ความเป็นไปได้ในการดักจับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐาน
ด้วยนาโนทิวบ์ไทเทเนียม

Feasibility of polycyclic aromatic Hydrocarbons Trap in Base Oil

By Titanium Tube

ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย

Chayaluk Wong-utai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร

มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	ความเป็นไปได้ในการดักจับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐานด้วยนาโนทิวบ์ไทเทเนียม
ชื่อ	นางสาว ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการสอบ**
.... ประธานกรรมการ (ดร.อรมาศ สุทธินุ่น)	.... ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	....กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิมป์)
.... กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์)	....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)
	....กรรมการ (ดร.อรมาศ สุทธินุ่น)
	.... กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ความเป็นไปได้ในการดักจับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐานด้วยนาโนทิวบ์ไทเทเนียม
ชื่อ	นางสาว ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ คือการศึกษานวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยาง โดยทั่วไปแล้วสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะปนเปื้อนในน้ำมันเหล่านี้ และจะถูกสกัดออกโดยใช้กรรมวิธีทางเคมี (เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์) อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ก็มีข้อเสียต่างๆ เช่น 1) ค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 2) ตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็ง 3) สิ้นเปลืองเวลา ดังนั้นวิศวกรปิโตรเคมีจึงมีการคิดค้นเทคนิคใหม่ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปราศจากสารปนเปื้อนโดยไม่มีข้อเสียใดๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้กระบวนการแอโนไดเซชันซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถสร้างพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นรูปท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร เทคนิคนี้เป็นนวัตกรรมใหม่ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมได้ ในงานวิจัยนี้จึงนำ ATR-FTIR มาใช้เพื่อตรวจหาสารตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำมัน พบห้าชนิดของหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์ ได้แก่ เบนซีน, แอลเคน, เมทิลีน, แอลกอฮอล์ และฟีนอล จากนั้นดำเนินการทดลองด้วยวิธีการทดลองแบบ batch และเมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับในแต่ละช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวไทเทเนียมรูปท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนจะสามารถดักจับสารตกค้างไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ จากนั้นผลการทดลองยังพบได้ว่าอุณหภูมิและปริมาณตัวอย่างน้ำมันจะมีบทบาทสำคัญในพฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม

Thesis	Feasibility of polycyclic aromatic Hydrocarbons Trap in Base Oil By Titanium Tube.
Author	Miss Chayaluk Wong-utai
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2011

Abstract

This study investigates the potential of innovation in nanotechnology for trapping hydrocarbons in petroleum-based oils, lubricating oil and rubber oil products. Conventionally, the majority of hydrocarbon contaminants in these oils are deliberately removed by using the chemical extraction (i.e. organic solvents). However, this technique has several disadvantages such as i) relatively high cost of using organic solvent, ii) most of organic solvent is carcinogenic, iii) consuming a lot of time. Therefore, petrochemical engineers are searching for new method to purify the oil products without any previously mentioned disadvantages. By using anodisation technique, one can create nanotube titanium surfaces. This innovative technique can be applied to the field of petrochemical engineering and environmental sciences. In this research, the Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) was employed to detect the residues of hydrocarbons in oil samples. Five species of organic functional group, namely benzene, alkanes, methylene, alcohols and phenols were successfully detected. After conducting the batch experiment and plotting the relationship between peak areas of target hydrocarbon species against time, it was observed that the nanotube titanium surfaces can considerably trap hydrocarbon residues in oil products. The experimental results reveal that both temperature and sample volume can play a major role in governing the trapping behavior of hydrocarbons in petroleum base oils.

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(3)
Abstract		(4)
กิตติกรรมประกาศ		(5)
สารบัญ		(6)
สารบัญตาราง		(10)
สารบัญรูป		(11)
คำนิยาม		(13)
บทที่1 บทนำ		1
1.1	บทนำต้นเรื่อง	1
1.2	การตรวจเอกสาร	3
	1.2.1 น้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม	3
	1.2.2 องค์ประกอบของน้ำมันพื้นฐาน	4
	1.2.3 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ผลิตจากน้ำมันพื้นฐาน	4
	1.2.3.1 น้ำมันหล่อลื่น	4
	1.2.3.1 น้ำมันยาง	8
1.3	ไทเทเนียม	9
1.4	กระบวนการแอโนไดเซชัน (Anodisation)	13
	1.4.1 หลักการพื้นฐานการแอโนไดเซชันไทเทเนียม	13
1.5	กระบวนการดูดซับ (Adsorption)	15
	1.5.1 ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption Theory)	15
	1.5.2 กลไกการดูดซับ	16
	1.5.2.1 การดูดซับทางกายภาพ	16
	1.5.2.2 การดูดซับทางเคมี	17
	1.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	17
1.6	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
1.7	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	25

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 2	วิธีการดำเนินการวิจัย	26
2.1	รูปแบบการวิจัย	26
2.2	วัสดุและอุปกรณ์	26
2.3	สารเคมี	27
2.4	น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง	27
2.5	วิธีการดำเนินการ	28
2.5.1	การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม	28
2.6	การปรับสัณฐานพื้นผิวไทเทเนียม	28
2.6.1	การกำจัดออกไซด์ที่เกิดโดยธรรมชาติ	28
2.6.2	กระบวนการปรับสัณฐานไทเทเนียมด้วยแอโนไดเซชัน	29
2.7	วิธีการเก็บตัวอย่าง	30
2.8	ศึกษาพฤติกรรมการดักจับเบื้องต้นของไทเทเนียมในน้ำมันหล่อลื่น	31
2.9	ประสิทธิภาพการดักจับสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม	31
2.9.1	เปรียบเทียบพื้นผิวไทเทเนียมที่ต่างกัน	31
2.10	ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดักจับ	32
2.10.1	ปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสม	32
2.10.2	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดักจับ	32
2.11	วิธีการตรวจสอบพื้นผิวไทเทเนียม	33
2.12	การวิเคราะห์ข้อมูล	33
2.12.1	วิธีการจำลองพฤติกรรมการดักจับ	33
2.12.2	วิธีการคำนวณประสิทธิภาพการดักจับ	34
บทที่ 3	ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	35
3.1	ผลการศึกษาความสามารถของไทเทเนียมเบื้องต้น	35
3.1.1	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและพื้นผิวไทเทเนียม	35
3.1.2	ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในน้ำมันหล่อลื่น	36
3.1.3	ผลการศึกษาพฤติกรรมการดักจับ	37
3.1.4	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับ	38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 ผลการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน 40

3.2.1 ผลการเตรียมพื้นผิวก่อนการแอโนไดเซชัน 40

3.2.2 ผลการเตรียมพื้นผิวเป็นท่อนาโน 41

3.2.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความต่างศักย์ในการแอโนไดเซชัน 43

3.3 ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบในการดักจับของไทเทเนียม 44

3.3.1 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม 44

3.3.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมหลังการดักจับในน้ำมันพื้นฐานโดยไทเทเนียมที่พื้นผิวต่างกัน 46

3.3.2.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า 47

3.3.2.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า 49

3.3.3 ผลการเปรียบเทียบพื้นผิวไทเทเนียมที่ต่างกัน 50

3.3.3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า 50

3.3.3.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า 51

3.4 ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดักจับ 51

3.4.1 ผลการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันต่อไทเทเนียม 51

3.4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดักจับ 57

บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 63

4.1 สรุปผลความสามารถไทเทเนียมเบื้องต้น 63

4.2 สรุปผลการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมเป็นท่อนาโน 63

4.3 สรุปผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดักจับ 64

4.4 ข้อเสนอแนะ 65

บรรณานุกรม 67

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก		73
ภาคผนวก ก	กราฟแสดงการดักจับสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน	73
ภาคผนวก ข	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของวัสดุดูดซับ	81
ภาคผนวก ค	ผลการทดลอง Electrochem	93
ภาคผนวก ง	การวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน	97
ประวัติผู้เขียน		98

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1-1	สมบัติต่างๆของโลหะไทเทเนียม	10
ตารางที่ 3-1	ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันในและช่วงคลื่น	46
ตารางที่ 3-2	ร้อยละการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน หลังการดักจับด้วยไทเทเนียม	57
ตารางที่ 3-3	ร้อยละการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลังการดักจับ ที่อุณหภูมิต่างกัน	62
ตารางที่ ข-1	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของการดูดซับของไทเทเนียม แมงกานีสและ เรซินในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป	82
	ตารางที่ ข-1.1 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับของไทเทเนียม	82
	ตารางที่ ข-1.2 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับของแมงกานีส	84
	ตารางที่ ข-1.3 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับของเรซิน	86
ตารางที่ ข-2	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลในการศึกษาหาปริมาตรน้ำมัน	88
	ตารางที่ ข-2.1 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลในการดูดซับหาปริมาตร น้ำมันที่ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า	88
	ตารางที่ ข-2.2 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลในการดูดซับหาปริมาตร น้ำมันที่ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า	89
ตารางที่ ข-3	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ	90
	ตารางที่ ข-3.1 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลในการดูดซับหาอุณหภูมิที่ เหมาะสมทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า	90
	ตารางที่ ข-3.2 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลในการดูดซับหาอุณหภูมิที่ เหมาะสมทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า	91
ตารางที่ ค-1	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความต่างศักย์ในการแอโนไดเซชัน	94

สารบัญรูป

		หน้า
ภาพประกอบที่ 1-1	ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันหล่อลื่น	5
ภาพประกอบที่ 1-2	กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพื้นฐาน	7
ภาพประกอบที่ 1-3	กระบวนการผลิตน้ำมันยาง	8
ภาพประกอบที่ 1-4	ชุดการแอโนไดเซชันแบบ 2 ขั้ว	14
ภาพประกอบที่ 2-1	การจุ่มแผ่นไทเทเนียมลงในสารละลายเพื่อกำจัดออกไซด์ที่ติดอยู่บนพื้นผิวไทเทเนียม	29
ภาพประกอบที่ 2-2	การปรับสัณฐานพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน (ก) เซลล์อิเล็กโตรไลต์ (ข) การต่อขั้วเพื่อแช่ในสารละลาย	30
ภาพประกอบที่ 2-3	การเก็บรักษาตัวอย่างในโถดูดความชื้น	30
ภาพประกอบที่ 3-1	โครงสร้างพื้นผิวเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ก) พื้นผิวไทเทเนียมที่กำลังขยาย 500 เท่า (ข) พื้นผิวไทเทเนียมที่กำลังขยาย 2000 เท่า	36
ภาพประกอบที่ 3-2	สเปกตรัมของการดูดซับคลื่นของ ATR-FTIR ในตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ความยาวคลื่น 2855 และ 2924 ซม$^{-1}$	37
ภาพประกอบที่ 3-3	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ใต้กราฟต่อน้ำหนักกับเวลาของแมงกานีส เรซินและไทเทเนียม	39
ภาพประกอบที่ 3-4	ลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ก) ก่อนการขัดด้วยกระดาษทราย (ข) หลังการขัดด้วยกระดาษทรายและอะลูมิน่า	40
ภาพประกอบที่ 3-5	ลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมที่ผ่านการปรับพื้นผิวด้วย0.1 M H_2SO_4 + 0.4% HF	41
ภาพประกอบที่ 3-6	แสดงลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียมที่ผ่านการปรับพื้นผิว	42
ภาพประกอบที่ 3-7	กราฟระหว่างเวลากับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดเซชัน	44
ภาพประกอบที่ 3-8	แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ ATR ของน้ำมันพื้นฐานที่ผ่านการดักจับด้วยไทเทเนียมเป็นท่อนาโน	45

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3-9	แสดงพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเพื่อเปรียบเทียบพื้นผิวที่ต่างกันที่แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า	48
ภาพประกอบที่ 3-10	แสดงพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเพื่อเปรียบเทียบพื้นผิวที่ต่างกันที่แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า	49
ภาพประกอบที่ 3-11	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาในการหาปริมาตรน้ำมัน	53
ภาพประกอบที่ 3-12	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาในการหาอิทธิพลอุณหภูมิ	59
ภาพประกอบที่ ก-1	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟและช่วงคลื่นน้ำมันหล่อลื่น	74
ภาพประกอบที่ ก-2	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟของน้ำมันหล่อลื่นที่ช่วงเวลา (ก) 6 ช.ม. (ข) 12 ช.ม. (ค) 18 ช.ม.(ง) 24 ช.ม.	75
ภาพประกอบที่ ก-3	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟและช่วงคลื่นของน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมส่วนล่างสุด	76
ภาพประกอบที่ ก-4	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการหาปริมาตรน้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า (ก) 2.5 ml (ข) 5 ml (ค) 7.5 ml (ง) 10 ml	77
ภาพประกอบที่ ก-5	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการหาปริมาตรน้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า (ก) 2.5 ml (ข) 5 ml (ค) 7.5 ml (ง) 10 ml	78
ภาพประกอบที่ ก-6	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า (ก) 40 ^{0}C (ข) 60 ^{0}C (ค) 80^{0}C	79
ภาพประกอบที่ ก-7	ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า (ก) 40 ^{0}C (ข) 60 ^{0}C (ค) 80^{0}C	80

คำนิยาม

Base Oils	น้ำมันพื้นฐานหรือน้ำมันจากปิโตรเลียมเป็นน้ำมันที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการทับถมฟอสซิลของอินทรียวัตถุในธรรมชาติ
ท่อนาโน	ลักษณะพื้นผิวที่มีฟิล์มเคลือบบนผิวซึ่งฟิล์มที่เคลือบจะประกอบด้วยโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนก่อรูปกันขึ้นมาเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโน
อนาเทส	ลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกเป็นแบบเทระโกนอล ซึ่งมีการจัดเรียงแบบปิระมิด สี่เหลี่ยมสองอันประกบกัน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ดัชนีการใช้กำลังการผลิตภาคอุตสาหกรรมโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 70 แต่ในบางอุตสาหกรรมมีการใช้กำลังการผลิตเกินร้อยละ 80 ได้แก่ ปิโตรเคมี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหลักที่ภาครัฐให้การส่งเสริมโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยางซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม ที่มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นเพื่อส่งออกทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากบริษัทข้ามชาติชั้นนำของโลก จากข้อมูลด้านการตลาดในปี 2552 พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมมีสัดส่วนการขายให้กับบริษัทต่างๆเหล่านี้มากกว่าร้อยละ 50 รวมทั้งน้ำมันยางที่เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตทั้งในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น หมึกพิมพ์และพลาสติก ตลอดไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น การผลิตยางรถยนต์และยางสังเคราะห์ เป็นต้นโดยมีการใช้น้ำมันยางประมาณร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 13 หรือ 1.2 ล้านตันต่อปี และมีแนวโน้มการใช้ในอนาคตสูงขึ้น (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2552)

น้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมเป็นน้ำมันที่มีแหล่งกำเนิดจากการทับถมของฟอสซิลของอินทรียวัตถุในธรรมชาติ โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมจะประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดที่เป็นอะลิฟาติก (aliphatic compound) และอะโรมาติก (aromatic compound) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดจะมีผลต่ออวัยวะของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่แตกต่างกัน (Michael *et al.*, 2007) เช่น สารในกลุ่มอะโรมาติกจะมีผลทำให้เกิดความผิดปกติในระบบสืบพันธุ์ได้หรือก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ต่างๆอันเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง (Hites *et al.*, 1977)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐานพบปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำมันร้อยละ 25 โดยน้ำหนักซึ่งมีค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกินค่ามาตรฐาน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการจำกัดค่าของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้อยู่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสากล (ร้อยละ3โดยน้ำหนัก) จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันก่อนส่งไปยังผู้ซื้อ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทางโรงงานส่วนใหญ่จะใช้กรรมวิธีทางเคมีในการสกัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกจากน้ำมันโดยใช้สารละลายอินทรีย์ ได้แก่

ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide) แต่สารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่มีราคาสูงและส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ เนื่องจากสารละลายอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย ซึ่งตัวทำละลายเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ใช้ นอกจากนี้สารละลายอินทรีย์บางชนิดยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย (Yong *et a*l., 2007) ดังนั้นจึงได้มีความพยายามคิดค้นนวัตกรรมสำหรับการดักจับสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเพื่อทดแทนการสกัดทางเคมีโดยใช้สารละลายอินทรีย์

จากการทบทวนเอกสารพบว่าวัสดุที่มีความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านกัมมันต์ มีความสามารถในการดักจับพีเอเอชและยาฆ่าแมลงได้ดีในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Sarah E *et al.*,2009) Hollow Fiber Membrane (HFM) มีความสามารถในการดักจับไอระเหยของสารเคมีได้ดี (Stephanie *et al*,2002) แต่วัสดุทั้งสองชนิดขาดคุณสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนและมีความแข็งแรงน้อย โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์เมื่อโดนแรงดันสูงจะทำให้ถ่านกัมมันต์แตกเช่นเดียวกับ HFM ซึ่งจะฉีกขาดได้ง่ายเมื่อโดนแรงดันสูงจึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนได้ จากเหตุผลดังกล่าวจึงพิจารณาวัสดุที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน ซึ่งมีความคาดหวังว่าน่าจะเป็นทางออกหนึ่งในการลดปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำไทเทเนียมมาใช้ในงานสิ่งแวดล้อมอย่างแพร่หลาย เช่น นำไปใช้ในการดักจับสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก เช่น สารอินทรีย์ในกลุ่มของฟีนอล ยาฆ่าแมลง สีในกลุ่ม BTEX (เบนซิน โทลูอีน เอธิลเบนซิลและไซลีน) ซึ่งมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันและสามารถใช้เป็นตัวกลางยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้ (Benabbou *et al.*, 2007) จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงคาดว่าไทเทเนียมน่าจะมีศักยภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันได้ นอกจากงานวิจัยดังกล่าวแล้วยังพบได้อีกว่าไทเทเนียมสามารถนำมาปรับพื้นผิวให้เป็นรูพรุนได้ โดยมีผลการศึกษามาแล้วว่าไทเทเนียมไดออกไซด์รูปท่อที่เตรียมจากกระบวนการแอโนไดเซชันสามารถบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศรัญญา ทองอุ่น และ อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, 2554) ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวเป็นท่อนาโนด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้งบประมาณไม่สูงและสามารถเตรียมได้ในห้องปฏิบัติการและคาดว่าจะมีศักยภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาพฤติกรรมของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป และทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมในการดักจับกับวัสดุชนิดต่างๆ ได้แก่ แมงกานีสและเรซิน ด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์เพื่อดูความสามารถในการดักจับของไทเทเนียมในเบื้องต้น จากนั้นนำไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวเป็นท่อนาโน โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นน้ำมันตั้งต้นเพื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยางและศึกษาประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวของไทเทเนียมที่แตกต่างกัน ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 น้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม

น้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม (Petroleum Base Oils) หรือน้ำมันจากปิโตรเลียมเป็นน้ำมันที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการทับถมฟอสซิลของอินทรียวัตถุในธรรมชาติ จะมีคุณสมบัติต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจนได้และสามารถทนต่ออุณหภูมิสูง จากคุณสมบัติดังกล่าว น้ำมันพื้นฐานจึงเป็นน้ำมันที่ใช้กันมากที่สุดเพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่น และเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตยางรถยนต์ เพราะหาง่าย คุณภาพดีแล้วราคายังถูกด้วย โดยกระบวนการผลิตน้ำมันพื้นฐานที่ผลิตจากน้ำมันดิบ ซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรงจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นบรรยากาศ เพื่อแยกเอาส่วนเบาที่เป็นเชื้อเพลิง (ก๊าซหุงต้ม น้ำมัน เบนซิน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล) ออกก่อนแล้วจึงถูกส่งมากลั่นต่อในหอกลั่นสุญญากาศ ส่วนของน้ำมันจะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอีก 3 ขั้นตอนคือ (ปิโตรเลียมแห่งชาติสมาคมกลั่นน้ำมัน, 1999)

1. การการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) โดยกำจัดสารที่ไม่อิ่มตัวจำพวกอะโรมาติก กำมะถัน สารประกอบไนโตรเจนด้วยตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงให้มีดัชนีความหนืดสูงขึ้น สีคงตัวดีและรวมตัวกับออกซิเจนได้ยาก

2. การเติมไฮโดรเจน (Hydrofining) เพื่อทำละลายหรือแปรรูปสารประกอบกำมะถัน ไนโตรเจน กรด และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวทำให้น้ำมันพื้นฐานมีความต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจนสูง ไม่สลายตัวง่าย ไม่เกิดยางเหนียวและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

3. การแยกไข (Dewaxing) เพื่อให้มีจุดไหลเทต่ำลงสามารถใช้งานที่สภาพอุณหภูมิต่ำๆ ได้ดี

12.2 องค์ประกอบของน้ำมันพื้นฐาน

น้ำมันที่นำมาผลิตน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยาง โดยทั่วไปแล้วสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคาร์บอนประมาณจาก 25ถึง35หรืออาจถึง 40 อะตอมโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีในน้ำมันประกอบด้วยส่วนที่เป็นโซ่ยาวที่ต่ออยู่กับสารที่เป็นระบบวงแหวนหรือส่วนกิ่งสั้น สารประกอบพวกโมโนไซโคลแอลเคนและโมโนอะโรมาติกทั่วไปแล้วกิ่งสั้นๆที่ต่ออยู่บนวงแหวน สารประกอบส่วนใหญ่เป็นพวกพาราฟิน-แนฟธีนที่ประกอบด้วยวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่พาราฟิน

สำหรับสารประกอบอะโรมาติกที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นปกติจะมีวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่ยาวของพาราฟิน โดยที่สารประกอบอะโรมาติกอาจอยู่ในรูปไบฟีนิลหรืออนุพันธ์ของไบฟีนิล ส่วนสารประกอบพวกโพลีไซคลิกอิ่มตัวนั้นอาจมีวงแหวนทั้งหมดในระบบที่รวมเป็นกลุ่มเดียวกันหรืออาจมีระบบวงแหวนสองวงหรือมากกว่า แยกกันโดยโซ่แอลคิล กล่าวโดยสรุปแล้ว สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน อาจแบ่งได้สามประเภทใหญ่ๆดังนี้ คือ

1. สารประกอบพาราฟินประเภทโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง
2. สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวพวกโพลีไซคลิกหรือชนิดที่มีวงแหวนหลอมติดกัน ซึ่งอาจเป็นวงแหวนแบบไซโคลเพนเทนหรือไซโคลเฮกเซน สารประกอบเหล่านี้รวมเรียกว่าแนฟทีน
3. สารประกอบอะโรมาติก สารประกอบในกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นวงแหวนเดี่ยวหรือหลายวง ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างวงแหวนที่ไม่อิ่มตัว

12.3 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ผลิตจากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม

1.2.3.1. น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่น เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันดิบ หรือการกลั่นแยกน้ำมันดิบในหอกลั่น ที่มีช่วงจุดเดือดระหว่าง 380-500 องศาเซลเซียสและเติมสารเพิ่มคุณภาพในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมสำหรับใช้งานหล่อลื่นแต่ละอย่าง เช่น ความหนืดโดยเยื่อบาง ๆ หรือเนื้อครีมของน้ำมันหล่อลื่นจะเคลือบอยู่ระหว่างผิวของวัสดุ 2 ชิ้น ส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนโลหะที่มีการเคลื่อนไหวผ่านไปมาทำหน้าที่ป้องกันการเสียดสีกันโดยตรง ขณะเดียวกันจะช่วยทำความสะอาดและระบายความร้อนโดยช่วยระบายความร้อนจากเครื่องยนต์ได้ถึงร้อยละ 30 สารเพิ่มคุณภาพอื่นๆ ที่มักผสมลงไปด้วยได้แก่ สารป้องกันสนิม และการกัดกร่อน เป็นต้น (Society of automotive engineer, 2551)

ภาพประกอบที่ 1-1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม

ที่มา: Society of Automotive Engineer (2551)

น้ำมันหล่อลื่น ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนคือ น้ำมันพื้นฐานและสารเพิ่มคุณภาพ โดยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะทำหน้าที่หล่อลื่นส่วนที่เคลื่อนไหวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสึกหรออันเนื่องมาจากการเสียดสีกัน ส่วนสารเติมแต่งจะช่วยปกป้องไม่ให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพจากการทำงานที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ โดยสารเติมแต่งจะมีหน้าที่ต่างๆกัน (ธำรง ไชตะมังสะ, 2521) เพื่อเหมาะกับการใช้งานนั้นๆ เช่น

- สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- สารป้องกันการสึกหล่อ
- สารเพิ่มดัชนีความหนืด
- สารลดค่าจุดไหลเท

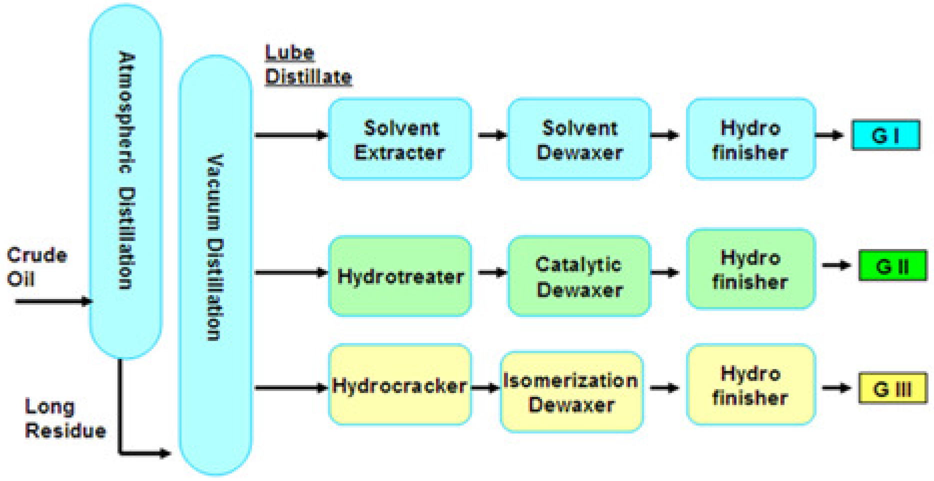
นอกจากนี้ยังมีสารเติมแต่งอีกมากมาย โดยสารเติมแต่งบางชนิดอาจจะทำหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งอย่าง สารเติมแต่งชนิดต่างๆจะถูกเติมลงในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานในปริมาณเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ผู้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นต่างๆได้พัฒนาน้ำมันหล่อลื่นของตนเองตลอดเวลาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมามีประสิทธิภาพดีที่สุด อีกทั้งมีการพัฒนาหาสารอื่นที่จะมาเป็นสารเติมแต่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของบริษัทเหล่านี้ก็มักจะไม่เปิดเผยหรือแพร่ออกไปมากนัก (โสภณ เริงสำราญและคณะ, 2539)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นผลผลิตอย่างหนึ่งที่ได้จากน้ำมันดิบหรือการกลั่นแยกน้ำมันในหอแยกน้ำมัน ส่วนเบาที่มีจุดเดือดต่ำตั้งแต่แก๊สหุงต้ม น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด จนถึงน้ำมันดีเซลจะระเหยเป็นไอแยกออกมา ส่วนหนักที่ไม่ระเหยเป็นไอที่เหลืออยู่เป็นพวกน้ำมันเตา ไข และยางแอสฟัลท์ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยผ่านกรรมวิธีการกลั่นครั้งที่สองในสุญญากาศและกรรมวิธีการขจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์อีกหลายขั้นตอน (Mortier and Orszulik, 1992) ซึ่งจะแสดงกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมไว้ในภาพประกอบที่ 1-2

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามดัชนีความหนืด ดังนี้

1. ดัชนีความหนืดสูง
2. ดัชนีความหนืดปานกลาง
3. ดัชนีความหนืดต่ำ

และแต่ละประเภทยังแบ่งออกไปตามระดับความหนืด (ต่ำ กลาง สูง) ในปัจจุบันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะมีอยู่ประมาณ 25 ชนิด ซึ่งสามารถทำเป็นน้ำมันสำเร็จรูปได้ถึง 500 เกรดแล้วแต่ชนิดคุณภาพ (Mitler, 1993) และขบวนการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สำคัญ เช่น LCT (LOW COLD TEST BASE), Extracted LCT, Paraffin and Solvent Neutral (SNO), Bringht Stoct Oil.
(Wichailak and Nopporn, 1996)



ภาพประกอบที่ 1-2 กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม
ที่มา : ปิโตรเลียมแห่งชาติสมาคมกลั่นน้ำมัน (1999)

กระบวนการผลิตย่อยของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม (Kramer *et al.*, 2001) จะประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หอกลั่นบรรยากาศ (Atmospheric distillation) หน่วยกลั่นแยกน้ำมันดิบออกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ส่วนล่างสุดที่กลั่นแยกต่อไม่ได้เรียกว่า Long residue จะเป็นวัตถุดิบส่งไปยังหน่วยต่อไป

