

บทที่ 7

กระบวนการวินเทอไรเซชัน (Winterization)

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์ม

จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิด คือน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) น้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refine Palm Oil: RPO) และน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ (Palm Olein) พบว่า น้ำมันปาล์มรีไฟน์เหมาะสมที่จะนำมาปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่น ส่วนน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีความเป็นกรด ซึ่งอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะและมีสิ่งเจือปนอยู่มาก ส่วนน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ มีคุณสมบัติที่ดีแต่มีราคาแพงเกินไปที่จะนำมาทำเป็นสารหล่อลื่น แต่น้ำมันปาล์มรีไฟน์มีข้อเสียคือ เมื่ออุณหภูมิใช้งานลดลงจะเกิดไข ซึ่งเป็นของแข็งทำให้ประสิทธิภาพในการไหลของน้ำมันลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อการนำไปใช้เป็นสารหล่อลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบไฮดรอลิก ที่น้ำมันจะต้องมีเพื่อถ่ายเทกำลังงานอยู่ตลอดเวลาที่ใช้งาน

ในงานวิจัยส่วนนี้จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดจุดไหลเท (Pour Point) ของน้ำมันปาล์ม เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันจะยังไหลได้ในขณะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ โดยทำการออกแบบและจัดสร้างชุดอุปกรณ์ในการทดลอง และออกแบบวิธีการทดลอง การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มรีไฟน์โดยใช้กระบวนการวินเทอไรเซชัน (Winterization Process) เพื่อศึกษาผลของอัตราการกวน อุณหภูมิที่ใช้ทำความเย็นและเวลา ที่เงื่อนไขใดมีแนวโน้มทำให้น้ำมันปาล์มรีไฟน์มีจุดไหลเทลดต่ำลง โดยที่ค่าความหนืดและค่าดัชนีความหนืดเปลี่ยนแปลงไปในทางดีขึ้นหรือไม่เปลี่ยนแปลง โดยจะนำน้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ผ่านกระบวนการวินเทอไรเซชันที่เงื่อนไขดังกล่าวไปใช้เป็นสารหล่อลื่นอุตสาหกรรมต่อไป

1. กระบวนการวินเทอไรเซชัน (Winterization Process)

กระบวนการวินเทอไรเซชันคือ กระบวนการทำให้ตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้ไขที่อยู่ในน้ำมันตกผลึก แล้วจึงแยกไขออกโดยการกรอง โดยระหว่างที่น้ำมันถูกทำให้เย็นลงนี้ จะต้องมีกรวนเพื่อให้มีการถ่ายโอนความร้อนและมวลอย่างสม่ำเสมอ โดยตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดผลึกมีดังนี้

1.1 ชนิดของใบพัดกวน

การศึกษาการแยกเสถียรและโอเลอินในน้ำมันปาล์มรีไฟน์ โดยการตกผลึกพบว่า การกวนโดยใช้ใบพัดแบบสมอ จะให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของโอเลอินสูงสุด เนื่องจากลักษณะเชิงกายภาพของใบกวนที่มีแกนแนวเข็มนาฬิกา ซึ่งอาจส่งผลต่อการโอนถ่ายความร้อน และมวลได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผลึกที่ได้มีขนาดเล็ก สม่ำเสมอ ทำให้ง่ายในขั้นตอนการกรอง และของเหลวโอเลอิน จะเกาะติดที่ผิวและระหว่างผลึกในปริมาณต่ำ ทำให้ผลได้ของโอเลอินสูง

1.2 อัตราการกววน

การกววนอย่างช้า ๆ จะช่วยให้ผลึกเกิดขึ้นและเติบโตได้ดี และช่วยให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นอย่างทั่วถึง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการตกผลึกสูงขึ้น แต่ถ้าความเร็วในการกววนน้อยเกินไปจะทำให้ได้ผลึกมีขนาดใหญ่ ซึ่งกรองยากทำให้ผลได้ของโอเลอินต่ำเกินไป ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกววนควรอยู่ในช่วง 30 ถึง 90 รอบต่อนาที

1.3 อุณหภูมิ

ที่อุณหภูมิสูง การเกิดผลึกเสติยรินเกิดขึ้นได้น้อย ทำให้ผลได้ส่วนของเหลวโอเลอินสูง ในขณะที่ที่กรดไขมันอิ่มตัวยังคงอยู่ในโอเลอินจำนวนมาก ทำให้ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีส่วนน้อยลง พบว่าจุดขุ่น (Cloud Point) ของน้ำมันโอเลอินมีค่าสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการตกผลึกสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป จะทำให้น้ำมันพอลัมรีไฟน์กลายเป็นของแข็งหมด ทำให้กรองได้ยาก

1.4 เวลาในการตกผลึก

เมื่อลดอุณหภูมิลงจนถึงจุดที่ต้องการตกผลึกแล้ว จำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งให้เสติยรินที่ต้องการตกผลึกได้หมด หากเวลาในการตกผลึกน้อยเกินไป เสติยรินที่ต้องการให้ตกผลึกยังตกผลึกไม่หมดทำให้ผลได้ของโอเลอินสูง แต่คุณภาพจะต่ำลงถ้าเวลาในการตกผลึกนานเกินไป ผลได้ของโอเลอินจะลดลง สิ้นเปลืองพลังงาน และสูญเสียเวลา พบว่าอุณหภูมิ จะมีผลต่อจุดขุ่นมากกว่าเวลาในการตกผลึก

กระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน เป็นการแยกลำดับส่วนซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การตกผลึกและการกรอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึก คือ อุณหภูมิ เวลา และความเร็วรอบในการกววน โดยที่ปัจจัยทั้ง 3 ต้องก่อให้เกิดผลึกเสติยรินที่มีขนาดเล็กพร้อมที่จะรวมตัวเป็นขนาดใหญ่ ขณะที่ทำการกรอง รูปผลึกของไตรกลีเซอไรด์ที่ยอมรับมี 4 รูป คือ

ก) อัลฟา (α) เป็นรูปผลึกที่มีโมเลกุลประกอบกันอย่างหลวม ๆ

ข) เบต้า (β) เป็นรูปผลึกที่มีโมเลกุลประกอบกันแน่น

ค) เบต้าไพรม์หนึ่ง (β_1) หรือเฟสที่มีจุดหลอมเหลวสูง

ง) เบต้าไพรม์สอง (β_2) หรือสับเบต้า (Sub- β)

โดยที่ไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวที่มีกรดไขมันต่างกันจะเสถียรในรูปผลึกเบต้า (β) ส่วนไตรกลีเซอไรด์ชนิดไม่อิ่มตัวที่มีกรดไขมันต่างกัน จะเสถียรในรูปผลึกเบต้าไพรม์หนึ่ง (β_1) ซึ่งรูปผลึกนี้เกิดขึ้นเร็ว เมื่อโซ่คาร์บอนเป็นจำนวนคู่และเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่สมมาตร แต่เกิดขึ้นช้าเมื่อโซ่คาร์บอนเป็นจำนวนคี่ และเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่สมมาตร การเกิดรูปผลึกจากอุณหภูมิต่ำไปสูงเป็นดังนี้



น้ำมันปาล์ม $\rightarrow \beta_2 \xrightarrow{9^\circ\text{ซ}}$ $\rightarrow \alpha + \beta_1 \xrightarrow{5^\circ\text{ซ}}$ $\rightarrow \beta_1 \xrightarrow{37^\circ\text{ซ}}$ \rightarrow ของเหลว

รูปผลึกเบต้าไพรม์หนึ่ง (β_1) กรองได้ง่ายมาก สามารถรวมตัวกันเป็นผลึกใหญ่ได้แม้ว่ารูปผลึกเบต้า (β) จะมีขนาดใหญ่ที่สุด แต่รวมตัวกันยาก เมื่อทำการกรองผลึกจะแยกจากกันทำให้กรองได้ยาก

2. การทดลอง

2.1 สารเคมี

- น้ำมันปาล์มรีไฟน์

2.2 อุปกรณ์

- เครื่องทำน้ำเย็น

- เครื่องกวน

- เทอร์โมมิเตอร์

- บีมสุญญากาศ

2.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้จะศึกษา 3 ตัวแปรคือ อุณหภูมิ เวลา และความเร็วรอบในการกวน โดยจะศึกษาอุณหภูมิ 4 ค่า คือ 10°ซ , 15°ซ , 20°ซ และ 25°ซ เวลา 30 นาที และ 60 นาที ความเร็วรอบ 3 ค่า คือ 50, 70 และ 90 รอบต่อนาที

2.3.1 อุ่นน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 200 กรัม ถึงอุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อทำลายผลึกเดิมให้หมดไป

2.3.2 ลดอุณหภูมิของน้ำมันลงด้วยเครื่องทำน้ำเย็น จนถึงอุณหภูมิที่ทำการตกผลึก ขณะที่ลดอุณหภูมิต้องมีการกวนอยู่ตลอดเวลา ด้วยความเร็วรอบคงที่

2.3.3 คงอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 30 และ 60 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการตกผลึก

2.3.4 นำน้ำมันมากรองแยกสเตรียรินออกจากโอเลอิน ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้เวลากรองคงที่ 15 นาทีเพื่อเปรียบเทียบผลได้ของโอเลอิน

2.3.5 นำโอเลอินที่ได้ไปชั่งหาผลได้

2.3.6 ทำซ้ำจุดเดิมเพื่อหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ผลการทดลองแม่นยำมากขึ้น

3. การออกแบบอุปกรณ์ในการทดลอง

โดยอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบได้แก่ ชุดอุปกรณ์ทำความเย็น การคำนวณขนาดอุปกรณ์ต่าง ๆ มีดังนี้

