

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษากการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เพื่อเพิ่มการดูดซับสารไม่มีขั้ว ซึ่งในงานวิจัยนี้สารที่ใช้ทดสอบคือน้ำมันดีเซล เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีซิลิเลชัน โดยมีตัวแปรศึกษาดังต่อไปนี้ คือ ชนิดของไซเลน ความเข้มข้น และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ไซเลน 2 ชนิด คือ ไตรเมทิลคลอโรไซเลน (TMCS) และไดเอทิลไดคลอโรไซเลน (DEDCS) ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 1 3 5 และ 9 ร้อยละโดยน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 3 5 และ 9 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับสภาพจะถูกนำมาศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันทั้งในกรณีที่อยู่นิ่ง (Static) และเคลื่อนที่ (Dynamics) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของเส้นใยก่อนและหลังทำการปรับสภาพเส้นใย

4.1 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

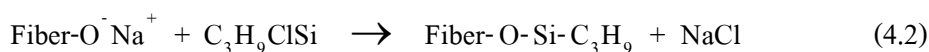
เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน องค์ประกอบเหล่านี้มีโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นไฮดรอกซิล (R-OH) อีเทอร์ (R-O-R') เอสเตอร์ (R-C^P-O-R') และคาร์บอกซิล (R-C^P-OH) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นส่วนใหญ่ หมู่ไฮดรอกซิลจะมีสภาพขั้ว (Polarity) สูง ทำให้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามีสภาพขั้วสูง สามารถที่จะดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ของเส้นใย ตัวอย่างสภาพขั้วของสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลแสดงดังตารางที่ 4.1 การปรับสภาพทางเคมีจะไปกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยให้หลุดออกไป ซึ่งได้ทำการปรับสภาพขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากการศึกษาของ Bei Wang (2004) พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนทำปฏิกิริยาซิลิเลชัน คือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการที่ 4.1

เมอร์เซอร์ไรเซชัน:



จากสมการที่ 4.1 จะพบว่า Na ได้เข้าทำปฏิกิริยาตรงพันธะไฮโดรเจน ทำให้ไฮโดรเจนหลุดออกแล้วรวมตัวกับ -OH ของโซเดียมไฮดรอกไซด์กลายเป็นน้ำ (H₂O) Na จะเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนบนเส้นใย เกิดพันธะกันอย่างหลวมๆ พันธะที่สร้างขึ้นใหม่นี้เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรงหลุดออกได้ง่าย การปรับสภาพขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนปรับสภาพด้วยวิธี ซิลิเลชัน เป็นการกระตุ้นให้เส้นใยพร้อมที่จะทำปฏิกิริยาต่อ ปฏิกิริยาซิลิเลชันที่เกิดจากไซเลนที่ใช้ทำปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ ไตรเมทิลคลอโรไซเลน (C₃H₉ClSi) และ ไดเอทิลไดคลอโรไซเลน (C₄H₁₀Cl₂Si) เป็นดังสมการที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ซิลิเลชัน:



หมู่ซิลิล (R-Si) จากสารละลายไซเลนจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่ Na⁺ ได้โครงสร้างใหม่ Na⁺ ที่หลุดออกจะไปรวมกับ Cl เกิดเป็น NaCl หลังจากทำการปรับสภาพจะเห็นได้ว่าหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยถูกกำจัดออก คาดว่าการปรับสภาพจะทำให้เส้นใยมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 สภาพขี้ของสารบางชนิด

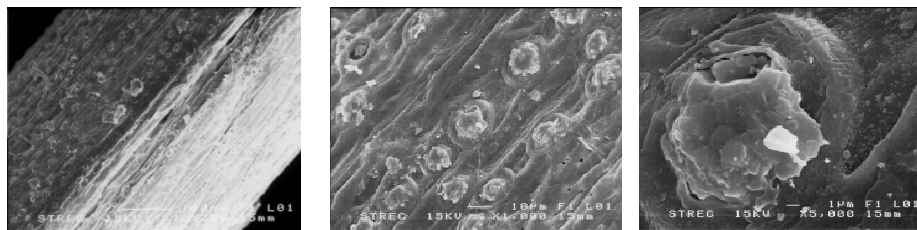
สาร	สูตรโมเลกุล	สภาพขี้
เมทานอล	CH ₃ OH	33
1-บิวทานอล	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	18
กรดอะซิติก	CH ₃ COOH	6.2

ที่มา: <http://encyclopedia.laborlawtalk.com/Solvent> (7 มีนาคม 2549)

การปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ได้ศึกษาถึงชนิดของไซเลน ความเข้มข้น และเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งคุณลักษณะของเส้นใยละลายปาล์มเปลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจะถูกวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด และฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

4.2 การวิเคราะห์หุ้คุณลักษณะของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปลา่

4.2.1 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด



200X

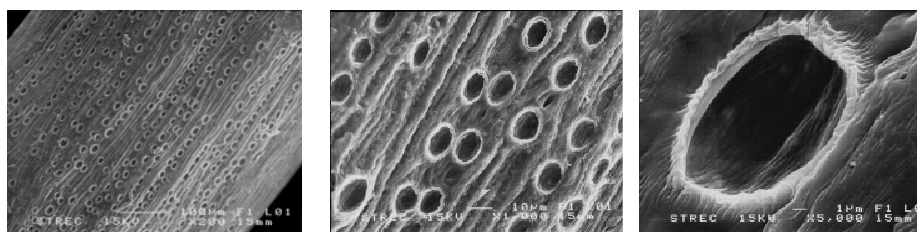
1000X

5000X

รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปลา่สดที่กำลังขยาย 200 1000 5000 เท่า

รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปลา่สดที่กำลังขยาย 200 1000 และ 5000 เท่า จากภาพถ่ายจะสังเกตเห็นได้ว่ามีแผ่นหรือก้อนที่มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง (Wax) อยู่บนผิวตลอดเส้นใยหรืออาจเป็นสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่บนเส้นใย ภาพถ่ายพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปลา่ที่ปรับสภาพขึ้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เมอร์เซอร์ไรเซชัน) แสดงดังรูปที่

4.2



200X

1000X

5000X

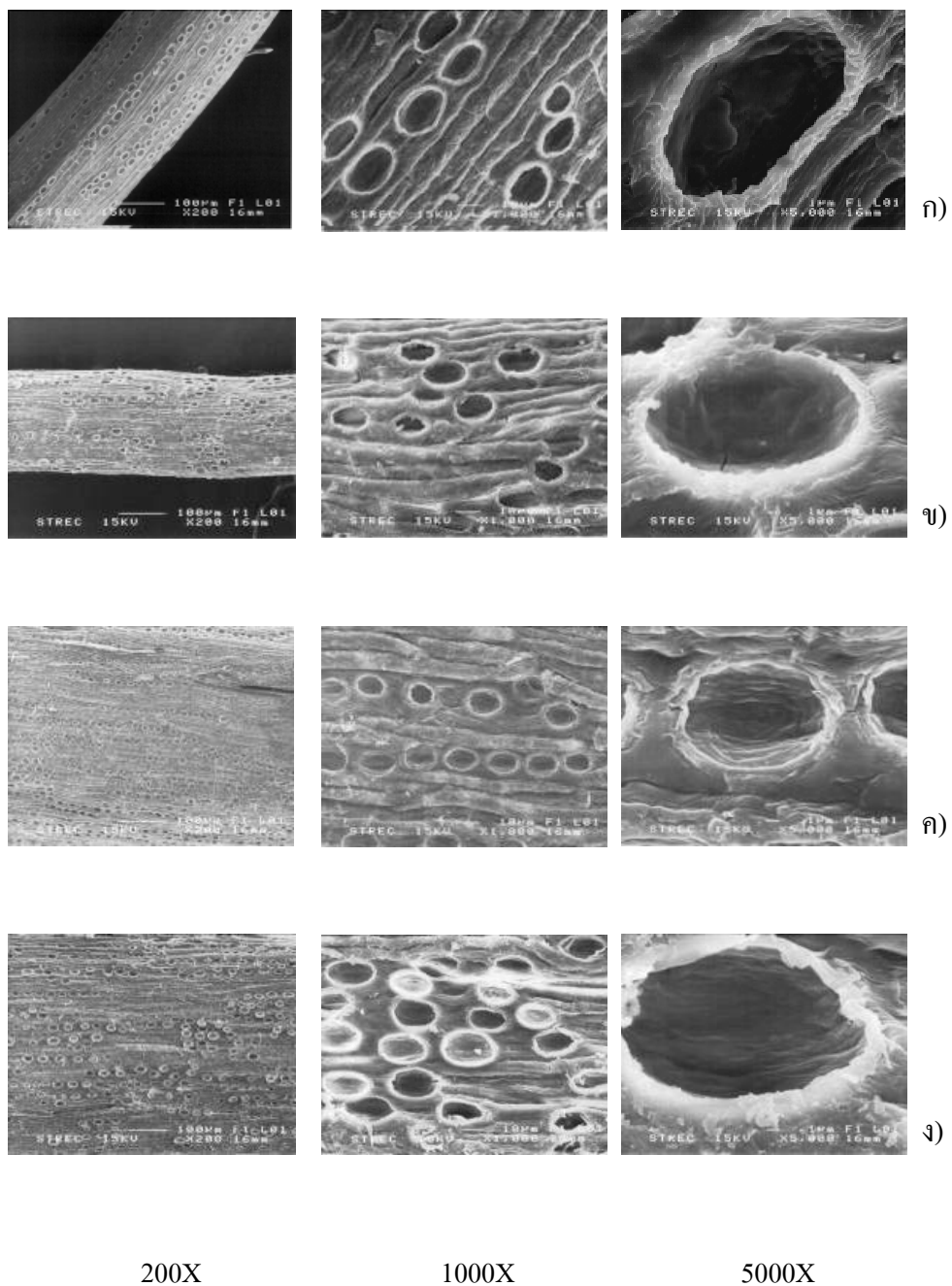
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปลา่ที่ปรับสภาพขึ้นต้นด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ที่กำลังขยาย 200 1000 5000 เท่า

