

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเปรียบเทียบการดำเนินงานที่มี เมทริกซ์เทอร์เรียริวิตาลีเซอร์ (MTBE) เป็นเงื่อนไขโดย
กระบวนการออกซิเดชันและกระบวนการดูดซับ



นายวรวงษ์ วัฒนอนันท์
น.ส.ศุภลักษณ์ รัตนรังสิมันต์
นายศุภศักดิ์ นิมิตรธรรม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49274
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Comparison of Removal Methyl *t*-Butyl Ether (MTBE)
by Oxidation and Adsorption Process**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2002**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการดำเนินงานที่มีเมทริกซ์เทอร์เทียรีบิวทิลเอทีเทอร์ (MTBE)
ปนเปื้อน โดยกระบวนการออกซิเดชันและกระบวนการดูดซับ

นักศึกษา นายวรพงษ์ ถนอมชีวนนท์
น.ส.ศุภลักษณ์ รัตนรังสีมันต์
นายศุภศักดิ์ นิ่มทรงธรรม

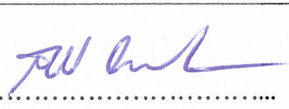
ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.สุวรรณ จรรยาพูน	
กรรมการ	อาจารย์กฤษณัฐ สุวรรณรัตน์
กรรมการ	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	



(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดน้ำที่มี เมธิลเทอร์เทียริบิทลีโอเธอร์ (MTBE)
ปนเปื้อนโดยกระบวนการออกซิเดชันและกระบวนการดูดซับ

นักศึกษา นายวรพงษ์	ถนอมจิวนนท์	รหัสนักศึกษา	42050521
น.ส.ศุภลักษณ์	รัตนรังสิมันต์	รหัสนักศึกษา	42050530
นายศุภศักดิ์	นันทรงธรรม	รหัสนักศึกษา	42050531

ภาควิชา	เคมี	คณะ วิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2545	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคนิคในการบำบัดน้ำที่มี เมธิลเทอร์เทียริบิทลีโอเธอร์ (MTBE) ปนเปื้อน โดยใช้ตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่ความเข้มข้น MTBE เท่ากับ 1000 พีพีเอ็ม และปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ในการบำบัดสองแบบคือ กระบวนการออกซิเดชันและการดูดซับ โดยวิเคราะห์ปริมาณ MTBE ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ในกระบวนการออกซิเดชันใช้สารเคมีเฟนต์ซึ่งมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์และมีเหล็กซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนกระบวนการดูดซับใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวดูดซับ ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละวิธี โดยกระบวนการออกซิเดชันจะศึกษาหาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณเหล็กซัลเฟต ($FeSO_4$) และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เหมาะสม ส่วนของกระบวนการดูดซับศึกษาปริมาณขุยมะพร้าว ค่าพีเอชและเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการออกซิเดชันคือ ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเหล็กซัลเฟต เท่ากับ 16 มิลลิลิตร และ 6 มิลลิลิตร ตามลำดับ เวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาคือ 30 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับคือ ปริมาณขุยมะพร้าวเท่ากับ 0.5 กรัม ที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 5-7 และเวลาในการดูดซับเท่ากับ 2 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดด้วยกระบวนการออกซิเดชันและการดูดซับเป็น 75.27% และ 88.26% ตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ, กระบวนการออกซิเดชัน, เมธิลเทอร์เทียริบิทลีโอเธอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title Comparison on Removal of Methyl *t*-Butyl Ether (MTBE) by
Oxidation and Adsorption Processes**

Name Mr. Woraphong Thanomcheewanon
Miss Supalak Rattnarungsimon
Mr. Supasak Nimsongtham

Department Chemistry **Faculty of science**

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2002

Special Project Advisor Asst. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith

Abstract

A study of this experiment is to remove Methyl *t*-Butyl Ether (MTBE) contaminated in water. Spiked water with MTBE 1000 ppm was used synthesis wastewater. A comparison between oxidation and adsorption technique for MTBE removal was investigated. MTBE was analysed by using gas chromatography technique. Fenton's reagent (FeSO_4 and H_2O_2) was used as oxidizing agent in oxidation process whilst coconut coir dust was used as an adsorbent in adsorption process. Optimum conditions for removal of MTBE in both techniques were investigated. In oxidation process the amount of FeSO_4 and H_2O_2 used and reaction time were studied. While weight of adsorbent pH and contact time were determined in adsorption process. The results showed that the suitable volume of oxidizing agent in oxidation technique were 16 ml of H_2O_2 , 6 ml of FeSO_4 and reaction time was 30 minute. Whilst in adsorption process, optimum amount of coconut coir dust was 0.5 grams in pH 5-7 solution and contact time was 2 hours. The efficiency of oxidation and adsorption processes were 75.27% and 88.26%, respectively

Key words: Adsorption, oxidation technique, MTBE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์บุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาอย่างดียิ่ง และให้กำลังใจเอาใจใส่พวกเราเสมอมา

อาจารย์ กิ่งต้นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ดร.สุวรรณี ดร.อุสารัตน์ ที่คอยดูแล ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจให้พวกเราเสมอมา

ขอขอบคุณ ดร.ตะวัน สุขน้อย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี รวมถึงพี่สาว พี่พี่ที่คอยดูแล และอำนวยความสะดวกแก่พวกเราตลอดเวลาที่พวกเราใช้เครื่อง

คณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยดูแลและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงพี่แม่บ้านที่อำนวยความสะดวกแก่พวกเราตลอดมา

พี่ๆปริญญาโทสาขาสิ่งแวดล้อมและสาขาปิโตรโพลีเมอร์ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจที่ดีเสมอมา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งให้ความรู้หลาย ๆ ด้านแก่พวกเรา

วรพงษ์ วัฒนอมชีวนนท์

ศุภลักษณ์ รัตนรังสิมันต์

ศุภศักดิ์ นิมิตรธรรม

เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 Methyl <i>t</i> -Butyl Ether	4
2.2 เทคนิคที่ใช้บำบัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ	6
2.3 กระบวนการดูดซับ	7
2.4 การวิเคราะห์ระบบดูดซับ	10
2.5 สารเคมีเฟนตัน (Fenton's Reagent)	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
3.1.1 สารเคมี	18
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	19
3.2.1 การบำบัดด้วย Fenton's Reagent	19
3.2.1.1 ศึกษาหาปริมาณของ $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ ที่เหมาะสม	19
ตอนที่ 1 หาปริมาณ H_2O_2 ที่เหมาะสม	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตอนที่2 หาปริมาณ FeSO_4 ที่เหมาะสม	19
3.2.1.2 ศึกษาหาระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม	20
3.2.1.3 ศึกษาผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	20
3.2.2 การบำบัดโดยการดูดซับด้วยขุยมะพร้าว	21
3.2.2.1 ศึกษาหาลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าว	21
3.2.2.2 ศึกษาหาปริมาณขุยมะพร้าวที่เหมาะสม	21
3.2.2.3 ศึกษาหาระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม	21
3.2.2.4 ศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ	22
3.2.2.5 ศึกษาผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	23
4.1 ผลการทดลองการบำบัดด้วย Fenton's Reagent	23
4.1.1 ผลของปริมาณ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	23
4.1.2 ผลของปริมาณ เฟอร์รัสซัลเฟต ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	24
4.1.3 ผลของเวลาในการปั่นกววนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	25
4.1.4 ผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	26
4.2 ผลการทดลองการบำบัดด้วยขุยมะพร้าว	27
4.2.1 ลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าว	27
4.2.2 ผลของปริมาณขุยมะพร้าวที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	28
4.2.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการเขย่าที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	29
4.2.4 ผลของค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	30
4.2.5 ผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	31
4.2.6 ผลการศึกษาไฮโซเทอร์มของการดูดซับ	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค	42
ภาคผนวก ง	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดง ค่าศักย์ออกซิเดชันของสารชนิดต่างๆ	14
ตาราง 4.1 แสดงการดูดซับ MTBE และ Freundlich Isotherm ของปริมาณขุยมะพร้าวที่ใช้	32
ตาราง 4.2 แสดงการดูดซับ MTBE และ Freundlich Isotherm ของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้น	33
ตาราง ข - 1 แสดงผลของกราฟมาตรฐาน	40
ตาราง ค - 1 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	44
ตาราง ค - 2 แสดงปริมาณ เฟอร์รัสซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	45
ตาราง ค - 3 แสดงผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	46
ตาราง ค - 4 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	47
ตาราง ค - 5 แสดงปริมาณขุยมะพร้าวที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	48
ตาราง ค - 6 แสดงผลเวลาที่ใช้ในการเขย่าที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	49
ตาราง ค - 7 แสดงค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด	50
ตาราง ค - 8 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	51
ตาราง ง - 1 แสดงสารอินทรีย์ที่ไม่ดีต่อการใช้ตัววัดสัญญาณชนิดเฟลมไอออไนเซชัน (FID)	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ MTBE	4
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงสมการที่ ของ Langmuir	11
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟสำหรับหาค่า C_s ของสมการที่ 4 ของ BET	12
รูปที่ 2.4 กราฟแสดง สมการของ BET	12
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงสมการของ Freundlich	13
รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	23
รูปที่ 4.2 แสดงผลของปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	24
รูปที่ 4.3 แสดงผลของเวลาในการปั่นกวที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	25
รูปที่ 4.4 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	26
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าวที่กำลังขยาย 200 เท่า	27
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าวที่กำลังขยาย 100 เท่า	27
รูปที่ 4.7 แสดงผลของปริมาณขุยมะพร้าวที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	28
รูปที่ 4.8 แสดงผลเวลาที่ใช้ในการเขย่าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	29
รูปที่ 4.9 แสดงผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	30
รูปที่ 4.10 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	31
รูปที่ 4.11 แสดง Freundlich Isotherm ของปริมาณขุยมะพร้าวที่ใช้	32
รูปที่ 4.12 แสดง Freundlich Isotherm ของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้น	34
รูปที่ ข – 1 แสดงกราฟมาตรฐาน	41
รูปที่ ค – 1 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่าง	52
รูปที่ ง – 1 ตัววัดสัญญาณชนิดเฟลม ไอออไนเซชัน (FID)	54
รูปที่ ง – 2 เครื่อง GC ที่ใช้ในการตรวจวัด	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
MTBE	Methyl <i>t</i> -Butyl Ether
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ml	มิลลิลิตร
g	กรัม
pH	พีเอช
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
%v/v	เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร
X/M	น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ
C_f	ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลายที่สภาวะสมดุล
K	ค่าคงที่
N	ค่าคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันการคมนาคมขนส่งมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมากจึงทำให้มีการใช้ยานพาหนะเพิ่มมากขึ้นและแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ คือ น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งได้มีการนำสารตะกั่วมาเติมในน้ำมัน เพื่อเพิ่มค่าออกเทน และเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากสารตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารทำให้เกิดปัญหาต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในช่วงปลาย 1970 จึงได้มีการนำสารเติมแต่งชนิดใหม่ขึ้นมาใช้ คือ Methyl *t*-Butyl Ether (MTBE) (Bass, 1992) ซึ่งในขณะนั้นเชื่อว่า MTBE เป็นสารที่ไม่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมทั้งมนุษย์ แต่ในเวลาต่อมาได้มีการพบว่ามีการปนเปื้อนของ MTBE ในแหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้กับที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงและบริเวณบ่อน้ำที่อยู่ใกล้เคียง (Rodriguez, 1997) จึงได้มีการทำการศึกษาถึงการปนเปื้อน การแพร่กระจายของ MTBE และผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตรวมถึงการบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนของ MTBE ด้วยวิธีการต่าง ๆ

งานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการใหม่ ๆ ที่จะนำมาบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อน MTBE เพื่อให้ปริมาณ MTBE ที่มีการปนเปื้อนลดลงหรือหมดไปซึ่งจะทำให้ก่อผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เฟนตันรีเอเจนต์เป็นตัวออกซิไดซ์กับการดูดซับด้วยขุยมะพร้าว ซึ่งจะคำนึงถึงความประหยัดและเหมาะสมต่อการลงทุนในการบำบัดรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด MTBE โดยใช้ Fenton's Reagent เป็นตัวออกซิไดซ์ในสารละลาย MTBE
2. เพื่อนำวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นสารดูดซับ MTBE
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด MTBE โดยใช้ ขุยมะพร้าวเป็นตัวดูดซับในสารละลาย MTBE
4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด MTBE ในน้ำ ระหว่างการใช้ Fenton's Reagent เป็นตัวออกซิไดซ์ กับการดูดซับโดยใช้ขุยมะพร้าว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการกำจัด MTBE ในน้ำโดยใช้ Fenton's Reagent โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการออกซิเดชัน MTBE ในน้ำ ได้แก่ ระยะเวลา ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเหล็ก และความเข้มข้นของ MTBE
2. เตรียมขุยมะพร้าว
3. ทำการวิเคราะห์หาลักษณะพื้นผิวและความมีรูพรุนของขุยมะพร้าว ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)
4. ทำการดูดซับ MTBE ในน้ำ โดยใช้ขี้เถ้าถ่านมะพร้าว โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับ MTBE ในน้ำ ได้แก่ ปริมาณขุยมะพร้าว ระยะเวลา ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของ MTBE
5. ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ Fenton's Reagent เป็นตัวออกซิไดซ์ กับการดูดซับโดยใช้ขุยมะพร้าว
6. การวิเคราะห์ปริมาณ MTBE จะใช้เทคนิค Gas Chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด MTBE โดยใช้ Fenton' s Reagent ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด MTBE โดยใช้ ขุยมะพร้าวให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
3. สามารถนำของเหลือทางเกษตรกรรม (กามมะพร้าว) มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

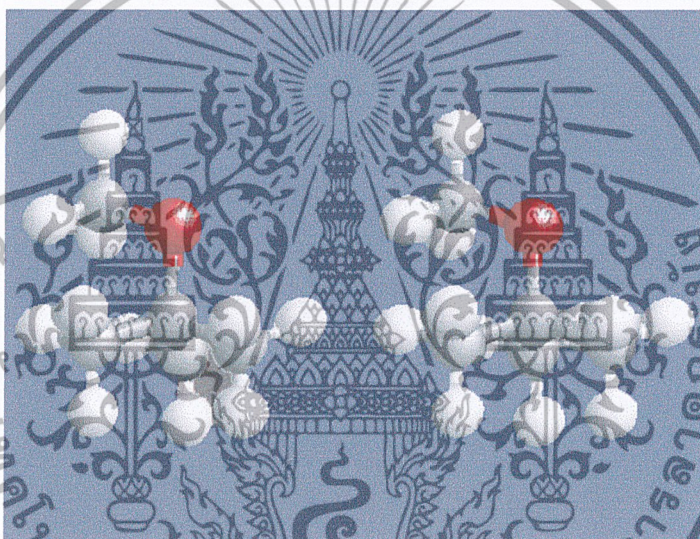
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 Methyl *t*-Butyl Ether

สูตร: $C_5H_{12}O$

เมทิลเทอร์เทียริบิวทิลอีเธอร์ (MTBE) เป็นของเหลวติดไฟได้ ใช้แทนสารตะกั่วในน้ำมันเบนซิน หากดื่มหรือหายใจเข้าสู่ร่างกายจะทำให้รู้สึกคลื่นเหียน ระคายเคืองจมูกและคอ รวมทั้งมีผลกับระบบประสาท



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ MTBE

เมทิลเทอร์เทียริบิวทิลอีเธอร์ (MTBE) เป็นของเหลวติดไฟได้ มีกลิ่นเฉพาะตัวที่ไม่น่าดม ซึ่งได้จากการผสมสารเคมีเข้าด้วยกัน เช่น ผสม isobutylene กับ methanol และเริ่มมีการใช้งานในคริสต์ศตวรรษที่ 1980 ซึ่งใช้สำหรับทดแทนสารตะกั่วในน้ำมันเบนซินเพื่อช่วยให้การเผาไหม้ให้ดีขึ้น

นอกจากนี้ยังใช้ในการสลายเม็ดนิว คนไขที่ได้รับการรักษาด้วยวิธีนี้จะได้รับ MTBE ผ่านทางท่อส่งตรงไปยังกระเพาะปัสสาวะ โดยการผ่าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่า MTBE จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้

- MTBE สามารถระเหยเป็นไอได้ง่ายและรวดเร็วหากเปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ หรือสามารถระเหยจากผิวน้ำได้เมื่อมีการปนเปื้อนในน้ำ ดังนั้นจึงพบได้บ่อยในรูปก๊าซในอากาศด้วย
- MTBE สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อยและซึมลงยังชั้นน้ำใต้ดินได้
- MTBE สามารถอยู่ในน้ำใต้ดินได้เป็นเวลานาน
- MTBE สามารถเกาะอยู่กับอนุภาคที่อยู่ในน้ำได้ ซึ่งจะกลายเป็นตะกอนในที่สุด
- MTBE สามารถสลายตัวได้เมื่อ ไรของ MTBE ถูกแสงอาทิตย์
- ไม่พบการสะสมของ MTBE ในพืชและสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ

ในการดำเนินชีวิตประจำวัน MTBE สามารถเข้าสู่ร่างกาย ได้หลายทาง เช่น

- MTBE สามารถเข้าสู่ร่างกายได้จากการสัมผัสทางผิวหนังและการหายใจในอากาศที่ปนเปื้อนน้ำมันเบนซิน เช่นระหว่างการเติมน้ำมันตามสถานีบริการ
- จากการสูดดมควันจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์
- จากการหายใจในบริเวณถนนที่มีการจราจรคับคั่งหรือในเมืองใหญ่
- จากการดื่มน้ำหรืออาบน้ำที่ปนเปื้อน MTBE
- ได้รับจากการสลายตัวของ MTBE

เมื่อร่างกายรับเอา MTBE เข้าสู่ร่างกาย อาจเกิดผลดังต่อไปนี้

การหายใจรับเอา MTBE จำนวนเล็กน้อยในเวลาสั้นอาจทำให้เกิดการระคายคอและจมูก มีบางรายที่ได้รับ MTBE ในขณะที่เติมน้ำมัน ขับรถ หรือทำงานที่สถานีบริการน้ำมันแล้วมีอาการปวดศีรษะ คลื่นเหียน วิงเวียน และจิตใจสับสน แต่ในกรณีเหล่านี้ ไม่ทราบถึงปริมาณที่ผู้ป่วยได้รับ และอาการป่วยเช่นนี้ยังอาจเกิดได้จากการได้รับสารเคมีอื่น ๆ ด้วย

สำหรับความเป็นพิษของ MTBE นั้นได้มีการศึกษาในหนู พบว่า หนูที่ได้รับน้ำที่มี MTBE ปนเปื้อนอยู่จะทำให้ลำไส้ระคายเคือง ทำลายตับและไต รวมทั้งมีผลกระทบต่อระบบประสาท ส่วนผลกระทบต่อมนุษย์ยังไม่มีหลักฐานชี้ชัดว่า MTBE ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ การศึกษาในหนูพบว่าหนูที่หายใจรับเอา MTBE ในปริมาณสูงเป็นเวลานานอาจทำให้เป็นมะเร็งตับและไต

(<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts91.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคนิคที่ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ

เมื่อสารอินทรีย์ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จะมีลักษณะการกระจายตัวหรือการตกค้างต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ และธรรมชาติของตัวกลางที่ได้รับการปนเปื้อน ด้วยเหตุนี้จึงมีเทคนิคที่ใช้ในการบำบัดต่างกันออกไป โดยเทคนิคสำหรับการบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ

2.2.1 Air Stripping

เป็นเทคนิคที่ใช้บำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยและละลายน้ำได้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย รวมถึงการเติมอากาศเพื่อออกซิเดชันโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ หลักการของเทคนิคนี้คือการปล่อยอากาศให้ผ่านน้ำที่จะทำการบำบัด เมื่ออากาศสัมผัสกับน้ำสารประกอบอินทรีย์ที่กลายเป็นไอได้ก็จะระเหยจากน้ำสู่อากาศ

เทคนิคนี้สามารถใช้ได้หลายแบบ แบบหนึ่งที่นิยมใช้กันคือ packed tower aeration ซึ่งเป็นการให้อากาศสัมผัสกับน้ำเสียที่จะบำบัดในคอลัมน์ขนาดใหญ่อย่างต่อเนื่อง ภายในคอลัมน์อาจจะบรรจุตัวกลางเพื่อเพิ่มพื้นที่การสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลว

มีการนำเทคนิคนี้มาทำการกำจัด MTBE ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มกันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพดีและมีราคาถูก (Nyer, 1992)

2.2.2 Chemical Oxidation

เป็นเทคนิคการบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ใช้กันมานาน โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างตัวรับ (oxidizer) และตัวให้ (reducer) อิเล็กตรอน เพื่อทำลายพันธะของสารอินทรีย์ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลงและมีความเป็นพิษลดลง ในทางทฤษฎีจะสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ตัวให้อิเล็กตรอน (reducer) ในที่นี้ คือ สารอินทรีย์ต่างๆที่ปนเปื้อนในน้ำ ส่วนตัวรับอิเล็กตรอน (oxidizer) ที่นิยมใช้คือ คลอรีน โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่เรียกว่า Advanced Oxidation Process คือการนำตัวออกซิไดซ์หลายชนิดมาใช้ร่วมกัน เช่น การใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ รังสี UV การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับรังสี UV (Nyer, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 Carbon Adsorption

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมาเป็นระยะเวลานานตั้งแต่การใช้อ่างกรองน้ำในสมัยโบราณ ในปัจจุบันนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ จากกระบวนการทางอุตสาหกรรม และยังมีการนำไปใช้เพื่อกำจัดสีและกลิ่น ในการนำน้ำใต้ดินไปใช้ในการอุปโภคบริโภค (น้ำประปา) และเทคนิคนี้ยังถูกนำไปใช้ร่วมกับระบบอื่น เช่น ใช้บำบัดก๊าซที่มาจากระบบ Air stripping

คาร์บอนที่นำมาทำเป็นตัวดูดซับจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำ อาจนำไปผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือสารอื่นเพื่อให้มีลักษณะพิเศษและมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ที่เรียกว่า activated carbon

2.2.4 เทคนิคอื่นๆ

นอกจากเทคนิคที่กล่าวไปแล้วยังมีอีกหลายเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ เช่น การใช้ความร้อน (Thermal Oxidation) การใช้กร่อนอินทรีย์ในการออกซิเดชัน การใช้ membrane (Membrane Technology) เป็นต้น

2.3 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้นไมโครลู ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือกรองแบบธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงโมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่ากระบวนการดูดซับ (Adsorption) ตัวที่ดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนโมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์ดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (Surface) โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้อ่างกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจาก Landfill เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ประเภทของตัวดูดซับ (Adsorbent) แบ่งได้ 3 ประเภท

1) สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกาแก้มันต์ (Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 - 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์นี้สามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ จึงเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้ความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยทั่วไปมีพื้นที่ประมาณ 450 - 1500 ตารางเมตรต่อกรัมและมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10 - 10000 อังสตรอม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชิ้นส่วนของพืชและสัตว์ จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

3) ประเภทของสารอนินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอนินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 - 500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีความต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ แต่สามารถปรับสภาพนำมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่าคือ สามารถปรับสภาพใหม่ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก เช่น เกลือแกง

2.3.2 รูปแบบของการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) กระบวนการดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ยึดติดกับผิวตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน (Weak van der Waal's force) เรียกกระบวนการดูดซับแบบนี้ว่า การดูดซับ (Adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ (Reversible Process) ส่วนกระบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับเรียกว่า Desorption โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้นเรียกว่า Multilayer

2) กระบวนการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิวของตัวดูดซับโดยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์และยากต่อการเกิด Desorption การดูดซับทางเคมีนี้โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียวเรียกว่า Monolayer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1) สมบัติของตัวดูดซับ

1. พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็ก ก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่ม

2) สมบัติของสารที่ดูดซับ

1. ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่เกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้
2. น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่ง (Branched Chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (Straight Chain)

3) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) พื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

4) อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสต้องเหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงสุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และสารถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติก่อนนำไปใช้จริง

2.4 การวิเคราะห์ระบบดูดซับ

ระบบดูดซับได้ถูกวิเคราะห์ด้วยทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ในรูปแบบการอย่างง่าย แล้วนำสมการมาวาดกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่าง ๆ ได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในการคำนวณออกแบบระบบดูดซับ การวิเคราะห์ระบบดูดซับ ได้มีผู้วิเคราะห์ไว้ อยู่สามกลุ่มคือ Langmuir, Brunauer-Emmett-teller (BET), และ Freundlich (เกรียงศักดิ์, 2539)

สมการ 2.1 สำหรับระบบดูดซับโดยสมการนี้มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะคิดเฉพาะผิวชั้นเดียว และโมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว

$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A A} \quad \text{----- (2.1)}$$

