-1}) ดังรูป 2.39 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็งของเหลวและแก๊สรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

- ก. Near Infrared (12800-4000 ต่อเซนติเมตร)
- ข. Middle Infrared (4000-200 ต่อเซนติเมตร)
- ค. Far Infrared (200-10 ต่อเซนติเมตร)



ภาพที่ 2.44 แสดงช่วงของรังสีอินฟราเรด

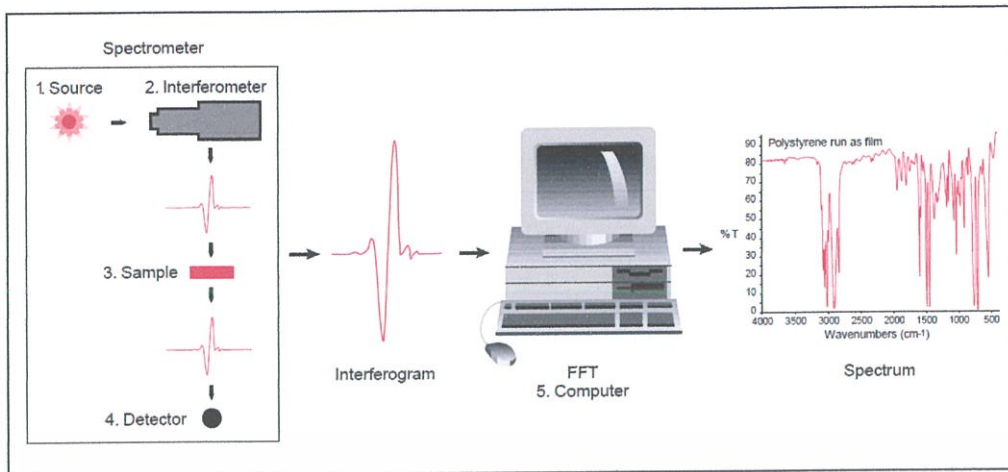
ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำเมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลการที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (Wavenumber) กับการส่งสัญญาณ (Transmittance) ซึ่งเรียกว่าอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared spectrum) ดังแสดงในภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Wave Number กับ Transmittance

2.10.3.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.46 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)

2.10.3.4.1 Light source คือแหล่งกำเนิดรังสีเป็นสารเฉื่อยที่ถูกทำให้ร้อนจนอุณหภูมิระหว่าง 1,000–1,800 องศาเซลเซียส

2.10.3.4.2 Interferometer คือตัวแยกรังสีมีหน้าที่แยกลำรังสีทำให้รังสีเกิดการกระจายตัวแล้วทำการรวมสัญญาณแทรกสอดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับการกระจายตัวของรังสีโดยเครื่องตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วย Mobile mirror, Fixed mirror และ Beam splitter

ก. Sample คือสารตัวอย่างที่เราต้องการวิเคราะห์

ข. Detector คือตัววัดสัญญาณความเข้มแสงที่เหลือจากการดูดกลืนของสารตัวอย่าง

ค. Computer คือส่วนที่มีหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากตัวตรวจวัดเพื่อประมวลผลและแสดงออกมาเป็นกราฟ

2.10.3.5 การทำงานของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

2.10.3.5.1 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดจะทำการผลิตรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นที่จะใช้ในการวิเคราะห์

2.10.3.5.2 Beam Splitter ซึ่ง Beam Splitter จะปล่อยให้ทะลุผ่านไป Fixed Mirror ร้อยละ 50 และสะท้อนกลับมาที่ Mobile Mirror ร้อยละ 50

2.10.3.5.3 Fixed Mirror จะสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter

2.10.3.5.4 Mobile Mirror จะสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter

2.10.3.5.5 อินฟราเรดที่สะท้อนมาจาก Mobile Mirror และ Fixed Mirror จะมารวมกันและเกิดการแทรกสอดกันขึ้นแต่จากการที่ Mobile Mirror สามารถเคลื่อนที่ได้โดยการควบคุมระยะการเคลื่อนที่โดย Laser เมื่อ Mobile Mirror เคลื่อนที่ก็จะทำให้ระยะทางการสะท้อนกลับของรังสีอินฟราเรดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mobile Mirror และ Fixed Mirror ไม่เท่ากันซึ่งส่งผลให้รังสีอินฟราเรดที่ได้มีความยาวคลื่นเปลี่ยนไป อันเกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันหรือหักล้างกันเรียกว่าอินเตอร์เฟอโรแกรม (Interferogram)

2.10.3.6 ข้อดีของฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

2.10.3.6.1 ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง

2.10.3.6.2 มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio: s/n) ต่ำอัตรา s/n จะแปรผันกับรากที่สองของปริมาณสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด

2.10.3.6.3 ความไวของเครื่องตรวจวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่ม s/n ร่วมกับการเพิ่มจำนวนรอบของสแกนมีการใช้ Circular Optical Aperture แทนที่ Entrance Slit ทำให้ลำรังสีมีขนาดมากกว่าแบบ Dispersive ถึง 75-100 เท่า

2.10.3.6.4 มีกำลังแสงสูงเหมาะสำหรับตัวอย่างหรือเทคนิคบางเทคนิคที่มีข้อจำกัดของกำลัง-แสง

2.10.3.6.5 นอกจากนี้ FT-IR ยังให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงรวมทั้งมีความถูกต้องไม่ต่ำกว่า 0.01 ต่อเซนติเมตรมีกลไกทำงานที่ง่าย

2.10.4 เทคนิครามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)

2.10.4.1 คุณลักษณะทั่วไป

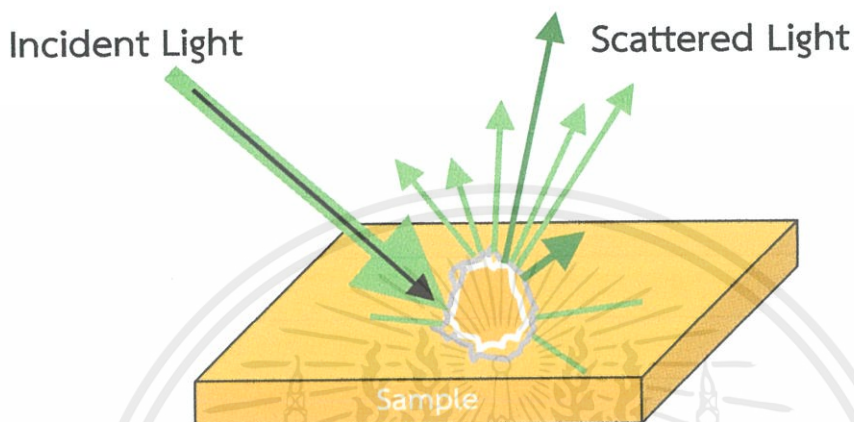
เครื่องรามานสเปกโทรสโกปีเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์วัตถุตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาชนิด (Qualitative analysis) ของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น อัญมณี แร่ และวัสดุต่างๆ โดยไม่ทำลายตัวอย่างหรือทำให้ตัวอย่างเสียหายหรือเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยใช้เทคนิค Raman spectroscopy และมีฐานข้อมูลของแร่ (Spectrum library) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและสามารถเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปปฏิบัติงานนอกสถานที่ได้

2.10.4.2 คุณลักษณะเฉพาะทางวิชาการ

- มีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ โดยเป็นชนิดความยาวคลื่น ประมาณ 532 nm
- มีหัววัดแสง (Detector) แบบ ซี ซี ดี ชนิดแถวเดียว (CCD Linear Array)
- สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสองความยาวคลื่น (Resolution) ได้น้อยกว่า 4 cm^{-1} และมีย่านการวัดอยู่ในช่วงระหว่าง Wave number $100 - 4000 \text{ cm}^{-1}$
- มีโพรบแบบไฟเบอร์ออปติก (Fiber optic sampling probe) สำหรับวัดตัวอย่าง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงที่ใช้วัดตัวอย่างในช่วง 90 - 140 ไมครอน
- มีโปรแกรมควบคุมและประมวลผลข้อมูลการทำงานของชุด Spectrometer โดยสามารถปฏิบัติการแบบ Windows XP หรือสูงกว่า
- มีฐานข้อมูลสเปกตรัมของแร่ (Raman spectrum) ของแร่ อัญมณี และ สารต่างๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ และสามารถบันทึกข้อมูลสเปกตรัมใหม่ๆ เพิ่ม เติมในฐานข้อมูลได้
- มีกระเปาะที่แข็งแรงสามารถจัดเก็บอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่อง และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก
- มีชุดสำรองไฟ (UPS) ที่เพียงพอสำหรับทั้งระบบ

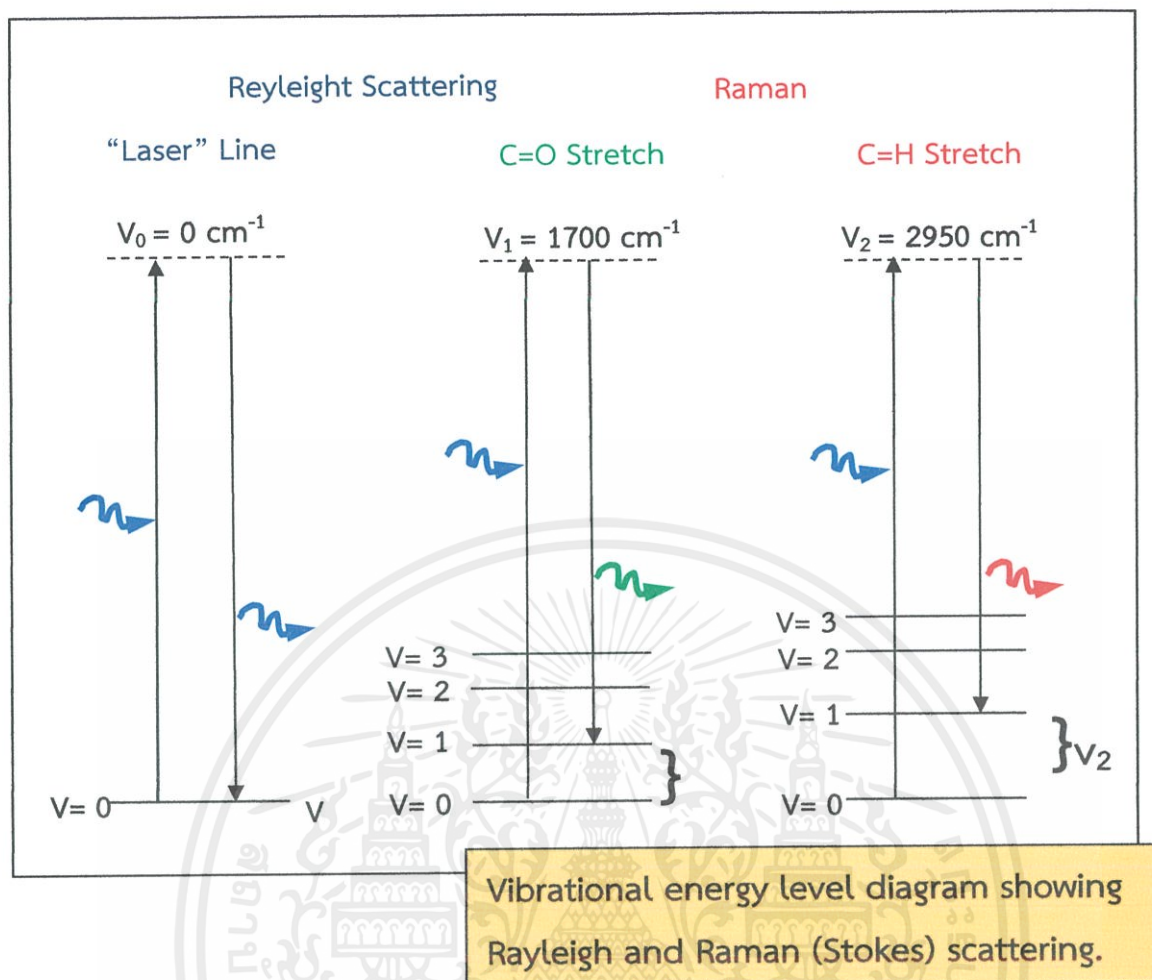
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รามานเป็นปรากฏการณ์ในการกระเจิงของแสงรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการที่แสงตกกระทบวัตถุและส่งผลทำให้โมเลกุลของสารถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะเร้า (หากพิจารณาให้ลึกซึ้งเข้าไปในระดับโมเลกุลก็คือการที่พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลถูกชักนำให้มีสภาพขั้ว หรือ Polarizability เปลี่ยนแปลงไป) และเมื่อโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นพยายามที่จะกลับคืนสู่สถานะปกติซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า (และไม่มี dipole moment ในพันธะเคมี) ก็จะทำให้เกิดการกระเจิงแสง (scattered light) ออกมา



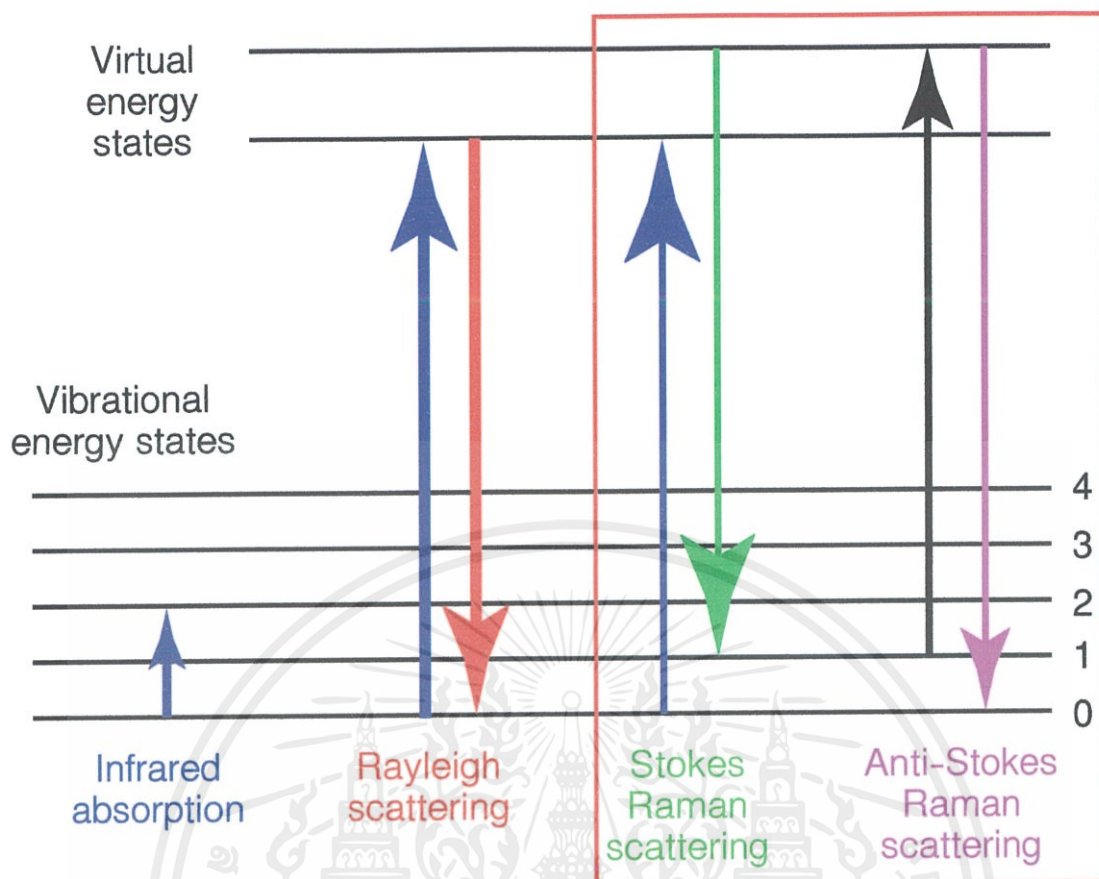
ภาพที่ 2.47 แสดงการกระเจิงแสงที่ตกกระทบวัตถุ

ซึ่งการกระเจิงแสงดังกล่าวข้างต้นจะมีทั้งกระบวนการกระเจิงแสงแบบ Elastic process (พลังงานแสงคงที่) และกระบวนการกระเจิงแสงแบบ Inelastic process (ที่แสงที่กระเจิงออกมามีพลังงานหรือความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นเริ่มต้นของแสงที่ตกกระทบ) ดังแสดงในภาพที่ 2.47



ภาพที่ 2.48 แสดงกระบวนการกระเจิงแสงในแบบ Reyleight scattering และแบบ Raman scatterin

ส่วนใหญ่แล้วแสงที่ตกกระทบจะเกิดการกระเจิงแสงแบบ Rayleigh scattering ซึ่งเป็นกระบวนการแบบ elastic process ในขณะที่เพียง 1 ใน 10⁶ ของแสงที่ตกกระทบจะเป็นแบบรามานหรือเป็นกระบวนการแบบ Inelastic process โดยที่พลังงานแสงเปลี่ยนแปลงไปนั้นอาจจะเป็นได้ทั้งแบบเพิ่มขึ้น (anti-stoke scatter) หรือลดลง (stoke scatter) ดังแสดงในภาพที่ 2.48 และส่วนใหญ่จะเกิดแบบ stoke scatter ง่ายกว่า

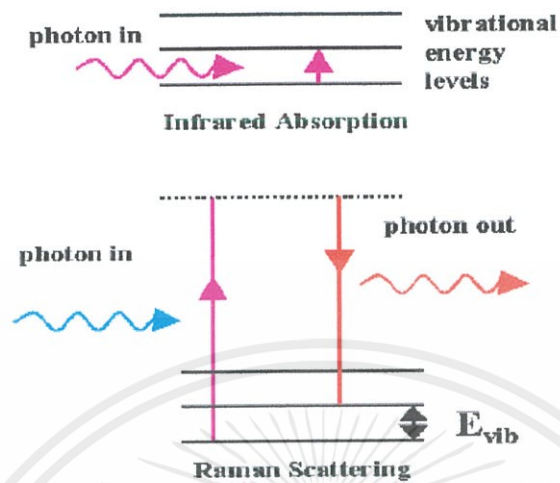


ภาพที่ 2.49 แสดงพลังงานของการกระเจิงแสงแบบต่างๆ เฉพาะในกรอบเท่านั้นที่เป็นการกระเจิงแบบรามานทั้งแบบ stroke และ anti-stroke

แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการกระเจิงในแบบรามานนี้ก็มีความประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์พอลิเมอร์ และนิยมใช้เสริมกับเทคนิคอินฟราเรด สิ่งที่น่าสนใจในส่วนของ การกระเจิงแบบรามานก็คือการที่ผลต่างของพลังงาน(หรือความถี่)ของแสงที่ตกกระทบกับพลังงานแสงที่กระเจิง (เรียกว่า Raman shift) จะมีค่าตรงกันกับพลังงาน (หรือความถี่) ของพันธะในการสั่นของโมเลกุลที่วัดได้จากเทคนิคอินฟราเรด ดังที่แสดงในภาพที่ 2.49



Raman and IR



ภาพที่ 2.50 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่เกิดจากการการกระเจิงและการสั่นของพันธะในโมเลกุล

2.10.5 เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD)

เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันเป็นเทคนิคพื้นฐานของการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุ สามารถนำมาใช้ในการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพ การพัฒนาวัสดุใหม่ และการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตและการใช้งานโดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของธาตุหรือสารประกอบในสารตัวอย่าง ความเค้น ปริมาณความเป็นผลึก เป็นต้น เอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน หรือเทคนิค XRD เป็นเทคนิคที่นำรังสี X มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง

เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอกซ์ ที่ทราบความยาวคลื่น (λ) ไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกันโดยมีห้วงเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองศาในการเลี้ยวเบนของรังสี-เอกซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษา รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้น ของสารประกอบในสารตัวอย่าง อีกทั้งความหนาของฟิล์มได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD [15]