จากภาพถ่าย แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน (รูปที่ 4.2) จะไปกำจัดแผ่นหรือก้อนดังกล่าวบนผิวเส้นใยให้หลุดออก ทำให้สามารถมองเห็นรูพรุนหรือรูเปิดบน

เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ซึ่งการปรับสภาพจะทำให้รูพรุนเปิดออก มีขนาดที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจะมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยประมาณ 13 ไมครอน ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sreekala et al. (1997) เป็นที่น่าสังเกตจากผลของน้ำหนักก่อน-หลังการปรับสภาพขึ้นต้น น้ำหนักของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลดลงร้อยละ 25-30

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซัลไฟชันที่สภาวะศึกษาต่างกัน โดยใช้ไตรเมทิลคลอโรไซเลนและไดเอทิลไดคลอโรไซเลนตามลำดับ ภาพถ่ายพื้นผิวเส้นใยจะแสดงที่สภาวะศึกษาต่ำสุดและสูงสุด (ภาพถ่ายทุกสภาวะศึกษาแสดงไว้ในภาคผนวก ก) เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีซัลไฟชัน ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของเส้นใยขยายตัวใหญ่ขึ้นเป็น 15 ไมครอน (ค่าเฉลี่ย) น้ำหนักของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลดลงอีกร้อยละ 5 จากภาพถ่าย พบว่าลักษณะรูพรุนบนผิวเส้นใยจะเปิดออกให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น ขนาดของรูพรุนที่ขยายใหญ่ขึ้นนี้เป็นผลดีสำหรับการนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาใช้เป็นวัสดุดูดซับ การนำมาใช้เป็นวัสดุผสมลักษณะของรูพรุนจะมีประโยชน์ในการเชื่อมประสานกันระหว่างเส้นใย และเนื้อเรซิน (Sreekala et al., 1997)

สภาวะในการทำปฏิกิริยาซัลไฟชันที่ต่างกัน คือ ความเข้มข้นของสารละลายไซเลนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้นของสารละลายไซเลนร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนนัก ถึงแม้จะมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไซเลนและเวลาในการทำปฏิกิริยาก็ตาม ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด เพียงอย่างเดียวยังอธิบายได้ไม่ชัดเจนถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำปฏิกิริยาซัลไฟชัน ต้องอาศัยการวิเคราะห์อย่างอื่นร่วม เพื่อให้ความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในที่นี้วิเคราะห์โดยใช้ฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าหลังจากทำปฏิกิริยาที่สภาวะตัวแปรต่างกัน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซีลีชันโดยใช้

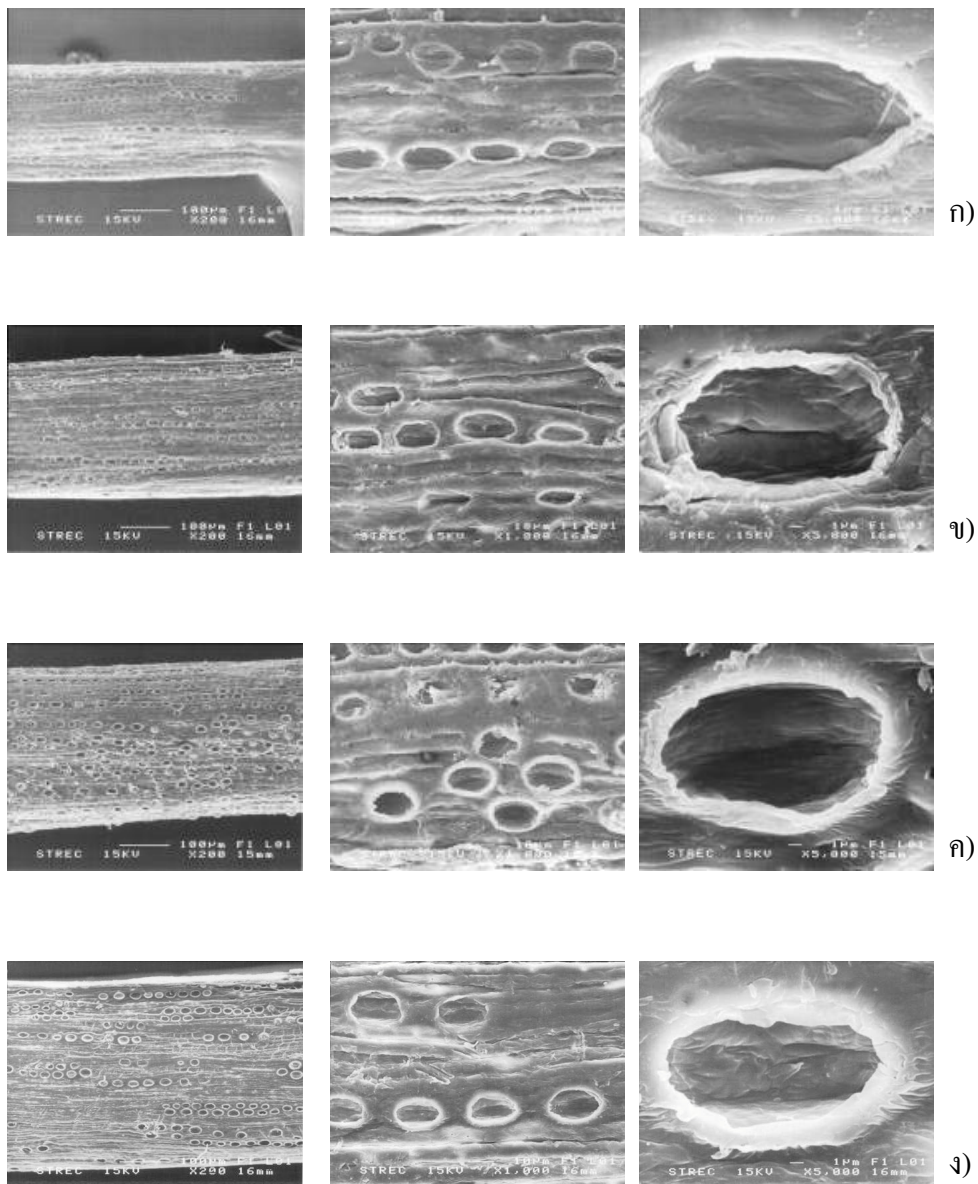
ไตรเมทิลคลอโรไซเลน ที่สภาวะต่างๆ กำลังขยาย 200 1000 5000 เท่า

ก) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง

ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง

ค) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง

ง) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง



200X

1000X

5000X

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปลาคัมเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซีลิกชันโดยใช้

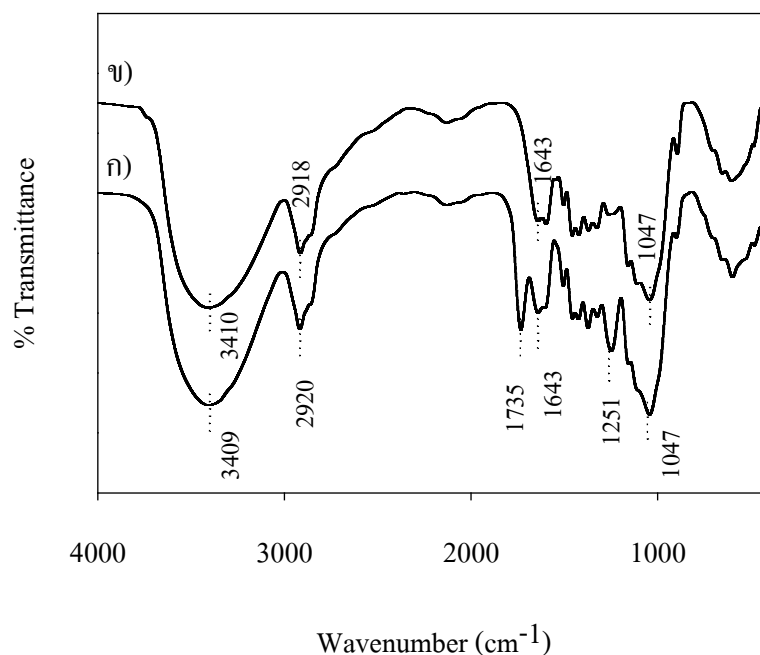
ไดเอทิลไดคลอโรไซเลน ที่สภาวะต่างๆ กำลังขยาย 200 1000 5000 เท่า

ก) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง

ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง

- ค) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
 ง) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง

4.2.2 การศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัม



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยละลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ

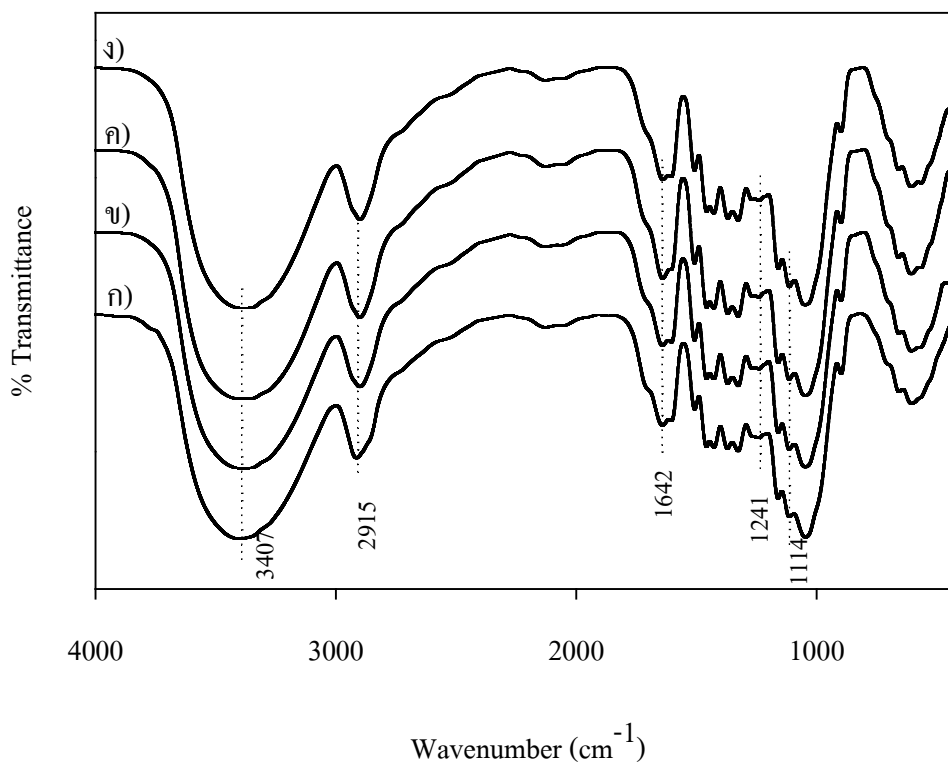
ก) เส้นใยละลายปาล์มเปล่าสด

ข) เส้นใยที่ปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 48 ชั่วโมง)

อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยละลายปาล์มเปล่าสดแสดงในรูปที่ 4.5 จากสเปกตรัม แสดงพีคที่ความยาวคลื่นในช่วง 1047, 1251, 1643, 1735, 2920 และ 3409 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการปรากฏของหมู่ฟังก์ชัน C-O-C, C-O, C=C, C=O, C-H และ O-H ตามลำดับ ที่เป็นองค์ประกอบรวมของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใย ตัวอย่างเช่น ที่ความยาวคลื่น 1047 cm^{-1} แสดงการ stretching ของหมู่ C-O-C, 1251 cm^{-1} แสดงการ stretching ของหมู่ C-O, 1643 cm^{-1} แสดงการ stretching ของหมู่ C=C, 1735 cm^{-1} แสดงการ stretching ของหมู่ C=O, ความยาวคลื่น 3409 cm^{-1} แสดงการ stretching ของหมู่ O-H stretching เป็นต้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับโครงสร้างของเส้นใยที่รายงานโดย Durig et al., (1988) Han and Rowell (1997) Pandey and Pitman (2003) และ Noguchi (2001)

เมื่อเส้นใยละลายปาล์มเปล่าผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ซึ่งให้ผลตามที่ปรากฏในรูปที่ 4.5 ข จะเห็นได้ว่าไม่ปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 1735 cm^{-1} ทั้งนี้เนื่องมาจาก การปรับสภาพขั้นต้นด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน จะไปชะล้างเอาหมู่คาร์บอกซิลิกออกไป ขณะเดียวกันไม่ปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 1251 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ C-O stretching ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์และเปลี่ยนสภาพเป็น Fiber-O⁻Na⁺

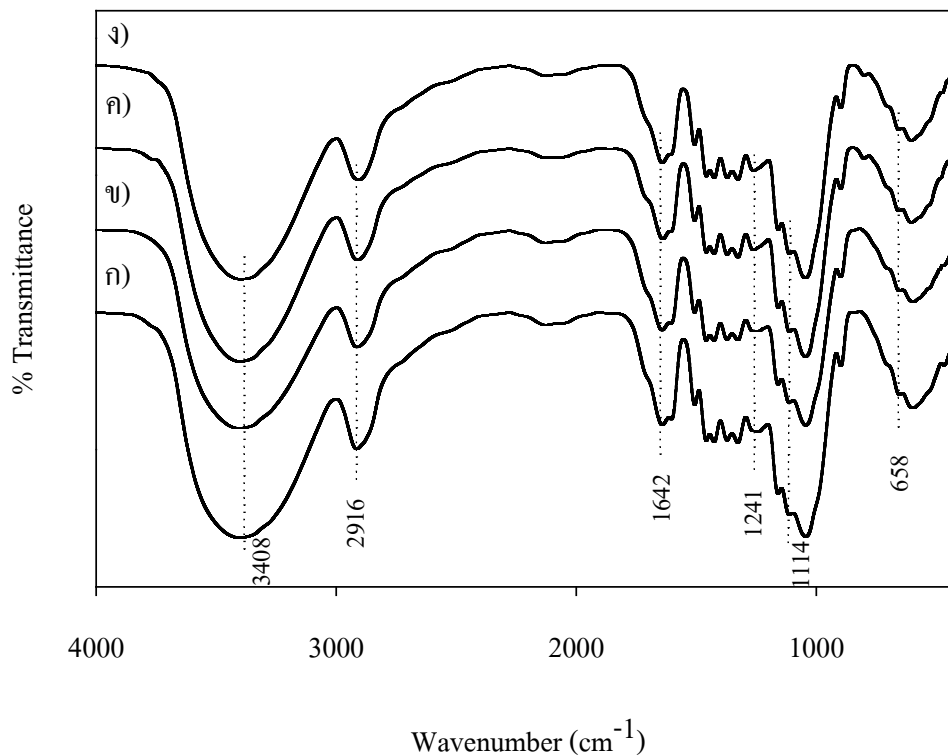
หลังจากทำการปรับสภาพขั้นต้น เส้นใยจะถูกนำไปทำปฏิกิริยาซิติเลชัน อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยที่ปรับสภาพโดยใช้ไตรเมทิลคลอโรไซเลน และไดเอทิลคลอโรไซเลน ที่สภาวะต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ (อินฟราเรดสเปกตรัมของทุกสภาวะศึกษาแสดงในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยละลายปาล์มเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิติเลชัน

โดยใช้ไตรเมทิลคลอโรไซเลนที่สภาวะต่างๆ

- ก) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง
- ค) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ง) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน

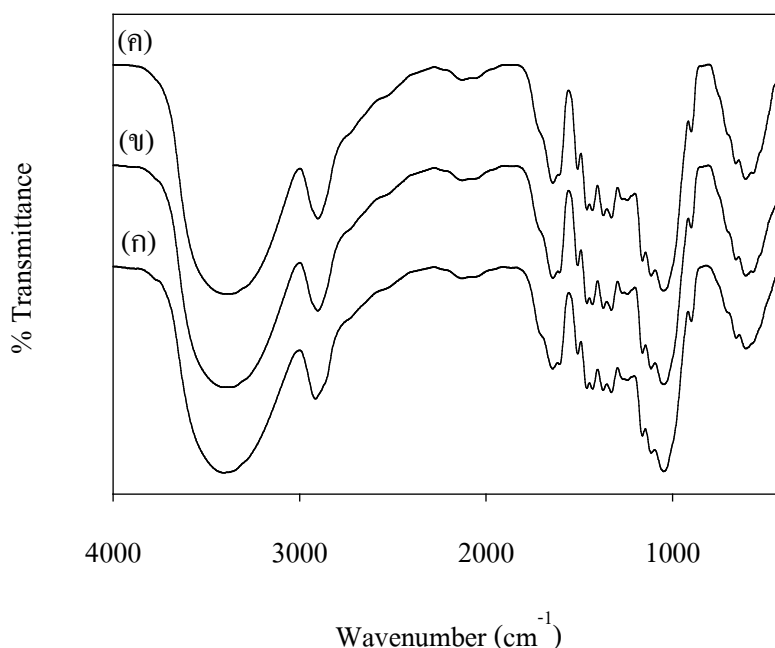
โดยใช้ไดเอทิลไดคลอโรไซเลนที่สภาวะต่างๆ

- ก) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง
- ค) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ง) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมโดยรวมแล้วสังเกตได้ยาก เนื่องจากตำแหน่งพีคของหมู่ฟังก์ชันของซิลลูโลส เฮมิซิลลูโลส และลิกนินของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าค่อนข้างทับกับหมู่ฟังก์ชันเพิ่มเติมจากปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วย Si-Cl, Si-CH₃, Si-O เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาดำเนินเฉพาะ จะพบว่าไม่ปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 1735 cm^{-1} และ 1251 cm^{-1} เช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายไซเลนและเปลี่ยนสภาพเป็น O-Si-C₃H₉ และ O-Si-C₄H₁₀Cl ทำให้ปรากฏพีคเฉพาะที่หลายตำแหน่งได้แก่ Si-CH₃ ณ ตำแหน่ง 1241 cm^{-1} และหมู่ของ Si-O-C ที่

ปรากฏที่ตำแหน่ง 1114 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกที่ไม่เด่น สำหรับ Si-Cl ที่ตำแหน่ง 658 cm^{-1} (broad vibrational feature) (Ferguson et al., 2000) ซึ่งมาจากการปรับสภาพด้วยไดเอทิลไดคลอโรไซเลน มีลักษณะทับซ้อนกับหมู่เดิมจึงอาจไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาแทนที่เกิดขึ้นได้จริงบนพื้นผิวของเส้นใยทะเลสาบปลาบ่มเปล่า

เมื่อเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาซิลิเลชันระหว่างสารละลายไซเลน 2 ชนิด คือ สารละลายไตรเมทิลคลอโรไซเลน (รูปที่ 4.6) และไดเอทิลไดคลอโรไซเลน (รูปที่ 4.7) ที่สภาวะเดียวกัน พบว่าลักษณะของสเปกตรัมมีสัดส่วนของพีกแต่ละค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของปริมาณไซเดียมไอออน ที่มีจำนวนจำกัดในการทำปฏิกิริยาแม้ว่าจะทำปฏิกิริยาด้วยความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก และเวลา 9 ชั่วโมงก็ตาม ซึ่งต่อไปจะทำการเปรียบเทียบตัวแปรศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้การปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน

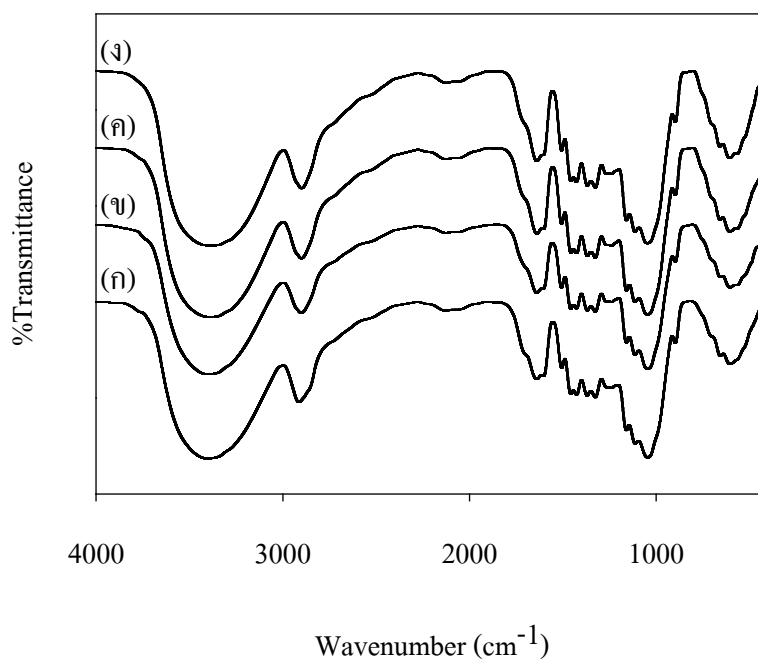


รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยทะเลสาบปลาบ่มเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน

โดยใช้ไตรเมทิลคลอโรไซเลนที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

- ก) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 5 ชั่วโมง
- ค) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 9 ชั่วโมง

รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 5 และ 9 ชั่วโมง และรูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 ชั่วโมง แต่ความเข้มข้นเป็น 1 3 5 และ 9 ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยใช้ไตรเมทิลคลอโรไซเลน จะเห็นได้ว่าลักษณะสำคัญของสเปกตรัม มีลักษณะไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าในช่วงการศึกษาที่ใช้สารไตรเมทิลคลอโรไซเลน และไดเอทิลไดคลอโรไซเลน ความเข้มข้น 1 3 5 และ 9 ร้อยละโดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 5 และ 9 ชั่วโมง บนเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปล่า ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปจนถึงสมดุลได้ภายใน 3 ชั่วโมงของความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะใช้สภาวะดังกล่าวในการศึกษาการดูดซับ



รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปล่าที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน โดยใช้ไตรเมทิลคลอโรไซเลนที่ความเข้มข้นต่างๆ

- ก) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ข) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ค) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง
- ง) ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง

4.3 การดูดซับของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

ผลการศึกษาการดูดซับน้ำ และน้ำมันในสารผสมอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทั้งเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของเส้นใยก่อนและหลังการปรับสภาพ เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพที่ใช้ในการทดลอง จะใช้เส้นใยที่ปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีที่สุด ลักษณะของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าก่อนและหลังปรับสภาพแสดงดังรูปที่ 4.10 ตามลำดับ



ก)

ข)

รูปที่ 4.10 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ

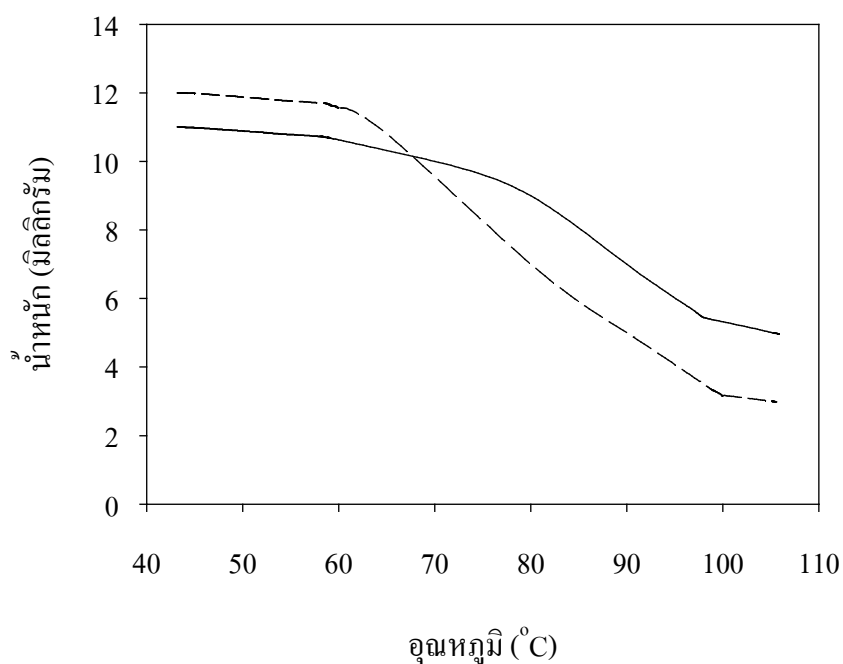
ก) เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด

ข) เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพ

ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดจะเป็นสีน้ำตาล มีความยืดหยุ่นและเหนียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 0.32 เซนติเมตร เมื่อผ่านการปรับสภาพเส้นใยจะมีสีน้ำตาลเข้ม มีความยืดหยุ่นลดลง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยลดลงเป็น 0.22 เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการกำจัดสิ่งที่อยู่บนเส้นใย ตามผลที่แสดงไว้หัวข้อ 4.2

4.3.1 การดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

การศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ โดยการแช่เส้นใยในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาหาปริมาณการดูดซับน้ำ รูปที่ 4.11 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ พบว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดดูดซับน้ำได้มากกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพ จากกราฟสามารถประมาณค่าการดูดซับน้ำของเส้นใยได้ (แสดงในภาคผนวก ก) โดยเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดดูดซับน้ำได้ประมาณ 3 กรัมต่อกรัมเส้นใย เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพดูดซับน้ำได้ประมาณ 1.2 กรัมต่อกรัมเส้นใย หลังการปรับสภาพ เส้นใยดูดซับน้ำลดลง 1.8 กรัม คิดเป็นร้อยละ 60 ซึ่งถือได้ว่าการปรับสภาพทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic property) เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผล FTIR การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทำให้หมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยถูกกำจัดออกไป โดยการแทนที่ของหมู่ซิลิลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทำให้ดูดซับน้ำได้น้อยลง



รูปที่ 4.11 น้ำหนักของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

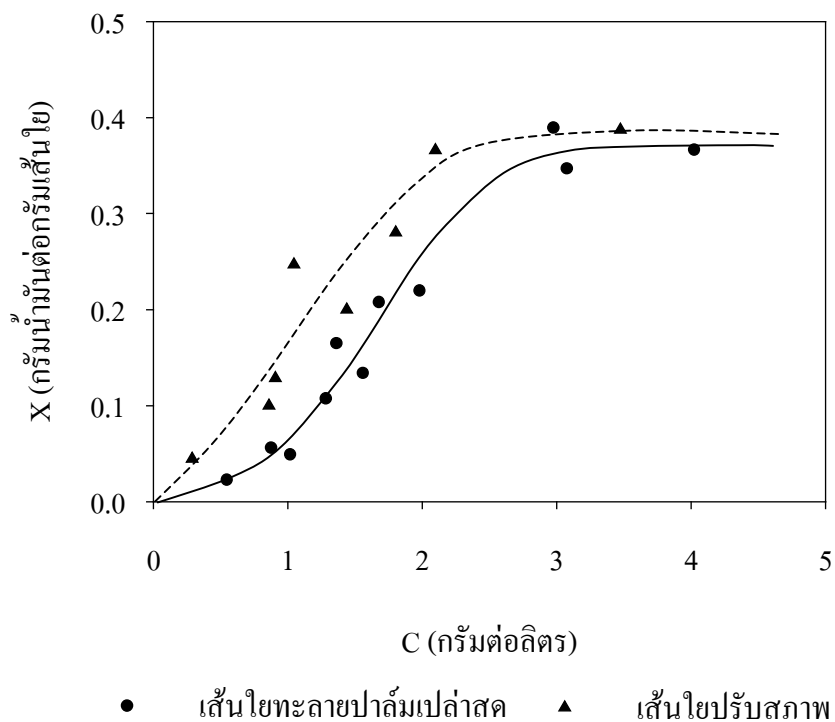
(----) เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด

(—) เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพ

4.3.2 การดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าแบบแบทช์

การดูดซับน้ำมันของเส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ มีพฤติกรรมของไอโซเทิร์มแสดงดัง รูปที่ 4.12 ซึ่งพล็อตระหว่างความเข้มข้นที่สมดุล (C) กับปริมาณน้ำมันที่ดูดซับได้ต่อกรัมเส้นใย (X) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นสมดุลเพิ่มขึ้น และจะมีแนวโน้มคงที่เมื่อถึงจุดสมดุลของความเข้มข้น จากรูปที่ 4.12 ค่าการดูดซับจะเริ่มคงที่ที่ความเข้มข้นสมดุล 3 กรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่ปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันในช่วงความเข้มข้นที่สมดุลต่ำได้มากกว่าเส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่าสด ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์ในการดูดซับน้ำมันระดับอิมัลชัน

ปริมาณการดูดซับน้ำมันของเส้นใยในอิมัลชันน้ำมันกับน้ำ สามารถเป็นไปได้ 2 กรณีด้วยกัน คือเกิดจากการดูดซับไว้ในรูพรุนและผิวของเส้นใย และเกิดจากการเกาะติดผิวเส้นใย โดยค่าการดูดซับปริมาณน้ำมันที่ได้ เป็นค่าที่มาจากผลรวมของทั้งสองกรณี การแยกกันระหว่างการดูดซับและการเกาะติดบนเส้นใยเป็นสัดส่วน จะต้องทำการวิเคราะห์เชิงพลังงานพันธะ ซึ่งอาจมีปัญหาต่อการศึกษาเนื่องจากต้องกระทำที่อุณหภูมิสูง และต้องใช้การอธิบายโดยวิธีเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analysis) จึงไม่ขอทำการศึกษาในครั้งนี้อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัสดุดูดซับที่ใช้เป็นวัสดุธรรมชาติอาจจะถูกทำลายได้ ดังนั้นค่าการดูดซับที่ได้ จึงอนุมานให้เป็นผลรวมของการดูดซับน้ำมันที่เส้นใยดูดซับไว้ได้



รูปที่ 4.12 ไอโซเทิร์มการดูดซับน้ำมันบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ

ลักษณะการดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยที่จุดสมดุล จะพิจารณาจาก ไอโซเทิร์ม ในการทดลองนี้ได้ใช้ไอโซเทิร์ม 3 แบบ เพื่ออธิบายลักษณะการดูดซับที่สมดุล คือ ไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) ฟรอยดลิช (Freundlich isotherm) และ เทมกิน (Temkin isotherm) โดยข้อจำกัดของไอโซเทิร์มแต่ละแบบ สามารถอธิบายได้ดังนี้ (จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดาณรงค์ 2547; Mall et al., 2005; Ahmad et al., 2004; Papadopoulos et al., 2002)

ไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ เป็นไอโซเทิร์มที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้กันมากสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยสมมุติให้การดูดซับเกิดบนผิวเอกพันธ์ (Homogeneous) การดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมีซึ่งแข็งแรงและเป็นแบบชั้นเดียว สมการแลงเมียร์สามารถแสดงได้สมการ 4.4 หรือ 4.5

สมการแลงเมียร์ :

$$\frac{C}{X} = \frac{1}{KX_m} + \frac{C}{X_m} \quad (4.4)$$

หรือ

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{KX_m C} + \frac{1}{X_m} \quad (4.5)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

X = ปริมาณน้ำมันที่ดูดซับได้ (กรัมไขมันต่อกรัมเส้นใย)

K = ค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์

X_m = ปริมาณน้ำมันที่ดูดซับได้สูงสุด (กรัมไขมันต่อกรัมเส้นใย)

ไอโซเทิร์มแบบฟรอยดลิช มีสมมุติฐานว่าการดูดซับเกิดบนผิวหน้าวิวิธพันธ์ (Heterogeneous) เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น พัฒนาจากไอโซเทิร์มแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าวิวิธพันธ์ซึ่งไม่เป็นเนื้อเดียว โดยกำหนดให้การกระจายตัวของพลังงานมีลักษณะแบบเลขชี้กำลัง (Exponential) ดังสมการที่ 4.6 หรือ 4.7

สมการฟรอยดลิช :

$$X = KC^{1/n} \quad (4.6)$$

และเมื่อทำการแปลงเป็นลอการิทึม

$$\ln X = \ln K + 1/n \ln C \quad (4.7)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

X = ปริมาณน้ำมันที่ดูดซับได้ (กรัมน้ำมันต่อกรัมเส้นใย)

K = ค่าคงที่การดูดซับแบบฟรอยดลิตซ์

1/n = ค่าคงที่

ไอโซเทิร์มแบบเทมคิน เป็นไอโซเทิร์มที่ทำการจัดระเบียบความร้อนของการดูดซับมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linearization) และมีการทำปฏิกริยาระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดยมีสมการไอโซเทิร์มดังสมการที่ 4.8

สมการเทมคิน :

$$X = a + b \ln C \quad (4.8)$$

โดยที่ a = (RTXm/B)lnA

b = RTXm/B

R = ค่าคงที่ของแก๊ส

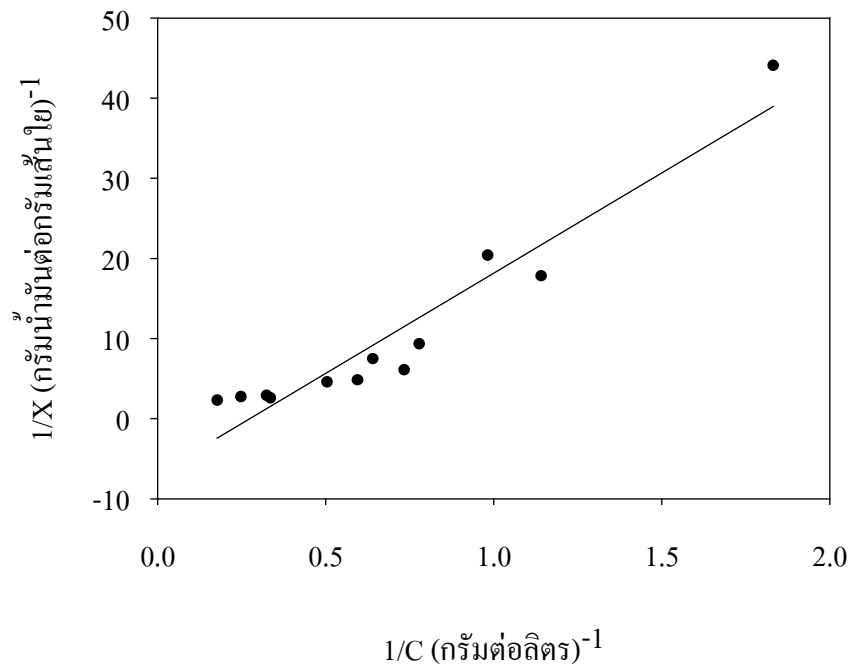
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

A = Exp (a/b)

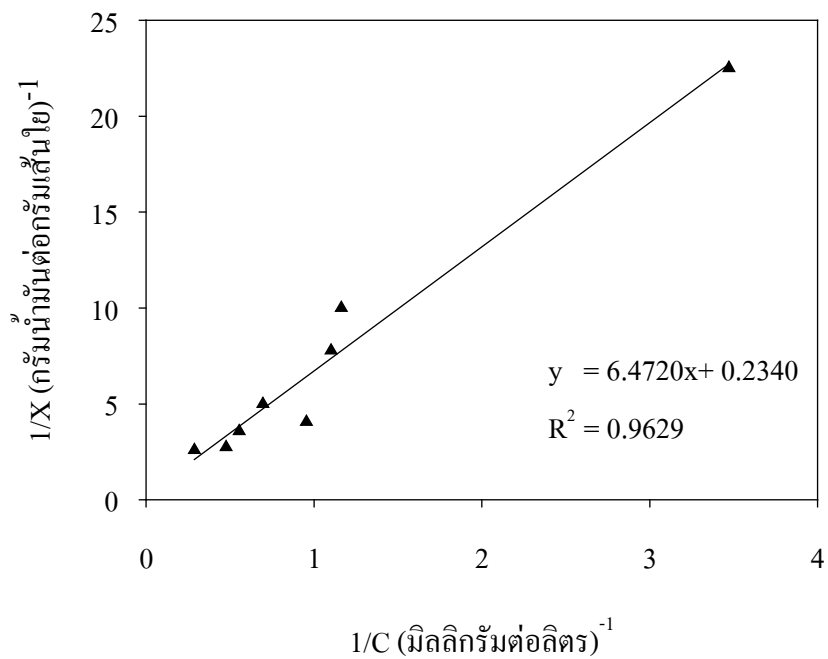
B = ค่าคงที่

รูปที่ 4.13 4.14 และ 4.15 แสดงการจัดเชิงเส้นของไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ ฟรอยดลิตซ์ และเทมคิน สำหรับการดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปล่าสดและที่ปรับสภาพ (1%TMCS, 3 ชั่วโมง) ตามลำดับ

โดยเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการดูดซับที่เหมาะสม จะพิจารณาจากการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ซึ่งแสดงใน ตารางที่ 4.2 โดยตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ ของแต่ละไอโซเทิร์ม สำหรับฟรอยดลิตซ์ไอโซเทิร์ม ค่าเลขยกกำลัง 1/n จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับ จากผลการคำนวณในตารางพบว่าค่าความสามารถในการดูดซับของเส้นใยทะเลลายปล้ำมเปล่าสดและที่ปรับสภาพที่ได้มีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงถึงการดูดซับยอมเกิดได้ทั้งสองตัวดูดซับ โดยที่ 1/n = 1.3235 และ 0.9401 ตามลำดับ จากค่าดังกล่าวแสดงว่าเส้นใยที่ถูกรับสภาพจะมีความสามารถในการดูดซับที่ดีก่อนในช่วงการศึกษา

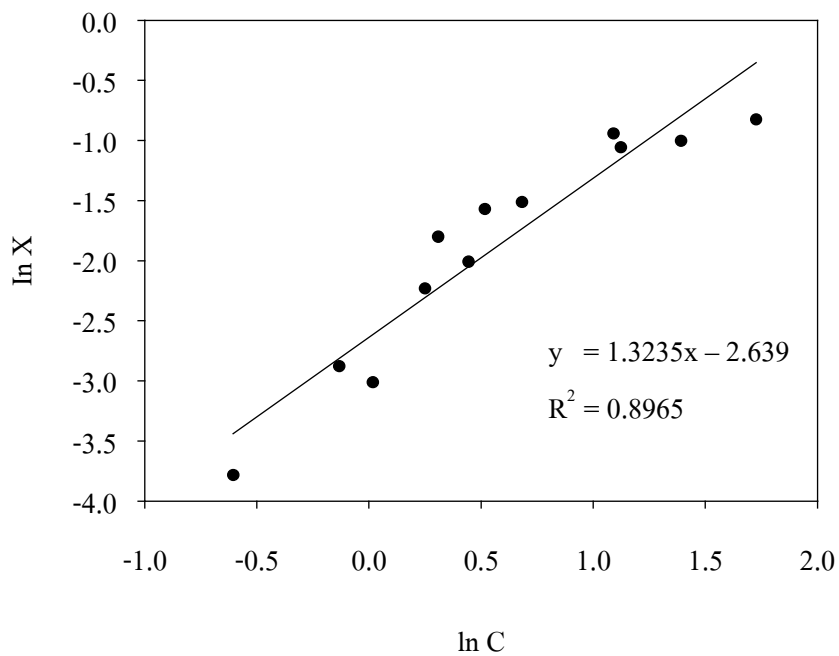


(ก)