3.1 การหาขนาดคอมเพรสเซอร์

ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นตัวให้ความเย็นในถังทำความเย็น = 4,000 ลบ.ซม. (cm³) ถือว่าความหนาแน่นของน้ำคงที่ ดังนั้น น้ำปริมาณดังกล่าวมีมวล 4 กิโลกรัม
ต้องการทำให้น้ำปริมาณดังกล่าวลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28°C) ลงไปถึง (5°C)
ดังนั้นปริมาณความร้อน (Sensible Heat) ที่ต้องการดึงออกจากน้ำสามารถหาได้จาก

$$Q = mC_p\Delta T$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออก (kJ) m = มวลของน้ำ (kg)
 c_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg°C) Δt = ผลต่างของอุณหภูมิ (°C)

$$= (4 \text{ kg}) \times (4.2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})(28 - 5^\circ\text{C})$$

$$= 386.4 \text{ kJ}$$

ต้องการทำให้น้ำปริมาณและอุณหภูมิดังกล่าวเย็นตัวได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการภายใน 2 ชั่วโมง ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออก

$$= 386.4 \text{ kJ} / 7200 \text{ s}$$

$$= 0.054 \text{ kW}$$

พิจารณาที่ PH diagram ปริมาณความร้อนแฝงที่ได้เท่ากับ

$$= \text{การจุความร้อนที่จุด C} - \text{การจุความร้อนที่จุด B}$$

$$= 353 - 226 \text{ kJ/kg}$$

$$= 27 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้น อัตราการไหลของสารทำความเย็น (R12)

$$= (0.054 \text{ kJ/s}) / (27 \text{ kJ/kg})$$

$$= 0.002 \text{ kg/s}$$

จากกระบวนการที่เอนโทรปีคงที่ไปตัดกับเส้นความดันคงที่ได้ผลต่างของเอนทัลปีซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดจากการอัดตัวของคอมเพรสเซอร์

$$= 368 - 353$$

$$= 15 \text{ kJ/kg}$$

ซึ่งคิดเป็นขนาดของคอมเพรสเซอร์ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น x ความร้อนที่เกิดจากการอัดตัวของ คอมเพรสเซอร์

$$\begin{aligned}
 &= (0.002 \text{ kg/s}) \times (15 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 0.03 \text{ kW} \\
 &= 30 \text{ W} \\
 &= 0.041 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นเลือกใช้เครื่องทำความเย็นที่มีขนาดคอมเพรสเซอร์ 1/8 แรงม้า

4. การทดลองหาจุดไหลเท

4.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

4.1.1 น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ผ่านกระบวนการวินเทอไรเซชัน (Winterization) 50 มิลลิลิตร

4.1.2 ชุดทดสอบหาค่าจุดขุ่นมัวและจุดไหลเท (Seta-Lec Cloud and Pour Point Refrigerator) ลักษณะตามมาตรฐาน ASTM D97

4.1.3 หลอดแก้วกันแบน และปะเก็น

4.2 วิธีการทดลองมีดังนี้

4.2.1 เทสารตัวอย่างลงในหลอดแก้วจนถึงขีดที่กำหนด จากนั้นสวมปะเก็นเข้ากับหลอดแก้วเพื่อกันกระแทกเมื่อหลอดแก้วเอียง

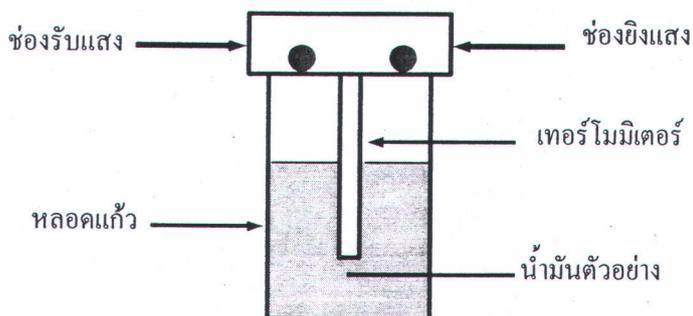
4.2.2 นำหลอดแก้วใส่ในช่องสำหรับวัดจุดไหลเท (Pour Point) ปิดด้วยฝาครอบแล้วหมุนให้แน่น

4.2.3 ตั้งค่าจุดไหลเทที่คาดไว้ หลอดแก้วจะเริ่มเอียงเมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงจุดที่สูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ 9°C . และจะเอียงทุก ๆ 3°C . หากน้ำมันยังคงไหลอยู่ จนกระทั่งเมื่อหลอดแก้วเอียงแล้วน้ำมันไม่ไหล เครื่องจะแสดงค่าจุดไหลเท (Pour Point) เป็นอุณหภูมิที่หลอดแก้วเอียงแล้วน้ำมันไม่ไหลบวกด้วย 3°C .

4.2.4 ทำซ้ำแล้วบันทึกผล

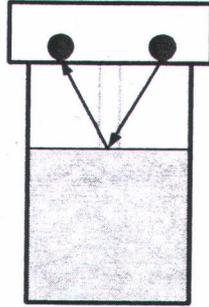
4.3 การทำงานของเครื่องวัดจุดขุ่นมัวและจุดไหลเท (Seta-Lec Cloud and Pour Point)

4.3.1 ในส่วนของการวัดจุดไหลเทจะประกอบด้วยหลอดแก้ว ช่องยิงแสง ช่องรับแสง และเทอร์โมมิเตอร์สำหรับอ่านอุณหภูมิของน้ำมัน



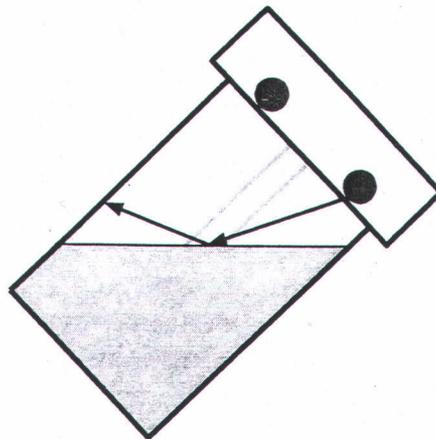
รูปที่ 5 ชุดทดลองหาจุดไหลเท

4.3.2 ในสภาพปกติที่ผิวของน้ำมันตั้งฉากกับผนังหลอดแก้ว แสงที่ยิงจากช่องยิงแสง จะตกกระทบผิวของน้ำมันแล้วสะท้อนเข้าสู่ช่องรับแสงพอดี