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) เป็นเทคนิคที่มีการใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ โดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบชนิดประเภทของสารประกอบแบบผลึกต่างๆ ในชั้นงานโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้โดยในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีขนาดของหน่วยเซลล์ที่ไม่เท่ากันทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ออกมาไม่เท่ากันทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้างเมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบดังรูป 2.47 โดยอาศัย Bragg's law ซึ่งแสดงเป็นสมการ

$$2d\sin\Theta = n\lambda$$

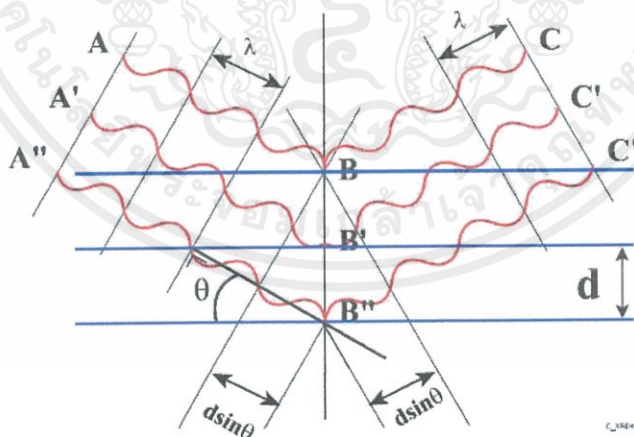
โดย n คือเลขจำนวนเต็ม

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก

Θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอกซ์

ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ยิงผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่างโดยจะใช้เครื่องตรวจจับรับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆของการทดสอบซึ่งสามารถทำการทดสอบตัวอย่างได้รวดเร็วและให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่สูง



ภาพที่ 2.51 แสดงลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก

2.10.5.2 ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD คือไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณหรือองค์ประกอบตัวอย่างที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ได้เนื่องจากสารตัวอย่างกลุ่มนี้จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แต่เราอาจสามารถให้เครื่อง XRD คำนวณหาปริมาณของส่วนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นAmorphous ในตัวอย่างว่ามีสัดส่วนก็เปอร์เซ็นต์ได้โดยใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน

2.10.5.3 ลักษณะตัวอย่างที่เหมาะสมในการส่งเพื่อทดสอบ

เครื่อง XRD สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งในรูปแบบของแข็งหรือตัวอย่างที่เป็นผง (Powder) ได้ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็งด้านที่ต้องการทดสอบผิวจะต้องเรียบส่วนในกรณีตัวอย่างที่เป็นผงจะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 325 เมช (Mesh) หรือประมาณ 40 ไมครอน (Micron) (ผงละเอียดคล้ายผงแป้ง) จึงจะให้ผลการทดสอบที่ดีโดยปริมาณที่ต้องใช้ในการทดสอบต่อครั้งประมาณ 1-2 กรัมในกรณีที่ตัวอย่างเป็นก้อนต้องมีขนาดกว้างยาวไม่เกิน 10 เซนติเมตรทั้งนี้พื้นที่ที่จะทำการทดสอบจะเป็นเพียงบริเวณเล็กๆประมาณ 10 มิลลิเมตรเท่านั้นกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณน้อยมากๆก็อาจทำการทดสอบได้โดยใช้แผ่น Zero Background ในการวางตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบในกรณีที่ต้องการทดสอบชั้นฟิล์มบางเพื่อหาความหนาความหนาของฟิล์มที่เตรียมต้องอยู่ระหว่าง 10-100 นาโนเมตรถ้าต่ำกว่า 10 นาโนเมตรผลการทดสอบจะความคลาดเคลื่อนมากและหากหนาเกิน 100 นาโนเมตรจะไม่สามารถคำนวณความหนาได้

2.10.6 การวัดพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนโดยวิธีบีอีที (Brunauer Emmett Teller; BET)

2.10.6.1 หลักการวิเคราะห์

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) และการกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size- distribution) รวมถึงปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (total pore volume) นั้นจะอาศัยการใช้สมการจากทฤษฎีที่เหมาะสมมาคำนวณซึ่งได้มาจากข้อมูลดิบของกราฟไอโซเทอม(isotherm) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) กับปริมาตรหรือน้ำหนักของก๊าซที่ถูกดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) ของวัสดุนั้นๆ

2.10.6.2 ความรู้พื้นฐานพื้นที่ผิวจำเพาะและการกระจายขนาดของรูพรุน

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ตามทฤษฎีของ BET (The Brunauer Emmett Teller) ใช้หลักการของการดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ โดยมีสมมติฐานว่าการดูดซับของก๊าซเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวไม่จำเพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่ง และอีกสมมติฐานหนึ่งคือก๊าซที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับบนพื้นผิวได้ดีกว่าการที่ก๊าซเกิดดึงดูดกันเอง (ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ใช้ก๊าซไนโตรเจน, N_2) โดยปกติในการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องในการใช้ทฤษฎีของ BET กับสารตัวอย่างสามารถดูได้ที่ตัวบ่งชี้ที่ได้จากการทดสอบดังนี้

1. ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้ควรเป็นเส้นตรง

2. ค่าคงที่ของ C (C – Values) โดยปกติจะอยู่ในช่วง 50 – 300 ซึ่งค่าคงที่ C ที่ค่าน้อยกว่า 50 แสดงว่าก๊าซเกิดการดึงดูดกันเองด้วยนอกจากจะไปดูดซับบนพื้นผิวของของแข็งตามสมมติฐานเบื้องต้นของทฤษฎีของ BET ส่วนกรณีที่ค่าคงที่ C มีค่ามากกว่า 300 มากๆแสดงว่าการดูดซับของก๊าซบนพื้นผิวของของแข็งเกิดขึ้นได้ดีมากหรือมีบางจุดบนพื้นผิวที่ดูดซับได้ดีกว่าบริเวณอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

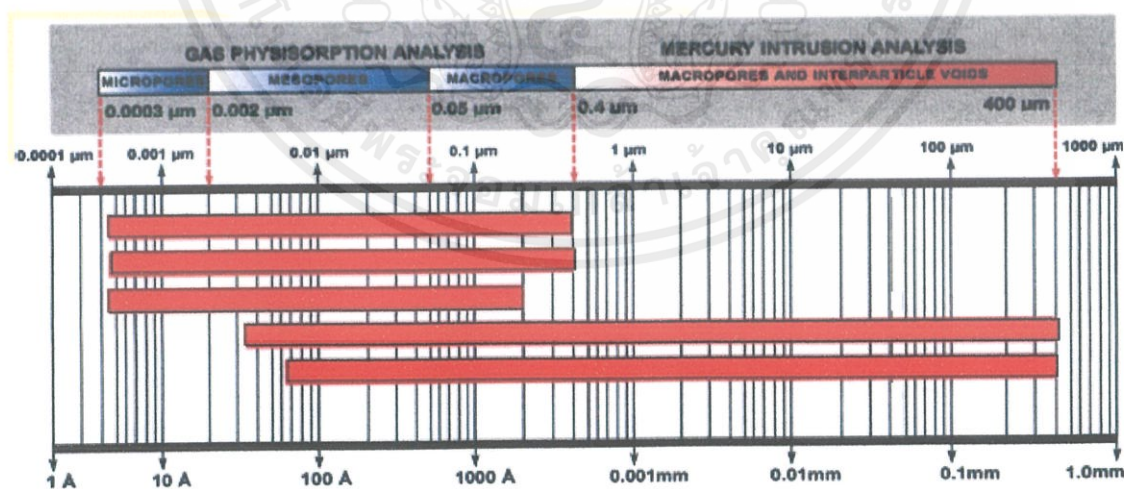
3. ค่า coefficient of correlation ของเส้นกราฟต้องมีค่าน้อยเท่ากับ 0.999 สำหรับกรณีที่วิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยทฤษฎีของ BET แล้วได้เส้นกราฟที่เป็นเส้นตรงหรืออาจมีความเบี่ยงเบนเล็กน้อยแต่เมื่อดูค่าคงที่ C แล้วไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมหรือมีค่าเป็นลบแสดงว่าการดูดซับของก๊าซบนพื้นผิวของของแข็งไม่สอดคล้องกับทฤษฎีของ BET โดยจะแบ่งเป็นสองกรณี คือ

- กรณีที่ตัวอย่างมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า $500 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีค่าคงที่ C สูงมาก ๆ หรือเป็นลบแสดงว่าตัวอย่างอาจจะมีรูพรุนขนาด micropore ในกรณีเช่นนี้ควรนำทฤษฎีของ Langmuir มาใช้ในการอธิบายผลการวิเคราะห์โดยหลักการแล้วทฤษฎีของ Langmuir มีสมมติฐานของการดูดซับของก๊าซว่าเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว (monolayer) ซึ่งต่างจากทฤษฎีของ BET ที่พัฒนาไปจากทฤษฎีของ Langmuir โดยปรับสมมติฐานการดูดซับของก๊าซว่าเกิดขึ้นได้หลายชั้น (multi-layer) ซึ่งตรงกับพฤติกรรมโดยส่วนใหญ่ของสารต่างๆ อย่างไรก็ตามทฤษฎีของ Langmuir สามารถใช้อธิบายการดูดซับก๊าซของสารที่มีรูพรุนอยู่ในช่วงรูพรุนระดับไมโคร (Micropore) ได้ดีโดยข้อจำกัดในสมมติฐานจะเปลี่ยนจากการเกิดการดูดซับที่พื้นผิวเพียงชั้นเดียวเป็นการที่ก๊าซเข้าไปเติมเต็มในรูพรุนขนาดไมโคร (Micropore)

- กรณีที่พื้นที่ผิวจำเพาะไม่สูงมากแต่มีค่าคงที่ C เป็นลบแสดงว่าสารอาจไม่มีรูพรุนขนาดไมโคร (Micropore) แต่มีลักษณะที่ทำให้ก๊าซเกิดการดึงดูดกันเองได้ดีกว่าการมาดูดซับที่พื้นผิวทำให้ประมาณได้ว่าการดูดซับเพียงชั้นเดียวซึ่งตรงกับทฤษฎีของ Langmuir การจำแนกขนาดของรูพรุนอาศัยสมบัติด้านการดูดซับและการควบแน่นในรูพรุน

สำหรับการจำแนกขนาดรูพรุนของวัสดุจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้คือ

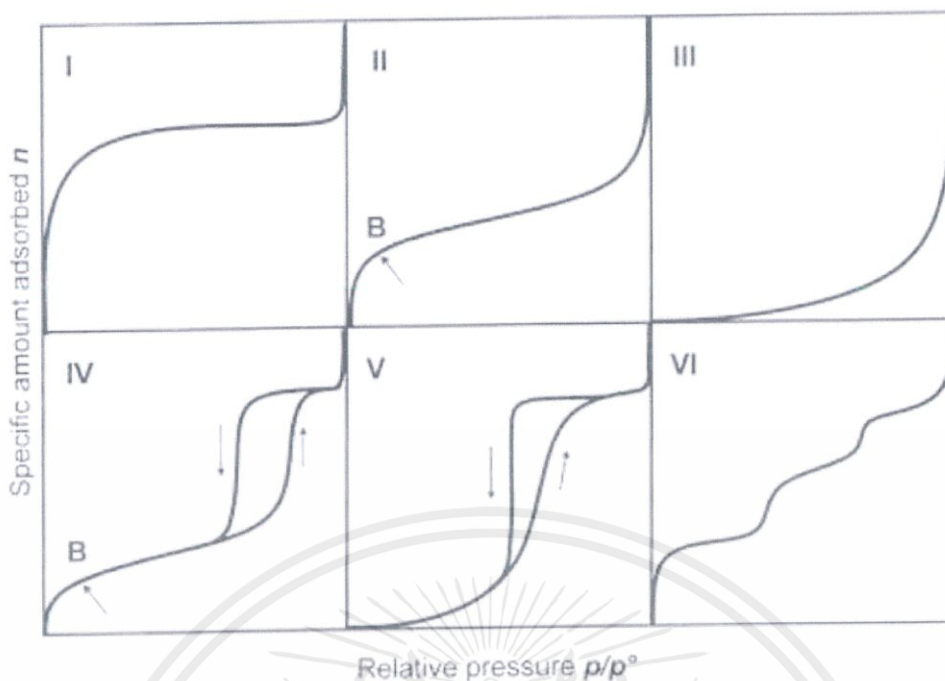
1. กลุ่ม Micropore มีขนาดน้อยกว่า 20 อังสตรอม (2×10^{-9} เมตร)
2. กลุ่ม Mesopore มีขนาดอยู่ในช่วง 20 อังสตรอม (2×10^{-9} เมตร) – 500 อังสตรอม (5×10^{-8} เมตร)
3. กลุ่ม Macropore มีขนาดมากกว่า 500 อังสตรอม (5×10^{-8} เมตร)



ภาพที่ 2.52 แสดงการจำแนกขนาดรูพรุนของวัสดุ

ไอโซเทอมของการดูดซับ ออกเป็น 6 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 2.51 [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.53 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับ

ชนิดที่ I บ่งบอกถึงพวกรูพรุนไมโครพอร์ส (microporous, ต่ำกว่า 2 nm) เช่น พวคาร์บอน (activated carbon), ซีโอไลต์

ชนิดที่ II บ่งบอกถึงพวกไม่มีรูพรุน (nonporous) หรือมีรูพรุนขนาดใหญ่ (macroporous, 50 nm ขึ้นไป)

ชนิดที่ III บ่งบอกถึงพวกไม่มีรูพรุน (nonporous) หรือมีรูพรุนเป็นไมโครพอร์ส (microporous) ซึ่งการดูดซับแบบนี้ แรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับไม่แข็งแรง

ชนิดที่ IV พบมากในพวกวัสดุที่มีรูพรุนเป็นส่วนใหญ่ บ่งบอกถึงพวกที่มีรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous, 2-50 nm) กราฟเป็น Hysteresis loop

ชนิดที่ V บ่งบอกถึงพวกรูพรุนไมโครพอร์ส (microporous) และมีโซพอร์ส (mesoporous) กราฟเป็น Hysteresis loop

ชนิดที่ VI บ่งบอกถึงพวกไม่มีรูพรุน (nonporous) เป็นการดูดซับแบบ multistep

2.10.7 เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectroscopy)

2.10.7.1 หลักการเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS

spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1,000 นาโนเมตร เพราะสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกันจึงสามารถวัดในเชิงคุณภาพได้และปริมาณการดูดกลืนรังสีขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้นนอกจากนี้การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารจึงสามารถวัดในเชิงปริมาณได้จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.7.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

2.10.7.2.1 Light source

แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอสำหรับการวัดโดยในช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 นาโนเมตรและช่วงVisibleใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตรเป็นต้น

2.10.7.2.2 Monochromator

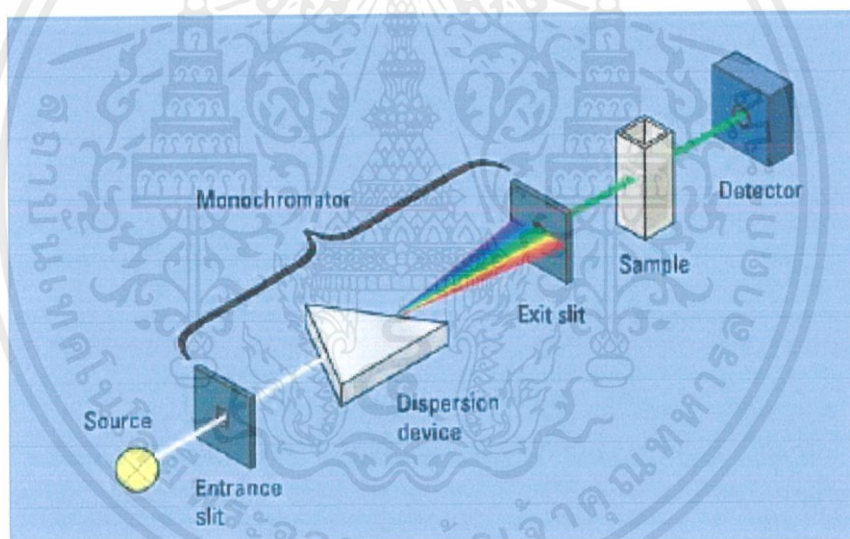
เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงให้เป็นแสงสีเดียวหรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติง

2.10.7.2.3 Cell sample

เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างสำหรับการวัดบางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวต (Cuvettes) ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวี (UV) และวิสิเบิล (Visible)

2.10.7.2.4 Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนแปลงเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 2.54 แสดงองค์ประกอบของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectroscopy)
(ที่มา:spectrophotometerhttp://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters
/Instruments/UV_Vis/Cary50.html)

2.10.7.3 ชนิดของเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

2.10.7.3.1 Single-Beam spectrophotometer มีไลนการวัดเพียงเส้นเดียวในการวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

2.10.7.3.2 Double-Beam Spectrophotometer มีไลนการวัดโดยการแบ่งรังสีออกเป็น 2 สายทำให้มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลาจึงสามารถวัดเบสไลน์และสารตัวอย่างได้พร้อมๆ กัน [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนจากน้ำมันเครื่องที่เหลือใช้ผสมกับเบนซีน โดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลว (Solution plasma process ;SPP) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมโดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีน เพื่อศึกษาถึงผลของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอน และศึกษาถึงการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อม ซึ่งสีย้อมที่ใช้ ก็คือ สีย้อมเมทิลีนบลู (Methylene blue; MB) ซึ่งเป็นตัวแทนของสีย้อมที่ทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องพลาสมา (Plasma)

3.1.1.2 ขั้วไฟฟ้าทังสเตน (Tungsten electrode)

3.1.1.3 เครื่องสเตอร์เรอร์ (Stirrer)

3.1.1.4 เครื่องกรอง (Filter)

3.1.1.5 เตาอบ (Oven)

3.1.1.6 บีกเกอร์ (Beaker)

3.1.1.7 กระดาษกรอง (Filter paper); เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90

มิลลิเมตร

3.1.1.8 ช้อนตักสาร (Spatula)

3.1.1.9 อลูมินัมฟอยล์ (Aluminum foil)

3.1.1.10 แผ่นพาราฟิน (Paraffin sheet)

3.1.1.11 เครื่องเขย่าสาร (Shaker)

3.1.1.12 ถ้วยเผาสาร (Combustion boat)

3.1.2 วัสดุและสารเคมี

3.1.2.1 น้ำมันเครื่องที่เหลือใช้ (Used motor oil)

3.1.2.2 เบนซีน (Benzene) Qrec (> 99.0% purity)

3.1.2.3 เอทานอล (Ethanol) RCI Labscan (> 99.9% purity)

3.1.2.4 อะซิโตน (Acetone) RCI Labscan (> 99.5% purity)

3.1.2.5 น้ำปราศจากไอออน (De-ionized water)

3.1.2.6 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.7 สีย้อมเมทิลีนบลู (Methylene blue)

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

3.1.3.1 เครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Digital weight balance)

3.1.3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

3.1.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope; FE-SEM)

3.1.3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR)

3.1.3.5 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray powder diffraction (XRD)

3.1.3.6 เครื่องรามานสเปกโทรสโคป (Raman spectroscope)

3.1.3.7 การวัดพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนโดยวิธีบีอีที (Brunauer Emmett Teller; BET analysis)

3.1.3.8 เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer)

3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนจากน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วผสมกับเบนซีนที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับเบนซีน เท่ากับ 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 ด้วยวิธี Solution plasma process (SPP)

3.2.1 เตรียมน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้แล้ว (Used motor oil) และเบนซีน (Benzene)

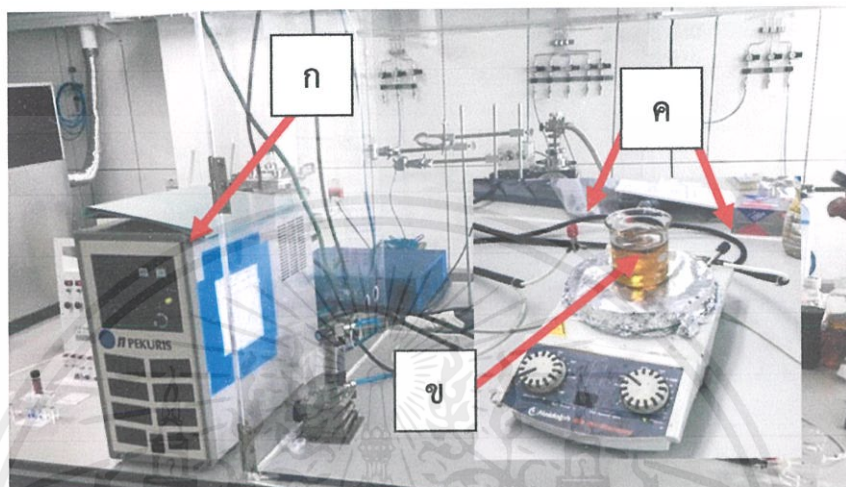


ภาพที่ 3.1 แสดงการเตรียมตัวอย่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Used motor oil) และเบนซีน (Benzene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การติดตั้งระบบพลาสมาวิภาคของเหลว

กระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวเกิดขึ้นในระบบเปิดภายในเครื่องปฏิกรณ์แก้วที่มีขั้วอิเล็กโทรดติดตั้งอยู่ทั้งสองข้างของเครื่องปฏิกรณ์ [3] มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองข้าง 0.5 มิลลิเมตรเชื่อมต่อขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเข้ากับเครื่องพาวเวอร์ซัพพลายระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์



(ต่อ) ภาพที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาวิภาคของเหลว

โดยที่ ก. พาวเวอร์ซัพพลาย
ข. ถังปฏิกรณ์พลาสมา
ค. ขั้วอิเล็กโทรด

3.2.3 ผสมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับเบนซินที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับเบนซิน ดังนี้ 80:20 60:40 40:60 และ 20:80 ตามลำดับ โดยผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวน (Stirrer)



ภาพที่ 3.3 แสดงการนำน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ผสมกับเบนซินไปผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) โดยไปการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน (Stirrer)

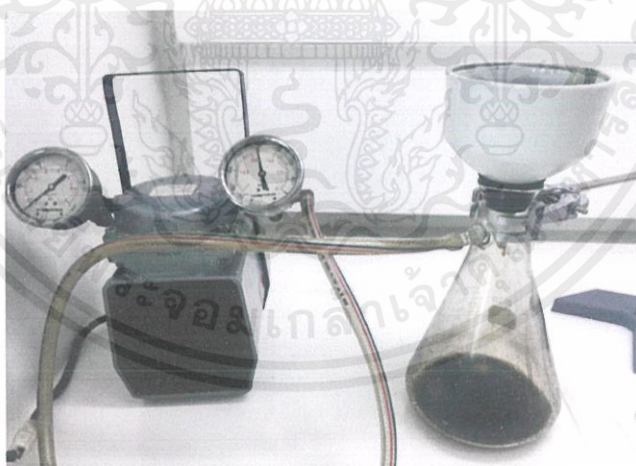
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 นำไปผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (Solution plasma process; SPP) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (SPP)

พารามิเตอร์	เงื่อนไข
Bipolar DC pulse power supply	Perkuris HV-002
ขั้วไฟฟ้า (Electrode)	Tungsten(W) 1.0 mm
กระแสไฟฟ้า (Voltage)	1.5 – 2.0 kV
Pulse duration	2 μ s
ความถี่ (Frequency)	15 kHz
เวลา (Time)	60 min

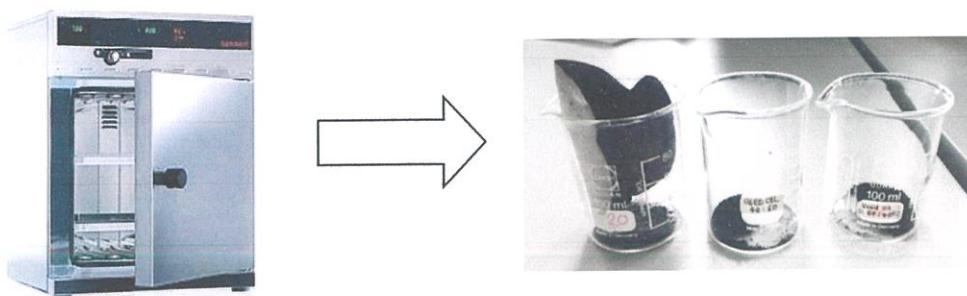
3.2.5 ทำการกรองอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยเครื่องกรอง (Filter) โดยระหว่างการกรองจะทำการล้างน้ำมันด้วยเอทานอล (Ethanol)



ภาพที่ 3.4 แสดงกระบวนการกรอง (Filtration) และล้างด้วยเอทานอล และน้ำไร้ประจุ

3.2.6 ทำการอบด้วยตู้อบ (Oven) เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาดำคืน (Overnight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 แสดงการอบหลังกระบวนการกรอง และกระตาศกรองที่ได้หลังการอบ

3.2.7 ทำการบดอนุภาคนาโนคาร์บอน (Grinding) ที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยครกหยก (Mortar and pestle)



ภาพที่ 3.6 แสดงการบดเพื่อให้ได้อนุภาคนาโนคาร์บอน (CNPs) ออกมา

3.2.8 นำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้หลังกระบวนการบด (Grinding) เรียบร้อย แล้วนำมาเก็บในบรรจุภัณฑ์ และติดป้ายชื่อ



ภาพที่ 3.7 แสดงการนำอนุภาคนาโนคาร์บอน (CNPs) ที่ได้ไปบรรจุภัณฑ์ และติดป้ายชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 นำไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและของเคมีของอนุภาคนาโนคาร์บอน

- Scanning Electron Microscope (SEM) ใช้ในการตรวจวิเคราะห์รูปแบบและโครงสร้างของอนุภาคนาโนคาร์บอน

- Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว ขนาด รูปร่างของอนุภาค และลักษณะการกระจายของเฟสในโครงสร้างจุลภาค ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในงานวิจัย และงานภาคอุตสาหกรรม

- Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนคาร์บอน และถ่านกัมมันต์

- X-ray powder diffraction (XRD) ใช้ในการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนคาร์บอน

- Raman spectroscopy ใช้ในการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของอนุภาคนาโนคาร์บอน

- Brunauer Emmett Teller (BET analysis) ใช้ในการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวจำเพาะ, ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านกัมมันต์

- UV-visible spectrophotometer ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน

3.3 การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) สำหรับใช้ในการประยุกต์เป็นตัวกำจัดสีย้อม (dye removal application)

3.3.1 การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) โดยนำไปเผากระตุ้นร่วมกับเกลือโดยเกลือที่ใช้จะเป็นเกลือกลาง ก็คือโซเดียมคลอไรด์ (Sodiumchloride; NaCl)

3.3.1.1 นำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด ก็คืออนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขระหว่างน้ำเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่สัดส่วน 80:20 จากนั้นนำมาผสมกับเกลือกลาง ก็คือ โซเดียมคลอไรด์ (Sodiumchloride; NaCl) ที่สัดส่วนระหว่างอนุภาคนาโนคาร์บอนกับโซเดียมคลอไรด์ ที่ 100:400 กรัมหรือที่สัดส่วน 1:4 แล้วเติมน้ำไร้ประจุ 20 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ค้างคืน ต่อมานำมาทำการปั่นกวนด้วยแม่เหล็กปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรอง และไปอบในเตาอบเป็นเวลาค้างคืน

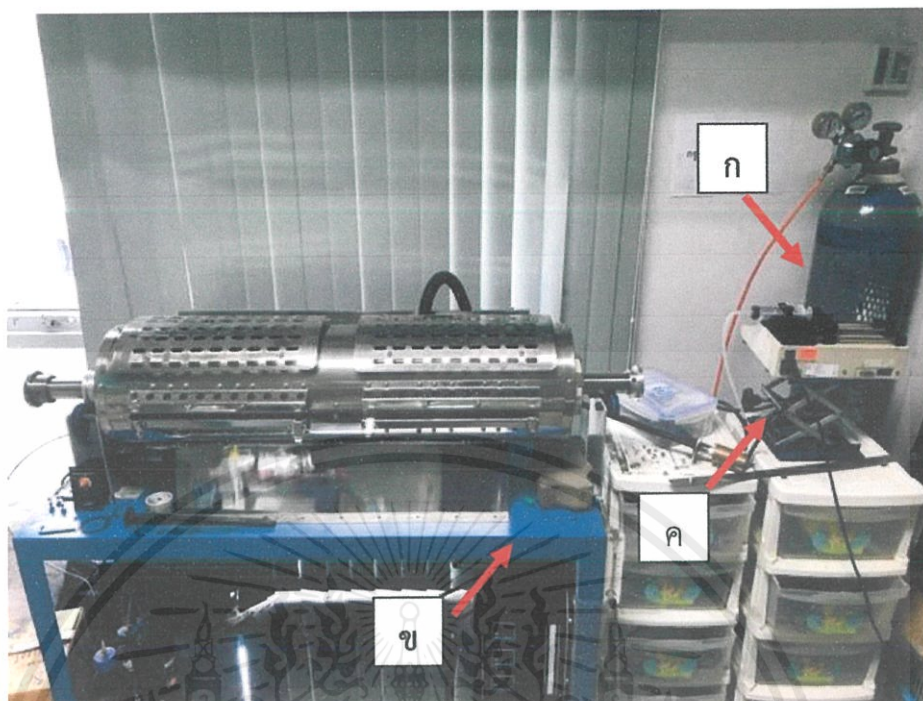
3.3.1.2 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยในการเผาจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1: รอให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

- ขั้นตอนที่ 2: อุณหภูมินั้นจะคงที่ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 3: รอให้อุณหภูมินั้นลดลง เป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) โดยผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation)

โดยที่ ก. ถังแก๊สไนโตรเจน

ข. เตาเผา (โดยภายในเตาเผาจะวางที่ใส่สารไว้ในท่อบริเวณตรงกลางของเตาเผา)

ค. เครื่องที่ใช้ในการพ่นน้ำ (Flow H₂O) ประกอบด้วยกระบอกฉีดปริมาตร 60 มิลลิลิตร

3.3.1.3 นำถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตออกจากเตาเผา แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล แล้วเก็บใส่ขวดและติดป้ายชื่อ

3.3.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ หรือการเผาที่สภาวะไอน้ำ (Stream activation)

3.3.2.1 นำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขที่ดีที่สุดนำมาใส่ที่ใส่สาร (boat) จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการเผาด้วยไอน้ำ (Stream activation) ที่อุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส โดยในการเผาจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

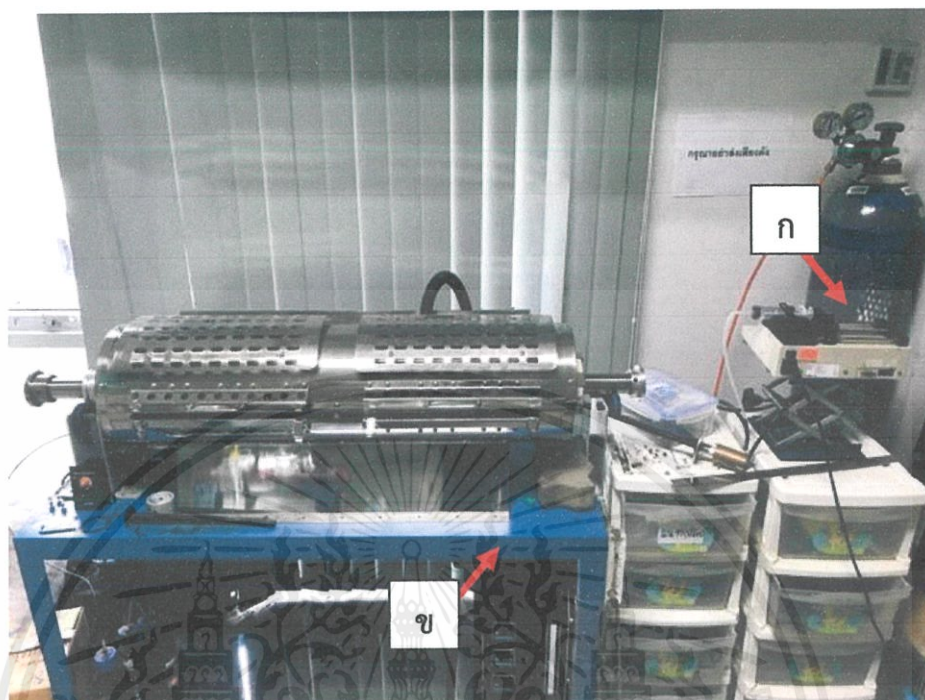
- ขั้นตอนที่ 1: รอให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 17 นาที

- ขั้นตอนที่ 2: อุณหภูมินั้นจะคงที่ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

- ขั้นตอนที่ 3: รอให้อุณหภูมินั้นลดลง เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 นำถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตออกจากเตาเผา แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล แล้วเก็บใส่ขวดและติดป้ายชื่อ



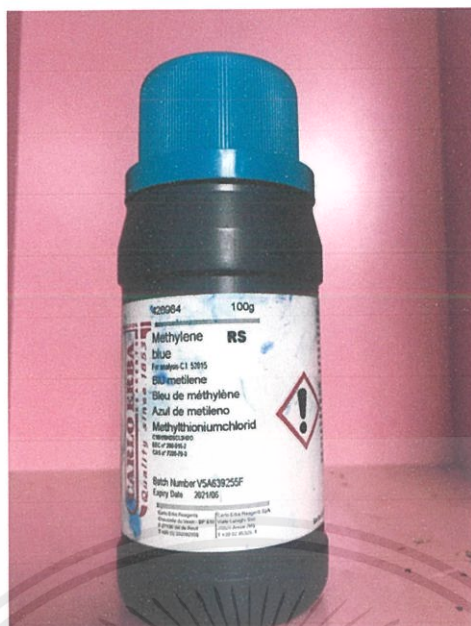
ภาพที่ 3.9 แสดงเครื่องเผาที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) โดยผ่าน กระบวนการกระตุ้นด้วยเคมี (Chemical activation) โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น

โดยที่ ก. ถังแก๊สไนโตรเจน

ข. เตาเผา (โดยภายในเตาเผาจะวางที่ใส่สารไว้ในท่อบริเวณตรงกลางของเตาเผา)

3.3.3 การนำเอาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นมาทำการทดสอบเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อม โดยสีย้อมที่เลือกใช้ ได้แก่ เมทิลีนบลู ซึ่งเป็นตัวแทนสีย้อมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 แสดงสีย้อมเมทิลีนบูล (Methylene blue)

3.3.3.1 ทำการเตรียมสีย้อมเมทิลีนบูล โดยเติมน้ำไร้ประจุ ปริมาตร 100 มิลลิเมตร ลงในบีกเกอร์ แล้วนำไปผสมกับสีย้อมเมทิลีนบูล ปริมาณ 0.0025, 0.0050 และ 0.0075 กรัม (ก็คือที่ ความเข้มข้น 25, 50 และ 75 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (ppm)) ให้เข้ากันภายในบีกเกอร์



ภาพที่ 3.11 แสดงสีย้อมเมทิลีนบูล (Methylene blue) ที่ความเข้มข้น 25, 50 และ 75 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (ppm)

3.3.3.2 นำถ่านกัมมันต์เจือปนไซ ดังต่อไปนี้ คือ BA, ST_600, ST_700, ST_800, CA_400, CA_500 และ CA_600 ไปทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ปริมาณ 0.0100 กรัม และเติมลงในขวดที่บรรจุสีย้อมเมทิลีนบูลไว้แล้ว ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 จากนั้นนำสีย้อมเมทิลีนบลูที่ทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 คืน

3.3.3.4 นำสีย้อมเมทิลีนบลูมาทำการกรองเพื่อแยกถ่านกัมมันต์กับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ทำการดูดซับแล้วด้วยกระดาษกรอง

3.3.3.5 นำสีย้อมเมทิลีนบลูที่ทำการดูดซับแล้วไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี ส่วนคาร์บอนที่กรองออกมานั้นนำไปทำการอบเป็นเวลา 1 คืน

3.3.3.6 นำสีย้อมเมทิลีนบลูที่ทำการดูดซับแล้วไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี ส่วนคาร์บอนที่กรองออกมานั้นนำไปทำการอบเป็นเวลา 1 คืน

3.3.3.7 เลือกถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ดีมาทำการดูดซับอีกครั้งหลังจากที่อบไว้เป็นเวลา 1 คืน

หมายเหตุ:

- BA : Before activation
- ST: Steam activation
- CA: Chemical activation
- ส่วน 400, 500, 600, 700 และ 800 เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

3.4 การวิเคราะห์วัสดุหลังการสังเคราะห์

3.4.1 การวิเคราะห์ผลผลิต (Yield) ของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลความละเอียดสูง (Digital weight balance)



(ต่อ) ภาพที่ 3.12 แสดงภาพเครื่องชั่งแบบดิจิตอลความละเอียดสูง (Digital weight balance)

3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM)

การศึกษาข้อมูลลักษณะพื้นฐาน (Morphology) ของอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยตัวอย่างจะทำการเคลือบด้วยทองด้วยวิธีสปัตเตอร์ริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Sputtering) ก่อนทำการวัด เพื่อให้พื้นผิวของตัวอย่างมีการนำไฟฟ้าทำให้ผลในการตรวจวัดมีความคมชัด ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Scanning electron microscope	Hitachi, s3400N
Magnification	1000X 3000X 5000X และ 10000X
Voltage	20 kV



ภาพที่ 3.13 แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FESEM)

การศึกษาข้อมูลสัณฐานวิทยา (Morphology) ของอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เงื่อนไขที่ใช้ในการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน

Field Emission Scanning Electron Microscope	JEOL JSM-7610F
Magnification	100000x
Voltage	10 kV



ภาพที่ 3.14 แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน

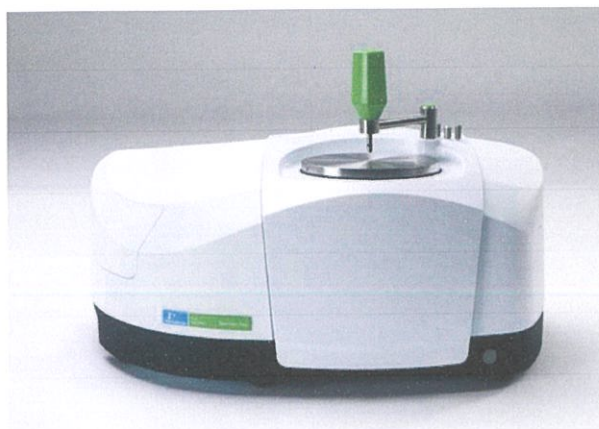
3.4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FT-IR)

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) บนพื้นผิวของตัวอย่าง โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

FT-IR Spectrometer	Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR
Measurement mode	ATR
Wavenumber range	500-4000 cm^{-1}
Step	1 cm^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 แสดงภาพเครื่องฟูรีเยร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

3.4.5 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy) การวิเคราะห์เอกลักษณ์ (Identify) บนพื้นผิวของตัวอย่าง ตัวอย่าง โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี

Raman spectroscopy	Thermo SCIENTIFIC
Model	DXR SmartRaman



ภาพที่ 3.16 แสดงภาพเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี

3.4.6 การวิเคราะห์ระนาบและองค์ประกอบของเฟสด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction; XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ใช้วิเคราะห์ระนาบ ความเป็นผลึก และองค์ประกอบของเฟส (Phase structure) บนพื้นผิวของตัวอย่าง โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 เงื่อนไขในการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

X-ray diffraction	Smart lab X-ray diffractometer
2θ	10-80 $^{\circ}$
Step	0.01 $^{\circ}$
Speed	4 $^{\circ}$ min $^{-1}$
Voltage	40 kV
Current	30 mA



ภาพที่ 3.17 แสดงภาพเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

3.4.7 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิคการดูดซับ การคายซับของก๊าซไนโตรเจน (N_2 -adsorption desorption isotherm)

เป็นการวัดพื้นที่ผิว (Surface area) และความเป็นรูพรุน (Porosity) ของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้การดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) ของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิคงที่ โดยมีเงื่อนไขของการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 เงื่อนไขในการวิเคราะห์พื้นผิว และความเป็นรูพรุน

Sample density	1.000 g/cm ³
Analysis adsorptive	N ₂
Analysis bath temp.	77.300 K



ภาพที่ 3.18 แสดงภาพเครื่องวัดขนาดรูพรุน และพื้นที่ผิว

3.4.8 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis spectroscopy)

