

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็น
ตัวเร่งปฏิกิริยา

**Removal of phenol by catalytic oxidation using Activated Carbon Supported
Copper Oxide catalyst**



T117153

นางสาวณัฐนันท์ ชัยตระกูลเสรี
นางสาวเบญจภา เล้าหฤณากร
นายประสิทธิ์ชัย ภีระคำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....117153
วันเดือนปี.....19 ก.ค. 2554

บ.....12842592
.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

คณะวิทยาศาสตร์

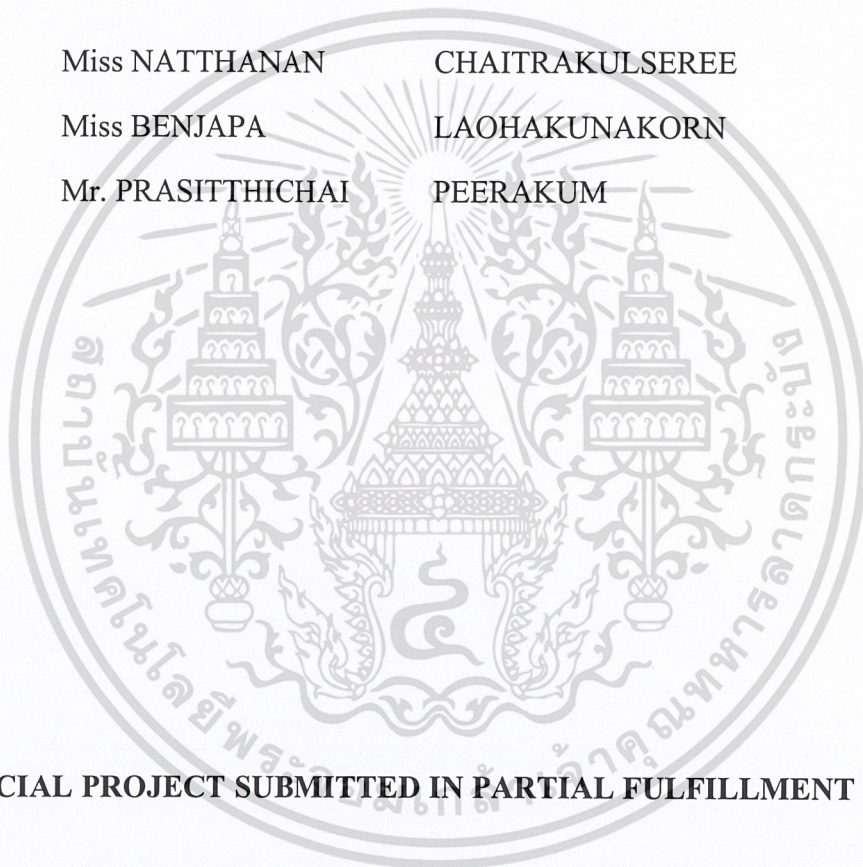
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REMOVAL OF PHENOL BY CATALYTIC OXIDATION USING
ACTIVATED COPPER OXIDE CATALYST**

Miss NATTHANAN CHAITRAKULSEREE
Miss BENJAPA LAOHAKUNAKORN
Mr. PRASITTHICHAI PEERAKUM



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY-ANALYTICAL INSTRUMENTATION
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Removal of phenol by catalytic oxidation using Activated Carbon Supported Copper Oxide catalyst

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐนันท์ ชัยตระกูลเสรี

นางสาวเบญจภา เลาหคุณากร

นายประสิทธิ์ชัย ธีระคำ


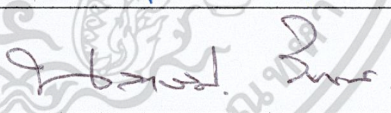
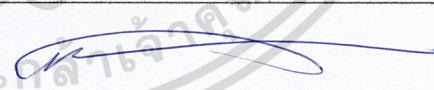
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.บรรจง บุญชม	
ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การกำจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
นักศึกษา	นางสาวณัฏฐนันท์ ชัยตระกูลเสรี นางสาวเบญจมาภา เลหาคุณากร นายประสิทธิ์ชัย ภิระคำ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อานาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้คอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การกำจัดฟีนอลดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ที่มีการพ่นอากาศเข้าไป ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตัวแปรของปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ในเตรตที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการการดำเนินปฏิกิริยา และความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเตรียมด้วยวิธีทำให้เอิบซุ่มโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ในเตรต แล้วนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ปริมาณความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือหลังจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์และเพิ่มเวลาดำเนินปฏิกิริยาจะทำให้สามารถกำจัดฟีนอลในน้ำได้สูงขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที โดยสามารถกำจัดฟีนอลได้ร้อยละ 96.06

คำสำคัญ : ฟีนอล ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ่านกัมมันต์ คอปเปอร์ออกไซด์

Title Removal of Phenol by Catalytic Oxidation using Copper Oxide over Activated Carbon Catalyst

Students Miss Natthanan Chaitrakulseree
Miss Benjapa Laohakunakorn
Mr. Prasitthichai Peerakum

Degree Bachelor of Science

Major Program

Academic Year 2010

Advisor Dr.Amnat Permsubscul

ABSTRACT

This research presents an approach to the removal of phenol in synthetic wastewater by catalytic oxidation with copper oxide over activated carbon catalysts (CuAC). The oxidation performance of CuAC in the catalytic oxidation of phenol were studied in a batch reactor at 80 °C under the air flow. The significant factors in reaction of removal phenol such as volume of catalyst, concentration of $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ for preparing catalyst, reaction time and concentration of phenol were investigated. The CuAC catalysts were prepared by incipient wetness impregnation method by varied concentration of $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) experiments were performed to investigate the chemical state of copper species. Scanning Electron Microscope is used to observe surface area prepared catalyst. After oxidation, the concentration of remaining phenol in synthetic wastewater was measured by UV-visible spectrophotometer.

From the experiment shows that the increasing concentration of CuO and reaction time can enhancement for removing phenol in synthesis wastewater. The best condition in this research for removing phenol is using 10%wt of CuO supported activated carbon catalyst and reaction time of 120 minutes can achieve 96.06% of phenol removal.

Keywords : Phenol , Oxidation Reaction , Activated Carbon, Copper Oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร และ ดร.บรรจง บุญชม กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สาร

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สาร

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวอันเป็นที่รักสำหรับกำลังใจ

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ทุกคนที่กรุณาให้คำแนะนำ คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

นางสาวณัฐนันท์ ชัยตระกูลเสรี

นางสาวเบญจภา เลาหคุณากร

นายประสิทธิ์ชัย กิระคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II.
กิตติกรรมประกาศ.....	III.
สารบัญ.....	IV.
สารบัญตาราง	VIII.
สารบัญรูปภาพ	IX.
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ลักษณะทั่วไปของฟีนอล.....	5
2.1.1 การเกิดฟีนอล.....	6
2.1.2 ความเป็นกรดของฟีนอล.....	6
2.1.3 ความเป็นพิษของฟีนอล.....	6
2.2 ถ่านกัมมันต์	6
2.2.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	7
2.2.2 การทำงานของถ่านกัมมันต์	7
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์.....	7
2.3 การดูดซับ	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 ลักษณะการดูดซับ	8
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	10
2.3.2.1 ธรรมชาติของสารดูดซับ	10
2.3.2.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ	10
2.3.2.3 สภาพแวดล้อม	10
2.4 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	11
2.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	13
2.5.1 การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์	14
2.5.2 การเตรียมออกไซด์ผสม	14
2.5.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการวางองค์ประกอบกัมมันต์บนตัวรองรับ	14
2.5.3.1 การตกตะกอน	14
2.5.3.2 การดูดซับ	15
2.5.3.3 การแลกเปลี่ยนไอออน	16
2.5.3.4 การทำให้เอบซึม	16
2.5.4 การเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปที่ว่องไว	17
2.5.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอื่นๆ	17
2.5.5.1 Raney metal	17
2.5.5.2 Reduced fused oxides	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	20
3.1 สารเคมี	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	20
3.3 วิธีการทดลอง.....	21
3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล.....	21
3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการวิเคราะห์คุณสมบัติ	22
3.3.2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์บนถ่านกัมมันต์.....	22
3.3.2.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์บนถ่านกัมมันต์.....	22
3.3.3 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	26
4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟีนอล.....	26
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	27
4.2.1 สันฐานวิทยา.....	27
4.2.2 การศึกษาด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ ดิฟแฟรกชัน	30
4.2.3 การศึกษาองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	33
4.3 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการกำจัดฟีนอล.....	34
4.3.1 ผลจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรคบนถ่านกัมมันต์.....	35
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา.....	37
4.3.3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดำเนินการ.....	39
4.3.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล.....	41
4.3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการในการกำจัดฟีนอล.....	43
4.4 การวิเคราะห์แคตตาลิสต์หลังจากเกิดการออกซิเดชันฟีนอล.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก ก.....	50



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และวิวิธพันธุ์.....	13
3.1 ตารางแสดงถึงตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการทำการทดลอง.....	25
4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟีนอล.....	26
4.2 ปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC	34
4.3 แสดงปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลของความเข้มข้นคอปเปอร์ในเตรด ต่างๆ.....	35
4.4 แสดงปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา.....	37
4.5 ปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาของปฏิกิริยาฟีนอล.....	39
4.6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลที่มีต่อปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล.....	41
4.7 ปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลด้วยกระบวนการต่างๆ.....	43

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างสองมิติและสามมิติของฟินอล.....	5
2.2 ขั้นตอนในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคัวยวิธีตกตะกอน.....	15
2.3 การเตรียมโดยวิธีการดูดซับและไอโซเทิร์มของการดูดซับของไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	15
2.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคัวยวิธีเอ็บซุ่ม.....	17
3.1 เครื่องเอ็กซ์เรย์คิฟแฟรคชั่นสเปกโตรมิเตอร์.....	23
3.2 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์.....	23
3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	24
4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของฟินอล(mg/L)และค่าการดูดกลืนแสง(Abs).....	27
4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ซึ่งเตรียมจากสารละลาย $Cu(NO_3)_2$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 200 เท่า).....	28
4.3 คิฟแฟรคโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดต่างๆ แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์.....	30
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรด (%wt) กับ ปริมาณฟินอลคงเหลือ (mg/L).....	36
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรด(%wt) กับเปอร์เซ็นต์การกำจัด (%).....	36
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟินอลคงเหลือ (mg/L) กับ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (g/L).....	38
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (g/L) กับ เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%).....	38
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับ ปริมาณฟินอลคงเหลือ (mg/L).....	40
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดำเนินปฏิกิริยา (นาทื) กับ เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%).....	40
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟินอลเริ่มต้น กับปริมาณฟินอลคงเหลือ (mg/L).....	42
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟินอลเริ่มต้น กับเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟินอล.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12	กราฟแท่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดฟีนอลที่ต่างกัน..... 44
4.13	ดิฟเฟอเรนเชียลโกลด์กราฟของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC หลังจากเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในการทดลอง ต่างๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดต่างกัน เปรียบเทียบกับตัวเร่ง ปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน ที่ยังไม่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน45



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจ

อย่างที่ทราบกันดีว่าธุรกิจการส่งออกของประเทศทั่วโลกนั้น มีแนวโน้มที่สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากเศรษฐกิจที่กำลังเติบโตในหลายๆประเทศ ทำให้เกิดความต้องการในการอุปโภคบริโภคสินค้าตามมา ผู้ผลิตจึงต้องสนองต่อลูกค้าด้วยการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้ได้เพียงพอต่อการตอบสนองของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการผลิตสินค้าในปริมาณที่มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นตาม เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการผลิตสินค้าได้ ดังนั้น เมื่อยังมีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น สิ่งที่เป็นผลเสียตามมาคือน้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสารมลพิษที่ทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่ต้องอุปโภคบริโภคน้ำจากแหล่งน้ำเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้สารเคมีจำพวกสารอินทรีย์เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตเช่น โรงงานเกี่ยวกับผลไม้, โรงงานสีย้อม, โรงงานเคมีภัณฑ์ หรือ โรงงานปิโตรเคมี เป็นต้นจะปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นสารปนเปื้อนออกมา ซึ่งสารเหล่านั้นยากที่จะกำจัดโดยผ่านกระบวนการธรรมดา ดังนั้น จึงได้มีการคิดค้นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ ทราย กรวด เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรองและถังฆ่าเชื้อโรค และการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) : เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลอง วนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิธีที่จะกำจัดสารเคมีจำพวกสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำที่จะนิยมใช้วิธีดึงเอาสารปนเปื้อนออกมาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น วิธีออกซิเดชันหรือรีดักชัน ดังในการศึกษานี้วิธี Wet Air Oxidation ได้ถูกนำมาศึกษาเพื่อจำกัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย ซึ่งวิธีนี้ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการการเงิองหลายรอบเพื่อนำไปเผา หรือ มีความเข้มข้นมากเกินไป หรือ เป็นมลพิษเกินกว่าจะทำการบำบัดด้วยวิธีทางชีววิทยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งหลายชนิดเช่น โลหะมีตระกูล และ โลหะออกไซด์ ได้ถูกนำมาศึกษาในกระบวนการ Wet Air Oxidation ในน้ำทิ้งสังเคราะห์หรือน้ำเสียจากแหล่งจริง [1,3] ในกระบวนการนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันออกไซด์ จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกระบวนการออกซิเดชันของน้ำเสียที่มีสารมลพิษซึ่งกำจัดได้ยากปนเปื้อนอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฟีนอล (phenol) ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมและเป็นสารที่สำคัญที่เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลางของกระบวนการออกซิเดชัน ดังนั้นจึงได้นำเอาสารฟีนอล และ สารประกอบฟีนอลิก มาศึกษากันอย่างกว้างขวาง

ฟีนอล มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากรดคาร์บอลิก (carbolic acid) เป็นสารที่ได้มาจากน้ำมันถ่านหิน ซึ่งรู้จักกันมาเกือบ 200 ปีแล้ว ฟีนอลเป็นของแข็งไม่มีสี ถ้าบริสุทธิ์จะมีสีขาวขุ่น ฟีนอลถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกบางชนิด สี ย้อม ยาฆ่าเชื้อโรค สารกันหืน กลุ่มสารเคลือบผิวและผลิตภัณฑ์กาว (Synthetic Coating and Adhesive Materials) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี เพื่อการเคลือบผิววัสดุให้แข็งแรง คงทน และสวยงาม เม็ดพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เวชภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขี้ผึ้ง ยาอมแก้เจ็บคอ น้ำยาบ้วนปาก ฯลฯ ทางด้านปฏิบัติการชีวเคมี มักใช้ฟีนอลในการทำสกัดดีเอ็นเอหรือพลาสมิด ด้วยอัตราส่วน ฟีนอล : กลอโรฟอร์ม : ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 25 : 24 : 1 เพื่อสกัดโปรตีนออก

ฟีนอลมีฤทธิ์กัดกร่อนทำให้ระคายเคืองเยื่อเมือกต่าง ๆ เช่นเยื่อในปาก หลอดลม หลอดอาหาร และระบบลำไส้ อันตรายของฟีนอลที่ต้องระวังคือ ฟีนอลเข้มข้นเมื่อถูกผิวหนังจะกัดผิวหนังและซึมเข้าสู่กระแสโลหิต แผลที่ผิวหนังจะมีลักษณะ พองขาวและเกิดอาการปวดแสบปวดร้อนแล้วชา ถ้าโดนเป็นบริเวณกว้างหรือกลืนกินเข้าไปอาจถึงตายได้ เนื่องจากเป็นพิษต่อตับ ไต และไปก่ระบบประสาทส่วนกลาง วิธีการกำจัดฟีนอลทำได้หลายวิธีเช่น ปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอนด้วยปูนขาว ใช้เปอร์ออกซิเดสที่สกัดได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร บำบัดแบบ Activated Sludge และปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นต้น

