

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
การดูฉบับน้ำมันอิสระออกจากรายยาหล่อเย็นในกระบวนการ
โดยใช้ตัวดูฉบับพอลิโพรพิลีน



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ADSORPTION OF TRAMP OIL FROM IN-PROCESS COOLANT
USING POLYPROPYLENE**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR IN ENGINEERING (CHEMICAL ENGINEERING)
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การดูดซับน้ำมันอิสระออกจากร้าน้ำยาหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการโดยใช้
ตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

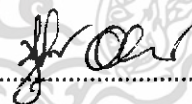
ชื่อนักศึกษา นางสาวเบญจมาศ บุญสงค์ รหัส 45010428
นางสาวพรพิรุณ สุดเฉลียว รหัส 45010505

ปริญญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์

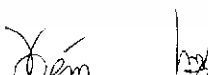
ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ
(อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

รองประธานกรรมการ
(ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

กรรมการ
(ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสร์)

กรรมการ
(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การดูดซับน้ำมันอิสระออกจากราน้ำยาหล่อเย็นในกระบวนการ โดยใช้ตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน
โดย	นางสาวเบญจมาศ บุญสงค์ นางสาวพรพิรุณ สุกเฉลียว
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาชัยลักษณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การเสื่อมสภาพของน้ำยาหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับโลหะมีสาเหตุหลักมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันอิสระ ดังนั้นการแยกน้ำมันอิสระออกจากราน้ำยาหล่อเย็น ในระหว่างการเดินเครื่องจักร จะช่วยยืดอายุการใช้งานน้ำยาหล่อเย็นให้สามารถใช้งานได้ยาวนานมากขึ้น โดยทั่วไปเครื่องมือที่ใช้ในการแยกน้ำมันอิสระออกจากราน้ำยาหล่อเย็นมักมีปัญหาในการติดตั้งกับเครื่องจักรที่มีขนาดเล็ก โครงการนี้จึงศึกษาการแยกน้ำมันอิสระออกจากราน้ำยาหล่อเย็นด้วยตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตรในเบดนิ่ง โดยใช้อัตราการไหลของสารป้อน 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาผลของความสูงของคอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 เซนติเมตร เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2 % โดยปริมาตร พบว่าปริมาณของน้ำมันอิสระที่ถูกดูดซับไว้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของคอลัมน์มากขึ้น โดยที่ความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตรจะให้เส้นโค้งการดูดซับที่เหมาะสมในการทดลอง และจากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระที่ 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 % โดยปริมาตร เมื่อใช้ความสูงของคอลัมน์เป็น 2 เซนติเมตร พบว่า เวลาที่ใช้ในการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวจะลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับ พบว่าการทดลองเป็นการดูดซับแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible adsorption) โดยปริมาณของน้ำมันอิสระที่ถูกดูดซับไว้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.77 มิลลิลิตรต่อกรัมของตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

Report Title Adsorption of Tramp oil from In-process coolant using polypropylene

By Miss Benchamas Bunsong
 Miss Pornpirun Sudchaliaw

Advisor Mrs.Siripan Murathathanyaluk
Co-advisor Dr.Surat Areerat

Report for Bachelor's Degree of Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Contamination of the tramp oil during running of cutting machine causes the degradation of in-process coolant. Therefore, the separation of tramp oil from in-process coolant could prolong shelf life of in-process coolant. In general, the equipment to separation tramp oil is difficult to be attached with the small cutting machine. Thus, this project aims to study the separation of the tramp oil from the coolant by using the polypropylene adsorbent with bulk density in fixed bed of 0.08 g/ml, the feed flow rate of 10 ml/min at room temperature. The experimental results shown that the height of fixed bed at 1, 2 and 3 cm affected the amount of adsorbed tramp oil increased as the height of fixed bed increased when using the initial concentration of tramp oil 2%v/v. The height of fixed bed at 2 cm gave the most appropriate breakthrough curve in the experiment. And when the initial concentrations of the tramp oil were varied, i.e., 1, 1.5, 2, 2.5 and 3%v/v with given height of fixed bed at 2 cm, it shown that saturated time decreased when the initial concentration of tramp oil increased. After the investigation of adsorption isotherm. it implied that the irreversible adsorption occurred with the average amount of adsorbed tramp oil of 43.77 ml/ gram of polypropylene adsorbent.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์ศรีพันธ์ มุรธาชัยลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร และดร.สุรัตน์ อาริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ในการค้นคว้า เสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งตรวจแก้รายงานให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนคำแนะนำในการดำรงชีวิตและการปฏิบัติตัวเป็นคนดีของสังคม

คุณวีราภรณ์ ปราณิ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย

คุณณอมขวัญ ถาวร นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำตลอดการดำเนินงานวิจัย

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย

บริษัท กุลธรเคอร์บี จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวเบญจมาศ บุญสงค์
นางสาวพรพิรุณ สุกเฉลี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ญ
สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ประเภทของการดูคชับ	3
2.2 ตัวดูคชับและกระบวนการดูคชับ	4
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูคชับ	6
2.4 สมดุล : ไอโซเทิร์มการดูคชับ	7
2.5 หลักการดูคชับในเบคนึ่ง	10
2.6 เส้นโค้งการดูคชับ	11
2.7 การขยายขนาด	13
2.8 แบบจำลองการดูคชับที่อุณหภูมิคงที่	14
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	18
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 การดำเนินการทดลอง	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	27
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	4
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของตัวดูดซับ	5
ตารางที่ 4.1 ผลการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นของตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความสูง 2 เซนติเมตรเมื่อป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง	22
ตารางที่ ก.1 ค่าดัชนีหักเหแสงของน้ำยาหล่อเย็นที่ความเข้มข้นต่างๆ	30
ตารางที่ ข.1 ผลของความยาวในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 1 เซนติเมตร ด้วยความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที	31
ตารางที่ ข.2 ผลของความยาวในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 2 เซนติเมตร ด้วยความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที	33
ตารางที่ ข.3 ผลของความยาวในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 3 เซนติเมตร ด้วยความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที	35
ตารางที่ ค.1 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง	38
ตารางที่ ค.2 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง	41
ตารางที่ ค.3 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง	43

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.4 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตรและความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง	45
ตารางที่ ก.5 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง	47
ตารางที่ ง.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการหาไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำมันอิสระ โดยใช้ตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยความสูง 2 เซนติเมตร	52

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ชนิดของไอโซเทิร์มการดูดซับ	8
รูปที่ 2.2 สหสัมพันธ์การดูดซับทั่วไปสำหรับ Calgon BPL carbon	10
รูปที่ 2.3 รูปแบบความเข้มข้นสำหรับการดูดซับในเบตนึ่ง	11
รูปที่ 2.4 เส้นโค้งการดูดซับสำหรับการดูดซับในเบตนึ่ง	11
รูปที่ 2.5 เส้นโค้งการดูดซับสำหรับบริเวณถ่ายเทมวลที่ลักษณะแคบและกว้าง	13
รูปที่ 2.6 ค่าคงที่การดูดซับที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	16
รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองในการดูดซับน้ำมันอิสระ	19
รูปที่ 4.1 เส้นโค้งการดูดซับน้ำมันอิสระบนพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2 % โดยปริมาตรและป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อบรรจุเบตด้วยความสูงต่างกัน	24
รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการดูดซับน้ำมันอิสระบนพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร โดยป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้องเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน	25
รูปที่ 4.3 ไอโซเทิร์มการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน	26
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของน้ำมันอิสระ	30

สัญลักษณ์

- b : ค่าคงที่
- C : ค่าความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)
- c : ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของไหล (ร้อยละโดยปริมาตร)
- c_0 : ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารป้อน (ร้อยละโดยปริมาตร)
- D : เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกเก็บสารตัวอย่าง (เท่ากับ 0.50 เซนติเมตร)
- D_c : เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ (เท่ากับ 0.965 เซนติเมตร)
- D_p : เส้นผ่านศูนย์กลางของพอลิโพรพิลีน (เซนติเมตร)
- F_A : อัตราการป้อนตัวถูกละลาย (กรัม/ตารางเซนติเมตร·วินาที)
- h : ความสูงของพอลิโพรพิลีนในคอลัมน์ (เซนติเมตร)
- k_d : ค่าคงที่ของการดูดซับ (นาที⁻¹)
- k_d : ค่าคงที่ของการคายซับ (มิลลิกรัม/ลิตร·นาที)
- K : ค่าคงที่การดูดซับ
- K_A : ค่าคงที่การดูดซับที่สมดุล
- K_B : ค่าคงที่
- L : ความยาวทั้งหมดของเบด (เซนติเมตร)
- L_p : ความยาวของท่อนพอลิโพรพิลีน (เซนติเมตร)
- m, n : ค่าคงที่
- m_p : น้ำหนักของพอลิโพรพิลีน (กรัม)
- q : ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)
- q_m : ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว (มิลลิกรัม/กรัม)
- r_a : อัตราการดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมด
- r_d : อัตราการคายซับต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมด
- t^* : เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (วินาที⁻¹)
- t_b : เวลาที่ใช้ถึงจุดยุติ (วินาที⁻¹)
- u_0 : ความเร็วสัมพัทธ์ที่ผิว (เซนติเมตร/วินาที)
- V : ปริมาตรของน้ำมันที่ออกจากคอลัมน์ (มิลลิลิตร)
- V_0 : ปริมาตรของน้ำยาหล่อเย็น (มิลลิลิตร)
- V_p : ปริมาตรของพอลิโพรพิลีน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
- W : ปริมาณที่ถูกดูดซับ (กรัม/กรัมของของแข็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- W_{max} : ปริมาณที่ถูกดูดซับมากที่สุด (กรัม/กรัมของของแข็ง)
- W_{sat} : ปริมาณที่ถูกดูดซับจนอิ่มตัว (กรัม/กรัมของของแข็ง)
- LUB : ความยาวของเบดที่ไม่ถูกใช้ (เซนติเมตร)
- θ : สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับต่อพื้นที่ผิวที่ใช้ดูดซับทั้งหมด (-)
- μ_0 : Superficial velocity (เซนติเมตร/วินาที)
- ρ_b : ความหนาแน่นทั้งหมดของเบด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
- ρ_L : ความหนาแน่นของของไหล (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
- ρ_p : ความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโรงงานอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับโลหะ เช่น การกลึง การเจียร การกัด มักจะทำให้เกิดความร้อนและแรงเสียดทาน หากความร้อนและแรงเสียดทานไม่ถูกทำให้ลดลง เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการจะเสียหายทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ขณะดำเนินการผลิต น้ำยาหล่อเย็น (Coolant) จะช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องมือและวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการ อีกทั้งการเติมน้ำยาหล่อเย็นยังช่วยหล่อลื่นในเครื่องจักรด้วย ขณะที่มีการใช้งาน ความร้อนจะแพร่ไปยังน้ำยาหล่อเย็น จึงต้องนำน้ำยาหล่อเย็นไปเก็บที่ถังเก็บย่อย (Sump) เพื่อลดความร้อนก่อนนำเข้าสู่ระบบอีกครั้ง ส่วนใหญ่น้ำยาหล่อเย็นจะเป็นของผสมระหว่างเอทิลีนไกลคอลและน้ำ โดยน้ำยาหล่อเย็นที่ใช้จะประกอบด้วยน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก 90 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ และน้ำยาหล่อเย็นอีก 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอายุการใช้งานประมาณ 2 สัปดาห์ ถึง 6 เดือน ขึ้นกับลักษณะการใช้งาน