การวิเคราะห์การดูดกลืนแสง แสดงดังตารางที่ 3.6

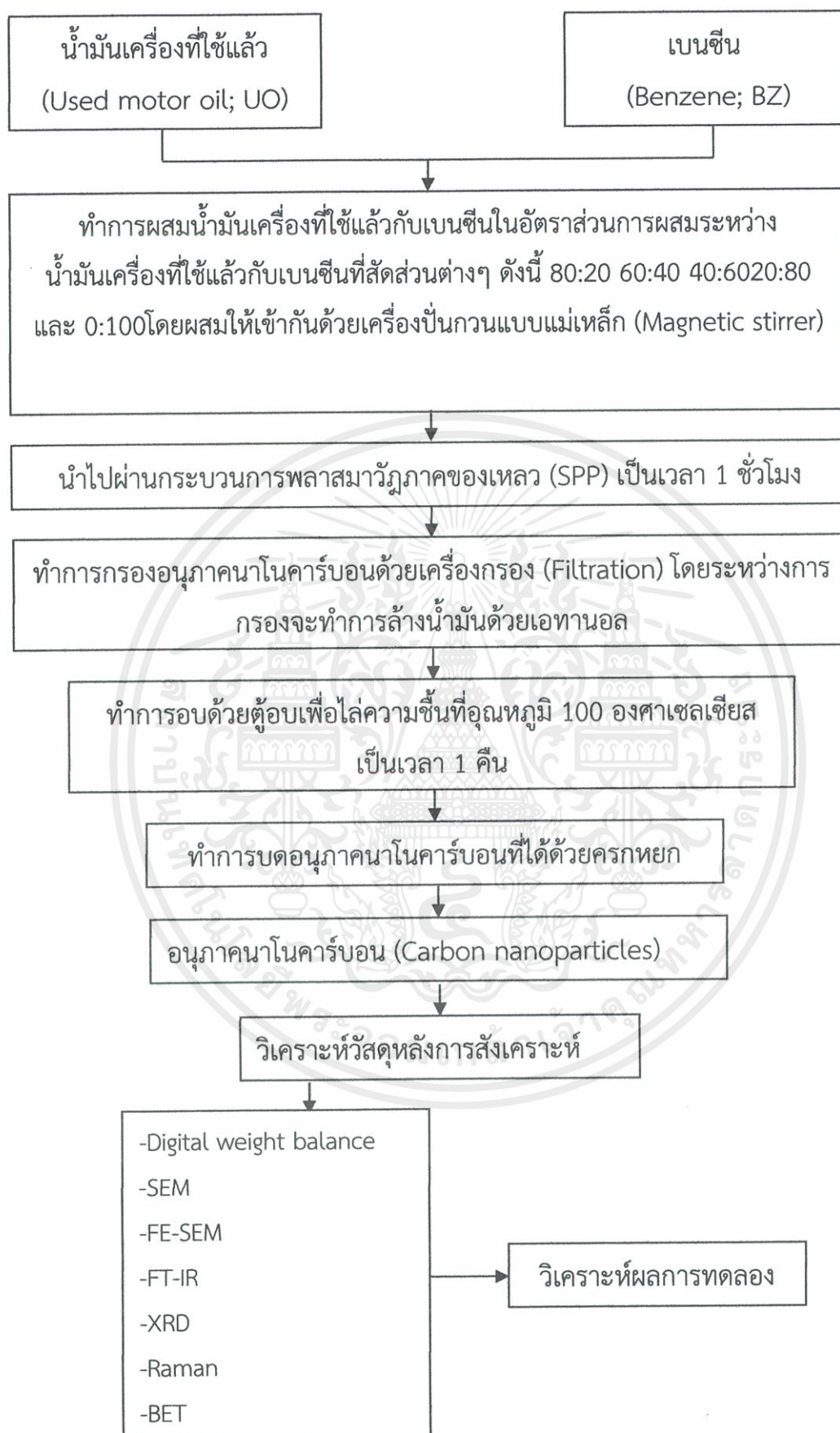
ตารางที่ 3.6 เงื่อนไขในการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

Wavelength	200-700 nm
------------	------------



ภาพที่ 3.19 แสดงภาพเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

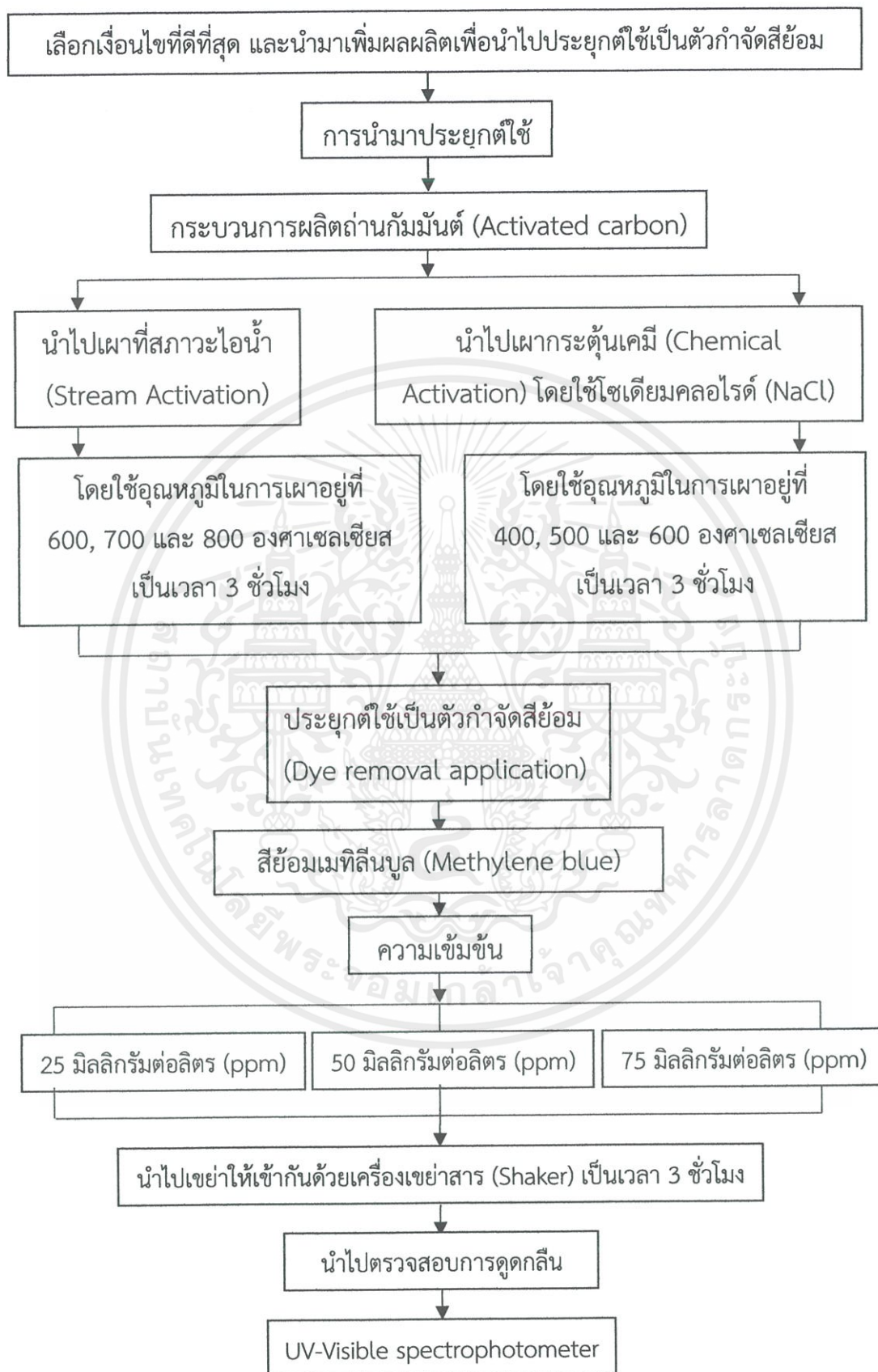
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ) การนำมาประยุกต์ใช้



ภาพที่ 3.20 (ต่อ) แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

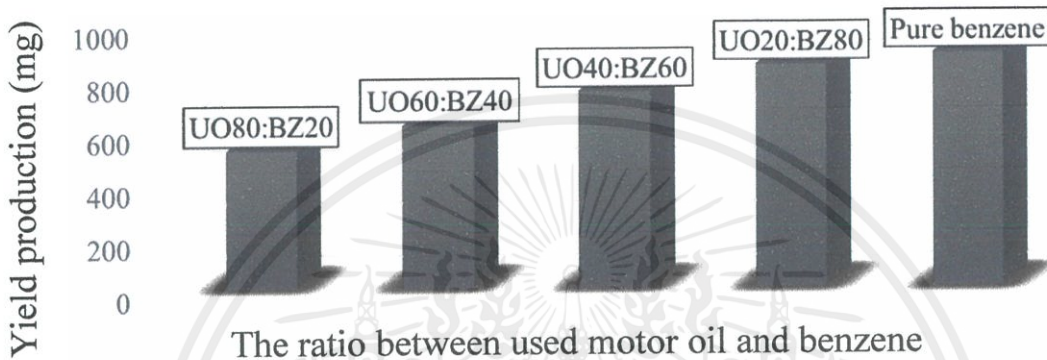
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว



ภาพที่ 4.1 ผลผลิตของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว (UO) กับเบนซีน (BZ) โดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีน ดังนี้ BZ100, UO20:BZ80, UO40:BZ60, UO60:BZ40 และ UO80:BZ20 ตามลำดับ

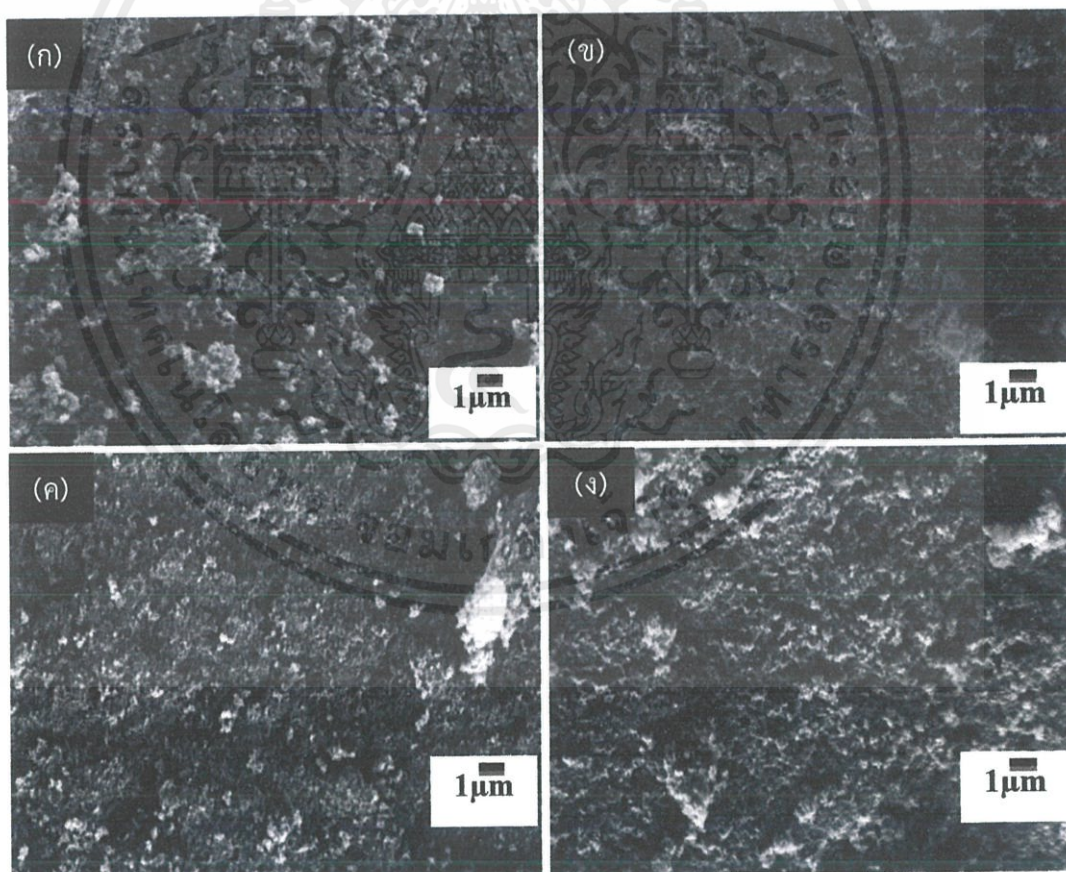
ปริมาณน้ำหนักของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว (UO) กับเบนซีน (BZ) โดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่การสังเคราะห์ที่สัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่แตกต่างกัน จะมีอัตราค่าเฉลี่ยของการสังเคราะห์ที่อยู่ในช่วง 8.6 – 14.6 มิลลิกรัมต่ออนาที โดยจำนวนปริมาณของอนุภาคนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนปริมาณของเบนซีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากในสารละลายเบนซีนจะมีส่วนประกอบของโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) โดยในการทดลองนี้ปริมาณการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนจะได้มาจากทั้ง 2 ทางคือ ทางโมเลกุลสายโซ่ตรง (Aliphatic) ที่อยู่ในน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้แล้วและจากทางโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) ในสารละลายเบนซีน ปริมาณของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์มาจากโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) จะมีปริมาณมากกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) เนื่องจากในโครงสร้างของโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) จะประกอบด้วยพันธะพายคอนจูเกต (π -conjugated) ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มปริมาณในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอน ซึ่งจะสอดคล้องกับรายงานของ Morishita et al ที่รายงานไว้ว่าอัตราการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้รับจากโมเลกุลวงแหวนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหวน (Aromatic) โดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของอนุภาคนาโนคาร์บอนของเหลว (SPP) จะมีอัตราการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่มากกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) [17]

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

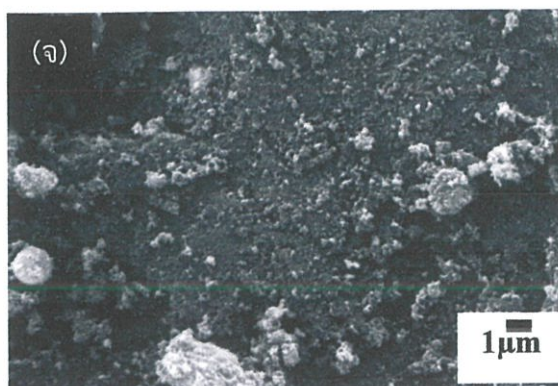
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว

4.2.1.1 อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนจากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นลักษณะของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีน ซึ่งผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลว (SPP) ที่สัดส่วนต่างๆ ระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีน ดังนี้ 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 0:100 ตามลำดับ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิว ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

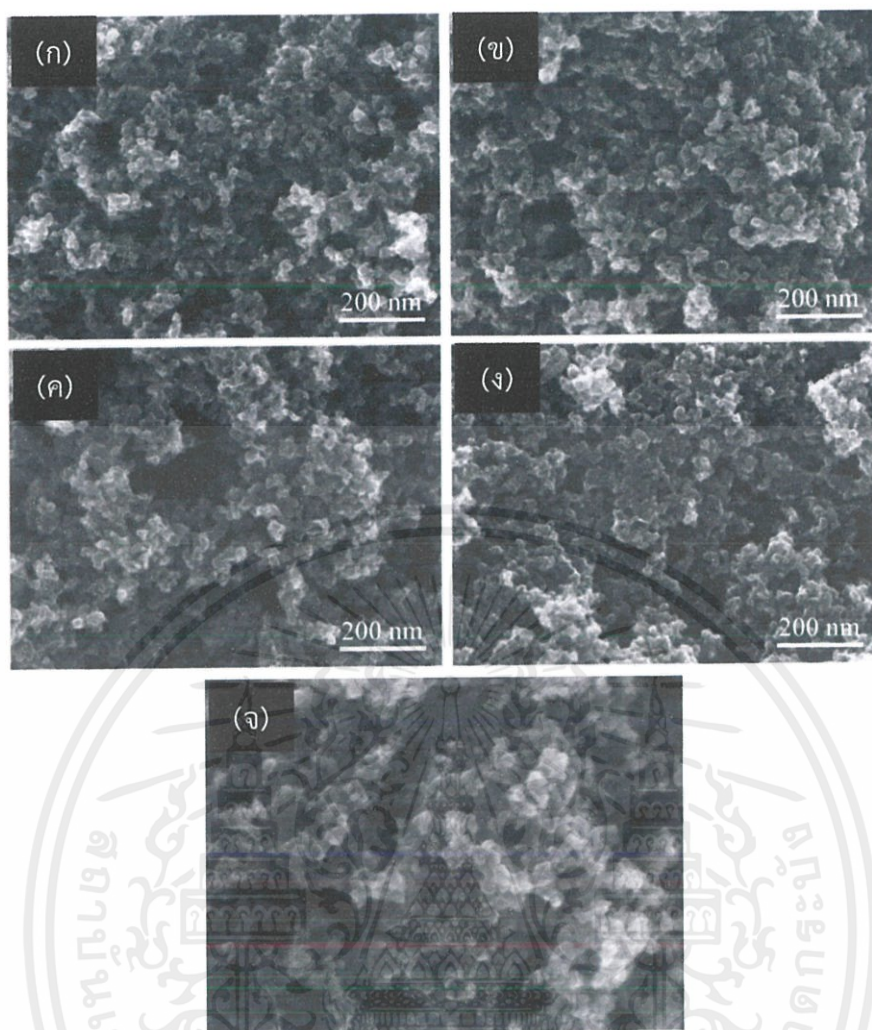


(ต่อ) ภาพที่ 4.2 ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 5000x ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สกัดส่วนต่างๆ

- ดังนี้ (ก) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 20:80
 (ข) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 40:60
 (ค) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 60:40
 (ง) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 80:20
 และ (จ) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 0:100 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

พบว่า การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ไม่สามารถมองเห็นถึงลักษณะพื้นผิวของอนุภาคนาโนคาร์บอนได้อย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะเนื่องจากอนุภาคนาโนคาร์บอนมีขนาดเล็กมาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) จึงมีกำลังขยายไม่เพียงพอที่ใช้ในการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของอนุภาคนาโนคาร์บอนจึงมีการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อิมิสชันที่มีกำลังขยายสูง เพื่อใช้ตรวจสอบถึงลักษณะเชิงลึกของพื้นผิวและขนาดของอนุภาคนาโนคาร์บอน

4.2.1.2 อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินจากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นลักษณะของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซิน ซึ่งผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลวที่สกัดส่วนต่างๆ ระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซิน ดังนี้ 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 0:100 ตามลำดับ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดฟิลด์อิมิสชัน (Filed Emission Scanning electron microscopy, FE-SEM) เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิว ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า

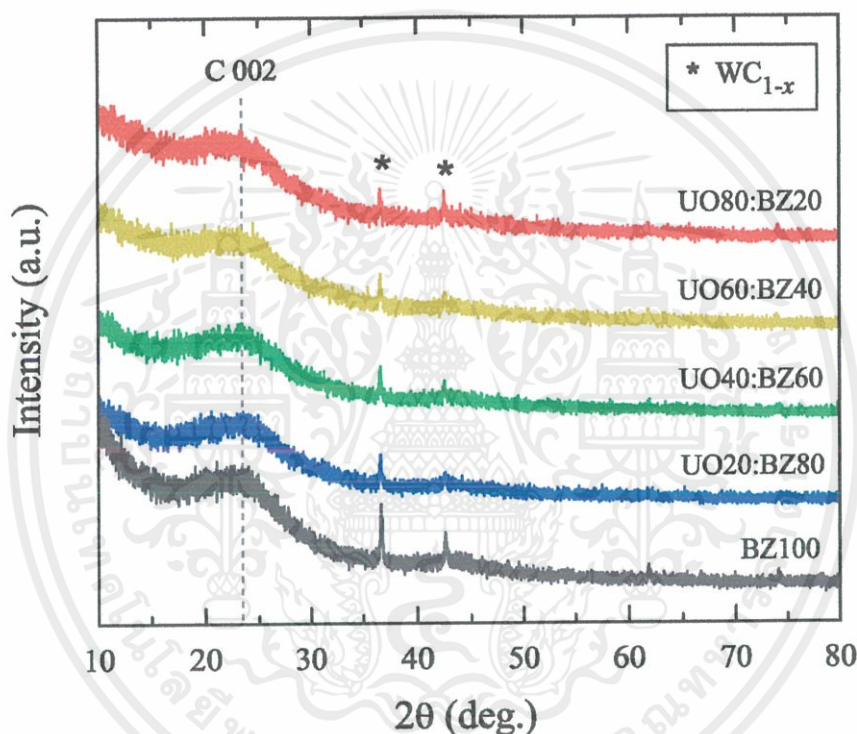


ภาพที่ 4.3 ภาพ FE-SEM ที่กำลังขยาย 100,000x ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สกัดส่วนต่างๆ ดังนี้ (ก) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 20:80 (ข) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 40:60 (ค) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 60:40 (ง) คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 80:20 และ(จ)คือสกัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 0:100 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