เมื่อ : q = ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ
 q_m = ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล
 K_A = ค่าคงที่ของการดูดซับ (ลิตรของตัวดูดซับต่อมิลลิกรัมของสารถูกดูดซับ)
 C = ความเข้มข้นของสารละลาย (mg/l)

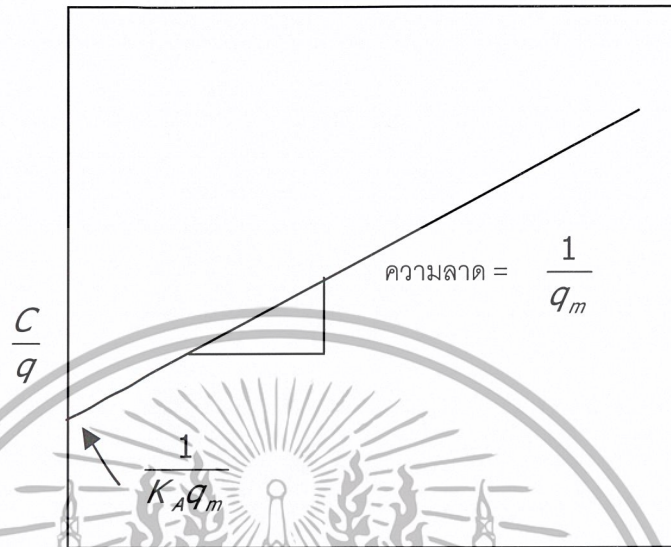
เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า q_m และ K_A ได้โดยใช้กราฟ จึงจำเป็นต้องจัดรูปแบบสมการ (2.2) และ (2.3) ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \left(\frac{1}{K_A q_m} \right) \frac{1}{C} \quad \text{----- (2.2)}$$

$$\frac{C}{q} = \frac{C}{q_m} + \frac{1}{K_A q_m} \quad \text{----- (2.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.3 สามารถเขียนกราฟได้แสดงดังรูป



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงสมการของ Langmuir (เกรียงศักดิ์, 2539)

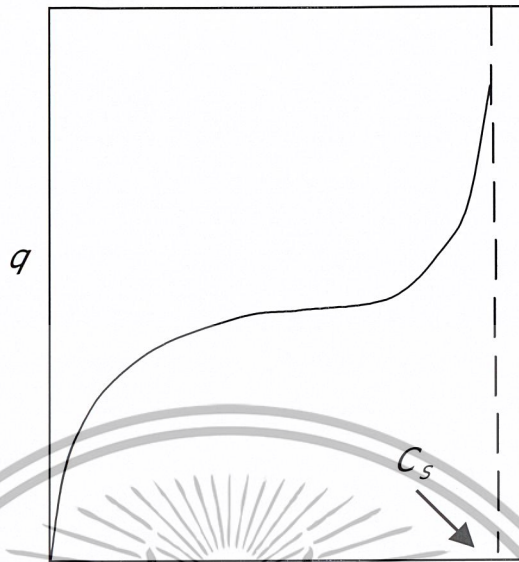
สมการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) สมการ (2.4) เป็นสมการ สำหรับระบบดูดซับ โดยสมการนี้มีเงื่อนไขว่า โมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิวและการดูดซับมีระดับคงที่สำหรับทุก ๆ โมเลกุล

$$q = \frac{q_m K_B C}{(C_S - C)[1 + (K_B - 1)(C/C_S)]} \quad \text{--- (2.4)}$$

ในเมื่อ : $C_S =$ ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารถูกดูดซับ ณ ทุก ๆ ชั้น (mg/l)

$K_B =$ ค่าคงที่ของการดูดซับ

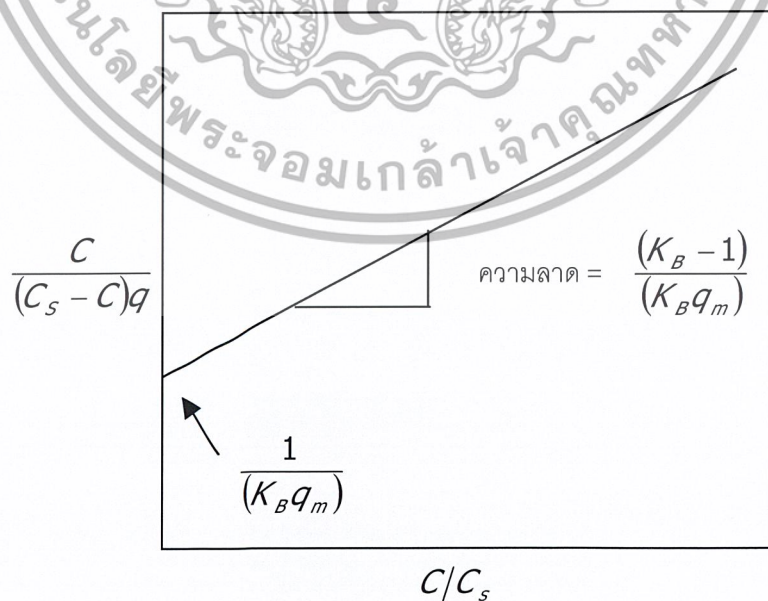
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟสำหรับหาค่า C_s ของสมการที่ 2.4 ของ BET (เกรียงศักดิ์, 2539)

เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า K_B และ q_m ได้โดยใช้กราฟ จึงจำเป็นต้องจัดรูปแบบสมการให้เป็นสมการ (2.5) ดังนี้

$$\frac{C}{(C_s - C)q} = \frac{1}{K_B q_m} + \left(\frac{K_B - 1}{K_B q_m} \right) \left(\frac{C}{C_s} \right) \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงสมการของ BET (เกรียงศักดิ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของ Freundlich สมการ(2.6) เป็นสมการสำหรับระบบดูดซับ ซึ่งสมการนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$q = K_F C^{1/n} \quad \text{----- (2.6)}$$

ในเมื่อ : K_F = ค่าคงที่
 n = ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า K_F และ n ได้โดยใช้กราฟ จึงจำเป็นต้องใช้ Logarithm มาจัดรูปแบบสมการให้เป็นสมการนี้ (2.7)



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงสมการของ Freundlich (เกรียงศักดิ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สารเคมีเฟนต์ัน (Fenton's reagent) เป็นการผสมกันระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับเหล็ก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) โดยเหล็กจะทำหน้าที่เป็นตัวคะตะลิสต์ โดยจะทำปฏิกิริยากันก่อให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล($HO\cdot$) ซึ่งมีค่าศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation Potential) สูงโดยสูงกว่าคลอรีนเกือบ 2 เท่า และสูงกว่าไอโชนประมาณร้อยละ 15 โดยมีค่าสูงกว่าอนุมูลฟลูออรีน(Fluorine radical) เท่านั้น (<http://www.h2o2.com/applications/industriailwastewater/fentonsreagent.html>)

ตาราง 2.1 แสดง ค่าศักย์ออกซิเดชันของสารชนิดต่างๆ (Flaherty และ Huang,1992)

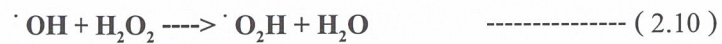
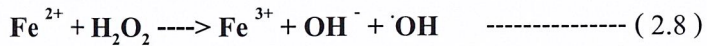
สารออกซิไดส์	ศักย์ไฟฟ้า(โวลต์)
$F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	2.87
$HO\cdot + H^+ + e^- \longrightarrow H_2O$	2.33
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.68
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow O_2 + H_2O$	2.07
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$	1.77
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	1.68
$ClO_2(g) + e^- \longrightarrow ClO_2^-$	0.95
$ClO_2^- + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow Cl^- + 4OH^-$	0.90

เฟนต์ันถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1894 โดย H.J.H Fenton แต่ไม่มีการนำมาใช้งานกระทั่งในปี ค.ศ. 1930 แต่ในปัจจุบันนี้ มีการใช้ Fenton's reagent ในการบำบัดของเสียอุตสาหกรรมหลายชนิดที่เป็น สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษ เช่น ฟีนอล, ฟอร์มาลดีไฮด์ และของเสียที่มาจากอุตสาหกรรม สี ยางฆ่าแมลง ผลิตภัณฑ์กระดาษเนื้อไม้ สารเติมแต่งในพลาสติก และเคมีภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องขาง กระบวนการนี้ยังสามารถใช้กับ น้ำเสีย กากตะกอน หรือดินที่มีการปนเปื้อน โดยจะมีผลทำให้

- ทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษ
- ลดความเป็นพิษ
- ช่วยในการย่อยสลายทางชีวภาพ
- ลดค่าบีโอดี/ซีโอดี
- ลดสี และ กลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

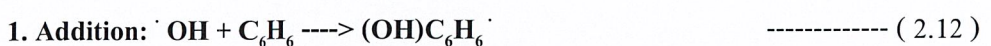
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการใช้สารเคมีเฟนตันเป็นดังนี้



ซึ่งในกระบวนการจะต้องมีการควบคุมสภาวะให้เป็นดังนี้ คือ

- ปรับ pH ของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 3-5 ถ้าค่าพีเอชสูงเกินไปจะเกิดคอลลอยด์ของเหล็ก ซึ่งจะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นออกซิเจนและน้ำ โดยไม่เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล
- เติมเหล็กในรูปของสารละลาย FeSO_4 การใช้ Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} มักจะให้ผลไม่ต่างกันนัก แต่ถ้ามีการใช้สารเคมีเฟนตันในปริมาณไม่มากควรใช้ Fe^{2+} จะเหมาะสมกว่า นอกจากนี้ยังสามารถนำเหล็กกลับมาใช้ใหม่โดยการปรับพีเอชให้เกิดตะกอนของเหล็ก แล้วปรับสภาพตะกอนให้เป็นกรด
- เติม H_2O_2 อย่างช้า ๆ
- การควบคุมอุณหภูมิ โดยทั่วไปปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีที่ 20-40 องศาเซลเซียส
- เวลาการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับสภาวะที่กล่าวมาข้างต้น และชนิดของน้ำเสีย โดยทั่วไปสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายโดยจะมีสีเข้มเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และจะใสเมื่อเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์

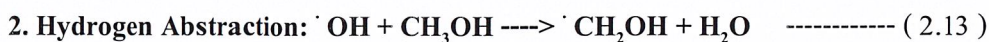
ปฏิกิริยาเคมีของไฮดรอกซิลเรดิคัลในน้ำจะเกิดได้ 4 แบบ คือ



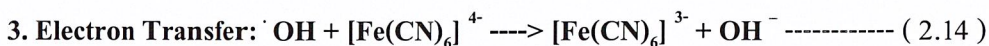
เมื่อไฮดรอกซิลเรดิคัลเกิดปฏิกิริยาการเติมกับสารประกอบ aliphatic หรือ

aromatic ที่ไม่อิ่มตัว จะเกิดเป็นเรดิคัลอิสระดังเช่นอย่างสมการ (2.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เกิดเป็นน้ำและสารอินทรีย์ในรูปเรดิคัลอิสระดังสมการ (2.13)



เกิดเป็นไอออนที่มี valence state สูงกว่า หรือ เกิดเป็นอะตอมหรือเรดิคัลอิสระเมื่อไอออนที่มีประจุลบหนึ่งถูกออกซิไดส์ดังสมการ (2.14)



เมื่อไฮดรอกซิลเรดิคัลทำปฏิกิริยากันเองหรือกับเรดิคัลตัวอื่น จะเกิดเป็นสารที่คงตัวดังสมการที่ (2.15)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Landmeyer, *et.al.* (2001) ได้ทำการวิจัยการย่อยสลาย MTBE โดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะธรรมชาติและสภาวะที่มีออกซิเจนที่สร้างขึ้นพบว่า จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณที่ต้น ๆ ใกล้กับ BEAUFORT, SC สามารถที่จะทำให้ MTBE ลดลงได้ทั้งสภาวะปกติและมีออกซิเจน โดยในการทดลองจะใช้ MTBE ในรูป กัมมันตภาพรังสี ในขณะที่สิ่งมีชีวิตย่อยสลาย MTBE จะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาด้วยทำให้ค่า DO ของน้ำสูงขึ้น โดยใน 60 วัน ที่ทำการทดลองค่า DO เพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน MTBE ลดลงจาก 20 เป็น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