จากการศึกษาพบว่าหากน้ำยาหล่อเย็นเกิดการเสื่อมสภาพเร็วจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเปลี่ยนถ่ายสัณ เครื่องจักรเป็นสนิม ชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งถือเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น การเสื่อมสภาพของน้ำยาหล่อเย็นเป็นกระบวนการธรรมชาติที่เกิดขึ้นแทบจะทันทีที่น้ำยาหล่อเย็นได้ถูกเติมลงไปในถังเก็บย่อย กระบวนการเสื่อมสภาพจะดำเนินการไปเรื่อยๆ โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันอิสระ (Tramp oil) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์และเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่น้ำมันอิสระจะลอยอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของน้ำยาหล่อเย็น ชั้นฟิล์มของน้ำมันอิสระจะป้องกันไม่ให้อากาศได้สัมผัสกับน้ำยาหล่อเย็นที่อยู่ข้างล่างได้ ทำให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต (Anaerobic) มีการเจริญเติบโตได้ดี และเกิดการทำลายโครงสร้างของน้ำยาหล่อเย็นทำให้น้ำยาหล่อเย็นสูญเสียประสิทธิภาพไป โดยตัวบ่งชี้ที่สำคัญคือกลิ่นเหม็นที่คล้ายกลิ่นไขเน่าที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องมือที่ช่วยในการแยกน้ำมันอิสระออกจากน้ำยาหล่อเย็นที่เรียกว่า Skimmer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีปัญหาในการติดตั้งกับเครื่องจักรที่มีขนาดเล็ก งานวิจัยนี้จึงศึกษาและทำการพัฒนาเพื่อเลือกชนิดของตัวดูดซับโดยเลือกพอลิเมอร์ที่มีความจำเพาะในการดูดซับน้ำมันเป็นตัวดูดซับ เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนของน้ำมันอิสระในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับโลหะ และลดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปกับปัญหาดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันอิสระออกจากน้ำยาหล่อเย็นที่มีน้ำมันอิสระเป็นน้ำมันไฮดรอลิกจำลอง โดยใช้ตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับแบบเบตนิง
2. ศึกษาผลของความสูงในการบรรจุตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับในสารป้อนที่มีต่อการดูดซับ
3. ทำการทดลองหาไอโซเทอรั่มของการดูดซับเพื่ออธิบายประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันอิสระด้วยตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ
2. ออกแบบการทดลองและเลือกใช้ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน
3. ทดสอบการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นด้วยตัวดูดซับพอลิเมอร์ที่เลือกใช้
4. ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันอิสระเพื่อหาไอโซเทอรั่มการดูดซับ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจหลักการและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ
2. ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา และประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารปนเปื้อนของน้ำมันอิสระในกระบวนการผลิตเกี่ยวกับโลหะ
3. เรียนรู้การทำงานเป็นกลุ่ม การวางแผน และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

การดูดซับ (Adsorption) คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นผิวสัมผัส (interface) โดยมีอะตอมหรือโมเลกุลของสารหนึ่งยึดติดอยู่กับผิวของสารอีกสารหนึ่ง สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนสารที่ไปยึดเกาะอยู่ที่ผิวหน้า เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate)

2.1 ประเภทของการดูดซับ [3]

การดูดซับระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ

เกิดขึ้น โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับ โมเลกุลที่ผิวหน้าของตัวดูดซับ เป็นแรงอย่างอ่อนๆ เช่น แรงวานเดอร์วาลส์ (Van der waals) เป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทางหรือพันธะไฮโดรเจนซึ่งมีทิศทาง และไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องระหว่างกระบวนการดูดซับทางกายภาพจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง และเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเอง โดยการดูดซับอาจเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (Multilayer)

2.1.2 การดูดซับทางเคมี

เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ มีพันธะทางเคมีเป็นแรงในการดูดซับ โดยมีค่ามากกว่าแรงในการดูดซับทางกายภาพ ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมาโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นระหว่างการดูดซับและมีพันธะระหว่างอะตอมที่แข็งแรง อาจจะมีพลังงานกระตุ้นหรือไม่มีพลังงานกระตุ้นมาเกี่ยวข้องก็ได้ โดยมักเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี [7]

ลักษณะ	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. แรงที่กระทำ	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี เรียกว่า แรงกระตุ้นใน การดูดซับ (activated adsorption)
2. การดูดซับแบบ อิมตัว	แบบหลายชั้น	แบบชั้นเดียว
3. พลังงานกระตุ้น	ไม่มีพลังงานกระตุ้น	อาจจะมีหรือไม่มีพลังงานกระตุ้น
4. ช่วงของอุณหภูมิ	การดูดซับ โดยมากจะเกิดที่อุณหภูมิ ต่ำกว่าจุดเดือดของตัวถูกดูดซับ	การดูดซับสามารถทำได้ทั้งที่อุณหภูมิ สูงกว่าจุดเดือดของตัวถูกดูดซับได้
5. ความร้อนในการ ดูดซับ	1 กิโลแคลอรีต่อโมล	50-100 กิโลแคลอรีต่อโมล

2.2 ตัวดูดซับและกระบวนการดูดซับ [5]

ตัวดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีความเป็นรูพรุนสูง การดูดซับจะเกิดขึ้นบนผิวของรูพรุนหรือบริเวณที่มีความจำเพาะภายในอนุภาค โดยทั่วไปแล้วรูพรุนจะมีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวภายในประมาณ 500 ถึง 1000 ตารางเมตรต่อกรัม ความสามารถในการดูดซับของสารต่างชนิดกันแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของโมเลกุล รูปร่าง หรือความเป็นขั้ว เช่น ตัวดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเล็กจึงไม่สามารถดูดซับโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ผ่านไป หรือตัวดูดซับสามารถดูดซับบางโมเลกุลไว้บนผิวของรูพรุนได้ดีกว่าโมเลกุลอื่นๆ ทำให้สามารถแยกองค์ประกอบนั้นออกจากของไหลได้

ตัวดูดซับทางการค้าชนิดต่างๆ มีพื้นที่ผิวรูพรุนประมาณ 100 ถึง 2000 ตารางเมตรต่อกรัม แสดงดังต่อไปนี้

- 1) ถ่านกัมมันต์ เป็นผลึกขนาดเล็กที่ทำโดยใช้การสลายตัวด้วยความร้อนของวัสดุจำพวกไม้ หรือถ่านโดยทั่วไป คาร์บอนกัมมันต์ถูกใช้เพื่อดูดซับสารอินทรีย์
- 2) ซิลิกาเจล ตัวดูดซับนี้เตรียมจาก กรรมวิธีทางกรดของสารละลายโซเดียมซิลิเกตแห้ง โดยทั่วไปถูกใช้เพื่อดูดความชื้นออกจากแก๊สและของเหลว
- 3) อลูมินากัมมันต์ การเตรียมวัสดุชนิดนี้ใช้อลูมิเนียมออกไซด์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เป็นตัวกระตุ้น โดยใช้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออก โดยทั่วไปถูกใช้เพื่อดูดความชื้นออกจากแก๊สและของเหลว

4) ซีโอไลท์ เป็นผลึกของอลูมิโนซิลิเกตที่มีรูพรุน และมีโครงร่างผลึกที่แน่นอน มีช่วงของขนาดรูพรุนที่แตกต่างกัน มีช่องว่างหรือโพรงที่เชื่อมต่อกันอย่างเป็นระเบียบใน 3 มิติ ส่วนมากนำมาใช้สำหรับการแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หรือของผสมและประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ

5) โพลีเมอร์สังเคราะห์หรือเรซิน ทำได้จากกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์หลัก 2 ชนิด เช่น พอลิเมอร์ที่ทำจากอะโรมาติกพอลีสไตรีนและไควโนนเบนซิลใช้สำหรับดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว หรือพอลิเมอร์ที่ทำจากอะลิลิกเอสเทอร์ใช้สำหรับดูดซับสารอินทรีย์ที่มีความเป็นขั้วสูง

คุณสมบัติของตัวดูดซับทางการค้าชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของตัวดูดซับ [6], [7]

ชนิด	ลักษณะพิเศษ	การใช้	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร ต่อกรัม)	เส้นผ่าน ศูนย์กลางของ รูพรุน (อังสตรอม)	ข้อเสีย
ถ่านกัมมันต์	- ไม่ชอบน้ำ	แยก สารอินทรีย์	300-1200	10-60	ยากที่จะนำ กลับมาใช้ ใหม่
ซิลิกาเจล	- ชอบน้ำ - มีความจุสูง	ดูดความชื้น	600-800	20-50	การนำกลับมา ใช้ใหม่ แต่ ประสิทธิภาพ ลดลง
อะลูมินา กัมมันต์	- ชอบน้ำ - มีความจุสูง	ดูดความชื้น	200-500	20-140	การนำกลับมา ใช้ใหม่ แต่ ประสิทธิภาพ ลดลง
ซีโอไลท์	- ชอบน้ำ - มีขั้ว - มีช่องว่าง ระหว่าง โมเลกุลที่ สม่ำเสมอ	แยกก๊าซและ ไอผสมและทำ ให้บริสุทธิ์	600-700	3-10	ความจุต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ชนิด	ลักษณะพิเศษ	การใช้	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร ต่อกรัม)	เส้นผ่าน ศูนย์กลางของรู พรุน (อังสตรอม)	ข้อเสีย
พอลิเมอร์ สังเคราะห์ เรซิน	-	แยก สารอินทรีย์	80-700	4-25	-

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [1], [2], [3], [7]

2.3.1) ลักษณะของตัวดูดซับ

คุณสมบัติของตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง ดังนั้นความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนซึ่งมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเล็กลง จึงมีอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ และสำหรับตัวดูดซับที่มีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน ทำให้ขนาดของตัวดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ แต่ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับที่เข้าไปในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) จะทำให้อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนกับขนาดของตัวดูดซับ ในทางกลับกัน ถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ

2.3.2) ความสามารถในการละลายของตัวดูดซับ

การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายของตัวดูดซับมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายและไปเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น ในกรณีที่สารละลายมีน้ำเป็นตัวทำละลายตัวดูดซับที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นการที่ยากต่อการดูดซับ ตัวดูดซับที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย มักสามารถเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ดี อย่างไรก็ตาม

ค่ากล่าวข้างต้นไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก

2.3.3) ความมีขั้วของ โมเลกุล (Polarity)

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.3.4) อัตราเร่งการปั่นกวน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับกระบวนการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของตัวดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) ซึ่งแล้วแต่การปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกวนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นกวนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่รูพรุนจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของสารดูดซับ

2.3.5) เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการ ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริง

2.3.6) อุณหภูมิ (Temperature)

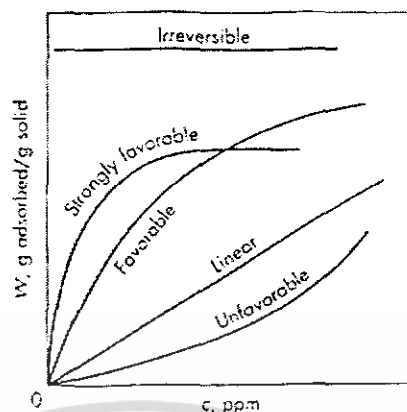
ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.4 สมดุล : ไอโซเทิร์มการดูดซับ [5]

ไอโซเทิร์มการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นในเฟสของไหลและความเข้มข้นในอนุภาคของตัวดูดซับ ณ อุณหภูมิหนึ่ง สำหรับก๊าซ ความเข้มข้นจะแสดงในรูปร้อยละโดยโมลหรือความดันย่อย สำหรับของเหลว ความเข้มข้นมักแสดงในรูปหน่วยมวล เช่น มิลลิกรัมต่อลิตรหรือไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวดูดซับบนของแข็งจะแสดงในรูปมวลที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ

ลักษณะของไอโซเทิร์มบางชนิดแสดงดังกราฟในรูปที่ 2.1 เส้นไอโซเทิร์มแบบเชิงเส้น (Linear isotherm) จะผ่านจุดกำเนิดและปริมาณที่ถูกดูดซับไว้จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นในของไหล

เส้นไอโซเทิร์มที่มีลักษณะโค้งนูนขึ้น เรียกว่า “Favorable” เพราะปริมาณที่ถูกดูดซับไว้บน



รูปที่ 2.1 ชนิดของไอโซเทิร์มการดูดซับ [5]

ของแข็งจะมีค่าสูงเมื่อความเข้มข้นในของไหลต่ำ สำหรับแลงเมียร์ไอโซเทิร์ม (Langmuir isotherm) ซึ่งจัดอยู่ในชนิด Favorable มีความสัมพันธ์คือ

$$W = W_{\max} \left[\frac{Kc}{1 + Kc} \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ W คือปริมาณที่ถูกดูดซับ

c คือ ความเข้มข้นในของไหล

K คือค่าคงที่การดูดซับ

เมื่อ K มีค่ามาก และ $Kc \gg 1$ จะได้เส้นไอโซเทิร์มชนิด Strongly favorable และเมื่อ $Kc < 1$ จะได้ไอโซเทิร์มที่มีลักษณะใกล้เคียงไอโซเทิร์มแบบเชิงเส้น แลงเมียร์ไอโซเทิร์มถูกพิสูจน์โดยการตั้งสมมติฐานให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีรูปแบบเดียวกันซึ่งใช้ได้กับก๊าซที่มีการดูดซับน้อยมากๆ สำหรับเส้นไอโซเทิร์มแบบ Strongly favorable การใช้สมการเอมพิริคัลของฟลอยลิก (Freundlich) จะเหมาะสมกว่าและมีความสัมพันธ์ คือ

$$W = bc^m \quad (2.2)$$

เมื่อ b และ m คือค่าคงที่ และค่า m มีค่าน้อยกว่าหนึ่งความสัมพันธ์นี้เหมาะสำหรับการดูดซับของของเหลว