2. หอกลั่นสุญญากาศ (Vacuum distillation) หน่วยกลั่นแยก Long residue ได้เป็น Lube distillate ที่มีความหนืดต่างกัน ส่งไปยังหน่วยกลั่นต่อไป

3. หน่วยสกัดสารอะโรมาติกด้วยตัวทำละลาย (Solvent extracter) หน่วยปรับปรุงค่าดัชนีความหนืด (Viscosity index) ของ lube distillate โดยใช้ตัวทำละลายสกัดสารอะโรมาติกออกมาตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ N-Methylpyrrolidone (NMP), Furfural หรือ Phenol

4. หน่วยแยกไขด้วยตัวทำละลาย (Solvent dewaxer) หน่วยปรับปรุงจุดไหลเทโดยใช้ตัวทำละลายแยกไขออกมา ตัวทำละลายที่นิยมใช้คือ propane และ methyl-isobuty ketone (MIBK) จะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดที่ 1

5. หน่วยกำจัดกำมะถันและฟอกสี (Hydrofinisher) หน่วยกำจัดสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ เช่น กำมะถันและไนโตรเจน

6. หน่วยปรับปรุงดัชนีความหนืด (Hydrotreater) โดยการเติมไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ มากกว่า 316 องศาเซลเซียส และมีสารเร่งปฏิกิริยา

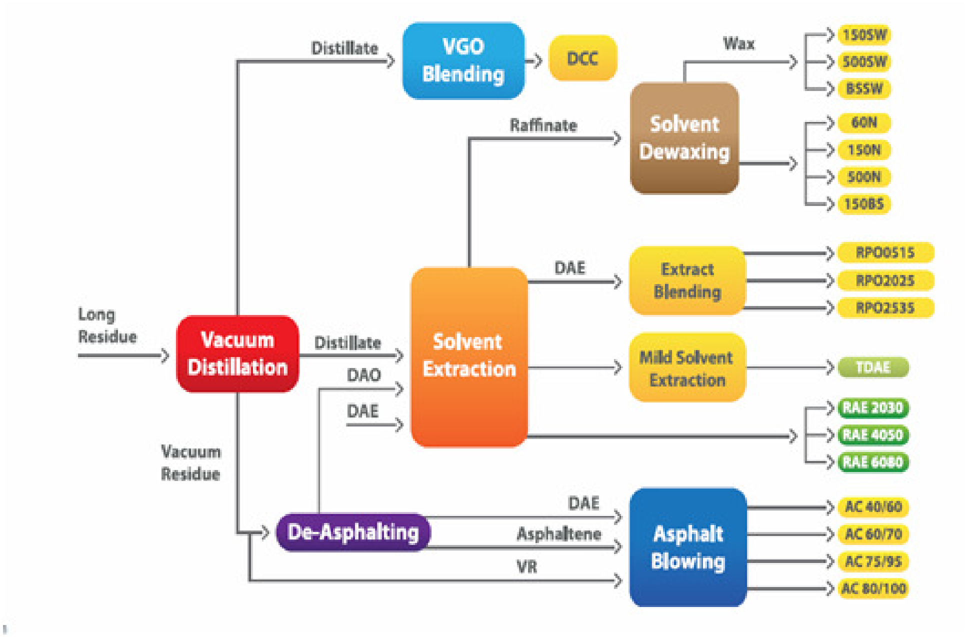
7. หน่วยแตกสลายโมเลกุล (Hydrocracker) โดยการเติมโดรเจนที่อุณหภูมิมากกว่า 343 องศาเซลเซียส และมีสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุงดัชนีความหนืด

8. หน่วยแยกไขเพื่อปรับปรุงจุดไหลเท (Catalytic dewaxer) โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาจะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดที่ 2

9. หน่วยปรับปรุงจุดไหลเท (Isomerization dewaxer) โดยการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของไข จะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดที่ 3

1.2.3.2. น้ำมันยาง

เป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม (Petroleum base oils) ที่ผ่านหอกลั่นบรรยากาศ (Atmospheric distillation) หน่วยกลั่นแยกน้ำมันดิบออกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ส่วนล่างสุดที่กลั่นแยกต่อไม่ได้เรียกว่า Long residue จะเป็นวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นน้ำมันยางซึ่งมีกระบวนการผลิต คล้ายกับกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น



ภาพประกอบที่ 1-3 กระบวนการผลิตน้ำมันยาง

ที่มา : www.Irpcpetroleum.com

1) น้ำมันยาง TDAE (Treated distillate aromatic extract)

เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันอะโรมาติกส์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตยางรถยนต์และยางสังเคราะห์ ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้ มีจุดวาบไฟ 39 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ วัดได้ร้อยละ 3.6 และค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 2.8 ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพที่ดีเนื่องจากมีค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่าค่ามาตรฐานสากล

2) น้ำมันยาง REA (Residue Aromatic Extract)

เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันอะโรมาติกส์ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตยางรถยนต์และยางสังเคราะห์ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ TDAE โดยจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เกรด ซึ่งในแต่ละเกรดจะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน จุดวาบไฟอยู่ระหว่าง 260-300 องศาเซลเซียล ปริมาณซัลเฟอร์วัดได้ระหว่างร้อยละ 2.6 ถึงร้อยละ 4.3 และมีค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของพีเอเอชอยู่ระหว่าง 1.4-3.8 พีพีเอ็ม

1.3 ไทเทเนียม (Titanium)

ไทเทเนียม (Titanium : Ti) เป็นโลหะทรานซิชันสีเงินเงาวาว ไททาเนียมสามารถนำมาใช้ในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี ไม่มีความเป็นพิษสูง ราคาไม่แพงมาก (Smith, 1998) ทนต่อการกัดกร่อน (Polmear, 1995) และคุณสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์ที่อีกหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไททาเนียมถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม (Photocatalysis) และสามารถดัดแปลงเป็นรูปทรงต่างๆได้ง่าย แต่โลหะชนิดนี้มีความเป็นไบโอแอคทีฟต่ำ (น้ำเพชร พฤกษอานัน, 2546) ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงและพัฒนาคุณสมบัติโดยการปรับสภาพพื้นผิว เพื่อให้เกิดฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิว (Kasemo and Lausmaa, 1983) หรือการจัดทำไททาเนียมไดออกไซด์ในระดับนาโนเพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำ น้ำเสีย และอากาศเสีย เป็นต้น

ตารางที่ 1-1 สมบัติต่าง ๆ ของโลหะไทเทเนียม

Property	Value
Melting point, ^{o}C	1668±5
Boiling point, ^{o}C	3,260
Density,g/cm3	
pnase at 20, ^{o}C	4.507
phase at 885, ^{o}C	4.35
Thermal conductivity at 25^{o}C,W/(m.K)	21.9
Electrical resistivity at 20^{o}C,nΩ.m	420
Magnetic susceptibility,mks	180
Modulus of elasticity,GPa	
Tension	Ca 101
Compression	103
Shear	44

หมายเหตุ Kirk and Othmer (1985)

จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงมีงานวิจัยหลายงานวิจัยพิจารณาเลือกนำเอาไทเทเนียมที่อยู่ในรูปไทเทเนียมไดออกไซด์มากำจัดมลพิษเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม จากการทบทวนเอกสารพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ เช่น มีความสามารถในการดักจับพีเอเอชในกลุ่มฟีแนนทรีน ไพรีนในน้ำผิวดิน (Hong Fei Lin *et al* .,2003) และเมทิลีน (Kim *et al*., 2004) เป็นต้น และในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไทเทเนียม ได้แก่ พื้นผิว การกระจายตัวของรูพรุน ขนาดอนุภาค (ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์, 2551) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการค้นพบว่าสามารถนำสมบัติความเป็นสารกึ่งตัวนำของไทเทเนียมไดออกไซด์ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการฉายแสงกระตุ้นเพื่อสลายสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนได้ (Kim *et al*., 2004)โดยไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะสมบัติในการสร้างอิเลคตรอนและช่องว่างอิเลคตรอนได้ดีเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลต เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์นั้น จะพบว่าสารนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่าสารกึ่งตัวนำอื่นๆ ในแง่ของความเสถียรภาพ ความคงตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ในการทำปฏิกิริยา

โฟโตคะตะไลซิส [1]โดยไม่เกิดการกัดกร่อนหรือเปลี่ยนสภาพไปหลังจากการใช้งาน จากลักษณะสมบัตินี้เองทำให้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการเป็นคะตะลิสต์[2]ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Hoffmann *et al.*, 1995) โดยเริ่มแรกมีการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นอิเล็กโทรดพร้อมกับได้มีการให้พลังงานแสงในการแยกสลายน้ำให้กลายเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน (Fujishima, 1972) ซึ่งต่อมาได้มีการนำไปใช้ในการสลายสารพิษต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น สารอะโรมาติก แอลกอฮอล์ ยาฆ่าแมลง สีย้อม สารในกลุ่มของ เบนซิน โทลูอีน เอธิลเบนซิลและไซลีน (BTEX) ซึ่งมาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีคลอรีน เช่น ไตรคลอไรเอธิลีนและคลอโรฟอร์ม เป็นต้น สารอินทรีย์ในกลุ่มโลหะหนัก รวมทั้งสามารถใช้ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี และสามารถสลายสารพิษได้หลายชนิด (Wang, 1997) โดยสามารถประยุกต์ใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีผลึก 3 แบบคือ รูไทล์ อนาเทส และบรูไคท์ ผลึกแต่ละแบบมีความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์แตกต่างกัน โดย อนาเทสมีความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์ดีกว่ารูไทล์และบรูไคน์ (Tanaka and Hisanaga, 1991) แสดงให้เห็นว่าความเป็นผลึกมีผลต่อความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อพิจารณาในแง่ของความสามารถในการดูดซับ พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสามารถในการดูดซับได้ดี เนื่องจากไททาเนียมมีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงสร้างผลึก ไททาเนียมจึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) (Fujishima, 1999) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction reactions) โดยการกระตุ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอน ความสามารถของสารกึ่งตัวนำที่จะถ่ายโอนอิเลคตรอนไปยังสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับไว้นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพลังงานของสารกึ่งตัวนำและตำแหน่งของศักย์พลังงานในการเกิดรีดอกซ์ (Redox) ของสารที่ถูกดูดซับ (Macleod, 1986) โดยปกติแล้วระดับของพลังงานที่ต่ำที่สุด จะเป็นระดับของศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยอิเลคตรอนที่ถูกกระตุ้น (Excited electron) ในทางกลับกัน ระดับของพลังงานที่สูงที่สุด (Valence band) จะเป็นระดับศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังจากที่อิเลคตรอนถูกกระตุ้นไป

---

[1] เป็นการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงคือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงไปกระตุ้นสสารให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัวไป

[2] สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาทางเคมี โดยหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว โครงสร้างจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แล้ว (ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์, 2551) เช่นเมื่อเมทิลีนบลูถูกดูดซับบนไทเทเนียมไดออกไซด์ จะทำให้เมทิลีนมีโอกาสสัมผัสกับพื้นผิวไทเทเนียมและทำปฏิกิริยากันก่อให้เกิดการสลายตัวของสารพิษออกได้ (Matthews, 1991) รวมทั้งยังมีงานวิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมร่วมกับเส้นใยกลวงเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารละลาย เมทิลีนบลูอีกด้วย (Tianzhu *et al.*, 2008)

นอกจากนี้ไทเทเนียมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ มากมายนอกเหนือจากงานด้านสิ่งแวดล้อม ดังนี้

อุตสาหกรรมเครื่องบินและยานอวกาศจะใช้โลหะผสมไทเทเนียม (Ti-6Al-4V) และIMI 500 ในส่วนของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องยนต์ไอพ่นและใช้เป็นใบจักรเครื่องยนต์ของเครื่องบินทั้งทางทหารและพลเรือนเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและต้านทานการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงได้ดี

เครื่องบินรุ่นและแบบต่าง ๆ ใช้โลหะผสมเป็นโครงและส่วนประกอบ เนื่องจากไทเทเนียมมีความความต้านแรงจำเพาะ (อัตราส่วนความต้านแรงต่อน้ำหนัก) สูงเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียมและเหล็กกล้า ทนการกัดกร่อนดีเยี่ยม สามารถทำเป็นรูปร่าง เชื่อมขึ้นรูปกลึงโดยคงความต้านแรงใกล้เคียงกับโลหะหลักทั้งหลาย นอกจากนี้ชิ้นส่วนอากาศยาน เช่น ดุมใบพัดเฮลิคอปเตอร์ โครงการสเปสชัตเทิล ระบบนำวิถีขีปนาวุธก็ใช้ไทเทเนียมเช่นกัน (เดชนา ชุตินารา, 2528)

เรือเดินทะเล กังหันเทอร์ไบน์เรือ เนื่องจากไทเทเนียมมีคุณสมบัติทนต่อการล้าที่ดีและต้านทานการกัดกร่อนได้ดีในสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น คลอรีนและน้ำทะเล (kasemo and Lausmaa, 1983) ตลอดจนไทเทเนียมสามารถช่วยลดพลังงานได้เนื่องจากไทเทเนียมมีน้ำหนักเบาจึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานยานยนต์

อุตสาหกรรมเคมี สารเคมีที่มีการกัดกร่อนสูง จำเป็นต้องใช้วัสดุโครงสร้างและส่วนสัมผัสที่มีความทนทานการกัดกร่อนดีเยี่ยม ไทเทเนียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติดังกล่าว จึงใช้ไทเทเนียมในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมทำเป็นถังบุภาชนะ วัสดุกวน อุปกรณ์รีด อุปกรณ์ลำเลียง ท่อสูบ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนสำหรับสถานีผลิตไฟฟ้า ไทเทเนียมเหมาะกับงานด้านนี้เพราะมีความต้านแรงและเหนียวเท่ากับเหล็กกล้าไร้สนิมแต่แข็งแรง ทนการกัดกร่อนได้ดีกว่าโลหะนิกเกิลผสมทองแดงหรือทองเหลือง (เดชนา ชุตินารา, 2528)

ด้านการแพทย์ เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์ฝังในร่างกายทางทันตกรรมและทางการแพทย์ต่างๆ เนื่องจากค้นพบการรวมเป็นเนื้อเดียวกันของอุปกรณ์ฝังในร่างกายที่ทำจากไทเทเนียมกับกระดูก ซึ่งในปัจจุบันก็มีอุปกรณ์ฝังในร่างกายหลายประเภท เช่น รากฟันเทียม สกรูจัดฟัน วัสดุแทนกระดูกและข้อต่อ สกรูและเพลทยึดกระดูก อุปกรณ์กระตุ้นและควบคุมการทำงานของระบบประสาท ฟิล์มออกไซด์ของไทเทเนียมได้รับการยอมรับว่า เป็นผิวที่ให้การยึดเกาะของกระดูกที่ดีและ

สามารถดัดแปลงเป็นรูปทรงต่างๆได้ง่าย มีความเป็นพิษน้อยเมื่ออยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิต (สรนาถ ไรภู, 2553)

1.4 กระบวนการแอโนไดเซชัน

การปรับปรุงพื้นผิวสามารถแบ่งวิธีการเตรียมพื้นผิวโลหะหรือโลหะผสม ออกเป็น 2 วิธี ดังนี้ 1.วิธีทางกล เช่น การเตรียมด้วยเครื่องมือกล (Machining) การกรอ (Grinding) การขัด (Polishing) และการขัดแบบพ่น (Blasting) 2.วิธีทางเคมี เช่น การเคลือบด้วยวิธีทำให้เป็นไอด้วยกระบวนการทางเคมี (Chemical vapor deposition) และกระบวนการแอโนไดเซชัน (Liu *et al.*, 2004; Vijay *et al.*, 2007)

การแอโนไดเซชันไทเทเนียมเป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการทางเคมี เนื่องจากเป็นวิธีการเตรียมที่ใช้งบประมาณไม่สูง สามารถเตรียมชุดการทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค (Microstructure) เพื่อเกิดชั้นฟิล์มออกไซด์เคลือบผิวโลหะที่ยึดติดแน่นกับพื้นผิว (Dense oxide layer) และมีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุน เนื่องจากสัณฐานของพื้นผิวจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆในการแอโนไดเซชัน ดังนี้ ค่าความต่างศักย์ ความเข้มข้นของกรด เวลา อุณหภูมิ ความหนาแน่นกระแส พีเอช และประเภทของอิเล็กโทรไลต์ (Diamanti and Pedeferri., 2007) ซึ่งจะแตกต่างกับวิธีทางกลที่ต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่และใช้งบประมาณสูง

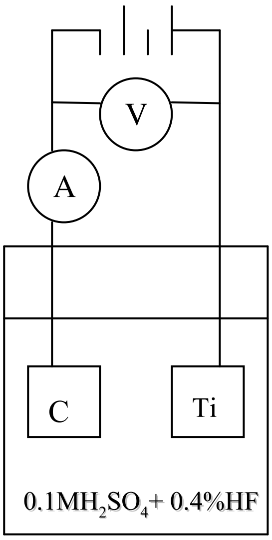
1.4.1. หลักการพื้นฐานการแอโนไดเซชันไทเทเนียม

การแอโนไดเซชันไทเทเนียมทำได้โดยประกอบเซลล์อิเล็กโตรไลต์ (Electrolytic cell) ซึ่งเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ต้องผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ดังภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย

1) แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากภายนอก (Power supply)

2) ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือโลหะที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่มีไอออนอยู่และสามารถนำไฟฟ้าได้ขั้วไฟฟ้าแบ่งตามลักษณะปฏิกิริยาเป็น 2 ประเภท ดังนี้ แอโนด (Anode) เป็นขั้วไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) และแคโทด (Cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction)

3) สารละลายอิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte)



ภาพประกอบที่ 1-4 ชุดการแอโนไดเซชันไทเทเนียมแบบ 2 ขั้ว

จากภาพประกอบที่ 1-4 การประกอบชุดการแอโนไดเซชันไทเทเนียมแบบ 2 ขั้วโดยต่อไทเทเนียมที่ขั้วบวก (แอโนด) และกราไฟต์ต่อที่ขั้วลบ (แคโทด) ของแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายนอก จากนั้นนำไทเทเนียมและแกรไฟต์แช่ในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริกปริมาตร 0.13 มิลลิลิตรกับกรดไฮโดรฟลูออริกปริมาตร 0.2 มิลลิลิตรเมื่อเกิดปฏิกิริยาอิเล็กตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนดจะถูกถ่ายโอนไปที่ขั้วแคโทดที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวของไทเทเนียมเมื่อทำการแอโนไดเซชันแล้วผิวโลหะจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบางติดแน่นบนผิวโลหะและมีความต้านทานการกัดกร่อนฟิล์มออกไซด์ จากการแอโนไดเซชันมีความแข็งแรงกว่าชั้นเคลือบที่เกิดจากการทาสีและการชุบเคลือบโลหะที่เปราะและเสียหายได้ง่ายซึ่งมีปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเกิดขึ้น ดังนี้คือ

ขั้วแอโนด: $2Ti(s) + 2H_2O \leftrightarrow 2TiO(s) + 4H^+ + 4e^-$ (2.1)

ขั้วแคโทด: $SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \leftrightarrow SO_2(aq) + 2H_2O$ (2.2)

ขั้วแคโทด: $F_2(g) + 2H^+ + 2e^- - \leftrightarrow 2HF(aq)$ (2.3)

เรียกปฏิกิริยา (2.1) ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) และเรียกปฏิกิริยา (2.2) และ (2.3) ว่าปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) ตามลำดับ

ทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันในสมการ (2.1) (2.2) และ (2.3) ต่างก็เป็นปฏิกิริยาครึ่งเซลล์ (half-cell reaction) หรือมักจะระบุค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E_0) สำหรับปฏิกิริยาครึ่งเซลล์เอาไว้ ดังนี้

ขั้วแอโนด: $2Ti(s) + 2H_2O \leftrightarrow 2TiO(s) + 4H^+ + 4e^-$; $E^\circ_{anode} = -1.31$ โวลต์

ขั้วแคโทด: $SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \leftrightarrow SO_2(aq) + 2H_2O; E^\circ_{cathode} = 0.71$ โวลต์

ขั้วแคโทด: $F_2(g) + 2H^+ + 2e^- - \leftrightarrow 2HF(aq)$; $E^\circ_{cathode} = 3.06$ โวลต์

เมื่อรวมเข้าด้วยกัน จะได้ว่า

$$F_2(g) + 2Ti(s) + SO_4^{2-} + 2H^+ \leftrightarrow 2HF(aq) + 2TiO(s) + SO_2(aq)$$

โดย $E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode} = (3.06 + 0.71) - (-1.31) = 5.08$ โวลต์

ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานดังกล่าวนี้ เป็นค่าที่วัดเทียบกับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน (Standard hydrogen electrode) ซึ่งได้นิยามให้มีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเป็นศูนย์เมื่อทำการแอโนไดเซชันแล้วผิวโลหะจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบางติดแน่นบนผิวโลหะและมีความต้านทานการกัดกร่อน

1.5 กระบวนการดูดซับ (adsorption)

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการในการสะสมหรือดูดจับอนุภาคต่างๆในสารละลายไว้บนพื้นผิวที่มีความเหมาะสม

1.5.1 ทฤษฎีการดูดซับ (adsorption theory) (Irving Langmuir, 1917)

การดูดซับเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับหรือติดบนผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ adsorbate เรียกว่า adsorbent การเกาะติดผิวโดยทั่วไปเป็นปรากฏการณ์ระหว่าง ของแข็ง-ของแข็ง ก๊าซ-ของเหลว ของเหลว-ของเหลว หรือ ของเหลว-ของแข็ง (Sunstorm and Klei., 1979) การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การดูดซับทางฟิสิกส์ (physisorption) และการดูดซับทางเคมี (chemisorption)

เมื่อโมเลกุลของสารใด ๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของแข็งซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดของตัวดูดซับ (adsorbent) ที่มีต่อโมเลกุลนั้นมากกว่าพลังงานจลน์ (kinetic energy) ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับ (adsorbate)โมเลกุลของสารในของเหลว จะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waal's force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดซับทางฟิสิกส์ การดูดซับของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นชั้น ๆ ตามความเข้มข้นของสารละลาย จากนั้นจะเกิดการดูดซับทางเคมีขึ้น โดยมีพลังงานหนึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับกลายเป็นสารประกอบทางเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (irreversible) สำหรับการเกาะติดผิวทางฟิสิกส์สามารถแปรสภาพกลับได้ (reversible) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

1.5.2 กลไกดูดซับ

การดูดซับขั้นตอนการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกโมเลกุลก๊าซจะแพร่ไปยังผิวภายนอกของสารดูดซับแล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนที่สอง คือเคลื่อนที่เข้าไปยังผิวภายในรูพรุนซึ่งกระบวนการแพร่อาจโดยวิธีการแพร่ทางรูพรุนหรือพื้นผิว และขั้นตอนที่สามคือการเกาะติดกับพื้นผิวซึ่งเป็นขั้นตอนที่แท้จริงของการดูดซับขั้นตอนนี้จะเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับสองขั้นแรก โดยกลไกการดูดซับมี 2 ประเภทคือ

1.5.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ โดยแรงยึดแบบแวนเดอร์วาลส์จึงเป็นการยึดที่ไม่แข็งแรง และไม่มีพันธะเกิดขึ้น ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น สามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในทันทีที่โมเลกุลเดินทางมาถึงผิวหน้า แต่กรณีที่ตัวดูดซับมีความเป็นรูพรุนสูงอัตราการดูดซับจะช้าลงเพราะถูกจำกัดด้วยอัตราเร็วในการแพร่ภายในรูพรุน การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นได้บนผิวทั้งหมดของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณการดูดซับสูงการดูดซับอาจเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับ การลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิของระบบจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง และทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวถูกดูดซับ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า desorption ซึ่งเป็นวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งอิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดซับทางกายภาพแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

1) โมเลกุลชนิดมีขั้วกับมีขั้ว เกิดจาก orientation effect คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

2) โมเลกุลชนิดไม่มีขั้วกับไม่มีขั้ว เกิดจาก dispersion effect ซึ่งเป็นผลจากการอาศัยหลักการตรงที่ว่าโมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นโมเลกุลมีขั้วแบบไดโพลาร์โมเลกุลได้

ถ้าอิเลคตรอน เคลื่อนที่มาอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งมาก จะทำให้เกิดไดโพลาร์โมเลกุล และเมื่อมีโมเลกุลไม่มีขั้วที่มีลักษณะเดียวกันนี้เข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกันเข้าเป็นแรงที่อ่อน

3) โมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้วเกิดจากการเหนี่ยวนำ

ความหนาของชั้นฟิล์มที่ลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับเร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

1.5.2.2 การดูดซับทางเคมี

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูงซึ่งจะแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวสารที่ถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลงทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลงจะให้ความร้อนออกมาสูงมากเพราะการเกิดปฏิกิริยาเคมีไม่ขึ้นกับความดันมากนักและตัวดูดซับถูกดูดซับไว้ในปริมาณน้อยเนื่องจากการดูดซับโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีนั้นเกิดได้บนพื้นผิวบางแห่งเท่านั้นแต่การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวทั้งหมดและการดูดซับแบบนี้จะไม่สามารถทำให้สารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) ออกไปจากตัวดูดซับ (desorption) ได้เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่สารถูกดูดซับและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมซึ่งพบว่าสารบางชนิดที่อุณหภูมิปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมีแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

1.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับจะใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมการดูดซับของสารที่เป็นรูพรุนเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตัวถูกดูดซับที่พิจารณาตามชนิดของสารดูดซับ ดังนี้

1.5.3.1 อุณหภูมิของสารถูกดูดซับ

สำหรับกระบวนการดูดซับทางกายภาพ ความสามารถในการดูดซับลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีระดับพลังงานเพิ่มขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงที่ดึงดูดกับสารดูดซับ ทำให้โมเลกุลของก๊าซกลับเข้าไปอยู่ในก๊าซตามเดิมในกระบวนการดูดซับเป็นการคายความร้อนออกมา ขณะที่ก๊าซดูดซับเกิดขึ้นไปตามแนวความลึกของคอลัมน์สารดูดซับ อุณหภูมิของสารดูดซับก็จะสูงขึ้นตามไปในทิศทางเดียวกัน สารดูดซับจะถ่ายเทความร้อนบางส่วนให้กับก๊าซที่ไหลผ่าน เมื่อก๊าซไหลผ่านเลยไปจากส่วนที่เกิดการดูดซับ การแลกเปลี่ยนความร้อนจะกลับกัน คือ ก๊าซจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สารดูดซับ อุณหภูมิของสารดูดซับจึงเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทำให้ความจุการดูดซับของสารดูดซับลดลง (Rousseau, 1987)

1.5.3.2 ความเร็วของก๊าซ

เนื่องจากประสิทธิภาพการจับตัวโมเลกุลก๊าซบนผิวของสารดูดซับขึ้นกับเวลาที่สัมผัสกันโดยตรง เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซทำให้เวลาที่กระแสก๊าซสัมผัสกับผิวดูดซับที่ตำแหน่งใดๆลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง ดังนั้นกระแสก๊าซต้องเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ของสารดูดซับลึกกว่าเดิม จึงทำให้โมเลกุลเคลื่อนย้ายจากกระแสก๊าซมายังสารดูดซับไม่เท่าเดิม (Rousseau, 1987)

1.5.3.3 ความลึกของคอลัมน์ของสารดูดซับ

ความลึกของคอลัมน์มีผลต่อการดูดซับมวลที่มีการเคลื่อนที่ โดยต้องออกแบบคอลัมน์สารดูดซับให้มีความยาวมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากความยาวจะเป็นส่วนผกผันกับประสิทธิภาพการดูดซับ (Kovach, 1978)

1.5.3.4 ชนิด ขนาดและลักษณะรูปทรงอนุภาคของสารดูดซับ

การเลือกใช้สารดูดซับจำเป็นต้องรู้ถึงความสามารถเฉพาะของสารนั้น รูปร่างและขนาดของสารดูดซับมีผลต่อความดันลดลงภายในคอลัมน์ของสารดูดซับและอัตราการแพร่ของมวลที่เข้าไปในรูพรุนของอนุภาค ค่าความดันลดจะน้อยที่สุดเมื่ออนุภาคของสารดูดซับมีลักษณะทรงกลมขนาดสม่ำเสมอ และอนุภาคขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพดีกว่า (Rousseau, 1987)

1.5.3.5 ความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่นในก๊าซรวมทั้งความชื้น