Bradley, *et.al.* (1999) ทำการวิจัยเรื่องการสลาย MTBE และ TBA ในสภาวะที่มีออกซิเจนโดย Steam-Bed Sediment Microorganisms (Aerobic Mineralization of MTBE and tert- Butyl Alcohol by Stream-Bed Sediment Microorganism) พบว่าจุลินทรีย์พื้นเมืองสามารถย่อยสลายสาร 2 ชนิดคือ MTBE และ TBA ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินได้ จากการทดลองพบว่ามากกว่า 73 % ของ C₁₄-MTBE และ มากกว่า 84 % ของ C₁₄-TBA จะสลายไปเป็น ¹⁴CO₂ ภายใต้สภาวะผสมระหว่างสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจนและพบว่าภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจนจะเกิดการย่อยสลายอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนภายใต้ลักษณะเฉพาะของการผสม 2 สภาวะเข้าด้วยกัน Microbial process จะทำให้ MTBE ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปวีณา (2539) ได้ศึกษาการใช้ Fenton ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมส่วนใหญ่ จะมีประสิทธิภาพสูงที่ pH 4 ปริมาณ FeSO_4 , H_2O_2 จะขึ้นอยู่กับสีแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยจากการกำจัดสีที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณ FeSO_4 จะแปรผันในช่วง 10-50 mg/l และ H_2O_2 จะแปรผันในช่วง 1.8-28.8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วง 86-99%

และเมื่อทำการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียพบว่าใช้ FeSO_4 เท่ากับ 110-185 มิลลิกรัมต่อลิตร , และ H_2O_2 เท่ากับ 19-36 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ประสิทธิภาพ สูงถึง 83-94% ซึ่งใช้เวลาในการกวนและตกตะกอนคือเท่ากับ 20 นาที

Karpel Vel Leither, *et.al.* (1994) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดน้ำที่มี MTBE ปนเปื้อน ด้วยการใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว และการใช้ออกซิเจนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Peroxone) พบว่าที่ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 80% การใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียวจะใช้ ออกซิเจน 3.0 มิลลิกรัมต่อ MTBE 1 มิลลิกรัม ส่วนในการบำบัดด้วย Peroxone จะใช้ออกซิเจนเพียง 1.7 มิลลิกรัมต่อ MTBE 1 มิลลิกรัม

Wagler และ Malley (1994) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อน MTBE ด้วยเทคนิคต่างๆ คือ การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้รังสี UV และการใช้ทั้งสองเทคนิคพร้อมกัน พบว่า การใช้เพียงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือรังสี UV เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่า 10% ในช่วงพีเอช 6.5 ถึง 8.0 และใช้เวลา 2 ชั่วโมง แต่การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับรังสี UV ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า 95% ในช่วงพีเอช 5.5 ถึง 10 และใช้เวลาเพียง 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. เฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
3. Methyl *t*-Butyl Ether 99.95 % (MTBE) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
4. n-hexane เกรดวิเคราะห์ (SOLL CHEMIE)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide , NaOH) 0.01N
6. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid , H_2SO_4) 0.05 N

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เอฟไอดี (FID) รุ่น 3800 บริษัท VARIAN
2. เครื่องชั่งน้ำหนักสี่ตำแหน่ง รุ่น TC 254 บริษัท DENVER
3. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น 215 บริษัท DENVER
4. เครื่องบดตัวอย่าง
5. ตู้อบ (oven)
6. เครื่องเขย่า (Shaker)
7. ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช
8. ไมโครปิเปตขนาด 200 และ 1000 ไมโครลิตร
9. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การบำบัดด้วย Fenton's Reagent

3.2.1.1 ศึกษาหาปริมาณของ FeSO_4 และ H_2O_2 ที่เหมาะสม

ตอนที่ 1 หาปริมาณ H_2O_2 ที่เหมาะสม

1. ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตรปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 3-4 ด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 0.05 N
2. เติมสารละลาย FeSO_4 เข้มข้น 1 mg/ml จำนวน 1 ml หลังจากนั้นเติมสารละลาย H_2O_2 เข้มข้น 1 %v/v จำนวน 14 ml
3. ปรับปริมาตรสารละลายทั้งหมดให้เป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น
4. นำสารละลายที่ได้ไปปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กจนเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ในเวลา 30 นาที
5. นำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้นโดยเปลี่ยนปริมาณ H_2O_2 ที่ใช้เป็น 15, 16, และ 17 ml

ตอนที่ 2 หาปริมาณ FeSO_4 ที่เหมาะสม

1. ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml ปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 3-4 ด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 0.05 N
2. เติมสารละลาย FeSO_4 เข้มข้น 1 mg/ml จำนวน 4 ml ลงในขวดรูปชมพู่หลังจากนั้น เติมสารละลาย H_2O_2 เข้มข้น 1 %v/v ตามจำนวนที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดจากผลการทดลองตอนที่ 1
3. ปรับปริมาตรสารละลายทั้งหมดให้เป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น
4. นำสารละลายที่ได้ไปปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กจนเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เป็นเวลา 30 นาที
5. นำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลือ อยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้นโดยเปลี่ยนปริมาณ FeSO_4 ที่ใช้เป็น 5, 6 และ 7 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 ศึกษาหาระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม

1. ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml ปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 3-4 ด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 0.05 N
2. เติมสารละลาย FeSO_4 เข้มข้น 1 mg/ml และ สารละลาย H_2O_2 เข้มข้น 1 %v/v ในปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดซึ่งได้จากผลการทดลองข้อที่ 3.2.1.1 ตอนที่ 1 และ ตอนที่ 2
3. ปรับปริมาตรสารละลายทั้งหมดให้เป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น
4. นำสารละลายที่ได้ไปปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที
5. นำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้น โดยเปลี่ยนเวลาจาก 30 นาที เป็น 10, 20, 40, ตามลำดับ

3.2.1.3 ศึกษาผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1. ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตรปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 3-4 ด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 0.05 N
2. เติมสารละลาย FeSO_4 เข้มข้น 1 mg/ml และ H_2O_2 เข้มข้น 1 %v/v ตามปริมาณที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 3.2.1.2 ทั้งตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ตามลำดับ
3. ปรับปริมาตรสารละลายทั้งหมดให้เป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่นซึ่งจะให้ความเข้มข้นของ MTBE เท่ากับ 400 ppm
4. นำสารละลายที่ได้ไปปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 3.1.2.3
5. นำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ค)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้น โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของ MTBE จาก 1000 ส่วนในล้านส่วน เป็น 600, 700, 800 และ 900 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การบำบัดโดยการดูดซับด้วยขุยมะพร้าว

3.2.2.1 ศึกษาหาลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าว

นำไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.2.2.2 ศึกษาหาปริมาณขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

1. ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูป ชมพู ขนาด 250 ml
2. ใส่ขุยมะพร้าวลงไป 0.2 g
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ
5. หลังจากนั้นนำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้น โดยเปลี่ยนปริมาณขุยมะพร้าว จาก 0.2 g เป็น 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 g ตามลำดับ

3.2.2.3 ศึกษาหาระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม

1. ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมขุยมะพร้าวลงไปตามจำนวนที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดจากผลการทดลองข้อที่ 3.2.2.1
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ
5. หลังจากนั้นนำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้น โดยเปลี่ยนเวลาจาก 2 ชั่วโมง เป็น 0.5, 1, และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4 ศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ

1. เปิดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 3 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH
2. เติมขุยมะพร้าวลงไปตามจำนวนที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดจากผลการทดลองข้อที่ 3.2.2.1
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.2.2
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ
5. หลังจากนั้นนำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้นโดยปรับ pH ให้เป็น 5, 7, 9, และ 11 ตามลำดับ

3.2.2.5 ศึกษาผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1. เปิดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ ผลการทดลองในข้อ 3.2.2.4 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH
2. เติมขุยมะพร้าวลงไปตามจำนวนที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดจากผลการทดลองข้อที่ 3.2.2.1
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.2.2
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ
5. หลังจากนั้นนำสารละลายไปสกัดด้วย Hexane แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หา MTBE ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (ดูในภาคผนวก ง)
6. ทำการทดลองเหมือนขั้นต้นโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของ MTBE จาก 1000 ppm เป็น 600, 700, 800 และ 900 ppm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

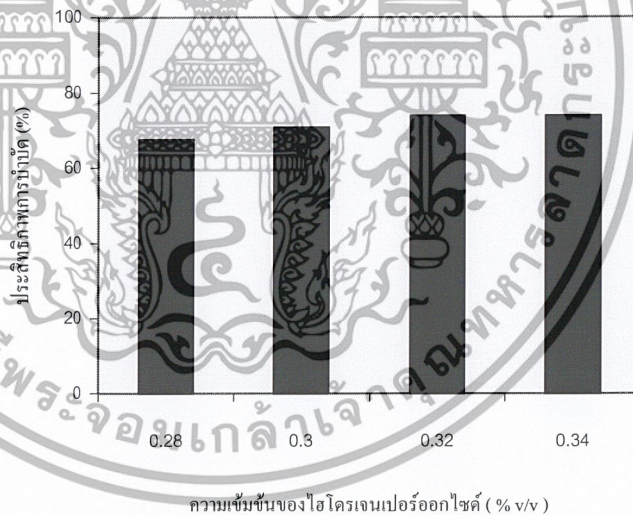
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองการบำบัดด้วย Fenton's Reagent

4.1.1 ผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3 - 4 และกำหนดให้ทุกขวดใส่สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้น 1 mg/ml เท่ากันคือ 1 ml หลังจากนั้นจะทำการเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 %v/v ลงไปตามที่กำหนดคือ 14, 15, 16 และ 17 ml ซึ่งจะได้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.28, 0.30, 0.32 และ 0.34 %v/v ตามลำดับแล้วนำไปปั่นจนเป็นเวลา 30 นาทีซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

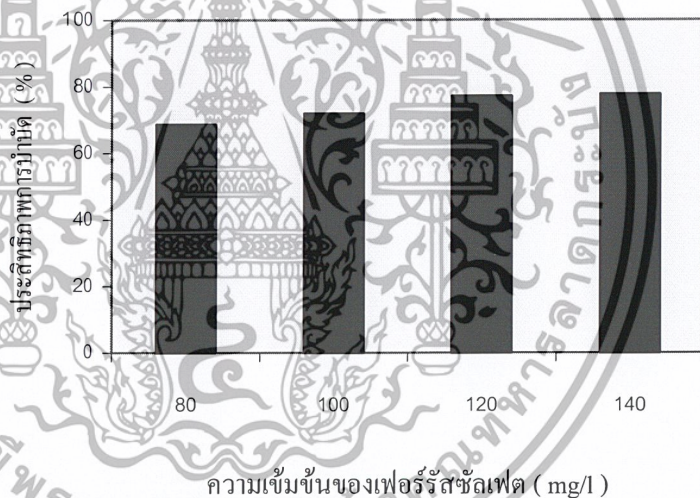
จากรูปที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตามที่กำหนดไว้คือ 0.28, 0.30, 0.32 และ 0.34 %v/v ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดคือ 67.59, 70.76, 73.81 และ 73.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับจะเห็นว่าประสิทธิภาพของการบำบัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.32 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.34 %v/v ให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดที่ใกล้เคียงกันดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 0.32 % v/v ซึ่งเท่ากับ 16 ml เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมี

4.1.2 ผลของปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3 - 4 แล้วทำการเติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้น 1 mg/ml ตามที่กำหนดไว้คือ 4, 5, 6 และ 7 ml ซึ่งจะได้สารละลายที่มีเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้นเท่ากับ 80, 100, 120, 140, และ 160 mg/l ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปตามที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.1.1 คือ 16 ml แล้วนำไปบ่มกวนเป็นเวลา 30 นาทีซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.2



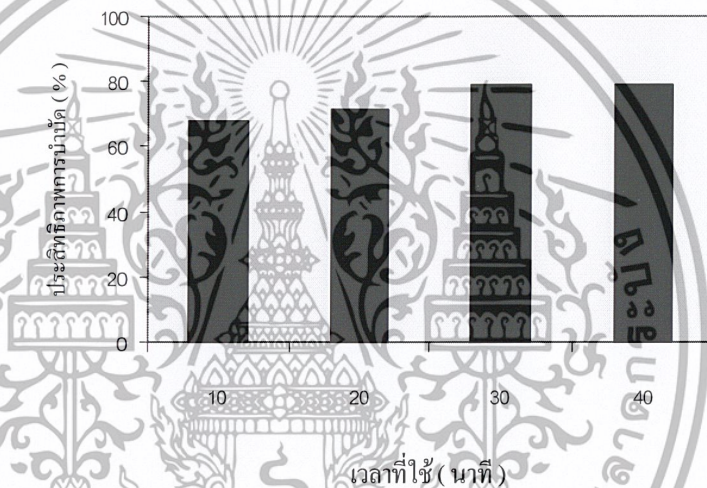
รูปที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟตตามที่กำหนดไว้คือ 80, 100, 120 และ 140 mg/l ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดคือ 68.63, 71.92, 77.14 และ 77.69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับตามปริมาณของเฟอร์รัสซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 120 และ 140 mg/l ให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดที่ใกล้เคียงกันดังนั้นจึงเลือกใช้ที่ 120 mg/l เป็นปริมาณเท่ากับ 6 ml เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลของเวลาในการปั่นกวนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3 - 4 แล้วทำการเติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้น 1 mg/ml ตามปริมาณที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.1.2 คือ 6 ml หลังจากนั้นจะทำการเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 %v/v ลงไปตามปริมาณที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.1.1 คือ 16 มิลลิลิตรแล้วนำไปปั่นกวนตามเวลาที่ได้กำหนดไว้คือ 10, 20, 30 และ 40 นาทีซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.3