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้คอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำการศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ในเตรดที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของฟีนอลในน้ำทิ้ง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.) เพื่อศึกษาวิธีการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียด้วยวิธี Wet Air Oxidation โดยมีคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 2.) เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ไนเตรดที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของฟีนอล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรรวมถึงสถานะที่เหมาะสม ที่มีผลต่อการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียโดยทำการศึกษาตัวแปรดังนี้
 - 1.1) ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 1,5,7,10,15,20 และ 25% โดยน้ำหนัก
 - 1.2) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ 1,2,3 และ 5 กรัมต่อลิตร
 - 1.3) เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60,90,120 และ 180 นาที
 - 1.4) ความเข้มข้นของฟีนอล 500,1000 และ 2000 mg/L
2. ศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่
 - 2.1) ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ ตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)
 - 2.2) โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาและความเป็นผลึก ตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray diffraction, XRD)
 - 2.3) ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพได้
2. สามารถนำเอาวิธีการกำจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไปประยุกต์ใช้กับการกำจัดมลพิษชนิดอื่นๆได้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพื่อให้ได้น้ำที่ปราศจากสารปนเปื้อนก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของฟีนอล [1]

ฟีนอล หรือที่รู้จักกันว่า Carbohic Acid เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้อย่างแพร่หลายในสมัยก่อน โดยพบว่ามักจะใช้ในการผสมกับน้ำยาถูพื้นเพื่อใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อ นอกจากนี้ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคแล้วส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารตั้งต้นสำคัญในอุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ที่ให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกหลายรูปแบบออกมา เป็นต้นว่าไนลอนที่มาจากสารคาโพรแลคแทม เม็ดพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และในกาวที่ใช้กับไม้ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ใกล้ตัวของเรหลายอย่างก็มีฟีนอลเป็นส่วนผสม เช่น เวชภัณฑ์ต่าง ๆ จี๊ฟี่ ยามแก็้บคอ น้ำยารับปาก ฯลฯ ในปัจจุบันพบว่าการผลิตฟีนอลเป็นจำนวนมาก (ประมาณ 7 พันล้านกิโลกรัมต่อปี) ในแต่ละปีเนื่องจากฟีนอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบอื่นๆ ได้หลายชนิด

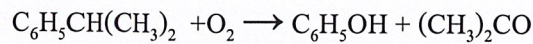


รูปที่ 2.1 รูปซ้าย สูตรโครงสร้างแบบ 2 มิติของฟีนอล
รูปขวา สูตรโครงสร้างแบบ 3 มิติของฟีนอล

ฟีนอล มี สูตรโครงสร้างทั่วไปคือ (C_6H_5OH) น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 94.11 g/mol ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมร้อยละ 76.56 โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนอะตอมร้อยละ 6.44 โดยน้ำหนัก และมีออกซิเจนอะตอมร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก สารประกอบฟีนอลมีหมู่ฟีนิล ซึ่งสร้างพันธะกับหมู่ ไฮดรอกซิล (-OH) มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว ความหนาแน่นอยู่ที่ 1.07 g/cm³ ความสามารถในการละลายน้ำที่ 8.3g ต่อ น้ำ 100 mL ที่อุณหภูมิ 20°C (0.88 M) เกลือโซเดียมของฟีนอล และ โซเดียมฟีนอกไซด์ จะมีความสามารถในการละลายน้ำที่ต่ำ

2.1.1 การเกิดฟีนอล

ฟีนอลสามารถสังเคราะห์ได้จากการออกซิเดชันบางส่วนของเบนซีนโดยกระบวนการ cumene หรือโดยกระบวนการ Raschig นอกจากนี้ยังสามารถพบเป็นของผลิตภัณฑ์ถ่านหิน การออกซิเดชันเริ่มต้นจาก cumene (isopropylbenzene)



2.1.2 ความเป็นกรดของฟีนอล

ฟีนอลมีคุณสมบัติเป็นกรดอย่างอ่อน ซึ่งจะไม่ค่อยยอมให้สูญเสีย H^+ จากหมู่ไฮดรอกซิล ส่งผลให้ฟีนอเลตไอออน $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$ เรียกว่า ฟีนอกไซด์ไอออน เมื่อเปรียบเทียบกับอะลิฟาติกแอลกอฮอล์ ฟีนอลแสดงความเป็นกรดสูงมาก มันทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะสูญเสีย H^+ ในขณะที่ส่วนใหญ่แอลกอฮอล์ตอบสนองเพียงบางส่วนเท่านั้น ฟีนอลเป็นกรดน้อยกว่าคาร์บอกซิลิก

2.1.3 ความเป็นพิษของฟีนอล

ฟีนอลและไอระเหยของมันจะกัดกร่อนต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจหรือผิวหนังที่มี ฟีนอลเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดโรคผิวหนัง คุณสมบัติกัดกร่อนการสูดดมไอฟีนอลอาจทำให้เกิดอาการปวดบวม น้ำ สารที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางและหัวใจเกิดการชัก ไตอาจได้รับผลกระทบเช่นกัน ฟีนอลที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งในมนุษย์

2.2 ถ่านกัมมันต์ [2]

ถ่านกัมมันต์(ถ่านกรองประสิทธิภาพสูง) คือถ่านที่ได้จากการนำไม้หรือวัสดุใกล้เคียงอื่นๆ เช่น กะลามะพร้าว มาผ่านกระบวนการคาร์บอนซ์ โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นถ่านซึ่งมีความพรุนสูงมาก มีการใช้ประโยชน์มากมายหลายด้าน เช่นในการใช้ดูดซับสารต่างๆ การกำจัดคลอรีน เป็นต้น การใช้งานแต่ละประเภท จะต้องการคุณสมบัติของถ่าน ที่แตกต่างกันออกไปในรายละเอียดเชิงเทคนิค ไม่ใช่ว่าถ่านก็คือถ่านเหมือนกันไปหมด จึงจำเป็นอย่างมาก ที่เราจะต้องสามารถเลือกซื้อถ่านกัมมันต์มาใช้งานได้ และตรงตามวัตถุประสงค์

2.2.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุหลายๆอย่าง เป็นต้นว่าไม้ ถ่านหินลิกไนต์ หรือ กะลามะพร้าวเป็นต้น ขั้นตอนหลักๆก็คือการนำมาให้ความร้อน เรียกกระบวนการนี้ว่า "คาร์บอนไนซ์เซชัน" จากนั้นจึงอัดด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด (200-1600 องศาเซลเซียส) ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดร่างแหรูพรุนภายในและร่างหมูฟิงก์ชั้นบนพื้นผิวในแต่ละส่วน ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการกรองที่แตกต่าง ผลิตภัณฑ์อาจจะอยู่ในรูปเม็ดเล็กๆ (Granular Activated Carbon, GAC) อยู่ในรูปเป็นผง (Powder Activated Carbon, PAC) หรืออยู่ในรูปผงอัดเป็นแท่ง (compressed PAC) ถ่านกัมมันต์บางอย่างจะถูกล้างด้วยกรดฟอสฟอริก ซิงค์คลอไรด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเหล่านี้ โดยมากไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบกรองของผู้เลี้ยงปลาทะเลเนื่องจากจะปลดปล่อยฟอสเฟต โลหะหนัก และทำให้ค่า pH แกว่งได้

2.2.2 การทำงานของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้หลักการดูดซับ (Adsorption) และดูดซึม (Absorption) การดูดซับจะเป็นการจับกันอย่างหลวมๆของสารอินทรีย์และคาร์บอนที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ในทางทฤษฎีสารที่ถูกดูดซับอาจจะถูกปล่อยกลับออกมาได้ แต่จากการสังเกต ทดลองได้แสดงให้เห็นว่าภาวะการปล่อยกลับออกมานั้นเกิดขึ้นได้ยาก แบคทีเรียมักจะสร้างกลุ่มอยู่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์และกินบางส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ ซึ่งจะเป็นการช่วยคืนรูพรุนของถ่านกัมมันต์บางส่วน และป้องกันการหลุดกลับของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้

ส่วนกระบวนการดูดซึมนั้นจะอาศัยหลักการแพร่ของก๊าซหรือสารประกอบเข้าไปในร่างแหรูพรุนภายในเม็ดถ่าน ซึ่งภายในจะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดการจับยึดโดยความเป็นร่างแหยึดเหนี่ยวไว้ ยกตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น โอโซนถูกดูดซึมเข้าไปและถูกคาร์บอนรีดิวซ์เป็นออกซิเจน ซึ่งตัวโอโซนหรือออกซิเจนไม่ได้ไปสร้างหรือถูกจับไว้โดยถ่านกัมมันต์แต่อย่างใด ส่วนกระบวนการดูดซึมอีกประเภทคือการดูดซึมเข้าไปแล้วเกิดปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ สร้างพันธะที่หนาแน่นกับคาร์บอนของถ่านกัมมันต์

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็เหมาะกับแต่ละงานไม่เหมือนกัน เบื้องต้นจำแนกออกเป็นใช้กับอากาศและใช้กับของเหลว พวกที่ใช้กับอากาศจะพบได้ในเครื่องปรับอากาศ ระบบฟอกอากาศ หน้ากากแก๊ส โดยทั่วไปพวกสารมลพิษในอากาศ มีโมเลกุลขนาดเล็ก ถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้จึงควรมีรูพรุนขนาดเล็กจำพวก microporous ซึ่งจะเป็นตัวดูดซึม/จับ ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ มีผลอย่างมากต่อขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้น เช่นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว รูพรุนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก (microporous) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะใช้ในการกำจัดคลอรีนในน้ำประปา ถ่านหินลิกไนต์ใช้ในการทำถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (macroporous) ส่วนไม้หากนำมาทำจะทำให้รูพรุนขนาดเกือบๆใหญ่ (ประมาณ 25 อังสตรอม)

2.3 การดูดซับ (Adsorption) [3]

การดูดซับเป็นการทำให้ตัวถูกดูดซับเข้มข้นที่ผิวของตัวดูดซับ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้น เมื่อพื้นผิวของตัวดูดซับสัมผัสกับตัวถูกดูดซับ ชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นที่พื้นผิวตัวดูดซับเนื่องมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ หรือเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ

การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ได้แก่

ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวดูดซับจะแพร่กระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 เกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งอาจจะดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี หรือทั้ง 2 แรงพร้อมกัน

2.3.1 ลักษณะการดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) การดูดซับประเภทนี้จะไม่มีความจำเพาะของ การดูดซับที่แน่นอนและสามารถย้อนกลับได้ จะเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของตัวถูกดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นต้องมีปริมาณของตัวถูกดูดซับมากกว่าตัวดูดซับ และความร้อนที่ใช้การดูดซับ 1 กิโลแคลอรีต่อ โมล เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับสารละลาย ดังนั้นตัวถูกดูดซับจะยึดติดแน่นบนผิวของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอของระบบนั้นก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ จะให้ความร้อนออกมาเล็กน้อยแต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น เมื่อลดความดันของระบบหรืออุณหภูมิลงจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า การคายการดูดซับ (desorption) ซึ่งเป็นวิธีการนำตัวดูดซับกลับมาใช้อีกครั้ง (reversible) การดูดซับนี้สารดูดซับไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี การดูดซับทางกายภาพบางครั้งเรียกว่าการดูดซับแบบวานเดอร์วาลส์ (van der wall's adsorption) แรงดึงดูดของการดูดซับทางกายภาพ เช่น แรงวานเดอร์วาลส์ (van der wall's force) รวมทั้งแรงไฟฟ้าสถิตย์บริเวณผิวรอบนอกของสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงวานเดอร์วาลส์ อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้ว สามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อน ๆ ได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากันมีผลให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และ สามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อน ๆ ดังนั้นการคายการดูดซับจะกระทำได้ง่ายซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเข้าด้วยกัน หรือระหว่างสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งการเกาะจับของโมเลกุลชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ เกิดขึ้นจากผล 3 อย่างดังนี้

1.แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (Orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

2.แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (Dispersion effect) ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่ง มาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามา ก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันมักเป็นแรงที่อ่อน เช่น อินทรีย์สารและถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์สารส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

3.แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (Induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption or chemisorptions) เป็นการดูดซับที่ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับสร้างพันธะระหว่างกัน มีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าตัวถูกดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นอยู่กับทั้งตัวถูกดูดซับและความร้อนที่ใช้ในการดูดซับ 50-100 กิโลแคลอรีต่อโมล เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สร้างสารประกอบระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวของตัวดูดซับทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลง ซึ่งไม่ขึ้นกับความดันมากนักและดูดซับตัวถูกดูดซับไว้ในปริมาณอย่างน้อยหนึ่งหน่วยต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ เนื่องจากการดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวทั้งหมด ปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิปกติ องค์ประกอบบางชนิดจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถที่จะเกิดการดูดซับทางเคมีได้ แรงทางเคมีจะเป็นเนื่องจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ในช่วงสั้น ๆ รวมถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (ligand exchange) พันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอนหรือเกิดจาก การแลกเปลี่ยน อิเล็กตรอน มีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแรงทางกายภาพ
2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (Irreversible) เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากและมีการจับกัน เป็นสารประกอบเคมี

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.3.2.1 ธรรมชาติของสารดูดซับ (Nature of the adsorption)

โดยเฉพาะพื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน (Surface area and pore structure) และขนาดของ ตัวดูดซับ ในกรณีที่ตัวดูดซับ ไม่มีรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ นั่นคือ ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของสารดูดซับมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของสารดูดซับ เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้ พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง

ในกรณีที่สารดูดซับ ไม่มีรูพรุนนั้นพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลงซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าสารดูดซับมีรูพรุนมาก ๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้น ในกรณีนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่เกิดขึ้นกับวัตถุ

2.3.2.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ (Nature of the adsorbate)

ได้แก่ ความสามารถในการละลาย น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล และความมีขั้วของโมเลกุล (polarity) ตัวถูกดูดซับที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

เมื่อน้ำหนักและขนาดของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่นถ้าโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ เมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้นการดูดซับก็มากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะเป็นผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

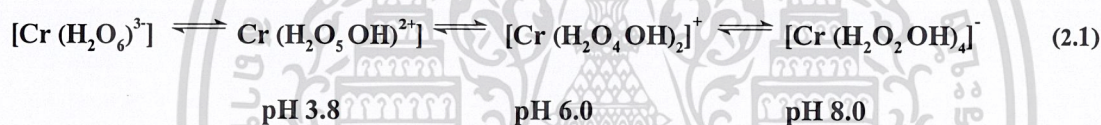
ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพมีขั้ว จะทำให้สามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.3.2.3 สภาพแวดล้อม

ผลของอุณหภูมิของสารละลาย (Effect of temperature) เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเกี่ยวกับชนิดของพันธะที่ยึดเหนี่ยวกัน ดังนั้นการดูดซับจะเกิดได้มากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ทดลองด้วย กล่าวคือ ถ้าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นชนิดคายความร้อน การดูดซับจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่ในกรณีที่ปฏิกิริยาดูดความร้อน ความสามารถในการดูดซับจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยนั้นไม่มีผลต่อการดูดซับ

ผลของพีเอชของสารละลาย (Effect of pH) เนื่องจากพีเอชมีผลต่อรูปแบบ (species) ของโลหะ เช่น ไอออนของตะกั่ว จะมีรูปแบบต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย ที่พีเอชต่ำกว่า 6 ตะกั่วจะอยู่ในรูป Pb^{2+} เป็นส่วนใหญ่ แต่ที่พีเอชสูง ๆ ไอออนของตะกั่วจะมีการรวมตัวกับโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบประเภท hydroxocomplexes ชนิดต่าง ๆ เช่น

Pb^{2+} , $Pb(OH)^+$ และ $Pb_2(OH)^+$ และ $Pb_3(OH)^{2+}$ ในกรณี Cr^{3+} พีเอชจะทำให้ Cr^{3+} บางรูปแบบมีประจุเปลี่ยนจากบวกเป็นลบได้ดังสมการ (2.1)



2.4 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา [4]

การเร่งปฏิกิริยาสามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) การเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalysis) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในเฟสเดียวกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่มักเป็นสารละลายที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นละลายอยู่ด้วย

2) การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalysis) ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีเฟสต่างกับสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นของแข็งและสารตั้งต้นเป็นแก๊สหรือของเหลว

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งตามสถานะเทียบกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มี 2 ประเภทคือ

1) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นแก๊สหรือของเหลว ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตที่เร่งด้วยเอนไซม์และปฏิกิริยาในสารละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร่งปฏิกิริยาชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการศึกษา แต่ก็มีข้อเสียคือมักสลายตัวหรือเสียสภาพในสภาวะที่ใช้ความร้อนหรือความดันสูง

- 2) ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิหพันธ์ (Heterogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งแบบวิวิหพันธ์พบได้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น ปุ๋ย ผลิตภัณฑ์ยา เชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ ตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือได้ง่ายกว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์

ตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบสมบัติและปัจจัยต่างๆของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิหพันธ์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์อยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้น จึงมีข้อดีคือประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูงและสามารถเลือกให้เร่งปฏิกิริยาที่ต้องการได้ง่ายกว่า อีกทั้งสภาวะการทดลองที่ใช้ไม่รุนแรงสามารถศึกษากลไกของปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าด้วยเทคนิคทาง สเปกโทรสโกปีต่างๆและไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ของสารตั้งต้นไปหาตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน แต่มีข้อเสียคือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก วิธีการที่ใช้ส่วนใหญ่คือการกลั่นหรือการสกัดด้วยตัวทำละลายและการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ทำได้ยากกว่าและอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์นั้นสั้นกว่า

ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิหพันธ์ คือ สามารถแยกสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย สามารถใช้ได้ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และ/หรือ ความดันสูงได้ ตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุการใช้งานที่ยาวนานและอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์

ปัจจัยหรือตัวแปรที่สนใจ	การเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์	การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์
กัมมันตภาพเมื่อเทียบปริมาณโลหะที่เท่ากัน	สูง	แปรค่าได้
สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา	สูง	แปรค่าได้
สถานะของปฏิกิริยา	ไม่รุนแรง	รุนแรง
อายุการใช้งานของตัวเร่ง	แปรค่าได้	นาน
ความไวของตัวเร่งต่อการเกิดพอยชัน	ต่ำ	สูง
ปัญหาจากการแพร่	ไม่มี	อาจมีผล
การนำตัวเร่งกลับมาใช้งาน	แพง	ทำได้
การปรับสมบัติเชิงโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเปลี่ยนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบ	อาจทำได้	ทำไม่ได้

2.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [5]

สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับกรรมวิธีที่ใช้ในการเตรียมสาร การเตรียมแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ พื้นที่ผิว เสถียรภาพ และความทนทาน การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

กลุ่มแรก คือ การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์ (Active oxide component)

กลุ่มที่ 2 คือ การนำองค์ประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาวางบนตัวรองรับ (Deposition-produced activity component)

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่มีการเตรียมพิเศษเฉพาะตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การเตรียมตัวเร่งกลุ่มออกไซด์

ตัวเร่งกลุ่มออกไซด์ในที่นี้มีความหมายรวมทั้งองค์ประกอบกัมมันต์และตัวรองรับซึ่งจะถูกเตรียมให้มีพื้นที่ผิวและความพรุนสูง เช่น ไฮดรอกไซด์ซึ่งอาจเป็นทั้งองค์ประกอบกัมมันต์และตัวรองรับ

2.5.2 การเตรียมออกไซด์ผสม

ออกไซด์ผสม(Dual Oxides) คือ การรวมตัวของออกไซด์สองชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการเร่งปฏิกิริยา วิธีที่ดีที่สุด คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) และการเตรียมเจลสองชนิดเพื่อให้ได้การกระจายตัวที่และมีอันตรกิริยาต่อกันสูง ตัวอย่างเช่น $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO-Al}_2\text{O}_3$ และ ซีโอไลต์

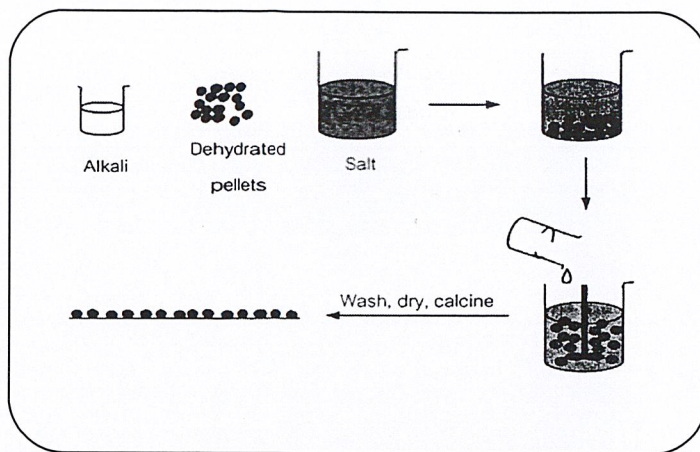
2.5.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการวางองค์ประกอบกัมมันต์บนตัวรองรับ

การทำให้ออกไซด์กระจายตัวบนตัวรองรับเป็นวิธีการที่นิยมมาก สามารถทำได้ 4 วิธี คือ การตกตะกอน การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน และการทำให้เอิบชุ่ม (Impregnation) แต่ละเทคนิคมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งต้องพิจารณาจากการใช้ ตัวรองรับที่ใช้อาจเป็นผงหรือเป็นก้อนเล็กๆ ในการเติมองค์ประกอบกัมมันต์ลงไปบนผิวหน้าด้านในตัวรองรับอาจมีข้อจำกัดเรื่องการแพร่เข้าไปในรูพรุน

2.5.3.1 การตกตะกอน คือ การทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างผองอนุภาคของตัวรองรับ กับเกลือของสารละลายซึ่งอาจจะเป็นออกซาลेट ไนเตรต ซัลเฟต หรือคลอไรด์ ในตัวกลางที่เป็นเบส เช่น NaOH , KOH , NH_4OH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 ทำให้ได้ไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนตของโลหะที่ไม่ละลายน้ำ สารเหล่านี้สามารถเปลี่ยนเป็นออกไซด์โดยการให้ความร้อน

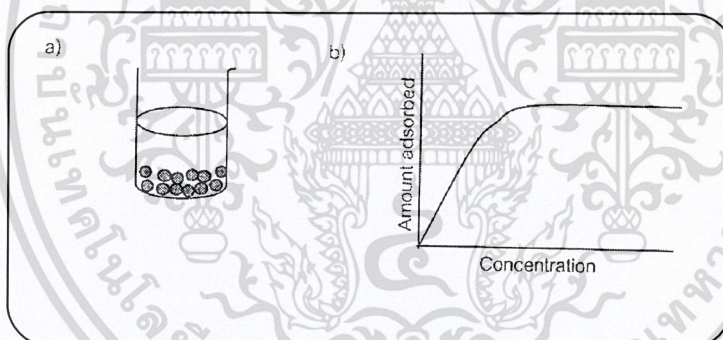
การตกตะกอนเหมาะกับการเตรียมเพื่อให้มีปริมาณ โลหะ (Loading) ขององค์ประกอบ กัมมันต์ประมาณ 10-20% ถ้าต้องการปริมาณที่ต่ำกว่านี้ควรพิจารณาใช้วิธีอื่น

การเตรียมทำได้โดยการคละเคล้ากันของผงตัวรองรับกับสารละลายเกลือตามปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการก่อนทำปฏิกิริยา แต่ในบางกรณีตัวรองรับอาจจะต้องดูแลอากาศในตัวรองรับเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศในรูพรุน หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายเบสเพื่อทำให้เกิด การตกตะกอนขึ้นต่อมาคือการกรองหรือการแยก แล้วล้างกำจัดสารต่างๆ ได้แก่ สารละลายเบส ซึ่งเป็น ไอออนของสารตั้งต้น และสารที่จับอยู่บนผิวหน้าที่มากเกินไปออก



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีตกตะกอน

2.5.3.2 การดูดซับ คือ การนำเอาวัสดุที่เป็นตัวรองรับมาแช่ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการดูดซับ และการดูดซับจะให้ไอโซเทิร์ม ดังรูป 2.13 (b) การดูดซับเป็นวิธีการที่เหมาะสมเมื่อต้องการปริมาณองค์ประกอบกัมมันต์ต่ำ ผงหรืออนุภาคจะถูกนำมากำจัดน้ำและทำให้ชุ่มในสารละลายที่เหมาะสมในเวลาที่เหมาะสม การจับแบบนี้จะสม่ำเสมอและองค์ประกอบ กัมมันต์ จะเข้าไปจับในรูพรุนอย่างทั่วถึงระหว่างการทำให้ชุ่ม



รูปที่ 2.3 (a) การเตรียมโดยวิธีการดูดซับ

(b) ไอโซเทิร์มของการดูดซับของไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

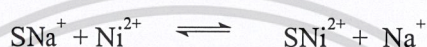
การดูดซับจากสารละลายอาจเป็นทั้งการดูดซับไอออนบวกหรือไอออนลบ ขึ้นกับสมบัติของผิวหน้า ตัวอย่างเช่น ซีโอไลต์เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ดี แต่ซิลิกาเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ไม่ดี ส่วนอะลูมินาเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีทั้งสำหรับไอออนบวกและไอออนลบ แมกนีเซียมเป็นตัวดูดซับไอออนลบที่ดี และคาร์บอนมักจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีการถ่ายโอนประจุ (Charge transfer Complex) กับการให้อิเล็กตรอน แต่ก็ดูดซับไอออนบวกได้บ้างเช่นกัน ถ้าไม่

นับซีโอไลต์ซึ่งมีกลไกการดูดซับที่ต่างออกไปแล้ว
 ความสำคัญในเชิงการเร่งปฏิกิริยา

ลักษณะการดูดซับเชิงไอออนิกของหมู่ที่มี

2.5.3.3 การแลกเปลี่ยนไอออน

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนจะเหมือนกับการดูดซับไอออนิก
 ต่างกันเพียงแต่มีการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นนอกเหนือจากโปรตอน ไอออนที่มีประจุต่ำ เช่น Na^+
 จะแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุสูงกว่า เช่น Ni^{2+} และมีสมดุลเกิดขึ้นดังนี้(S คือหมู่ฟังก์ชันใดๆ)



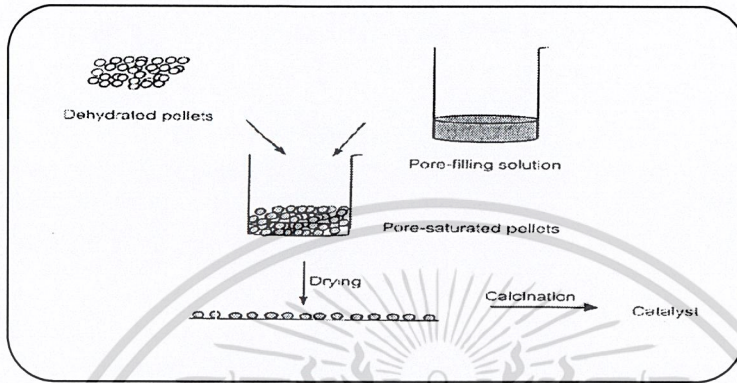
การแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อไอออนตัวใหม่ที่เข้ามาแทนที่สามารถจับกับตัว
 รงรับได้แข็งแรงกว่าไอออนเดิม ส่วนใหญ่เมื่อพูดถึงการแลกเปลี่ยนไอออน เรามักจะนึกถึงการแช่
 ตัวรองรับลงในสารละลายของเกลือของโลหะที่ต้องการแลกเปลี่ยน แล้วรอนได้ปริมาณ การ
 แลกเปลี่ยนที่ต้องการ ข้อดีของการแลกเปลี่ยนไอออนคือจะได้รับการกระจายตัวของไอออนโลหะที่
 เป็นเนื้อเดียว แต่การแลกเปลี่ยนมีข้อจำกัดเนื่องจากต้องใช้เวลาานาน และเมื่อการแลกเปลี่ยน
 อิ่มตัวแล้วจะไม่สามารถเพิ่มปริมาณ ไอออนได้อีก

2.5.3.4 การทำให้เปียกชุ่ม (Impregnation)

เทคนิคการทำให้เปียกชุ่ม เป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวกที่สุดเพราะเป็นการจับตัวรองรับ
 โดยตรงจุดประสงค์คือต้องการเติมรูพรุนด้วยสารละลายของเกลือ โลหะที่มีความเข้มข้นเพียงพอ
 สำหรับค่าปริมาณ โลหะที่ต้องการ สารละลายที่ใช้ต้องมีปริมาณที่จะเติมรูพรุนได้พอดี เรียกว่า ค่า
 Incipient wetness ขั้นตอนการเตรียมคร่าวๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 เริ่มจากการให้ความร้อนแก่ตัว
 รองรับหรือนำไปดูดอากาศออกด้วยสุญญากาศเพื่อกำจัดความชื้นในรูพรุน และทำให้การแพร่ของ
 สารละลายเข้าไปในรูพรุนเกิดขึ้นได้ดีขึ้น จากนั้นหยดสารละลายในปริมาณที่พอดีที่จะเติมรูพรุน
 และทำให้ผิวหน้าภายนอกของตัวรองรับเปียกพอดี ลงไปบนตัวรองรับ ซึ่งปริมาณดังกล่าวสามารถ
 คำนวณได้ก่อนการเตรียมจากปริมาตรของรูพรุนหรือทำการทดสอบก่อนโดยใช้ตัวทำละลายหยดลง
 บนตัวรองรับที่ทราบปริมาณแน่นอนและทำการวัดปริมาตรที่ทำให้ตัวรองรับเปียกพอดี แล้วจึงนำ
 ปริมาตรตัวทำละลายที่ได้มาใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเพื่อให้ได้ปริมาณโลหะ
 ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้แห้งจะทำให้เกิดการตกผลึกของเกลือบนผิวหน้าของรูพรุน ขั้นตอนนี้ถ้าไม่ระวัง อาจจะทำให้เกิดการกระจายตัวของสารในรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ถ้าการทำให้แห้งช้าเกินไปจะทำให้สารละลายเคลื่อนลงไปอยู่ด้านล่างของรูพรุนเกิดการตกตะกอน ทำให้ผลึกที่ได้จะอยู่แต่ตอนล่างของรูพรุน ในทางตรงกันข้ามถ้าแห้งเร็วเกินไปสารละลายจะติดอยู่เฉพาะตอนบนของรูพรุนทำให้ผลึกเกิดเฉพาะช่วงบนของรูพรุน การทำให้แห้งในอัตราเร็วที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลึกที่เท่าๆ กัน



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคัด้วยวิธีเอ็บซุ่ม

การแคลไซน์เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาเจอกับความชื้นในอากาศ ผลึกในรูพรุน อาจละลายในน้ำที่เกิดควบแน่นได้ การแคลไซน์เป็นการเปลี่ยนเกลือโลหะให้อยู่ในรูปของโลหะหรือออกไซด์ และจะหยุดการกระจายของสารละลายได้

2.5.4 การเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปที่ว่องไว

ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือการเปลี่ยนวัสดุที่เตรียมได้ให้เป็นองค์ประกอบกัมมันต์ วัสดุที่เตรียมได้มักอยู่ในรูปออกไซด์ ดังนั้นถ้าสารที่ต้องการคือรูปที่เป็นออกไซด์อาจจะไม่ต้องทำการกระตุ้น แต่ถ้าต้องการในรูปโลหะจะต้องใช้ปฏิกิริยารีดักชัน และถ้าเป็นรูปซัลไฟด์ต้องใช้ปฏิกิริยาการเติมซัลไฟด์

2.5.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอื่นๆ

2.5.5.1 Raney metal

ตัวเร่งปฏิกิริยาอีกแบบหนึ่ง คือ โลหะที่มีความว่องไวและมีรูพรุน(Active porous metal) ซึ่งเรียกว่า Raney metal โลหะที่เตรียมโดยวิธีนี้ นิกเกิล เหล็ก โคบอลต์และทองแดง โลหะเหล่านี้

สามารถเกิดเป็นอัลลอยกับอะลูมิเนียมได้ และส่วนที่เป็นอะลูมิเนียมสามารถล้างออกได้โดย สารละลายที่มีความสามารถในการกัดกร่อน (Caustic) ทำให้เหลือแต่ส่วนที่เป็น โลหะที่มีความพรุน และมีพื้นที่ผิวสูง