องค์ประกอบอื่นๆ ที่ปนอยู่ในกระแสก๊าซจะถูกดูดซับบนสารดูดซับ เช่นเดียวกันโดยก๊าซเหล่านี้จะแข่งขันกันจับบนพื้นที่ผิวที่สามารถดูดซับได้ ดังนั้นจึงทำให้การดูดซับสารที่ต้องการขจัดลดลง สารดูดซับจะดูดอากาศเป็นส่วนน้อยแต่ความชื้นจะมีผลต่อการดูดซับมาก ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดความชื้นที่ติดมากับกระแสก๊าซ (Kovach, 1978)

1.5.3.6 พลศาสตร์ของการดูดซับ (Dynamics of adsorption)

การนำสารดูดซับไปใช้ในการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศ โดยทั่วไปใช้ระบบการดูดซับทางไดนามิก กล่าวคือให้สารดูดซับบรรจุอยู่ในภาชนะหรือคอลัมน์และอยู่ในลักษณะนิ่ง (Fixed Bed) แล้วดูดอากาศหรือไอระเหยให้ไหลผ่านตลอดความลึกของภาชนะที่บรรจุสารดูดซับซึ่งให้ของไหลที่ประกอบด้วยสารถูกดูดซับที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอด้วยอัตราความเร็วคงที่ก่อนการใช้งานสารดูดซับทั้งคอลัมน์จะมีความไวต่อการดูดซับสูง เมื่อของไหลไหลผ่านคอลัมน์สารที่สามารถถูกดูดซับได้จะถูกจับและเกาะติดบนสารดูดซับ เรียกว่า เขตสมดุลย ซึ่งจะเป็นชั้นที่ไม่มีการดูดซับอีกแล้ว ในขณะที่เขตที่ต่อจากเขตที่มีการอิ่มตัวจะยังเกิดการดูดซับอยู่ได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะอิ่มตัว เขตของการดูดซับนี้ เรียกว่า เขตการถ่ายเทมวล ขณะที่ยังมีการไหลดำเนินต่อไป (Treybai, 1980)

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำไทเทเนียมมาประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้งานกันแพร่หลาย ดังนี้

Hong Fei Lin *et al* . (2003) ได้ทำการศึกษาฟิล์มของไทเทเนียมเป็นตัวคะตะลิสต์ในการย่อยสลายพีเอเอชในน้ำผิวดิน พบว่า ฟิล์มไททาเนียมสามารถใช้เป็นตัวคะตะลิสต์ที่สามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการฉายแสงกระตุ้นเพื่อสลายพีเอเอชในน้ำผิวดินให้เกิดการแตกตัวโดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ ผลจากการทดลองพบว่า ฟิล์มไทเทเนียมสามารถลดพีเอเอชในกลุ่มฟีเนนทรีน และไพรีนได้ โดยความสามารถในการย่อยสลายพีเอเอชในน้ำผิวดิน ฟิล์มไททาเนียมสามารถลดสารในกลุ่มฟีเนนทรีน ได้ร้อยละ 28.6 ถึงร้อยละ 40.1 และสามารถลดสารในกลุ่มไพรีนได้ร้อยละ 35 ถึงร้อยละ 67

Yamashita (2003) ได้ทำการศึกษาฟิล์มของไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ในรูปอนาเทสในการย่อยสลายสารละลายจำพวกอินทรีย์ เช่น 2-โพรพานอล ฟีนอลและไตรคลอโรเอทิลีน ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มของไทเทเนียมไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย2-โพรพานอล ฟีนอลและไตรคลอโรเอทิลีน ได้ดีเนื่องจากฟิล์มของไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ในรูปอนาเทสสามารถเป็นเร่งปฏิกิริยาในการฉายแสงกระตุ้นเพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองที่ได้ศึกษาลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์ผลึก 3 แบบคือ รูไทล์ อนาเทสและบรูไคท์ ผลึกแต่ละแบบมีความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์แตกต่างกัน โดยอนาเทสมีความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์ดีกว่ารูไทล์และบรูไคน์ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มของไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ในรูปอนาเทสจะมีผลต่อความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์ที่ใช้ย่อยสลายสารจำพวกอินทรีย์ได้ดี

Bekkouche et al. (2004) ได้ทำการศึกษาการดูดซับฟีนอลบนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการดูดซับฟีนอลที่มีค่าความเข้มข้นของพีเอชที่แตกต่างกัน (pH = 2 ถึง10) ในน้ำเสีย โดยขั้นตอนการดูดซับของไทเทเนียมไดออกไซด์รูปอนาเทส พบว่าปริมาณการดูดซับฟีนอลที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่า pH อยู่ระหว่าง 5 และ 6 และเมื่อนำมาวัดด้วยสเปกโตรพบว่าจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเป็นไปตามรูปแบบของ Langmuir นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าหากมีการกวนจะทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์และเป็นการเพิ่มพื้นที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

Benabbou *et al*. (2007) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการยับยั้งเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli* หรือ *E. coli*) ในน้ำเสียภายใต้แสงยูวีเอ ยูวีบี ยูวีซี และนำไปใช้ในการดักจับสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก เช่น สารอินทรีย์ในกลุ่มของ ฟีนอล ยาฆ่าแมลง สี ในกลุ่ม BTEX (เบนซิน โทลูอีน เอธิลเบนซิลและไซลีน) ซึ่งมาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับชนิดของแสงยูวีที่ใช้ โดยไทเทเนียมที่ฉายแสงด้วยแสงยูวีเอสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ายูวีบีและยูวีซี ตามลำดับและเมื่อใช้เวลามากขึ้นประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกันและมีประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก

Lihong Zhang *et al* . (2008) ได้ทำการศึกษาการสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มฟีเนนทรีน ไพรีน และเบนโซเอไพรีน บนผิวดินโดยใช้ไทเทนียมไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียล พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ค่าความเข้มข้นร้อยละ 2 มีความสามารถในการย่อยสลายเบนโซเอบนผิวดินที่ความยาวคลื่นของรังสียูวีเท่ากับ 254 310 และ 365 นาโนเมตร ตามลำดับผลของรังสียูวี และความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญส่งผลต่อประสิทธิภาพสำหรับการย่อยสลายฟีเนนทรีน ไพรีน และเบนโซเอไพรีน ในดินปนเปื้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ ที่มีค่าครึ่งชีวิตลดลงจาก 533.15-130.77 630.09-192.53 และ 363.22-103.26 ชั่วโมง ตามลำดับ และที่ค่าความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 จะมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการฉายแสงกระตุ้นเพื่อสลายสารที่ดีที่สุด

ชำนาญ ราญฎร (2544) ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นโฟโตคะตะลิสต์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์กับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบอนาเทสและ Degussa P25 พบว่า Degussa P25 สามารถฟอกสีเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด รองลงมาคือไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบอนาเทส ตามลำดับ และเมื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์สามารถดูดซับได้ดีกว่า Degussa P25 และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบอนาเทสอย่างชัดเจน

ศรัญญา ทองอุ่น และ อภิชน วัชเรนทร์วงศ์ (2554) ได้ทำการศึกษาโดยนำไทเทเนียมไดออกไซด์รูปท่อมาใช้บำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะการทดลองแอโนไดเซชันในสารละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ในกลีเซอรอล (NH_4F glycerol) 0.3 โมลาร์ในน้ำ ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์โดยใช้เวลา 5 ชั่วโมง พบว่าลักษณะโครงสร้างพื้นผิวเป็นแบบท่อนาโนทั่วทั้งแผ่นแต่มีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบและเมื่อวัดความหนาแน่นของรูพรุนได้

0.044 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นเมื่อนำมาบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ก็พบว่าสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

Zhao *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาการจัดเรียงท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ด้วยกระบวนการแอโนดิกออกซิเดชันในกรดไฮโดรฟลูออริก และศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการแอโนไดเซชันดังนี้ ค่าความต่างศักย์ ความเข้มข้นของกรดและเวลาในการแอโนไดเซชัน พบว่าลักษณะสัณฐานของผิวไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์ พบว่าเกิดก้อนและหลุมที่ผิวไทเทเนียม

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์ พบว่าเกิดท่อนาโนไม่ชัดเจน

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ค่าความต่างศักย์ 3 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเกิดท่อนาโนที่ยังไม่ชัดเจน

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเกิดท่อนาโนที่ชัดเจน

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์ขึ้นไป เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเกิดการสลายไปของท่อนาโน

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1โดยน้ำหนัก ที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์ เป็นเวลา 5 ถึง 10 นาที พบว่าเกิดหลุมบนพื้นผิว ที่แสดงลักษณะท่อนาโนยังไม่ชัดเจน

แอโนไดเซชันโดยไทเทเนียมใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1โดยน้ำหนัก ที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเกิดการท่อนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 นาโนเมตร

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์ เป็นเวลา 60 นาที พบว่าเกิดการสลายไปของท่อนาโน

Tsuchiya *et al.* (2005) ได้ศึกษาลักษณะสัณฐานพื้นผิวของไทเทเนียมด้วยวิธีแอโนไดเซชันในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ผสมดังนี้

สารละลายผสมระหว่างกรดแอมโมเนียมซัลเฟต 1 โมลาร์กับกรดแอมโมเนียมฟลูออไรด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

สารละลายผสมระหว่างกรดแอมโมเนียไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1 โมลาร์กับกรดแอมโมเนียมฟลูออไรด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

สารละลายผสมระหว่าง กรดฟอสฟอริก 1 โมลาร์กับกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

สารละลายผสมระหว่าง กรดแอซิติกกับกรดแอมโมเนียมฟลูออไรด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

จากผลการทดลองจึงพบว่าเกิดท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 ถึง 100 นาโนเมตรและพบความลึกประมาณ 0.25 ถึง 2.5 นาโนเมตร

Bestetti *et al.* (2007) เตรียมท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริก 1 โมลาร์กับกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 0.05 ถึงร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก และศึกษาสภาวะในการแอโนไดเซชันต่อลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ โดยกำหนดตัวแปรในการแอโนไดเซชันดังนี้ ความต่างศักย์ เวลาในการแอโนไดเซชัน ความเข้มข้นของกรดไฮโดรฟลูออริก จากการทดลองพบว่าสภาวะในการแอโนไดเซชันมีผลต่อลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ เมื่อทำการแอโนไดเซชันไทเทเนียมที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ ในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริก 1 โมลาร์กับกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 0.05 ถึงร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรฟลูออริกเพิ่มขึ้น จะพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ และระยะระหว่างท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์จะลดลง แต่เมื่อทำการแอโนไดเซชันที่ความต่างศักย์ตั้งแต่ 10 ถึง 40 โวลต์ พบว่าเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ และระยะระหว่างท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความต่างศักย์มากกว่า 30 โวลต์จะเกิดฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์บนพื้นผิว และการแอโนไดเซชันที่เวลาตั้งแต่ 5 ถึง 65 ชั่วโมง พบว่าขนาดเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนไทเทเนียมออกไซด์อยู่ระหว่าง 80 ถึง 95 นาโนเมตร และระยะระหว่างท่อเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 160 ถึง 170 นาโนเมตร

Bartlett (2006) ได้ศึกษาผลของความต่างศักย์ในการแอโนไดเซชันต่อการเกิดสีบนพื้นผิวของไทเทเนียม ในกรดแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ที่ความต่างศักย์ในช่วง 21 ถึง 23 โวลต์จะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีเทา (สีโลหะ) เป็นสีน้ำเงินเข้ม (Royal blue) ที่ความต่างศักย์ 55 โวลต์ เปลี่ยนเป็นสีชมพูและสีทอง ที่ความต่างศักย์ในช่วง 55 ถึง 61 โวลต์ เปลี่ยนเป็นสีทอง ที่ความต่างศักย์ 87 โวลต์ เปลี่ยนเป็นสีเขียว ที่ความต่างศักย์ในช่วง 87 ถึง 89 เปลี่ยนเป็นสีชมพู ที่ความต่างศักย์ 110 โวลต์ เปลี่ยนเป็นสีที่ผสมกันของสีม่วงและสีชมพู สีน้ำเงินและสีเขียว ที่ความต่างศักย์ 112 โวลต์ เปลี่ยนเป็นสีฟ้า และสีที่ผสมกันของสีน้ำเงินและสีเขียว นอกจากนี้พบว่าชั้นออกไซด์สี

น้ำเงินเข้มจะมีความหนา 42 ถึง 46 นาโนเมตร และชั้นออกไซด์สีทองมีความหนา 110 ถึง 112 นาโนเมตร

Vega *et al*. (2008) ได้ศึกษาผลของปัจจัยในกระบวนการแอโนไดเซชันต่อลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียม โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้สารละลายผสมระหว่าง กรดซัลฟูริก 1 โมลาร์กับกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนัก ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเกิดท่อนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 นาโนเมตร และมีความยาวของท่อ 0.11 ไมโครเมตร

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้สารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริก 1 โมลาร์กับกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเกิดท่อนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 นาโนเมตร และมีความยาวของท่อ 0.16 ไมโครเมตร

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้สารละลายผสมระหว่างกรดฟอสฟอริกร้อยละ 9.3 โดยน้ำหนักกับกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง พบว่าเกิดท่อนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 นาโนเมตร และมีความยาวของท่อ 0.30 ไมโครเมตร

แอโนไดเซชันไทเทเนียมโดยใช้สารละลายผสมระหว่างกรดแอมโมเนียมฟลูออไรด์ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก น้ำร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนักกับเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) ที่ความต่างศักย์ 60 โวลต์ เป็นเวลา 42 ชั่วโมง พบว่าเกิดท่อนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 นาโนเมตร และมีความยาวของท่อ 30 ไมโครเมตร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการทำให้เกิดการคิดค้นนวัตกรรมสำหรับการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเพื่อทดแทนการสกัดทางเคมี จากการทบทวนเอกสารพบว่า ไทเทเนียมเป็นวัสดุที่สามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ และเป็นวัสดุในการดักจับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Solar, 1979) เนื่องจากไทเทเนียมจะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้วโครงสร้างจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากผลการวิจัยเบื้องต้นจึงเลือกไทเทเนียมเป็นวัสดุในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพื่อศึกษาพฤติกรรมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป โดยใช้ไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับพื้นผิว ผลจากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นเป็นแบบดูด-คายสลับกันและเมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นกับแมงกานีส พบว่าแมงกานีสมีความสามารถในการดักจับได้สูงกว่าไทเทเนียมเนื่องจากพื้นที่ผิวของแมงกานีสเป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กกระจายทั่วผิวแมงกานีส จึงทำให้แมงกานีสมีพื้นที่ผิวในการดักจับมากกว่า (ชญาลักษณ์ วงศ์อุทันและคณะ, 2553) จากข้อมูลเบื้องต้นจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวให้เป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดักจับ ผลการศึกษาครั้งนี้จึงมีการพิจารณานวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้

นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุมีคุณสมบัติพิเศษขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ (ณัฐพันธุ์ ศุภกา, 2544) จากแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี จึงทำให้มีการศึกษาหาวิธีการปรับปรุงและพัฒนาคุณสมบัติโดยการจัดทำไททาเนียมไดออกไซด์ในระดับนาโน หรือทำให้เกิดรูพรุนบนพื้นผิวไทเทเนียม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากการศึกษาพบว่าไทเทเนียมสามารถปรับโครงสร้างพื้นผิวให้เป็นท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโน (ท่อนาโน) ได้ด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน

การแอโนไดเซชันไทเทเนียมเป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาคเพื่อเกิดชั้นฟิล์มออกไซด์และมีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนซึ่งกระบวนการเตรียมพื้นผิวไทเนียมให้เป็นท่อนาโนจะแสดงไว้ในบทที่ 2 และวิธีการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะทำการทดลองด้วยวิธีแบบแบตช์และจะนำมาประยุกต์ใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับน้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียมส่วนล่างสุดที่เรียกว่า long residue ซึ่งเป็นน้ำมันตั้งต้นที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยางแทนน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปเนื่องจากน้ำมันพื้นฐานจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันหลายชนิด

1.7 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.7.1. ศึกษาพฤติกรรมของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปและทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมในการดักจับกับวัสดุชนิดต่างๆ ได้แก่ แมงกานีสและเรซิน ด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์ เพื่อศึกษาดูความสามารถในการดักจับของไทเทเนียมในเบื้องต้น

1.7.2. ศึกษาการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมเป็นท่อนาโนด้วยกระบวนการแอโนไดเซชันในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริกกับกรดไฮโดรฟลูออริก เพื่อปรับลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันจากปิโตรเลียม

1.7.3. ศึกษาประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวไทเทเนียมที่แตกต่างกันในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันจากปิโตรเลียม

1.7.4. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันจากปิโตรเลียม ด้วยวิธีการแบบแบตช์และวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน ด้วยเครื่องเอทีอาร์เอฟทีไออาร์

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวเป็นท่อนาโนด้วยการแอโนไดเซชันและนำไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนที่ได้มาศึกษาประสิทธิภาพการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียมส่วนล่างสุดที่เรียกว่า long residue

2.2 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิวของไทเทเนียมเป็นท่อนาโน และอุปกรณ์สำหรับการทดลองการดูดซับรวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดักจับมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิวของไทเทเนียมเป็นท่อนาโน

1) แผ่นไทเทเนียมบริสุทธิ์ทางการค้าเกรด 2 (Commercially pure Titanium Grade2) ขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร

2) แผ่นแกรไฟท์ขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร

3) กระดาษทรายเบอร์ 800 1000 และ 1200

4) เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Power supply)

5) มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

6) เครื่องวัดอุณหภูมิ

7) เครื่องวัดค่า pH

8) เครื่องชั่งน้ำหนัก

9) เครื่องเป่าลมร้อน

10) แบบหล่อเรซิน

11) สายไฟ

2.2.2. อุปกรณ์สำหรับการทดลองการดูดซับ

1) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่า

2) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่า

2.2.3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดักจับ

1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

2) เครื่อง ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

2.2.4. อื่นๆ

1) ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

2) บิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3) แท่งแก้วคนสาร

4) หลอดฉีดยา

5) ถุงมือยาง

2.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโน ดังนี้

1) กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ความเข้มข้นร้อยละ 48

2) ไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 70

3) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

4) อะซิโทน (C_3H_6O)

5) น้ำกลั่น (Distilled water)

6) ผงขัดอะลูมินา (Al_2O_3) เบอร์ 5 1 0.3 และ 0.05 ไมครอน

7) กาวเงิน (Silver paint)

8) อีพ็อกซี (Epoxy)

2.4 น้ำมัน

น้ำมันที่นำมาใช้ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปและน้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียมส่วนล่างสุดที่เรียกว่า long residue

1) น้ำมันหล่อลื่นจะนำมาใช้ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมและความสามารถของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่น

2) น้ำมันที่นำมาทดลองมาจากบริษัทไออาร์พีซีจำกัด (มหาชน) เป็นน้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม (Petroleum base oils) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการกลั่นน้ำมันในหอกลั่นน้ำมันดิบที่

กลั่นแยกต่อไม่ได้เรียกว่า Long residue มาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อเป็นน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเพื่อผลิตยางรถยนต์ โดยนำน้ำมันมาใช้ในการศึกษาความสามารถของไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2.5 วิธีดำเนินการ

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม ดำเนินวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

2.5.1 การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม

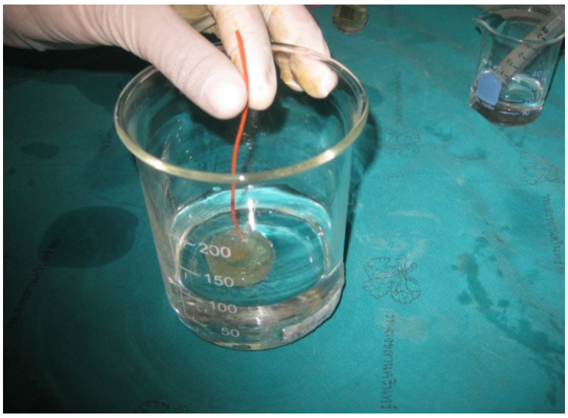
การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะต้องมีการปรับพื้นผิวเพื่อให้พื้นผิวไทเทเนียมเรียบและอยู่ในระนาบด้วยวิธีการขัด (Polishing) ด้วยกระดาษทรายน้ำ โดยหลักการทั่วไปในการขัดพื้นผิววัสดุด้วยกระดาษทรายน้ำคือกระดาษทรายน้ำเป็นกระดาษทรายที่มีความละเอียดมากกว่ากระดาษทรายธรรมดา เมื่อจะใช้ก็เอาไปจุ่มลงในน้ำแล้วนำมาขัดโดยเริ่มจากใช้เบอร์หยาบขัดก่อนหลังจากนั้นใช้เบอร์ละเอียดตามลำดับซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมพื้นผิวดังนี้

เตรียมพื้นผิวตัวอย่างวัสดุของงานวิจัยชิ้นนี้ใช้แผ่นไทเทเนียมบริสุทธิ์ทางการค้า เกรด 2 มาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800, 1000 และ1200 ตามลำดับ จนผิวหน้าของไทเทเนียมมีผิวเรียบและเป็นระนาบเดียวกันโดยนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นขัดไทเทเนียมต่อด้วยผงขัดอะลูมินา เบอร์ 5, 1, 0.3 และ 0.05 ไมครอนตามลำดับจนผิวหน้าของไทเทเนียมให้มีความเงาวาวคล้ายกระจก

2.6 การปรับสัณฐานพื้นผิวไทเทเนียม

2.6.1 การกำจัดชั้นออกไซด์ที่เกิดโดยธรรมชาติ

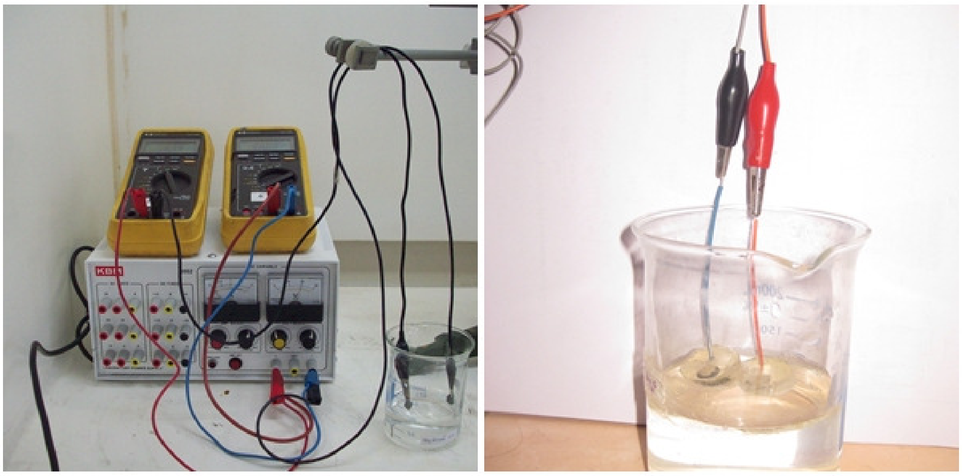
นำไทเทเนียมที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกระดาษทรายมากำจัดชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 48 ปริมาณ 2 มิลลิลิตรกับกรดไนตริกความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาณ 3 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นจุ่มแผ่นไทเทเนียมลงในสารละลายที่เตรียมเป็นเวลา 90 วินาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดล้างแผ่นไทเทเนียมด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นเป่าแผ่นไทเทเนียมให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักแผ่นไทเทเนียมแล้วบันทึกผลการทดลอง



ภาพประกอบที่ 2-1 การจุ่มแผ่นไทเทเนียมลงในสารละลายเพื่อกำจัดออกไซด์ที่ติดอยู่บนพื้นผิว ไทเทเนียม

2.6.2 ปรับสัณฐานพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน

นำไทเทเนียมที่ผ่านการกำจัดออกไซด์มาทำการปรับสัณฐานพื้นผิวให้เป็นท่อนาโนด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับ จากนั้นทำการแอโนไดเซชันโดยประกอบเซลล์อิเล็กโตรไลต์ (Electrolytic cell) ซึ่งกำหนดให้ขั้วแอโนด (Anode) คือแผ่นไทเทเนียมและขั้วแคโทด (Cathode) คือแผ่นแกรไฟต์ ดังภาพประกอบที่ 4 จากนั้นนำไทเทเนียมและแกรไฟต์แช่ในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟลูริกปริมาตร 0.13 มิลลิลิตรกับกรดไฮโดรฟลูออริกปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ทำการผ่านกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากภายนอก (Power supply) ที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (Mingthong *et al.*, 2010) เมื่อครบเวลา 6 ชั่วโมง นำแผ่นไทเทเนียมล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดกรดส่วนเกินและเป่าให้แห้ง จากนั้นนำไทเทเนียมไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไทเทเนียมที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

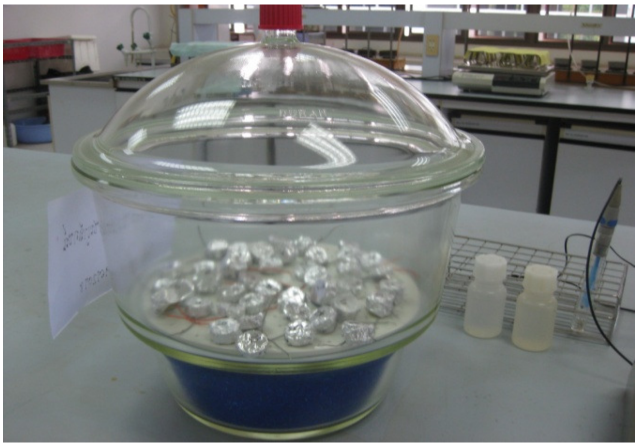


(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 2-2 การปรับสัณฐานพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน
(ก) เซลล์อิเล็กโตรไลต์ (ข) การต่อขั้วไฟฟ้าเพื่อแช่ในสารละลาย

2.7 วิธีการเก็บตัวอย่าง

นำแผ่นไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับพื้นผิวมาห่อด้วยแผ่นอะลูมินัมฟอยด์ (Aluminum foil) ให้มิดชิด จดรายละเอียด ปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย ค่าความต่างศักย์ วันที่เตรียมตัวอย่าง และเก็บรักษาตัวอย่างโดยใส่ลงในโถดูดความชื้น (desiccators)



ภาพประกอบที่ 2-3 การเก็บรักษาตัวอย่างในโถดูดความชื้น

2.8 ศึกษาพฤติกรรมการดักจับเบื้องต้นของไทเทเนียมในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

2.8.1 ศึกษาพฤติกรรมของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปและทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมในการดักจับกับ แมงกานีสและเรซิน

การทดลองแบบแบตช์ตามการทดลองของอซัม (Azam *et al.*, 2009) เป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของวัสดุ โดยกำหนดให้นำวัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งแกร่งและทนทานต่อการกัดกร่อนได้แก่ แมงกานีส เรซินและไทเทเนียมมาทดสอบกับน้ำมันหล่อลื่นโดยบรรจุลงในหลอดทดลองในอัตราส่วนปริมาตรแมงกานีส และเรซินต่อน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ 1:3 หรือน้ำมัน 15 มิลลิลิตรและในส่วนการทดลองของไทเทเนียม ตัดแผ่นไทเทเนียมให้มีขนาด 1×1 เซนติเมตร ทำความสะอาดไทเทเนียมด้วยอะซิโตน นำหลอดทดลองที่ภายในบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 15 มิลลิลิตรและวัสดุทั้ง 3 ชนิดไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงติดต่อกันโดยจะทำการถ่ายเทน้ำมันออกทุก 2 ชั่วโมงเมื่อครบกำหนดในแต่ละช่วงเวลาถ่ายน้ำมันออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 8.65 กรัม หรือ 10 มิลลิลิตร นำน้ำมันหล่อลื่นไปวิเคราะห์หาปริมาณตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนผ่านการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของการดูดซับรังสีอินฟราเรดสเปกตรัมโดยใช้เอทีอาร์เอฟทีไออาร์

ผลการศึกษาครั้งนี้จะนำไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวเป็นท่อนาโน โดยนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำมันปิโตรเลียมส่วนล่างสุดที่เรียกว่า long residue ที่เป็นน้ำมันตั้งต้นเพื่อผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยาง

2.9 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม

2.9.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดักจับของไทเทเนียมที่มีพื้นผิวต่างกัน

นำไทเทเนียมที่ยังไม่ผ่านการปรับระนาบพื้นผิวใส่หลอดทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยแต่ละชุดกำหนดปริมาตรน้ำมันในหลอดทดลอง 10 มิลลิลิตรเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันจากนั้นนำหลอดทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ที่มีการเขย่าและไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมงวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันด้วยเครื่องเอทีอาร์เอฟทีไออาร์และคำนวณประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน จากนั้นนำไทเทเนียมที่ผ่านการปรับพื้นผิวด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน (ท่อนาโน) มาทำการทดลองในข้อที่ 2.9.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันของไทเทเนียมที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับพื้นผิว

