

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดลองเกี่ยวกับน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

4.1.1 การศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันปาล์มใช้แล้วและเมทิลเอสเทอร์

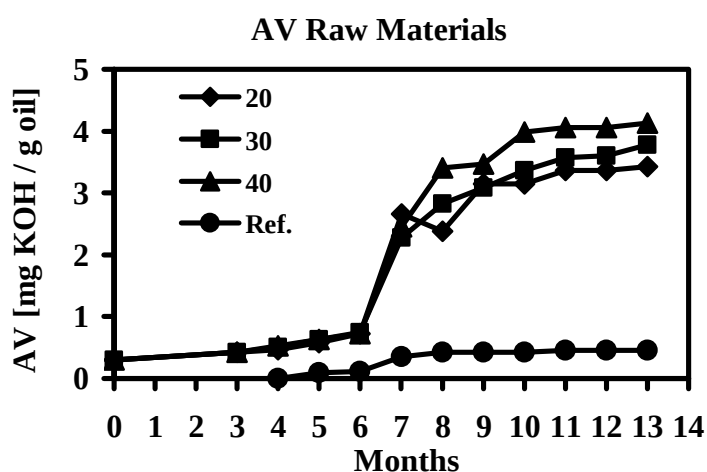
(Storage Stability of Waste Palm Oil and Methyl ester)

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันวัตถุดิบ และเมทิลเอสเทอร์ ในสภาวะปิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 20, 30 (อุณหภูมิห้องโดยประมาณ), และ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (เริ่มเก็บตั้งแต่เดือน มกราคม 2549) และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วนี้ หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 3 เดือน (ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์เมื่อเดือน เมษายน 2549) โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาทั้งหมด 13 เดือนสำหรับน้ำมันปาล์มใช้แล้วและ 10 เดือนสำหรับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ และใช้น้ำมันปาล์มโกลีนบริสุทธิ์ ตรา เกสร และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันชนิดนี้ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นตัวอย่างอ้างอิง (Reference) ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา เราได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid: FFA) [ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเป็นกรด (Acid Value: AV)] ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic Viscosity) ค่าไอโอดีน (Iodine Value: IV) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value: PV) ค่าร้อยละผลได้ (%Yield) และค่าความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ (% ester content) โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

ปริมาณกรดไขมัน (ซึ่งแสดงในรูปของ Acid Value) ของน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จาก 0.30 ในช่วงต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งในช่วงเดือนที่ 6 ไปจนถึงเดือนที่ 7 ของการเก็บรักษา ปริมาณกรดไขมันมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา แต่พอหลังจากเดือนที่ 10 เป็นต้นไป จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่ง ถือได้ว่าคงที่ เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาพบว่า ตัวอย่างที่ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีแนวโน้มที่ค่า AV จะมีค่าสูงขึ้น โดยในที่นี้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระใกล้เคียงกัน โดยที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) มีแนวโน้มของค่า AV ที่สูงกว่าที่ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระสูงที่สุด เนื่องจาก น้ำมันปาล์มมีโครงสร้างซึ่งเป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ ที่ประกอบด้วยสายโซ่ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ทั้งอิ่มและไม่อิ่มตัวซึ่งยังไม่เสถียร เมื่อเวลาผ่านไปจึงอาจแตกตัวต่อได้อีก ยิ่งสภาวะอุณหภูมิสูงก็เท่ากับช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เกิดดีขึ้นด้วย

ภาพที่ 4.1

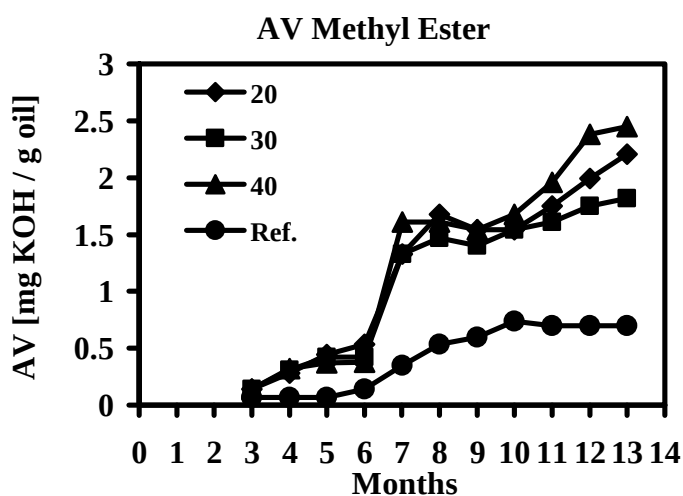
ปริมาณ AV ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ
โดยตัวอย่างอ้างอิง (Reference: Ref.) คือ น้ำมันปาล์มโกลีนบริสุทธิ์
ตรา เกสร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