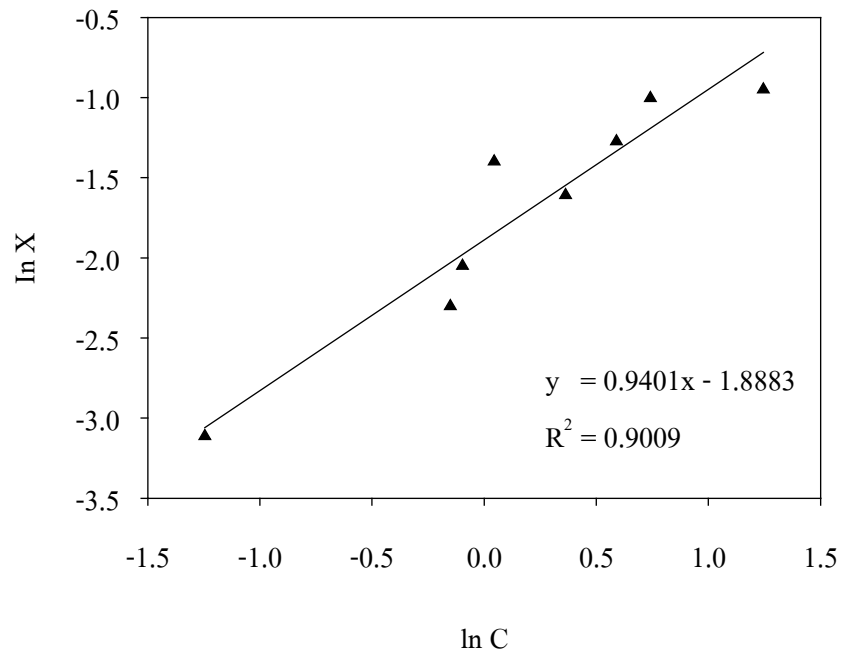


(ข)

รูปที่ 4 13 โคโไซเทอรัมแลงเมียร์สำหรับการดูดซับเคมีคัลกับน้ำแบบโบน้ำคงเส้นใยทะเลลายงาได้มเปลา

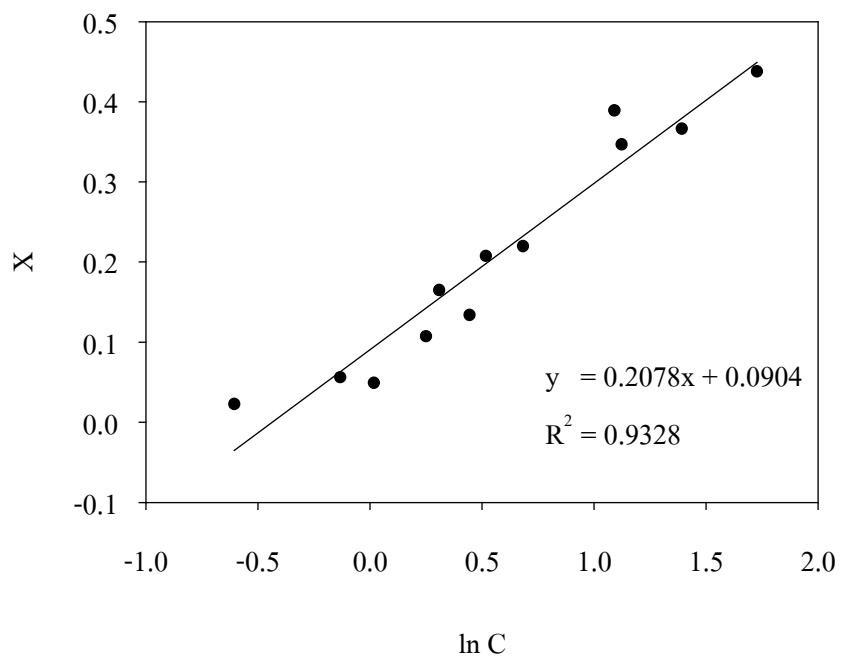


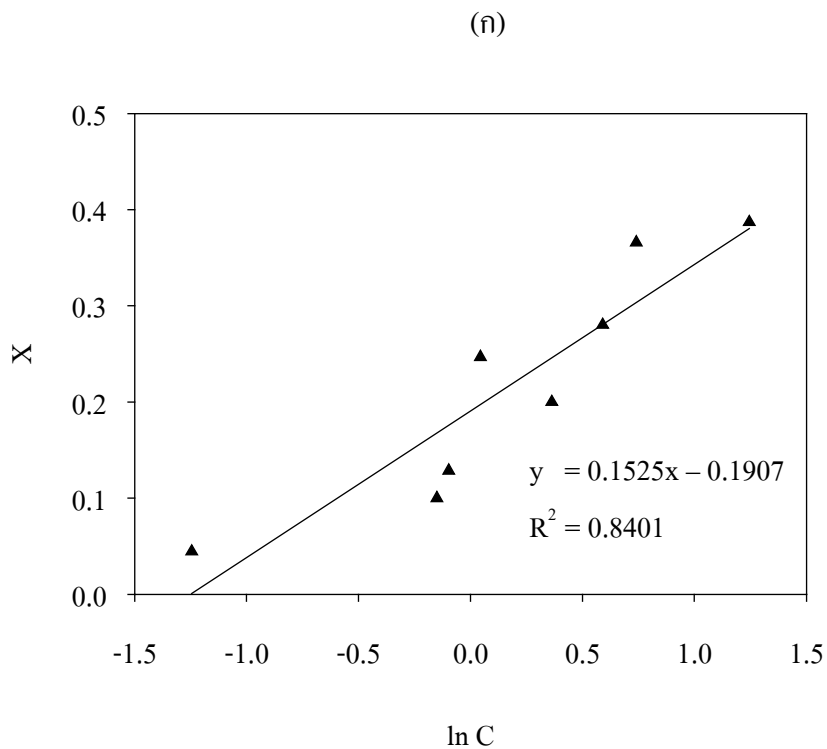
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.14 ไอโซเทิร์มฟลอยด์ลิซสำหรับการดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า
 ก) เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด ข) เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพ





(ข)

รูปที่ 4.15 ไอโซเทิร์มเทมคินสำหรับการดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่า
 ก) เส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่าสด ข) เส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่าปรับสภาพ
 ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรของไอโซเทิร์มสำหรับการดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลาย
 ปลาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ

ไอโซเทิร์ม	ตัวแปร		R^2
แลงเมียร์	K	X_m	
เส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่าสด	-0.2759	-0.1447	0.9133
เส้นใยปรับสภาพ	0.0362	4.2735	0.9629
ฟลอยดลิช	K	$1/n$	
เส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่าสด	0.0714	1.3235	0.8965
เส้นใยปรับสภาพ	0.1513	0.9401	0.9009

เทมคิน	a	b	
เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด	0.0904	0.2078	0.9328
เส้นใยปรับสภาพ	0.1907	0.1525	0.8401

การดูดซับโดยเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด จะไม่สามารถอธิบายด้วยไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ได้ เนื่องจากค่าตัวแปรที่ได้มีค่าเป็นลบ ($K = -0.2759$ และ $X_m = -0.1447$) ไม่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของการดูดซับได้ สอดคล้องกับเมื่อพิจารณาถึงลักษณะของไอโซเทิร์ม และจะมีลักษณะแบบ III ตามการบ่งชี้ของ IUPAC (จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์ 2547) ซึ่งมีลักษณะที่เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยตัวเอง ซึ่งขัดกับสมมุติฐานของไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ ที่กล่าวว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว คือ เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเท่านั้น ซึ่งไอโซเทิร์มแบบเทมคิน สามารถอธิบายการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดได้ดีที่สุด จากผลการคำนวณ $R^2 = 0.9328$ เมื่อแทนค่าตัวแปรลงในสมการที่ 4.8 สมการเทมคินของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดเป็นดังสมการที่ 4.9

$$X = 0.0904 + 0.2078 \ln C \quad (4.9)$$

เมื่อมีการปรับสภาพ การดูดซับเหมาะสมกับไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ พิจารณาจาก $R^2 = 0.9629$ จากสมการที่ 4.5 เมื่อแทนค่าตัวแปรจากการถดถอยเชิงเส้น สมการแลงเมียร์ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพเป็นดังสมการที่ 4.10

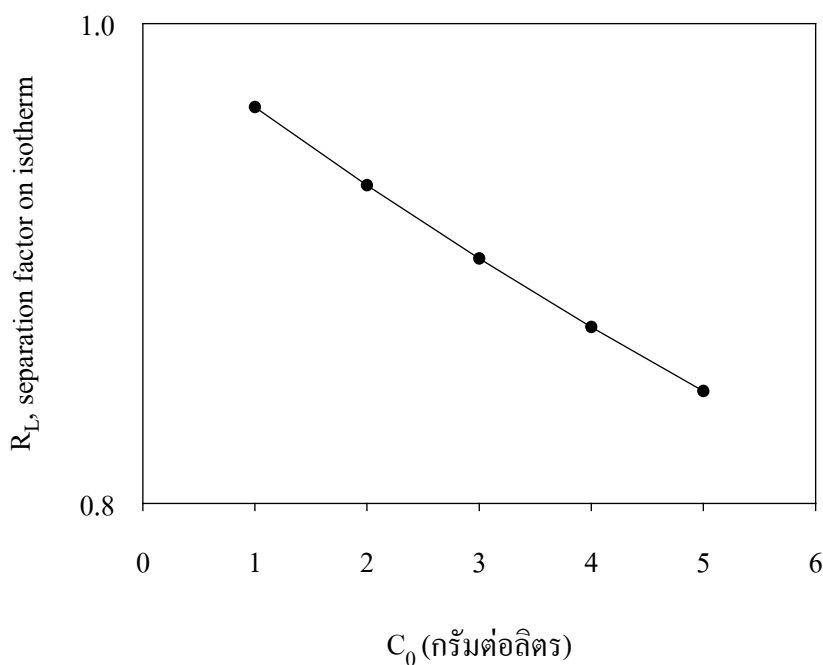
$$X = \frac{0.1547C}{1 + 0.0362C} \quad (4.10)$$

ลักษณะของไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับน้ำมันของเส้นใยที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชันสามารถแสดงในเทอมของค่าคงที่ไร้หน่วยดังสมการ (Hall et al., 1966)

$$R_L = \frac{1}{(1 + KC_0)} \quad (4.11)$$

โดยที่ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของแต่ละการทดลอง (กรัมต่อลิตร)
 K = ค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์