พบว่า ที่การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่ทุกๆเงื่อนไข ดังนี้ BZ100, UO20:BZ80, UO40:BZ60, UO60:BZ40, และ UO80:BZ20 จะมีลักษณะของโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่คล้ายกันในทุกเงื่อนไข คือ อนุภาคนาโนคาร์บอนมีขนาดเล็ก ซึ่งบางส่วนประกอบด้วยอนุภาคนาโนคาร์บอนที่มีลักษณะเกิดการรวมตัวกัน ขนาดของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซิน พบว่า มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 20-30 นาโนเมตร จากการตรวจสอบถึงลักษณะพื้นผิวของอนุภาคนาโนคาร์บอนจะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันของลักษณะของขนาดและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sim 887\text{cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของพันธะ C-H และที่การปรากฏของพีคที่ความยาวคลื่นเท่ากับ $\sim 751\text{cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคที่แสดงถึงความสอดคล้องของพันธะ C-H ที่ได้รับจากอนุพันธ์ของเบนซีน ซึ่งลักษณะของพันธะและหมู่ฟังก์ชันที่ตรวจพบบนอนุภาคนาโนคาร์บอนที่มีการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขแตกต่างกัน พบว่ามีลักษณะของพันธะและหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายกัน ดังนั้น สัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่แตกต่างกันจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพันธะและหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่เงื่อนไขแตกต่างกัน

4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะองค์ประกอบของเฟสและโครงสร้างเฟส



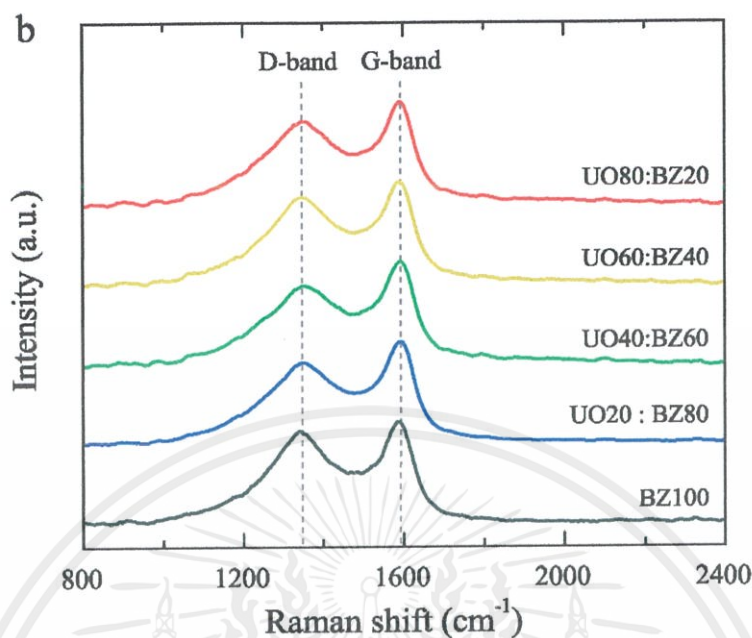
(ต่อ) ภาพที่ 4.5 กราฟ XRD ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนโดยผ่าน SPP ที่สัดส่วนต่างๆ ดังนี้ BZ100, UO20:BZ80, UO40:BZ60, UO60:BZ40 และ UO80:BZ20 ตามลำดับ

องค์ประกอบของเฟสและโครงสร้างเฟสของอนุภาคนาโนคาร์บอนได้รับการตรวจสอบโดยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) โดยจากภาพที่ 4.5 แสดงถึงกราฟรูปแบบ XRD ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่ 80:20 60:40 40:60 20:80 และที่เบน-ซินบริสุทธิ์ ซึ่งจากการกราฟรูปแบบ XRD พบมีการปรากฏขึ้นของบรอดพีคที่ 23° ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของระนาบ (002) ของคาร์บอนที่เป็นแกรไฟต์ (Graphitic carbon) โดยจุดเด่นของระนาบ 002 แสดงให้เห็นว่าที่การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่แตกต่างกันด้วยวิธีกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของอนุภาคนาโนคาร์บอนของเหลว (SPP) ส่วนใหญ่จะแสดงถึงรูปแบบความเป็นอะมอร์ฟัสเฟส นอกจากนี้พบว่ามีการปรากฏขึ้นของพีคที่ 42.6° ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของระนาบ (101) และที่พีค 36.7° และซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของเฟสทังสเตนคาร์ไบด์ (WC_{1-x}) โดยเฟสทังสเตนคาร์ไบด์ในอนุภาคนาโนคาร์บอนเกิดขึ้นจากการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างทังสเตนที่ถูกกัดกร่อนจากขั้วไฟฟ้าและอะตอมของคาร์บอนที่เกิดการแยกตัวออกจากสารตั้งต้น ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing) ที่ระนาบ d_{002} ของอนุภาคนาโนคาร์บอนสามารถคำนวณได้จากตำแหน่งของจุดสูงสุดของการเลี้ยวเบน 002 โดยกฎของ Bragg 's Law ตามสมการ $2d\sin\Theta = n\lambda$ ซึ่งค่า d_{002} ที่คำนวณได้ของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 80:20 60:40 40:60 20:80 และที่เบนซินบริสุทธิ์ มีค่าเท่ากับ 0.375, 0.377, 0.379, 0.378 และ 0.383 nm ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงค่าระยะห่างระหว่างระนาบ d_{002} จะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณสัดส่วนของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น การกว้างขึ้นของพีคที่ระนาบ 002 สามารถสะท้อนได้ถึงระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ (Degree of graphitization) ของอนุภาคนาโนคาร์บอน แต่เนื่องจากค่าของระยะห่างระหว่างระนาบ d_{002} จะเห็นได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งยากต่อการที่จะประมาณการลักษณะความกว้างของพีค จากผลของ XRD จึงยากต่อการที่จะบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่มีเงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบอนุภาคนาโนคาร์บอนด้วยเครื่องรามาน สเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy) เพื่อตรวจสอบถึงข้อมูลเชิงโครงสร้างที่มากขึ้น

4.5 ผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์และความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ (Degree of graphitization) ของวัสดุ



ภาพที่ 4.6 แสดงรามานสเปกตร้าของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนโดยผ่าน SPP ที่สัดส่วนต่างๆ ดังนี้ BZ100, UO20:BZ80, UO40:BZ60, UO60:BZ40 และ UO80:BZ20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing) ตำแหน่งของพีค D และ G และค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มของ D band และ G band (I_D/I_G) ของอนุภาคนาโนคาร์บอน

Condition	$d_{002}(\text{nm})$	D-Peak (cm^{-1})	G-Peak (cm^{-1})	I_D/I_G
UO20:BZ80	0.378	1351	1594	0.79
UO40:BZ60	0.379	1354	1592	0.78
UO60:BZ40	0.377	1348	1590	0.83
UO80:BZ20	0.375	1353	1592	0.81
Pure benzene	0.383	1343	1588	0.91

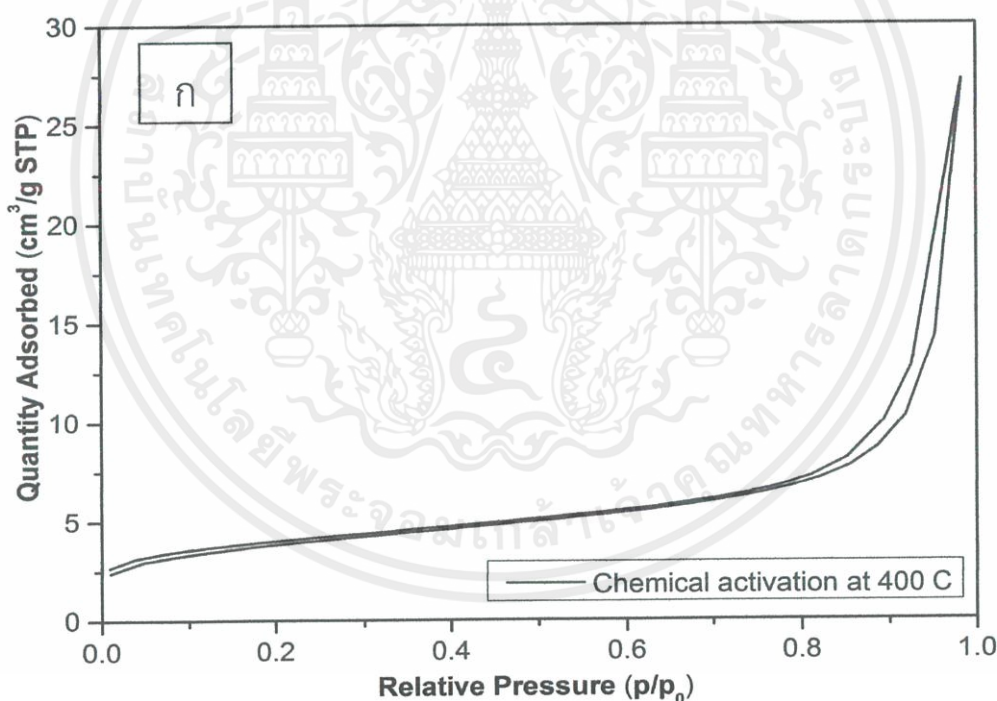
จากภาพที่ 4.6 แสดงถึงกราฟรามานสเปกตร้าของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่ 80:20 60:40 40:60 20:80 และที่เบนซีนบริสุทธิ์ จากกราฟ รามานสเปกตร้า จะเห็นว่ามีการปรากฏขึ้นของพีค 2 พีคที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ $\sim 1350 \text{ cm}^{-1}$ และ $\sim 1590 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคที่แสดงถึงความสอดคล้องของ D band และ G band เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ โดย G band หมายถึงชั้นแกรไฟต์, และ D band หมายถึง อะมอร์ฟัสคาร์บอนหรือความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างผลึกคาร์บอน ค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มของ D band และ G band (I_D/I_G) สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้เพื่อระบุถึงค่าระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ (Degree of graphitization) หรือความผิดปกติของโครงสร้างในวัสดุคาร์บอนได้ โดยค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G สามารถคำนวณได้จากกราฟรามานสเปกตรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากการคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G พบว่า ค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากเงื่อนไขที่มีน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นสารตั้งต้น จะมีค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G อยู่ในช่วง 0.90 ถึง 1.01 ซึ่งจากการมีค่าที่ต่ำกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์มาจากรวมสารเบนซินบริสุทธิ์ ซึ่งมีค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เท่ากับ 0.91 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่ามีระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ (Degree of graphitization) ที่สูงหรือมีความผิดปกติของโครงสร้างที่น้อยกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากรวมสารเบนซินบริสุทธิ์ ตามรายงานของ Morishita et al เกี่ยวกับกลไกการก่อตัวของอนุภาคนาโนคาร์บอน ด้วยวิธีกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของอนุภาคนาโนคาร์บอนของเหลว (SPP) จากสารตั้งต้นประเภทสารประกอบอะลิฟาติกและอะโรมาติก [17] ซึ่งเขาพบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่มีการสังเคราะห์มาจากโมเลกุลโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) เช่น เฮกเซน จะมีระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ที่สูงกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์มาจากโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) เช่น เบนซิน เนื่องจากมีเส้นทางในการก่อตัวเป็นอนุภาคนาโนคาร์บอนที่แตกต่างกันภายใต้การสังเคราะห์ด้วยวิธีกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (SPP) ของโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) และโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) โดยในกรณีของโมเลกุลวงแหวน (Aromatic) การก่อตัวจะเกิดกระบวนการโพลีเมอร์ไรซ์เชนที่บริเวณพลาสมา (บริเวณอุณหภูมิต่ำ) ซึ่งเป็นเส้นทางที่สำคัญที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์บอนและทำให้มีปริมาณในการสังเคราะห์ที่สูงแต่มีความเป็นผลึกต่ำ แต่ในกรณีของโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) เริ่มต้นจะถูกสลายให้กลายเป็นโมเลกุลเล็กๆ (เช่น C_2) ในบริเวณพลาสมา (อุณหภูมิสูง) ดังนั้น จึงทำให้การสังเคราะห์คาร์บอนจากโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) ทำให้มีความเป็นผลึกที่สูง และนอกจากนี้ตามรายงานของ Lee et al ได้รายงานไว้ว่าการเติมโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons :PAHs) เช่น แนฟทาลีนไพรีน แอนทราซีน เป็นต้น ลงในสารละลายเบนซินในการสังเคราะห์ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (SPP) จะทำให้เกิดการสร้างอนุภาคนาโนคาร์บอนที่มีความเป็นผลึกสูง [18] ดังนั้น การเพิ่มระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ (Degree of graphitization) ของอนุภาคนาโนคาร์บอนของการทดลองนี้ อาจเป็นเพราะมีการเกิดขึ้นของโมเลกุลเส้นตรง (Aliphatic) และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons :PAHs) ที่อยู่ในน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วซึ่งจากการทดสอบด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี อาจสรุปได้ว่าน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วอาจมีความสัมพันธ์กับการเกิดผลึกของอนุภาคนาโนคาร์บอน โดยน้ำมันเครื่องอาจเป็นส่วนที่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางผลึกและรูพรุนของอนุภาคนาโนคาร์บอนได้

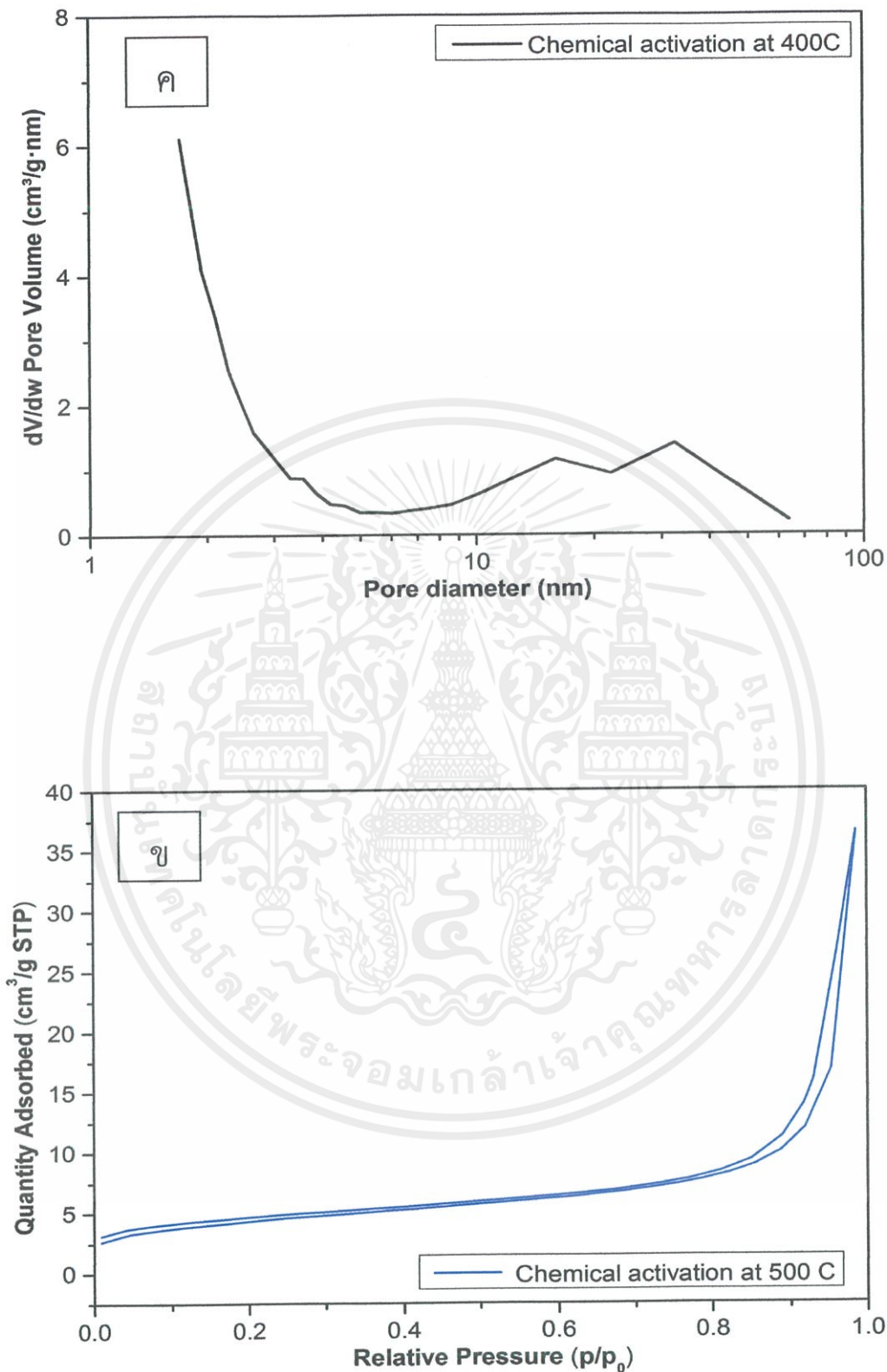
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่การสังเคราะห์ที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่ 80:20 60:40 40:60 20:80 และที่เบนซีนบริสุทธิ์พบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ภายใต้การใช้น้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่แตกต่างกัน จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนคาร์บอน โดยจากการทดลองนี้ทางผู้ทดลองจึงเลือกใช้อุณหภูมิที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่ 80:20 นำไปผ่านกระบวนการการผลิตถ่านกัมมันต์และนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมเนื่องจากจุดประสงค์หลักของเราคือการนำเอาน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วที่เป็นของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงเลือกใช้อุณหภูมิที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่ 80:20 ที่มีปริมาณการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วสูงที่สุด นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมต่อไป

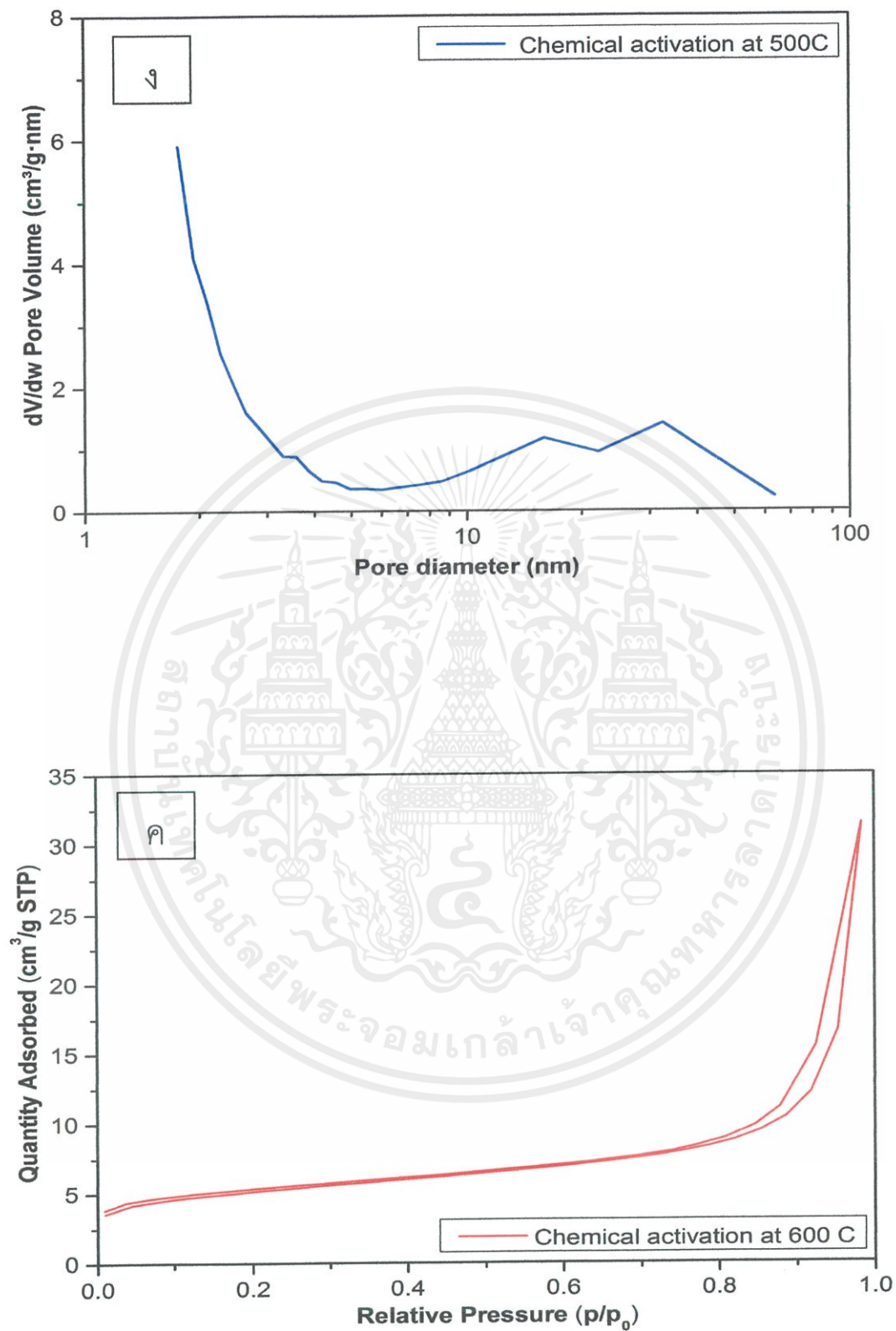
4.6 ผลการวิเคราะห์พื้นผิว และความเป็นรูพรุน