ขีดจำกัดของไอโซเทิร์มแบบ Favorable คือ กรณีของการดูดซับแบบแปรผันกลับไม่ได้ (Irreversible) ซึ่งปริมาณที่ถูกดูดซับจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นในเฟสของไหล เส้นไอโซเทิร์มทุกชนิดจะแสดงถึงปริมาณที่ถูกดูดซับซึ่งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และนั่นเองทำให้เราสามารถแยกตัวถูกละลายออกจากตัวดูดซับได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ แม้ว่าจะเป็กรณีที่ระบุว่าเป็น Irreversible อย่างไรก็ตาม การคายซับ (Desorption) ของการดูดซับแบบ Strongly favorable หรือ Irreversible จำเป็นต้องทำที่อุณหภูมิสูงกว่าการดูดซับที่เป็นแบบเชิงเส้นมาก

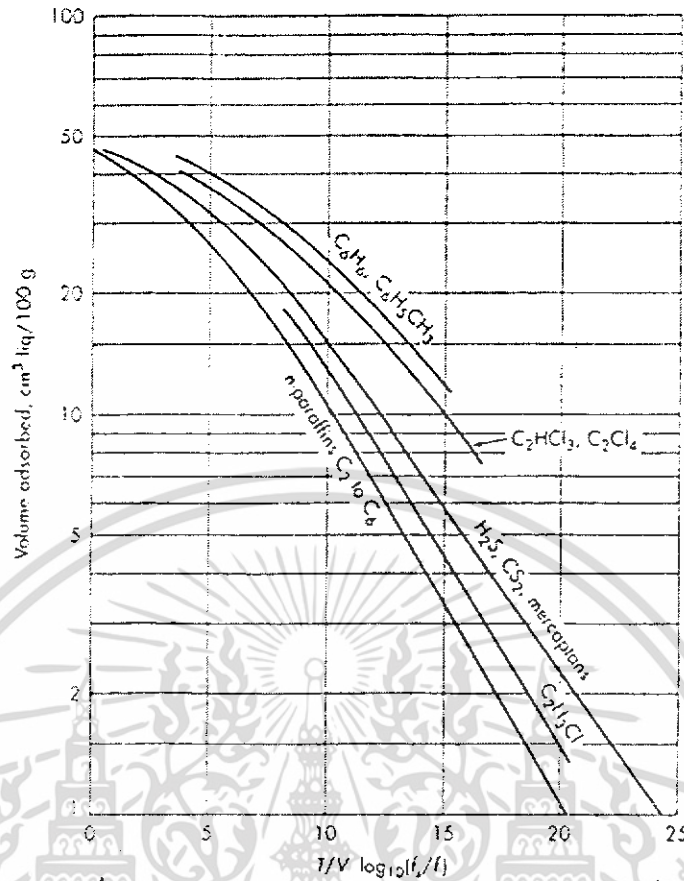
เส้นไอโซเทิร์มที่มีลักษณะเว้าเรียกว่า Unfavorable เพราะปริมาณที่ถูกดูดซับไว้บนของแข็งจะมีค่าน้อยและทำให้ระยะของบริเวณถ่ายเทมวลในเบดค่อนข้างยาว เส้นไอโซเทิร์มชนิดนี้จะมีน้อย แต่จะเหมาะในการศึกษาทำความเข้าใจสำหรับกระบวนการรีเจนเนอเรชัน สำหรับเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับเป็นแบบ Favorable การถ่ายเทมวลจากตัวดูดซับของแข็งกลับสู่เฟสของไหลจะมีลักษณะเหมือนกับการดูดซับที่มีเส้นไอโซเทิร์มแบบ Unfavorable

โดยทั่วไปเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับจะแสดงสำหรับตัวดูดซับที่มีองค์ประกอบเดียว แต่การใช้งานมักเกี่ยวข้องกับสารผสมที่มีหลายองค์ประกอบ เส้นไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์จึงถูกปรับปรุงได้ค่อนข้างง่ายสำหรับตัวดูดซับหลายองค์ประกอบโดยการเพิ่มพจน์ในตัวส่วนของสมการ

$$W_1 = W_{\max} \left(\frac{K_1 c_1}{1 + K_1 c_1 + K_2 c_2 + \dots} \right) \quad (2.3)$$

ซึ่งคล้ายกับสมการที่ (2.1) อย่างไรก็ตาม สมการนี้ไม่เหมาะสมอย่างมากสำหรับวัสดุที่ดูดซับได้มากๆ สำหรับตัวดูดซับหลายชนิดที่มีคุณสมบัติเหมือนกันสามารถใช้ความสัมพันธ์ของรูปที่ 2.2 ได้โดยการเฉลี่ยค่าของ V , ρ_L และ f_s เพื่อประมาณค่าปริมาณที่ถูกดูดซับทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อตัวดูดซับชนิด A ถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับชนิด B มากๆ และ A จะถูกดูดซับแทนที่ B ในขณะที่บริเวณถ่ายเทมวลของ A ก็เคลื่อนลงในเบด จึงต้องมีการพัฒนาการแยกบริเวณถ่ายเทมวลดังกล่าว

ปัญหาทั่วไปในการแยกออกจากอากาศ คือ มีการดูดซับของไอน้ำเกิดขึ้นพร้อมๆ กันไปด้วย แม้ว่าไอน้ำจะถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้เพียงเล็กน้อย แต่ความจุของคาร์บอนในการดูดซับไอสารอินทรีย์อาจจะลดลง 50 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์จะมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนประมาณ 10 ถึง 20 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดความกุ่มค่ามากขึ้น แม้ว่าจะเป็นการลดความจุสมมูลของตัวดูดซับขององค์ประกอบหนึ่ง



รูปที่ 2.2 สหสัมพันธ์การดูดซับทั่วไปสำหรับ Calgon BPL carbon [5]

2.5 หลักการดูดซับในเบตหนึ่ง [5]

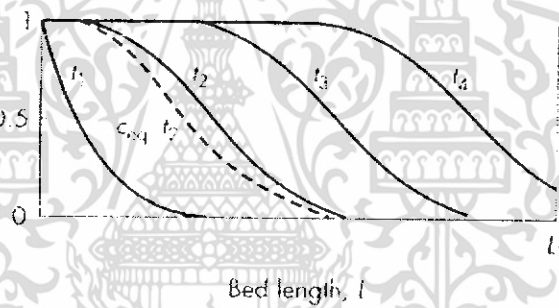
โดยส่วนมากโมเลกุลมักมีความเกี่ยวข้องกับการดูดซับบนพื้นผิวของของแข็ง โดยแรงในการดูดซับของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแรงแบบอ่อนๆ ส่วนมากเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งพบได้ที่อุณหภูมิต่างๆ และจัดเป็นการดูดซับทางกายภาพ สำหรับอุณหภูมิสูง การดูดซับของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นพันธะโคเวเลนต์อ่อนๆ การดูดซับชนิดนี้เรียกว่า การดูดซับแบบมีสารกระตุ้น หรือการดูดซับทางเคมี

สำหรับการดูดซับในเบตหนึ่งความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของไหลและเฟสของแข็งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและตำแหน่งในเบต หากขณะเริ่มต้นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของแข็ง (ตัวดูดซับ) มีค่าเป็นศูนย์ การถ่ายเทมวลโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้ทางเข้าของเบตซึ่งเป็นบริเวณที่ของไหลเริ่มสัมผัสกับตัวดูดซับ โดยความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของไหลจะลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลจนถึงศูนย์เมื่อเทียบกับระยะทางก่อนที่ของไหลจะมาถึงปลายเบต รูปแบบความเข้มข้นนี้แสดงดังเส้นโค้ง c/c_0 ในรูปที่ 2.3 เมื่อ c/c_0 คือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของไหลที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารป้อน หลังจากเวลาผ่านไป

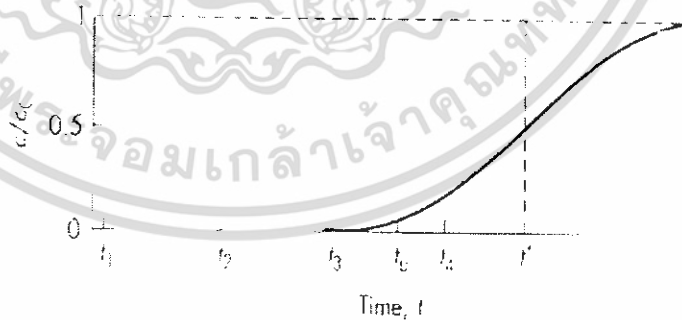
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อย ของเชิงบริเวณใกล้ทางเข้าของเบดจะเกือบอิมิตัวทำให้การถ่ายเทมวลจึงเกิดขึ้นที่บริเวณ ห่างจากทางเข้าของเบด โดยมีลักษณะการกระจายของความเข้มข้นเป็นรูปตัว s แสดงด้วยเส้นโค้ง t_2 บริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น เรียกว่า บริเวณถ่ายเทมวล (mass transfer zone) ซึ่งมี ขอบเขตจำกัดของค่า c/c_0 คือ 0.05 ถึง 0.95

เมื่อเวลาผ่านไป บริเวณถ่ายเทมวลจะเลื่อนลงจากเบดแสดงด้วยเส้นโค้ง t_3 และ t_4 โดยความเข้มข้นที่เปลี่ยนไปกับเวลาสามารถพิจารณาได้คือ ที่บริเวณทางเข้ามีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ บนของเชิงเกือบอิมิตัว ที่บริเวณการถ่ายเทมวลจะมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น และที่ปลายเบดจะมีความเข้มข้นเป็นศูนย์ สำหรับเส้นประที่เวลา t_1 เป็นความเข้มข้นในเฟสของเชิงที่สมดุลกับ ความเข้มข้นในเฟสของไหลแทนการใช้ความเข้มข้นจริงบนเฟสของเชิง ซึ่งความเข้มข้นนี้จะน้อยกว่าความเข้มข้นจริงในเฟสของไหลเสมอ เมื่อแรงขับเคลื่อนที่เกิดจากผลต่างของความเข้มข้นของ ตัวถูกดูดซับในของเชิงและของไหลมีค่ามากจะทำให้เส้นรูปแบบความเข้มข้นมีความชันและการ ถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นเร็ว



รูปที่ 2.3 รูปแบบความเข้มข้นสำหรับการดูดซับในเบดนิ่ง [5]



รูปที่ 2.4 เส้นโค้งการดูดซับสำหรับการดูดซับในเบดนิ่ง [5]

2.6 เส้นโค้งการดูดซับ (Breakthrough curve) [5]

เส้นโค้งในรูปที่ 2.3 นี้ สามารถใช้ในการทำนายและคำนวณหาเส้นกราฟของความเข้มข้น ของตัวถูกดูดซับในของไหลที่ออกจากเบดกับเวลา ดังแสดงลักษณะกราฟในรูปที่ 2.4 ซึ่งเรียกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้งการดูดซับ ที่เวลา t_1 และ t_2 ความเข้มข้นขาออกมีค่าเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เมื่อความเข้มข้นมีค่าถึงค่าจำกัดหรือจุดยุติ (break point) การไหลจะถูกหยุดลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลไปที่เบคอื่น จุดยุตินี้อ้างอิงที่ค่า c/c_0 เท่ากับ 0.05 ถึง 0.10 โดยสัดส่วนเฉลี่ยของตัวถูกละลายที่ถูกแยกออกจากตัวทำละลายตอนเริ่มต้นถึงจุดยุติมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.99

ถ้าการดูดซับที่เกิดขึ้นเลขจุดยุติไปจะทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 0.5 และจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงดังรูปที่ 2.4 ด้วยการคูณมวลสารทำให้เห็นว่าพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งและเส้นที่ c/c_0 เท่ากับ 1 เป็นสัดส่วนกับปริมาณตัวถูกละลายทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้ และปริมาณที่ถูกดูดซับจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่สี่เหลี่ยมจนถึงซ้ายมือของเส้นปะ ที่ t^* ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการดูดซับแบบอุดมคติสำหรับเส้นโค้งที่สมมาตร ค่า t^* จะเป็นเวลาเมื่อ c/c_0 เท่ากับ 0.5 การเคลื่อนที่ของการดูดซับในเบคและผลของตัวแปรกระบวนการต่อค่า t^* สามารถหาได้จากการสมมูลอย่างง่าย