2.5.5.2 Reduced fused oxides

ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบนี้คือ $\text{Fe-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์แอมโมเนียซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการหลอม Fe_2O_3 กับ Al_2O_3 และ K_2O ในปริมาณที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 1500°C เมื่อผสมกันดีแล้วทำให้เย็นลง ก่อนที่จะนำมาบดและร่อนเพื่อใช้งาน โดยจะมีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร ขั้นตอนสุดท้าย คือ การรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนเพื่อกำจัดออกซิเจนในโครงสร้าง Fe_3O_4 ทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กที่มีความพรุนสูง การยุบตัวของโครงสร้างรูพรุนซึ่งมักเกิดขึ้นที่ $400\text{-}500^\circ\text{C}$ จะไม่เกิดขึ้นเพราะมีอะลูมินาซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกั้นช่องอยู่ ส่วน K_2O ทำหน้าที่เป็นตัวโปรโมเตอร์ โดยเชื่อกันว่ามันจะเข้าไปจับบนตำแหน่งที่เป็นกรด ซึ่งป้องกันการหลุดออกไปของแอมโมเนีย ซึ่งทำให้เกิดตำแหน่ง [111] ซึ่งไวต่อปฏิกิริยา และเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่เหล็กทำให้ใน ไฮโดรเจนถูกดูดซับง่ายขึ้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Suranjana, C. และคณะ [6] ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล, 2-คลอโรฟีนอล และ 2-ไนโตรฟีนอล โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยมีไฮดรอกซิลและแมกนีเซียมไดออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเพิ่มร้อยละการกำจัดของฟีนอล และ 2-คลอโรฟีนอล ในขณะที่ 2-ไนโตรฟีนอล ไม่สามารถกำจัดได้ และปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้สามารถเกิดได้ถ้าใช้แก๊สออกซิเจนเป็นสารออกซิไดส์แทนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Rey, M. L. และคณะ [7] ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลโดยใช้คอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ 80 องศาเซลเซียส จากการวิจัยพบว่าการเปลี่ยน (conversion) ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างสมบูรณ์เกิดขึ้นภายใน 20 นาที และการกำจัดฟีนอลจะสมบูรณ์ที่ 30 นาทีแรก

Jaildes, M.B. และคณะ [8] ศึกษาการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ และเร่งปฏิกิริยาด้วยถ่านกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่าที่สภาวะของปฏิกิริยา อุณหภูมิ 38°C ความดัน 1 atm pH 6.5 และอัตราส่วนฟีนอลต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยมวลเป็น 14 ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถกำจัดสารประกอบฟีนอลสารประกอบฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างสมบูรณ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้ในทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จะเกิดการเสื่อมสภาพ (deactivation) เนื่องจากเกิดการชะละลาย (leaching) ของคอปเปอร์จากตัวเร่งปฏิกิริยา

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด(Activated carbon pellet) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba จำกัด
- 2) คอปเปอร์ไนเตรต (Copper (II) nitrate, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab System จำกัด
- 3) ฟีนอล (Phenol, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Chemical จำกัด
- 4) น้ำมันพาราฟิน เกรดการค้า จากบริษัท Lab System จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) LEO รุ่น LEO 1450 VP
- 2) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF) Philips รุ่น PW2004
- 3) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffraction Spectrometer, XRD) Siemens รุ่น D8 Advance
- 4) เครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer)
- 5) เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 6) แท่นให้ความร้อน พร้อมปั่นกวน (Hotplate Stirrer)
- 7) ขวดก้นกลมสามคอขนาด 500 ml
- 8) คอนเดนเซอร์
- 9) เทอร์โมมิเตอร์ 100 °C และ 300 °C
- 10) แท่งแม่เหล็ก
- 11) เครื่องแก้ว
- 12) ตู้อบสาร
- 13) เตาเผา
- 14) กระจกยูนีเวอร์แซลอินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 15) ขาดตั้งและที่จับบิวเรต
- 16) ปีมลคม
- 17) ครูชิเบิล
- 18) เคชเคเตอร์

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

- 3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล
- 3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการวิเคราะห์คุณสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการสังเคราะห์ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์บนถ่านกัมมันต์ (CuAC) วิธีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคือ วิธีทำให้เอิบชุ่ม (Incipient Wetness Impregnation)
- 3.3.3 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล

3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

- 1) เตรียมสารละลายสต็อกฟีนอล ความเข้มข้น 5000 mg/L
ชั่งฟีนอล 0.25 กรัม ละลายน้ำใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 2) เตรียมสารละลายฟีนอลในน้ำ ความเข้มข้น 250 mg/L
ปิเปตสารละลายสต็อกฟีนอล ความเข้มข้น 5000 mg/L ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 3) เตรียมสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 5,10,15,20 และ 25 mg/L
ปิเปตสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 250 mg/L ปริมาตร 1,2,3,4 และ 5 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้ความเข้มข้น 5,10,15,20 และ 25 mg/L ตามลำดับ
- 4) ทำการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่เตรียมได้ในข้อ 3 ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร
- 5) ทำกราฟมาตรฐานเทียบระหว่างค่าดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและวิเคราะห์คุณสมบัติ

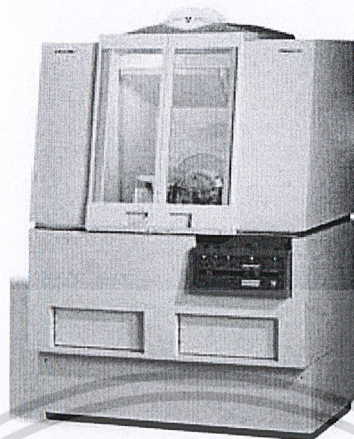
3.3.2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์บนถ่านกัมมันต์

- 1) เตรียมสารละลายคอปเปอร์ (II) ในเตรต ความเข้มข้น 1,5,7,10,15,20 และ 25% โดยน้ำหนัก จำนวน 150 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งถ่านกัมมันต์แบบเม็ด 50 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเทสารละลายคอปเปอร์ (II) ในเตรต ความเข้มข้น 1 % โดยน้ำหนักให้ท่วมถ่านกัมมันต์พอดี จากนั้นทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง
- 3) อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) ทำการแคลไซน์ (calcine) ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 °C นาน 10 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์
- 5) ทำซ้ำ ข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ (II) ในเตรต จนครบทุกความเข้มข้น

3.3.2.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์บนถ่านกัมมันต์

ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา (Cu/AC) โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดดังนี้

1.วิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray diffraction spectrophotometer, XRD)



รูปที่ 3.1 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

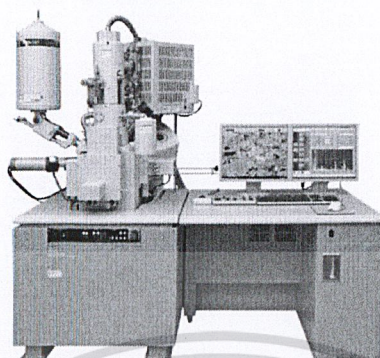
2. วิเคราะห์องค์ประกอบของคอปเปอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF)



รูปที่ 3.2 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3.3 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล

- 1) ประกอบชุดปฏิกิริยา ได้แก่ ขวดสามคอ ใบพัดกวน บีมลัม เทอร์โมมิเตอร์ และ คอนเดนเซอร์ โดยให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำมันพาราฟินและแทนให้ความร้อน
- 2) เติมน้ำกลั่นลงในขวดสามคอเป็นปริมาตร 200 ml เติมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์และฟีนอลผ่านทางบีมลัม
- 3) ให้ความร้อนกับสารละลายในชุดปฏิกิริยาจนกระทั่งอุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส
- 4) หลังจากอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียสแล้ว บีบ 5000 mg/L ของสารละลายฟีนอล จำนวน 50 ml ลงในชุดปฏิกิริยา จะได้ความเข้มข้นของฟีนอลเป็น 1000 mg/L
- 5) บั่นกวนสารในชุดปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาของปฏิกิริยาแล้วจึงสุ่มตัวอย่างที่ได้จากปฏิกิริยาไปตรวจสอบหาปริมาณฟีนอลที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร
- 6) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรตามตารางที่ 3.1 สำหรับการทดลองที่ 11 และ 12 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของฟีนอลเป็น 500 และ 2000 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการทำการทดลอง

การทดลองที่	ความเข้มข้นของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (g/L)	เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา (นาที)	ความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้น (mg/L)
1	5	3	120	1000
2	10	3	120	1000
3	15	3	120	1000
4	20	3	120	1000
5	10	1	120	1000
6	10	2	120	1000
7	10	5	120	1000
8	10	3	60	1000
9	10	3	90	1000
10	10	3	180	1000
11	10	3	120	500
12	10	3	120	2000
13	0	3	120	1000
14	0	0	120	1000

หมายเหตุ การทดลองที่ 13 ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
 การทดลองที่ 14 ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO/AC
 การทดลองที่ 1-4 ศึกษาผลของความเข้มข้น $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา
 การทดลองที่ 2,5-7 ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา
 การทดลองที่ 2,8-9 ศึกษาผลของเวลาในการดำเนินปฏิกิริยา
 การทดลองที่ 2,11-12 ศึกษาผลของความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้แก๊สออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์และคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ (CuAC) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองจะกล่าวถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดฟีนอล ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ในเตรทที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาของปฏิกิริยาและความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอล

4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายฟีนอล

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟีนอลที่ความเข้มข้น 5 , 10 , 15, 20 และ 25 mg/L แล้วนำไปตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสเปกโตรโฟโตเมทรี ได้ค่าการดูดกลืนแสง ดังตารางที่ 4.1

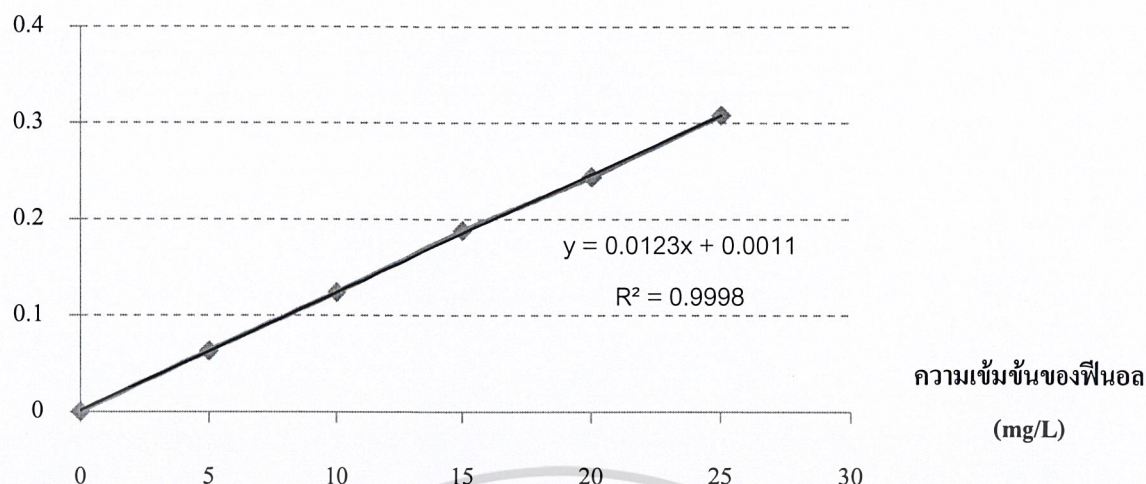
ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟีนอล

ความเข้มข้นของฟีนอล (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.)
5	0.063
10	0.124
15	0.188
20	0.244
25	0.308

เมื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของฟีนอลกับค่าการดูดกลืนแสงทำให้ได้กราฟเส้นตรง ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.)



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของฟีนอล(mg/L) และค่าการดูดกลืนแสง(Abs.)

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงที่มีค่า $R^2 = 0.9998$ และเป็นไปตามสมการ $y = 0.0123x + 0.0011$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของฟีนอลหลังจากการออกซิเดชันต่อไป

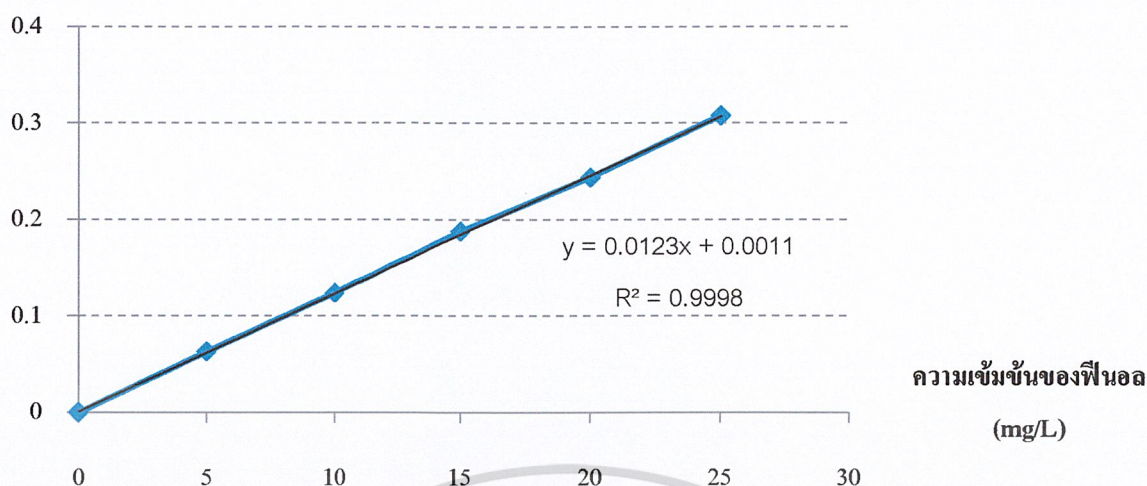
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ (CuAC) ที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไนเตรทที่ความเข้มข้น 1, 5, 7, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วจะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

4.2.1 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.2

ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.)



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของฟีนอล(mg/L) และค่าการดูดกลืนแสง(Abs.)

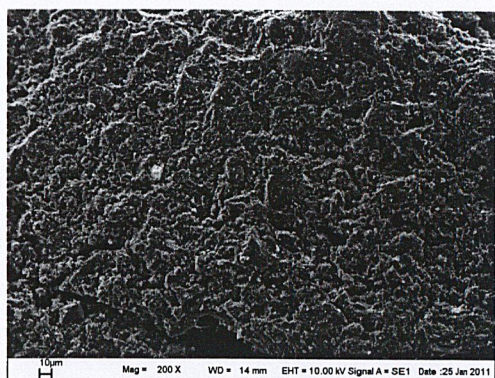
จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงที่มีค่า $R^2 = 0.9998$ และเป็นไปตามสมการ $y = 0.0123x + 0.0011$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของฟีนอลหลังจากการออกซิเดชันต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

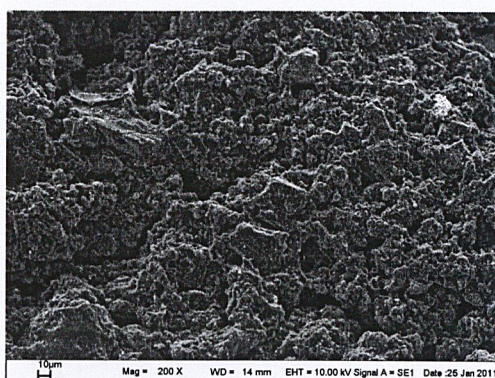
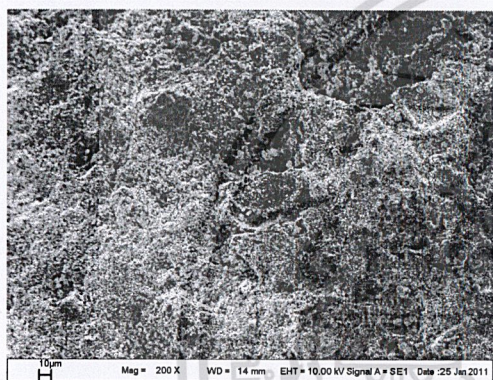
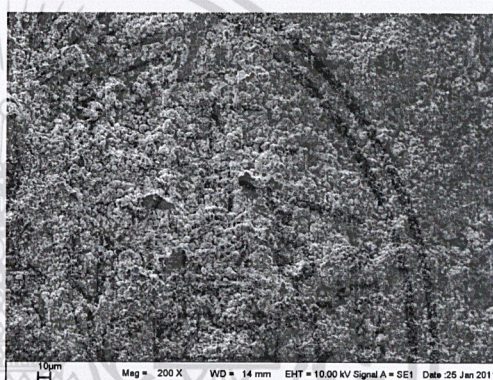
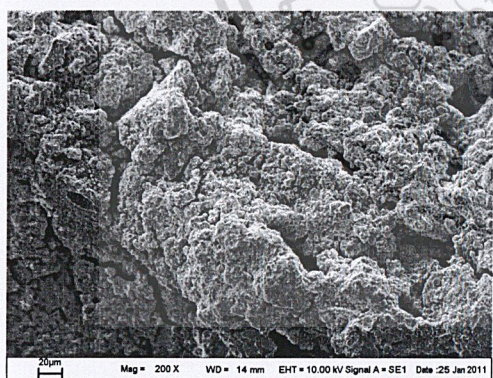
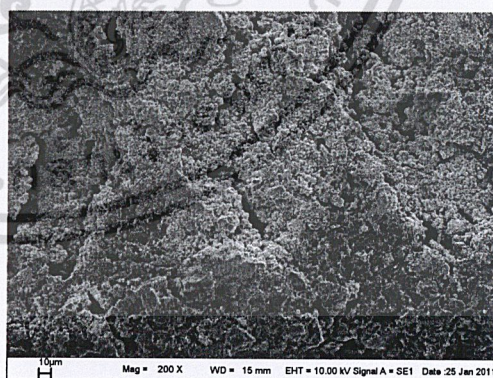
ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ (CuAC) ที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ในเตรทที่ความเข้มข้น 1, 5, 7, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วจะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