2.10 ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม

2.10.1 ศึกษาหาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของไททาเนียม

เตรียมชุดการทดลองจำนวน 4 ชุดโดยกำหนดปริมาตรน้ำมันที่ใช้ในการทดลองเป็น 2.5 5 7.5 และ10 มิลลิลิตรนำไทเทเนียมที่มีประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ดีที่สุดจากผลการทดลองจากในหัวข้อ 2.9.1 มาใส่ในหลอดทดลองนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ที่ไม่มีการเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะทำการถ่ายเทน้ำมันออกทุก 30 นาทีเมื่อครบกำหนดในแต่ละช่วงเวลาถ่ายน้ำมันออกเป็น 2.5 5 7.5 และ10 มิลลิลิตร วิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันด้วยเครื่องเอทีอาร์เอฟทีไออาร์และคำนวณประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน จากนั้นทำการทดลองซ้ำแต่นำชุดการทดลองไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาตรที่เหมาะสมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

2.10.2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม

เตรียมชุดการทดลองจำนวน 3 ชุด โดยแต่ละชุดการทดลองจะกำหนดปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมตามการทดลองที่ 2.10.1 และไทเทเนียมที่มีประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2.9.1 ไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่าที่อุณหภูมิ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียล ตามลำดับเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะทำการถ่ายเทน้ำมันออกทุก 30 นาทีเมื่อครบกำหนดในแต่ละช่วงเวลาถ่ายน้ำมันออกเป็น 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันด้วยเครื่องเอทีอาร์เอฟทีไออาร์และคำนวณประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน จากนั้นทำการทดลองซ้ำแต่นำชุดการทดลองไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

2.11 ตรวจสอบพื้นผิวไทเทเนียม

ตรวจสอบพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการวิเคราะห์สัณฐานพื้นผิวของไทเทเนียมที่กำลังขยาย 15000 และ 40000 เท่า

2.12 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ข้อมูลทางสถิติโดยคำนวณประสิทธิภาพด้วยเครื่องเอทีอาร์เอฟทีไออาร์ รายงานผลข้อมูลด้วยกราฟและแปลข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Origin program version 8

2.12.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

โดยนำค่าอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของวัสดุดูดซับมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับเวลาจะได้สมการในการจำลองพฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

$$Y = Y_0 + A * Sin\left(\frac{\pi(X - X_c)}{W}\right) \tag{1}$$

Y: พื้นที่ใต้กราฟของการดูดซับรังสีอินฟราเรดสเปกตรัมโดยใช้ ATR-FTIR;

Y_0: ค่าออฟเซต (Offset);

A: ค่าแอมพลิจูด (Amplitude);

X: ระยะเวลาในการดูดซับ;

X_c: ค่าเฟสชิฟท์ (Phase Shift)

W: ความยาวช่วงคลื่น (Period);

2.12.2 การคำนวณประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

การคำนวณประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเป็นการนำเอาค่าที่ได้จากการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของวัสดุดูซับมาหารด้วยเวลาโดยใช้สูตรคือ

$$E = \frac{2H}{T} \qquad (2)$$

Efficiency (E) : ประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

Peak Height (H) : ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

Time (T) : ระยะเวลาของวัฏจักรในการตรึงสารตกค้างในน้ำมัน

บทที่ 3

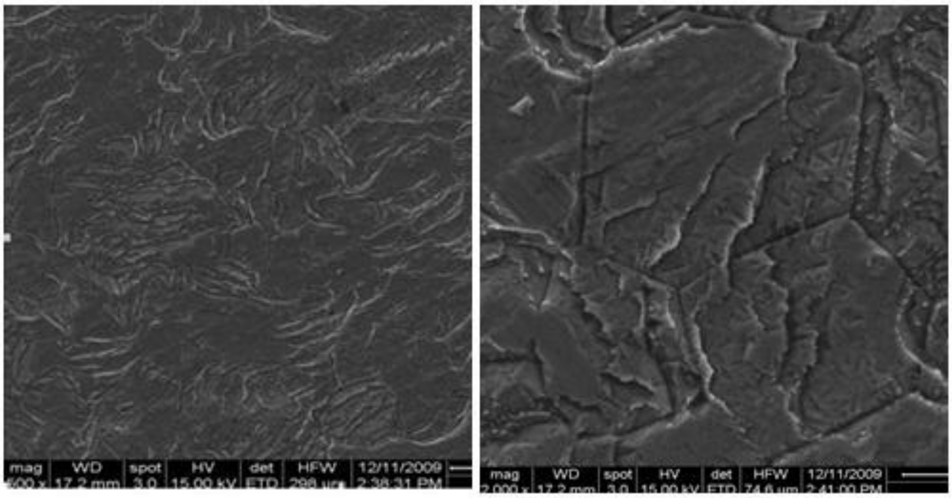
ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงการอภิปรายผลการทดลองและเหตุผลสนับสนุนผลการทดลอง ซึ่งผลการทดลองส่วนแรกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถของไทเทเนียมเบื้องต้นในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำหล่อลื่นสำเร็จรูปที่จำหน่ายตามท้องตลาด ส่วนที่สองเป็นการปรับพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโน และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสม อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการดักจับโดยนำมาประยุกต์กับน้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียมส่วนล่างสุดที่เรียกว่า long residue ซึ่งเป็นน้ำมันตั้งต้นที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยาง

3.1. ผลการศึกษาความสามารถในการดักจับของไทเทเนียมในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

3.1.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและพื้นผิวของไทเทเนียม

ผลจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพไทเทเนียมที่มองด้วยตาเปล่า พบว่า ไทเทเนียมจะมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะ สีเงินวาวและเมื่อนำมาวิเคราะห์พื้นผิวโดยรวมของไทเทเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ที่กำลังขยาย 600 เท่า พบว่าพื้นผิวของไทเทเนียมโดยรวมมีลักษณะไม่เรียบและเป็นสีดำและเมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 2,000 เท่าเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิว พบว่าลักษณะพื้นผิวไม่เป็นระนาบเดียวกัน จะเป็นร่องตามรอยผิวของไทเทเนียม ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-1 โดยเหตุผลที่ต้องมีการศึกษาลักษณะพื้นผิวนั้น เนื่องจากพื้นผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการดักจับ โดยพื้นผิวที่แตกต่างกันจะมีศักยภาพในการดักจับที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวในการดักจับสารเคมี พบว่าพื้นผิวเรียบจะมีความสามารถในการดักจับสารเคมีได้น้อยกว่าพื้นผิวที่ขรุขระหรือเป็นรูพรุน (พัชรี วีระพจนานันท์ และวิทยา เทพไพฑูรย์, 2543)

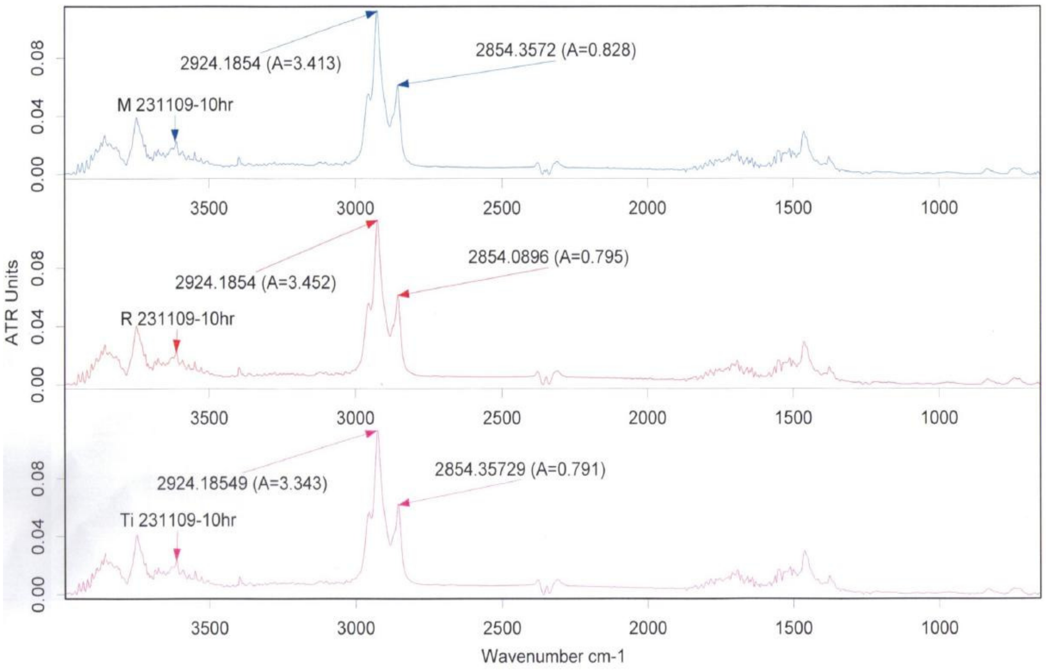


[ก] [ข]

ภาพประกอบที่ 3-1 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
[ก] พื้นผิวไทเทเนียมกำลังขยาย 500 เท่า [ข] พื้นผิวไทเทเนียมกำลังขยาย 2000 เท่า

3.1.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

จากงานวิจัยของ Benabbou *et al.*, 2007 พบว่า ไทเทเนียมมีความสามารถในการดักจับสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก เช่น สารอินทรีย์ในกลุ่มของฟีนอล ยาฆ่าแมลง สีในกลุ่ม BTEX (เบนซิน โทลูอีน เอธิลเบนซิล และไซลีน) ซึ่งมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันได้ จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงมีการคิดค้นเพื่อนำไทเทเนียมมาประยุกต์ใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกัน จึงทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ผลจากการศึกษาพบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ความยาวคลื่น 2855 ซม$^{-1}$ และ 2924 ซม$^{-1}$ ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับค่าความยาวคลื่นของอินฟราเรดสเปกตรัมตรงกับหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มเมทิลีน (Brian and Smith., 1996) ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-2 สเปกตรัมการดูดซับคลื่นของตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่ความยาวคลื่น 2855 ซม$^{-1}$ และ 2924 ซม$^{-1}$ จากการวิเคราะห์ด้วย ATR-FTIR

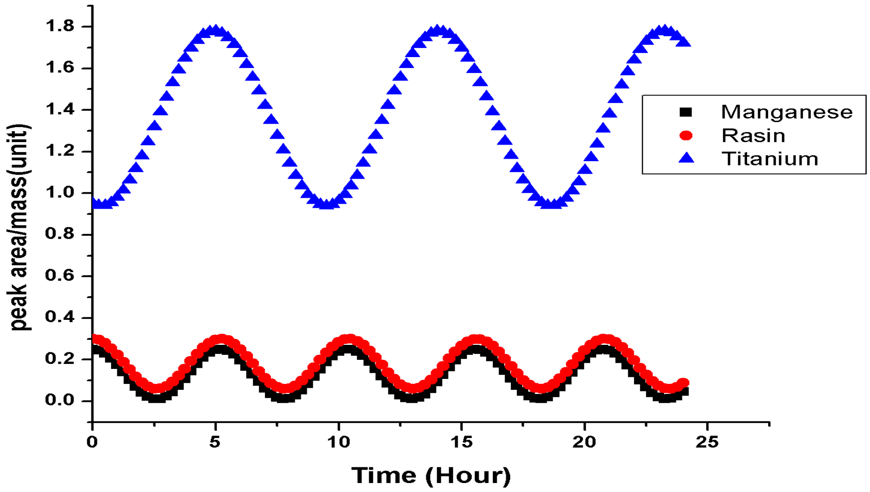
3.1.3 ผลการศึกษาพฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปของไทเทเนียม แมงกานีสและเรซิน

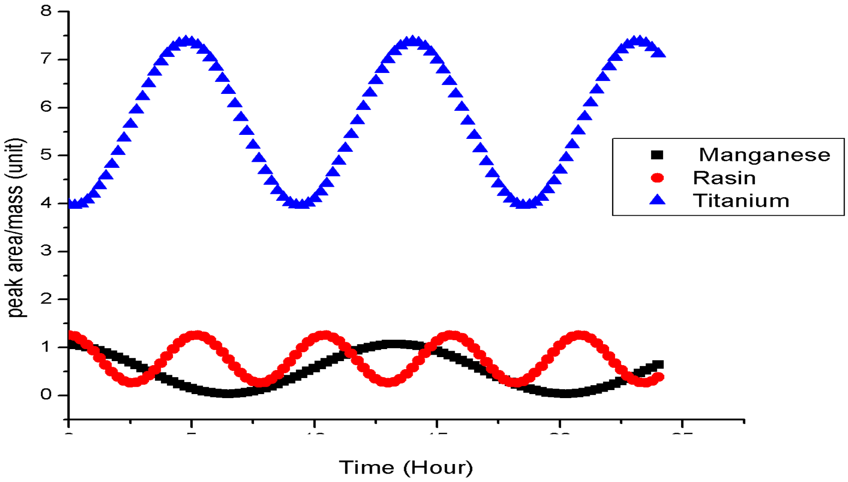
จากผลการทบทวนเอกสาร พบว่า ไทเทเนียม แมงกานีส และเรซินมีความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ยาฆ่าแมลง พีเอชในกลุ่ม ไพรีน ฟรีแนนทรีน เป็นต้นและไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับสารดูดซับ จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงเลือกวัสดุทั้งสามชนิดมาศึกษาพฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นเบื้องต้น ผลจากการศึกษาโดยนำอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาของการดักจับมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเวลาการดักจับของวัสดุทั้งสามชนิด (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)โดยสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลา จะได้สมการที่เหมาะสมในการจำลองพฤติกรรมการดักจับไฮโดรคาร์บอนด้วยวัสดุทั้งสามชนิดเป็นสมการรูปคลื่น จึงแปลผลได้ว่า พฤติกรรมการดักจับของวัสดุทั้งสามชนิดจะมีการดักจับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่จุดอิ่มตัวของการดูดซับ หลังจากนั้นจะเกิดการคายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกซึ่งความสามารถในการดูด-คายจะขึ้นอยู่กับจุดสมดุลอิ่มตัวของวัสดุแต่ละชนิด

3.1.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปของไทเทเนียม แมงกานีส และเรซิน

จากผลจากการศึกษาระยะเวลาในการดูด-คายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของวัสดุทั้งสามชนิด (ภาพประกอบที่ 3-3) เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพในการดักจับของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด โดยเปรียบเทียบค่าพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาที่ความยาวคลื่น 2855 ซม$^{-1}$ และ 2924 ซม$^{-1}$ ปรากฏว่าพฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของแมงกานีสจะใช้เวลาในการดูด-คายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนานกว่าไทเทเนียมและเรซิน แต่ประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเปรียบเทียบระดับพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับระยะเวลาในการตรึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยใช้สูตรที่ (2) ดังที่แสดงในบทที่2 พบว่าแมงกานีสมีประสิทธิภาพในการดักจับสูงกว่าเรซินและไทเทเนียม 1.15 – 2.90 และ 1.20 - 4.80 เท่าต่อมวลตามลำดับ สาเหตุหลักน่าจะมาจากความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันของวัสดุทั้งสามชนิด โดยแมงกานีสมีโครงสร้างที่ซับซ้อนเหมาะสำหรับการตรึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Martin *et al.*,1997) อีกทั้งมีพื้นที่ผิวมากกว่าเรซิน (Ruey-Shin Juang *et al.*,1999) และไทเทเนียมแต่แมงกานีสและเรซินเมื่อโดนแรงดันของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่มีความหนืดสูงจะหลุดติดไปกับผลิตภัณฑ์จึงก่อให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำมัน เนื่องจากแมงกานีสและเรซินที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นผง ดังนั้นจึงทำให้วัสดุติดกับน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าซึ่งจะแตกต่างจากไทเทเนียมที่มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน (Lihong *et al.*,2008) และสามารถปรับปรุงพื้นผิวเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดักจับและสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการฉายแสงกระตุ้นเพื่อสลายสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนได้ (Matthews, 1991; Teruaki and Keiichi, 2002)

จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบบนพื้นผิวจะมีผลต่อความสามารถในการดักจับ จึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวให้เป็นท่อนาโนที่มีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดักจับ เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมาพื้นผิวแมงกานีสจะประกอบด้วยรูพรุนที่มีขนาดเล็กกระจายทั่วผิวจึงทำให้แมงกานีสมีพื้นที่ผิวในการดักจับมากกว่าไทเทเนียม ดังนั้นจึงมีการพิจารณานวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อปรับพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นเป็นท่อนาโนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนเมตรเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับของไทเทเนียม





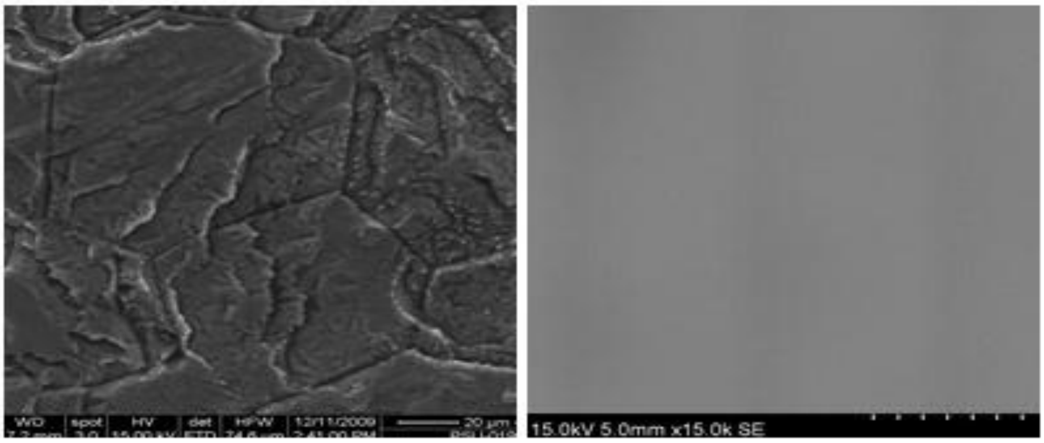
ภาพประกอบที่ 3-3 การเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ใต้กราฟต่อน้ำหนักกับเวลาของการดักจับเมทิลีนด้วยแมงกานีส เรซิน และไทเทเนียมที่ความยาวคลื่น 2855 และ 2924 ซม$^{-1}$

3.2 กระบวนการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมเป็นท่อนาโนด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน

3.2.1 ผลการเตรียมพื้นผิวก่อนการแอโนไดเซชัน

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพพื้นผิวของไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับพื้นผิวถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า จากภาพประกอบที่ 3-4 (ก) แสดงให้เห็นว่าผิวหน้าของไทเทเนียมก่อนการขัดมีลักษณะพื้นผิวไม่เป็นระนาบเดียวกันและพื้นผิวจะมีสีดำหรือสีเทา (สีโลหะ) แต่เมื่อผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายและอะลูมิน่าพบว่าพื้นผิวไทเทเนียมมีลักษณะพื้นผิวเรียบ เป็นระนาบเดียวกันและมีสีพื้นผิวเทา (สีโลหะ) เงาวาว สาเหตุที่ต้องมีการปรับพื้นผิวให้เรียบเพื่อป้องกันการเกิดเกรน ภาพประกอบที่ 3-4 (ข)

การเกิดเกรน คือลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมเมื่อผ่านการแอโนไดเซชันจะทำให้พื้นผิวเป็นท่อนาโนที่มีความยาวไม่สม่ำเสมอและไม่เป็นระนาบเดียวกันอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับได้ เนื่องจากพื้นผิวของไทเทเนียมจะมีพื้นที่ในการดักจับที่ไม่เท่ากัน และจุดอิ่มตัวของไทเทเนียมทั้งแผ่นก็ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดักจับไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับพื้นผิวให้เรียบก่อนการแอโนไดเซชัน



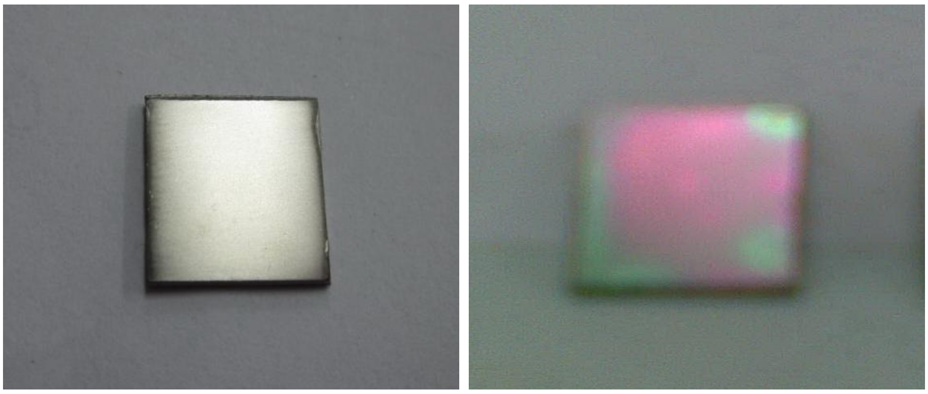
(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 3-4 ลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) ก่อนการขัดด้วยกระดาษทราย (ข) หลังขัดด้วยกระดาษทรายและอะลูมิน่า

3.2.2 ผลการเตรียมพื้นผิวเป็นท่อนาโนด้วยการแอโนไดเซชัน

ผลการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชันเมื่อมองด้วยตาเปล่า พบว่า กระบวนการแอโนไดเซชันมีผลต่อสีพื้นผิวของไทเทเนียม โดยเปลี่ยนไปจากสีเทา (สีโลหะ) (ภาพประกอบที่ 3-5 (ก)) เป็นสีชมพูแกมเขียว (ภาพประกอบที่ 3-5 (ข)) โดยสีชมพูจะเกิดบริเวณตรงกลางพื้นผิวและมีสีเขียวบริเวณขอบผิวไทเทเนียม สาเหตุที่ทำให้สีที่เกิดไม่ทั่วพื้นผิวเนื่องจากเกิดความไม่สม่ำเสมอของการแอโนไดเซชันไทเทเนียม เนื่องมาจากฟิล์มออกไซด์ที่ปกคลุมพื้นผิวไทเทเนียมมีลักษณะที่แตกต่างกัน และมีความหนาไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้สีที่เกิดไม่เป็นสีเดียวกันทั่วทั้งแผ่น

การเกิดสีของการแอโนไดเซชันไทเทเนียมเกิดจากความหนาที่เพิ่มขึ้นของชั้นฟิล์มออกไซด์ ทำให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอด[1]ระหว่างรังสีที่ตกกระทบแล้วสะท้อนออกจากชั้นออกไซด์ กับรังสีที่หักเหเข้าสู่ชั้นออกไซด์ไปตกกระทบที่ผิวโลหะแล้วสะท้อนออกมาเมื่อเกิดการแทรกสอดของรังสี ทำให้แสงที่เข้ามายังตามองเห็นสีนั้นๆ (Hook F *et al.*, 2002) โดยความยาวคลื่นที่แตกต่างกันนั้น จะถูกตรวจจับได้ด้วยดวงตาของมนุษย์ ซึ่งจะแปลผลด้วยสมองของมนุษย์ให้เป็นสีต่างๆ ในช่วง สีแดงซึ่งมีความยาวคลื่นยาวสุด (ความถี่ต่ำสุด) ที่มนุษย์มองเห็นได้ถึงสีม่วงซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นสุด (ความถี่สูงสุด) ที่มนุษย์มองเห็นได้ความถี่ที่อยู่ในช่วงนี้จะมีสีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีคราม



(ก) (ข)

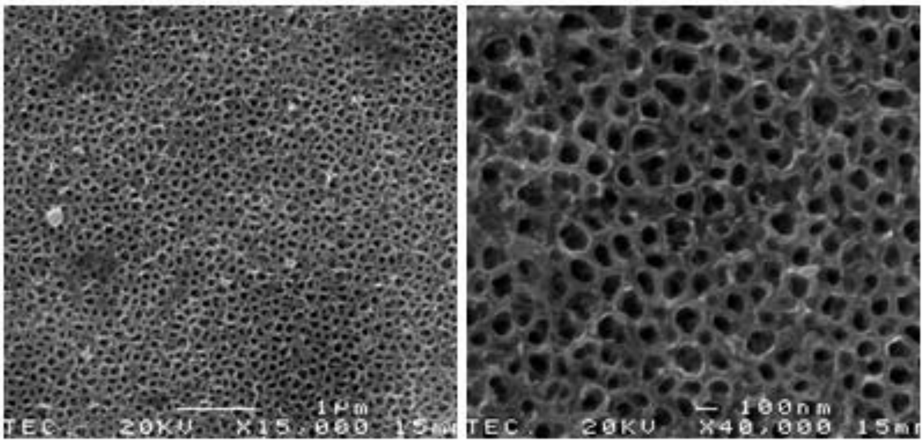
ภาพประกอบที่ 3-5 ลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียม

(ก) ก่อนการแอโนไดเซชัน (ข) หลังการแอโนไดเซชัน

---

[1] ปรากฏการแทรกสอด คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อสองคลื่นเคลื่อนที่บนตัวกลางเดียวกันมาพบกันอันเนื่องมาจากคุณสมบัติความเป็นคลื่นของแสง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความถี่ ความยาวคลื่น และเฟสทำให้เกิดเป็นสีต่างๆ

จากนั้นนำไทเทเนียมที่เตรียมได้จากการแอโนไดเซชันไปศึกษาลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานของพื้นผิวไทเทเนียมโดยรวมที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (ภาพประกอบที่ 3-6 (ก)) และวิเคราะห์พื้นผิวเชิงลึกที่กำลังขยายสูงสุด 40,000 เท่า ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3-6 (ข))



(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 3-6 ลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียม

(ก) ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (ข) ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 40,000 เท่า

ในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโนครั้งนี้ได้อ้างอิงสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่เป็นกรดซัลฟูริกผสมกับกรดไฮโดรฟลูออริกในการเตรียมเฟสอนาเทส (Anatase phase) ไทเทเนียมไดออกไซด์ตามงานวิจัยของ Mingthong *et al.* (2010) พบว่าลักษณะสันฐานของผิวไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นพื้นผิวที่อยู่ในลักษณะเป็นรูปท่อยาวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร โดยลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียมจากการแอโนไดเซชันจะมีพื้นผิวเป็นท่อนาโนทั่วทั้งแผ่นแต่มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ สาเหตุหลักน่าจะมาจากอิทธิพลของชนิด อิเล็กโตรไลต์ ความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด – เบส ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด และความหนาแน่นกระแสที่เกิดจากความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นปัจจัยตัวแปรเสริมที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อลักษณะสัณฐานไทเทเนียม โดยเฉพาะชนิดอิเล็กโตรไลต์ ความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด – เบสและความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดจะมีความสัมพันธ์กันเนื่องจากสารละลายอิเล็กโตรไลต์ส่วนใหญ่จะเลือกสารละลายที่มีฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบเพราะไทเทเนียมเป็นโลหะทรานซิชันจะมีความไวในการทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นสารประกอบ ไอออนิกซึ่งมีความรุนแรงในการกัดกร่อน ส่งผลให้เกิดชั้นฟิล์มที่มีลักษณะเป็นรูปท่อ

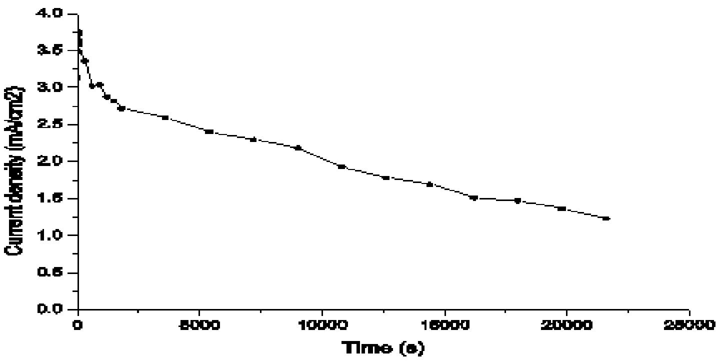
นาโนเคลือบลงไปบนพื้นผิวไทเทเนียมและในขณะเดียวกันค่าความต่างศักย์จะส่งผลต่อชั้นฟิล์มด้วยเช่นกัน โดยถ้าความต่างศักย์น้อยจะส่งผลให้ชั้นฟิล์มมาเคลือบบนพื้นผิวไม่ทั่วทั้งแผ่นแต่ถ้าหากความต่างศักย์มากเกินจะส่งผลให้ฟิล์มที่มาเคลือบบนพื้นผิวเป็นก้อน ปกคลุมบนพื้นผิวได้