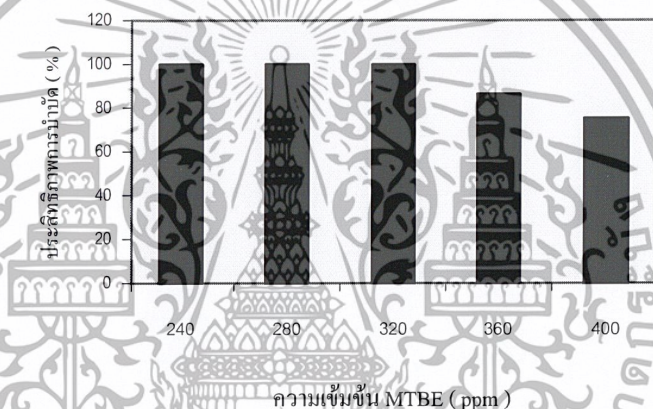


รูปที่ 4.3 แสดงผลของเวลาในการปั่นกวนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากรูปที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm โดยการเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนตามที่กำหนดไว้คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดคือ 67.62, 71.42, 78.91 และ 78.74 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยที่เวลา 30 และ 40 นาทีให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดสูงและใกล้เคียงกันดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาในการปั่นกวน 30 นาที เพื่อเป็นการประหยัดเวลาเนื่องจากที่เวลา 30 นาทีนั้นปฏิกิริยาได้เกิดสิ้นสุดแล้วที่เวลา 40 นาทีความเข้มข้น MTBE จึงไม่ลดลง

4.1.4 ผลของความเข้มข้น MTBE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองเราจะทำการการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้นตามที่ได้กำหนดไว้คือที่ 240, 280, 320, 360 และที่ 400 ppm ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3 - 4 แล้วทำการเติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้น 1 mg/ml ตามที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.1.2 คือ 6 มิลลิตรหลังจากนั้นจะทำการเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 %v/v ลงไปตามที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.1.1 คือ 16 มิลลิตรแล้วนำไปปั่นกวนตามเวลาที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.1.3 คือ 30 นาทีซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.4

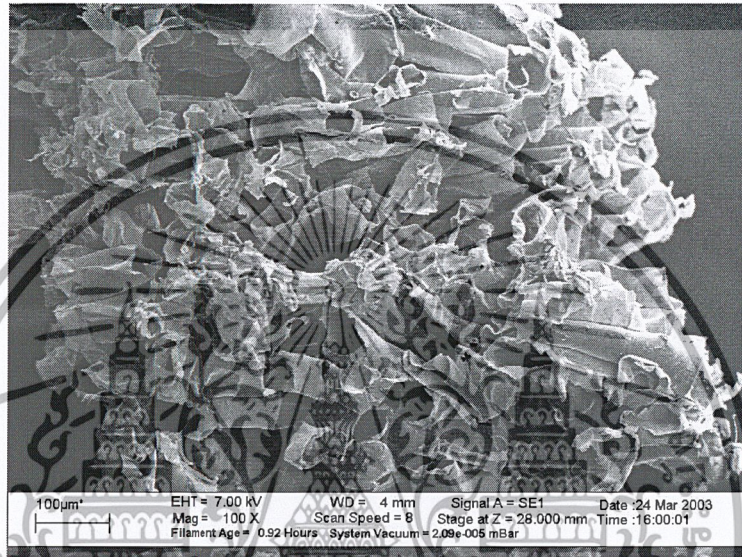


รูปที่ 4.4 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

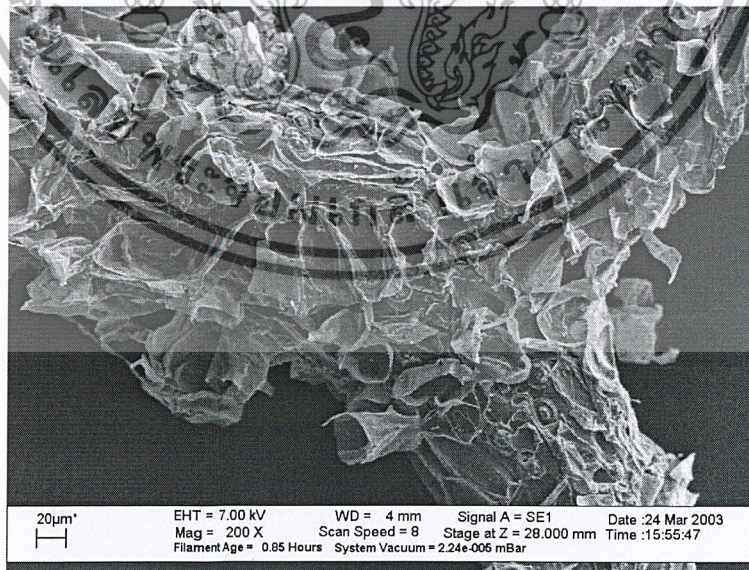
จากรูปที่ 4.4 จะแสดงให้เห็นถึงแสดงผลของความเข้มข้น MTBE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งความเข้มข้น MTBE ที่ได้กำหนดไว้คือที่ 240, 280, 320, 360 และที่ 400 ppm ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้คือ 100.00, 100.00, 99.77, 86.20 และ 75.27 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของ MTBE ต่ำๆ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงเพราะมีปริมาณ MTBE น้อยและจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ MTBE เพิ่มขึ้น ดังนั้นการทดลองจะใช้ที่ 400 ppm เนื่องจากจะให้เห็นแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดที่ชัดเจน

4.2 ผลการทดลองการบำบัดด้วยขุยมะพร้าว

4.2.1 ลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าว



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าวที่กำลังขยาย 100 เท่า

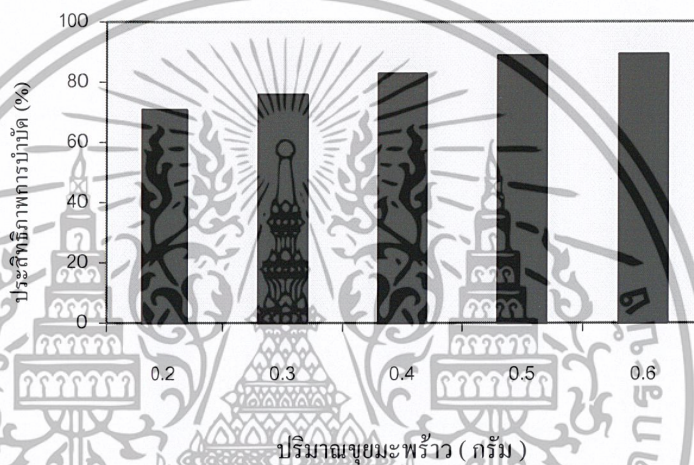


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของขุยมะพร้าวที่กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของปริมาณขุยมะพร้าวที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm ซึ่งในการทดลองเราจะทำการชั่งขุยมะพร้าวตามจำนวนที่กำหนดไว้คือ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 g แล้วจึงทำการเติมสารละลาย MTBE หลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมงซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.7

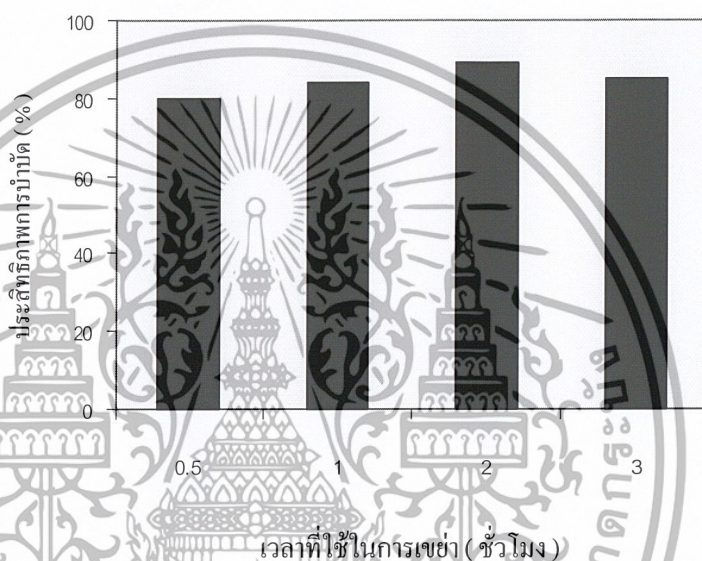


รูปที่ 4.7 แสดงผลของปริมาณขุยมะพร้าวที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากรูปที่ 4.7 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm โดยการเปลี่ยนปริมาณขุยมะพร้าวตามที่กำหนดไว้คือ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 g ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดคือ 70.73, 75.71, 82.74, 88.75 และ 89.21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของขุยมะพร้าวที่ใช้และที่ปริมาณขุยมะพร้าวเท่ากับ 0.5 และ 0.6 g ให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดที่สูงและใกล้เคียงกันจึงเลือกใช้ปริมาณขุยมะพร้าวที่ 0.5 g

4.2.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการเขย่าที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm ซึ่งในการทดลองจะใส่ขุยมะพร้าวตามจำนวนที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.2.2 คือ 0.5 g แล้วจึงทำการเติมสารละลาย MTBE หลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาทีตามเวลาที่กำหนดไว้คือ 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมงซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.8

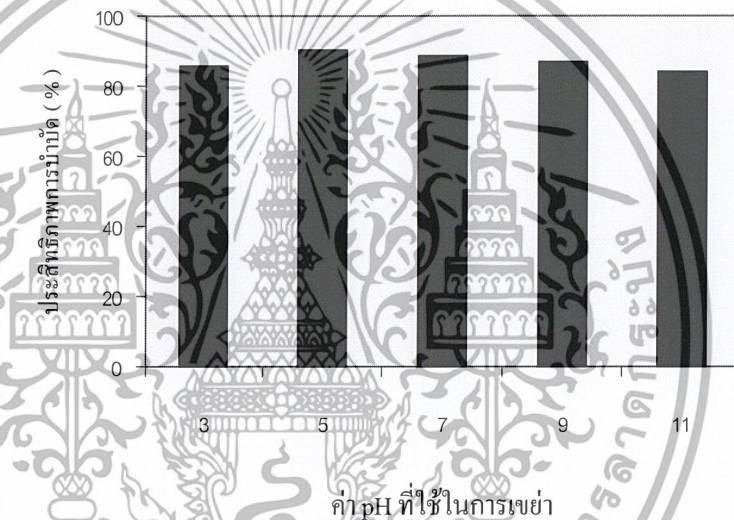


รูปที่ 4.8 แสดงผลเวลาที่ใช้ในการเขย่าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากรูปที่ 4.8 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm โดยการเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการเขย่าตามที่กำหนดไว้คือ 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดคือ 79.85, 83.80, 89.05 และ 85.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการเขย่า และที่เวลา 2 ชั่วโมงจะให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดที่ดีที่สุดจึงเลือกใช้เวลาในการเขย่าที่ 2 ชั่วโมงในการทดลองต่อไปและที่เวลาเขย่าที่ 3 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงเนื่องจากการคายตัวของ MTBE ออกจากขุยมะพร้าว

4.2.4 ผลของค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการทดลองในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm ซึ่งในการทดลองจะใส่ขุยมะพร้าวตามจำนวนที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.2.2 คือ 0.5 g แล้วจึงทำการเติมสารละลาย MTBE หลังจากนั้นจะทำตามปรับพีเอชตามที่ได้กำหนดไว้คือ 3, 5, 7, 9 และ 11 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาทีตามเวลาที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.2.3 คือ 2 ชั่วโมงซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.9