4.2.1 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.2



(ก) ถ่านกัมมันต์

(ข) 1% Cu(NO₃)(ค) 5% Cu(NO₃)(ง) 10% Cu(NO₃)(จ) 20% Cu(NO₃)(ฉ) 25% Cu(NO₃)

รูปที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ซึ่งเตรียมจากสารละลาย Cu(NO₃)₂ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 200 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ก) ถึง 4.2 (ฉ) การเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ต่างๆ เป็นดังนี้

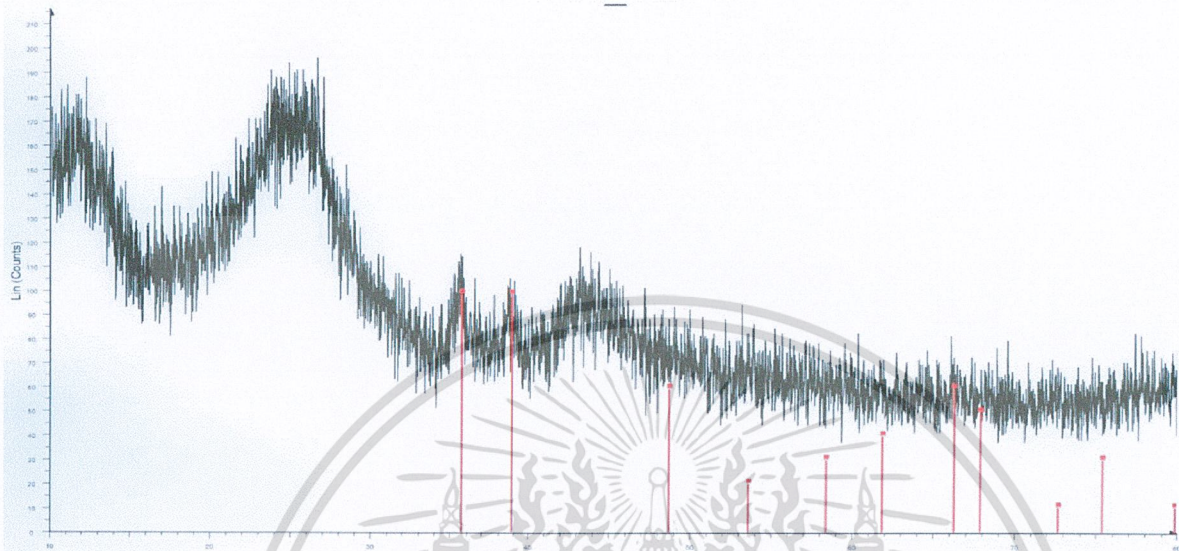
- รูปที่ 4.2(ก) เป็นลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เป็นตัวรองรับเพียงอย่างเดียว จะสังเกตเห็นรูพรุนบนพื้นผิวจำนวนมาก
- รูปที่ 4.2(ข) เมื่อเติมคอปเปอร์ในเตรคความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักลงไป จะเริ่มพบเห็นผงลักษณะสีขาวเกาะอยู่บนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์
- รูปที่ 4.2(ค) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรคเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะพบเห็นเป็นผงสีขาวกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของถ่านกัมมันต์
- รูปที่ 4.2(ง) เมื่อความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรคเพิ่มเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่า คอปเปอร์ออกไซด์ที่อยู่บนถ่านกัมมันต์ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์
- รูปที่ 4.2(จ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรคเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะสังเกตเห็นได้ว่า ลักษณะของคอปเปอร์ออกไซด์เริ่มรวมตัวกันเป็นกลุ่มมากขึ้น
- รูปที่ 4.2(ฉ) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรคเป็นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จะทำให้คอปเปอร์ออกไซด์รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือที่เรียกว่า คลัสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรคชั่น

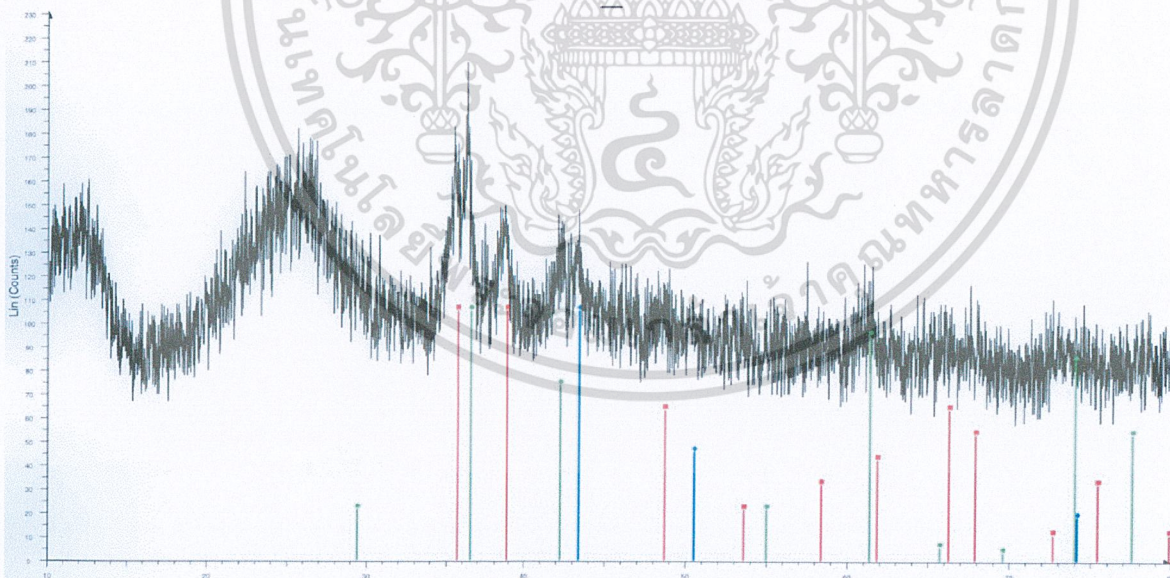
ดิฟแฟรคโตแกรมของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

แสดงดังรูปที่ 4.3



(ก.) ดิฟแฟรคโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนไตรด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

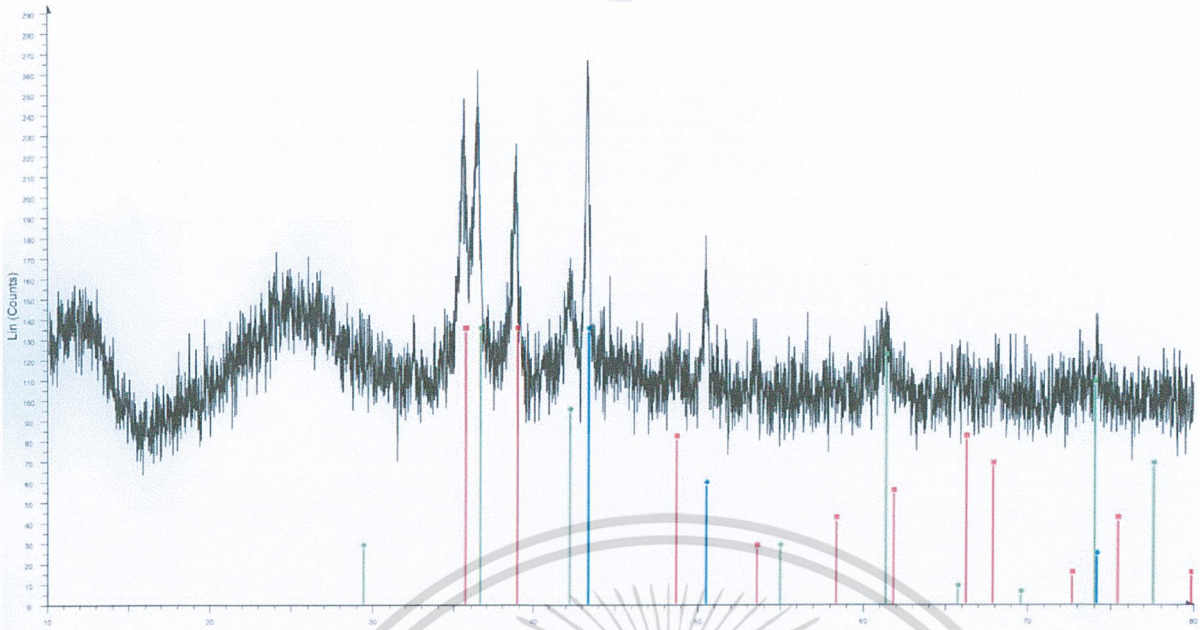
(↑) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์



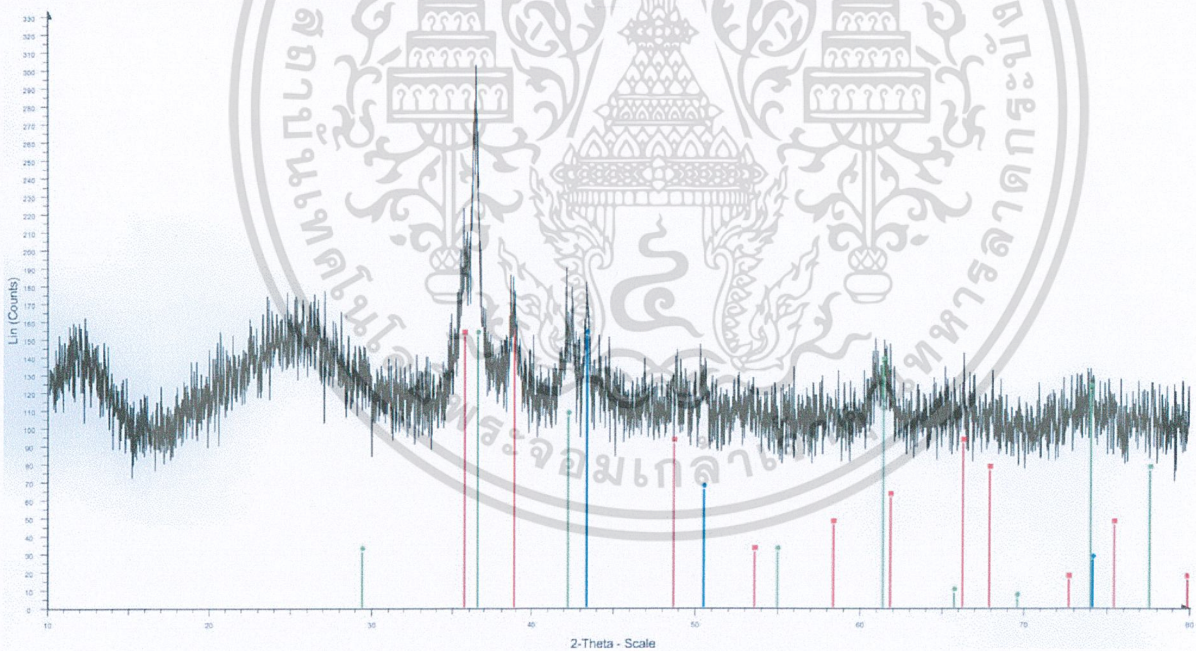
(ข.) ดิฟแฟรคโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนไตรด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

(↑, ↑) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ และ (↑) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

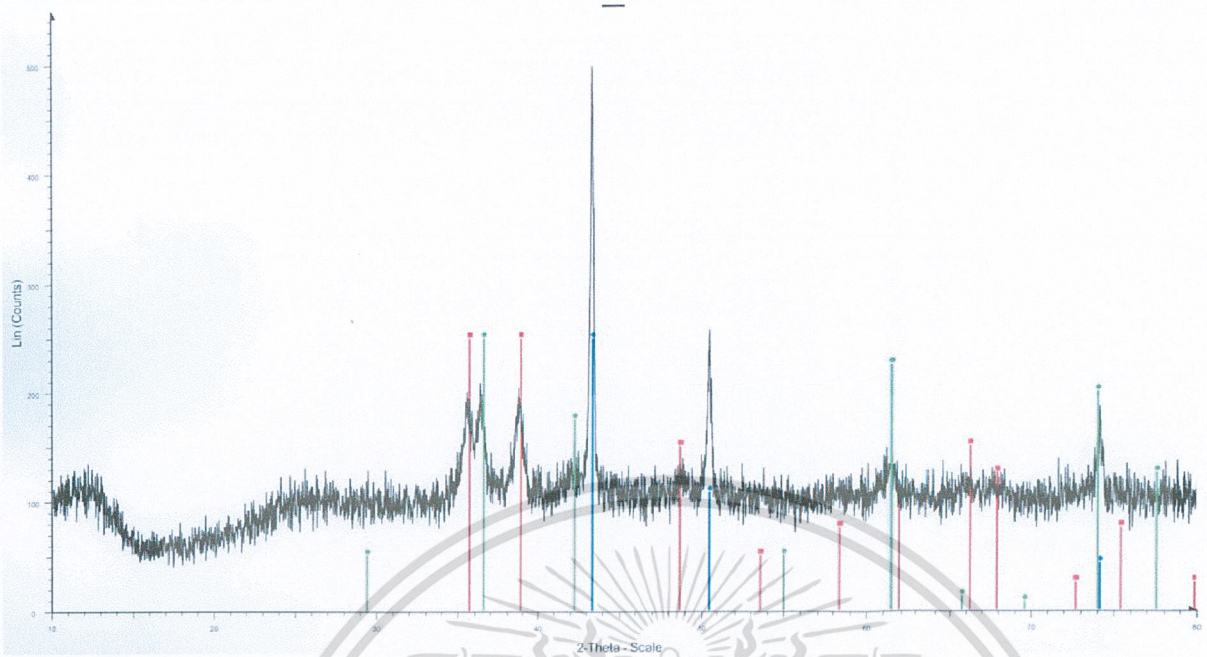


(ค.) ดิฟแฟรกโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก
 (●, ●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ และ (●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์

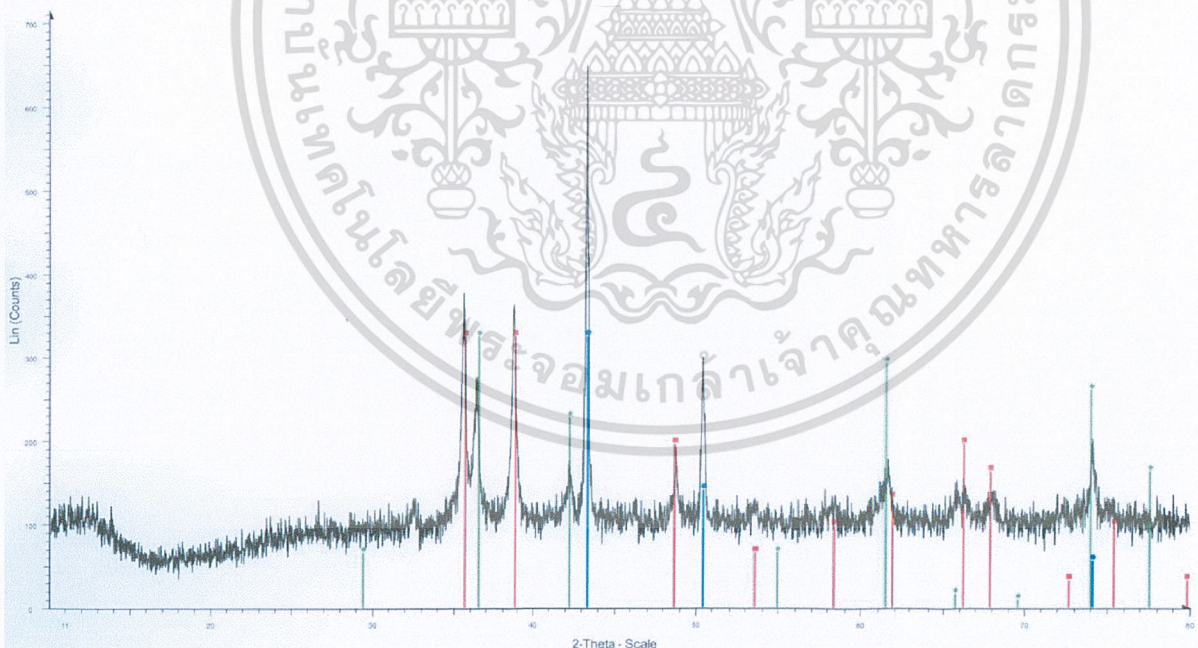


(ง.) ดิฟแฟรกโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
 (●, ●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ และ (●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