โดยการศึกษาถึงผลของปัจจัยในกระบวนการแอโนไดเซชันต่อลักษณะพื้นผิวของไทเทเนียมที่เตรียมได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ได้นำมาอ้างอิง พบว่าพื้นผิวของไทเทเนียมจากงานวิจัยที่อ้างอิงจะมีพื้นผิวเป็นท่อนาโนทั่วทั้งแผ่น มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและโครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (มีขั้ว) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Vega *et al.*, 2007 พบว่าแอโนไดเซชันไทเทเนียมในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริกกับกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเกิดท่อนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 นาโนเมตร และมีความยาวของท่อ 0.11 ไมโครเมตรและมีการจัดเรียงตัวของรูพรุนอย่างเป็นระเบียบเช่นกัน ผลจากการศึกษาหาสาเหตุที่ท่อนาโนมีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ พบว่าไม่ได้มาจากชนิดของสารละลาย อิเล็กโตรไลน์ เนื่องจากโดยทั่วไปสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ในการแอโนไดเซชันไทเทเนียมคือกรดฟอสฟอริก กรดซัลฟูริก แอมโมเนียมซัลเฟต สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและสารละลายที่เป็นฟลูออไรด์ไอออน เป็นต้น (Diamanti and Pedeferri., 2006) แต่น่าจะมาจากการปรับพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นระนาบเดียวกันก่อนการแอโนไดเซชัน จึงทำให้พื้นผิวไทเทเนียมที่เตรียมได้นั้นเป็นท่อนาโนที่มีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบและจากการศึกษางานวิจัยในประเทศเกี่ยวกับการเตรียมไทเทเนียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน พบว่ามีการเตรียมไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโนด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลน์ 0.30 โมลาร์ NH_4F, Glycerol : H_2O (60:40) โดยลักษณะการจัดเรียงของท่อนาโนก็ไม่เป็นระเบียบแต่เมื่อนำมาใช้บำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ก็พบว่าไทเทเนียมสามารถบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศรัญญา ทองอุ่นและอภิชน วัชเรนทร์วงศ์ , 2011)

3.2.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความต่างศักย์ในการแอโนไดเซชัน

จากสภาวะการกระตุ้นพื้นผิวไทเทเนียมที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการแอโนไดเซชันกับความหนาแน่นกระแส ไฟฟ้า (ภาพประกอบที่3-7) พบว่าความหนาแน่นกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 3.71 ถึง 1.25 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เนื่องมาจากการเกิดฟิล์มเคลือบบนผิวของไทเทเนียมและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า [2](Current density) ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าฟิล์มป้องกันที่พื้นผิวสามารถเกิดการกัดกร่อนได้ตลอดช่วงเวลาที่ทำการแอโนไดเซชัน

[2] ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า คือ อัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดหนึ่ง



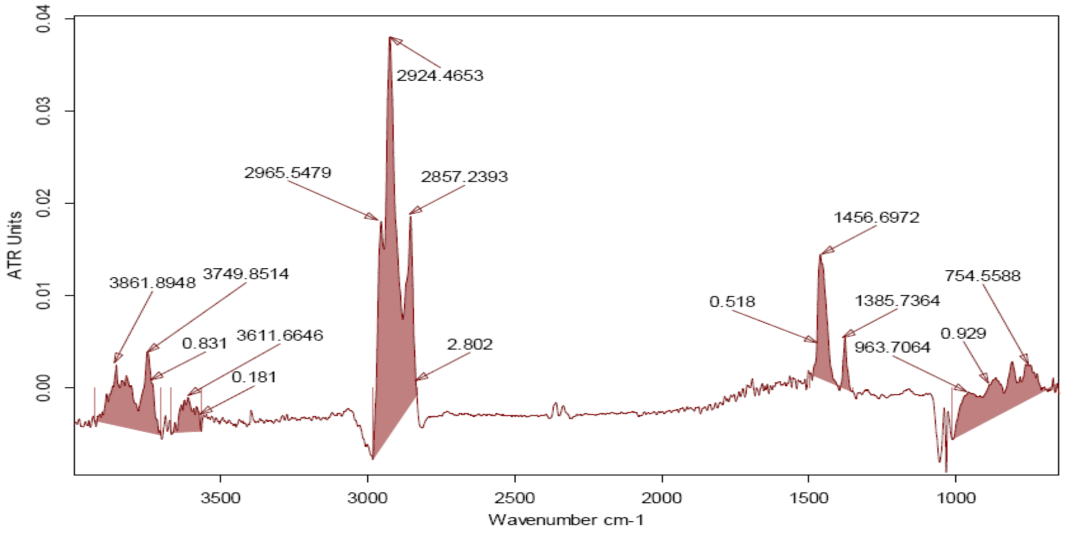
ภาพประกอบที่ 3-7 กราฟระหว่างเวลา กับความหนาแน่นกระแส ไฟฟ้าในการแอโนไดเซชัน ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์

3.3 ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยไทเทเนียม

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไทเทเนียมมาใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันโดยไทเทเนียมที่พื้นผิวต่างกันสองแบบคือ ไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวและไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวโดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่าและเขย่า เพื่อเลือกไทเทเนียมที่มีประสิทธิภาพในการดักจับที่สูงสุดโดยอ้างอิงการทดลองแบบแบตช์ตามงานวิจัยของ Azam *et al.* (2009)

3.3.1 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมส่วนล่างสุด

การดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันที่ผ่านการดักจับด้วยไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวและที่ไม่ปรับพื้นผิว จะมีความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันและองค์ประกอบของสารประกอบในน้ำมันพื้นฐานโดยใช้เทคนิค ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สะดวก รวดเร็ว และสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชั่นของสารประกอบอินทรีย์ได้ โดยเทคนิคการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นของสารอินทรีย์จะศึกษาจาก IR สเปกโทรสโกปีที่ใช้พลังงานช่วงความยาวคลื่นที่ดูดกลืนเข้าไปทำให้เกิดการสั่นของพันธะโมเลกุล เนื่องจากสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกัน ดังนั้นการดูดกลืนแต่ละช่วงคลื่นทำให้เกิดการสั่นที่แตกต่างกันตามไปด้วย (Nakanishi and Solomon., 1977)



ภาพประกอบที่ 3-8 สเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATR-FTIR ของน้ำมันพื้นฐาน

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันในน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมส่วนล่างสุดโดย ATR-FTIR พบแถบการสั่นในช่วงเลขคลื่น 758 1460 2924 3615 และ 3858 ซม$^{-1}$ ซึ่งเมื่อนำช่วงความยาวคลื่นไปเปรียบเทียบกับอินฟาเรดสเปกตรัมในงานวิจัยของ Nakanishi and Solomon (1977) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของสารอินทรีย์ พบว่าความยาวคลื่น 758 ซม$^{-1}$เป็นการสั่นสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชัน C-H ซึ่งตรงกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเบนซีนที่ช่วงเลขคลื่น1460 ซม$^{-1}$เป็นการสั่นสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันCH_3 ซึ่งตรงกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มแอลเคน ที่ช่วงเลขคลื่น2924 ซม$^{-1}$เป็นการสั่นสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันC-H ตรงกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของ เมทิลีน ที่ช่วงเลขคลื่น 3615 ซม$^{-1}$ เป็นการสั่นสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชัน O-H ของหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งตรงกับสารประกอบในคาร์บอนในกลุ่มแอลกอฮอล์ และช่วงเลขคลื่น3858ซม$^{-1}$เป็นการสั่นสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันO-H เช่นกัน แต่ตรงกับสารประกอบในคาร์บอนในกลุ่มของฟีนอล ดังที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่าดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันในแต่ละช่วงเลขคลื่น

เลขคลื่น (ซม$^{-1}$)	**หมู่ฟังก์ชัน**	**สารประกอบไฮโดรคาร์บอน**
758	C-H	benzene
1460	CH_3	alkane
2924	C-H	methylene
3615	O-H	alcohols
3858	O-H	phenols

ที่มา : Brian and Smith,(1996); Nakanishi and Solomon, (1977)

3.3.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมหลังการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมส่วนล่างสุดโดยไทเทเนียมที่พื้นผิวต่างกัน

นำน้ำมันหลังการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไทเทเนียมที่พื้นผิวต่างกันคือไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวและไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวโดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่าและเขย่าไปวัดด้วยเครื่อง ATR-FTIR นำอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาของการดักจับมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเวลาการดักจับของไทเทเนียมที่ผิวต่างกัน โดยสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลา จะได้สมการที่เหมาะสมในการจำลองพฤติกรรมการดักจับไฮโดรคาร์บอนด้วยไทเทเนียมเป็นสมการรูปคลื่นดังที่แสดงไว้ในสมการที่ (1)

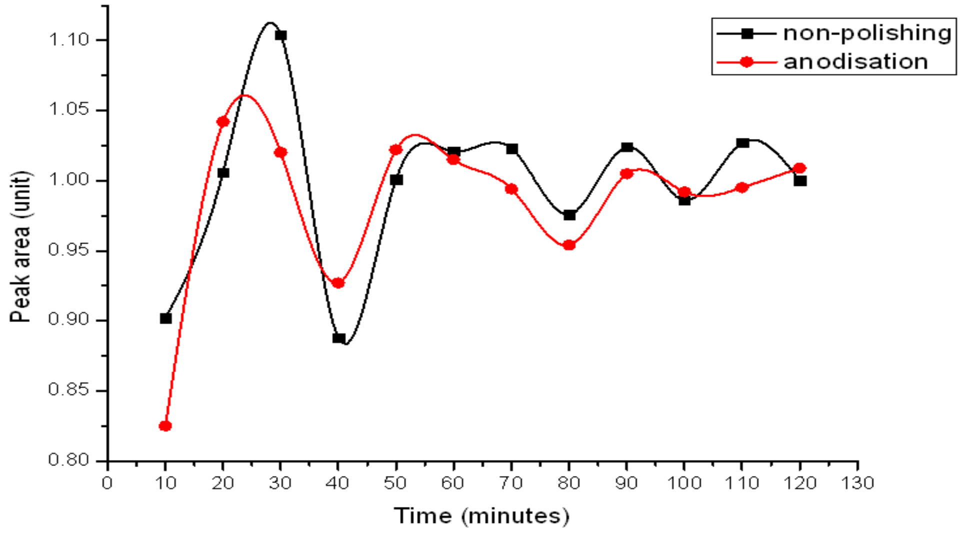
$$Y = Y_0 + A * Sin\left(\frac{\pi(X - X_c)}{W}\right) \qquad (1)$$

ซึ่งพฤติกรรมการดักจับของการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีการดูดซับทางกายภาพของ Irving Langmuir, 1917 โดยเป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแรงวัลเดอร์วาลส์จึงเป็นการยึดที่ไม่แข็งแรงและไม่มีพันธะเกิดขึ้น การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นได้บนผิวทั้งหมดของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณการดูดซับสูง การดูดซับอาจเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับ จากนั้นตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวถูกดูดซับ

3.3.2.1 ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่า

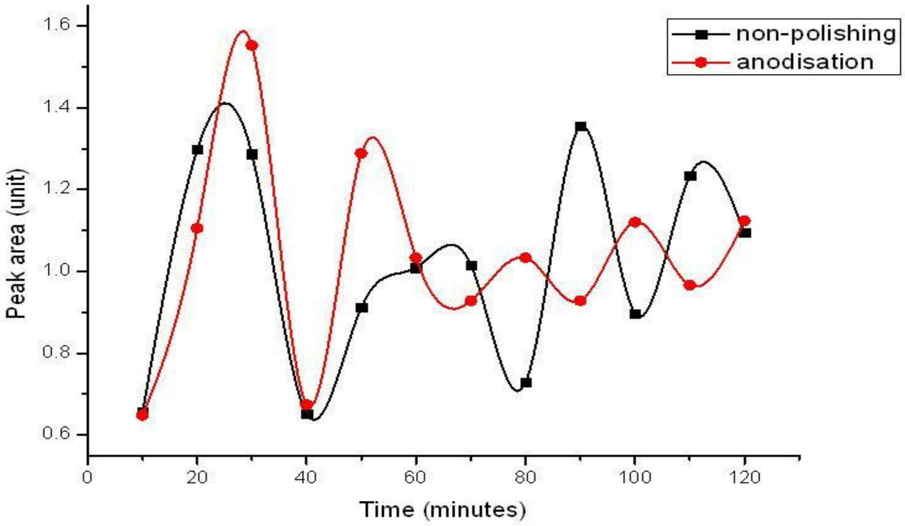
จากผลการศึกษาพฤติกรรมหลังการดักจับระหว่างพื้นผิวไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวกับไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิว โดยนำอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาของการดักจับมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเวลาการดักจับของไทเทเนียมที่ผิวต่างกัน ดังที่แสดงไว้ในสมการที่(1) พบว่าช่วง 0-10 นาทีแรกไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวมีความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้น้อย ทำให้ปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันสูง เนื่องจากคุณสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเมื่อโดนความร้อนหรืออุณหภูมิสูงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวออกจากกัน (Chetwittayachan *et al.*, 2002) ดังนั้นเมื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันได้รับความร้อนจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ จะเป็นตัวกระตุ้นทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีความสามารถในการละลายในน้ำมันได้ดีขึ้น จึงทำให้ปริมาณการตกค้างในน้ำมันเพิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อผ่านเข้าสู่นาทีที่ 30 ไปจนถึงนาทีที่ 80 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเกิดการรวมตัวกันเพื่อหาที่ในการยึดเกาะ โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะลงไปเกาะตามความลึกถึงก้นท่อของไทเทเนียม (ภาพประกอบที่ 3-9) จึงส่งผลให้ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำน้ำมันลดลง จนเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 90 พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเคลื่อนตัวออกจากไทเทเนียมอีกครั้ง เนื่องจากถึงจุดอิ่มตัวของพื้นผิวไทเทเนียมซึ่งจะเป็นชั้นที่ไม่มีการดูดซับอีก จึงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนถูกปล่อยออกมา แต่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและจะดักจับอีกครั้งเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 100 จึงทำให้ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน เหตุที่เป็นเช่นนั้นจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Treybai (1980) ที่อธิบายเกี่ยวกับระบบการดูดซับทางไดนามิกไว้ว่า เมื่อตัวถูกซับเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับจะถูกจับและเกาะติดบนสารดูดซับ เรียกเขตสมดุล ซึ่งเป็นชั้นที่ไม่มีการดูดซับอีกแล้ว ในขณะเขตที่ต่อจากเขตที่มีการอิ่มตัว[3]จะยังเกิดการดูดซับอยู่ได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะอิ่มตัว เขตนี้เรียกว่า เขตถ่ายเทมวล จึงทำให้ยังมีการดักจับเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาและจะเคลื่อนย้ายสารประกอบออกจากพื้นผิวเมื่อไทเทเนียมอิ่มตัวไปเรื่อยๆจนครบเวลาที่ 2 ชั่วโมง

[3] พื้นผิวอิ่มตัว หมายถึง พื้นที่หรือบริเวณที่สารใดๆยึดเกาะได้เพิ่มอีก



ภาพประกอบที่ 3-9 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของการเปรียบเทียบความสามารถของพื้นผิวไทเทเนียมก่อนและหลังปรับสภาพพื้นผิวในการดักจับในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่า

ในขณะเดียวกันความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิว (ภาพประกอบที่3-9) พบว่าพฤติกรรมการดักจับในช่วง 0-10 นาทีแรกของไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวมีความสามารถในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้น้อยเช่นเดียวกับไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิว เหตุที่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดการแตกตัวออกจากน้ำมันเมื่อได้ความร้อนจากอ่างควบคุมอุณหภูมิในช่วง 10 นาทีแรก จึงส่งผลให้ปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้นแต่เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงนาทีที่ 30 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเกาะติดลงบนพื้นผิวไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิว เนื่องจากพื้นที่ผิวในการดักจับของไทเทเนียมน้อยจึงถูกจำกัดด้วยพื้นที่ให้เกิดการเกาะติดบนพื้นผิวได้น้อยและเป็นแบบไม่แน่น จึงทำให้ปริมาณการตกค้างของสารประกอบเหลือมากกว่าน้ำมันที่ดักจับด้วยไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวเมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน จนเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 40 สารประกอบจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิวไทเทเนียมไปเรื่อยๆจนถึงนาทีที่ 80 และเมื่อเริ่มเข้าสู่นาทีที่ 80 ไทเทเนียมจะเกิดการดักจับอีกครั้งโดยลักษณะของกราฟจะเป็นแบบดูดและคายสลับกันไปเรื่อยๆจนครบเวลาที่ 2 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ 3-10 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของการเปรียบเทียบความสามารถของพื้นผิวไทเทเนียมก่อนและหลังปรับสภาพพื้นผิวในการดักจับในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่า

3.3.2.2 ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่า

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวกับไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิว (ภาพประกอบที่3-10) พบว่าพฤติกรรมการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในช่วงเวลานาทีที่ 10ไทเทเนียมทั้งสองแบบไม่มีการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงนาทีที่ 20 ความเข้มข้นของสารประกอบจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเมื่อโดนความร้อนจะสามารถละลายในน้ำมันได้ดี และมีอิทธิพลมาจากการเขย่าซึ่งเป็นการกระตุ้นให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลุดออกจากน้ำมันได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bekkouche *et al.* (2004) ที่กล่าวถึงอิทธิพลของการเขย่าจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฟีนอลแตกตัวออกจากสารอินทรีย์ได้ดี ซึ่งเป็นเหตุผลใกล้เคียงกับงานวิจัยและเมื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอนถูกกระตุ้นออกจากน้ำมันได้ดีแต่ความสามารถของไทเทเนียมในการตรึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไว้บนพื้นผิวเป็นแบบไม่แน่น เนื่องจากน้ำมันและไทเทเนียมจะมีการสั่นสะเทือนอยู่ตลอดเวลาทำให้กราฟการดักจับสารประกอบเป็นแบบดูดและคายที่ไม่สม่ำเสมอ จากนั้นกราฟจะค่อยๆลดลงในช่วงนาทีที่ 30 ไทเทเนียมทั้งสองแบบจะเกิดการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้น แต่ไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวจะเกิดการดักจับที่ดีกว่าเนื่องจากความเข้มข้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันลดลงมากกว่าน้ำมันที่ผ่านการดักจับด้วยไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวจนเข้าสู่นาทีที่ 40 50 และ 60 จะเห็นได้ว่าไทเทเนียมทั้งสองแบบ

จะเกิดการคายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกมาแต่ไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวจะคายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกมาน้อยกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวเนื่องจากพื้นที่ผิวของไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวสามารถดักจับสารประกอบได้ดีกว่าจนเข้าสู่จุดอิ่มตัวของการดูดซับ จากนั้นเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 80 ไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวจะคายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกสูงกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวเนื่องจากถึงจุดอิ่มตัวของไทเทเนียม

3.3.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไทเทเนียมที่พื้นผิวแตกต่างกันในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

3.3.3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่า

นำอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาของการดักจับมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเวลาการดักจับของไทเทเนียมที่ผิวต่างกัน โดยสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลา ดังที่แสดงไว้ในสมการที่ (1) พบว่าไทเทเนียมปรับพื้นผิวที่ช่วงเวลานาทีที่ 10-40 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวล เท่ากับ 2.5 นาทีที่ 40-80 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 1.37 และนาทีที่ 80-120 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ1.33 ไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวที่ช่วงเวลานาทีที่ 10-40 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 4.09 นาทีที่ 40-80 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 4.08 และนาทีที่ 80-120 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 1.33

จากนั้นนำค่าพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลมาเปรียบเทียบแนวโน้มประสิทธิภาพในการดักจับของไทเทเนียมที่ผิวต่างกัน โดยเอาค่าที่ได้จากการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลมาหารด้วยเวลาโดยใช้สูตรดังที่แสดงไว้ในสูตรที่ (2)

$$E = \frac{2H}{T} \qquad (2)$$

พบว่าไทเทเนียมปรับพื้นผิวสามารถดักจับได้ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิว คิดเป็น 1.60 2.97 และ1.0 เท่าต่อมวลตามลำดับ เนื่องจากไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวมีปริมาณช่องว่างของพื้นผิวไทเทเนียมที่จะให้น้ำมันซึมผ่านได้มากกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวจึงทำให้น้ำมันสามารถซึมลงก้นท่อได้ทั่วถึงทำให้มีพื้นที่สัมผัสกับน้ำมันมาก จึงส่งผลให้สามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นผิวไม่เรียบจึงมีช่องว่างให้น้ำมันซึมผ่านน้อย น้ำมันจึงไม่สามารถลงไปก้นท่อได้ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวกับน้ำมันน้อยกว่า ผลการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงน้อยกว่าไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิว

3.3.3.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่า

นำอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาของการดักจับมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเวลาการดักจับของไทเทเนียมที่ผิวต่างกันโดยสร้างสมการความสัมพันธ์ ดัง สมการที่ (1) พบว่าไทเทเนียมปรับพื้นผิวที่ช่วงเวลานาทีที่ 10-40 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 4.69 นาทีที่ 40-80 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 2.5 และนาทีที่ 80-120 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 0.6 ไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวที่ช่วงเวลานาทีที่10-40 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 3.91 นาทีที่ 40-80 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 1.72 และนาทีที่ 80-120 มีพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเท่ากับ 2.13

จากนั้นนำผลการทดลองข้างต้น มาคำนวณโดยใช้สูตรดังที่แสดงไว้ในสูตรที่ (2) พบว่าไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนสามารถดักจับได้ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิวคิดเป็น 0.83 0.68 และ 3.55 เท่าต่อมวลตามลำดับ

ผลการทดลองครั้งนี้จึงเลือกพื้นผิวไทเทเนียมที่มีศักยภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันมาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดักจับและอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการดักจับจากผลการทดลองในข้างต้น พบว่าไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนมีศักยภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันได้ดีที่กว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิว ดังนั้นจึงนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในตอนที่ 3.4

3.4 ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

3.4.1 ผลการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสม

ผลการวิเคราะห์หาปริมาตรน้ำมันที่แตกต่างกันคือที่ปริมาตร 2.5, 5, 7.5 และ 10 มิลลิลิตรต่อไทเทเนียมขนาด 1×1 เซนติเมตรที่ช่วงความยาวคลื่น 758, 1460, 2924, 3616 และ 3858 ซม$^{-1}$โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือทำการทดลองแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าและที่ไม่มีการเขย่า โดยเปรียบเทียบเทียบที่ใต้กราฟในช่วงเวลานาทีที่ 30 ถึงนาทีที่ 90 (ค่าพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเปรียบเทียบกับเวลาในแต่ละช่วงคลื่นจะแสดงในภาคผนวก ข-2)

ในการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของไทเทเนียมที่สามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนช่วงคลื่น 758 ซึ่งตรงกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเบนซิน ที่ทดลองในอ่างไม่เขย่าที่ปริมาตรน้ำมัน 5 > 2.5 > 7.5 > 10 มิลลิลิตร เท่ากับ 1.20, 1.50 และ 1.6 เท่าตามลำดับและที่ทดลองในอ่างที่เขย่า พบว่าปริมาตรน้ำมันที่ 5 < 10 < 7.5 < 2.5 มิลลิลิตร เท่ากับ 1.20, 1.60 และ 3.02 เท่าตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาพฤติกรรมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเบนซิน พบว่าพฤติกรรมในการดักจับเป็นแบบดูด-คาย เนื่องจากเบนซิน

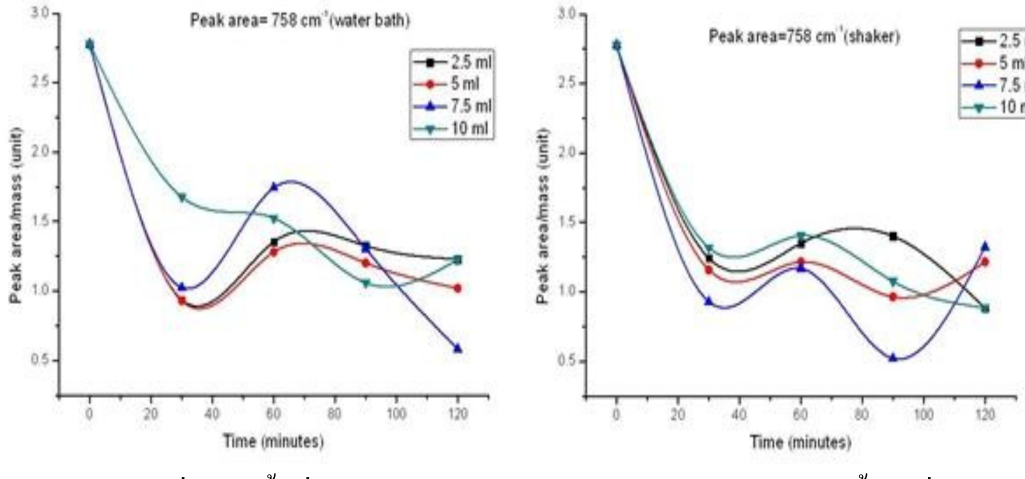
เป็นไฮโดรคาร์บอนมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (ไม่มีขั้ว) (บุญพฤกษ์ จาฎามระ และคณะ, 2538) แต่ไทเทเนียมที่นำมาใช้ในการการดักจับจะมีโครงสร้างพื้นผิวที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (มีขั้ว) (Mingthong *et al.*,2010) จึงทำให้ความสามารถในการดักจับได้น้อย แต่ก็สามารถดักจับด้วยแรงเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดของตัวไทเทเนียม จึงทำให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเกาะติดบนพื้นผิวไทเทเนียมด้วยแรงวัลเดอร์วาล ชนิดแรงลอนดอน (Irving Langmuir, 1917) จึงทำให้ไทเทเนียมแยกตัวออกจากไทเทเนียมได้เมื่อถึงจุดอิ่มตัวบนพื้นผิวไทเทเนียม

ในขณะเดียวกันที่ช่วงความยาวคลื่นที่ 1460 ซม$^{-1}$ ซึ่งตรงกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของแอลเคน พบว่าแอลเคนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นอะลิฟาติก มีคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่ชอบน้ำ (บุญพฤกษ์ จาฎามระ และคณะ, 2538) ส่งผลให้ประสิทธิภาพของไทเทเนียมที่ทดลองในอ่างไม่เขย่าที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 10 < 7.5 < 2.5 มิลลิลิตร เท่ากับ 1.10, 1.21 และ 1.40 เท่า และที่ทดลองในอ่างเขย่าพบว่าปริมาตรน้ำมัน 5 < 7.5 < 10 < 2.5 มิลลิลิตรเท่ากับ 1.02, 1.21 และ 1.68 เท่า ซึ่งประสิทธิภาพในการดักจับมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อพิจารณาค่าพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาที่คำนวณได้ และเมื่อพิจารณากลไกการดักจับ พบว่าพฤติกรรมการดักจับคล้ายคลึงกันกับการดักจับเบนซีน เนื่องจากไทเทเนียมมีแรงยึดเหนี่ยวแอลเคนที่มีมากกว่าพลังงานจลน์มาจับบนพื้นผิวไทเทเนียมด้วยแรงลอนดอนซึ่งเป็นแรงอ่อนๆ จึงทำให้มีการผันกลับได้แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าเนื่องจากไทเทเนียมไม่มีพลังงานจลน์ (อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า) (Irving Langmuir, 1917) จึงทำให้พลังงานของแอลเคนน้อยกว่าแรงดึงดูดของไทเทเนียม จึงทำให้ไทเทเนียมที่ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่ามีประสิทธิภาพในการดักจับได้ดีเมื่อเทียบกับที่ปริมาตรน้ำมัน 5 มิลลิลิตรที่ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า