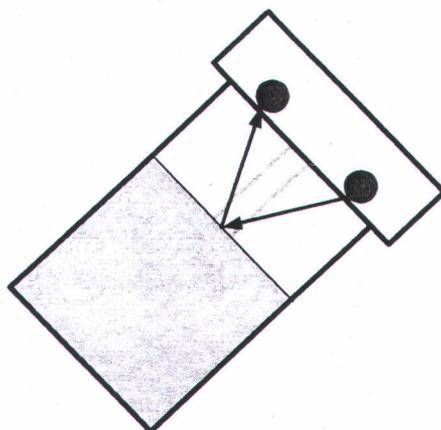
รูปที่ 6 แสงจากช่องยิงแสงสะท้อนเข้าสู่ช่องรับแสง

4.3.3 เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันลดลงจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ 9°C . เครื่องจะเอียงหลอดแก้ว หากน้ำมันยังไม่แข็งตัว ผิวของน้ำมันจะเบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งเดิม ทำให้แสงจากช่องยิงแสงมีมุมตกกระทบต่างไปจากเดิม แสงจึงไม่สะท้อนเข้าสู่ช่องรับแสง เครื่องจะตั้งน้ำมันกลับ



รูปที่ 7 มุมตกกระทบเบี่ยงเบนไปจากเดิมเมื่อเอียงหลอดแก้วเนื่องจากน้ำมันยังไม่แข็งตัว

4.3.4 เครื่องจะเอียงหลอดแก้วทุกครั้งทีอุณหภูมิลดลง 3°C . จนกระทั่งน้ำมันแข็งตัว ผิวของน้ำมันไม่เปลี่ยนไปเมื่อเอียงหลอดแก้วแสงจะสะท้อนเข้าสู่ช่องรับแสง และเครื่องจะอ่านอุณหภูมิก่อนหน้านี้ 3°C . เป็นค่าจุดไหลเท เช่น เมื่อหลอดแก้วเอียงที่ 0°C . แล้วน้ำมันแข็งตัว เครื่องจะแสดงค่าจุดไหลเทเป็น 3°C .



รูปที่ 8 น้ำมันแข็งตัว

5. การทดลองหาดัชนีความหนืด

5.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

5.1.1 น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ผ่านกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (Winterization) 50 มิลลิลิตร

5.1.2 ชุดทดลองวัดค่าความหนืด (Viscometer) ลักษณะตามมาตรฐาน ASTM D 445

5.1.3 หลอดทดลองสำหรับวัดค่าความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity)

5.2 วิธีการทดลองมีดังนี้

5.2.1 เลือกหลอดทดลองให้เหมาะสมกับความหนืดจลน์ที่คาดไว้ของน้ำมันตัวอย่าง เนื่องจากหลอดทดลองมีหลายเบอร์ ซึ่งแต่ละเบอร์มีขนาดแตกต่างกัน หากเลือกหลอดขนาดใหญ่เกินไป หรือเล็กเกินไป จะทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาด หากเลือกหลอดถูกต้องเวลาที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 200 ถึง 800 วินาที สำหรับการทดลองนี้ได้เลือกหลอดจากผลการทดลองหาความหนืดจลน์ของน้ำมันปาล์มของศูนย์วิจัยและเทคโนโลยี ปตท. ซึ่งได้หลอดที่มีขนาดดังนี้

ในการหาความหนืดจลน์ของน้ำมันที่ 40°C. ใช้หลอดเบอร์ 200

ในการหาความหนืดจลน์ของน้ำมันที่ 100°C. ใช้หลอดเบอร์ 100

5.2.2 หาความหนืดจลน์ที่อุณหภูมิ 40°C. โดยดูดน้ำมันใส่ในหลอดเบอร์ 200 ให้เกินขีดบนของหลอดทดลอง

5.2.3 นำหลอดไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิ 40°C. ทิ้งไว้ 20 นาที เพื่อให้ น้ำมันมีอุณหภูมิกงที่ 40°C.

5.2.4 หลังครบ 20 นาที น้ำมันจะละลายไหลลงมาที่ก้นหลอด ใช้ลูกยางดูดน้ำมันขึ้นไปใหม่ให้ผิวของน้ำมันพ้นขีดบนของหลอด

5.2.5 เมื่อน้ำมันเริ่มไหลกลับสู่ก้นหลอดจับเวลาที่ผิวของน้ำมันเคลื่อนที่จากขีดบนมาสู่ขีดล่างของหลอด

5.2.6 เวลาที่ได้เป็นวินาที นำมาคูณกับค่าคงที่ของหลอดทดลองที่ใช้ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหลอด สำหรับค่าคงที่ของหลอดทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้มีดังนี้

หลอด 200z599 มีค่าคงที่ 0.091060

หลอด 200z600 มีค่าคงที่ 0.093623

หลอด 200z601 มีค่าคงที่ 0.093547

หลอด 200U214 มีค่าคงที่ 0.100619

หลอด 100 275L มีค่าคงที่ 0.091060

หลอด 100 276L มีค่าคงที่ 0.091060

หลอด 100 277L มีค่าคงที่ 0.091060

หลอด 100 437J มีค่าคงที่ 0.091060

ผลคูณที่ได้จะเป็นความหนืดจลน์ของน้ำมันที่ 40°C . หน่วยเป็นเซนติสโตค

5.2.7 ในการหาความหนืดจลน์ของน้ำมันที่ 100°C . ให้ดูคน้ำมันใส่หลอดเบอร์ 100 แล้วนำไปใส่อ่างที่มีอุณหภูมิ 100°C .