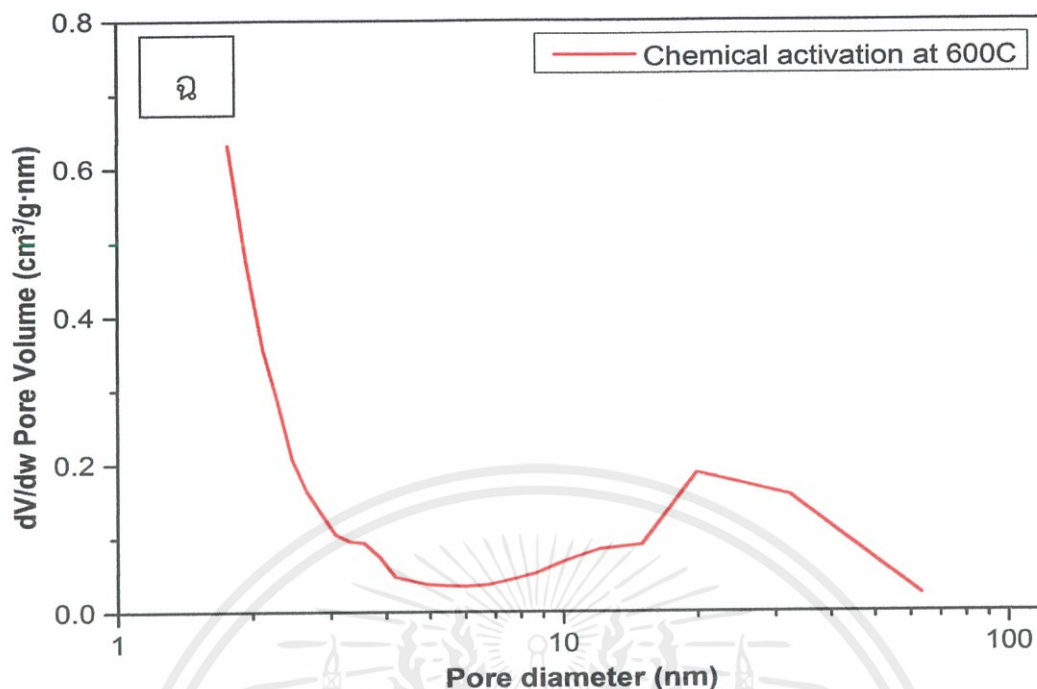
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะการดูดซับของไนโตรเจน (ก-ค) และกราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน(ง-ฉ) ของอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมี ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส

จากการนำเอาอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์จากน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ผ่านกระบวนการการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส และทำการตรวจสอบลักษณะทางรูพรุนโดยใช้เครื่อง Brunauer-Emmett-Teller (BET) จากกราฟไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ก็เห็นได้ว่าเป็นรูปแบบการดูดซับแบบที่ 4 คือมีรูพรุนแบบเมโส (Mesopores) เนื่องจากว่ามีการปรากฏขึ้นของฮิสเทอริซิสลูป (Hysteresis loop) ขึ้น โดยในช่วงแรกของกราฟจะมีการปรากฏขึ้นของรูพรุนแบบไมโคร (Micropores) แล้วเริ่มมีขนาดใหญ่ขึ้นจนถึงรูพรุนแบบแมโคร (Macropores) และจากกราฟการกระจายตัวของขนาดของรูพรุนจะเห็นได้ว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจากวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียสนั้น มีรูพรุนทั้ง 3 รูปแบบคือ รูพรุนแบบไมโคร (Micropores), รูพรุนแบบเมโส (Mesopores) และรูพรุนแบบแมโคร (Macropores) จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างรูพรุนแบบ Hierarchical pore structure และจากตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเฉลี่ยของรูพรุนและปริมาณของรูพรุน จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นในกระบวนการการผลิตถ่านกัมมันต์จะส่งผลให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) นั้นเพิ่มมากขึ้น และจากตารางยังสามารถยืนยันได้อีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการการกระตุ้นด้วยสารเคมี ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส นั้นมีรูพรุนทั้ง 3 รูปแบบ โดย External surface area จะแสดงถึงรูพรุนทั้งแบบเมโส (Mesopores) และแมโคร (Macropores) รวมกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (S_{BET}) ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุน ขนาดเฉลี่ยของรูพรุน ปริมาตรรูพรุนขนาดไมโคร เมโส และแมโคร ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส

Condition	S_{BET} (m^2/g)	Total pore volume (cm^3/g)	Average pore size (nm)	Micropore area (m^2/g)	External surface area (m^2/g)
Chemical activation at 400°C	293	0.64	18	57	236
Chemical activation at 500°C	331	0.78	21	51	280
Chemical activation at 600°C	381	0.86	21	122	258

4.7 การนำอนุภาคนาโนคาร์บอนไปประยุกต์ใช้

4.7.1 การทดสอบดูดซับน้ำสี

นำอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 80:20 นำมาผ่านกระบวนการเผาด้วยไอน้ำ (Steam activation) ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียสและผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยเคมี (Chemical activation) โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แล้วนำไปใช้ทดสอบดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25, 50 และ 75 ppm โดยศึกษาถึงค่าความสามารถในการดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูจากเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Removal) ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-spectrophotometer) ที่ค่าความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร [19] โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Removal) สามารถคำนวณได้จากสมการ

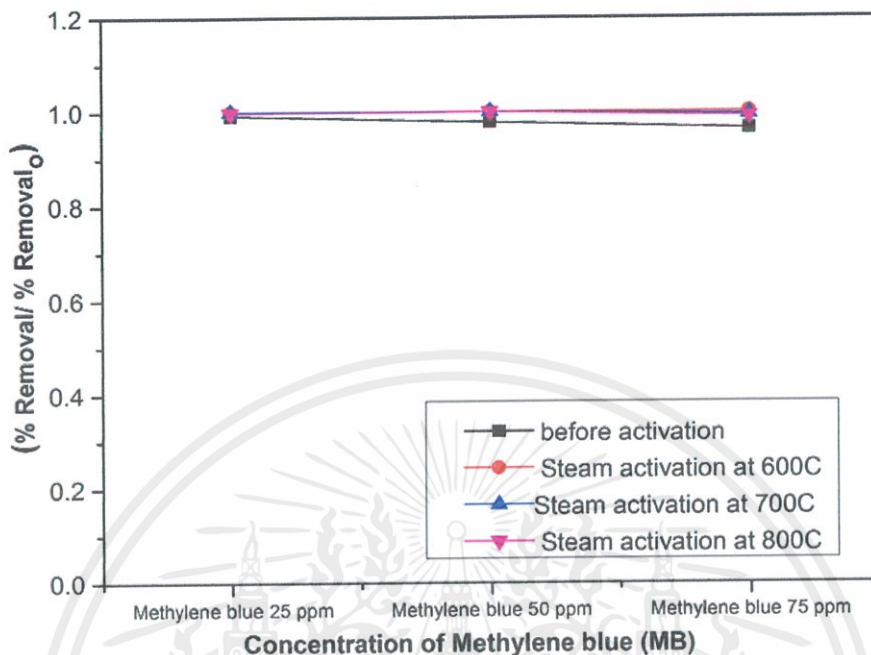
$$\% \text{ Removal} = \left[\frac{Abs_0 - Abs_t}{Abs_0} \right] \times 100$$

เมื่อ Abs_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีเริ่มต้น

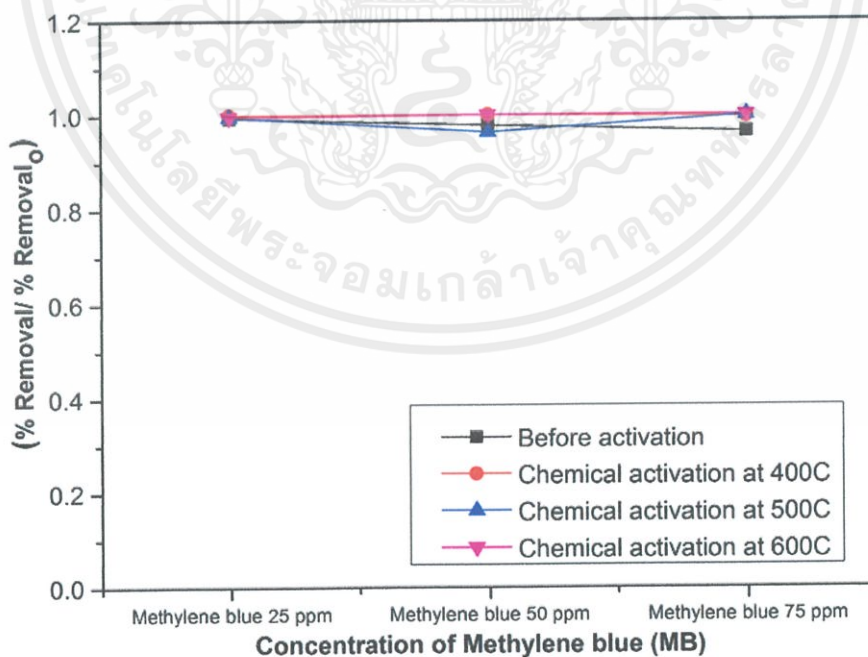
และ Abs_t คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีหลังการดูดซับที่เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากการทดสอบดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลด้วยอนุภาคนาโนคาร์บอนก่อนและผ่านกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ พบว่ามีผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Removal) ดังนี้



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการดูดซับสีก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลที่ 25, 50 และ 75 ppm



(ต่อ) ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการดูดซับสีก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบล ที่ 25 50 และ 75 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Removal) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Stream activation) ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 25 50 และ 75 ppm

Condition	Before activation	ST600°	ST700°	ST800°
Methylene blue 25 ppm	99.2%	100%	100%	99.8%
Methylene blue 50ppm	96.8%	100%	100%	100%
Methylene blue 75 ppm	97.4%	100%	99.4%	99.0%

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (% Removal) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ณ ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู 25 50 และ 75 ppm

Condition	Before activation	CA400°	CA500°	CA600°
Methylene blue 25 ppm	99.2%	100%	99.6%	99.6%
Methylene blue 50ppm	97.8%	100%	96.3%	100%
Methylene blue 75 ppm	96.4%	99.5%	99.8%	100%

จากการทดสอบดูดซับสีเมทิลีนบลูของอนุภาคนาโนคาร์บอน ทำการทดสอบโดยใช้อนุภาคนาโนคาร์บอนปริมาณ 0.0100 กรัม ในน้ำสีเมทิลีนบลูปริมาตร 5 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู เท่ากับ 25 50 และ 75 ppm หลังจากนั้นทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 คืน แล้วทำการกรอง และนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี จากนั้นทำการหาเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสี (% Removal) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งจากการทดสอบพบว่า อนุภาคนาโนคาร์บอนสามารถดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูได้ทั้ง 3 ความเข้มข้น คือ 25, 50 และ 75ppm ซึ่งอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์แล้วมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่มากกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยจากกราฟที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า การดูดซับน้ำสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการกำจัดสีมีค่าเพิ่มมากขึ้น ที่การทดสอบด้วยอนุภาคนาโนคาร์บอนผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) ที่อุณหภูมิต่ำ อาจเพราะเนื่องจากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงอาจมีการทำลายโครงสร้างรูพรุนที่อยู่ในอนุภาคนาโนคาร์บอนได้ และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) สามารถดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูได้ไวกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) เนื่องจาก ส่วนกรณีของการทดสอบด้วยอนุภาคนาโนคาร์บอนผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) จากการทดลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ยังไม่สามารถสรุปเป็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการการกระตุ้น (Activation) กับค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีย้อม (% Removal) ที่แน่ชัดได้อันที่จริงแล้วจากการทดสอบจะเห็นได้ว่า โดยส่วนใหญ่จากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีย้อมพบว่า สามารถที่จะกำจัดสีย้อมได้ทั้งหมด 100% ที่เกือบจะทุกเงื่อนไข มีเพียงบางเงื่อนไขที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีต่ำลงมา แต่จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อยมาก ผู้ทำการทดลองสันนิษฐานว่า อาจเกิดจากความผิดพลาดขึ้นจากการทดลอง (Human error) แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีย้อมยังอยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมที่ค่อนข้างสูงซึ่งจากการทดสอบการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในการทดลองนี้ สิ่งที่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัด คือ อนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูได้เป็นอย่างดี และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมที่สูงขึ้นเมื่อนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินการที่ผ่านมานุภาคนาโนคาร์บอนสามารถสังเคราะห์ได้จากน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (SPP) ภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศปกติ ปริมาณของอนุภาคนาโนคาร์บอนพบว่าปริมาณของอนุภาคนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนปริมาณของเบนซินที่เพิ่มขึ้นด้วยโดยอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้นั้นมีขนาดของอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตร ซึ่งมีขนาดของอนุภาคอยู่ที่ประมาณ 20-30 นาโนเมตร ซึ่งในการทดลองได้มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนในการผสมกันระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซิน ทั้งนี้ในการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินนั้นพบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและพันธะทางเคมีของอนุภาคนาโนคาร์บอน การตรวจสอบโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD สามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนมีโครงสร้างแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous structure) ระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ (Degree of graphitization) สามารถตรวจสอบได้โดยค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G พบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ภายใต้ น้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่าอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ที่ต่ำ จะแสดงถึงมีระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์ที่สูง ดังนั้นน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางความเป็นผลึกของอนุภาคนาโนคาร์บอนได้และจากการตรวจสอบระดับความเป็นผลึกทางแกรไฟต์พบว่าที่การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขสัดส่วนของการผสมของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซินที่ 80:20 มีความเป็นผลึกสูงที่สุด ซึ่งความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคนาโนคาร์บอนอาจเป็นเพราะเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากโมเลกุลเส้นตรงอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Linear aliphatic hydrocarbons) และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons :PAHs) ที่อยู่ในน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว

การนำเอาอนุภาคนาโนคาร์บอนผ่านกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์และนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู (Methylene blue) โดยทำการตรวจสอบจากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี (%removal) โดยพบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนสามารถดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูได้ทั้ง 3 ความเข้มข้น คือ ที่ 25, 50 และ 75 ppm และอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์แล้วมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่มากกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) สามารถดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูได้ไวกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสี (% Removal) ในการทดสอบการดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลู สามารถสรุปได้ว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว(SPP) ถือเป็นวัสดุหนึ่งที่มีศักยภาพในการดูดซับสีย้อมได้ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกำจัดสีย้อมได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนจากน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนโดยผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว ซึ่งจากการทดลองได้พบว่าพัลส์, กำลังไฟฟ้า, เวลา และชนิดของขั้วนั้นมีผลต่ออนุภาคนาโนคาร์บอนที่ได้เป็นอย่างมาก ซึ่งทางผู้วิจัยคาดว่าในการผลิตอนุภาคนาโนคาร์บอนในครั้งต่อไปอยากลองเพิ่มการศึกษาอิทธิพลของพัลส์, กำลังไฟฟ้า, เวลา และชนิดของขั้ว ในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว ซึ่งคาดว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งต้องการเพิ่มการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว เพื่อต้องการที่ต้องดูว่าน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้นมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนมากน้อยเพียงใด และต้องการจะศึกษาว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเบนซีนจะมีส่วนช่วยในการเกิดพลาสมา และส่งผลต่อผลผลิตด้วยหรือไม่

ในส่วนของถ่านกัมมันต์ได้ทำการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสองวิธีคือ วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นแทน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ และสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นน่าจะมีผลต่อขนาดของรูพรุน และพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ จึงอยากทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ และสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นว่าส่งผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์เพียงใด ส่วนอีกวิธีเป็นวิธีการกระตุ้นทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยน้ำน่าจะมีผลต่อขนาดของรูพรุน และพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ จึงอยากทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ และอัตราการปลดปล่อยส่งผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์มากเพียงใดเช่นกัน

ในส่วนของการนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้งานเป็นตัวดูดซับสีย้อม ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกสีย้อมเมทิลินบลู จึงอยากทราบว่าถ้าเปลี่ยนจากสีย้อมเมทิลินบลูเป็นสีย้อมเมทิลเรด และเมทิลออเรนจ์แทน ถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตขึ้นมาจะสามารถดูดซับได้อยู่หรือไม่ ในการทดสอบได้ทำการเลือกใช้ความเข้มข้นของสีย้อมของเมทิลินบลูทั้ง 3 ความเข้มข้น ดังนี้ 25, 50 และ 75 ppm ทางผู้วิจัยจึงอยากทราบว่าถ้าเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสีย้อมถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นยังสามารถที่จะดูดซับได้หรือไม่ และสุดท้ายถ้าใช้ถ่านกัมมันต์ทดสอบการดูดซับไปแล้วสามารถนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้งานใหม่ได้หรือไม่