ค่า R_L แสดงถึงรูปร่างของไอโซเทิร์มซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 4.3 (Hall et al., 1966) ค่า R_L สำหรับทุกความเข้มข้นแสดงในรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า R_L มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำมันในอิมัลชันน้ำมันกับน้ำของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยวิธีซิลิเลชัน จากค่าดังกล่าวแสดงว่าเส้นใยที่ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชันเป็นวัสดุดูดซับที่เอื้ออำนวยต่อการดูดซับที่ความเข้มข้นต่ำ



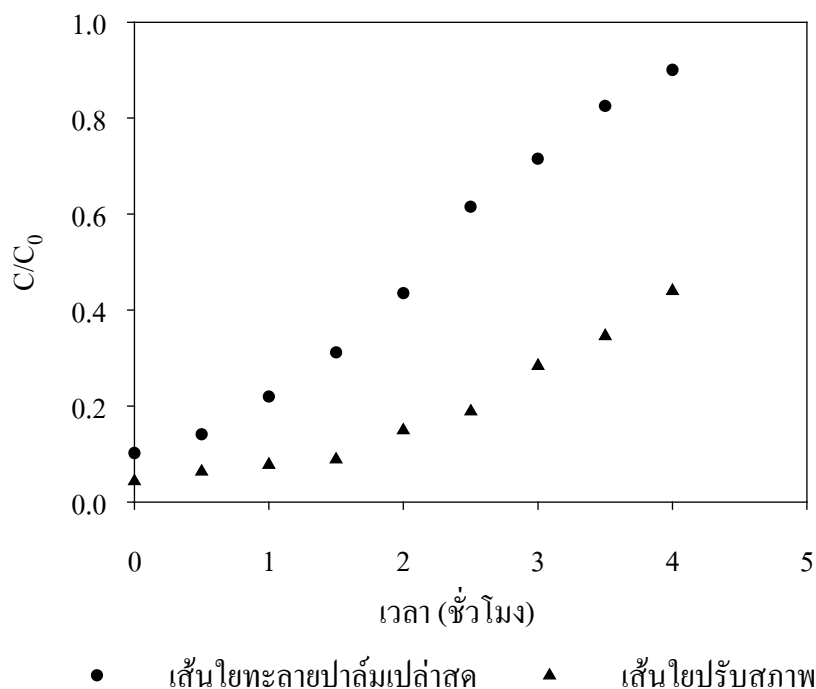
รูปที่ 4.16 แฟกเตอร์การแยกสำหรับไอโซเทิร์มแลงเมียร์ (R_L) ตารางที่ 4.3 ผลของแฟกเตอร์การแยกต่อผลการดูดซับบนตัวดูดซับ

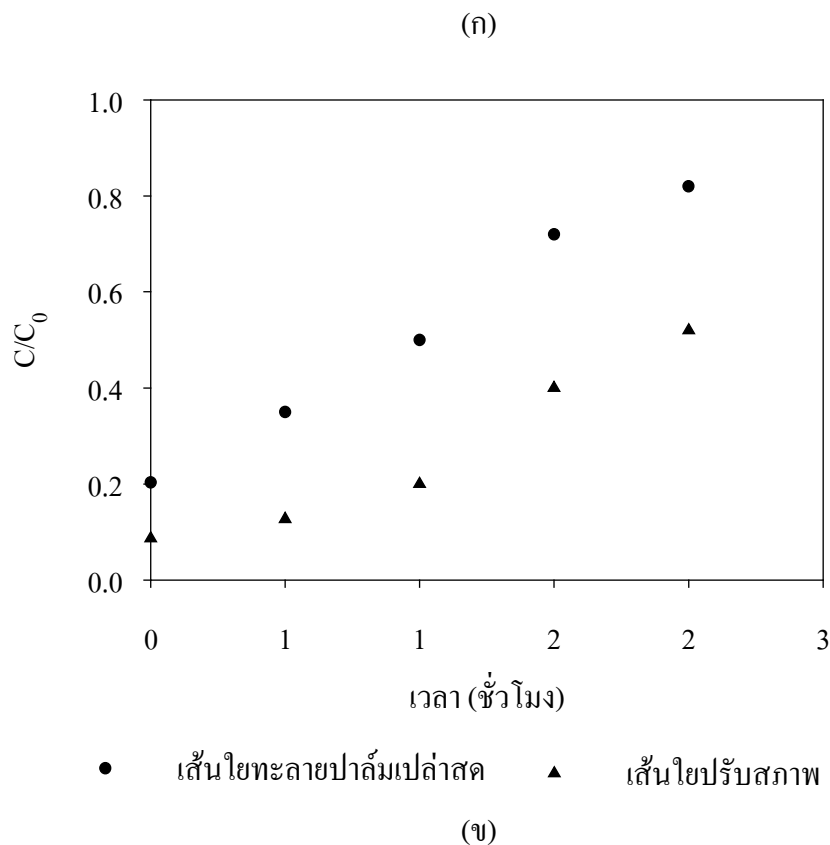
ค่า R_L	ผลการดูดซับบนตัวดูดซับ
$R_L > 1$	ไม่ชอบดูดซับ
$R_L = 1$	ดูดซับแบบเส้นตรง
$0 < R_L < 1$	ชอบดูดซับ
$R_L = 0$	ดูดซับแบบผันกลับไม่ได้

ที่มา: Hall et al., 1966

4.3.3 การดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าแบบต่อเนื่อง

พฤติกรรมการดูดซับแบบเบทบ่งบอกถึงความสามารถสูงสุดในการดูดซับ โดยต้องรอให้ตัวดูดซับดูดซับจนถึงจุดสมดุล ซึ่งใช้เวลานาน จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงประยุกต์ได้ การนำไปใช้ในเชิงประยุกต์จะอาศัยหลักการทางไดนามิกส์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาการดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำแบบต่อเนื่องของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด และที่ปรับสภาพแล้ว ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.17 ซึ่งแสดงปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันในอิมัลชันหลังจากผ่านการดูดซับของเส้นใยต่อความเข้มข้นเริ่มต้นที่เวลาต่างๆ อนึ่งการทดลองจะใช้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น ที่เมื่อคำนวณเทียบปริมาณวัสดุทดสอบกับผลของค่าจลนพลศาสตร์แล้ว พบว่ามีค่าสูงสุดคือ 5 กรัมต่อลิตรของน้ำมัน โดยในการทดลองนี้แสดงผลของอัตราการใช้ 2 ค่า คือ 35 และ 70 มิลลิลิตรต่ออนาที (รูป 14.7 ก และ ข) จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของอิมัลชันหลังจากผ่านตัวดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา ทั้งเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและเส้นใยที่ปรับสภาพแล้ว ที่อัตราการใช้เดียวกัน อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของอิมัลชันน้ำมันกับความเข้มข้นของอิมัลชันน้ำมันที่เวลาเริ่มต้นที่เวลาต่างๆ ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดมีค่ามากกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว แสดงให้เห็นว่า เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดสามารถดูดซับน้ำมันเอาไว้ได้น้อยกว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพ เนื่องจากการดูดซับน้ำมันในอิมัลชันของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพแล้วนั้นมีความไม่ชอบน้ำ หรือชอบน้ำมัน (Oleophilic) มากกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด





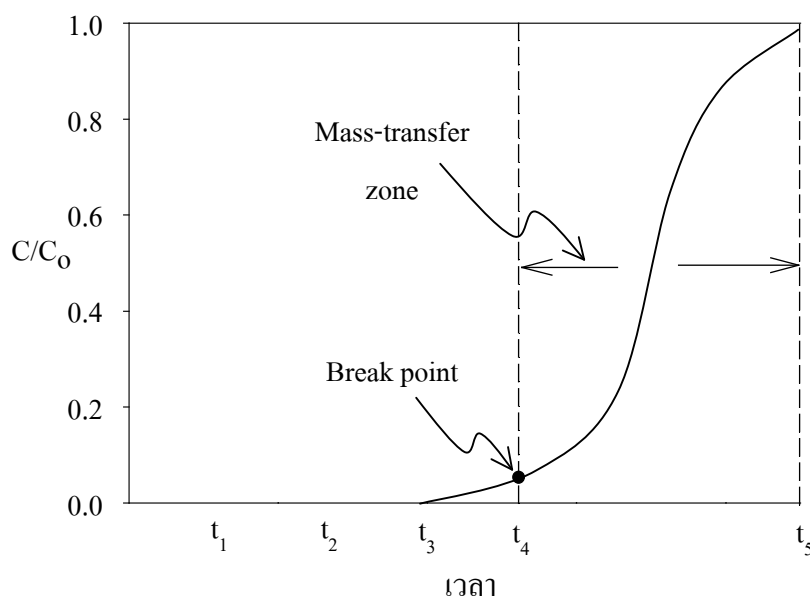
รูปที่ 4.17 การดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำแบบต่อเนื่องของเส้นใยละลายปาล์มเปล่า

ก) ที่อัตราการไหล 35 มิลลิลิตรต่อนาที ข) ที่อัตราการไหล 70 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของอิมัลชัน มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย เห็นได้จาก รูปที่ 4.17 ซึ่งได้ทำการทดลองที่อัตราการไหล 2 ค่า คือ 35 มิลลิลิตรต่อนาที และ 70 มิลลิลิตรต่อนาที โดยที่อัตราการไหลของอิมัลชันต่ำ (35 มิลลิลิตรต่อนาที) เส้นใยจะสามารถดูดซับน้ำมันเอาไว้ได้มากกว่าที่อัตราการไหลสูง (70 มิลลิลิตรต่อนาที) เนื่องจากที่อัตราการไหลต่ำมีระยะเวลาของการสัมผัสระหว่างเส้นใยและน้ำมันมากขึ้น เส้นใยละลายปาล์มเปล่าที่ปรับสภาพจะสามารถดูดซับน้ำมันในอิมัลชัน ได้มากกว่าเส้นใยละลายปาล์มเปล่าสด