5.2.8 ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นดำเนินการเช่นเดียวกับการหาความหนืดจลน์ของน้ำมันที่ 40°C .

5.2.9 เมื่อได้ความหนืดจลน์ของน้ำมันที่ 40°C . และ 100°C . แล้ว นำไปป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องจะแสดงค่าดัชนีความหนืด

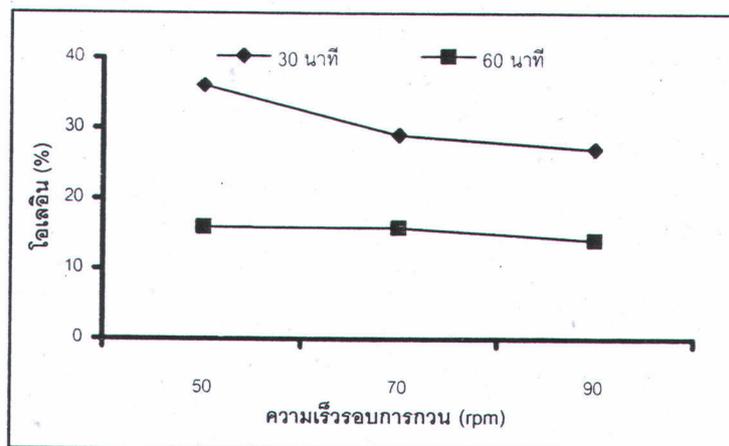
5.2.10 บันทึกผล

6. ผลการทดลอง

6.1 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากกระบวนการวินเทอไรเซชัน (Winterization)
ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่างๆมีผลเป็นดังนี้

6.1.1 การทดลองที่อุณหภูมิ 10°C .

อัตราการกวน (รอบต่อนาที: rpm)	% โอลีน	
	เวลาที่ใช้ในการกวน (นาที)	
	30 นาที	60 นาที
50	36.1	16
70	29.07	15.9
90	27.1	14.1



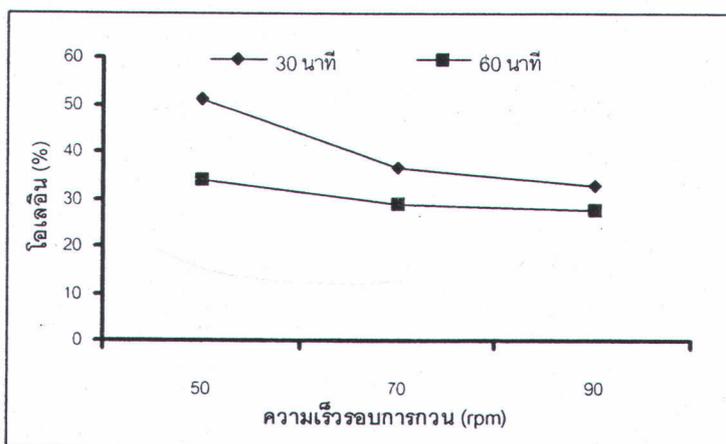
จากกราฟจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 10°C . เปอร์เซ็นต์ผลได้ของน้ำมันลดลงเมื่อความเร็วรอบในการกวนเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงของความเร็วรอบที่ทำการทดลองนี้ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที จะให้ผลได้ของน้ำมันสูงสุด ตามทฤษฎีแล้วการกวนด้วยความเร็วรอบสูงจะทำให้เกิดผลึกขนาดเล็ก เนื่องจากพลังงานจลน์จากการกวนจะมีค่าสูงทำให้ผลึกเกาะตัวกันยาก ผลที่ได้จากการกรองจึงน่าจะสูง แต่จากการที่ผลได้ของน้ำมันลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในที่นี้อาจเกิดจากผลึกที่มีขนาดเล็กนี้ ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นน้ำมันจึงเกาะติดอยู่กับผลึกจำนวนมาก ในขณะที่ที่ความเร็วรอบต่ำแม้จะเกิดผลึกขนาดใหญ่กว่าแต่ผลึกนั้นมีพื้นที่ให้น้ำมันไปเกาะติดน้อยกว่า เมื่อนำไปกรองจึงได้ปริมาณของน้ำมันมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาที่มีต่อปริมาณของน้ำมันที่ได้พบว่าที่เวลา 30 นาที ให้ผลได้มากกว่า เวลา 60 นาทีอย่างมาก ในทุกๆ ความเร็วรอบในการกวน แสดงให้เห็นว่า เวลาที่ใช้ในกระบวนการ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 10°C . นี้ ผลึกยังตกไม่หมด และเมื่อเวลานานขึ้นผลึกตกมากขึ้น ปริมาณน้ำมันที่ได้จึงน้อยลง



6.1.2 การทดลองที่อุณหภูมิ 15^oซ.