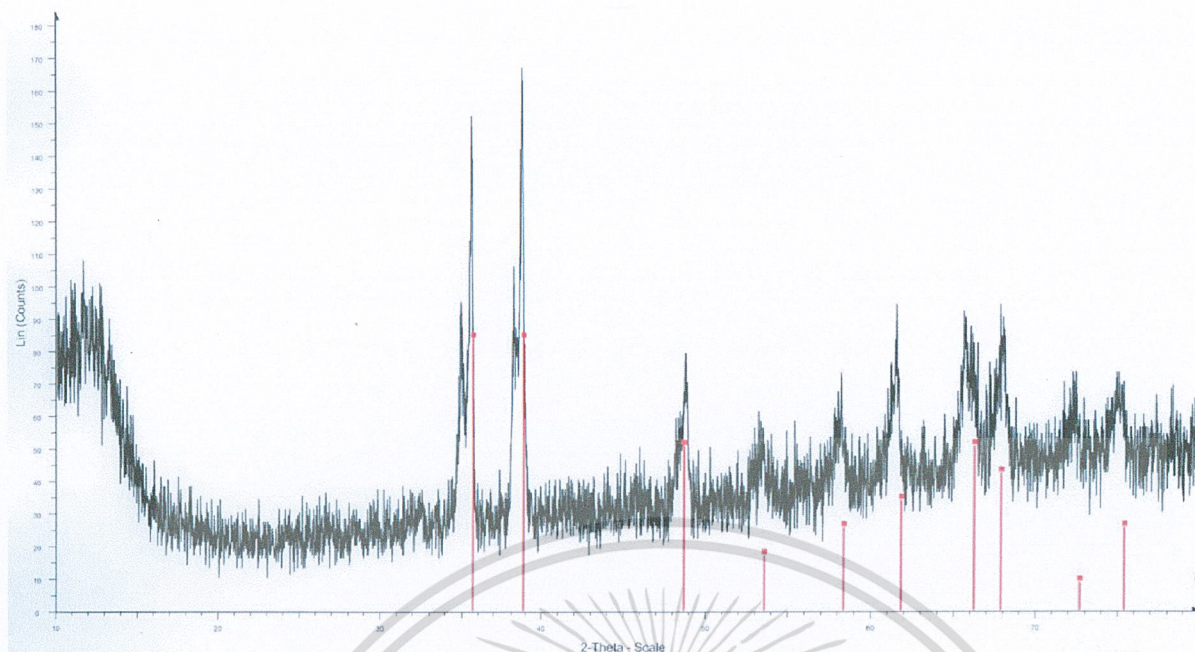


(จ.) ดิฟแฟร็กโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
 (●, ●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ และ (●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์



(ง.) ดิฟแฟร็กโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
 (●, ●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ และ (●) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ฉ.) ดิฟแฟร็กโตแกรมของ CuAC ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรดร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

(↑) แสดงถึงรูปแบบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.3(ก.) ถึง (ข.) แสดงให้เห็นถึงพิกเอกลักษณะของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ประมาณมุม 2θ เท่ากับ 35.9° , 39.0° , 49.1° และ 61.6° และความสูงของพีคเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์บนถ่านกัมมันต์ ณ จุดนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ในกระบวนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.3 การศึกษาองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไนเตรดตั้งแต่ความเข้มข้น 1% ถึง 25% โดยน้ำหนัก จะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (X-Ray Fluorescence Spectrophotometer, XRF) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเข้มข้น $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่ใช้ เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ (%wt)
CuAC001	1	0.38
CuAC005	5	2.05
CuAC007	7	2.76
CuAC010	10	4.17
CuAC015	15	6.25
CuAC020	20	8.31
CuAC025	25	10.19

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นั่นคือการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะหนาแน่นขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

4.3 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการกำจัดฟีนอล

ในการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้แก๊สออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์และเร่งปฏิกิริยาด้วยคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ ตัวแปรเหล่านั้นได้แก่ ความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรดที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา, เวลาของปฏิกิริยา และ ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังแสดงในหัวข้อ 4.3.1 – 4.3.4

4.3.1 ผลของความเข้มข้นสารละลายคอปเปอร์ในเตรคต่อการกำจัดฟีนอล

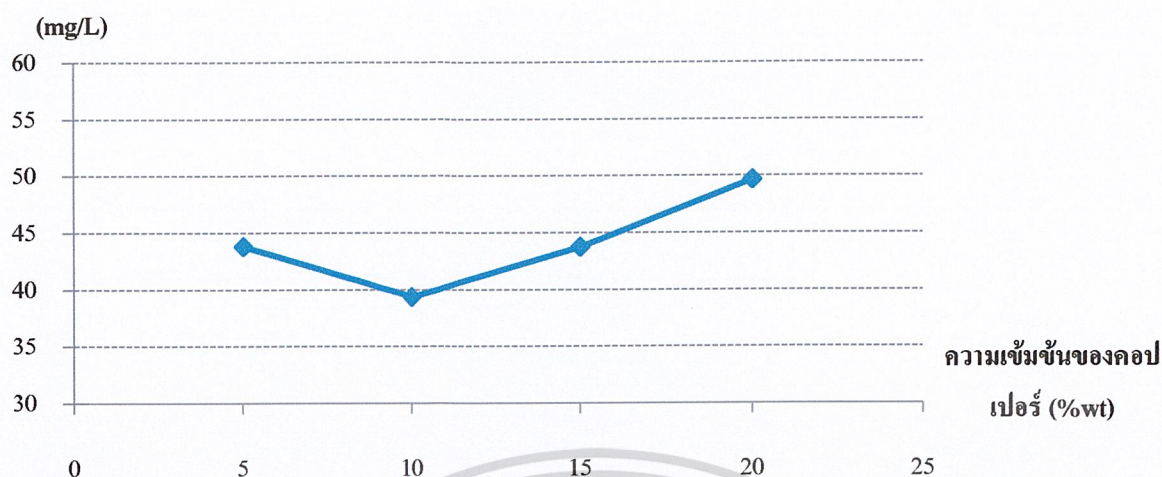
ในการทดลองนี้ จะทำการออกซิเดชันฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แก๊สออกซิเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา CuO/AC ที่เตรียมได้จากสารละลายคอปเปอร์ในเตรคความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนัก ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ 3 กรัมต่อลิตร เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 120 นาที และความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ 1000mg/L ปริมาณฟีนอลที่คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลของความเข้มข้นคอปเปอร์ในเตรคต่างๆ

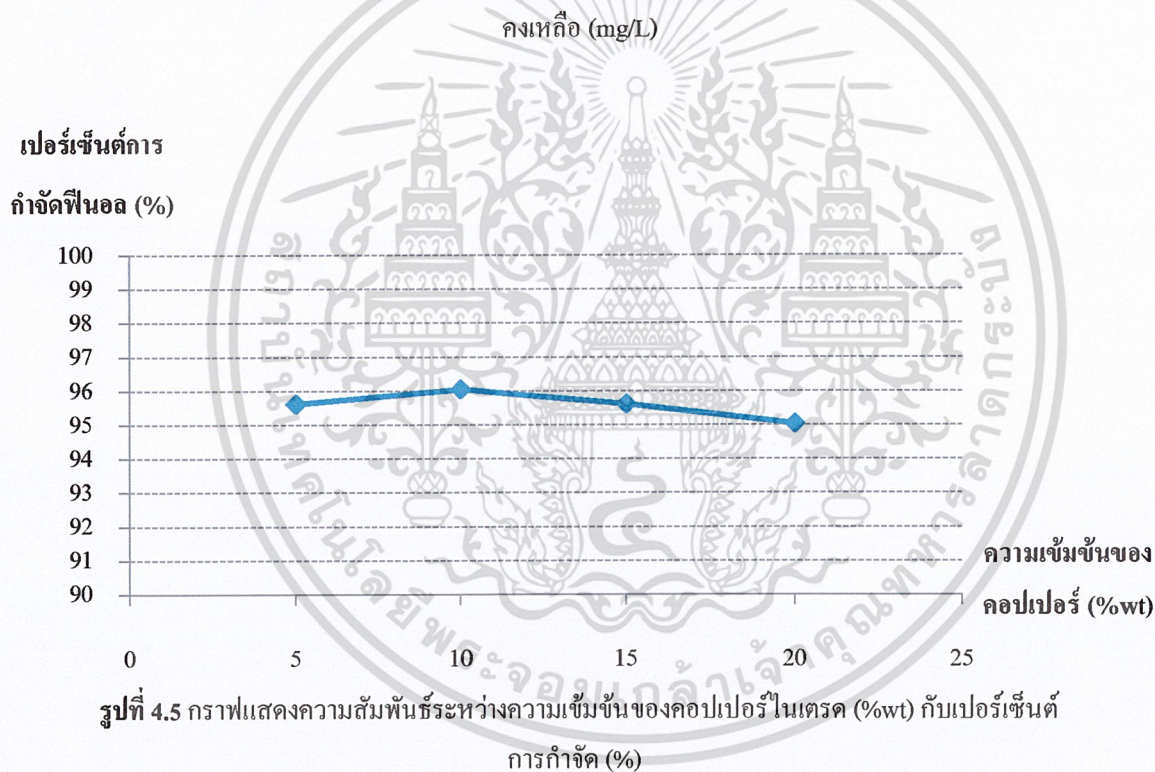
ความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรค (%wt)	ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือ (mg/L)	%การกำจัด
5	43.83	95.62
10	39.35	96.06
15	43.75	95.62
20	49.70	95.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของฟีนอล



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรด (%wt) กับ ปริมาณฟีนอล



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรด (%wt) กับเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล (%)

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 5% เป็น 10% โดยน้ำหนัก ปริมาณฟีนอลคงเหลือจะลดลงหรือเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้น โดยฟีนอลจะถูกกำจัดได้สูงสุดถึง 96.06% เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10% โดยน้ำหนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ มากกว่า 10% โดยน้ำหนัก ปริมาณฟีนอลคงเหลือมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหรือกล่าวได้ว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เมื่อนำไปเคลือบจะเกิดเป็น CuO บนพื้นผิวตัวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งปริมาณ CuO จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่ใช้ในการเตรียม ซึ่ง CuO ทำหน้าที่เป็นหมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่องไว (active site) ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดย CuO จะดูดซับ โมเลกุลของแก๊สออกซิเจนไว้ จากนั้นฟีนอล จะเข้ามาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแก๊สออกซิเจนที่ตำแหน่งของ CuO แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ มากกว่า 10% โดยน้ำหนักจะมีพื้นที่ผิวที่น้อยลง เนื่องจาก CuO มีการกระจายตัวอย่างมากและเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือคลัสเตอร์ (Cluster) ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจึงทำให้การกำจัดฟีนอลลดลงด้วยและนอกจากนั้น ถ่านกัมมันต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรองรับ CuO ก็สามารถดูดซับฟีนอลได้แต่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ถูกปกคลุมด้วย CuO ดังนั้นการดูดซับฟีนอลบนถ่านกัมมันต์จึงน้อยลง

ดังนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการกระจายตัวของ CuO บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์อย่างสม่ำเสมอไม่รวมกลุ่มกันจะสามารถกำจัดฟีนอลได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีบริเวณว่องไวต่อการดูดซับออกซิเจน และมีบริเวณพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่จะดูดซับฟีนอลได้

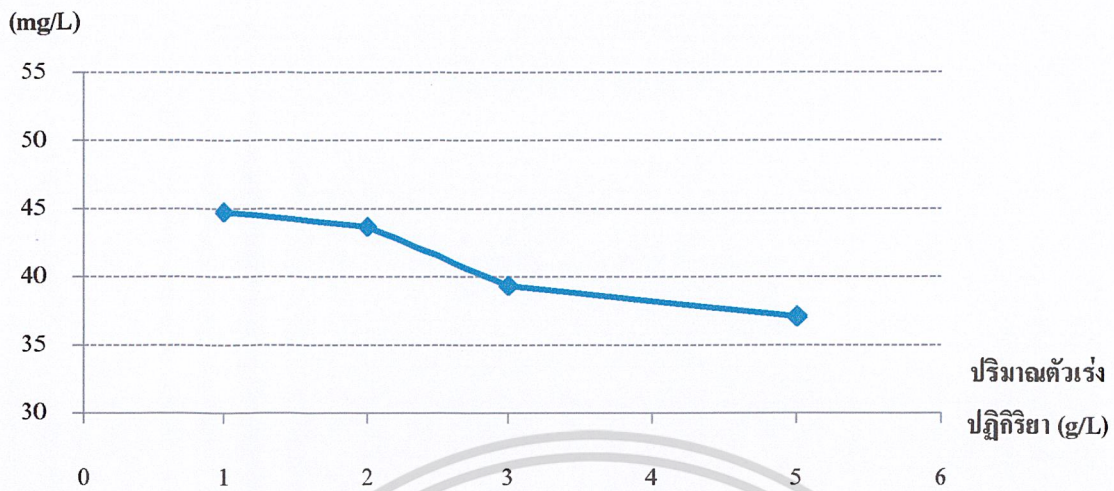
4.3.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการกำจัดฟีนอล

ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการกำจัดฟีนอล จะทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO/AC ที่เตรียมจากสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก เปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1, 2, 3 และ 5 กรัมต่อลิตร โดยกำหนดให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลคงที่ที่ 1000 mg/L และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 120 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

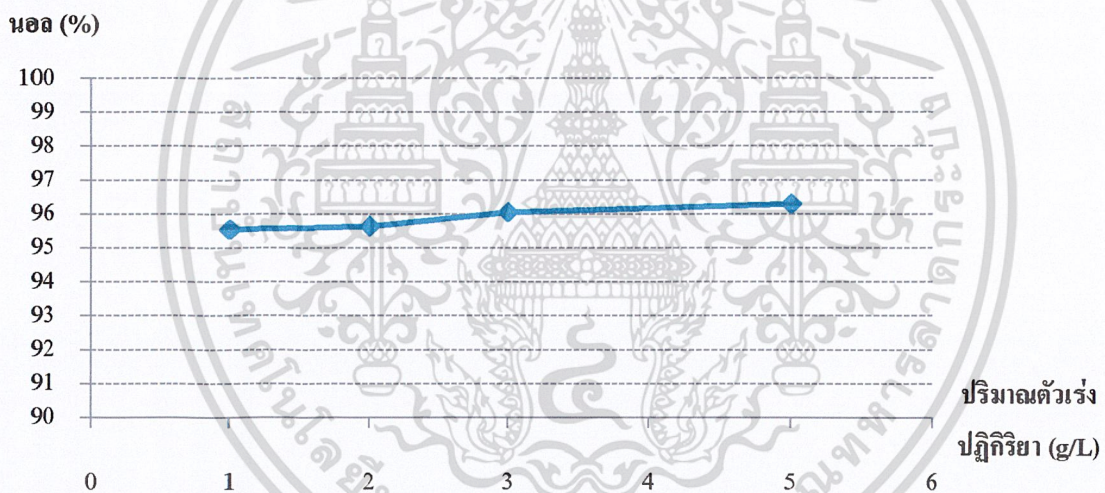
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (g/L)	ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือ (mg/L)	%การกำจัด
1	44.57	95.54
2	43.67	95.63
3	39.35	96.06
5	37.03	96.29

ความเข้มข้นของฟีนอล



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลตกเหลือ (mg/L) กับ ปริมาณตัวเร่งปฏิบัติ (g/L)

เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิบัติ (g/L) กับ เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)

จากกราฟรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นแนวโน้มของการกำจัดฟีนอลว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิบัติในการกำจัดจะทำให้ปริมาณฟีนอลลดลง แสดงให้เห็นว่า ยังมีปริมาณตัวเร่งปฏิริยามากเพียงใด เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดฟีนอลมากขึ้นตาม