ความเป็นไปได้ของกลไกการดูดซับน้ำมันของเส้นใยที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายได้ 3 ช่วงด้วยกันคือ ในตอนเริ่มต้นน้ำมันในอิมัลชันจะเกาะติดที่ผิวของเส้นใยซึ่งมีความไม่ชอบน้ำ ในช่วงที่ 2 น้ำมันจะเกิดการรวมตัวกันของหยดน้ำมันบนผิวเส้นใย ได้หยดน้ำมันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น ในช่วงที่ 3 น้ำมันที่รวมตัวเป็นหยดน้ำมันขนาดใหญ่ จะค่อยๆ หลุดออกจากผิวของเส้น

ไข ไหลออกไปกับน้ำมันมากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้ ทำให้ในช่วงเวลาแรกๆ ของการไหลผ่านของ อิมัลชันน้ำมันในน้ำ จึงมีน้ำมันไหลผ่านออกไปได้น้อยกว่าเมื่อเวลาผ่านไป

ในกระบวนการดูดซับที่มีตัวดูดซับบรรจุอยู่ในคอลัมน์ และมีของเหลวที่มีตัวถูกดูดซับหนึ่งชนิดหรือมากกว่าหนึ่งชนิดไหลผ่านคอลัมน์ จะมีการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อของเหลวถูกป้อนเข้าคอลัมน์ ตัวดูดซับจะค่อยๆดูดซับของเหลวจนถึงจุดอิ่มตัว หลังจากนั้นความเข้มข้น



รูปที่ 4.18 Breakthrough curve ของของเหลวที่ผ่านตัวดูดซับ
ที่มา: Geankoplis, 1993

ของของเหลวขาออกจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ จนถึงจุดเบรก (Break point) ความเข้มข้นตรงจุดเบรก เป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ต้องมีการเปลี่ยนตัวดูดซับเพื่อนำไปกระตุ้น (Regenerate) ใหม่ หลังจากจุดเบรกนี้ความเข้มข้นของของเหลวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าเท่ากับหนึ่ง บริเวณนี้จะมี การถ่ายโอนมวลจากของเหลวไปยังตัวดูดซับเกิดขึ้น (Mass transfer zone) สามารถแสดง Breakthrough curve ได้ดังรูปที่ 4.18

สำหรับการทดลองการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทะเลหลายปาล์มเปล่าแบบต่อเนื่อง ซึ่ง แสดงในรูปที่ 4.17 ในการทดลองจะไม่มี Breakthrough curve ของทั้งเส้นใยทะเลหลายปาล์มเปล่าสด และที่ปรับสภาพ ซึ่งจุดแรกของกราฟไม่ได้เริ่มต้นที่ศูนย์ แต่จะเริ่มต้นที่ความเข้มข้นจุดเบรก (Break point concentration) เป็นต้นไป ซึ่งมีเฉพาะเป็นบริเวณที่มีการถ่ายโอนมวล ทั้งนี้เนื่องจาก มาจากลักษณะการจัดวางตัวของเส้นใยในคอลัมน์ รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะการจัดวางตัวของเส้นใยใน

คอลัมน์ จากรูปจะเห็นได้ว่า การจัดวางตัวของเส้นใยในคอลัมน์จะเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยด้วยตัวเอง เมื่ออิมัลชันน้ำมันในน้ำไหลผ่านเส้นใย น้ำมันบางส่วนจะไหลผ่านช่องว่าง (Channeling) ระหว่างเส้นใย ซึ่งน้ำมันยังไม่ถูกดูดซับไว้ ทำให้มีน้ำมันออกมากับกระแสดอก ณ เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)



รูปที่ 4.19 ลักษณะการจัดวางตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในคอลัมน์

4.4 การดูดซับอิมัลชันน้ำมันในน้ำแบบแบทช์ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการขึ้นรูป

การศึกษาการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในหัวข้อ 4.3.2 และ 4.3.3 ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด และที่ปรับสภาพ โดยนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาทดสอบการดูดซับ โดยไม่ได้มีการขึ้นรูปเส้นใยให้เป็นรูปร่าง ในหัวข้อนี้จะศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันในอิมัลชันน้ำมันกับน้ำ ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ได้ทำการขึ้นรูป รูปที่ 4.20 แสดงตัวอย่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดขึ้นรูป การขึ้นรูปเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าโดยนำมาผสมกับโพลีไทรีน ซึ่งใช้อะซิโตนและโทลูอินเป็นตัวทำละลาย สามารถทำให้เส้นใยยึดเกาะติดกันเป็นรูปทรงตามต้องการ ทำให้ได้วัสดุดูดซับที่สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและสะดวก ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปจะมีความแข็งแรง น้ำหนักเบา สามารถลอยน้ำได้ ซึ่งถือเป็นข้อดีของการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ



รูปที่ 4.20 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดขึ้นรูป

การศึกษาการดูดซับน้ำมันในสารผสมอิมัลชันน้ำมันกับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขึ้นรูปทั้งเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดและที่ปรับสภาพ โดยการแช่ในอิมัลชัน ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร เวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับสังเคราะห์ ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการดูดซับน้ำมันของตัวดูดซับชนิดต่างๆ จากการทดลองพบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพ (0.053 กรัมไขมันต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของตัวดูดซับ) มากกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสด (0.047 กรัมไขมันต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของตัวดูดซับ) โพลีสไตรีนที่ใช้เป็นตัวประสานให้เส้นใยยึดติดกัน สามารถดูดซับน้ำมันได้ 0.027 กรัมไขมันต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของตัวดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับน้ำมันระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ปรับสภาพกับโพลีโพรพิลีน ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับสังเคราะห์ (0.055 กรัมไขมันต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของตัวดูดซับ) พบว่าสามารถดูดซับน้ำมันได้ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปรับสภาพสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน ทดแทนวัสดุดูดซับที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการดูดซับน้ำมันในอิมัลชันน้ำมันกับน้ำของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

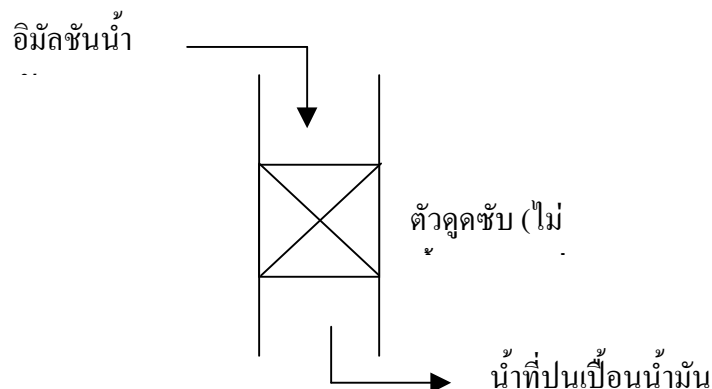
ตัวดูดซับ	ปริมาณการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อลูกบาศก์ เซนติเมตรของตัวดูดซับ)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)
โพลีโพรพิลีน	0.055	0.135
โพลีสไตรีน	0.027	0.318
เส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าสดขึ้นรูป	0.047	0.519
เส้นใยทะเลสาบปล้ำมปรับสภาพขึ้นรูป	0.053	0.496

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับน้ำมันในสารผสมอิมัลชัน ระหว่างน้ำมันกับน้ำ เปรียบเทียบกันระหว่างเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าสดและเส้นใยที่ปรับสภาพกับโพลีโพรพิลีน ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับน้ำมันสังเคราะห์ ในตารางที่ 4.4 พบว่าเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าสดดูดซับน้ำมันได้น้อยกว่าโพลีโพรพิลีน 0.008 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ลดลงร้อยละ 14.5) และ เส้นใยที่ปรับสภาพดูดซับน้ำมันได้น้อยกว่าโพลีโพรพิลีน 0.002 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ลดลง ร้อยละ 3.6) โดยที่เส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้น 0.006 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าสด หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.8

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับน้ำมันในหน่วยกรัมน้ำมันต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของตัวดูดซับ เส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าสดกับเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าปรับสภาพ มีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่ถ้าพิจารณาถึงการใช้งานที่มีน้ำมันปนเปื้อนในแหล่งน้ำปริมาณมากๆ จะพบว่าปริมาณการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองหยคน้ำมันลงบนเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าขึ้นรูป พบว่าเส้นใยสามารถดูดซับน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับโพลีโพรพิลีน เนื่องมาจากลักษณะของเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าขึ้นรูปที่เป็นตาข่าย การนำเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าไปใช้ดูดซับน้ำมันในกรณีของน้ำมันลอยบนผิวน้ำอาจจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยดีขึ้น

ในการนำเส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่ามาใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน สามารถใช้งานได้ 2 แบบ คือ แบบแรก คือ นำมาใช้ดูดซับโดยตรง (คงสภาพเดิม) และแบบที่ 2 คือ ทำการขึ้นรูปก่อนดูดซับ เส้นใยทะเลสาบปล้ำมเปล่าสภาพเดิมเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ดูดซับน้ำมันในอิมัลชันที่เป็นการไหลผ่านท่อ หรือคอลัมน์ ดังรูปที่ 4.21 ซึ่งมีลักษณะเหมือนเป็นตัวกรองน้ำมัน



รูปที่ 4.21 การบำบัดน้ำมัน โดยใช้เส้นใยทะเลลายปลาล์มเปล่า (ไม้จั่นรูป) เป็นตัวดูดซับ

เส้นใยทะเลลายปลาล์มจั่นรูป เหมาะสำหรับนำไปใช้ดูดซับน้ำมันในกรณีที่มีน้ำมันปริมาณมากลอยอยู่บนผิวน้ำของน้ำได้ (รูปที่ 4.22) เช่น กรณีของน้ำมันรั่วไหลในทะเล ในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานต่างๆ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและสามารถลอยน้ำได้ ซึ่งสะดวกต่อการกำจัด เนื่องจากเส้นใยที่จั่นรูปจะคงรูปในขณะที่ดูดซับน้ำมัน ซึ่งจะสะดวกในการขนถ่าย



รูปที่ 4.22 ลักษณะน้ำมันลอยบนผิวน้ำ