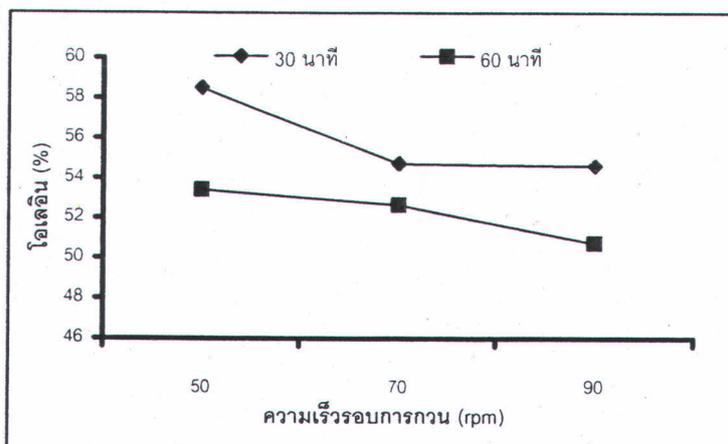
อัตราการกวน (รอบต่อนาที: rpm)	% โอลีน	
	เวลาที่ใช้ในการกวน (นาที)	
	30 นาที	60 นาที
50	51.22	34.22
70	36.65	28.85
90	32.82	27.77



แนวโน้มที่ 15°ซ . ยังคงเป็นเช่นเดียวกับที่ 10°ซ . นั่นคือ ผลได้ลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น แต่ความแตกต่างของเวลาในการตกผลึกมีผลน้อยลง

6.1.3 การทดลองที่อุณหภูมิ 20°ซ .

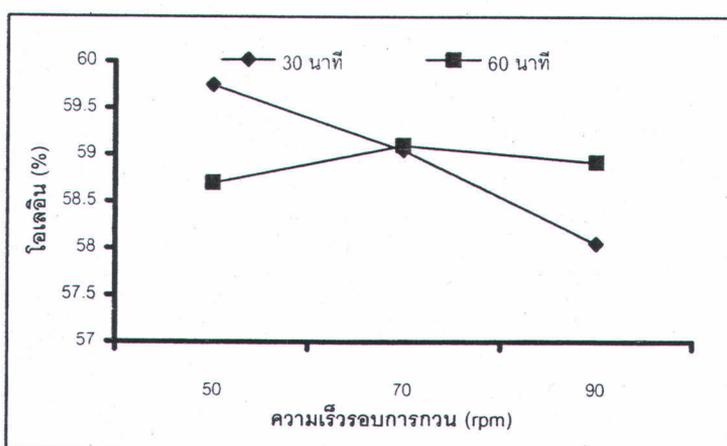
อัตราการกวน (รอบต่อนาที: rpm)	% โอลีน	
	เวลาที่ใช้ในการกวน (นาที)	
	30 นาที	60 นาที
50	58.52	53.42
70	54.75	52.67
90	54.62	50.75



ที่อุณหภูมิ 20°ซ . ความแตกต่างของความเร็วรอบในการกวนมีผลต่อการตกผลึกน้อยลงเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 10°ซ . และ 15°ซ . ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความเร็วรอบในการกวนจะมีผลน้อยลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่อุณหภูมิสูงผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กเนื่องจากรวมตัวกันได้ยาก ดังนั้นแม้ความเร็วรอบในการกวนจะเพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้ขนาดผลึกเล็กลงมากนัก ที่อุณหภูมิ 20°ซ . นี้เวลาในการตกผลึกยังคงมีผลอยู่แต่น้อยลง

6.1.4 การทดลองที่อุณหภูมิ 25^oซ.

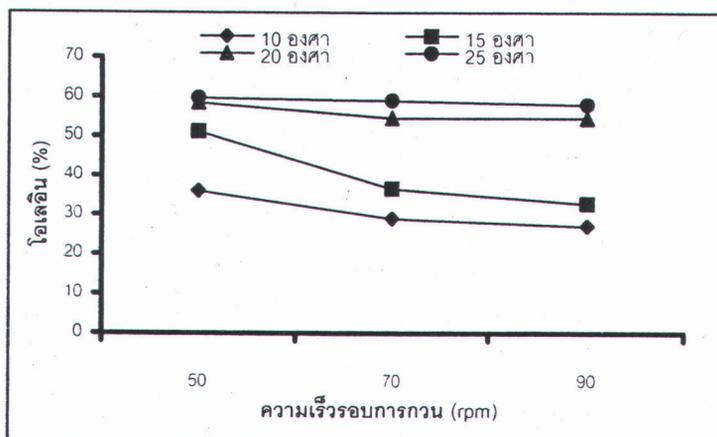
อัตราการกวน (รอบต่อนาที: rpm)	% โอลีน	
	เวลาที่ใช้ในการกวน (นาที)	
	30 นาที	60 นาที
50	59.75	58.7
70	59.05	59.1
90	58.05	58.92