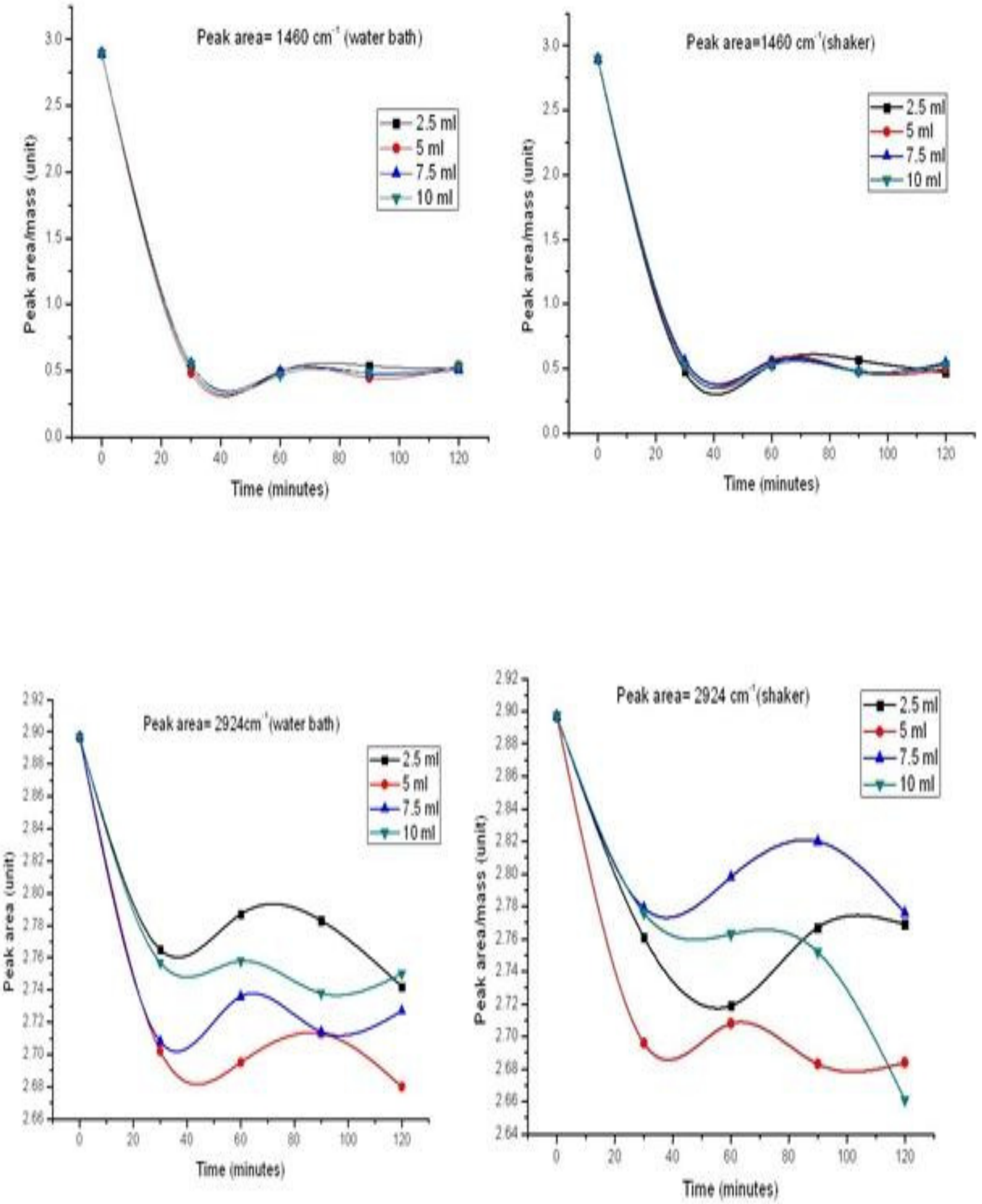
ที่ช่วงความยาวคลื่น 2924 ซม$^{-1}$ ตรงกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเมทิลีน พบว่าประสิทธิภาพของไทเทเนียมในการดักจับเมทิลีนที่ทดลองในอ่างไม่เขย่าที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 10 < 2.5 < 7.5 มิลลิลิตรเท่ากับ 1.16, 1.33 และ 1.66 เท่าแต่ที่ทดลองในอ่างเขย่าพบว่าปริมาตรน้ำมัน 10 < 5 < 7.5 < 2.5 มิลลิลิตรเท่ากับ 1.20, 2.40 และ 2.60 เท่าตามลำดับ สาเหตุหลักที่ไทเทเนียมสามารถดักจับได้ดีที่ปริมาตรน้ำมัน 10 มิลลิลิตร เนื่องจากสารในกลุ่มของเมทิลีนเมื่อโดนความร้อนจากอ่างที่เขย่าซึ่งจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้โมเลกุลโควาเลนต์ที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงลอนดอน (ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงอ่อนๆ) จึงทำให้เมทิลีนที่อยู่ในน้ำมัน 10 มิลลิลิตรที่ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่าแยกตัวออกจากน้ำมันได้ดีแต่เมื่อพิจารณากลไกการดักจับพบว่าที่ทำการทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่าและมีการเขย่าไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเมื่อเทียบกันในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจาก

ไทเทเนียมเมื่อทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีเขย่าส่งผลให้ไทเทเนียมมีแรงดึงดูดที่น้อยกว่าพลังงานจลน์ของเมทิลีน ดังนั้นไทเทเนียมจึงดึงดูดเมทิลีนให้มาจับบริเวณพื้นผิวไทเทเนียม หลังจากนั้นจะเกิดแรงดึงดูดที่เรียกว่าแรงลอนดอนซึ่งเป็นแรงอ่อนๆระหว่างไทเทเนียมกับเมทิลีน ซึ่งแรงนี้สามารถผันกลับได้ จึงทำให้เมทิลีนแยกตัวออกจากไทเทเนียมได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการดักจับในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่า พบว่า ประสิทธิภาพการดักจับมีส่วนต่างกันประมาณ 0.04 เท่าต่อมวล เนื่องจากไทเทเนียมที่ทดลองในอ่างที่ไม่เขย่าจะไม่มีพลังงานจลน์มากระตุ้น จึงทำให้พลังงานของไทเทเนียมมากกว่าเมทิลีนจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับไม่แตกต่างกัน

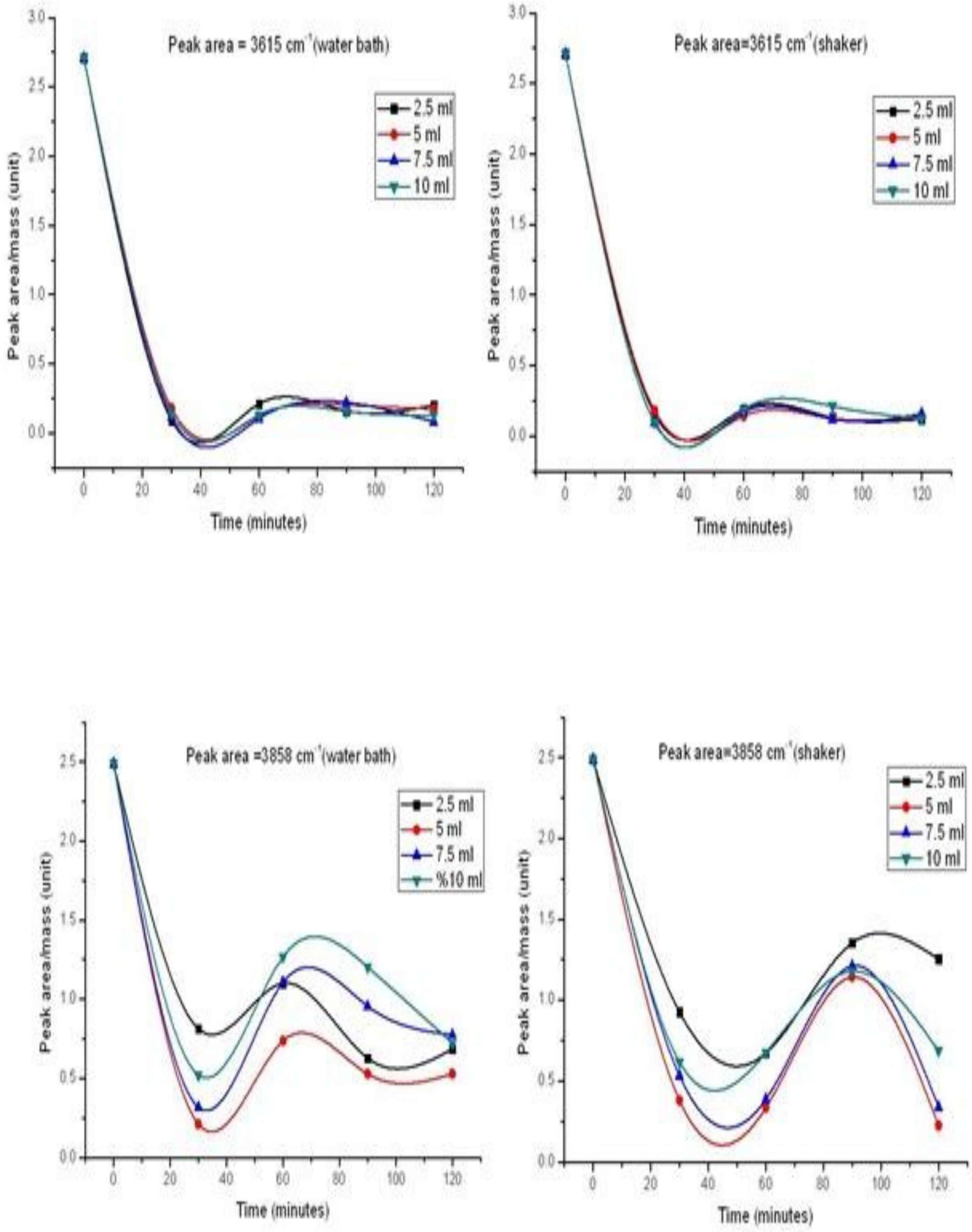
ช่วงความยาวคลื่นที่ 3615 ซม$^{-1}$ ประสิทธิภาพของไทเทเนียมทดลองในอ่างไม่เขย่าที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 7.5 < 10 < 2.5 มิลลิลิตร เท่ากับ 1.20, 1.40 และ 1.60 เท่า และที่ทดลองในอ่างเขย่าพบว่าปริมาตรน้ำมัน 5 < 2.5 < 7.5 < 10 มิลลิลิตรเท่ากับ 1.02, 1.40 และ 1.60 เท่า และสุดท้ายที่ช่วงความยาวคลื่นที่ 3858 ซม$^{-1}$ ประสิทธิภาพของไทเทเนียมทดลองในอ่างไม่เขย่าที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 2.5 < 7.5 และ 10 มิลลิลิตรเท่ากับ 1.33 และ 1.41 เท่าและที่ทดลองในอ่างเขย่าพบว่าปริมาตรน้ำมัน 5 < 2.5 < 10 < 7.5 มิลลิลิตรเท่ากับ 1.05, 1.23 และ 1.29 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณากลไกการดักจับพบว่า แอลกอฮอล์ และฟีนอลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำและชอบน้ำ (บุญพฤกษ์ จาฎามระ และคณะ, 2538) ซึ่งเมื่อนำไทเทเนียมมาดักจับพบว่าไทเทเนียมโครงสร้างพื้นผิวส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ จึงทำให้แอลกอฮอล์ และฟีนอลสามารถสร้างพันธะไฮโดรคาร์บอนระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วได้ ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการดักจับของไทเทเนียมในการดักจับแอลกอฮอล์ และฟีนอลสูงกว่าการดักจับเบนซีน แอลเคน และเมทิลีน



ภาพประกอบที่ 3-11 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาในการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมกับพื้นผิวไทเทเนียมในการดักจับในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่าและไม่เขย่า



ภาพประกอบที่ 3-11 (ต่อ)



ภาพประกอบที่ 3-11 (ต่อ)

จากนั้นนำน้ำมันก่อนและหลังการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนไปวัดหาค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวม ด้วยวิธีมาตรฐาน IP 345 method โดยวัดด้วยเครื่อง GC/MS พบปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมก่อนการดักจับด้วยไทเทเนียมมีปริมาณร้อยละ 25 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมหลังการดักจับที่ปริมาตรน้ำมัน 5, 7.5 และ 10 มิลลิลิตรที่ทำการทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่า คิดเป็นร้อยละการตกค้าง 23.54, 24.37 และ24.42 ตามลำดับในขณะเดียวกัน ร้อยละการตกค้างที่ทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าเป็นร้อยละ 24.65, 24.86 และ24.92 ตามลำดับ (ตารางที่3-2)โดยปริมาณร้อยละการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมที่ได้มีค่าลดลงประมาณ 1 เปอร์เซ็น สามารถสังเกตจากร้อยละการลดลงของสารปริมาณการตกค้างที่มีค่าลดลงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการพิจารณาการดักจับมิได้พิจารณาเพียงผลได้อย่างเดียวแต่ต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดักจับคือ

1.อุณหภูมิของสารถูกดักจับ จะมีผลต่อการดักจับเนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มมาก โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะไม่แยกตัวออกจากน้ำมันแต่ถ้าหากอุณหภูมิสูงเกินจะส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีระดับพลังงานจลน์มากขึ้นเอาชนะแรงดึงดูดของไทเทเนียมทำให้ไฮโดรคาร์บอนเคลื่อนที่กลับเข้าไปในน้ำมันได้ (Rousseau, 1987)

2. สมบัติทางเคมีของน้ำมัน เกี่ยวกับความเสถียรภาพต่อการออกซิไดซ์ เพราะเมื่อนำมันสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ จะสามารถถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดยางสารที่เป็นยางเหนียวส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะแยกตัวออกจากน้ำมันได้ยากขึ้น

3. ความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่นในน้ำมัน นอกจากจะพบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเป็นส่วนประกอบแล้วยังพบสารที่ไม่อิ่มตัวจำพวกกำมะถัน สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นต้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการดักจับลดลงเนื่องจากสารประกอบอื่นก็อาจจะถูกดูดซับไปด้วยจึงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ต้องกำจัดได้น้อยลง

4. ลักษณะรูปทรงของอนุภาคของไทเทเนียม จากงานวิจัยของ Fujita *et al.* (1988) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับโครงสร้างและขนาดรูพรุนที่มีผลต่อการดักจับ พบว่าส่วนของชั้นรูพรุน ผิวที่สัมผัสกับตัวถูกดูซับได้ดีถ้าเกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ที่มีผนังเป็นรูพรุนขนาดเล็กทะลุถึงกันจะทำให้ตัวดูดถูกดูดซับมีพื้นที่ในการดักจับได้มากกว่ารูพรุนที่มีเพียงชั้นเดียว และมีขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อพิจารณาบริเวณส่วนของชั้นรูพรุน มีขนาดเล็กทะลุถึงกัน เกิดขึ้นจำนวนมาก จะส่งผลให้ไอระเหยหรือตัวถูกดูดซับแพร่ออกจากพื้นผิวได้น้อย (Rousseau, 1987)

ดังนั้นผลจากการศึกษางานวิจัยจึงพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทดลองโดยพื้นผิวของไทเทเนียมที่เตรียมขึ้นจะมีส่วนของชั้นรูพรุนเพียงชั้นเดียวและไม่มีรูพรุนขนาดเล็กทะลุถึงกัน จึงส่งผลให้ศักยภาพการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมของไทเทเนียมน้อย ปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันก็ลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน

ตารางที่ 3-2 ร้อยละการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหลังการดักจับ

ตัวอย่าง (ml)	ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า	อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า
น้ำมันก่อนการดักจับ 4	25.03	24.97
2.5	NA	NA
5	23.54	24.65
7.5	24.37	24.86
10	24.42	24.92

หมายเหตุ : not analyzed

3.4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดักจับ

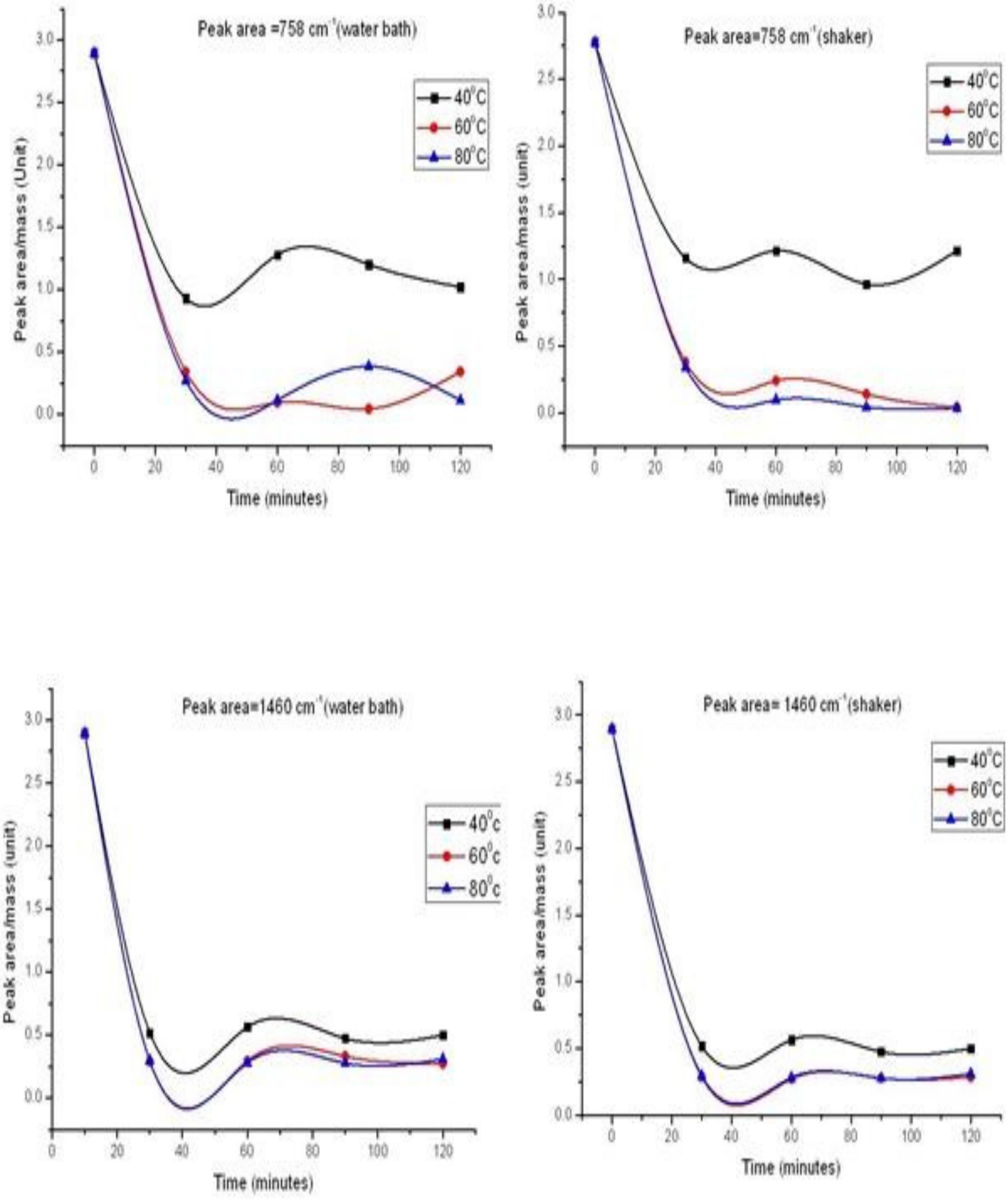
นำผลการทดลองที่ดีที่สุดในการหาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะต่อไทเทเนียมคือที่ปริมาตรน้ำมัน 5 มิลลิลิตรมาศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของระบบที่ส่งผลให้ไทเทเนียมมีประสิทธิภาพการดักจับสารประกอบได้เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียสโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือทำการทดลองแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าและที่ไม่มีการเขย่า

การทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่าที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส (ค่าพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเปรียบเทียบกับเวลาในแต่ละช่วงคลื่นจะแสดงในภาคผนวก ข-3.1) เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาโดยเปรียบเทียบเทียบที่ใต้กราฟในช่วงเวลานาทีที่ 30 ถึงนาทีที่ 90 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับของอุณหภูมิที่ช่วงเลขคลื่น 758 ซม$^{-1}$พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับได้ดีที่อุณหภูมิ 60 > 80 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.16 และ 1.51 เท่า ช่วงเลขคลื่น 1460 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 80 > 60 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.05 และ 1.12 เท่า ช่วงเลขคลื่น 2924 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 60 > 80 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.19 และ 2.61 เท่า ช่วงเลขคลื่น 3615 ซม$^{-1}$

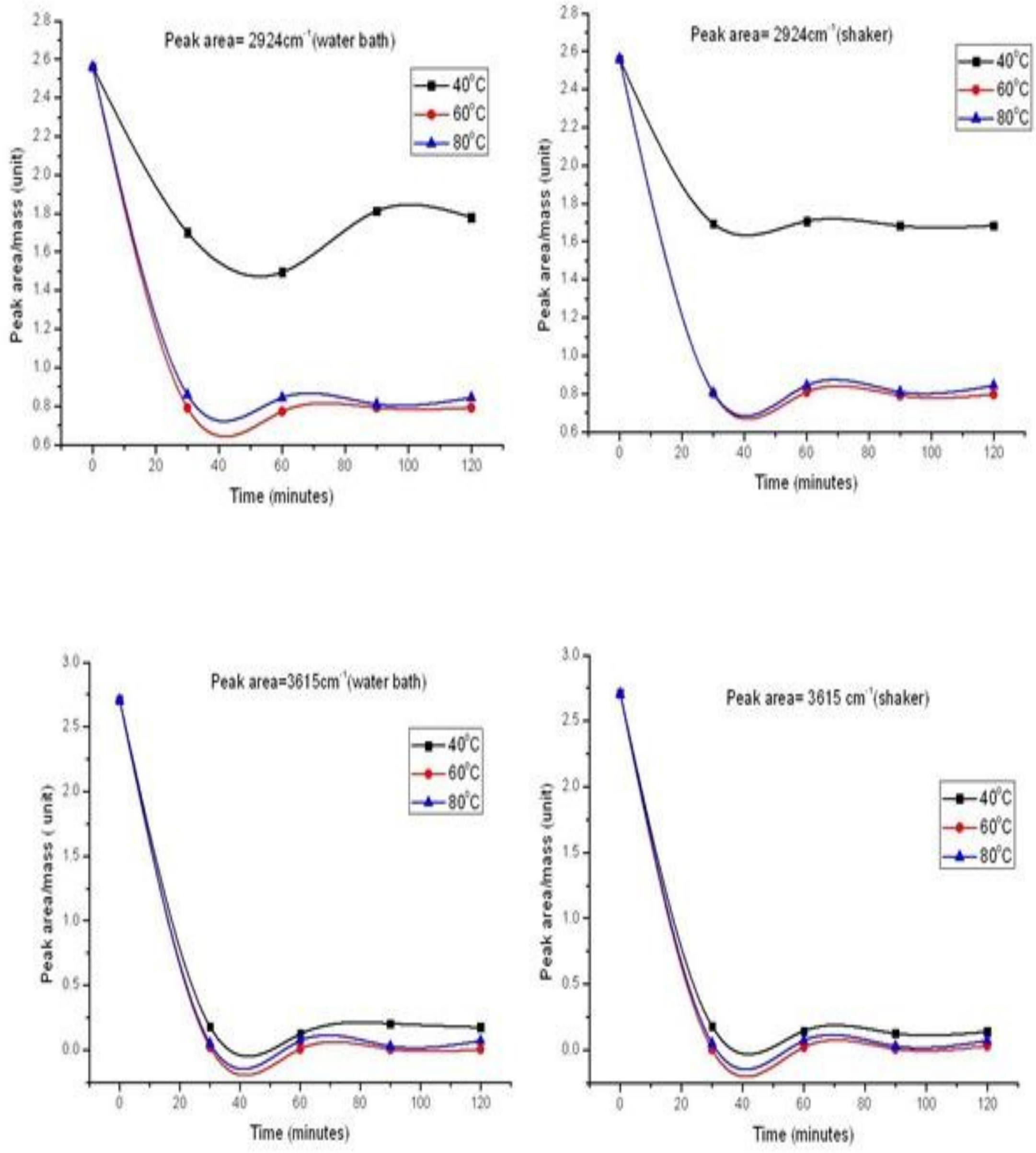
ที่อุณหภูมิ 60 > 40 > 80 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.00 และ 1.20 เท่า และช่วงเลขคลื่น 3858 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 60 > 80 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 5.70 และ 7.38 เท่า

การทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส (ค่าพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลเปรียบเทียบกับเวลาในแต่ละช่วงคลื่นจะแสดงในภาคผนวก ข-3.2) เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับของอุณหภูมิที่ช่วงเลขคลื่น 758 ซม$^{-1}$ พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับได้ดีที่อุณหภูมิ 60 > 80 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.66 เท่า ช่วงเลขคลื่น 1460 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 60 และ 80 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.50 เท่า ช่วงเลขคลื่น 2924 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 60 และ 80 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.50 เท่า ช่วงเลขคลื่น 3615 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 60 และ 40 > 80 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.21 และ 1.20 เท่า และช่วงเลขคลื่น 3858 ซม$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 60 > 80 > 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.33 และ 4.66 เท่า

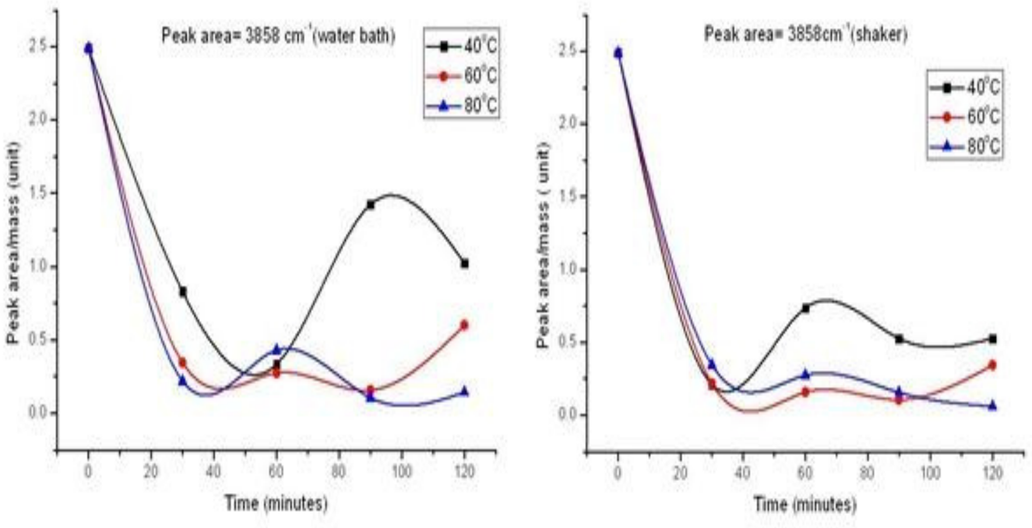
จากผลการทดลองจึงอธิบายได้ว่าอุณหภูมิของระบบที่ส่งผลให้ไทเทเนียมมีประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่กระตุ้นให้เบนซีน แอลเคน เมทิลีน แอลกอฮอล์และฟีนอลแยกตัวออกจากน้ำมันได้ดี โดยเฉพาะเบนซีน แอลเคน เมทิลีน จะมีโครงสร้างโมเลกุลโควาเลนต์แบบไม่มีขั้ว เพราะโมเลกุลยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงอ่อนๆ (บุญพฤกษ์ จาฏามระ และคณะ, 2538) ดังนั้นเมื่อได้รับอิทธิพลความร้อนจึงโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนแยกตัวออกจากน้ำมันได้ดีส่งผลให้ไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ แต่เมื่อพิจารณาการดักจับแอลกอฮอล์ และฟีนอล พบว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยโครงสร้างโมเลกุลโควาเลนต์แบบมีขั้วและมีความสามารถในการดึงดูดระหว่างขั้วได้จึงทำให้การดักจับบนพื้นผิวไทเทเนียมได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการดักจับเบนซีน แอลเคน เมทิลีน ในช่วงเวลาเดียวกัน และเมื่อพิจารณากลไกการดักจับที่ทดลองในอ่างที่ไม่เขย่าพบว่า ไทเทเนียมจะมีแรงเหนี่ยวนำระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีมากกว่าพลังงานจลน์ให้ดักจับบนพื้นผิวไทเทเนียมด้วยแรงลอนดอน ทำให้มีการผันกลับได้แต่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเนื่องจากไม่มีพลังงานจลน์ (อ่างเขย่า) มากระตุ้นไฮโดรคาร์บอน จึงทำให้พลังงานของไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าแรงดึงดูดของไทเทเนียม จึงทำให้เกิดการดักจับเกิดขึ้น แต่เมื่อทดลองในอ่างควบคุมที่มีการเขย่าจะส่งผลให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแยกตัวออกจากน้ำมันได้ดีเนื่องจากพลังงานจลน์ที่ได้รับอิทธิพลจากการกระตุ้นในอ่างที่เขย่าจะส่งผลให้ไฮโดรคาร์บอนมีพลังงานมากกว่าจึงแยกตัวออกจากน้ำมันได้ดีแต่อาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการดักจับ เนื่องจากไทเทเนียมมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาส่งผลให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจับบนพื้นผิวไทเทเนียมไม่แข็งแรง ประสิทธิภาพการดักจับจึงน้อยกว่าทดลองในอ่างที่ไม่เขย่า



ภาพประกอบที่ 3-12 พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาในการศึกษาอุณหภูมิ 40 60 และ 80 ^{0}C



ภาพประกอบที่ 3-12 (ต่อ)



ภาพประกอบที่ 3-12 (ต่อ)