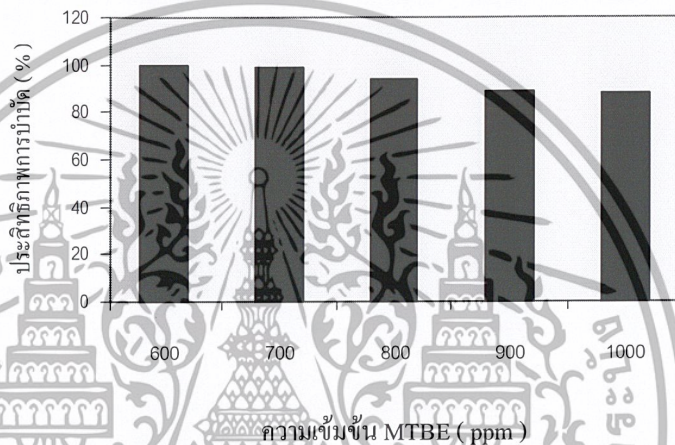


รูปที่ 4.9 แสดงผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากรูปที่ 4.9 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm โดยการเปลี่ยนค่าพีเอชที่ใช้ตามที่กำหนดไว้คือ 3, 5, 7, 9 และ 11 ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดคือ 85.53, 90.50, 88.37, 86.92 และ 83.90 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าพีเอชที่ 5 จะให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดที่ดีที่สุด เพราะว่าช่วงพีเอชที่เป็นกรดและเบสแก่ขุยมะพร้าวจะถูกทำลายจึงทำให้มีการดูดซับได้น้อยลง และในการทดลองหลังจากเติมสารละลาย MTBE ลงไปกับขุยมะพร้าวแล้วพีเอชจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 จึงไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชอีก

4.2.5 ผลของความเข้มข้น MTBE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ในการทดลองจะใส่ยูเมะพร้าวตามจำนวนที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.2.2 คือ 0.5 g แล้วจึงเติมสารละลาย MTBE เข้มข้นตามที่ได้กำหนดไว้คือที่ 600, 700, 800, 900 และที่ 1000 ppm นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาทีตามเวลาที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.2.3 คือ 2 ชั่วโมงซึ่งผลของการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.10



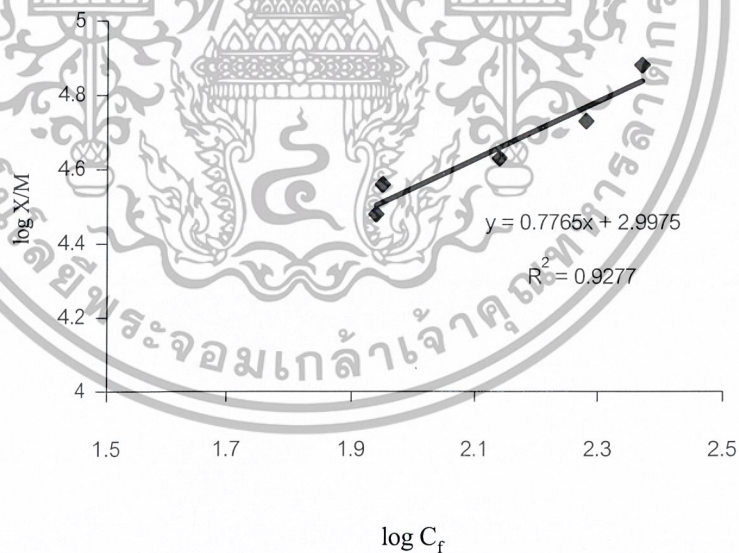
รูปที่ 4.10 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากรูปที่ 4.10 จะแสดงให้เห็นถึงผลของความเข้มข้น MTBE ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งความเข้มข้น MTBE ที่ได้กำหนดไว้คือที่ 600, 700, 800, 900 และที่ 1000 ppm ซึ่งผลของประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้คือ 100.00, 99.22, 93.52, 88.67 และ 88.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของ MTBE ต่ำๆ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงเพราะมีปริมาณ MTBE น้อยและจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ MTBE เพิ่มขึ้น ดังนั้นการทดลองจะใช้ที่ 1000 ppm เนื่องจากจะให้เห็นแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดที่ชัดเจน

4.2.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ตาราง 4.1 แสดงการดูดซับ MTBE และ Freundlich Isotherm ของปริมาณขุยมะพร้าวที่ใช้

ความเข้มข้น เริ่มต้น, C_i (mg/L)	น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)	ปริมาตร เริ่มต้น (ml)	ความเข้มข้น สุดท้าย, C_f (mg/L)	$X=(C_i-C_f)V$	X/M	Log X/M	Log C_f
1000	0.2	20	234.2888	15314.22	76571.10	4.88	2.37
1000	0.3	20	192.6731	16146.54	53821.80	4.73	2.28
1000	0.4	20	138.4521	17230.96	43077.40	4.63	2.14
1000	0.5	20	89.0663	18218.67	36437.34	4.56	1.95
1000	0.6	20	86.7226	18265.55	30442.58	4.48	1.94



รูปที่ 4.11 แสดง Freundlich Isotherm ของปริมาณขุยมะพร้าวที่ใช้

จากสมการของ Freundlich Isotherm

$$X/M = KC_f^{1/n} \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ X = น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับ
 M = น้ำหนักของตัวดูดซับ
 C_f = ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลายที่สภาวะสมดุล
 K และ n = ค่าคงที่
 ใส่ค่า \log ในสมการ 4.1

$$\log X/M = 1/n \log C_f + \log K \quad \text{-----(4.2)}$$

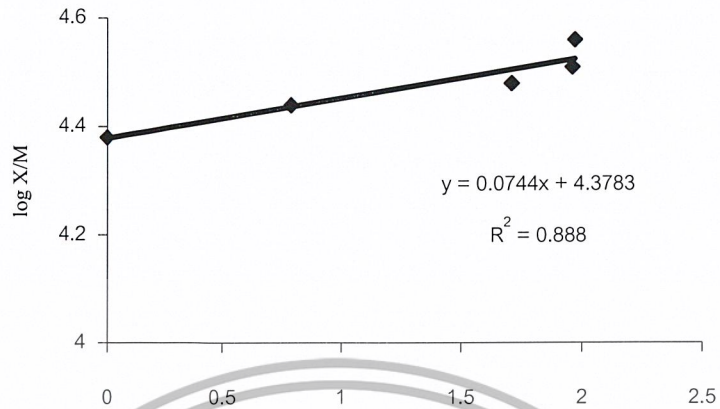
จากรูปที่ 4.11 จะได้ $\log X/M = 0.7765 \log C_f + 2.9975$

โดยที่ $\log K = 2.9975$ และ $1/n = 0.7765$, $K = 994.26$

ตาราง 4.2 แสดงการดูดซับ MTBE และ Freundlich Isotherm ของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้น

ความเข้มข้น เริ่มต้น, C_i (mg/L)	น้ำหนักขุ มะพร้าว (g)	ปริมาตร เริ่มต้น (ml)	ความเข้มข้น สุดท้าย, C_f (mg/L)	$X = (C_i - C_f)V$	X/M	Log X/M	Log C_f
600	0.5	20	0	12000.00	24000.00	4.38	0
700	0.5	20	6.1696	13876.61	27753.22	4.44	0.79
800	0.5	20	51.0504	14978.99	29957.98	4.48	1.71
900	0.5	20	90.8111	16183.78	32367.56	4.51	1.96
1000	0.5	20	93.2221	18135.56	36271.12	4.56	1.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดง Freundlich Isotherm ของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้น

จากรูปที่ 4.12 จะได้ $\log X/M = 0.0744 \log C_f + 4.3783$

โดยที่ $\log K = 4.3783$ และ $1/n = 0.0744$, $K = 23894.61$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE ที่เข้มข้น 1000 ppm ด้วยกระบวนการออกซิเดชันโดยใช้สารเคมี Fenton's Reagent โดยในแต่ละพารามิเตอร์จะแสดงผลดังนี้

1. จากการทดลองความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมคือ 0.32 %v/v ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 73.81 %
2. จากการทดลองความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 120 mg/l ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 77.14 %
3. ในการทดลองเราจะใช้เวลาในการป้อนจนเท่ากับ 30 นาทีซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 78.91 %
4. ในการทดลองเราสามารถหาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของ MTBE ได้คือที่ 240 ppm ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดถึง 100 % แต่ในการทดลองเราเลือกใช้ที่ 400 ppm ซึ่งจะทำให้สามารถเห็นแนวโน้มในการบำบัดได้ชัดเจน

5.1.2 จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย MTBE ที่เข้มข้น 1000 ppm ด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ขุยมะพร้าว โดยในแต่ละพารามิเตอร์จะแสดงผลดังนี้

1. ในการทดลองเราจะใช้ปริมาณขุยมะพร้าวเท่ากับ 0.5 กรัมซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 88.75 %
2. ในการทดลองเราจะใช้เวลาในการเขย่าเท่ากับ 2 ชั่วโมงซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 89.05 %
3. ในการทดลองเราจะใช้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ 90.50 %
4. ในการทดลองเราสามารถหาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของ MTBE ได้คือที่ 600 ppm ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดถึง 100 % แต่ในการทดลองเราเลือกใช้ที่ 1000 ppm ซึ่งจะทำให้สามารถเห็นแนวโน้มในการบำบัดได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองทั้ง 2 วิธีคือทั้งการใช้ Fenton' s Reagent และการใช้ขุยมะพร้าวในการดูดซับ MTBE นั้น ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 วิธีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี แต่ควรเลือกใช้ขุยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางธรรมชาติและมีอยู่อย่างมากมายมาใช้ให้เกิดประโยชน์และจะได้ไม่สิ้นเปลืองในการที่จะต้องซื้อสารเคมีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน โดยมีการเก็บตัวอย่างจริงมาวิเคราะห์และบำบัด เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัด
2. ควรมีการเอาน้ำเสียประเภทอื่นมาใช้ทดลองกับเทคนิคทั้งสองนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ, มิตรนราการพิมพ์. 264-269.
- คณิตา ตั้งคณานุกรณ์. 2542 เทคนิคการแยกสารทางเคมี. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปวีณา ณะสังข์. 2539. การกำจัดสีจากน้ำทิ้งฟอกย้อมสิ่งทอ โดยวิธีการออกซิเดชัน-รีดักชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม. กรุงเทพฯ, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 70-71.
- An ,Y., Kampbell, D.H., Sewell, G.W.,2002. Water Quality at Five Marinas in Lake Texoma as Related to Methyl *tert*-Butyl Ether (MTBE). **Environmental Pollution**. 118: 331-336.
- Bradley, P.M., Landmeyer, J.E., and Chapelle, F.H.,1999. Aerobic Mineralization of MTBE and *tert*-Butyl Alcohol by Stream-Bed Sediment Microorganisms. **Environ. Sci. Technol.** 33: 1877-1879.
- Flaherty, K.A., Huang.C.P., 1992. Continuous Flow Application of Fenton's Reagent for the Treatment of Refractory Wastewaters. **Chemical Oxidation: Technology for the Nineties**. 2: 58-77.
- Halden, R.U., Halden, Happel, A.M., and Schoen, S.R., 2001. Evaluation of Standard Methods of the Analysis of Methyl *tert*-Butyl Ether and Related Oxygenates in Gasoline-Contaminated Groundwater. **Environ. Sci. Technol.** 35: 1469-1474.
- <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts91.html>
- <http://www.h2o2.com/applications/industrailwastewater/fentonsreagent.html>
- Karpel Vel Leitner, N., 1994. Oxidation of Methyl *tert*-Butyl Ether (MTBE) by Ozone and Combined Ozone/Hydrogen Peroxide. **Ozone Sci. & Engrg.**, 16.41.
- Kuo ,W.G., 1992. Decolorizing Dye Wastewater with Fenton's Reagent. **Wat. Res.** Vol.26, No. 7: 881-886.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Landmeyer, J.E., Chapelle, F.H., Herlong, H.H., and Bradley, P.M., 2001. Methyl *tert*-Butyl Ether Biodegradation by Indigenous Aquifer Microorganisms under Natural and Artificial Oxidic Conditions. **Environ. Sci. Technol.** 35:1118-1126.
- Lince, D.P., Wilson, L.R., Carlson, G.A., and Anthony Bucciferro, 2001. Effects of Gasoline Formulation on Methyl *tert*-Butyl Ether (MTBE) Contamination in Private Wells near Gasoline Stations. **Environ. Sci. Technol.** 35: 1050-1053.
- Yang, M., Hu, J. and Ito, K., 1998. Characteristics of $Fe^{2+}/H_2O_2/UV$ Oxidation Process. **Environmental Technology**. Vol 19: 183-191.
- Nyer, E.K., 1992. **Groundwater Treatment Technology**. 2 nd.ed. van Nostrand Reinhold. New York: 129-214.
- Reuter, J.E., Allen B.C., Richards, R.C., Pankow, J.F., Goldman, C.R., Scholl, R.L., and Seyfried, J.S., 1998. Concentrations, Sources, and Fate of the Gasoline Oxygenate Methyl *tert*-Butyl Ether (MTBE) in a Multiple-Use Lake. **Environ.Sci.Technol.**32: 3666-3672.
- Rodrigues, R., 1997. Methyl tertiary-Butyl Ether (MTBE) in Groundwater and the Impact on City of Santa Monica Drinking Water Supplies. **Presented at 1997 MTBE Workshop on Clean Water vs. Clean Air, Assn. Of Calif. Water Agencies**, Onterio, Calif.
- Sun, Y. and Pignatello, J.J., 1993. Photochemical Reactions Involved in the Total Mineralization of 2,4-D by $Fe^{3+}/H_2O_2/UV$. **Environ. Sci. Technol.** 27: 304-310.
- Wagler, J.L. and Malley, J.P.Jr., 1994. The Removal of Methyl *tert*-Butyl Ether from a Model Groundwater Using UV/Peroxide Oxidation. **Jour. NEWWA**, 108:3:236.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลาย MTBE เข้มข้น 1000 ppm