ที่อุณหภูมิ 25^oซ. นี้ พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวน การทดลองที่เวลา 30 นาที และ 60 นาที มีแนวโน้มที่สวนทางกัน คือ ที่เวลา 30 นาทีผลได้น้อยลงเมื่อความเร็วในการกวนเพิ่มขึ้น แต่ที่ 60 นาที เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวนผลได้ของน้ำมันมากขึ้นซึ่งเป็นผลที่แตกต่างจากการทดลองที่สถานะอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าที่ 25^oซ. เวลา 60 นาที อัตราการกวนเพิ่มขึ้น ผลึกมีขนาดเล็กลงจนกระทั่งผ่านกระดาษกรองลงไปได้มากทำให้ผลได้ของน้ำมันเพิ่มขึ้น

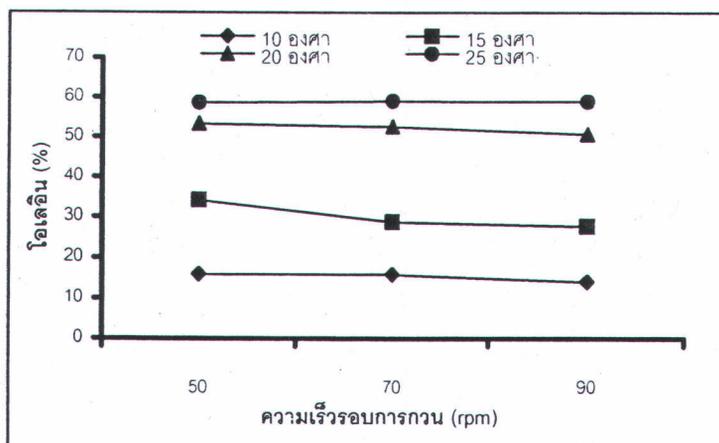
6.1.5 เปรียบเทียบผลได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

6.1.5.1 เวลาตกผลึก 30 นาที



จากกราฟจะเห็นได้ชัดเจนว่าที่อุณหภูมิสูงผลได้ที่ของน้ำมันจะสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากลักษณะผลึกที่ต่างกัน โดยอุณหภูมิที่ยิ่งสูงผลึกจะมีขนาดใหญ่แต่รวมตัวกันยากเมื่อทำการกรองผลึกจะแยกจากกันทำให้ผ่านกระดาษกรองลงไปผลที่ได้จึงมาก อีกเหตุผลหนึ่งน่าจะมาจากการที่ ในขณะที่อุณหภูมิสูงระยะเวลาในการตกผลึกน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำ ผลึกจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่า

6.1.5.2 เวลาตกผลึก 60 นาที



กราฟเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อผลได้ที่ของน้ำมันที่เวลาการตกผลึก 60 นาที แสดงผลเช่นเดียวกับที่เวลาตกผลึก 30 นาที แต่ที่ 60 นาที ผลได้ที่ของน้ำมันจะน้อยกว่า เนื่องจากที่ 30 นาที ผลึกยังตกไม่หมด

6.2 จุดไหลเท

6.2.1 เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{ซ.}$)	จุดไหลเทที่ความเร็วรอบการกวน ($^{\circ}\text{ซ.}$)		
	50 rpm	70 rpm	90 rpm
10	6	6	6
15	6	6	6
20	9	9	6
25	12	12	12

จากผลการทดลองหาจุดไหลเทของน้ำมันที่ผ่านการตกผลึกในเวลา 30 นาที พบว่า อุณหภูมิ 25°ซ. ไม่สามารถปรับปรุงจุดไหลเทของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ได้ ส่วนค่าต่ำสุดที่ทำได้ คือ 6°ซ. โดยอุณหภูมิ 10°ซ. และ 15°ซ. ให้ผลเท่ากันในทุกความเร็วรอบของการกวน

6.2.2 เวลา 60 นาที

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{ซ.}$)	จุดไหลเทที่ความเร็วรอบการกวน ($^{\circ}\text{ซ.}$)		
	50 rpm	70 rpm	90 rpm
10	6	6	6
15	6	6	6
20	6	6	6
25	12	12	12

ที่เวลา 60 นาที ความเร็วรอบในการกวนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจุดไหลเทโดยที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20°ซ. น้ำมันมีจุดไหลเท 6°ซ. เท่ากันในทุกความเร็วรอบของการกวน ซึ่งช่วยปรับปรุงจุดไหลเทได้ 6°ซ. จากเดิมที่น้ำมันปาล์มรีไฟน์ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (Winterization) มีจุดไหลเท 12°ซ. ส่วนที่อุณหภูมิ 25°ซ. ไม่สามารถปรับปรุงจุดไหลเทได้

6.3 ดัชนีความเหน็ด

ผลการทดลองเป็นดังนี้

ที่ R = 50 รอบต่อนาที (rpm)

อุณหภูมิ (°ซ.) (R = 50 rpm)	ดัชนีความเหน็ด	
	30 นาที	60 นาที
10	207.18	213.78
15	211.72	213.24
20	212.23	211.71
25	213	

ที่ R = 70 รอบต่อนาที (rpm)

อุณหภูมิ (°ซ.) (R = 70 rpm)	ดัชนีความเหน็ด	
	30 นาที	60 นาที
10	232.2	224
15	213.51	211.38
20	211	211
25	213	

ที่ R = 90 รอบต่อนาที (rpm)