จากนั้นนำน้ำมันที่ผ่านการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนต่อปริมาตรน้ำมัน 5 มิลลิลิตร ไปวัดหาค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมที่เหลือหลังการดักจับด้วยวิธีมาตรฐาน (ภาคผนวก ข) พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมก่อนการดักจับมีค่าโดยประมาณร้อยละ 25 และเมื่อผ่านการดักจับด้วยไทเทเนียมที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมที่ทดลองในอ่างที่ไม่เขย่าจะลดลงเหลือร้อยละ 23.87, 23.37 และ 24.67 ตามลำดับและที่ทดลองในอ่างที่เขย่าลดลงเหลือร้อยละ 23.63, 23.27 และ 23.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 3-3) โดยจากงานวิจัย Coate *et al.* (1986) ได้อธิบายสมบัติทางเคมีของน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียม เกี่ยวกับความเสถียรต่อการออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญสุดเพราะเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ จะสามารถถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดสารที่เป็นยางเหนียว ซึ่งสารที่เป็นยางเหนียวนี้จะเป็นตัวกลางที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิที่สูง ดังนั้นดัชนีความหนืดสูงหรือจะเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อย เมื่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเมื่อน้ำมันมีดัชนีความหนืดต่ำ น้ำมันก็มักจะมีอุณหภูมิสูง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของน้ำมันจะลดต่ำลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากกว่าอุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิจะส่งผลต่อดัชนีความหนืดของน้ำมัน ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันแตกตัวได้ยาก แต่หากใช้อุณหภูมิที่สูงมากจะทำให้โมเลกุล

ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีระดับพลังงานที่มากกว่าจึงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลับเข้าไปในเนื้อน้ำมันอีกครั้ง จึงส่งผลให้ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมจึงมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3-3 ร้อยละปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลังการดักจับที่อุณหภูมิต่างกัน

ตัวอย่าง (ml)	ปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)					
	อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า			อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า		
	40	60	80	40	60	80
น้ำมันก่อนการดักจับ	24.95	24.86	24.97	24.98	24.94	24.92
5	23.87	23.37	23.97	23.63	23.27	23.56

หมายเหตุ : น้ำมันก่อนการดักจับใช้ 5 ml

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลความสามารถไทเทเนียมเบื้องต้น

4.1.1 ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยไทเทเนียมแมงกานีสและเรซินในน้ำในหล่อลื่นสำเร็จรูป

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยATR-FTIR ในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปพบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มเมทิลีน และเมื่อนำอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด เปรียบเทียบระดับความเข้มข้นต่อระยะเวลาในการตรึงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับของวัสดุพบว่าแมงกานีสมีประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้สูงกว่าเรซินและไทเทเนียม 1.15 – 2.90 และ 1.20 – 4.80 เท่าต่อน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของแมงกานีสประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากจึงทำให้มีพื้นที่ในการดักจับของแมงกานีสมากกว่าเรซินและไทเทเนียม

ผลการศึกษาครั้งนี้จึงนำไทเทเนียมมาพัฒนาพื้นผิวเป็นท่อนาโนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดักจับด้วยกระบวนการแอโนไดเซชันและนำมาประยุกต์ใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งเป็นน้ำมันตั้งต้นที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันยางแทนน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป เนื่องจากน้ำมันปิโตรเลียมจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิด

4.2 สรุปผลการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมเป็นท่อนาโน

4.2.1 ผลการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมเป็นท่อนาโนโดยวิธีการแอโนไดเซชัน

จากผลการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยการแอโนไดเซชันจะแสดงลักษณะพื้นผิวทางภายนอกเมื่อมองด้วยตาเปล่าพบว่าไทเทเนียมที่ผ่านการแอโนไดเซชันมีผลต่อสีพื้นผิวของไทเทเนียม โดยเปลี่ยนไปจากสีเทาเป็นสีชมพูแกมเขียว โดยสีชมพูจะเกิดบริเวณตรงกลางพื้นผิวและมีสีเขียวบริเวณขอบผิวไทเทเนียมและเมื่อนำไทเทเนียมที่ผ่านการแอโนไดเซชันมาศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวพบว่าภายในพื้นผิวไทเทเนียมจะประกอบด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนเมตรกระจายทั่วทั้งแผ่นแต่มีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ

4.2.2ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันโดยไทเทเนียม

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันในน้ำมันปิโตรเลียม พบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเบนซีน แอลเคน เมทิลีน แอลกอฮอล์ และฟีนอล

จากการวิเคราะห์กราฟการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปรากฏว่าไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวและที่ไม่ปรับพื้นผิวจะมีพฤติกรรมในการดักจับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่จุดอิ่มตัวของการดูดซับ หลังจากนั้นจะเกิดการคายสารประกอบออกมาซึ่งความสามารถในการดูด – คายจะขึ้นอยู่กับจุดสมดุลของไทเทเนียม นำค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเวลาในการดูด-คาย พบว่าไทเทเนียมที่ปรับพื้นผิวจะมีความสามารถในการดักจับได้ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ปรับพื้นผิว เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟที่มีระดับพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลต่ำสุดเมื่อเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน

4.3 สรุปผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยไทเทเนียมพื้นผิวเป็นท่อนาโนสำหรับเพื่อการประยุกต์ใช้

4.3.1 ผลการศึกษาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโน

ในการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมต่อไทเทเนียม เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเบนซีนที่ปริมาตรน้ำมัน 5 > 2.5 > 7.5 > 10 มิลลิลิตร สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของแอลเคนที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 10 < 7.5 < 2.5 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพของไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของเมทิลีนที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 10 < 2.5 < 7.5 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพของไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของแอลกอฮอล์ที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 7.5 < 10 < 2.5 มิลลิลิตร และประสิทธิภาพของไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของฟีนอลที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 2.5 < 7.5 และ 10 มิลลิลิตร

ในการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมต่อไทเทเนียมเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของไทเทเนียมในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในแต่ละช่วงคลื่น พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับเบนซีนได้ดีที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 10 < 7.5 < 2.5 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพของไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของแอลเคนได้ที่ปริมาตรน้ำมัน 5 < 7.5 < 10 < 2.5 มิลลิลิตร ซึ่งจะแตกต่างจากประสิทธิภาพในการดักจับเมทิลีน พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับได้ดีที่ปริมาตรน้ำมัน 10 < 5 < 7.5 < 2.5 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพของไทเทเนียมสามารถดักจับ

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของแอลกอฮอล์ได้ดีที่ปริมาตรน้ำมัน5 < 2.5 < 7.5 < 10 มิลลิลิตร และประสิทธิภาพของไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มของฟีนอลได้ดี 5 < 2.5 < 10 < 7.5 มิลลิลิตร

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

การทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีการเขย่าที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับ พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับเบนซีน เมทิลีน และแอลกอฮอล์ได้ดีที่อุณหภูมิ 60 > 80 > 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะแตกต่างกับการดักจับแอลเคนได้ดีที่อุณหภูมิ 80 > 60 > 40 องศาเซลเซียส และดักจับฟีนอลได้ดีที่อุณหภูมิ 60 > 40 > 80 องศาเซลเซียส

การทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟต่อมวลกับเวลาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับ พบว่าไทเทเนียมสามารถดักจับเบนซีนได้ดีที่อุณหภูมิ 60 > 80 และ 40 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60 และ 80 > 40 องศาเซลเซียส สามารถดักจับแอลเคนและเมทิลีนได้ดี แอลกอฮอล์สามารถดักจับได้ดีที่อุณหภูมิ 60 และ 40 > 80 องศาเซลเซียส และสามารถดักจับฟีนอลได้ดีที่อุณหภูมิ 60 > 80 > 40 องศาเซลเซียส

4.4 ข้อเสนอแนะ

4.4.1ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปและน้ำมันพื้นฐานจากปิโตรเลียม ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเพิ่มศักยภาพของไทเทเนียม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเพิ่มจำนวนรูพรุน ความยาวท่อ และขนาดโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน เพื่อจะทำให้ไทเทเนียมสามารถดักจับสารประกอบได้มากขึ้น

4.4.2ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไทเทเนียมที่พื้นผิวเป็นท่อนาโนมาประยุกต์ใช้ในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันที่มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) แต่ไทเทเนียมที่เตรียมได้ประกอบด้วยโครงสร้างส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรนำไทเทเนียมที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในการดักจับสารที่มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ เพื่อที่จะได้ประสิทธิภาพในการดักจับดีเพิ่มขึ้น

4.4.3 ไทเทเนียมที่เตรียมได้จากการทดลองเป็นสารกึ่งตัวนำในรูปผลึกของ anatase และเป็นสารโฟโตคะตะลิตส์ (photocatalyst) หรือกล่าวง่ายๆว่าเป็นสารที่สามารถถูกเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยแสงอัลตราไวโอเลต โดยหลักการพื้นฐานของเทคนิคโฟโตคะตะไลซิส เริ่มจากการที่แสงอัลตราไวโอเลตใกล้ที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 390 นาโนเมตร ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ (Valence-band) ของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบกึ่งตัวนำ จึงสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลน้ำที่ผิวและเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นสารอนุมูลอิสระที่มีพลังออกซิไดซ์สูงมาก ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ โดยทำให้เกิดการแตกสลายตัวเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด (ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์, 2551) ในงานวิจัยต่อไปอาจศึกษาการนำไทเทเนียมที่เตรียมได้ไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม

4.4.4 ขั้นตอนการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโน ควรจะเตรียมพื้นผิวให้เป็นระนาบเดียวกันทั้งแผ่น เนื่องจากเมื่อทำการแอโนไดเซชันทำให้เกิดรูพรุนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนที่มีการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น

4.4.5 ในขั้นตอนการตรวจสอบพื้นผิวไทเทเนียมควรตรวจสอบองค์ประกอบธาตุที่เกาะอยู่บนพื้นผิวไทเทเนียมหลังการแอโนไดเซชัน

4.4.6 ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันควรใช้เครื่อง GC/MSในการวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันร่วมด้วย เนื่องจากเครื่อง ATR-FTIR จะสามารถบอกได้แค่ประสิทธิภาพการดักจับของไทเทเนียมแต่ไม่สามารถบอกได้ว่าปริมาณการตกค้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเหลือเท่าใด

บรรณานุกรม

กระบวนการผลิตน้ำมันยาง. 2553. เข้าถึง ที่ URL: www. Irpcpetroleum.com. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2553.

ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, อารียา เอี่ยมบู่, ปณิธาน วนากมล และอาคม ปาโส. 2553. การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แมงกานีส เรซินและไทเทเนียมเพื่อดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่น. ในเอกสารประกอบ *งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 9* จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยระหว่างวันที่ 24-27 มีนาคม 2553. ณ จังหวัดอุบลราชธานี.

ชำนาญ ราษฎร. 2544. การศึกษาสมบัติทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอินทรีย์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เดชนา ชุตินารา. 2528. ประโยชน์ของไทเทเนียม.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 28 ฉบับที่ 1 หน้า 34-38

พัชรี วีระพจนานนท์. 2543. ผลของความชื้นต่อการดูดซับ VOC บนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์. 2552. การประยุกต์ใช้งานไททาเนียม. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2552.

ธำรง ไชตะมังสะ. 2521. เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น.ศึกษานุกูลการพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 2 หน้า180

น้ำเพชร พฤกษอานัน. 2546. การศึกษาวิธีการปรับผิวไทเทเนียมด้วยวิธีอะโนติกออกซิเดชั่นและความร้อนเพื่อใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวเคมี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บุญพฤกษ์ จาฏามระ, เกสร พะลัง, อุดม ศรีโยธา, พิมล เรียนวัฒนา และอำนาจ สิทธัตตระกูล. 2538. พันธะเคมีและจลน์ศาสตร์เคมี. เคมีเล่ม 1. บริษัทอักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด. หน้า 94,332

ณัฐพันธุ์ ศุภกา. 2544. นาโนเทคโนโลยี. วารสาร CORPORATE THAILAND. ปีที่ 13 ฉบับที่ 11 หน้า 84-86

ศรัญญา ทองอุ่นและอภิชน วัชเรนทร์วงศ์ .2554. ไทเทเนียมไดออกไซด์รูปท่อกับการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์. ในเอกสารประกอบ *งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 10* จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยระหว่างวันที่ 24-26 มีนาคม 2554. ณ จังหวัดสงขลา., หน้า 231

สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2552. การประเมินข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นของทั้งประเทศด้วยวิธีการรวบรวมข้อมูล. เข้าถึงที่ URL : http://www.ptit.org. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2553.

โสภณ เริงสำราญและ อมร เพชรสม. 2539. โครงการวิเคราะห์วิจัยสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน.31-76

สมาคมปิโตรเลียมแห่งชาติสมาคมกลั่นน้ำมัน.1999. เข้าถึงได้ที่ URL; http://www.ftiweb.off.fit.or.th/tndustrialgroup/petroleum.สืบค้นเมื่อวันที่15กันยายา 2552.

สรนาถ ไรฎ. 2553. การนำไทเทเนียมเป็นอุปกรณ์ฝังในร่างกายทางทัตนกรรมและทางการแพทย์ต่างๆ . วารสารทัตนกรรม. หน้า 1 - 2

Azam, T., Mohd, B.H. Hameed. And Abdul, L. 2009. Batch adsorption of phenolonto. Physiochemical-activated coconut shell. *Hazardous Materials*. 93: 1522-1529

Brian and Smith. 1996. Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy. Handbook of Infrared Technologies. *Elsevier Science*. Pp 202.

Benabbou, A.K., Derriche, Z., Felix, C., Lejeune, P. and Guillard, C. 2007. Photocatalytic inactivation of Escherischia coli Effect of concentration of TiO2 and microorganism, nature and intensity of UV irradiation. *Environmental Science*.76: 257–263

Bekkouche,V., Bouhelassa, M., Hadj Salah, N., Meghlaoui, F.Z. 2004. adsorption of phenol on titanium oxide (TiO2). *Science and Technology*.166: 355-362

Bartlett,L. and Lynne, B. 2006. An unusual Phenomenon Observed when Anodising CP Titanium to produce Coloured Surface for Jewllerry and other Decorative Uses. *Optics and Laser Techhnology*. 38: 440 – 444.

Bestetti, M.2007. Fabrication of titanium oxide nanotube arrays by anodic oxidation. *Non – Crystalline Solids*. 55: 5253 – 5258

Coats, J.G.and Setti, L.C. 1986. Oil Lubricant and Petroleum Products Characterization by Infrared Spectra. New York and Basel.pp.77

Chetwittayachan , T., Shimazaki, D.and Yamamoto, K. 2002. A comparison of temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbon concentration in differt urban environment: Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand. *Atmospheric Environment*. 36: 2027-2037.

Diamanti, M.V. and Pedeferri. M.P. 2007. Effect of Anodic Oxidation Parameters on The Titanium Oxides Formation. *Corrosion Science and Engineering*. 49: 939-948.

Fujishima, A. 1972. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode Nature. *Environmental Sciences and Technology*.238: 37-38

Fujita, S. and Soane, D. 1988. Preparation of Crosslinked Membranes with Controlled Pore Size Distribution. *Polymer Engineering and Science*. 28: 341-359

Fujishima, A., Hashimoto, K., and Watanabe. T. 1999. TiO_2 Photocatalysis Fundamentals and Applications. *Environmental Sciences and Technology*. 16: 1707-1721.

Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi., and Bahnemann, D. W. 1995. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemistry Reviews*. 95: 69-96

Hook, F., Miller, D. and Jan, C.2002. A Comparative Study of Protein Adsorption on Titanium Oxide Surface Using in Situ Ellipsometry, Optical Waveguide Lightmode Spectroscopy, and Quartz Crystal Microbalance / dissipation. Colloids and Surface B: Biointerfaces. *Sciences and Technology* .24: 155 - 170.

Hong, F. L. and Kalliat, T. V. 2003. A titania thin film annular photocatalytic reactor for the degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in dilute water streams. *Hazardous Materials*. 99: 203–219

Hites, R.A., Laflamme, R. E. and Farrington. J. W. 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbon in recent sediments. *Environmental Sciences and Technology*. 198: 829-831.

Irving Langmuir. 1917. The evaporation, condensation and reflection of molecules and the mechanism of adsorption, *Franklin Institute*.183: 101-102.

Kim, L.H., Choi .E. and Stenstrom, M. K. 2004. Sediment characteristic,phosphorus type and phosphorus release rates between river and lake sediment. *Environmental Sciences.*50: 53-61.

Kovach. 1978. Mass Transfer Operation. *Sciences and Technology*. 624 : 1128-1132

Kramer, D., Lok, B. and Krug, R. 2001. The evolution of technology, the oil in the turbine lubrication. *Science and Technology*.27:1407-1408.

Kasemo, B. and Lausmaa, J. 1983. Aspect of Surface Physics on Titanium Implants. *Sciences and Technology*. 28:19-36.

Kirk, R. E.and Other, D.F 1985. Kirk-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology. *Sciences and Technology*.21: 104-105.

Lihong, Z., Peijun, L., Zongqiang, G. and Xuemei, L. 2008. Photocatalytic degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons on soil surfaces using TiO_2 under UV light. *Hazardous Materials*. 478–484.

Liu, X., Chu, P., Ding, C. 2004. Surface Modification of Titanium, Titanium Alloys, and Related Materials for Biomedical Applications. *Materials Science and Engineering*.47: 49-121.

Mingthong, P., Veerasai, W. and Aeimbhu, A. 2010. Fabrication of Titanium Oxide Nanotube Arrays on Titanium Implants: The Effect of Electrolytes Conditions, IFMBE Proceedings. 31 :1208–1211.

Martin Hofrichter and Wolfgang Fritsche.1997. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by manganese peroxidase of Nematoloma frowardii. *Microbiology*. 107:538-539

Macleod, H. A. 1986.Thin Film Optical Filters. *Science and Technology*.31: 749-763

Matthews, R. W. 1991. Photooxdation Degradation of Coloured Organics in water Using Supported. *Sciences and Technology*.45: 1169-1179.

Mortier, R.M. and Orszulik, S.T. 1992. Chemitry & Technology of Lubricants. Blackie and Sons Ltd. Pp. 62-80, 124-156.

Nakanishi, K. and Solomon, P. H. 1977. Infrared Absorption Spectroscopy. Handbook of Separation Process Technology. *Sciences and Technology*.45: 112-123.

Michael, B.W., Zongqiang, G.Kassem, A. and Peijun, L. 2008. Activated carbon adsorption of PAHs from vegetable oil used in soil remediation. *Hazardous Materials*. 143 : 372–378.

Polymear, J.J. 1995. Corrosion Resistance of Titanium Surgical Implant Alloys: A Review. In Syrettdy and Acharya. *Corrosion and Degradation of Implant Materials*. 684: 259-273.

Ruey-Shin Juang and Jia-Yun Shiau.1999. Adsorption isotherms of phenols from water onto macroreticular resins. *Hazardous Materials*. 70: 171–183.

Rousseau, R. W., 1987. Handbook of Separation Process Technology. *Science and Technology*.3: 21-23.

Solar, R.J. 1979. Corrosion Resistance of Titanium Surgical Implant Alloys: A Review. In Syrettdy and Acharya. *Corrosion and Degradation of Implant Materials*. 684:259-273.

Sarah E, H., Jeanne E. T., Richard G. L.and David, W.2009. Sorption of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and its metabolites by activated carbon in clean water and sediment slurries. *Environmental Sciences and Technology*. 46: 4336-4346

Stephanie, K., Jill S, M. and Anthony R,J.A.2002 Screening method for polycyclic aromatic hydrocarbons in soil using hollow fiber membrane solvent microextraction. *Chromatography*. 24 : 201–208.

Smith, D.J. and Harrison, R.M. 1998. Concentratuon trends and vehicle source profile of Polycyclic aromatic hydrocarbon in the UK atmosphere. *Atmospheric Environment*. 30: 2513-2525

Society of automotive engineer. 2551. URL; www2.dede.go.th/tis54/fulltext/TIS976-2551.pdf

Sunstorm D.W. and Klei, H.B., 1979, Wastewater Treatment Department of Chemical Engineering. The University of Connecticut. Prince-Hill Connecticut, pp243.

Tannaka, K., Campule, M.F.and Hisanaga, T. 1991. Effect of Crystallinity of TiO_2 on its Photocatalytic Action. *Chemistry -Physical* .187: 73-76

Treybai, R.E., 1980. Predictive Equation in gas Adsorption Kinetics carbon. *Chemistry – Physical*. 11: 59-64.

Tsuchiya. H., Macak, J.M. and Ghicov, A. 2005. Self – Organized Porous TiO_2 and ZrO_2 Produced by Aaodization. *Corrosion Science*. 47: 3324 – 3335.

Tianzhu, Z., Liqin, G.E., Xing, Wang. And Zhongze, G.U. 2008. Hollow TiO2 containing multilayer nanofibers with enhanced photocatalytic activity. *Polymer*. 49 : 2898–2902.

Teruaki, H. and Keiichi, T. 2002. Photocatalytic degradation of benzene on zeolite-incorporated TiO_2 film. *Hazardous Materials*. 93 : 331–337

Vega, V., Cerdeira, M.A., Prida, V.M., Alberts, D., Bordel, N., Pereiro, R., Mera, F., Garcia, S., Hernández-Vélez, M and Vázquez, M. 2008. Electrolyte influence on the anodic synthesis of TiO_2 nanotube arrays. *Non – Crystalline Solids*. 354: 5233-5235.

Vijay, V.2007. Reviwe of Various Surface Technques on Titanium Alloys and Their Protective Effects against Corrosion. *Surface Science Technology*. 23. 49-58.

Wang, X., Renzheng, C. and longtu, Li. 1991. Fabrication of titanium oxide nanotube arrays by anodic oxidation. *Solid State Communication*. 134: 705-710

Wichailuk and Nopporn. 1996. Development of Method For Analyzing Lubricating Oil Additives by TLC-FTIR Tehniques. Petrochemistry and Polymer. Chulalongkon University, Bangkok.

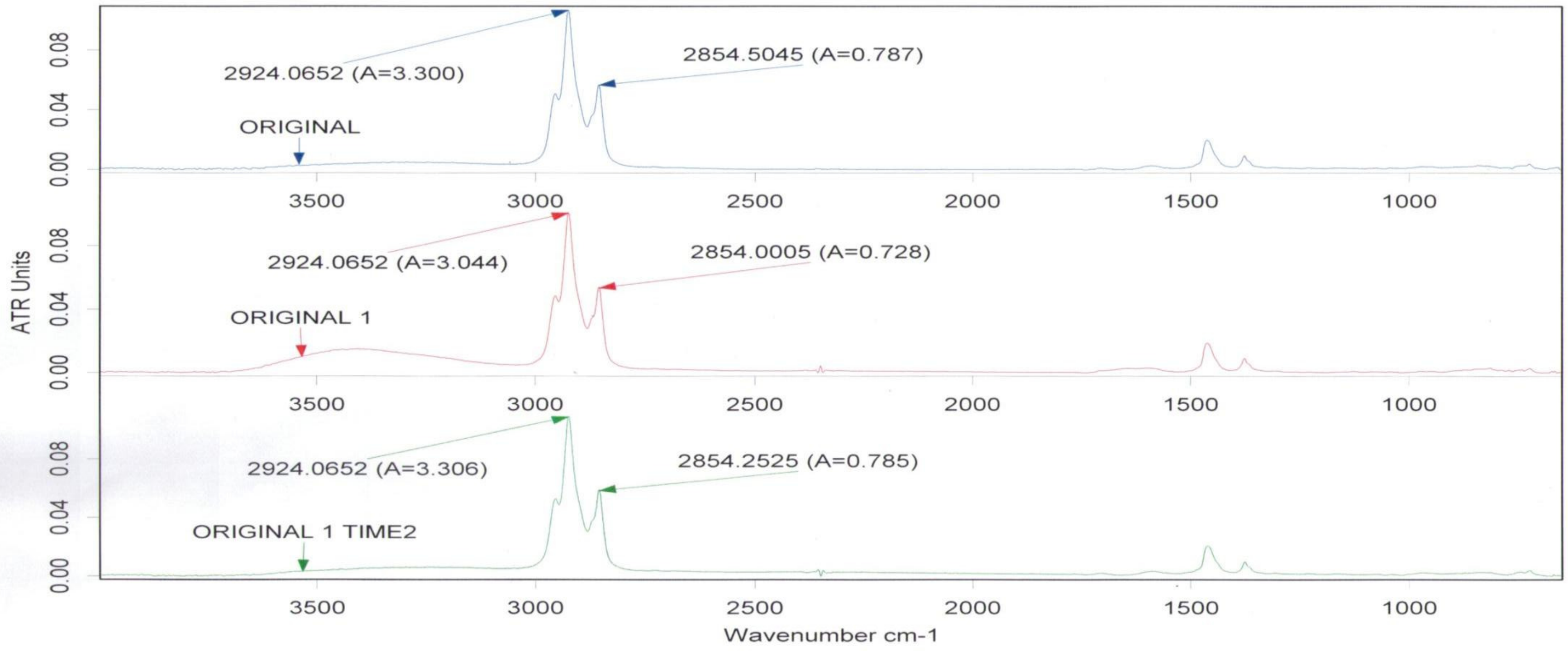
Yamashita. 2003. Studied the film of titanium dioxide in the anatase in the degradation Organic substance. *Non – Crystalline Solids*. 45 : 526-531

Yong , R., Sun, K.E., Xiaoxuan, M.A., Peter, G., Eddy, Y. Zeng. and Guohui, W. 2007. Effect of condensed organic matter on solvent extraction and aqueous leaching of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and sediments. *Environmental Pollution*. 148 : 529-538

Zhao, J., Hahn, R., Bauer, S.and Jianling.2005.Fabrication of Tatinium Oxide Nanotube Arrays by Anodic Oxidation. *Solid State Communications*. 134: 705 – 710.