สำหรับหนึ่งหน่วยพื้นที่ตัดขวางของเบค อัตราการป้อนตัวถูกละลายคือผลคูณของความเร็วมัธยัสถ์ผิว (Superficial velocity) และความเข้มข้น:

$$F_A = u_0 c_0 \quad (2.4)$$

สำหรับเส้นโค้งการดูดซับแบบอุดมคติซึ่งตัวถูกละลายทั้งหมดที่ป้อนภายในเวลา t^* จะถูกดูดซับไว้ และความเข้มข้นที่อยู่บนตัวดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น W_0 จนถึงสมดุลหรือค่าอิ่มตัว W_{sat} ดังนั้น

$$u_0 c_0 t^* = L \rho_b (W_{sat} - W_0) \quad (2.5)$$

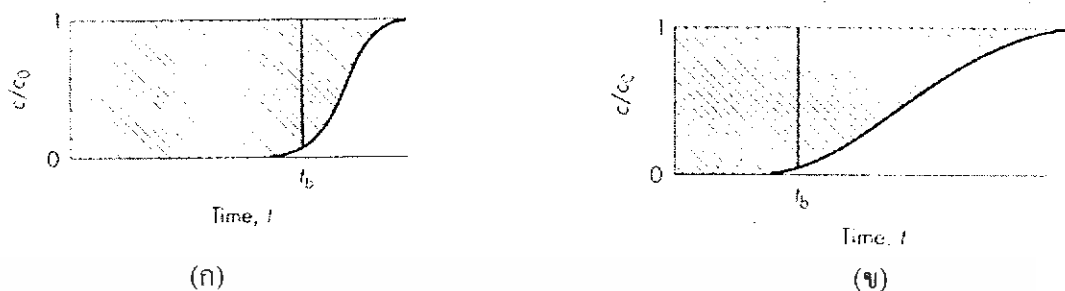
$$t^* = \frac{L \rho_b (W_{sat} - W_0)}{u_0 c_0} \quad (2.6)$$

เมื่อ L และ ρ_b คือความยาวและความหนาแน่นทั้งหมดของเบค ตามลำดับ สำหรับคาร์บอนใหม่หรือคาร์บอนที่ถูกรีเจเนอเรตอย่างสมบูรณ์ $W_0 = 0$ แต่การรีเจเนอเรตอย่างสมบูรณ์จะทำให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้น

เวลาที่ใช้ถึงจุดยุติ, t_2 จะมีค่าน้อยกว่าค่า t^* เสมอ และปริมาณจริงของตัวถูกละลาย ที่ถูกดูดซับไว้ที่จุดยุติสามารถหาได้โดยการอินทิเกรตเส้นโค้งการดูดซับจนถึงเวลา t_2 แสดงดังรูปที่ 2.5 ถ้าบริเวณถ่ายเทมวลมีช่วงแคบเมื่อเทียบกับความยาวของเบค เส้นโค้งการดูดซับ จะค่อนข้างชันดังแสดงในรูป 2.5 (ก) ทำให้ความสามารถของเบคโดยส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์ได้มากจนถึงจุดยุติเมื่อบริเวณถ่ายเทมวลเป็นความยาวเกือบทั้งหมดของเบค เส้นโค้งการดูดซับ จะถูกขยายออกดังแสดงในรูป 2.5 (ข) และความสามารถของเบคที่ถูกใช้ประโยชน์จะน้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่ง บริเวณถ่ายเทมวลที่มีลักษณะแคบจะเป็นสิ่งที่เราต้องการเพื่อให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพและเพื่อลดต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการนำกลับมาใช้ใหม่ ในกรณีที่ไม่มีควมต้านทานในการถ่ายเทมวลและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีการกระจายตัวในแนวแกน จะทำให้ความกว้างของบริเวณถ่ายเทมวลมีค่าน้อยมาก และ เส้นโค้งการดูดซับจะเป็นเส้นแนวตั้งจาก 0 ถึง 1.0 เมื่อตัวดูดซับทั้งหมดอิ่มตัว



รูปที่ 2.5 เส้นโค้งการดูดซับสำหรับบริเวณถ่ายเทมวลที่ลักษณะ (ก) แคบ และ (ข) กว้าง [5]

2.7 การขยายขนาด (Scale up) [5]

ความกว้างของบริเวณถ่ายเทมวลขึ้นกับอัตราการถ่ายเทมวล อัตราการไหล และรูปร่างของเส้นโค้งสมดุล วิธีในการทำนายรูปแบบความเข้มข้นและความกว้างของบริเวณถ่ายเทมวลได้มีอย่างแพร่หลายแต่ต้องใช้การคำนวณที่ค่อนข้างยาวและผลลัพธ์อาจจะไม่แม่นยำ เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ไม่แน่นอนของการถ่ายเทมวล โดยปกติแล้วตัวดูดซับจะถูกขยายขนาดขึ้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก และหน่วยที่ใหญ่ขึ้นจะถูกออกแบบสำหรับขนาดของอนุภาคและความเร็วสัมพันธ์ที่ผิวที่เท่ากัน แต่ความยาวของเบดไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ซึ่งจะอธิบายในส่วนถัดไป

ความยาวของเบดที่ไม่ถูกใช้ สำหรับระบบที่เป็นไอโซเทอรัมแบบ Favorable รูปแบบความเข้มข้นในบริเวณถ่ายเทมวลที่ได้มาจะมีรูปร่างที่เป็นลักษณะเฉพาะและความกว้างของรูปแบบความเข้มข้นนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงตามบริเวณถ่ายเทมวลที่เคลื่อนลงจากเบด ดังนั้นการทดลองโดยใช้ความยาวเบดที่แตกต่างกันจะให้เส้นโค้งการดูดซับที่มีรูปร่างเหมือนกัน แต่ถ้าใช้เบดที่มีความยาวมากขึ้น บริเวณถ่ายเทมวลจะมีสัดส่วนน้อยลงเมื่อเทียบกับความยาวเบด และสัดส่วนของเบดที่ถูกใช้จะมากขึ้น ที่จุดยุติ ตัวดูดซับที่อยู่ระหว่างทางเข้าของเบดและจุดเริ่มต้นของบริเวณถ่ายเทมวลจะถูกทำให้อิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (ที่สภาวะสมดุลกับสารป้อน) ตัวดูดซับในบริเวณถ่ายเทมวลจะเริ่มจากเกือบอิ่มตัวจนถึงไม่มีตัวถูกดูดซับ สำหรับการประมาณอย่างหยาบๆ ตัวดูดซับนี้สามารถสมมติให้เป็นส่วนที่อิ่มตัวประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งเท่ากับว่าจะประมาณครึ่งหนึ่งของตัวดูดซับในบริเวณถ่ายเทมวลอิ่มตัวเต็มที่ และมีอีกครึ่งหนึ่งที่เป็นส่วนที่ไม่ถูกใช้ หลักการขยายขนาดคือจำนวนตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกใช้หรือความยาวของเบดที่ไม่ถูกใช้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวเบดทั้งหมด

เพื่อคำนวณความยาวของเบดที่ไม่ถูกใช้จากเส้นโค้งการดูดซับ ตัวถูกละลายทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้จนถึงจุดยุติสามารถหาได้จากการอินทิเกรต ความจุของตัวดูดซับหาได้โดยการอินทิเกรต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้งการดูดซับทั้งหมดหรือจากการทดลองสมมูลในการแยก อัตราส่วนของสองปริมาณคือ สัดส่วนของเบดที่ถูกใช้ที่จุดยุติ และหนึ่งลบด้วยอัตราส่วนนี้จะเป็นสัดส่วนที่ไม่ถูกใช้ ซึ่งสามารถ เปลี่ยนกลับมาเป็นค่าความยาวเบดที่ไม่ถูกใช้ได้ (Length of unused bed: LUB) ซึ่งถูกสมมติให้เป็น ค่าคงที่ เวลาที่ใช้จนถึงจุดยุติคำนวณได้จากเวลาอุคมคติและสัดส่วนของเบดที่ถูกใช้

$$t_b = t^* \left(1 - \frac{LUB}{L}\right) \quad (2.7)$$

ผลของความเข้มข้นของสารป้อน ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยต่อ เส้นโค้งการดูดซับสามารถทำนายได้เมื่อความกว้างของบริเวณถ่ายเทมวลไม่เปลี่ยนแปลง ความจุ สมมูลหาได้จากเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับ และเวลาที่ใช้จนถึงจุดยุติจะเป็นสัดส่วนกับความจุของ ตัวดูดซับ และเป็นส่วนกลับกับความเข้มข้นของสารป้อน การทดลองในห้องปฏิบัติการจะใช้ค่า ความเข้มข้นที่สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้เพราะจะทำให้เวลาของเส้นโค้งการดูดซับสั้นขึ้น แต่ถึงผลต่าง ของความเข้มข้นมากอาจนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนในการขยายขนาดได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลหรือเนื่องจาก ผลของอุณหภูมิ

2.8 แบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Models for adsorption isotherm) [2]

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่จะถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับและความ เข้มข้นของสารที่ถูกละลายที่เหลือนอยู่ในสารละลาย สามารถอธิบายปรากฏการณ์กระบวนการดูด ซับที่เกิดขึ้น ณ จุดสมมูลของการดูดซับสมรรถนะของตัวดูดซับ (Adsorption Capacity) สามารถ เขียนในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวดูดซับในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ โดยเรียกความสัมพันธ์ นี้ว่า ไอโซเทิร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) โดยใช้อธิบายการดูดซับโดยมีข้อแม้ว่า

- 1) การดูดซับที่เกิดขึ้นจะต้องมีสมมูลที่แท้จริง
- 2) การดูดซับที่เกิดขึ้นสามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยที่จะไม่มีการ เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในตัวดูดซับเมื่อทำการดูดซับและการคายซับหลายๆครั้ง

2.8.1 แบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์ (Langmuir equation isotherm) เป็นแบบจำลองที่มี การนำไปประยุกต์ใช้มากที่สุดกับการดูดซับทางเคมีที่อุณหภูมิคงที่ เนื่องจากเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน อาศัยข้อมูลสมมติฐานว่า

- 1) การดูดซับโมเลกุลของก๊าซจะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ บนผิวหน้าจนกระทั่งเต็ม แต่จะ เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer) คือแต่ละตำแหน่งจะสามารถรับ โมเลกุลที่มาเกาะได้เพียง โมเลกุลเดียว

2) การดูดซับจะไม่เกิดการเคลื่อนย้าย (Localize) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระบนผิวของตัวดูดซับได้

3) เอนทาลปีของการดูดซับมีค่าเดียวกันสำหรับทุกๆ โมเลกุล

4) พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน คือโอกาสของการดูดซับบนทุกตำแหน่งบนผิวหน้าของของแข็งจะเหมือนกันหมด ไม่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงกัน และพลังงานของโมเลกุลที่มาดูดซับ หรือโอกาสที่จะเกิดการดูดซับขึ้นบนตำแหน่งที่ว่างจะขึ้นอยู่กับว่าที่ตำแหน่งข้างเคียงจะมีโมเลกุลมาเกาะอยู่หรือไม่

จากสมมติฐานดังกล่าว จึงสรุปได้ว่า อัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนของตัวดูดซับที่ไม่มีตัวถูกดูดซับเข้ามาเกาะ และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของไหล เนื่องจากไม่มีปฏิกิริยาระหว่าง โมเลกุลที่ถูกดูดซับ ทำให้อัตราการดูดซับจึงเป็นสัดส่วนกับจำนวนของโมเลกุลที่เกิดการดูดซับ

กำหนดให้

$$\theta = \frac{q}{q_m} \quad (2.8)$$

เมื่อ θ คือ สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับต่อพื้นที่ผิวที่ใช้ดูดซับทั้งหมด

q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

q_m คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว (มิลลิกรัม/กรัม)

ดังนั้น อัตราการดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมด คือ

$$r_a = k_a C(1-\theta) \quad (2.9)$$

เมื่อ k_a คือ ค่าคงที่ของการดูดซับ (นาที⁻¹)

C คือ ค่าความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

อัตราการคายซับต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมด คือ

$$r_d = k_d \theta \quad (2.10)$$

เมื่อ k_d คือ ค่าคงที่ของการคายซับ (มิลลิกรัม/ลิตร·นาที)

ที่สภาวะสมดุล อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ

$$k_a C(1-\theta) = k_d \theta \quad (2.11)$$

$$\theta = \frac{k_a C}{(k_d + k_a C)} \quad (2.12)$$

เมื่อ กำหนดให้ K_A คือค่าคงที่การดูดซับที่สมดุล ดังนั้น

$$K_A = \frac{k_a}{k_d} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

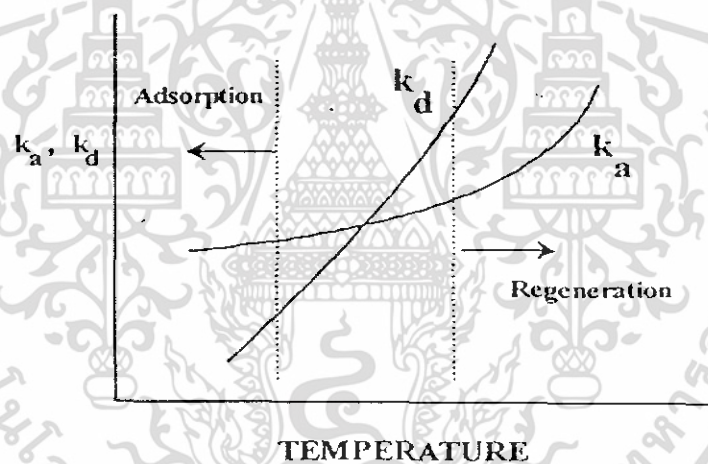
$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A C} \quad (2.14)$$