4.3.3 ผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดฟีนอล

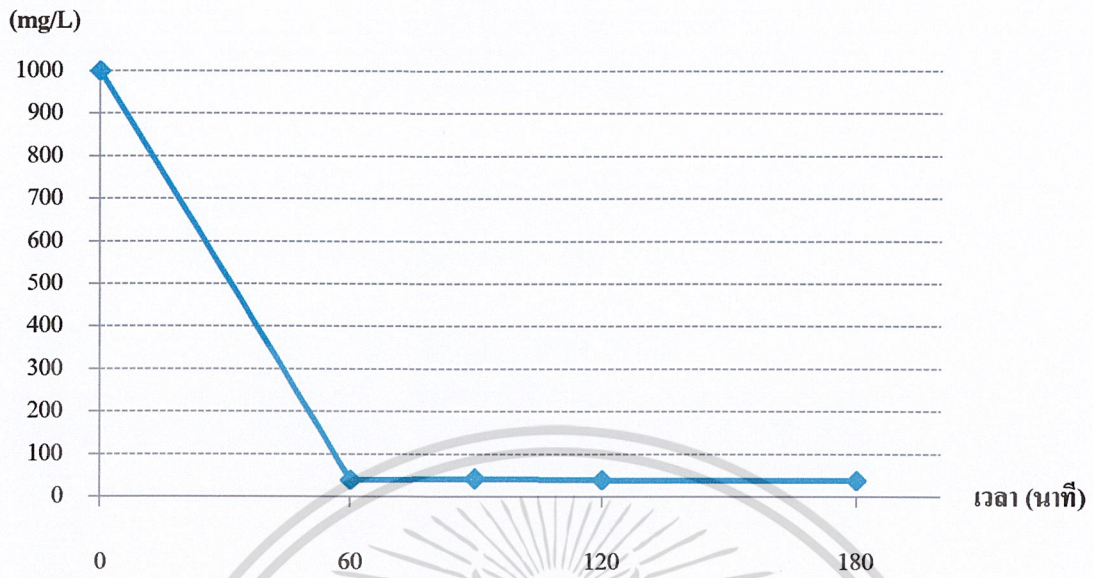
ในการทดลอง จะเปลี่ยนแปลงเวลาในการดำเนินปฏิกิริยาที่ 60, 90, 120 และ 180 นาทีที่ปริมาณฟีนอลเริ่มต้น 1000mg/L โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่เตรียมจาก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10% โดยน้ำหนักและใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาของปฏิกิริยาฟีนอล

เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา	ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือ (mg/L)	%การกำจัด
60	39.27	96.07
90	41.31	95.87
120	39.35	96.07
180	36.74	96.33

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดำเนินปฏิกิริยากับปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

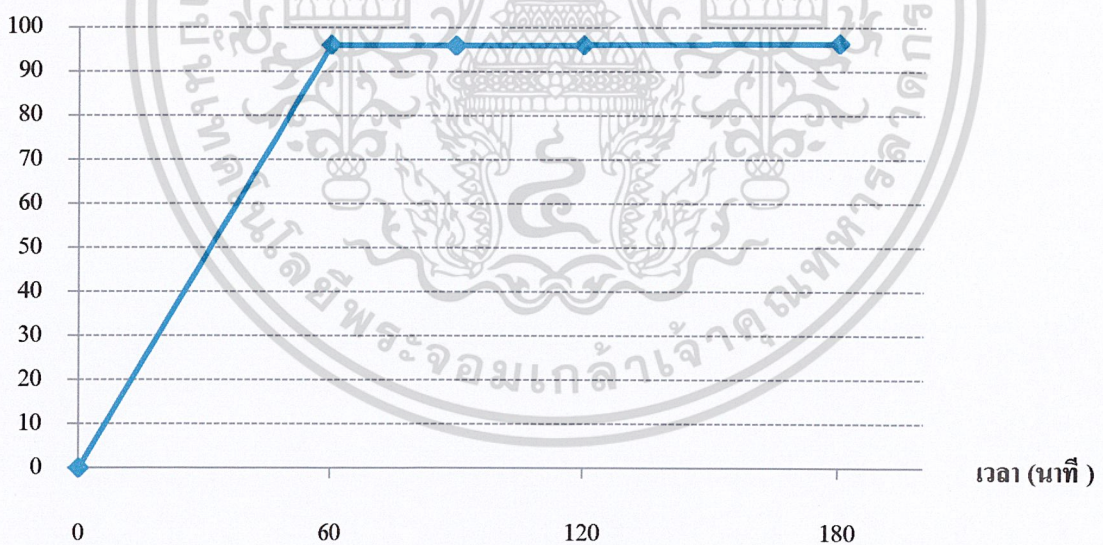
ความเข้มข้นของฟีนอล



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับ ปริมาณฟีนอลคงเหลือ (mg/L)

เปอร์เซ็นต์การ

กำจัดฟีนอล (%)



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดำเนินปฏิกิริยา (นาที) กับ เปอร์เซ็นต์การกำจัด (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 60 นาทีแรกของปฏิกิริยา ปริมาณฟีนอลคงเหลือในน้ำทิ้ง ลดลงจาก 1000 mg/L เป็น 96.07 mg/L ซึ่งเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ถึง 96.07% จากรูปที่ 4.9 เมื่อเวลา ในการดำเนินปฏิกิริยามากกว่า 60 นาที ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดประมาณ 96%-97%

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็น หมู่ว่างไวต่อการเกิดออกซิเดชันของฟีนอล และถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวรองรับที่มีรูพรุนสูงสามารถเกิดการ ดูดซับกับฟีนอลได้ จากผลการทดลองที่เวลาเริ่มต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาในส่วนที่เป็นตัวรองรับจะมีตำแหน่งว่าง อยู่มาก ดังนั้นโมเลกุลของฟีนอลจึงสามารถเข้าไปดูดซับกับถ่านกัมมันต์ได้มาก และในส่วนคอปเปอร์ ออกไซด์ก็จะเกิดการดูดซับกับแก๊สออกซิเจน และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลกับแก๊สออกซิเจนที่ บริเวณพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้มาก สำหรับช่วงเวลาที่มากกว่า 60 นาที จะเห็นว่าการลดลงของ ปริมาณฟีนอลเป็นไปอย่างคงที่ เนื่องจากเกิดการดูดซับของฟีนอลหรือโมเลกุลของฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์บน ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เหลือพื้นที่ผิวที่ว่างอยู่สำหรับทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่น้อย ดังนั้นปริมาณฟีนอลจึง ลดลงเพียงเล็กน้อย

4.3.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล

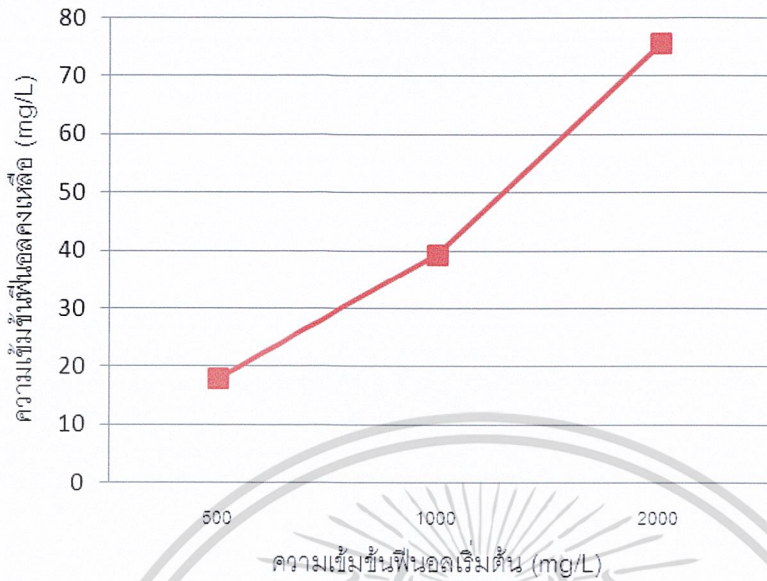
การศึกษาผลความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลที่มีต่อการกำจัดฟีนอล จะทำการเปลี่ยนแปลงความ เข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเป็น 500, 1000 และ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่เตรียม จากสารละลายคอปเปอร์ไนเตรทเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ปริมาณฟีนอลคงเหลือในน้ำทิ้งและเปอร์เซ็นต์ การกำจัดฟีนอลแสดงดังตารางที่ 4.6 และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลกับปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล แสดงดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลที่มีต่อปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัด

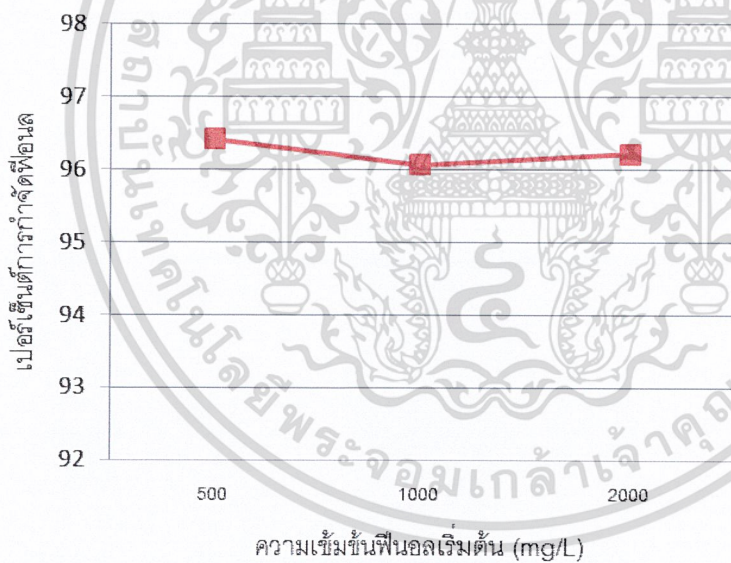
ฟีนอล

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล (mg/L)	ความเข้มข้นของฟีนอล คงเหลือ (mg/L)	%การกำจัด ฟีนอล
500	17.91	96.07
1000	39.35	95.87
2000	75.53	96.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟินอลเริ่มต้น กับปริมาณฟินอลคงเหลือ (mg/L)



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟินอลเริ่มต้น กับเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟินอล

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของฟินอลในน้ำทิ้ง ปริมาณฟินอลคงเหลือในน้ำทิ้งจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ดังรูปที่ 4.11 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟินอลจะอยู่ในช่วงประมาณ 96% ดังนั้นกล่าวได้ว่าสถานะที่ใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟินอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

CuAC ที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไนเตรทเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 120 นาที สามารถกำจัดฟีนอลได้ถึง 96% ในช่วงความเข้มข้นของฟีนอล 500 – 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร

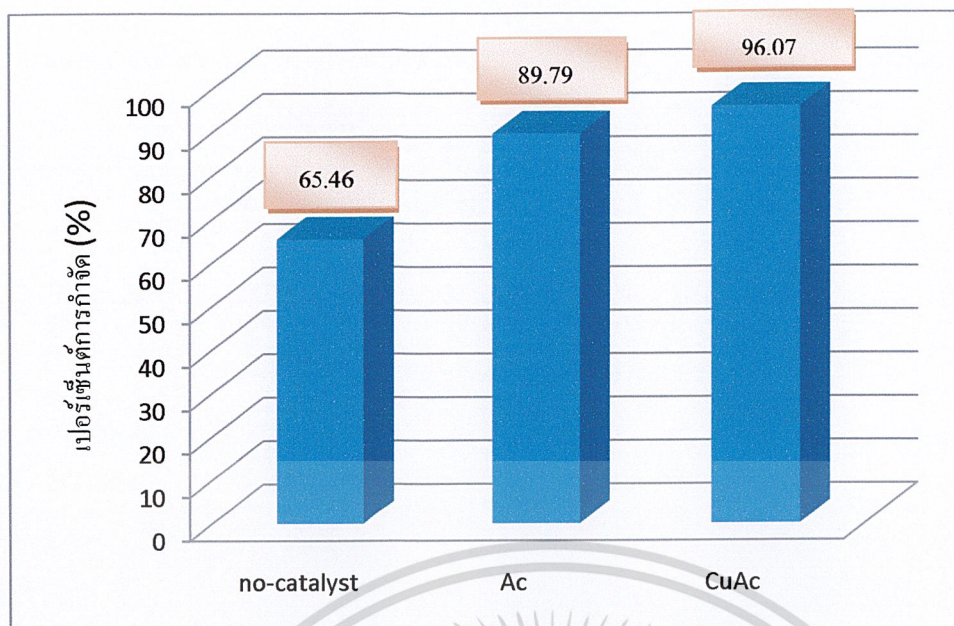
4.3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการในการกำจัดฟีนอล

เพื่อเป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่มีต่อการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นถ่านกัมมันต์ที่ไม่มี CuO และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดฟีนอล ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลในรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.7 ปริมาณฟีนอลคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลด้วยกระบวนการต่างๆ

การทดลองชุดที่	ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ กระบวนการ	ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือ (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล
1	ความเข้มข้นคอปเปอร์ไนเตรท 5%wt	39.35	96.07
2	ถ่านกัมมันต์	102.14	89.79
3	ไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา	345.38	65.46

หมายเหตุ การทดลองที่ 1 และ 2 ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3 g/L การทดลองทั้ง 3 ชุด ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 1000 mg/L เวลาของปฏิกิริยา 120 นาที และใช้แก๊สออกซิเจนเป็นออกซิไดส์



รูปที่ 4.12 กราฟแท่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดฟินอลที่ต่างกัน

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟินอลด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ให้ผลที่ดีกว่ากระบวนการกำจัดฟินอลด้วยถ่านกัมมันต์และกระบวนการที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องมาจากการกำจัดฟินอลด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC นั้น ฟินอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบน CuO และฟินอลสามารถเข้าไปดูดซับกับถ่านกัมมันต์ได้แก่กระบวนการที่ใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวจะมีเฉพาะการดูดซับฟินอลและออกซิเดชันของฟินอลกับออกซิเจนในเฟสของเหลวซึ่งถ่านกัมมันต์จะดูดซับฟินอลได้ 89.79 % เมื่อใช้ในปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร สำหรับกระบวนการที่ไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเห็นว่าการกำจัดฟินอลได้เพียง 65.46% ซึ่งปริมาณฟินอลที่ลดลงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดจากฟินอลเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในเฟสของเหลว ได้เป็นอนุพันธ์ของฟินอล

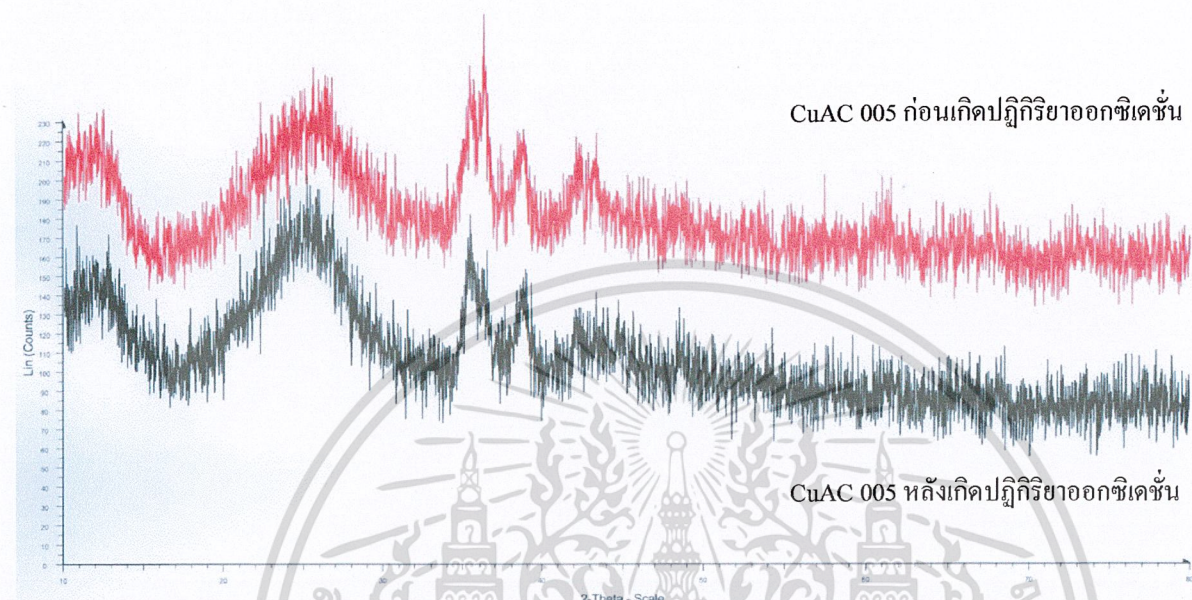
จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ในการกำจัดฟินอลจะสามารถกำจัดฟินอลได้เพิ่มขึ้นถึง 30% จากการไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและเมื่อเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวจะเห็นว่า ฟินอลจะถูกกำจัดได้เพิ่มขึ้นประมาณ 7%