สำหรับการเปลี่ยนแปลงของ AV ของเมทิลเอสเทอร์ เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บเป็นเวลา 3 เดือน ที่สภาวะต่าง ๆ ดังในภาพที่ 4.1 และเก็บต่อไปจากเดือนที่ 3 นี้ จนครบ 13 เดือน ข้อมูลของเมทิลเอสเทอร์จึงเริ่มต้นจากเดือนที่ 3 จากภาพที่ 4.2 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของ AV เกิดอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ AV ของน้ำมันวัตถุดิบในภาพที่ 4.1 โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าของน้ำมันพืชวัตถุดิบ อันเนื่องมาจาก น้ำมันพืชมีองค์ประกอบเป็นไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสายโซ่ของกรดไขมันมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าของเมทิลเอสเทอร์ถึง 3 เท่า (Encinar, Gonzales, Sabio, and Ramiro, 1999) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จึงมีค่าน้อยกว่าเมทิลเอสเทอร์ ทำให้การแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชเกิดขึ้นง่ายกว่าของเมทิลเอสเทอร์

ภาพที่ 4.2

ปริมาณ AV ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยตัวอย่างอ้างอิงคือ เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มโกลีนบริสุทธิ์
ตรา เกสร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



นอกจากการเพิ่มขึ้นของ AV ในช่วงเดือนที่ 6 ซึ่งเหมือนกับน้ำมันวัตถุดิบ และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ซึ่งนำมาใช้อ้างอิง ยังพบอีกว่า AV ของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีการเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงหลังเดือนที่ 10 เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยที่ผ่านมาในปี 2006 (Leung *et al.*, 2006) พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรปบริสุทธิ์ แล้วเก็บรักษาในภาชนะปิดมีการเพิ่มขึ้นของค่า AV อย่างชัดเจนเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 5 เดือนเช่นกัน ในขณะที่งานของเรามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงหลังเดือนที่ 12 แต่ในงานวิจัยของ Leung มีส่วนที่แตกต่างคือ แนวโน้มของค่า AV ยังคงมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแม้จะเลยเวลาการศึกษาคือ 12 เดือนไปแล้วก็ตาม ซึ่งถ้าใช้ระยะเวลาในการวิจัยนานกว่านี้ก็จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ เพิ่มเติม ดังจะเห็นได้จากในงานวิจัยที่เพิ่งเผยแพร่ในปี 2007 (Bouaid *et al.*, 2007) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการวิจัยนานกว่า 30 เดือน มีผลการศึกษาที่ได้แตกต่างออกไปในบางส่วน ถึงแม้ว่าน้ำมันวัตถุดิบที่ใช้จะเป็นชนิดเดียวกันกับงานของ Leung ก็ตาม นั่นคือ เมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ปริมาณกรดไขมันอิสระของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วซึ่งผลิตจากเมล็ดเรปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ทั้งนี้จะสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน ก็ต่อเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไปแล้วนานถึง 12 เดือน แต่พอหลังจากเดือนที่ 24 ของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงก็เริ่มคงที่หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า สาเหตุของเวลาการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันนี้มาจากคุณภาพของน้ำมันวัตถุดิบที่ต่างกัน ทำให้อัตราการแตกตัวไปเป็นกรดไขมันอิสระเกิดได้ต่างกันด้วย

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาของเมทิลเอสเทอร์ก็พบว่า มีแนวโน้มที่แตกต่างจากน้ำมันวัตถุดิบ โดยที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียสมีค่า %FFA สูงที่สุดตามด้วยที่ 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) ตามลำดับ ทั้งนี้ ถ้าตัดการวิเคราะห์ที่ 30 องศาเซลเซียส (ซึ่งในที่นี้ไม่ได้มีการควบคุม ใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นอุณหภูมิห้องแทน) ก็จะเห็นว่า ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาทั้งน้ำมันปาล์มวัตถุดิบและเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ที่มีต่อปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกัน

สำหรับผลของการเก็บรักษาต่อค่าความหนืด พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มใช้แล้วดังภาพที่ 4.3 มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ นั่นคือ มีช่วงของการเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไป