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{K_A q_m} + \frac{C}{q_m} \quad (2.15)$$

หรือ

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \left[\frac{1}{K_A q_m} \right] \frac{1}{C} \quad (2.16)$$

จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.16) พบว่า เมื่อค่าความเข้มข้นในเฟสของไหลที่สภาวะสมดุลมีค่าต่ำๆ ทำให้อัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวดูดซับบนของแข็งที่สภาวะสมดุล ต่อที่สภาวะอิ่มตัว แปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นในเฟสของไหลที่สภาวะสมดุล



รูปที่ 2.6 ค่าคงที่การดูดซับที่ขึ้นกับอุณหภูมิ [7]

โดยทั่วไปแล้วการดูดซับจะเป็นแบบคายความร้อนทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากค่า k_d และ k_a เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิต่ำๆ พบว่าค่า k_a มีค่าสูงกว่า k_d ทำให้ที่อุณหภูมิต่ำจึงเกิดการดูดซับ และจากรูปที่ 2.6 สรุปได้ว่าค่า k_d มีพลังงานกระตุ้นมากกว่าค่า k_a ทำให้ที่อุณหภูมิสูง ค่า k_d มีค่าสูงกว่า k_a ดังนั้น ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการคายซับ

2.8.2 แบบจำลองการดูดซับฟลอยด์ลิก(Freundlich equation isotherm) ข้อสมมติฐานของฟลอยด์ลิกไอโซเทิร์มมีว่าความร้อนของการดูดซับจะมีค่าลดลงเป็นลักษณะเส้นโค้งเมื่อปริมาณผิวหน้าที่ไม่ว่างมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนสมการการดูดซับของฟลอยลิด ได้ดังนี้

$$q = K_F C^{1/n} \quad (2.17)$$

เมื่อ K_F และ n คือค่าคงที่ จากสมการ (2.17) ใช้กับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนขึ้น ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองของแลงเมียร์โดย

$$\theta = \frac{K_F C^{1/n}}{1 + K_F C^{1/n}} \quad (2.18)$$

เป็น

$$q = \frac{q_m K_F C^{1/n}}{1 + K_F C^{1/n}} \quad (2.19)$$

ดังนั้น

$$\log(q) = \log(K_F) + 1/n \log(C) \quad (2.20)$$

เมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่าง $\log(q)$ กับ $\log(C)$ จะได้เส้นตรงซึ่งสามารถหาค่า K_F และ n ได้จากจุดตัดแกนและความชันของเส้นตรง ตามลำดับ

62441

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

การทดลองศึกษาการดูดซับน้ำมันอิสระออกจากน้ำยาหล่อเย็น เริ่มต้นจากการศึกษาผลของการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่เลือกใช้ จากนั้นเป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของความสูงของคอลัมน์ ซึ่งหมายถึง ความสูงในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระคงที่ที่ 2 % โดยปริมาตร และศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ เมื่อใช้ความสูงของคอลัมน์คงที่ โดยการทดลองมีดังนี้

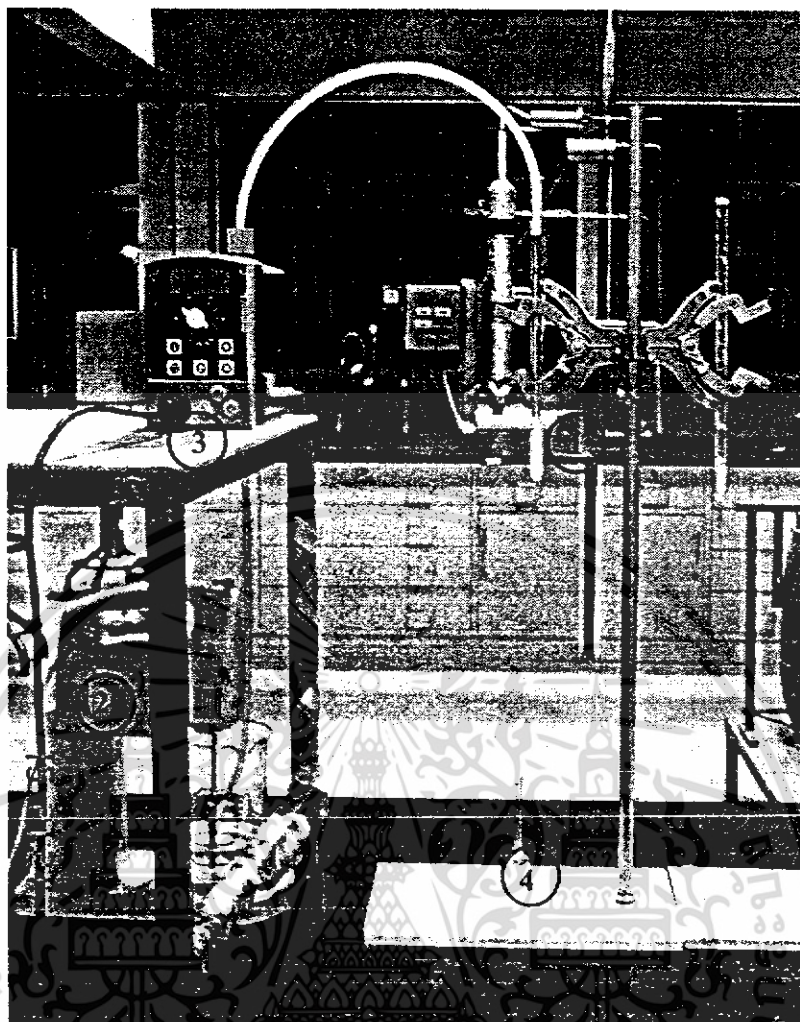
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) สารละลายเอทิลีนไกลคอลเข้มข้น 2 % โดยปริมาตร (น้ำยาหล่อเย็น)
- 2) น้ำมันไฮดรอลิก (น้ำมันอิสระ)
- 3) พอลิโพรพิลีน (PP)
- 4) พอลิสไตรีนชนิดเม็ด
- 5) คอลัมน์
- 6) กระจกเก็บสารตัวอย่าง
- 7) บีเปต
- 8) ขวดวัดปริมาตร
- 9) กระจกตวง
- 10) เครื่องปั่นกวน
- 11) ปัมชนิดลูกสูบของ ProMinent Fluid Contr.
- 12) เครื่องวัดค่าดัชนีหักเหแสง (Refractometer)

วิธีการในการเตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เตรียมน้ำยาหล่อเย็น (สารละลายเอทิลีนไกลคอลเข้มข้น 2 % โดยปริมาตร)
 - เติมสารละลายเอทิลีนไกลคอล 20 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และเติมน้ำให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 1000 มิลลิลิตร
2. เตรียมน้ำยาหล่อเย็นที่มีน้ำมันอิสระเข้มข้น 2 % โดยปริมาตร
 - เติมน้ำมันไฮดรอลิกปริมาตร 6 มิลลิลิตร ลงในน้ำยาหล่อเย็น 300 มิลลิลิตร
3. เตรียมปัมให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ต่อ นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองการวัดดัชนีหักเหของน้ำมันอิสระ (1) กอลลิเมต (2) เครื่องปั้นกวน (3) ปุ่มชนิดลูกสูบ และ(4) กระจบบอกเก็บสารตัวอย่าง

3.2 การดำเนินการทดลอง

3.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

- 1) เตรียมน้ำยาหล่อเย็นเข้มข้น 0.25 , 0.50 , 1.00 , 1.50 และ 2.00 % โดยปริมาตร
- 2) วัดค่าดัชนีหักเหแสง (Refractive Index) ของสารละลายที่เตรียมไว้ด้วยเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหแสง บันท์กผล
- 3) นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานโดยพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหแสงกับความเข้มข้น โดยปริมาตรของน้ำยาหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การบรรจุคอแล้ม

โดยขั้นแรกจะบรรจุพอลิสไตรีนชนิดเม็ด ตามด้วยพอลิโพรพิลีนความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และสุดท้ายจะบรรจุพอลิสไตรีนลงไปอีกครั้งหนึ่งเพื่อกระจายการไหลของสารป้อน

3.2.3 การศึกษาผลของการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

การทดลองในส่วนนี้ทำเพื่อตรวจสอบว่าพอลิโพรพิลีนที่เลือกใช้เป็นตัวดูดซับมีความสามารถในการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันเท่านั้น โดยทำการทดลองดังขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) เตรียมน้ำยาหล่อเย็นเข้มข้น 2 % โดยปริมาตร จำนวน 200 มิลลิลิตร
- 2) ป้อนสารละลายดังกล่าวเข้าสู่คอแล้มด้วยปั๊มที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) เก็บสารตัวอย่างที่ออกจากคอแล้มไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหแสงทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 100 นาที บันทึกผล
- 4) หาค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ออกจากคอแล้มโดยการเทียบค่าดัชนีหักเหแสงที่วัดได้กับกราฟมาตรฐาน

3.2.4 การศึกษาผลของการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

1. การศึกษาผลของความสูงของคอแล้มที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ

ความสูงของคอแล้ม หมายถึง ความสูงในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) บรรจุคอแล้มด้วยความสูง 2 เซนติเมตร
- 2) ทำให้คอแล้มเปียก โดยป้อนน้ำยาหล่อเย็นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยปั๊มที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) เตรียมน้ำยาหล่อเย็นที่มีน้ำมันอิสระเข้มข้น 2 % โดยปริมาตรและป้อนเข้าสู่คอแล้มด้วยปั๊มที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที พร้อมทั้งปั่นกวนสารผสมดังกล่าวด้วยเครื่องปั่นเพื่อกระจายน้ำมันให้ทั่วสารละลาย
- 4) เก็บสารตัวอย่างที่ออกจากคอแล้ม พร้อมบันทึกเวลา ทุกๆ 10 มิลลิลิตร
- 5) ทำการทดลองจนกระทั่ง คอแล้มอิ่มตัว คือ ความเข้มข้นของน้ำมันอิสระที่เข้าและออกจากคอแล้มมีค่าเท่ากัน
- 6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 2) ถึง 4) โดยเปลี่ยนความสูงของคอแล้มให้มีค่าเป็น 1 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ

2. การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ

- 1) บรรจุคอลัมน์ด้วยความสูง 2 เซนติเมตร
- 2) ทำให้คอลัมน์เปียก โดยป้อนน้ำยาหล่อเย็นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยปั๊มที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) เตรียมน้ำยาหล่อเย็นที่มีน้ำมันอิสระเข้มข้น 1.0 % โดยปริมาตรและป้อนเข้าสู่คอลัมน์ด้วยปั๊มที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที พร้อมทั้งปั่นกวนสารผสมดังกล่าวด้วยเครื่องปั่นเพื่อกระจายน้ำมันให้ทั่วสารละลาย
- 4) เก็บสารตัวอย่างที่ออกจากคอลัมน์ พร้อมบันทึกเวลา ทุกๆ 10 มิลลิลิตร
- 5) ทำการทดลองจนกระทั่ง คอลัมน์อิ่มตัว คือ ความเข้มข้นของน้ำมันอิสระที่เข้าและออกจากคอลัมน์มีค่าเท่ากัน
- 6) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.5, 2, 2.5 และ 3 % โดยปริมาตร

3.2.5 การศึกษาเส้นไอโซเทิร์มของการดูดซับน้ำมันอิสระ

- 1) ทำการทดลองตามหัวข้อ 3.2.4 โดยทำที่ความสูงของคอลัมน์เท่ากับ 2 เซนติเมตร
- 2) ปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันอิสระในในน้ำยาหล่อเย็นให้มีค่าเท่ากับ 1 , 1.5 , 2 , 2.5 และ 3 % โดยปริมาตร ตามลำดับ
- 3) นำผลจากการทดลองมาสร้างเส้นโค้งการดูดซับ และเส้นไอโซเทิร์มของการดูดซับ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

จากการทดลองการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นที่มีความเข้มข้น 2 % โดยปริมาตรบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร เมื่อป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการเก็บสารตัวอย่างที่ออกจากคอลัมน์ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 100 นาที ไปวัดค่าดัชนีหักเหแสงเพื่อเทียบความเข้มข้นกับกราฟมาตรฐานในภาคผนวก ก. พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ออกจากคอลัมน์ ณ เวลาต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการดูดซับน้ำยาหล่อเย็นของตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความสูง 2 เซนติเมตร เมื่อป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (นาที)	ค่าดัชนีหักเหแสง				%v/v
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0	3.514	3.515	3.512	3.514	1.900
5	3.500	3.500	3.500	3.500	1.790
10	3.500	3.500	3.502	3.501	1.795
15	3.502	3.504	3.502	3.503	1.811
20	3.513	3.500	3.513	3.509	1.860
30	3.500	3.500	3.506	3.502	1.806
40	3.507	3.509	3.510	3.509	1.860
50	3.509	3.508	3.508	3.508	1.857
60	3.508	3.512	3.512	3.511	1.876
70	3.510	3.512	3.512	3.511	1.881
80	3.510	3.511	3.512	3.511	1.878
90	3.510	3.510	3.512	3.511	1.876
100	3.510	3.512	3.511	3.511	1.878

4.2 การศึกษาผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

4.2.1 การศึกษาผลของความสูงของคอลัมน์ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ

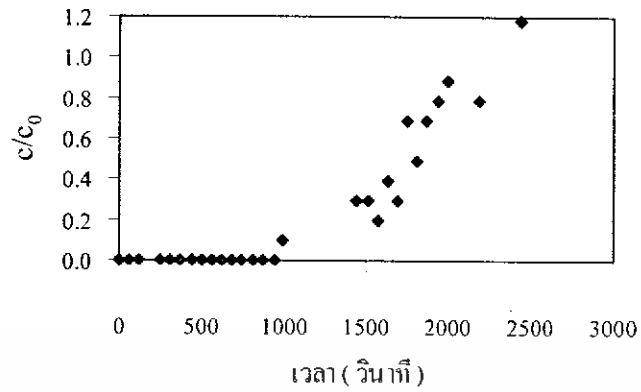
การทดลองใช้ความยาวในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนเป็น 1, 2 และ 3 เซนติเมตร ด้วยความหนาแน่น 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหลของสารป้อน 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 และภาคผนวก ข.