บรรณานุกรม

- [1] Abed, R.M.M., Safi, N.M.D., Köster, J., de Beer, D., El-Nahhal, Y., Rullkötter, J. and Garcia-Pichel, F. 2002. Microbial diversity of a heavily polluted microbial mat and its community changes following degradation of petroleum compounds. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 1674- 1683.
- [2] ทัสสิมนต์ คงอยู่ และคณะ. (2551). การประยุกต์เทคนิคสเปกโทรสโกปีเชิงโมเลกุลเพื่อการวิเคราะห์เชิงนิติวิทยาศาสตร์ โครงการศึกษาความเป็นไปได้ของการตรวจพิสูจน์น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ รถจักรยานยนต์ด้วยเทคนิค ATR FT-IR Spectroscopy. กลุ่มตรวจสอบอาวุธปืนและวัตถุพยานทางฟิสิกส์ สำนักนิติวิทยาศาสตร์บริการ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์
- [3] มาตรฐานน้ำมันเครื่อง สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม, 2559 [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://www.volean.com/มาตรฐานน้ำมันเครื่อง.html>.
- [4] เบนซีน (Benzene) สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม, 2559 [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://www.siamchemi.com/%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%99%E0%B8%8B%E0%B8%B5%E0%B8%99/>.
- [5] Takai O., Solution plasma processing (SPP). *Pure Appl. Chem.* 2008; 80:2003-2011.
- [6] Prasertsung I., Damrongsakkul S., Saito N., Degradation of β -chitosan by solution plasma process. *Polymer Degradation and Stability* 2013; 98:2089-2093.
- [7] Wenshui X., Ping L., Jiali Z., Jie C., Biological activities of chitosan and chitooligosaccharides. *Food Hydrocolloids*. 2011; in press.
- [8] Ratanavaraporn J., Kanokpanont S., Tabata Y., Damrongsakkul S., Growth and osteogenic differentiation of adipose-derived and bone marrow-derived stem cells on chitosan and chitooligosaccharide films. *Carbohydr. Polym.* 2009; 78:873-878.
- [9] Kittur F.S., Vishu Kumar A.B., Tharanathan R.N., Low molecular weight chitosanspreparation by depolymerization with *Aspergillus niger* pectinase, and characterization. *Carbo. Hydr. Res.* 2003; 338(12):1283-90.
- [10] Xie Y., Hu J., Wei Y., Hong X., Preparation of chitooligosaccharides by the enzymatic hydrolysis of chitosan. *Polym. Degrad. Stabil.* 2009; 94:1895-1899.
- [11] Chang K.L.B., Tai M.C., Cheng F.H., Kinetics and products of the degradation of chitosan by hydrogen peroxide. *J.Agric.Food Chem.* 2001; 49:4845-4851.
- [12] ทัสสิมนต์ คงอยู่. "Scanning Electron Microscope : SEM" สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม, 2559 [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scanning-electron-microscope.html>.
- [13] การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานซฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม, 2559 [Online]. เข้าถึงได้จาก www.mfu.ac.th.
- [14] การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานซฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม, 2559 [Online]. เข้าถึงได้จาก www.sec.psu.ac.th.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางสเปกโตรสโคป.” UV-Visible spectrophotometer”. (จินดาพร บุญวัฒนา). สืบค้นเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม, 2559 [Online]. เข้าถึงได้จาก
[:http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/spectroscopychem-analysis-instrument/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html](http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/spectroscopychem-analysis-instrument/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html)
- [16] ไอโซเทอมของการดูดซับ สืบค้นเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน, 2558 [Online]. เข้าถึงได้จาก
<http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/6169/9/Chapter2.pdf>
- [17] T. Morishita, T. Ueno, G. Panomsuwan, J. Hieda, A. Yoshida, M. A. Bratescu, N. Saito, Fastest formation routes of nanocarbons in solution plasma processes, *Sci. Rep.* 6 (2016) 36880.
- [18] H. Lee, T. Ueno, N. Saito, Improvement of electric conductivity of carbon materials with introducing naphthalene and anthracene by using solution plasma process, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*66 (2015)416-419.
- [19] K. Santhy, and P. Selvapathy, *Bioresour. Technol.*, Vol.97, pp. 1329-1336, 2005
- [20] Radha K.V., 2009; Mahesh S. *et al*, 2006; Süreyya Meriç *et al*, 2005



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

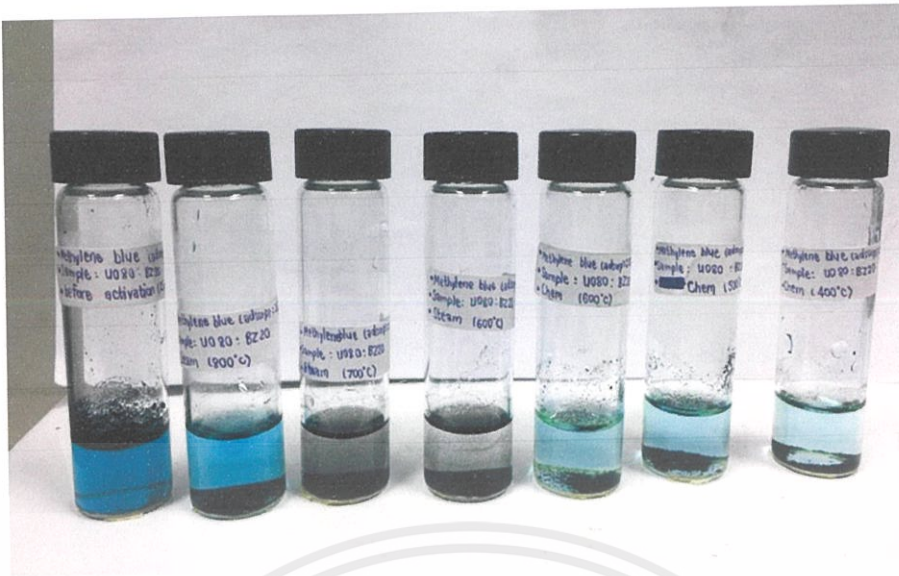


ภาพที่ 1 (ก) แสดงสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 ppm ก่อนจะนำไปทำการทดสอบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้
BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400



ภาพที่ 2 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

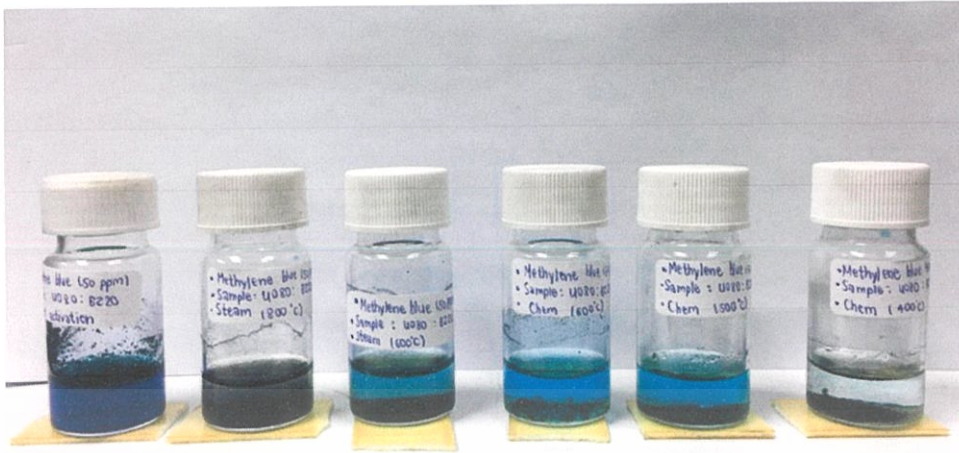


ภาพที่ 5 (ก) แสดงการดูดซับสีของเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 ppm หลังจากนำไปทำการทดสอบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 (หลังจากทำการกรอง)



ภาพที่ 6 (ก) แสดงสีของเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 ppm ก่อนจะนำไปทำการทดสอบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

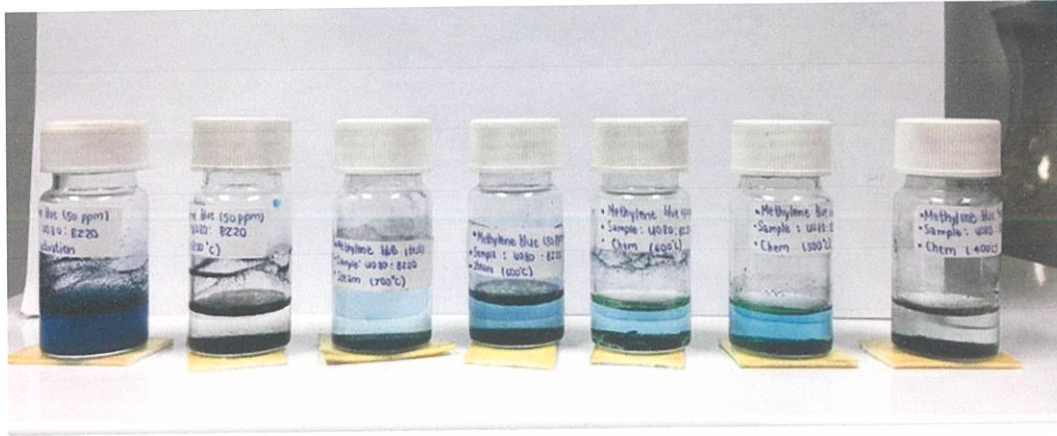


ภาพที่ 7 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 50 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เจือปนไขมัน BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 1 ชั่วโมง

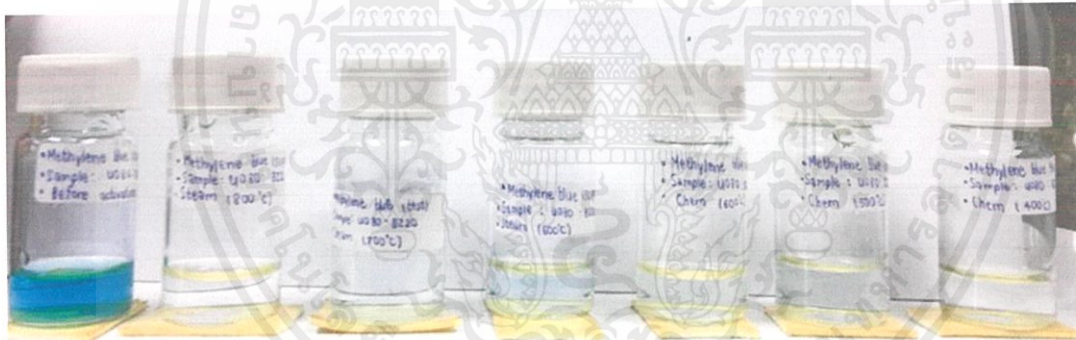


ภาพที่ 8 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 50 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เจือปนไขมัน ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 50 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 10 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 50 ppm หลังจากนำไปทำการทดสอบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 (หลังจากทำการกรอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

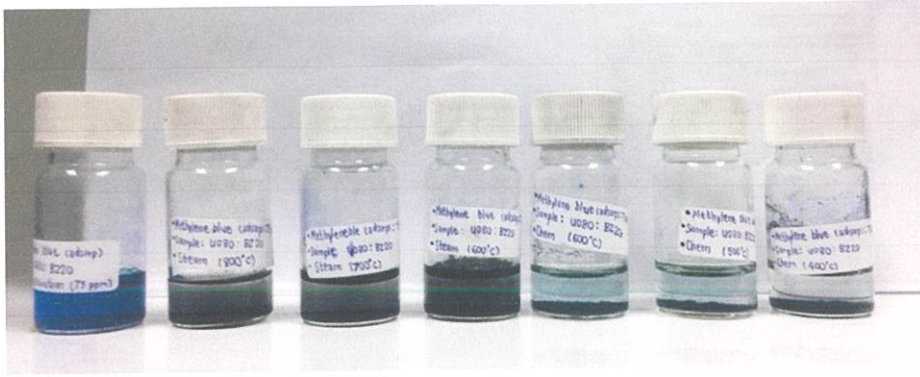


ภาพที่ 11 (ก) แสดงสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 75 ppm ก่อนจะนำไปทำการทดสอบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA500



ภาพที่ 12 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 75 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA500 ที่เวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 13 (ก) แสดงการดูดซับสีของเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 75 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เจือปน ดังนี้ BA, ST800, ST700, ST600, CA600, CA500, และ CA400 ที่เวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 14 (ก) แสดงการดูดซับสีของเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 75 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เจือปน ดังนี้ BA, ST600, ST700, ST800, CA400, CA500, และ CA600 ที่เวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 15 (ก) แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 75 ppm
หลังจากนำไปทำการทดสอบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไข ดังนี้
BA, ST600, ST700, ST800, CA400, CA500, และ CA600
(หลังจากทำการกรอง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Synthesis of Carbon Nanoparticles from Used Motor Oil and Benzene via Solution Plasma Process

Napatsawan Seangarunthong^{1,a}, Parinya Khongthong^{1,b},
Gasidit Panomsuwan^{2,3,c}, Tomonaga Ueno^{3,4,d}, Nagahiro Saito^{3,4,e}
and Apiluck Eiad-ua^{1,f,*}

¹College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

³NU-PPC Plasma Chemical Technology Laboratory, Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

⁴Department of Materials, Physics and Energy Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan

^anohty_za@hotmail.com, ^bparinyakthong@hotmail.com, ^cgasidit.p@ku.ac.th,

^dtomo@rd.numse.nagoya-u.ac.jp, ^ehiro@rd.numse.nagoya-u.ac.jp, ^fapiluck.ei@kmitl.ac.th

Keywords: used motor oil, carbon nanoparticles, solution plasma process, synthesis.

Abstract. Carbon nanoparticles (CNPs) were successfully synthesized from the mixture of used motor oil and benzene via a solution plasma process (SPP). The synthesis was achieved within a single step at room temperature and atmospheric pressure. The effects of mixing ratio between used motor oil and benzene on the physical and chemical properties of CNPs were investigated by means of field-emission scanning electron microscopy (FESEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy. The results revealed that there were no significant changes in morphological feature and chemical functional groups on CNPs at different mixing ratios. The CNPs exhibited the aggregates of fine particles with the diameter of about 20–30 nm. The crystallinity of CNPs was found to be slightly increased when synthesized under the presence of used motor oil, possibly due to the effect of aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in used motor oil. We expect that the conversion of used motor oil into CNPs by SPP could be another attractive way to add the value to used motor oil prior to disposing.

Introduction

A massive amount of used motor oil is currently produced from automotive engines and several industrial processes [1]. Typically, used motor oil is composed of gasoline, additives (e.g., detergent, dispersant, oxidation inhibitors, rust inhibitors, and viscosity improvers), metal (e.g., Pb, Zn, Ca, Mg, etc.), and a broad range of aliphatic, aromatic, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Among these components, aliphatic compounds are the main components in used motor oil (73–80 wt%), while mono-aromatic and di-aromatic hydrocarbons are present as about 11–15 wt% and 2–5 wt%, respectively [2,3]. Comparing with fresh motor oil, used motor oil contains higher amount of PAHs and heavy metals. When a significant amount of used motor oil is disposed into environment without proper management, it leads the creations of serious local, regional, and global environmental problems. In general, used motor oil is disposed under management standard of hazardous wastes, such as sending the used oil off-site area, burning used oil as fuel, and marketing the used oil. Alternatively, development of a new disposing or recycling process for used motor oil is still highly desirable and necessary.

One of most interesting ways is the conversion of used motor oil into carbon-based materials. In literature, carbon materials were produced from used motor oil by a thermal chemical vapor deposition (TCVD) technique [4–6]. However, the TCVD technique requires high processing

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

temperature ($>700\text{ }^{\circ}\text{C}$) and a high-cost vacuum system to produce carbon materials. Very recently, plasma in liquid, termed as solution plasma process (SPP), has emerged as an attractive technique in the field of synthesis of carbon materials [7-9]. The unique advantages of SPP over TCVD technique are ability to directly synthesize carbon materials at room temperature and atmospheric pressure without involvement of high-cost vacuum system. Until now, several organic solvents have been already employed as carbon-source precursors for carbon synthesis by SPP, such as benzene, toluene, hexane, etc [7-10]. According to these findings, any liquid-based hydrocarbons can potentially be served as carbon-source precursor for carbon synthesis. In recent year, carbon materials have been applied in a broad range of advanced applications in multidisciplinary fields, such as electrochemical devices [11], sensors [12], and dye adsorbents [13]. Therefore, it would be worth converting used motor oil into carbon materials by SPP for some specific applications due to its availability and low cost.

In this work, we present the synthesis of CNPs by SPP at room temperature and atmospheric pressure. The mixture of used motor oil and benzene was employed as carbon-source precursor in the synthesis. The effects of mixing ratio between used motor oil and benzene on the morphological, chemical, and structural properties were investigated and discussed by means of several characterization techniques, including field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy.

Experimental Section

Synthesis of CNPs. Used motor oil was obtained from the local motorcycle garage. Benzene (purity $>99\%$) was purchased from Qrec Chemical, Co., Ltd. Hereafter, used motor oil and benzene are denoted as UO and BZ, respectively. The mixture of UO and BZ at the different volume ratios, i.e., 80:20, 60:40, 40:60, and 20:80, with a total volume of 100 mL was used as precursor for synthesis of CNPs. Fig. 1 presents a schematic illustration of experimental setup for synthesis of CNPs by SPP. A pair of 1 mm-diameter tungsten wire (Nilaco Corporation, purity $>99.9\%$) was employed as the electrodes, which was placed at the center of glass vessel. The gap between two tungsten wires was set at 0.8 mm. The prepared mixture was poured into a glass vessel and stirred until the homogeneous mixture was obtained. The plasma was generated at the gap between electrodes inside the mixture by applying a bipolar pulsed DC voltage (MPP-HV02, Kurita Seisakusho Co., Ltd., Kyoto, Japan). The applied voltage, frequency, and pulse duration were 1.5 kV, 20 kHz, and 1 μs , respectively. The discharge was maintained for 60 min under vigorous stirring. After that, CNPs were separated by filtration followed by thoroughly washing with benzene (non-polar solvent) and ethanol (polar solvent) until the washed solvents became colorless, in order to remove residual organic compounds in CNPs. The CNPs were collected and then dried in an oven overnight at $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. The CNPs synthesized from the mixture of UO and BZ at the volume ratios of 20:80, 40:60, 60:40, and 80:20 were denoted as UO20:BZ80, UO40:BZ60, UO60:BZ40, and UO80:BZ20, respectively. For comparison, CNP was also synthesized from pure BZ without addition of UO, which was denoted as BZ100.

Characterization. The morphology of CNPs was investigated with a JEOL JSM-7610F field emission scanning electron microscope (FESEM) at an accelerating voltage of 10 kV. Chemical bonding and functional group on CNPs were acquired using a Perkin Elmer UATR two FTIR spectrometer. Phase structure of CNPs was examined using a Rigaku SmartLab X-ray diffractometer equipped with Cu $K\alpha$ radiation (0.154 nm) at 40 kV and 30 mA. Raman spectra were recorded on a Thermo Scientific DXR Smart Raman spectrometer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

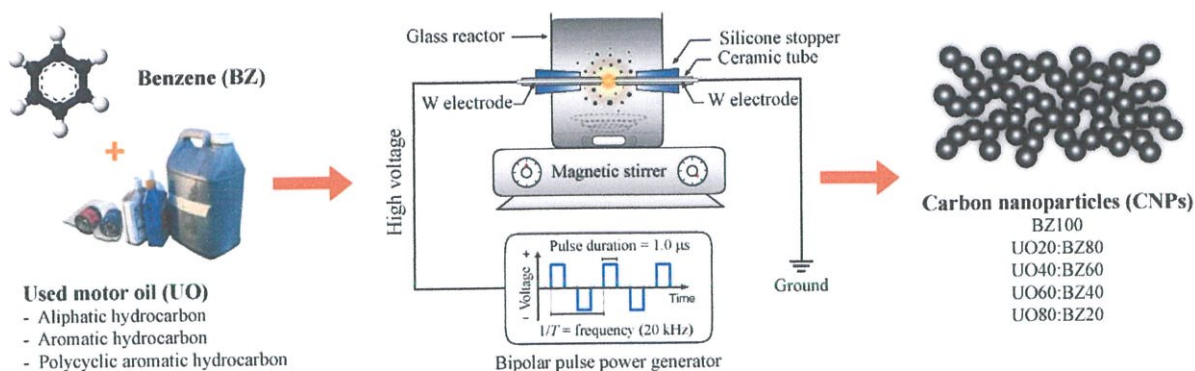


Fig. 1: The experimental setup for synthesis of CNPs by SPP.

Results and Discussion

The average synthesis rate of CNPs from different mixing ratios was found to decrease from 14.6 to 8.6 mg min⁻¹ as the UO content in mixture increased. A decrease in synthesis rate of CNPs at higher UO contents is likely due to the more presence of aliphatic hydrocarbon and polycyclic aromatic hydrocarbon in the precursor. This result is consistent with the previous report by Morishita et al who reported that the synthesis rate of CNPs from aromatic molecules by SPP was substantially greater than that of CNPs from the linear molecules [10].

The FESEM images of BZ100, UO40:BZ60, UO60:BZ40, and UO80:BZ20 are displayed in Fig. 2. As can be seen, all samples reveal similar morphological feature, which is composed of fine carbon particles aggregated to each other. The size of carbon particles was roughly estimated to be about 20–30 nm. There is no significant difference in morphology and particle size of CNPs synthesized from different mixing ratios. This result indicates that the particle size and morphology of CNPs remain unchanged regardless of the mixing ratio between UO and BZ.