ปิเปตสารละลาย MTBE เข้มข้นจำนวน 675 ไมโครลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้น เข้มข้น 1 mg/ml

ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟตจำนวน 0.1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร

1. การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 %

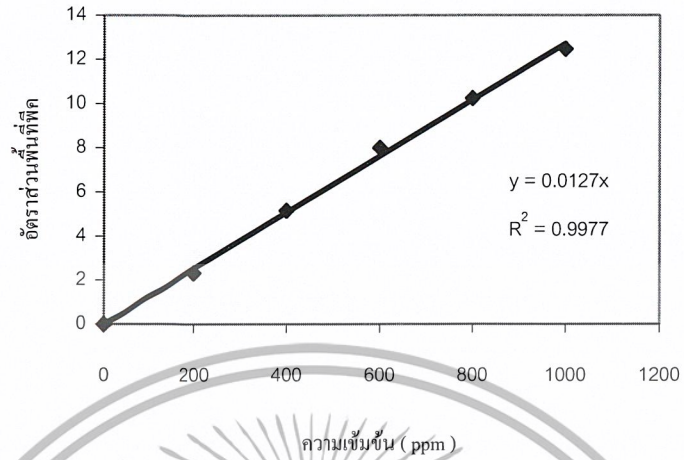
ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30 % มาจำนวน 3.33 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ภาคผนวก ข
กราฟมาตรฐานของ MTBE

ตาราง ข-1 แสดงผลของกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของ MTBE (ppm)	จำนวนครั้งใน การทำงาน ทดลอง	พื้นที่พีค		อัตราส่วนพื้นที่ พีค MTBE ต่อ internal standard
		MTBE	Internal standard	
200	1	10242	4291	2.386856
	2	9098	3857	2.358828
	3	5955	2668	2.232009
	เฉลี่ย			2.325898
400	1	20013	3764	5.31695
	2	20839	4101	5.081444
	3	19528	3844	5.080125
	เฉลี่ย			5.159506
600	1	31637	3836	8.247393
	2	32581	4118	7.91185
	3	31812	4055	7.845129
	เฉลี่ย			8.001458
800	1	48801	4783	10.20301
	2	51693	5017	10.30357
	3	43120	4214	10.23256
	เฉลี่ย			10.24638
1000	1	54123	4361	12.41069
	2	58249	4681	12.44371
	3	49537	3946	12.55373
	เฉลี่ย			12.46937

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข - 1 แสดงกราฟมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณและข้อมูลผลการวิจัย

แสดงการคำนวณหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายตัวอย่าง

$$C_H = \frac{C_{H0} \times V_H}{V}$$

เมื่อ C_H คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายตัวอย่าง (% v/v)

C_{H0} คือ ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (%)

V คือ ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด (ml)

V_H คือ ปริมาตรของสารละลายสต็อกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ (ml)

แสดงการคำนวณหาความเข้มข้นของเฟอร์ริซัลเฟตในสารละลายตัวอย่าง

$$C_F = \frac{C_{F0} \times V_F}{V} \times 1000$$

เมื่อ C_F คือ ความเข้มข้นของเฟอร์ริซัลเฟตในสารละลายตัวอย่าง (mg/l)

C_{F0} คือ ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกเฟอร์ริซัลเฟต (mg/ml)

V คือ ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด (ml)

V_F คือ ปริมาตรของสารละลายสต็อกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ (ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการคำนวณหาความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นในสารละลายตัวอย่าง

$$C_M = \frac{C_{M0} \times V_M}{V}$$

- เมื่อ C_M คือ ความเข้มข้นของ MTBE ในสารละลายตัวอย่าง (ppm)
 C_{M0} คือ ความเข้มข้นของสารละลายสต็อก MTBE (ppm)
 V คือ ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด (ml)
 V_M คือ ปริมาตรของสารละลาย MTBE ที่ใช้ (ml)

แสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัด

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{C_B - C_R}{C_B} \times 100$$

- เมื่อ C_B คือ ความเข้มข้นของ MTBE ในสารละลายชุดควบคุม (ppm)
 C_R คือ ความเข้มข้นของสารละลาย MTBE ที่เหลือจากการบำบัด (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค - 1 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ความเข้มข้น ของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (% v/v)	จำนวนครั้ง ในการทำการ ทดลอง	พื้นที่พิด		อัตราส่วนพื้นที่ ที่พิด MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
0.28	1	6208	4023	1.543127	121.5061	368.6346	67.04
	2	4990	3292	1.515796	119.3540	368.6346	67.62
	3	6028	4038	1.492818	117.5447	368.6346	68.11
	เฉลี่ย						67.59
0.30	1	5281	3925	1.345478	105.9431	368.6346	71.26
	2	5709	4128	1.382994	108.8972	368.6346	70.46
	3	5001	3743	1.336094	105.2043	368.6346	70.56
	เฉลี่ย						70.76
0.32	1	6991	5585	1.251746	98.5627	368.6346	73.26
	2	5763	4725	1.219683	96.0380	368.6346	73.97
	3	6978	5506	1.208079	95.1243	368.6346	74.20
	เฉลี่ย						73.81
0.34	1	6564	5402	1.215106	95.6776	368.6346	74.05
	2	6729	5570	1.216936	95.2188	368.6346	74.01
	3	7351	5938	1.237959	97.4771	368.6346	73.56
	เฉลี่ย						73.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก - 2 แสดงปริมาณ เฟอร์รัสซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ความเข้มข้น ของเฟอร์รัส ซัลเฟต (mg/l)	จำนวนครั้ง ในการทำการ ทดลอง	พื้นที่ที่พื้ค		อัตราส่วนพื้นที่ ที่พื้ค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
80	1	5843	4004	1.459291	114.9048	368.6346	68.83
	2	5838	4026	1.450075	114.1791	368.6346	69.03
	3	7331	4899	1.496428	117.8290	368.6346	68.04
	เฉลี่ย						68.63
100	1	6395	5255	1.310986	103.2273	368.6346	72.00
	2	6081	4592	1.32426	104.2724	368.6346	71.71
	3	6412	4900	1.308571	103.0371	368.6346	72.50
	เฉลี่ย						71.92
120	1	2379	2260	1.052655	82.8862	368.6346	77.52
	2	5057	4602	1.098870	86.5252	368.6346	76.53
	3	6299	5948	1.059011	83.3867	368.6346	77.38
	เฉลี่ย						77.14
140	1	6553	6253	1.047977	82.5179	368.6346	77.61
	2	5647	5402	1.045354	82.3113	368.6346	77.67
	3	6160	5928	1.039136	81.8218	368.6346	77.80
	เฉลี่ย						77.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก - 3 แสดงผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนครั้ง ในการทำการ ทดลอง	พื้นที่ที่พืค		อัตราส่วนพื้นที่ ที่พืค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
10	1	5145	3214	1.600809	126.0479	394.5147	68.25
	2	6078	3640	1.66978	131.4788	394.5147	66.67
	3	7256	4546	1.596128	125.6794	394.5147	68.14
	เฉลี่ย						67.62
20	1	5337	3814	1.399318	110.1825	383.1185	71.24
	2	6253	4549	1.374588	108.2353	383.1185	71.75
	3	6463	4587	1.408982	110.9435	383.1185	71.26
	เฉลี่ย						71.42
30	1	5388	5402	0.997408	78.5361	370.2464	78.79
	2	6326	6349	0.996377	78.4549	370.2464	78.81
	3	5547	5651	0.981596	77.2910	370.2464	79.12
	เฉลี่ย						78.91
40	1	6225	6345	0.981087	77.2510	364.7132	78.81
	2	6119	6314	0.969116	76.3084	364.7132	79.08
	3	5533	5515	1.003264	78.9972	364.7132	78.34
	เฉลี่ย						78.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก - 4 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ความเข้มข้น MTBE เริ่ม ต้น (ppm)	จำนวนครั้ง ในการทำการ ทดลอง	พื้นที่พืค		อัตราส่วนพื้นที่ ที่พืค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
240	1	0	3574	0	0	208.9784	100
	2	0	4018	0	0	208.9784	100
	3	0	3922	0	0	208.9784	100
	เฉลี่ย						100
280	1	0	4139	0	0	257.3878	100
	2	0	3944	0	0	257.3878	100
	3	0	3821	0	0	257.3878	100
	เฉลี่ย						100
320	1	12	3882	0.003091	0.243401	296.6441	99.92
	2	57	4212	0.013533	1.065572	296.6441	99.64
	3	36	4035	0.008922	0.702514	296.6441	99.76
	เฉลี่ย						99.77
360	1	2651	4417	0.600181	47.25836	332.1402	85.85
	2	2213	3862	0.573019	45.11962	332.1402	86.42
	3	2368	4103	0.577139	45.44399	332.1402	86.32
	เฉลี่ย						86.20
400	1	5755	5001	1.15077	90.6118	367.0218	75.31
	2	5181	4557	1.136932	89.52222	367.0218	75.61
	3	6170	5272	1.170334	92.15227	367.0218	74.89
	เฉลี่ย						75.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก - 5 แสดงปริมาณขุยมะพร้าวที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ปริมาณขุยมะพร้าวที่ใช้ (กรัม)	จำนวนครั้งในการทำการทดลอง	พื้นที่ที่พืค		อัตราส่วนพื้นที่ที่พืค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
0.2	1	8231	2790	2.950179	232.2967	800.5462	70.98
	2	8532	2851	2.992634	235.6405	800.5462	70.57
	3	7095	2378	2.983600	234.9291	800.5462	70.65
	เฉลี่ย						70.73
0.3	1	5606	2290	2.448035	192.7587	793.3654	75.70
	2	6908	2892	2.388658	188.0833	793.3654	76.27
	3	7237	2890	2.504152	197.1773	793.3654	75.15
	เฉลี่ย						75.71
0.4	1	6733	3770	1.785942	140.6253	802.1146	82.47
	2	7230	4279	1.689647	133.0431	802.1146	83.41
	3	5691	3164	1.798673	141.6278	802.1146	82.34
	เฉลี่ย						82.74
0.5	1	7034	5767	1.219698	96.0392	791.7720	87.87
	2	7455	6849	1.088480	85.7071	791.7720	89.18
	3	5996	5525	1.085249	85.4527	791.7720	89.21
	เฉลี่ย						88.75
0.6	1	6399	5291	1.209413	95.2293	804.1287	88.16
	2	6414	6269	1.023130	80.5614	804.1287	89.98
	3	7230	6747	1.071587	84.3770	804.1287	89.51
	เฉลี่ย						89.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก - 6 แสดงผลเวลาที่ใช้ในการเขย่าที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

เวลาที่ใช้ในการ การ เขย่า (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งใน การทำงาน ทดลอง	พื้นที่ที่พืค		อัตราส่วนพื้นที่ พืค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่ เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
0.5	1	7591	3967	1.913537	150.6722	813.2859	81.47
	2	8241	3612	2.281561	179.6505	813.2859	77.91
	3	7476	3650	2.004219	161.2771	813.2859	80.17
	เฉลี่ย						79.85
1.0	1	6297	4005	1.572285	123.8019	804.3856	84.61
	2	6485	3869	1.676144	131.9798	804.3856	83.59
	3	8094	4719	1.715194	135.0546	804.3856	83.21
	เฉลี่ย						83.80
2.0	1	7295	6484	1.125077	88.5888	787.3175	88.75
	2	5686	5327	1.067393	84.0467	787.3175	89.32
	3	7961	7283	1.093094	86.0704	787.3175	89.07
	เฉลี่ย						89.05
3.0	1	6316	4360	1.448624	114.0649	763.6083	85.06
	2	6642	4606	1.442032	113.5458	763.6083	85.13
	3	6925	4807	1.440607	113.4337	763.6083	85.15
	เฉลี่ย						85.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค - 7 แสดงค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