พบว่าเมื่อความยาวในการบรรจุตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำมันอิสระจนถึงจุดอิ่มตัวเพิ่มขึ้น หรือความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

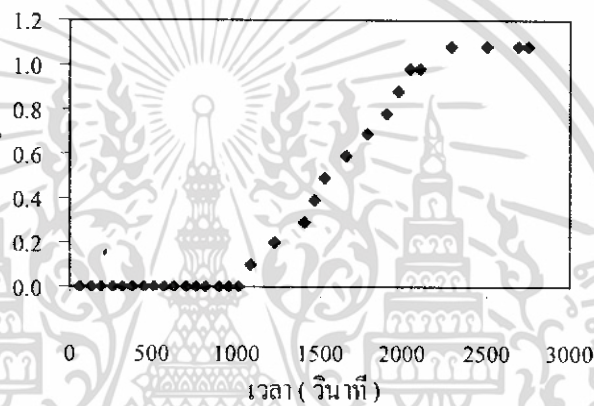
4.2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ

การทดลองใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระในน้ำยาหล่อเย็นเป็น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 % โดยปริมาตร โดยบรรจุตัวดูดซับด้วยความยาว 2 เซนติเมตรด้วยความหนาแน่น 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 และภาคผนวก ค.

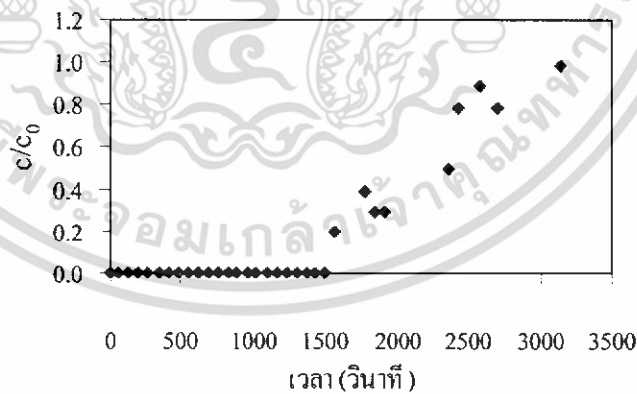
พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวจะมีค่าลดลง



(ก)



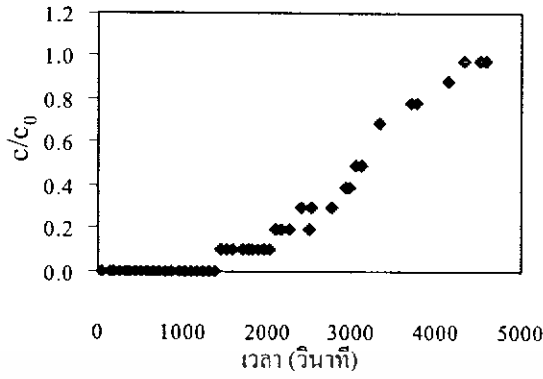
(ข)



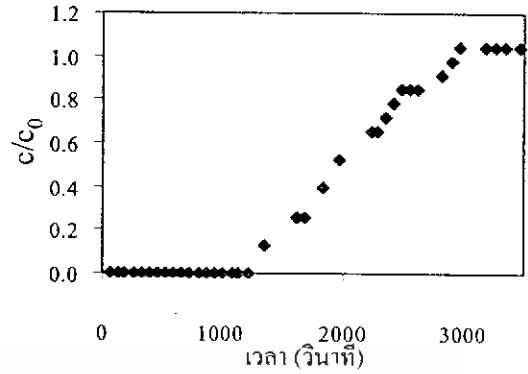
(ค)

รูปที่ 4.1 เส้นโค้งการดูดซับน้ำมันอิสระบนพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2 % โดยปริมาตรและป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยบรรจุคอลัมน์ด้วยความสูง (ก) 1 เซนติเมตร (ข) 2 เซนติเมตร และ (ค) 3 เซนติเมตร

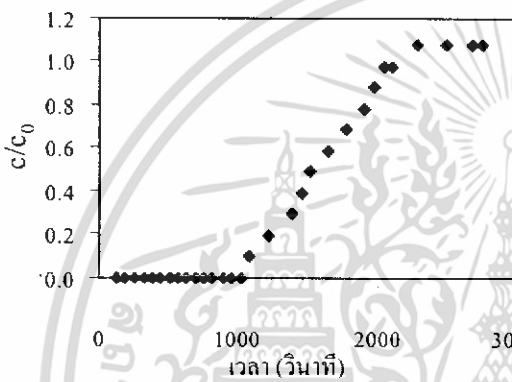
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



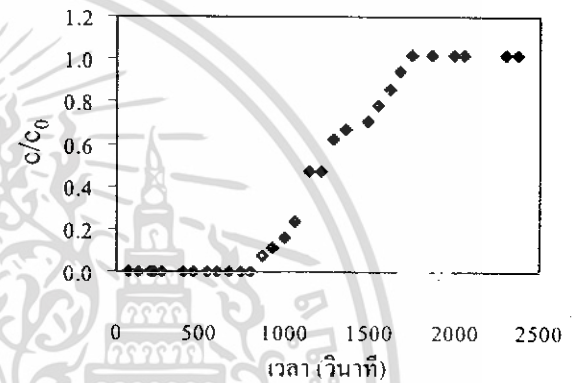
(ก)



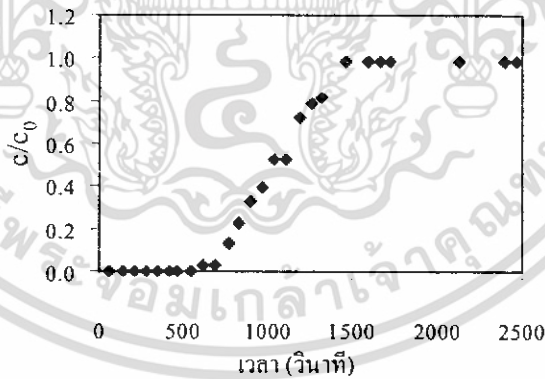
(ข)



(ค)



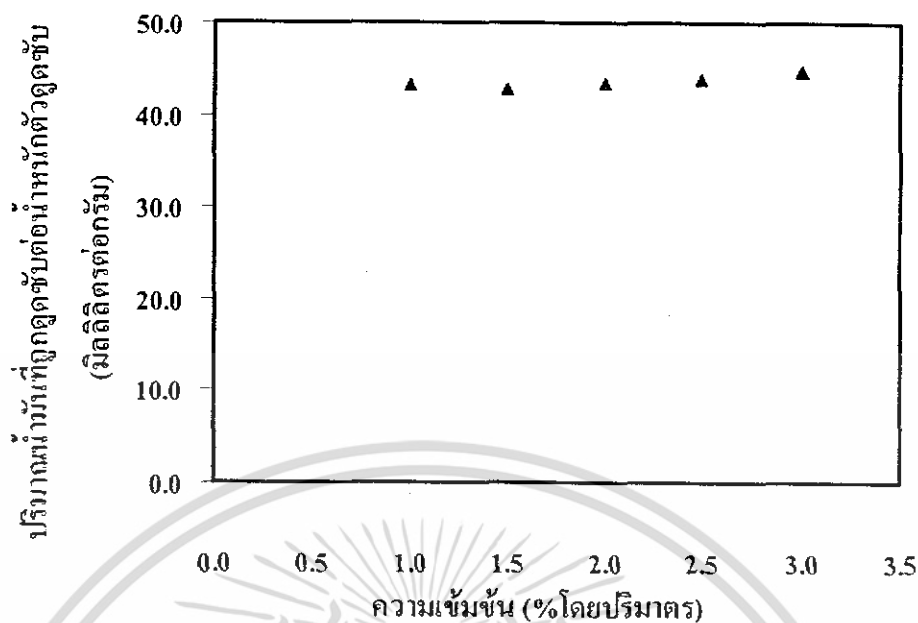
(ง)



(จ)

รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการดูดซับน้ำมันอิสระของพอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิกรัม และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร โดยป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิกรัมต่ออนาที ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมัน อิสระมีค่า (ก) 1.0% (ข) 1.5% (ค) 2.0% (ง) 2.5% และ (จ) 3.0% โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ไอโซเทิร์มการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน

4.3 การศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับน้ำมันอิสระ

การทดลองใช้ความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ที่มีความหนาแน่น 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระในน้ำยาหล่อเย็นเป็น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 % โดยปริมาตร แล้ววิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันอิสระที่ถูกดูดซับไว้จากเส้นโค้งการดูดซับ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.3 และภาคผนวก ง

เมื่อพิจารณาจะพบว่าปริมาณน้ำมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำมันอิสระที่เปลี่ยนไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของความสูงของคอลัมน์ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าเมื่อความสูงของคอลัมน์เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความสูงของคอลัมน์เป็นการเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับให้มากขึ้น โดยที่ความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร จะมีความเหมาะสมในการดูดซับน้ำมันอิสระมากกว่ากรณีความสูง 1 และ 3 เซนติเมตร โดยทั้งสองกรณี น้ำมันอิสระที่ไหลจากคอลัมน์จะเกิดการดูดซับได้น้อย เนื่องจากเกิดการไหลตามช่องว่างระหว่างพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นสูงขึ้น

การดูดซับน้ำมันอิสระออกจากน้ำยาหล่อเย็นโดยใช้ตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนเป็นการดูดซับแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible adsorption) คือ ปริมาณของน้ำมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำมันอิสระที่เปลี่ยนไป ทำให้ตัวดูดซับพอลิโพรพิลีนที่เลือกใช้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (regeneration) ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. อัตรการไหลของน้ำมันอิสระในสารป้อนไม่คงที่ เนื่องจากน้ำมันอิสระมีความหนาแน่นต่ำจึงมักเกาะบริเวณของท่อที่มีการงอ ทำให้ปริมาณของน้ำมันอิสระที่ลงสู่คอลัมน์ไม่สม่ำเสมอ สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยเดินท่อของสารป้อนในแนวระดับแทนแนวโค้งที่ใช้ในปัจจุบัน
2. ควรมีการเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับพอลิเมอร์ชนิดอื่น พร้อมทั้งหาคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ เช่น พื้นที่ผิว การกระจายของรูพรุน และขนาดของรูพรุน
3. อาจมีการศึกษาหาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการดำเนินงานเพื่อเป็นข้อมูลในการขยายขนาดในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป
4. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมที่ความเข้มข้นต่ำๆ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนว่าการทดลองเป็นการดูดซับแบบผันกลับไม่ได้

เอกสารอ้างอิง

1. นริศรา นพาวรูมาศ , พัทธา เสริมตระกูลและวิชชุดา สุขสำอาง.2545. “การศึกษาการดูดซับแคดเมียมโดย ใช้กระดองหมีก.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรม เคมี บัณฑิตวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. นิ่ม จงเทพ , ประจวบ อินทัญญาดีและพรพรรณ อินทร์ใจเอื้อ.2547. การดูดซับสารละลายสีย้อม Congo Red โดยวัสดุทางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. ประเสริฐ แก้วเกษมเกษ. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นไหม โดยใช้ระบบถังกรองและถังคาร์บอนดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
4. Geanoplis , Christi J. 1995. **Transport Process and Unit Operation**. 3 rd ed. Singapore: Prentice Hall.
5. McCabe , Warren L., Smith , Smith , Julian C. and Harriott , Peter. 2005 . **Unit Operation of Chemical Engineering**. 7 th ed. Singapore:McGraw-Hill.
6. Seader , J.D and Henley , Ernest J.1998. **Separation Process Principle**. United State:Seader Henley.
7. Vasanth Kumer.,Subanandam , Ramamurthi. And Sivanesan .2004. **Solid Liquid Adsorption for wastewater Treatment** (Online). : <http://www.eco-web.com/cgi-local/index.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