จากการทดลองนี้ ทำให้ทราบได้ว่า เมื่อต้องการกำจัดฟินอลในน้ำทิ้งควรจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการกำจัดเพราะจะทำให้ฟินอลที่อยู่ในน้ำทิ้งก่อเป็นสารอนุพันธ์ฟินอลที่มีอันตรายน้อยกว่าและช่วยในการกำจัดได้มากกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์หรืออาศัยออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

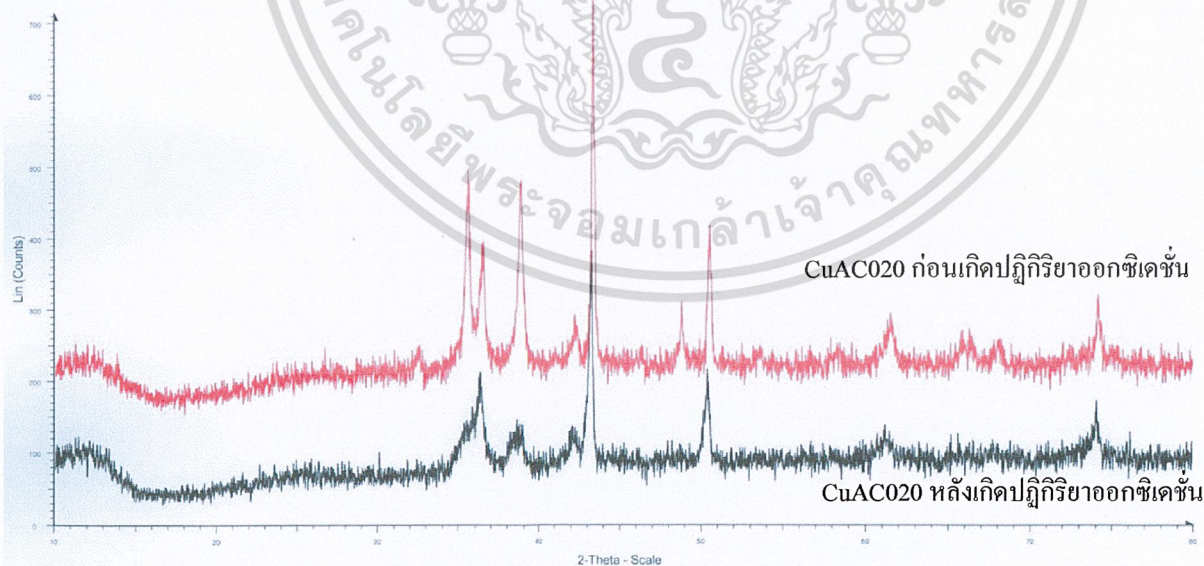
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟินอล

นำตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ที่เตรียมจากสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เข้มข้น 5,10 และ 15% โดยน้ำหนัก หลังจากเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟินอลแล้ว ไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชันดังรูปที่ 4.13

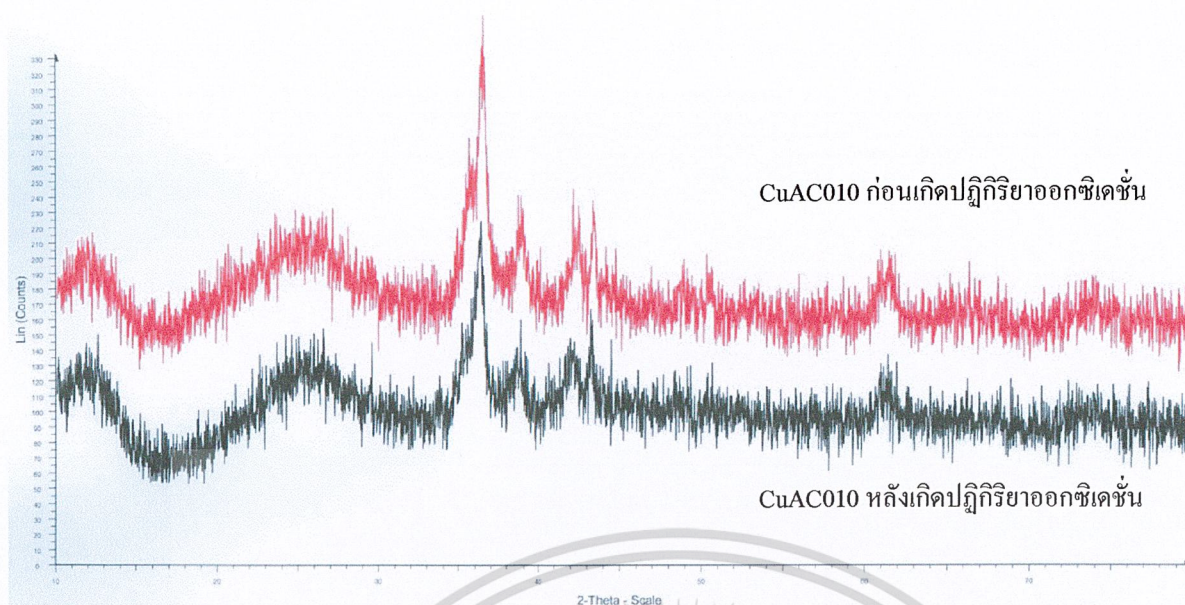


(ก.) ดิฟแฟรคโตแกรมของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC หลังจากเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในการทดลองที่ 1 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรด 5% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน ที่ยังไม่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



(ข.) ดิฟแฟรคโตแกรมของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC หลังจากเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในการทดลองที่ 4 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรด 20% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน ที่ยังไม่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค.) ดิฟแฟรกโตแกรมของตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC หลังจากเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในการทดลองที่ 8 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรด 10% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน ที่ยังไม่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากดิฟแฟรกโตแกรมในรูปที่ 4.13 (ก.) ถึง (ค.) จะเห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC 005, CuAC 010, CuAC 015 ยังคงมีรูปแบบผลึกเป็นคอปเปอร์ออกไซด์อยู่แต่ความเข้มของพีคและความกว้างของพีคอาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

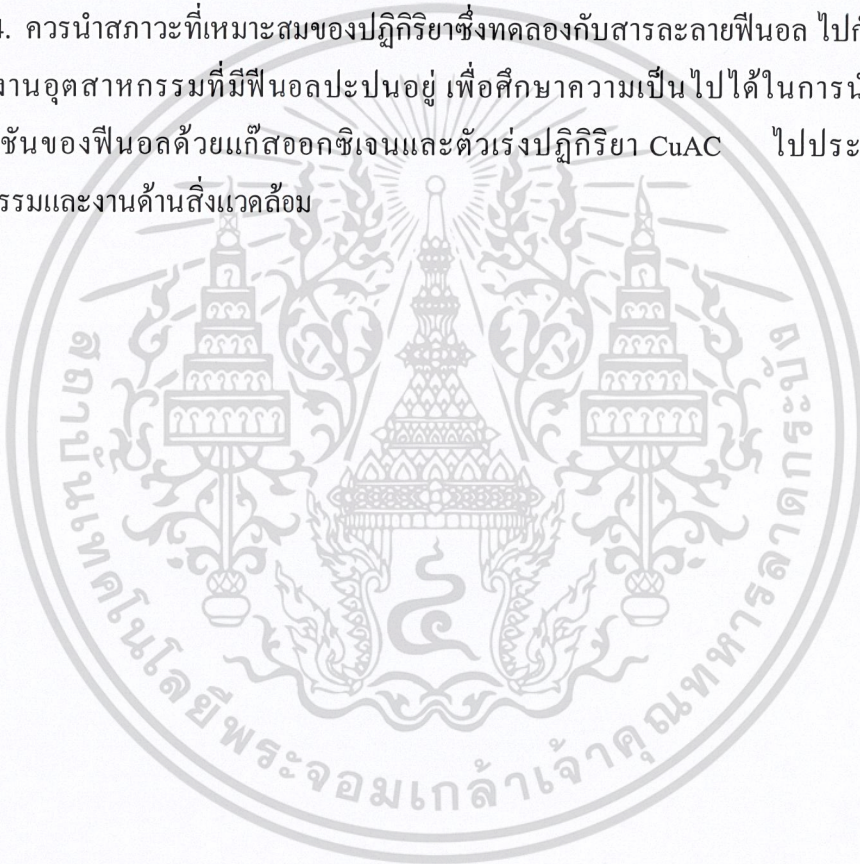
งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้แก๊สออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ และคอปเปอร์ออกไซด์บนถ่านกัมมันต์ (CuAC) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่า

1. จากการวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะหนาแน่นขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
2. ผลของความเข้มข้นสารละลายคอปเปอร์ในเตรดต่อการกำจัดฟีนอล จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10% โดยน้ำหนัก ปริมาณฟีนอลคงเหลือจะลดลงและเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้น โดยฟีนอลจะถูกกำจัดได้สูงสุดถึง 96.06% สรุปได้ว่า ความเข้มข้นสารละลายคอปเปอร์ในเตรดที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟีนอลคือ 10% โดยน้ำหนัก
3. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการกำจัดฟีนอล จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดจะทำให้ปริมาณฟีนอลลดลงและเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดฟีนอลเพิ่มมากขึ้น
4. ผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดฟีนอล จากการศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดฟีนอลจะเมื่อเวลาในการดำเนินปฏิกิริยามากกว่า 60 นาที ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดประมาณ 96%-97%
5. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลในน้ำทิ้ง ปริมาณฟีนอลคงเหลือในน้ำทิ้งจะเพิ่มขึ้นและสามารถกำจัดฟีนอลได้ถึง 96% ในช่วงความเข้มข้นของฟีนอล 500 – 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการในการกำจัดฟีนอลจากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ในการกำจัดฟีนอลจะสามารถกำจัดฟีนอลได้เพิ่มขึ้นถึง 30% จากการไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและเมื่อเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวจะเห็นว่า ฟีนอลจะถูกกำจัดได้เพิ่มขึ้นประมาณ 7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธี BET เพื่อให้ได้ข้อมูลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ครบถ้วน
2. ควรทำการศึกษาที่สภาวะการทดลองอื่นเช่น ลดเวลาของการทำปฏิกิริยา ลดความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ในเตรท หรือลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อตรวจสอบว่าที่สภาวะการทดลองดังกล่าว สามารถกำจัดฟีนอลได้มากหรือน้อยอย่างไร
3. ควรนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Back Scratch เพื่อให้ทราบถึงปริมาณ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ที่มีอยู่บนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้
4. ควรนำสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาซึ่งทดลองกับสารละลายฟีนอล ไปกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีฟีนอลปะปนอยู่ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลด้วยแก๊สออกซิเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา CuAC ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและงานด้านสิ่งแวดล้อม



เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Phenol>
- [2] <http://www.baanmaha.com/community/thread29883.html>
- [3] รศ.ดร.วิทยา เรืองพรวิสุทธิ . 2547 . ปฏิบัติการเร่งเคมีเกี่ยวกับฟิวและปิโตรเคมี.
กรุงเทพฯ . สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [4] <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/catalysis.htm>
- [5] จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดาบุรุษ . 2547 . การเร่งปฏิกิริยา : พื้นฐานการประยุกต์.
กรุงเทพฯ . โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [6] Suranjana Chaliha, Krishna G Bhattacharyya. **Catalytic wet oxidation of phenol and its derivatives with Fe₂O₃ and MnO₂.** Indian Journal of Chemistry Technology, 13(2006) 499-504.
- [7] Rey-May Liou, Chih-Hsiung Chen. **CuO impregnated activated carbon for catalytic wet peroxide oxidation of phenol.** Journal of Hazardous Materials, 172(2009) 498-506.
- [8] Jaidles, Marques , Sérgio Botelho de Oliveira. **Catalytic wet peroxide oxidation of phenol from industrial wastewater on activated carbon.** Journal of Hazardous Materials, 172(2009) 510-516.

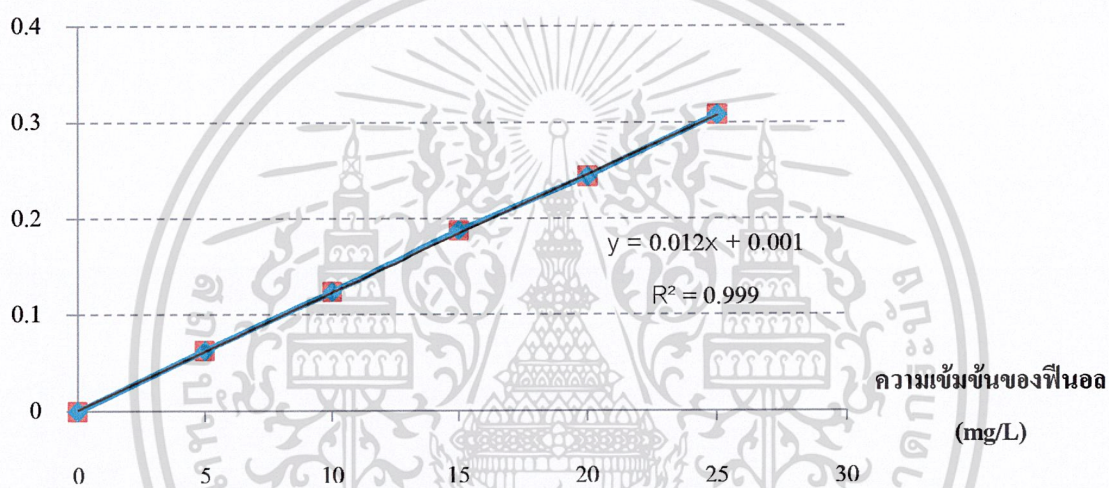
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

1. การคำนวณหาปริมาณฟีนอลเมื่อเทียบกับสมการเส้นตรงในกราฟมาตรฐาน

จากการทดลอง เมื่อนำเอาน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันฟีนอลไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้ว นำมาคำนวณเทียบกับสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐาน

ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.)



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของฟีนอล(mg/L) และค่าการดูดกลืนแสง(Abs.)

จากรูปที่ 4.1 ทำให้ได้สมการเส้นตรงคือ

$$y = 0.0123x + 0.0011$$

(1)

ตัวอย่างการคำนวณ จากสมการที่ 1 แทน y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี ทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของฟีนอลของแต่ละค่าการดูดกลืนแสง เช่น

- การทดลองที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้คือ 0.593 แทนลงในตัวแปร y ในสมการเส้นตรง

$$0.593 = 0.0123x - 0.011$$

$$x = \frac{0.593 + 0.011}{0.0123}$$

$$x = 43.83$$

∴ ความเข้มข้นของฟีนอลของการทดลองที่ 1 หลังจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ฟีนอลเท่ากับ 43.83 mg/L

2. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์

จากการทดลอง เมื่อคำนวณหาความเข้มข้นคงเหลือของฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์หลังปฏิกิริยาออกซิเดชันฟีนอลได้แล้ว จึงนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดจากสมการ

$$\% \text{การกำจัด} = \frac{\text{ความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือ}}{\text{ความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้น}} \times 100 \quad (2)$$

ตัวอย่างการคำนวณ จากค่าความเข้มข้นคงเหลือของฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่คำนวณได้มาจากสมการที่ 1 แล้ว นำค่าความเข้มข้นเหล่านั้นมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดโดยสมการที่ 2 เช่น

- จากการทดลองที่ 1 ความเข้มข้นของฟีนอลเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1000 mg/L หลังจากผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันฟีนอลแล้วได้ค่าความเข้มข้นของฟีนอลคงเหลือเท่ากับ 43.38 mg/L นำค่าที่ได้แทนลงในสมการที่

2

$$\% \text{การกำจัด} = \frac{1000 - 43.38}{1000} \times 100$$

$$\% \text{การกำจัด} = 95.62\%$$

∴ เปอร์เซ็นต์การกำจัดของการทดลองที่ 1 เท่ากับ 95.62%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้