อุณหภูมิ (°ซ.) (R = 90 rpm)	ดัชนีความเหน็ด	
	30 นาที	60 นาที
10	217.1	211.92
15	212.73	212
20	214.49	213.75
25	213	214

น้ำมันปาล์มรีไฟน์ที่ไม่ผ่านกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (Winterization) มีดัชนีความหนืด 196 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำมันที่ผ่านกระบวนการนี้มีค่าดัชนีความหนืดเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะ แสดงให้เห็นว่าการแยกไขออกจากร้ำมันจะช่วยให้อัตราความหนืดสูงขึ้น

สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการทดลองกระบวนการแยกไขออกจากร้ำมันปาล์มโดยกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (Winterization) สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการนี้สามารถแยกไขออกจากร้ำมันปาล์มรีไฟน์ได้ เห็นได้จากกรณีที่น้ำมันที่ผ่านกระบวนการนี้มีคุณสมบัติด้านที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขดีขึ้น โดยคุณสมบัติด้านจุดไหลเท่นั้นสามารถปรับปรุงได้ดีขึ้นมาก จากเดิมที่น้ำมันปาล์มรีไฟน์มีจุดไหลเท 12°C . สามารถลดลงมาเหลือ 6°C . ได้ แต่สำหรับค่า 6°C . นี้ยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมของน้ำมันไฮดรอลิกอยู่ ดังนั้นหากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจึงต้องมีการเติมสารเคมีลดจุดไหลเทเสียก่อน ส่วนคุณสมบัติด้านดัชนีความหนืดนั้น น้ำมันที่ผ่านกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (Winterization) ก็มีค่าดัชนีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเกิน 200 ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม

ตัวแปรที่มีผลต่อการตกผลึกของน้ำมันปาล์มรีไฟน์นั้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วรอบในการกวน และเวลาในการตกผลึก จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดเนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณการตกผลึก และลักษณะของผลึก ที่อุณหภูมิต่ำ ผลึกจะเกิดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง และผลึกที่ได้จะมีขนาดเล็ก สามารถก่อตัวเป็นขนาดใหญ่ได้ง่าย จึงง่ายต่อการกรอง ส่วนความเร็วรอบในการกวนนั้นจะเป็นตัวกำหนดขนาดของผลึก คือ ความเร็วรอบยิ่งสูง ก็จะยิ่งเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้แก่ไขมันผลึกมาเกาะตัวกันเป็นขนาดใหญ่ได้ยาก จึงได้ผลึกที่มีขนาดเล็ก และตัวแปรสุดท้ายคือ เวลาในการตกผลึกนั้นจะเป็นตัวแปรที่กำหนดปริมาณการตกผลึก ในช่วงของการทดลองนั้นพบว่า ที่เวลาการตกผลึก 30 นาที ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าที่ 60 นาที แต่คุณภาพของน้ำมันที่ได้สูงกว่า แสดงให้เห็นว่า ที่เวลาการตกผลึก 30 นาทีนั้น ผลึกยังตกได้ไม่หมด เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 60 นาที ผลึกจึงตกมากขึ้นซึ่งหากเพิ่มเวลาให้นานกว่านี้คาดว่าจะได้น้ำมันที่มีคุณภาพดีกว่านี้ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ผลึกตกหมดแล้ว แม้จะเพิ่มเวลาก็จะไม่ผลต่อคุณภาพของน้ำมันมากนัก แต่การเพิ่มเวลาก็เป็นการเพิ่มการสูญเสียพลังงานซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้นั้นไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายที่เสียไป

สำหรับสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (Winterization) นั้นจะต้องเป็นสภาวะที่ใช้พลังงานน้อย ได้ปริมาณน้ำมันมาก และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มได้ดี ซึ่งจากโครงการนี้ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 20°C . ความเร็วรอบในการกวน 90 รอบต่อนาที และเวลาในการตกผลึก 30 นาที ที่สภาวะนี้ได้น้ำมันในปริมาณที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ คือได้ 54.62% สามารถลด จุดไหลเทลงเหลือ 6°C . ดัชนีความหนืดมีค่า 214 ซึ่งถือว่าสูงมากสำหรับน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม

ผลการวิเคราะห์น้ำมันตัวอย่างตามมาตรฐานการตรวจสอบ ASTM Standard และ IP Standard

มาตรฐานการทดสอบ	RPO	E-RPO	Penzoil 46	CaltexRando 46
ISO Grade	-	-	46	46
Viscosity D 445				
Viscosity cSt @ 40°C	40.91	52.09	44.80	44.0
Viscosity cSt @ 100°C	8.45	9.79	6.68	6.72
Viscosity Index	190	177	101	106
Density D 4052				
Density @ 15°C	0.916	0.928	0.880	-
Density @ 30°C	0.907	0.919	0.871	-
API @ 60°F	22.8	20.8	29.2	-
Pour Point D 97	15°C	9°C	-6°C	-21°C
Foaming D 892	10 / nil	10 / nil	10 / nil	-
Water Separation D 1401	25 min	15 min	8 min	-
Copper Strip D 130	1A	1A	1A	-
Air Release IP 313				-
Air Release @ 50°C, min	6.5	4.5	4.0	-

RPO = น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์

E-RPO = น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการอีพอกซิเดชันที่สภาวะ 40% Excess

Peracetic Acid