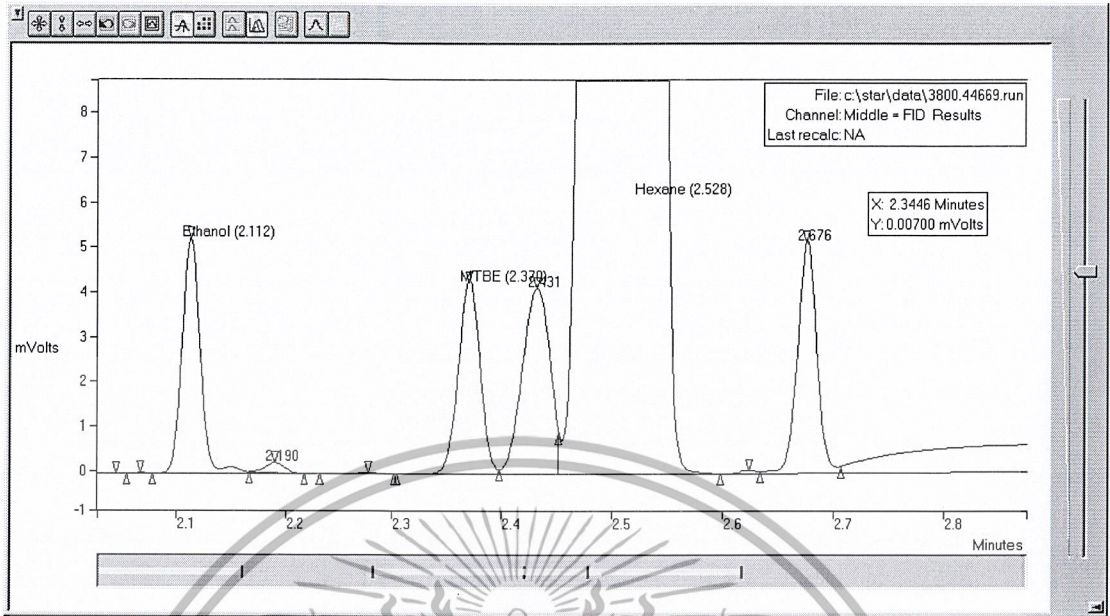
ค่า pH ที่ใช้ ในการเขย่า	จำนวนครั้งใน การทำงาน ทดลอง	พื้นที่พืค		อัตราส่วนพื้นที่ พืค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
pH3	1	6575	4448	1.478192	116.3931	811.4056	85.66
	2	6188	4136	1.496132	117.8056	811.4056	85.48
	3	5659	3773	1.499867	118.0998	811.4056	85.45
	เฉลี่ย						85.53
pH5	1	5750	5967	0.963633	75.8766	817.8493	90.72
	2	7468	7368	1.013572	79.8088	817.8493	90.24
	3	5866	5978	0.981265	77.2649	817.8493	90.55
	เฉลี่ย						90.50
pH7	1	5873	5294	1.109369	87.3519	780.8087	88.81
	2	6099	5398	1.129863	88.9656	780.8087	88.61
	3	6956	5709	1.218427	95.9391	780.8087	87.71
	เฉลี่ย						88.37
pH9	1	5957	4668	1.276135	100.4831	783.0590	87.17
	2	6334	4932	1.284266	101.1233	783.0590	87.09
	3	5983	4456	1.342684	105.7232	783.0590	86.50
	เฉลี่ย						86.92
pH11	1	6941	4302	1.613436	127.0422	792.8823	83.98
	2	5904	3698	1.596539	125.7117	792.8823	84.15
	3	5960	3602	1.654636	130.2863	792.8823	83.57
	เฉลี่ย						83.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก - 8 แสดงผลของความเข้มข้น MTBE เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ความเข้มข้น MTBE เริ่ม ต้น (ppm)	จำนวนครั้ง ในการทำการ ทดลอง	พื้นที่พืค		อัตราส่วนพื้นที่ พืค MTBE ต่อ internal standard	ความเข้มข้น MTBE ที่เหลือ (ppm)	ค่าความเข้มข้น MTBE ที่ได้จาก blank (ppm)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		MTBE	Internal standard				
600	1	0	3976	0	0	791.1016	100
	2	0	4201	0	0	791.1016	100
	3	0	3782	0	0	791.1016	100
	เฉลี่ย						100
700	1	486	5119	0.094940	7.4756	796.1544	99.06
	2	297	4416	0.067255	5.2957	796.1544	99.33
	3	355	4872	0.072865	5.7374	796.1544	99.28
	เฉลี่ย						99.22
800	1	2879	4487	0.641631	50.5222	787.9441	93.59
	2	3287	5010	0.656088	51.6605	787.9441	93.44
	3	3331	5146	0.647299	50.9684	787.9441	93.53
	เฉลี่ย						93.52
900	1	7724	6336	1.219066	95.9894	801.5217	88.02
	2	5878	5377	1.093175	86.0767	801.5217	89.26
	3	6956	6061	1.147665	90.3673	801.5217	88.73
	เฉลี่ย						88.67
1000	1	6720	5693	1.180397	92.9446	794.3112	88.30
	2	6800	5415	1.255771	98.8796	794.3112	87.55
	3	6003	5403	1.111049	87.8421	794.3112	88.94
	เฉลี่ย						88.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑ - 1 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

แก๊สโครมาโทกราฟี

(Gas Chromatography)

แก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกและวิเคราะห์สารผสมที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย (volatile compound) เมื่อสารผสมที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายถูกผ่านเข้าไปในคอลัมน์ที่มีตัวแยกเป็นเฟสที่อยู่กับที่ สารผสมดังกล่าวจะถูกแก๊สที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ชะออกจากคอลัมน์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของสารผสมจะถูกแยกออกจากคอลัมน์ด้วยเวลาที่ต่างกัน อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารผสมในระหว่างเฟสทั้งสองที่แตกต่างกัน (ค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงต่างกัน) ทำให้เวลาการคงไว้ก็ต่างกันด้วย แก๊สจึงเป็นตัวกลางสำคัญในการแยกสารผสม การกระจายของสารผสมในภาวะสมดุลระหว่างสองเฟส (distribution equilibria) จะขึ้นอยู่กับความดันไอขององค์ประกอบของสารผสม และความสามารถในการถูกดูดซึมของเฟสที่อยู่กับที่ ดังนั้นการแยกสารผสมด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับจุดเดือดที่ต่างกันของสารผสม มวลโมเลกุลและสูตรโครงสร้างที่ต่างกันของสารผสม การที่จะเลือกใช้สารใดเป็นเฟสอยู่กับที่จึงต้องพิจารณาโครงสร้างของสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ให้มีความใกล้เคียงกับเฟสอยู่กับที่ เมื่อสารกลายเป็นไอได้ โดยสารที่มีจุดเดือดต่ำจะหลุดออกจากคอลัมน์ก่อนสารที่มีจุดเดือดสูง การแยกสารที่มีความซับซ้อนมาก ๆ (very complex mixtures) จะทำให้ได้พีคโครมาโทแกรมที่มีความกว้างมาก ๆ อันเนื่องมาจากการบรรจุเฟสอยู่กับที่ภายในคอลัมน์ การแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนาคอลัมน์ชนิดใหม่ขึ้นมา เรียกว่า ฝักรูปหลอดคอลัมน์ หรือ คอลัมน์ที่เป็นท่อเปิด (capillary columns or open tubular columns) เพื่อแยกสารผสมดังกล่าว โดยทั่ว ๆ ไปคอลัมน์สามารถจะถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ปัญหาที่เกิดจากการใช้คอลัมน์ที่อุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอตลอดเวลาคือ เมื่อสารผสมหลายชนิดที่มีจุดแตกต่างกันมากจะต้องใช้เวลานานในการแยก และถ้าสารผสมมีจุดเดือดไม่แตกต่างกันมากนักก็จะไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เพราะว่าเวลาที่มีผลต่อเวลาการคงไว้ จึงเป็นการยากที่จะกำหนดสภาวะหรืออุณหภูมิของคอลัมน์ให้เหมาะสมได้ (คณิตา, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลมไอออนไนเซชัน ดีเทคเตอร์ (Flame Ionization Detector = FID)

FID เป็นดีเทคเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการตรวจหาพวกสารประกอบอินทรีย์

ลักษณะของ FID แสดงดังรูป แก๊สไฮโดรเจนจะถูกจุดให้ติดไฟด้วย heater ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ใกล้ ๆ กับ Flame jet ส่วนอากาศที่ผ่านเข้าไปทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ช่วยการเผาไหม้ของไฮโดรเจน และช่วยพาแก๊สที่เผาไหม้แล้วออกไป แก๊สพาและสารตัวอย่างที่ออกมาจากคอลัมน์จะเข้าสู่เปลวไฟ จะทำให้สารเหล่านั้นเกิดไอออนไนเซชันได้เป็นอิเล็กตรอนและไอออนบวก อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยัง Flame jet ไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรด สัญญาณที่เกิดขึ้น จะถูกส่งไปยังอิเล็กโทรมิเตอร์ และบันทึกสัญญาณด้วยเครื่องบันทึกได้โครมาโทแกรม FID ที่ผลิตใช้ใน GC มีลักษณะต่างๆ กัน (คณิตา, 2542)



รูปที่ ง - 1 ตัววัดสัญญาณชนิดเฟลมไอออนไนเซชัน (FID) (คณิตา, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง - 1 แสดงสารอินทรีย์ที่ไม่ดีต่อการใช้ตัววัดสัญญาณชนิดเฟลมไอออไนเซชัน (FID)

He	CS ₂	NH ₃
Ar	COS	CO
Kr	H ₂ S	CO ₂
Ne	SO ₂	H ₂ O
Xe	NO	SiCl
O ₂	N ₂ O	SiHCL ₃
N ₂	NO ₂	SiF ₄

สำหรับ flow rate ของ H₂ และอากาศที่ใช้ใน FID จะแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิตเครื่อง GC

ข้อควรปฏิบัติในการใช้ FID

เนื่องจากการเผาไหม้ใน FID จะมีไอน้ำเกิดขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำ ควรจะต้องตั้งอุณหภูมิของดีเทคเตอร์ให้สูงกว่า 100 °C โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารตัวอย่างเป็นพวกสารประกอบของคลอรีน ผลจากการเผาไหม้จะก่อให้เกิดการผุกร่อนได้ง่าย สภาพไวของดีเทคเตอร์จะเสียไปด้วย บางครั้งสารประกอบพวกนี้มีโมเลกุลใหญ่ๆ การเผาไหม้ไม่ค่อยสมบูรณ์ ทำให้เกิดเขม่าอุดตัน flame tip หรือ jet ได้จึงต้องใช้อุณหภูมิของดีเทคเตอร์ให้สูงขึ้น



รูปที่ ง - 2 เครื่อง GC ที่ใช้ในการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่อง Gas Chromatograph

Column	:	DB-5.625
Carrier Gas	:	He
Injector Temp	:	230 °C
Column Temp	:	60 °C Hold 4 min
Column Flow	:	1.0 ml/min
Detector Temp	:	230 °C

วิธีการสกัดและการเตรียมตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography

1. ทำการปิเปตสารตัวอย่างมา 10 มิลลิลิตรใส่ลงในกรวยแยก
2. ปิเปต Hexane จำนวน 10 มิลลิลิตรลงในกรวยแยกปิดฝาทำการเขย่าหลายๆ ครั้งเปิดจุดเพื่อระบายแก๊ส ตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้น
3. โขเอาส่วนของ Hexane ออกใส่ในบีกเกอร์ปิดฝาบีกเกอร์แล้วทำการสกัดอีกรอบนำ Hexane ทั้งสองส่วนที่ได้ผสมเข้าด้วยกัน
4. ปิเปต Hexane ที่ได้จากการสกัดมาจำนวน 2 มิลลิลิตรเติม Internal standard 20 ไมโครลิตรแล้วจึงนำไปตรวจวัด ในการตรวจวัดแต่ละครั้งจะฉีดตัวอย่างครั้งละ 0.2 ไมโครลิตร