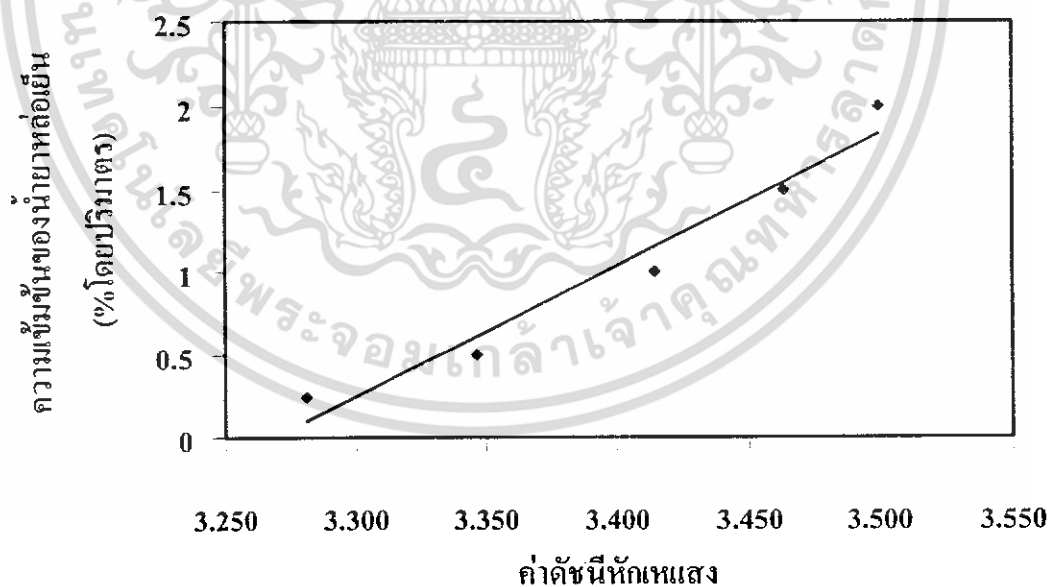
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นของน้ำยาหล่อเย็น

ตารางที่ ก.1 ค่าดัชนีหักเหแสงของน้ำยาหล่อเย็นที่ความเข้มข้นต่างๆ

ค่าความเข้มข้นของน้ำยาหล่อเย็น (%โดยปริมาตร)	ค่าดัชนีหักเหแสง (-)
0.25	3.364
0.5	3.375
1	3.416
1.5	3.456
2	3.532



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าดัชนีหักเหแสงกับความเข้มข้นของน้ำยาหล่อเย็น โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลของความสูงของคอลัมน์ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันอิสระ

ตารางที่ ข.1 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบคด้วยความสูง 1 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เมื่อบรรจุเบคด้วยความสูง 1 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	62	0.00	0.00	0.00
20	124	0.00	0.00	0.00
30	250	0.00	0.00	0.00
40	311	0.00	0.00	0.00
50	373	0.00	0.00	0.00
60	438	0.00	0.00	0.00
70	500	0.00	0.00	0.00
80	565	0.00	0.00	0.00
90	624	0.00	0.00	0.00
100	685	0.00	0.00	0.00
110	744	0.00	0.00	0.00
120	807	0.00	0.00	0.00
130	869	0.00	0.00	0.00
140	933	0.00	0.00	0.00
150	998	0.10	0.02	0.10
160	1066	0.30	0.06	0.29
170	1128	0.40	0.08	0.39
180	1188	0.60	0.12	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 1 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิกรัม และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิกรัมต่อนาที (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิกรัม)	เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 1 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
190	1246	0.40	0.08	0.39
200	1306	0.50	0.10	0.49
210	1370	0.50	0.10	0.49
220	1435	0.30	0.06	0.29
230	1503	0.30	0.06	0.29
240	1566	0.20	0.04	0.20
250	1626	0.40	0.08	0.39
260	1685	0.30	0.06	0.29
270	1749	0.70	0.14	0.69
280	1807	0.50	0.10	0.49
290	1867	0.70	0.14	0.69
300	1933	0.80	0.16	0.79
310	1999	0.90	0.18	0.88
320	2066	1.20	0.24	1.18
330	2128	1.80	0.35	1.77
340	2193	0.80	0.16	0.79
350	2259	2.20	0.43	2.16
360	2320	1.30	0.26	1.28
370	2380	2.10	0.41	2.06
380	2438	1.20	0.24	1.18
390	2502	0.90	0.18	0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 2 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 2 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	64	0.00	0.00	0.00
20	127	0.00	0.00	0.00
30	189	0.00	0.00	0.00
40	256	0.00	0.00	0.00
50	321	0.00	0.00	0.00
60	379	0.00	0.00	0.00
70	444	0.00	0.00	0.00
80	507	0.00	0.00	0.00
90	567	0.00	0.00	0.00
100	624	0.00	0.00	0.00
110	693	0.00	0.00	0.00
120	750	0.00	0.00	0.00
130	811	0.00	0.00	0.00
140	893	0.00	0.00	0.00
150	955	0.00	0.00	0.00
160	1018	0.00	0.00	0.00
170	1086	0.10	0.02	0.10
180	1150	0.10	0.02	0.10
190	1225	0.20	0.04	0.20
200	1280	0.20	0.04	0.20
210	1341	0.40	0.08	0.39
220	1400	0.30	0.06	0.29
230	1460	0.40	0.08	0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบด ด้วยความสูง 2 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อ นาที (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 2 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
240	1525	0.50	0.10	0.49
250	1597	0.60	0.12	0.59
260	1652	0.60	0.12	0.59
270	1726	0.60	0.12	0.59
280	1782	0.70	0.14	0.69
290	1782	0.90	0.18	0.88
300	1782	0.80	0.16	0.79
310	1782	0.90	0.18	0.88
320	1782	1.00	0.20	0.98
330	1782	1.00	0.20	0.98
340	1782	1.30	0.26	1.28
350	1782	1.20	0.24	1.18
360	1782	1.10	0.22	1.08
370	1782	1.20	0.24	1.18
380	1782	1.00	0.20	0.98
390	1782	1.10	0.22	1.08
400	1782	1.20	0.24	1.18
410	1782	1.20	0.24	1.18
420	1782	1.10	0.22	1.08
430	1782	1.10	0.22	1.08
440	1782	1.20	0.24	1.18
450	1782	1.40	0.27	1.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 3 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 3 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	60	0.00	0.00	0.00
20	129	0.00	0.00	0.00
30	197	0.00	0.00	0.00
40	267	0.00	0.00	0.00
50	338	0.00	0.00	0.00
60	411	0.00	0.00	0.00
70	476	0.00	0.00	0.00
80	549	0.00	0.00	0.00
90	619	0.00	0.00	0.00
100	680	0.00	0.00	0.00
110	757	0.00	0.00	0.00
120	818	0.00	0.00	0.00
130	881	0.00	0.00	0.00
140	955	0.00	0.00	0.00
150	1021	0.00	0.00	0.00
160	1099	0.00	0.00	0.00
170	1163	0.00	0.00	0.00
180	1238	0.00	0.00	0.00
190	1305	0.00	0.00	0.00
200	1369	0.00	0.00	0.00
210	1432	0.00	0.00	0.00
220	1498	0.00	0.00	0.00
230	1512	0.30	0.06	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการดำเนินงานที่ออกโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม มิใช่เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่เป็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 3 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เมื่อบรรจุเบดด้วยความสูง 3 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
240	1562	0.20	0.04	0.20
250	1625	0.60	0.12	0.59
260	1700	0.80	0.16	0.79
270	1771	0.40	0.08	0.39
280	1839	0.30	0.06	0.29
290	1910	0.30	0.06	0.29
300	2002	0.20	0.04	0.20
310	2061	0.10	0.02	0.10
320	2134	0.10	0.02	0.10
330	2207	0.10	0.02	0.10
340	2277	0.90	0.18	0.88
350	2355	0.50	0.10	0.49
360	2426	0.80	0.16	0.79
370	2500	0.90	0.18	0.88
380	2576	0.90	0.18	0.88
390	2640	0.60	0.12	0.59
400	2708	0.80	0.16	0.79
410	2779	0.20	0.04	0.20
420	2851	0.80	0.16	0.79
430	2922	0.70	0.14	0.69
440	2997	0.80	0.16	0.79
450	3070	1.10	0.22	1.08
460	3139	1.00	0.20	0.98
470	3212	0.80	0.16	0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานที่โครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อบรรจุเบคด้วย ความสูง 3 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 2 % โดยปริมาตรด้วยอัตราการใช้ 10 มิลลิลิตรต่อนาที (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เมื่อบรรจุเบคด้วย ความสูง 3 เซนติเมตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
480	3294	1.10	0.22	1.08
490	3369	1.20	0.24	1.18
500	3436	0.80	0.16	0.79
510	3510	0.80	0.16	0.79
520	3588	0.90	0.18	0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระที่มีผลต่อการดูดซับ น้ำมันอิสระ