ภาคผนวก ก

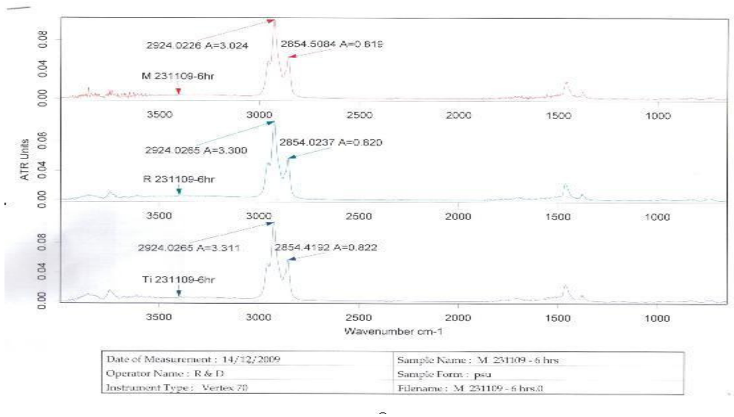
การวิเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปและน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมส่วนล่างสุด ด้วย ATR-FTIR



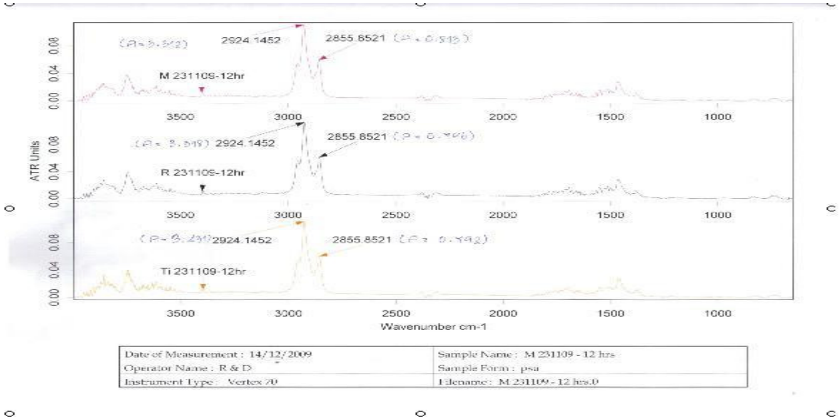
Date of Measurement : 14/12/2009	Sample Name : ORIGINAL
Operator Name : R & D	Sample Form : psu
Instrument Type : Vertex 70	Filename : ORIGINAL.0

ภาพประกอบที่ ก-1 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟและช่วงคลื่นของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

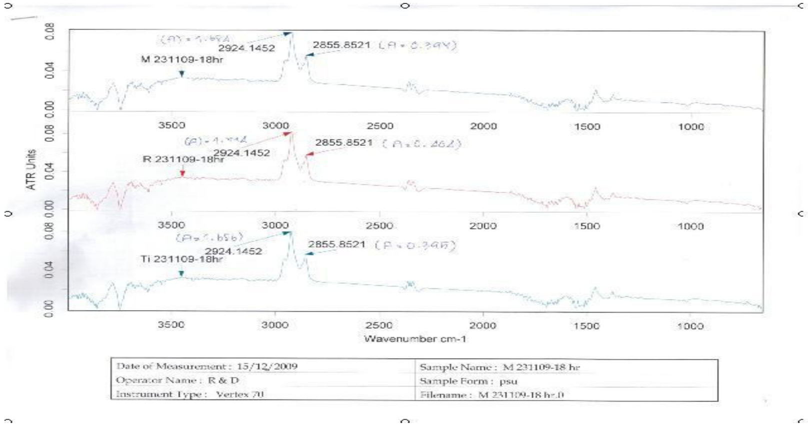
ก)



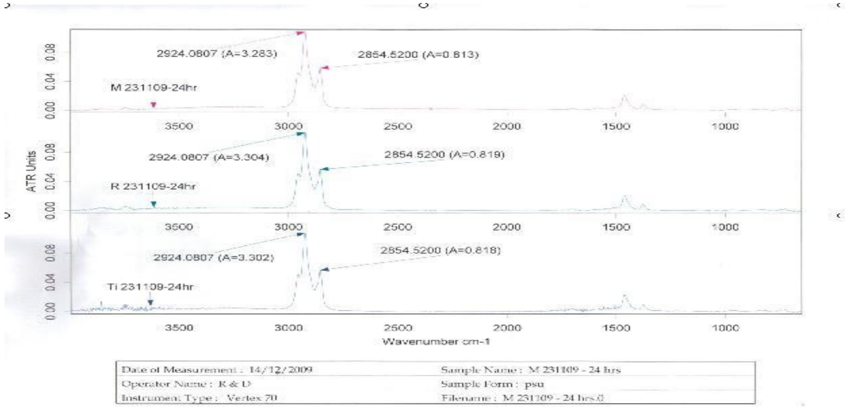
ข)



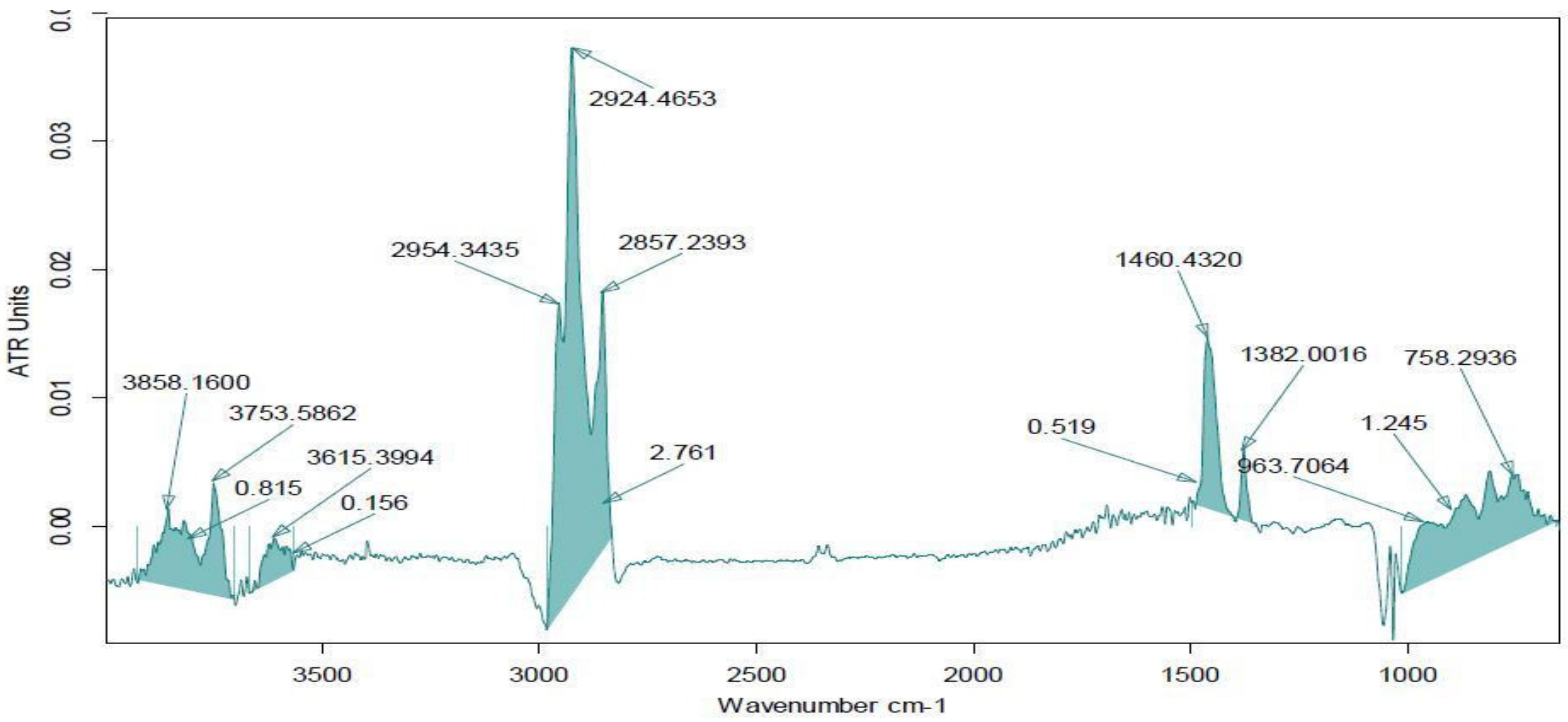
ค)



ง)

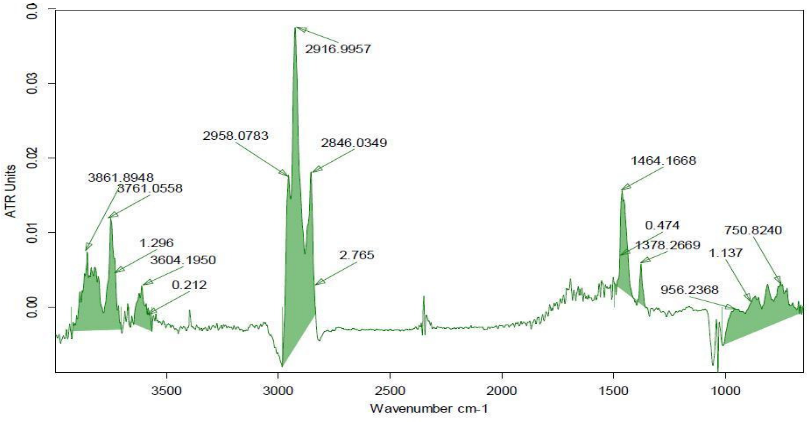


ภาพประกอบที่ ก-2 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่ช่วงเวลา ก) 6 ชม. ข) 12 ชม. ค) 18 ชม. ง) 24 ชม.

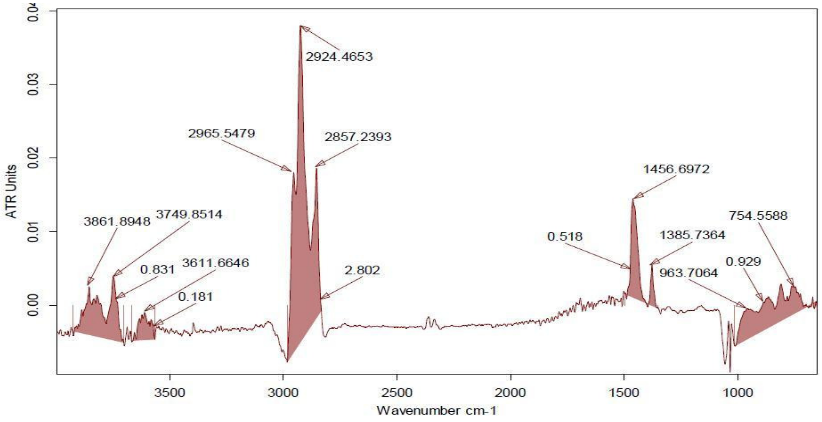


ภาพประกอบที่ ก-3 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟและช่วงคลื่นของน้ำมันพื้นฐานปิโตรเลียมส่วนล่างสุด

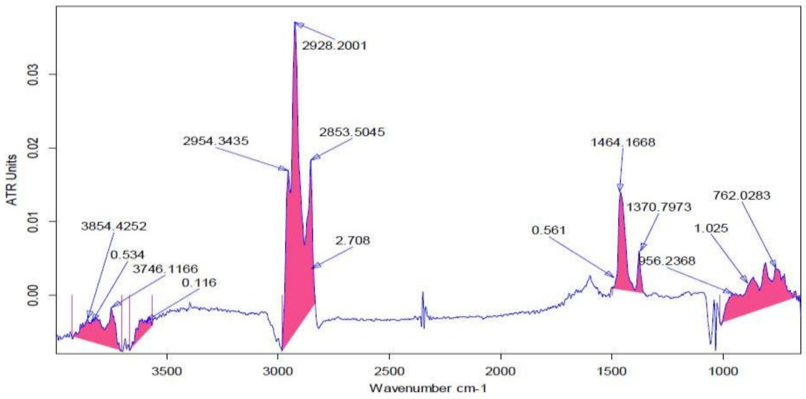
ก)



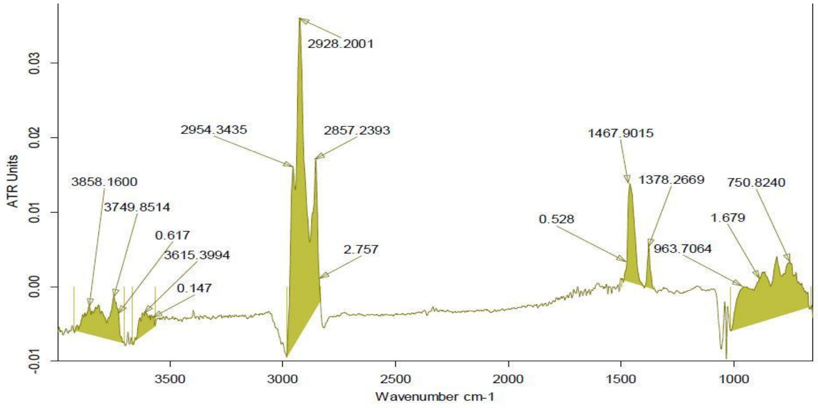
ข)



ค)

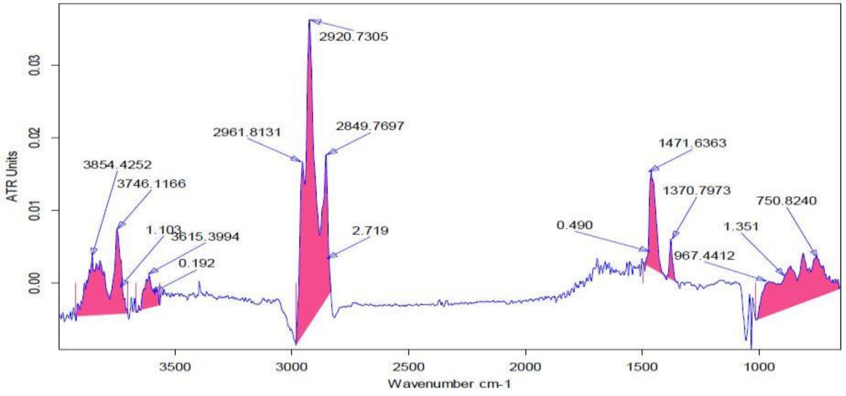


ง)

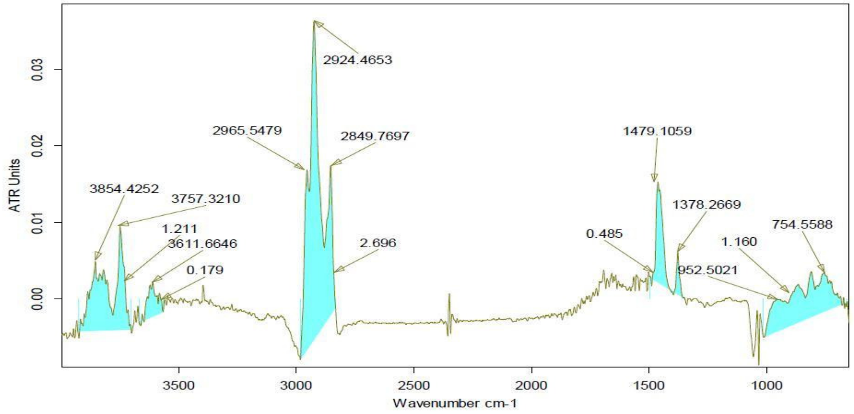


ภาพประกอบที่ ก-4 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันในอ่างที่ไม่เขย่า ก) 2.5 ml ข) 5 ml ค) 7.5 ml ง) 10 ml

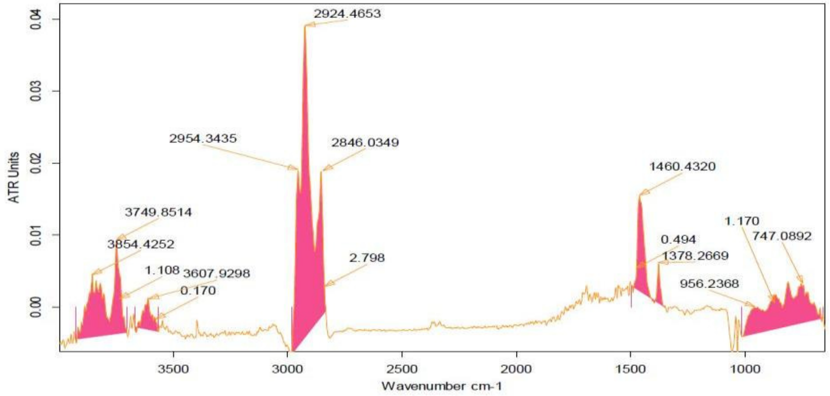
ก)



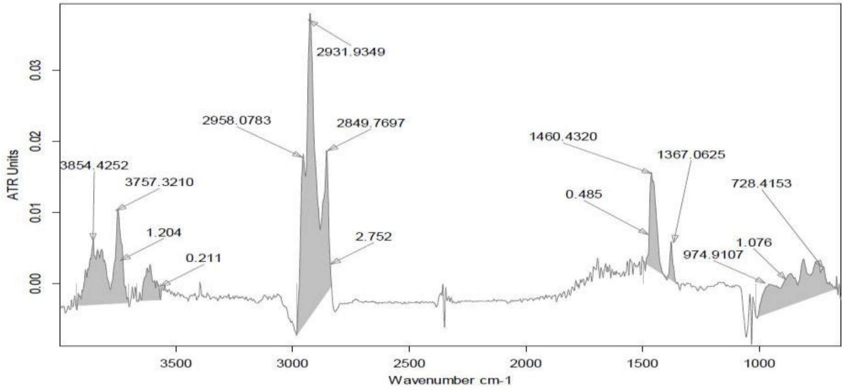
ข)



ค)

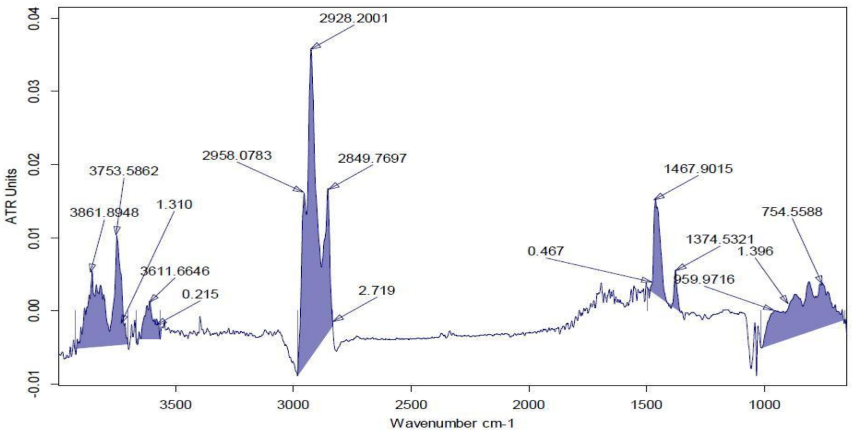


ง)

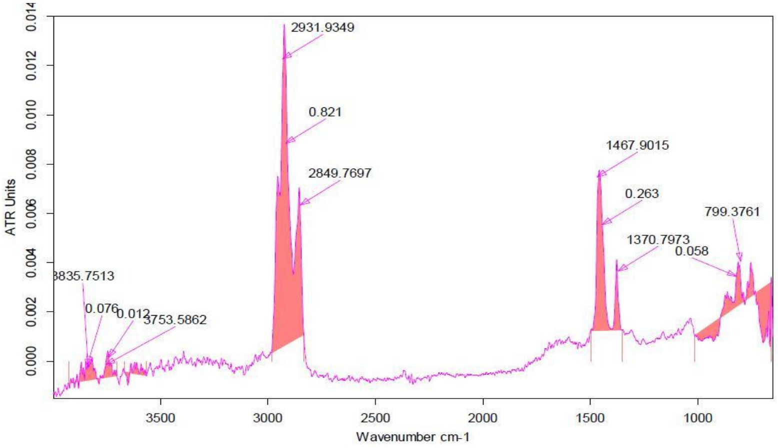


ภาพประกอบที่ ก-5 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการศึกษาหาปริมาตรน้ำมันในอ่างที่เขย่า ก) 2.5 ml ข) 5 ml ค) 7.5 ml ง) 10 ml

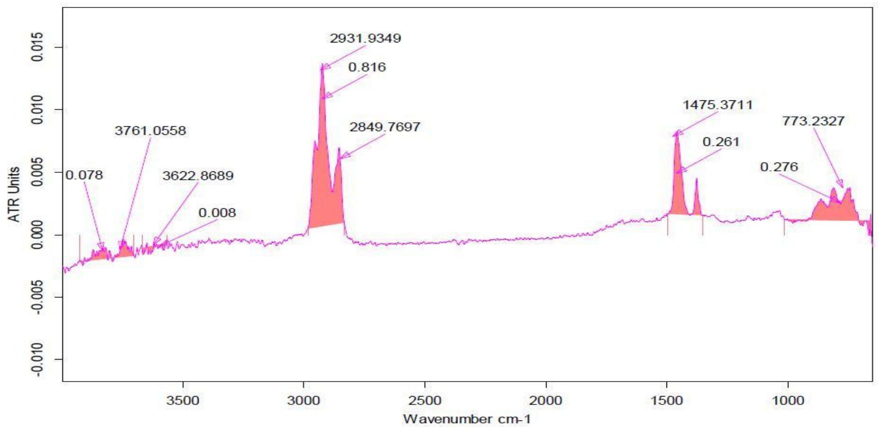
ก)



ข)

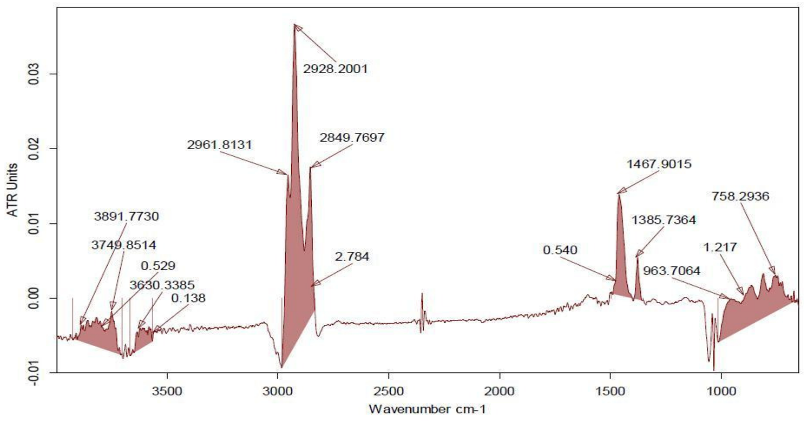


ค)

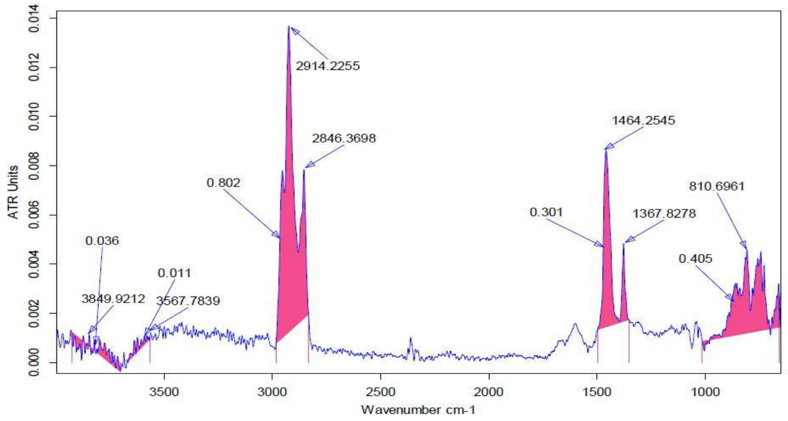


ภาพประกอบที่ ก-6 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในอ่างที่ไม่เขย่า ก) 40 ข) 60 ค) 80 องศาเซลเซียส

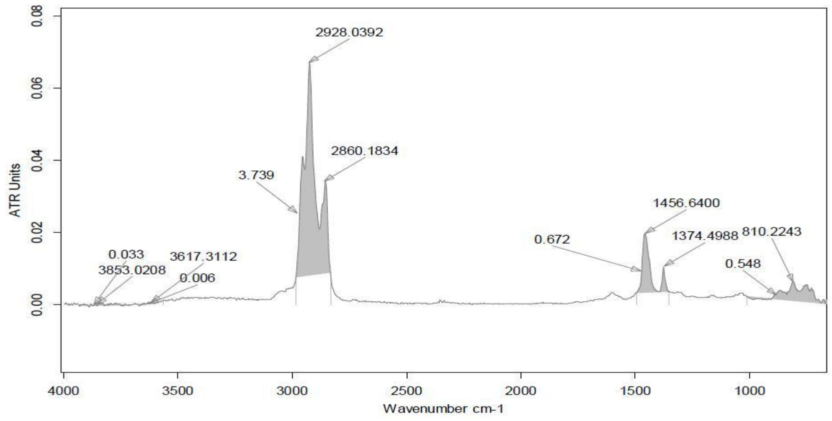
ก)



ข)



ค)



ภาพประกอบที่ ก-7 ตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในอ่างที่เขย่า ก) 40 ข) 60 ค) 80 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ข

พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับของไทเทเนียมในน้ำมัน

ตาราง ข-1.พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับของไทเทเนียม แมงกานีส และเรซินในน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

1.1 ไทเทเนียม

1.1.1 เลขคลื่น 2855 cm^{-1}

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ใต้กราฟต่อ มวล (peak area/mass)
0	3.22
2	3.49
4	6.86
6	6.98
8	3.33
10	7.51
12	6.94
14	7.12
16	7.23
18	3.77
20	3.48
22	7.18
24	6.90

1.1.2 เลขคลื่น 2924 cm^{-1}

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวล (peak area/mass)
0	0.77
2	0.86
4	1.58
6	1.73
8	0.84
10	1.77
12	1.60
14	1.73
16	1.73
18	0.88
20	0.83
22	1.77
24	1.70

1.2 แมงกานีส

1.2.1 เลขคลื่น 2855 cm^{-1}

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวล (peak area/mass)
0	3.22
2	0.18
4	0.38
6	0.33
8	0.18
10	0.37
12	0.36
14	0.37
16	0.36
18	0.18
20	0.18
22	0.36
24	0.36

1.2.2 เลขคลื่น 2924 cm^{-1}

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวล (peak area/mass)
0	0.77
2	0.04
4	0.09
6	0.09
8	0.04
10	0.09
12	0.09
14	0.09
16	0.08
18	0.04
20	0.04
22	0.09
24	0.09

1.3 เรซิน

1.3.1 เลขคลื่น 2855 cm^{-1}

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวล (peak area/mass)
0	3.22
2	0.33
4	0.66
6	0.65
8	0.30
10	0.68
12	0.65
14	0.67
16	0.65
18	0.34
20	0.35
22	0.68
24	0.66

1.3.2 เลขคลื่น 2924 cm^{-1}

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ใต้กราฟต่อมวล (peak area/mass)
0	0.77
2	0.08
4	0.15
6	0.16
8	0.08
10	0.15
12	0.15
14	0.16
16	0.15
18	0.08
20	0.08
22	0.16
24	0.16

ตาราง ข-2.พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับในการศึกษาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมในน้ำมันพื้นฐาน

2.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า

2.1.1 เลขคลื่น 758 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	1.20
5	1.00
7.5	1.50
10	1.60

2.1.2 เลขคลื่น 1460 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	0.66
5	0.47
7.5	0.57
10	0.52

2.1.3 เลขคลื่น 2924 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	0.72
5	0.54
7.5	0.90
10	0.63

2.1.4 เลขคลื่น 3615 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	0.80
5	0.50
7.5	0.60
10	0.70

2.1.5 เลขคลื่น 3858 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	1.60
5	1.20
7.5	1.70
10	1.70

2.2. อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า

2.2.1 เลขคลื่น758 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	1.30
5	0.43
7.5	0.69
10	0.52

2.2.2 เลขคลื่น 1460 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	0.69
5	0.41
7.5	0.42
10	0.50

2.2.3 เลขคลื่น 2924 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	1.30
5	0.60
7.5	1.20
10	0.50

2.2.4 เลขคลื่น 3615 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	0.60
5	0.50
7.5	0.70
10	0.80

2.2.5 เลขคลื่น 3858 cm^{-1}

ปริมาตรน้ำมัน (ml)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
2.5	1.84
5	1.74
7.5	2.25
10	2.15

ตาราง ข-3.พื้นที่ใต้กราฟต่อมวลการดูดซับในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในน้ำมันพื้นฐาน

3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เขย่า

3.1.1 เลขคลื่น758 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^0C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.56
60	0.37
80	0.43

3.1.2 เลขคลื่น1460 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^0C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.45
60	0.40
80	0.42

3.1.3 เลขคลื่น2924 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.81
60	0.31
80	0.37

3.1.4 เลขคลื่น3615 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.30
60	0.30
80	0.36

3.1.5 เลขคลื่น3858 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	1.03
60	0.18
80	1.33

3.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่เขย่า

3.2.1 เลขคลื่น758 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.50
60	0.30
80	0.30

3.2.2 เลขคลื่น1460 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.54
60	0.36
80	0.36

3.2.3 เลขคลื่น2924 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.4
60	0.4
80	0.6

3.2.4 เลขคลื่น3615 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	0.47
60	0.47
80	0.57

3.2.5 เลขคลื่น3858 cm^{-1}

อุณหภูมิ (^{0}C)	พื้นที่ใต้กราฟ/มวล
40	1.40
60	0.30
80	0.40

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง Electrochem

ตาราง ค-1. ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความต่างศักย์ในการแอโนไดเซชัน

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)
5 s	3.71
10 s	3.69
15 s	3.63
20 s	3.56
25 s	3.47
30 s	3.15
35 s	3.21
40 s	2.98
45 s	2.91
50 s	2.89
55 s	2.86
1 min	2.81
5 min	2.76
10 min	2.63
15 min	2.55
20 min	2.46
25 min	2.42
30 min	2.62
1.0 hrs	2.37
1.5 hrs	2.26

ตาราง ค-1 (ต่อ) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความต่างศักย์ในการแอโนไดเซชัน

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)
2.0 hrs	2.18
2.5 hrs	1.61
3.0 hrs	1.46
3.5 hrs	1.75
4.0 hrs	1.60
4.5 hrs	1.45
5.0 hrs	1.31
5.5 hrs	1.29
6.0 hrs	1.25

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำมัน

ง-1.การวิเคราะห์หา % PCA

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน โดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน IP 346 method มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1.1 นำตัวอย่างใน flask (fund) ขนาด 250 ml. พร้อมกับเติมเติม Cycrohwxane 10 ml

1.2 เติม Cycrohwxane 35 ml ลงใน flask (fund) อีกครั้ง

1.3 สกัดครั้งที่ 1 โดยตวง DMSO 100 ml. เขย่า 3-5 นาที ตั้งให้แยกชั้น 30-60 นาที

1.4 ถ่ายส่วนล่างออก

1.5 สกัดซ้ำประมาณ 3-4 ครั้ง

1.6 กรองด้วยกระดาษกรอง

1.7 ระเหยด้วยเครื่อง evaporating ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียลเพื่อต้องการไล่ DMSO

1.8 คำนวณ % PCA

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210920030

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, อรุณี อิ้วเจริญ, อารียา เอี่ยมบู่, ปณิธาน วนากมล, อาคม ปาโส และศุภกร รักใหม่.2553.การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แมงกานีส เรซิน และไทเทเนียมเพื่อดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่น. ในเอกสารประกอบ*งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 9* จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยระหว่างวันที่ 24-27 มีนาคม 2553. ณ จังหวัดอุบลราชธานี.

ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, อารียา เอี่ยมบู่, ปณิธาน วนากมล, อรมาศ สุทธินุ่น, กาญจนาพร รุจิราววุฒิ และอาคม ปาโส.2554.การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่น. ในเอกสารประกอบ*งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 10* จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยระหว่างวันที่ 24-26 มีนาคม 2554. ณ จังหวัดสงขลา.

ชญาลักษณ์ วงศ์อุทัย, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, อรมาศ สุทธินุ่น, อารียา เอี่ยมบู่ และอาคม ปาโส. 2554. การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อดักจับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันยาง. ในเอกสารประกอบ*งานประชุมวิชาการประจำปี 2554* ของสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ วันที่ 17 มีนาคม 2554.