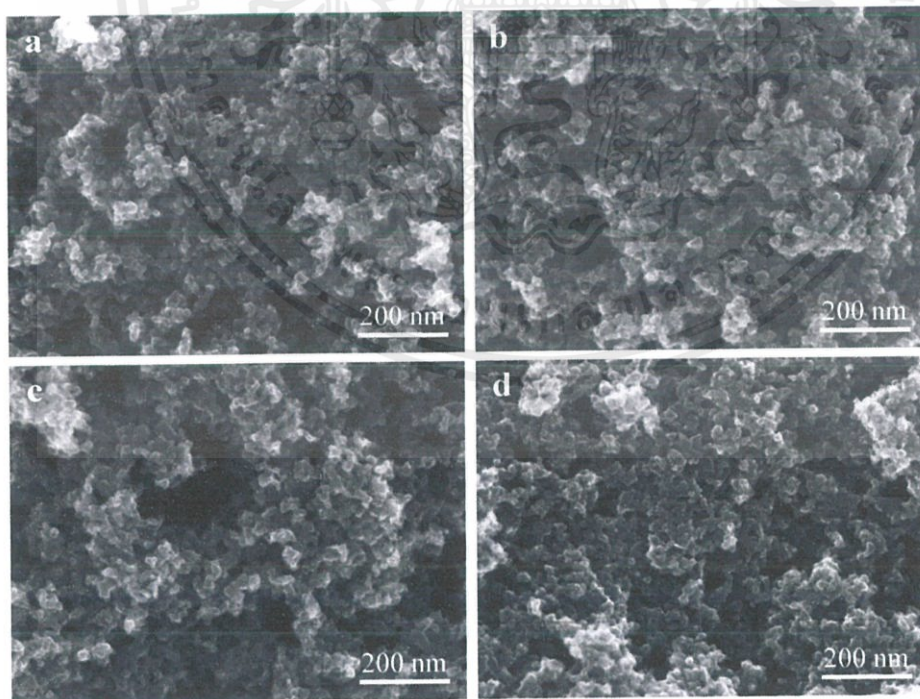


Fig. 2: FESEM images of: (a) BZ100, (b) UO40:BZ60, (c) UO60:BZ40, and (d) UO80:BZ20.

The chemical bonding and functional group were investigated by FTIR measurements, as shown in Fig. 3. The absorption bands appeared in the FTIR spectra show almost the same spectral intensity and wavenumber positions. The absorption band at 1701 and 1589 cm⁻¹ are associated with C=O and C=C, respectively. The absorption band at 887 cm⁻¹ is attributed to C-H bonding,

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

while that at 751 cm^{-1} is likely due to C–H from derivative of benzene. This result indicates that change in mixing ratio between UO and BZ has no significant influence on the formation of functional groups on CNPs.

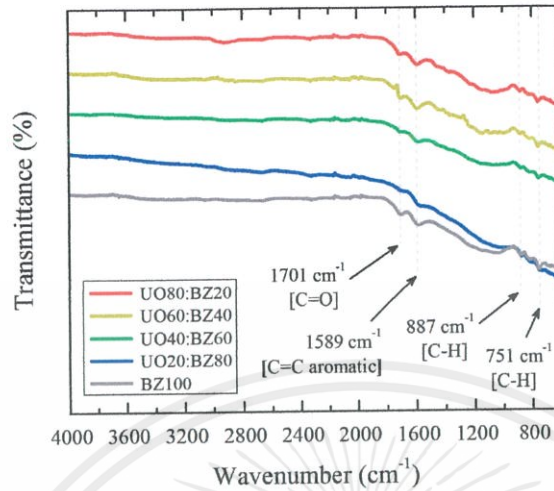


Fig. 3: FTIR spectra of CNPs synthesized from various UO:BZ ratios.

Phase structure of CNPs was examined by XRD. The XRD patterns of all samples are shown in Fig. 4a. All XRD patterns show the main broad diffraction peak at $\sim 23^\circ$ corresponding to (002) plane of graphitic carbon. A broad feature of 002 diffraction peak indicates that all CNPs synthesized from mixture of UO and BZ by SPP mainly exhibit an amorphous phase. In addition, small sharp peaks of WC_{1-x} phase were also detected at 36.7° and 42.6° (marked as asterisk). The WC_{1-x} phase in CNPs was formed by the interaction between tungsten eroded from electrode and carbon atoms dissociated from precursor. The d_{002} interlayer spacing of CNPs can be calculated from the position of 002 diffraction peak using the Bragg's law. The calculated d_{002} values of, UO80:BZ20, UO60:BZ40, UO40:BZ60, UO20:BZ80, and BZ100 were 0.375, 0.377, 0.379, 0.378, and 0.383 nm, respectively. It was observed that the d_{002} interlayer spacing gradually decreased when the content of UO increased. In addition, the 002 peak broadening also reflects the degree of graphitization of CNPs. However, only a slight difference was observed from the peak fitting and the accurate values were difficult to estimate owing to their broad characteristic. Due to their almost identical position and broadening of 002 peak from the XRD data, it was difficult to determine the change in structure and degree of graphitization of CNPs at different UO:BZ mixing ratios. Therefore, the additional measurement on Raman spectroscopy was further performed to obtain more structural information. Fig. 4b shows Raman spectra of all samples. Two evident peaks were detected at $\sim 1350\text{ cm}^{-1}$ and $\sim 1590\text{ cm}^{-1}$, which are attributed to D band and G band, respectively. The G band refers to graphite-like layers of sp^2 domains, whereas the D band refers to the disorder structure. It is known that intensity ratio of D band to G band (I_D/I_G) is typically used as an indicator to determine the disorder structure or defect in carbon materials [14]. The I_D/I_G ratio determined from Raman spectra of all samples are summarized in Table 1. The I_D/I_G values of CNPs synthesized from the presence of UO are in the range between 0.78 and 0.83, which is lower than that of BZ100 (0.91). This result may indicate that the CNPs synthesized under the presence of UO content have a higher degree of graphitization or less disordered structure than that synthesized from pure benzene. However, no significant difference in I_D/I_G values was observed when changing the UO content. According to work reported by Morishita et al, the formation mechanisms of CNPs synthesized by SPP from aromatic and aliphatic molecules [10]. They found that the synthesis of CNPs from aliphatic molecule (i.e., hexane) could result in higher crystallinity than those from aromatic molecule (i.e., BZ). This could be reasonably due to different pathway in formation of CNPs under SPP from aromatic and aliphatic molecules. In case of aromatic molecules, the polymerization at plasma–liquid interface (low temperature region) was a dominant pathway for carbon formation, yielding high synthesis rate with less crystallinity. On the other hand, aliphatic

molecules were dominantly decomposed into small molecules (i.e., C_2) in the plasma region (high temperature). Therefore, the carbons synthesized from aliphatic molecules are likely similar to those from pyrolysis process, which has higher crystallinity. In addition to the effect of linear aliphatic hydrocarbon, Lee et al reported that the addition of PAHs (i.e., naphthalene, anthracene, and pyrene) into BZ in SPP synthesis also led to formation of CNPs with higher crystallinity [15]. Therefore, the enhancement in degree of graphitization for CNPs in this study should be possibly due to the presence of linear aliphatic molecules and PAHs in UO.

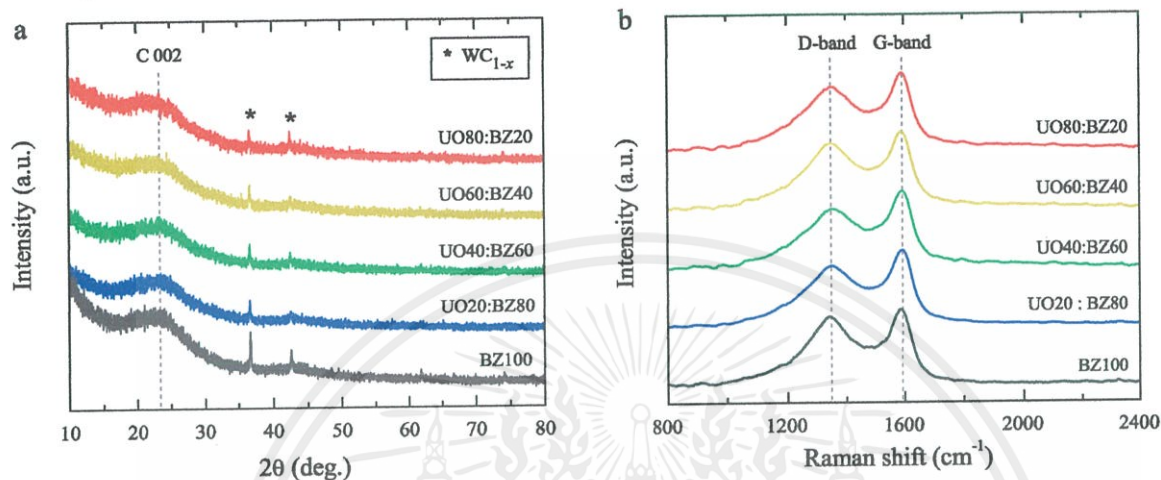


Fig. 4: (a) XRD patterns and (b) Raman spectra of CNPs synthesized from various UO:BZ ratios.

Table 1: Structural properties obtained from XRD and Raman spectroscopy analyses.

Sample	d_{002} (nm)	D band (cm^{-1})	G band (cm^{-1})	I_D/I_G
UO80:BZ20	0.375	1353	1592	0.81
UO60:BZ40	0.377	1348	1590	0.83
UO40:BZ60	0.379	1354	1592	0.78
UO20:BZ80	0.378	1351	1594	0.79
BZ100	0.383	1343	1588	0.91

Conclusion

The CNPs were successfully synthesized from the mixture of UO and BZ via SPP at room temperature and atmospheric pressure. The resulting CNPs revealed the aggregates of nano-sized particles (20–30 nm). The change in mixing ratio between UO and BZ had no a significant influence on morphology and chemical bonding of CNPs. It was found that the degree of graphitization for CNPs was slightly improved when the synthesis was done under the presence of UO, as indicated by the lower I_D/I_G value. A slight increase in crystallinity for CNPs is possibly due to the presence of linear aliphatic hydrocarbons and PAHs in UO. Our preliminary results in this work have demonstrated that the UO could be used as carbon-source precursor for the synthesis of CNPs via SPP. The CNPs derived from UO in this work could further be modified or functionalized in order to apply for some specific applications.

Acknowledgements


The authors wish to gratefully thank NU-PPC Plasma Chemical Technology Laboratory at Chulalongkorn University for allowing us to use the plasma equipment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

References

- [1] F. Audibert, *Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery*, first ed., Elsevier Science, Amsterdam, 2006.
- [2] R. Vazquez-Duhalt, Environment impact of used motor oil, *Sci. Total Environ.* 79 (1989) 1-23.
- [3] J. Pichtel, *Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial*, second ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2014.
- [4] A. B. Suriani, S. Alfarisa, A. Mohamed, I. M. Isa, A. Kamari, N. Hashim, M. H. Mamat, A. R. Mohamed, M. Rusop, Quasi-aligned carbon nanotubes synthesised from waste engine oil, *Mater. Lett.* 139 (2015) 220-223.
- [5] S. Alfarisa, R. N. Safitri, W. S. B. Dwandaru, Effect of catalyst concentration on the growth of carbon nanotubes from waste engine oils, *Educatum JSMT*, 3 (2016) 6-12.
- [6] J. Deng, Y. You, V. Sahajwalla, R. K. Joshi, Transforming waste into carbon-based nanomaterials, *Carbon* 96 (2016) 105-115.
- [7] J. Kang, O. L. Li, N. Saito, Synthesis of structure-controlled carbon nano spheres by solution plasma process, *Carbon* 60 (2013) 292-298.
- [8] G. Panomsuwan, N. Saito, T. Ishizaki, Simple one-step synthesis of fluorine-doped carbon nanoparticles as potential alternative metal-free electrocatalysts for oxygen reduction reaction, *J. Mater. Chem. A3* (2015) 9972-9981.
- [9] H. Lee, T. Ueno, N. Saito, The effect of electrode gap distance on the synthesis of carbon materials by using solution plasma process, *JOM* 67 (2015) 2550-2556.
- [10] T. Morishita, T. Ueno, G. Panomsuwan, J. Hieda, A. Yoshida, M. A. Bratescu, N. Saito, Fastest formation routes of nanocarbons in solution plasma processes, *Sci. Rep.* 6 (2016) 36880.
- [11] Z. Yang, J. Ren, Z. Zhang, X. Chen, G. Guan, L. Qiu, Y. Zhang, H. Peng, Recent advancement of nanostructured carbon for energy applications, *Chem. Rev.* 115 (2015) 5159-5223.
- [12] T. Zhang, S. Mubeen, N. Myung, M. A. Deshusses, Recent progress in carbon nanotube-based gas sensors, *Nanotechnology* 19 (2008) 332001.
- [13] P. K. Malik, Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetics, *J. Hazard. Mater.* 113 (2004) 81-88.
- [14] A. C. Ferrari, J. Robertson, Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon, *Phys. Rev. B* 61 (2000) 14095.
- [15] H. Lee, T. Ueno, N. Saito, Improvement of electric conductivity of carbon materials with introducing naphthalene and anthracene by using solution plasma process, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.* 66 (2015) 416-419.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil via solution plasma process

Napatsawan Seangaranthong^a, Parinya Khongthong^a, Gasidit Panomsuwan^b, Apiluck Eiad-Ua^{a*}


^aCollege of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand
^bDepartment of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand
^{*}NE-PPC Plasma Chemical Technology Laboratory, Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

E-mail address : apiluck.eia@kmitl.ac.th

Abstract

Carbon nanoparticles were successfully synthesized from the mixture of used mobil oil and benzene via a solution plasma process (SPP). The effect of mixing ratio between used mobil oil and benzene was investigated by means of scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction, and Raman spectroscopy measurements. All CNPs synthesized by SPP exhibited fine particles with size less than 100 nm. The XRD pattern showed that CNPs were amorphous phase, reflected by a broad 002 characteristic peak at 23°. The I_D/I_G ratio was found to decrease with increasing used mobil oil content (from 1.01 to 0.90), indicating that the carbon produced from higher ratio of used mobil oil had a higher degree of graphitization. The conversion of used mobile oil into carbon materials using SPP can be one of alternative way to add the value to waste product.

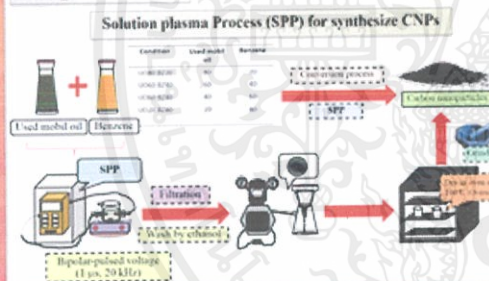
Introduction



Carbon nanoparticles (CNPs) can be synthesized via a solution plasma process (SPP) at room temperature and atmospheric pressure without involvement of a high-cost vacuum system and a metal catalyst source.

Experimental

Solution plasma Process (SPP) for synthesize CNPs



Reaction Conditions:

Condition	Used mobil oil (%)	Benzene (%)
CO40: BZ60	40	60
CO30: BZ70	30	70
CO20: BZ80	20	80
CO10: BZ90	10	90

Reaction time: 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 60 min, 70 min, 80 min, 90 min, 100 min.

Applied voltage: 20 kV.

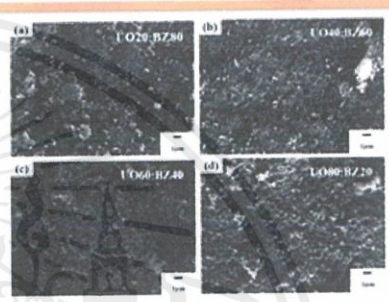


Fig. 3 Scanning electron microscopy (SEM) images at 5000x of CNPs synthesized at different mixing ratios

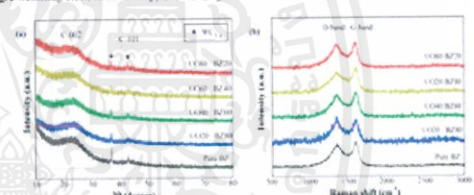


Fig. 4 X-ray diffraction (XRD) patterns (a) and Raman spectra (b) of CNPs

Condition	D Peak (cm ⁻¹)	G Peak (cm ⁻¹)	I_D/I_G
CO20: BZ80	1336	1590	1.01
CO30: BZ70	1332	1588	0.97
CO40: BZ60	1335	1590	0.92
CO50: BZ50	1333	1596	0.90
CO60: BZ40	1332	1594	0.97

The XRD pattern shows the diffraction peaks at 23° and 42° that are ascribed to (002) and (101), respectively. The Raman spectra of CNPs consist of two peak around 1333-1342 cm⁻¹ ascribed as D peak and 1586-1596 cm⁻¹ ascribed as G peak. The I_D/I_G ratio was found to decrease with increasing used mobil oil content (from 1.01 to 0.90), indicating that the carbon produced from higher ratio of used mobil oil had a higher degree of graphitization.

Results and Discussion




Fig. 1 Yield of CNPs synthesized by SPP at different mixing ratios

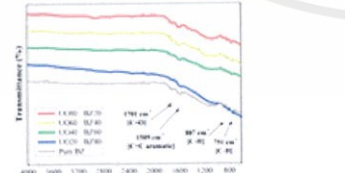


Fig. 2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) of CNPs

The CNPs all displayed absorption band at 1589 cm⁻¹ corresponding to C=C. The band at 1701 cm⁻¹ can be ascribed to C=O, while the bands at 887 cm⁻¹ and 751 cm⁻¹ are due to C-H from derivative of benzene. The functional groups detected on CNPs synthesized from different mixing ratios are almost similar.

Conclusions

- Carbon nanoparticles (CNPs) were directly produced from mixture of used mobil oil and benzene via SPP.
- Morphology of CNPs observed by SEM is not different between each mixing ratio.
- The FTIR spectra showed the absorption peaks of C=C, C=O and C-H for all CNPs.
- The XRD patterns confirmed that CNPs have amorphous structure.
- Raman spectra revealed two peaks corresponding to D band and G band, which is characteristic peaks of carbon materials. The CNPs synthesized from high content of used mobil consist of more sp², as indicated by low I_D/I_G ratio.
- CNPs is expected to be applied as an adsorbent for dye removal applications.

Acknowledgment

The authors are thankful to the College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and NE-PPC Plasma Chemical Technology Laboratory, Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University for providing equipment and financial support throughout this research.

References

[1] J. Kang, O. L. El, N. Saito, Synthesis of structure-controlled carbon nano spheres by solution plasma process, *Carbon*, 60 (2013), 292-298.

Nanoporous Material Research Laboratory, College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ภาพที่ 1(ข) โปสเตอร์เผยแพร่ในงานวิจัยในงาน International Conference on Materials Science and Technology (MSAT-9) ระหว่างวันที่ 15 - 16 ธันวาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนภัสวรรณ แสงอรุณทอง
วันเดือนปีเกิด 28 พฤศจิกายน 2537
ที่อยู่ 11. ถ.ไพโรศรี ต.ตะพานหิน อ.ตะพานหิน
จ.พิจิตร 66110
E-mail address fns.2811@gmail.com
ประวัติการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนจุฬาภรณราช-
วิทยาลัย พิชณโลก
ประวัติการฝึกงาน -



ผลงานที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

[1] Napatsawan Seangarunthong^a, Parinya Khongthong^a, Gasidit Panomsuwan^b, Apiluck Eiad-Ua^{a*}, Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil and benzene via solution plasma process, MSAT-9 2016 : 9th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT-9), Swissotel Le Concorde, Bangkok.

ผลงานที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

[1] Napatsawan Seangarunthong^a, Parinya Khongthong^a, Gasidit Panomsuwan^b, Apiluck Eiad-Ua^{a*}, Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil and benzene via solution plasma process, Key Engineering Materials, 751 (2017) 773-778

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายปริญญา คงทอง
วันเดือนปีเกิด 4 มีนาคม 2538
ที่อยู่ 1/2 ม. 2 ถ. - ต.วังสำโรง อ.บางมูลนาก
จ.พิจิตร 66120
E-mail address parinyakhong@hotmail.com
ประวัติการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนบางมูลนากภูมิ
วิทยาคม
ประวัติการฝึกงาน Synthesis nanoparticles and characterization by TEM,
Kurume International Technology, Fukuoka, Japan



ผลงานที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

[1] Napatsawan Seangarunthong^a, Parinya Khongthong^a, Gasidit Panomsuwan^b, Apiluck Eiad-Ua^{a*}, Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil and benzene via solution plasma process, MSAT-9 2016 : 9th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT-9), Swissotel Le Concorde, Bangkok

ผลงานที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

[1] Napatsawan Seangarunthong^a, Parinya Khongthong^a, Gasidit Panomsuwan^b, Apiluck Eiad-Ua^{a*}, Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil and benzene via solution plasma process, Key Engineering Materials, 751 (2017) 773-778

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้