ตารางที่ ค.1 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	58	0.00	0.00	0.00
20	135	0.00	0.00	0.00
30	194	0.00	0.00	0.00
40	260	0.00	0.00	0.00
50	320	0.00	0.00	0.00
60	381	0.00	0.00	0.00
70	450	0.00	0.00	0.00
80	520	0.00	0.00	0.00
90	584	0.00	0.00	0.00
100	654	0.00	0.00	0.00
110	732	0.00	0.00	0.00
120	803	0.00	0.00	0.00
130	873	0.00	0.00	0.00
140	948	0.00	0.00	0.00
150	1021	0.00	0.00	0.00
160	1090	0.00	0.00	0.00
170	1158	0.00	0.00	0.00
180	1229	0.00	0.00	0.00
190	1297	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
200	1384	0.00	0.00	0.00
210	1458	0.05	0.01	0.10
220	1520	0.05	0.01	0.10
230	1582	0.05	0.01	0.10
240	1707	0.05	0.01	0.10
250	1770	0.05	0.01	0.10
260	1826	0.05	0.01	0.10
270	1896	0.05	0.01	0.10
280	1966	0.05	0.01	0.10
290	2035	0.05	0.01	0.10
300	2112	0.10	0.02	0.20
310	2183	0.10	0.02	0.20
320	2255	0.10	0.02	0.20
330	2324	0.15	0.03	0.29
340	2396	0.15	0.03	0.29
350	2494	0.10	0.02	0.20
360	2535	0.15	0.03	0.29
370	2607	0.20	0.04	0.39
380	2680	0.20	0.04	0.39
390	2751	0.15	0.03	0.29
400	2838	0.05	0.01	0.10
410	2911	0.20	0.04	0.39
420	2976	0.20	0.04	0.39
430	3036	0.25	0.05	0.49
440	3106	0.25	0.05	0.49
450	3168	0.20	0.04	0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
460	3186	0.30	0.06	0.59
470	3255	0.20	0.04	0.39
480	3323	0.35	0.07	0.69
490	3392	0.25	0.05	0.49
480	3323	0.35	0.07	0.69
490	3392	0.25	0.05	0.49
500	3460	0.30	0.06	0.59
510	3541	0.15	0.03	0.29
520	3622	0.25	0.05	0.49
530	3692	0.40	0.08	0.79
540	3769	0.40	0.08	0.79
550	3845	0.30	0.06	0.59
560	3924	0.35	0.07	0.69
570	3988	0.30	0.06	0.59
580	4069	0.40	0.08	0.79
590	4139	0.45	0.09	0.88
600	4244	0.40	0.08	0.79
610	4313	0.50	0.10	0.98
620	4388	0.60	0.12	1.18
630	4460	0.60	0.12	1.18
640	4521	0.50	0.10	0.98
650	4581	0.50	0.10	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.5 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.5 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	63	0.00	0.00	0.00
20	125	0.00	0.00	0.00
30	184	0.00	0.00	0.00
40	259	0.00	0.00	0.00
50	329	0.00	0.00	0.00
60	395	0.00	0.00	0.00
70	463	0.00	0.00	0.00
80	531	0.00	0.00	0.00
90	600	0.00	0.00	0.00
100	668	0.00	0.00	0.00
110	738	0.00	0.00	0.00
120	807	0.00	0.00	0.00
130	873	0.00	0.00	0.00
140	941	0.00	0.00	0.00
150	1011	0.00	0.00	0.00
160	1087	0.00	0.00	0.00
170	1150	0.00	0.00	0.00
180	1234	0.00	0.00	0.00
190	1300	0.10	0.02	0.13
200	1364	0.10	0.02	0.13
210	1431	0.10	0.02	0.13
220	1497	0.20	0.04	0.26
230	1560	0.20	0.04	0.26
240	1622	0.20	0.04	0.26
250	1693	0.20	0.04	0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.5 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 1.5 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
260	1765	0.20	0.04	0.26
270	1837	0.30	0.06	0.39
280	1977	0.40	0.08	0.52
290	2061	0.50	0.10	0.65
300	2233	0.50	0.10	0.65
310	2295	0.50	0.10	0.65
320	2359	0.55	0.11	0.72
330	2422	0.60	0.12	0.79
340	2487	0.65	0.13	0.85
350	2555	0.65	0.13	0.85
360	2619	0.65	0.13	0.85
370	2816	0.70	0.14	0.92
380	2911	0.75	0.15	0.98
390	2977	0.80	0.16	1.05
400	3190	0.80	0.16	1.05
410	3272	0.80	0.16	1.05
420	3344	0.80	0.16	1.05
430	3465	0.80	0.16	1.05
440	3518	0.90	0.18	1.18
450	3575	1.10	0.22	1.44
460	3643	1.20	0.24	1.57
470	3705	1.00	0.20	1.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	64	0.00	0.00	0.00
20	127	0.00	0.00	0.00
30	189	0.00	0.00	0.00
40	256	0.00	0.00	0.00
50	321	0.00	0.00	0.00
60	379	0.00	0.00	0.00
70	444	0.00	0.00	0.00
80	507	0.00	0.00	0.00
90	567	0.00	0.00	0.00
100	624	0.00	0.00	0.00
110	693	0.00	0.00	0.00
120	750	0.00	0.00	0.00
130	811	0.00	0.00	0.00
140	893	0.00	0.00	0.00
150	955	0.00	0.00	0.00
160	1018	0.00	0.00	0.00
170	1086	0.10	0.02	0.10
180	1150	0.10	0.02	0.10
190	1225	0.20	0.04	0.20
200	1280	0.20	0.04	0.20
210	1341	0.40	0.08	0.39
220	1400	0.30	0.06	0.29
230	1460	0.40	0.08	0.39
240	1525	0.50	0.10	0.49
250	1597	0.60	0.12	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
260	1652	0.60	0.12	0.59
270	1726	0.60	0.12	0.59
280	1782	0.70	0.14	0.69
290	1843	0.90	0.18	0.88
300	1906	0.80	0.16	0.79
310	1978	0.90	0.18	0.88
320	2041	1.00	0.20	0.98
330	2105	1.00	0.20	0.98
340	2165	1.30	0.26	1.28
350	2232	1.20	0.24	1.18
360	2295	1.10	0.22	1.08
370	2361	1.20	0.24	1.18
380	2420	1.00	0.20	0.98
390	2505	1.10	0.22	1.08
400	2573	1.20	0.24	1.18
410	2636	1.20	0.24	1.18
420	2693	1.10	0.22	1.08
430	2574	1.10	0.22	1.08
440	2818	1.20	0.24	1.18
450	2882	1.40	0.27	1.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.5 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.5 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	65	0.00	0.00	0.00
20	130	0.00	0.00	0.00
30	198	0.00	0.00	0.00
40	269	0.00	0.00	0.00
50	228	0.00	0.00	0.00
60	400	0.00	0.00	0.00
70	460	0.00	0.00	0.00
80	539	0.00	0.00	0.00
90	602	0.00	0.00	0.00
100	669	0.00	0.00	0.00
110	738	0.00	0.00	0.00
120	807	0.00	0.00	0.00
130	871	0.10	0.02	0.08
140	937	0.15	0.03	0.12
150	1005	0.20	0.04	0.16
160	1067	0.30	0.06	0.24
170	1141	0.60	0.12	0.47
180	1215	0.60	0.12	0.47
190	1289	0.80	0.16	0.63
200	1352	0.85	0.17	0.67
210	1425	1.10	0.22	0.86
220	1485	0.90	0.18	0.71
230	1549	1.00	0.20	0.79
240	1612	1.10	0.22	0.86
250	1678	1.20	0.24	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.5 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 2.5 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
260	1741	1.30	0.26	1.02
270	1800	1.20	0.24	0.94
280	1861	1.30	0.26	1.02
290	1924	1.20	0.24	0.94
300	1994	1.30	0.26	1.02
310	2055	1.30	0.26	1.02
320	2118	1.50	0.29	1.18
330	2180	1.60	0.31	1.26
340	2244	1.60	0.31	1.26
350	2304	1.30	0.26	1.02
360	2366	1.30	0.26	1.02
370	2428	1.30	0.26	1.02
380	2488	1.20	0.24	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 3.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 3.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
0	0	0.00	0.00	0.00
10	64	0.00	0.00	0.00
20	135	0.00	0.00	0.00
30	207	0.00	0.00	0.00
40	277	0.00	0.00	0.00
50	346	0.00	0.00	0.00
60	416	0.00	0.00	0.00
70	473	0.00	0.00	0.00
80	552	0.00	0.00	0.00
90	619	0.05	0.01	0.03
100	687	0.05	0.01	0.03
110	769	0.20	0.04	0.13
120	833	0.35	0.07	0.23
130	903	0.50	0.10	0.33
140	972	0.60	0.12	0.39
150	1044	0.80	0.16	0.52
160	1113	0.80	0.16	0.52
170	1186	1.10	0.22	0.72
180	1256	1.20	0.24	0.79
190	1324	1.25	0.25	0.82
200	1399	1.55	0.30	1.01
210	1460	1.50	0.29	0.98
220	1524	1.40	0.27	0.92
230	1584	1.50	0.29	0.98
240	1659	1.50	0.29	0.98
250	1722	1.50	0.29	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค่าจ้างงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังที่อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานการวิจัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลการดูดซับน้ำมันอิสระบนตัวดูดซับพอลิโพรพิลีน เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 3.0 % โดยปริมาตร และความสูงของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระเป็น 3.0 % โดยปริมาตร			
	เวลา (วินาที)	h (เซนติเมตร)	c (%V/V)	c/c ₀
260	1791	1.60	0.31	1.05
270	1854	1.80	0.35	1.18
280	1912	1.70	0.33	1.11
290	1988	1.40	0.27	0.92
300	2058	1.20	0.24	0.79
310	2125	1.50	0.29	0.98
320	2194	2.10	0.41	1.37
330	2262	1.80	0.35	1.18
340	2334	1.60	0.31	1.05
350	2398	1.50	0.29	0.98
360	2462	1.50	0.29	0.98
370	2536	1.50	0.29	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีน

ตัวอย่าง ง-1 จากการชั่งน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน 1 ท่อนหนัก 948 กรัม

กำหนด

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน เท่ากับ 7.6 เซนติเมตร

ความยาวของท่อน เท่ากับ 244 เซนติเมตร

หาปริมาตรของท่อนพอลิโพรพิลีน จากสูตร

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{\pi D_p^2 L_p}{4} \\ &= \frac{3.14 \times 7.6 \times 7.6 \times 244}{4} \\ &= 11068.96 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ปริมาตรของท่อนพอลิโพรพิลีน เท่ากับ 11068.96 ลูกบาศก์เซนติเมตร

หาความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีน จากสูตร

$$\begin{aligned} \rho_p &= \frac{m_p}{V_p} \\ &= \frac{948}{11068.96} \\ &= 0.08 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีน เท่ากับ 0.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

การคำนวณหาค่าน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน

ตัวอย่าง ง-2 จากการทดลองที่ความสูงของพอลิโพรพิลีนที่บรรจุในคอลัมน์เท่ากับ 2 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi D_c^2 h}{4} \\ &= \frac{3.14 \times 0.965 \times 0.965 \times 2}{4} \text{ cm}^3 \\ &= 1.462 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่าง จ-1

ความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีน (ρ_p) 0.08 กรัมต่อมิลลิกรัม
 หาน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน

$$\rho_p = \frac{m_p}{V}$$

$$m_p = 0.08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 1.462 \text{ cm}^3$$

$$= 0.117 \text{ g}$$

ดังนั้นน้ำหนักของพอลิโพรพิลีนที่บรรจุในคอลัมน์สูง 2 เซนติเมตรเท่ากับ 0.117 กรัม

การคำนวณหาค่าความเข้มข้น (%โดยปริมาตร) ของน้ำมันอิสระ

ตัวอย่าง จ-3 จากการทดลองที่ความสูงของพอลิโพรพิลีน 2 เซนติเมตร โดยเก็บน้ำยาหล่อเย็นที่มี 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันอิสระ ปริมาตร 300 มิลลิกรัมทุกๆ 10 มิลลิกรัม พบว่าที่เวลา 1400 วินาที มีปริมาณน้ำมันอิสระออกจากคอลัมน์สูง 0.3 เซนติเมตร หาค่าความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันอิสระที่ออกจากคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกเก็บสารตัวอย่างเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times 0.5 \times 0.5 \times 0.3}{4}$$

$$= 0.0588 \text{ cm}^3$$

โดยที่

$$C_0 = \frac{V}{V_0}$$

$$= \frac{0.0588}{10}$$

$$= 0.00588$$

ดังนั้นที่เวลา 1400 วินาที มีความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันอิสระที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 0.00588 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การคำนวณหาเส้นกราฟไอโซเทอริม

ตัวอย่าง ง-4 จากการทดลอง ความเข้มข้นของน้ำมันอิสระ 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใน
น้ำยาหล่อเย็นที่ความสูงของพอลิโพรพิลีนในคอลัมน์ 2 เซนติเมตร

กำหนด

$$D_c = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์} (= 0.965 \text{ เซนติเมตร})$$

$$A = \frac{\pi D_c^2}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times 0.965^2}{4}$$

$$= 0.731 \text{ cm}^2$$

$$F_A = \text{อัตราการไหลของน้ำมันอิสระต่อพื้นที่ผิวของคอลัมน์}$$

$$c_0 = \text{ความเข้มข้นของน้ำมันอิสระ 1 % โดยปริมาตร (%v/v)}$$

$$u_o = \text{ความเร็วสัมพัทธ์ที่ผิว (เซนติเมตร/วินาที)}$$

$$= \frac{\text{flow}}{\text{area}} = \frac{10 \text{ cm}^3}{0.731 \text{ cm}^2 \cdot \text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.228 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

จากสูตร

$$F_A = c_0 u_o$$

$$= \frac{1}{100} \frac{\text{cm}^3 \text{ oil}}{\text{cm}^3} \times 0.228 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$= 2.28 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^3 \text{ oil}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$$

จากกราฟ 4.2 (จ) หาพื้นที่เหนือกราฟจาก t^* คือเวลาที่ทำให้เส้นโค้งการดูดซับมีความ
สมมาตรกัน (c/c_0 มีค่าเท่ากับ 0.5) เท่ากับ 3106 วินาที

$$\text{ปริมาณของตัวถูกดูดซับทั้งหมด} = \text{พื้นที่เหนือกราฟ} \times F_A$$

$$= 2.28 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^3 \text{ oil}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \times 3106 \text{ s}$$

$$= 7.08 \frac{\text{cm}^3 \text{ oil}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{น้ำหนักต่อพื้นที่ผิวของพอลิโพรพิลีน} = L \times \rho_p$$

$$= 2 \text{ cm} \times 0.08 \frac{\text{gPP}}{\text{cm}^3}$$

$$= 0.16 \frac{\text{gPP}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน} = 7.08 \frac{\text{cm}^3 \text{ oil}}{\text{cm}^2} \times \frac{1}{0.16} \frac{\text{cm}^2}{\text{gPP}}$$

$$= 44.25 \frac{\text{cm}^3 \text{ oil}}{\text{gPP}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่าง จ-4 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันอิสระ 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 % โดยปริมาตร ได้ผลดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการหาไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำมันอิสระ โดยใช้ตัวดูดซับ พอลิโพรพิลีนที่มีความหนาแน่นรวม 0.08 กรัมต่อมิลลิเมตร ด้วยความสูง 2 เซนติเมตร

c_0 (% V/V)	F_A (ml oil / cm ³ ·s)	พื้นที่เหนือกราฟ (วินาที)	ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อ นน. ของตัวดูดซับ (cm ³ oil adsorbed/g PP)
1.0	2.28×10^{-3}	3106	44.26
1.5	3.42×10^{-3}	2000	42.75
2.0	4.56×10^{-3}	1525	43.46
2.5	5.70×10^{-3}	1229	43.78
3.0	6.84×10^{-3}	1044	44.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. ป้อนชนิดลูกสูบของ ProMinent Fluid Contr.

TYP	GALA0713PPE200UA01000	
SER. NR./TN	2001070540	
EL. ANSCHLUSS	100-230V	50/60Hz
SPITZENSTROM	22W	10A
DOSIERLEISTUNG	11l/h	07bar
	2.94 gph	102psi
	IP65	W31/01

2. คอลัมน์

ID 9.65 mm/ L20cm

3. ครอบอกเก็บสารตัวอย่าง

ID1 5 mm / L1 100 mm

ID2 30 mm / L2 3 mm