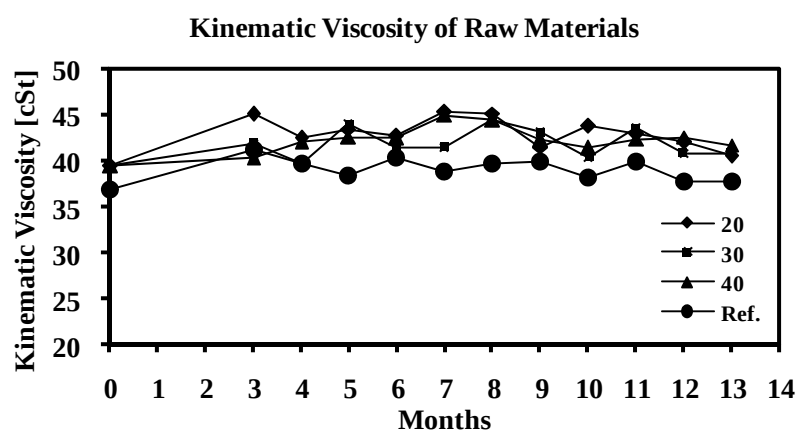
อันเนื่องมาจากการดำเนินไปของปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ซึ่งประกอบไปด้วยการแข่งขันกันระหว่างการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นสารระเหยได้ง่ายจำพวกแอลดีไฮด์และคีโตน กับการเกิดเป็นสารประกอบจำพวกโพลีเมอร์ซึ่งมีค่าความหนืดสูงกว่า โดยในภาพรวม น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันที่เก็บที่ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เล็กน้อย

สำหรับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ก็มีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดในลักษณะเดียวกัน ดังในภาพที่ 4.4 โดยมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่แคบกว่าน้ำมันวัตถุดิบ อีกทั้งยังพบว่า ความหนืดของน้ำมันวัตถุดิบที่นำมาทำปฏิกิริยามีผลต่อความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ โดยน้ำมันวัตถุดิบที่ใช้เป็นน้ำมันจากเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุด เมื่อเก็บที่ 20 องศาเซลเซียส ตามด้วย 30 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 40 องศาเซลเซียส เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วพบว่า แนวโน้มของความหนืดของเมทิลเอสเทอร์เป็นเช่นเดียวกับวัตถุดิบโดยมีเพียงเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ทำการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ไม่เกิน 6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) เมื่อเก็บน้ำมันเมทิลเอสเทอร์ต่อไปอีก 10 เดือนพบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่เก็บที่ 40 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มของค่าความหนืดลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ทำการเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) จะมีค่าความหนืดเริ่มต้นที่สูงกว่า และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความหนืดในทางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

สำหรับการวัดค่าความหนืดในการทดลองนี้ ในแต่ละชุดข้อมูลทำการวัดค่าซ้ำถึง 3 ครั้งด้วยกัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งก็ใกล้เคียงกันมาก (ค่า S.D. น้อยกว่า 0.3 %) จึงถือว่าผลการทดลองที่น่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ได้

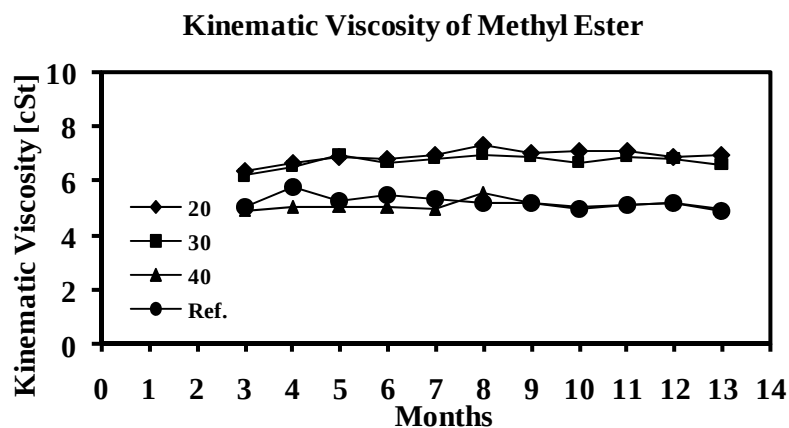
ภาพที่ 4.3

ค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยตัวอย่าง
อ้างอิงคือ น้ำมันปาล์มโอลีนบริสุทธิ์ตรา เกสร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4.4

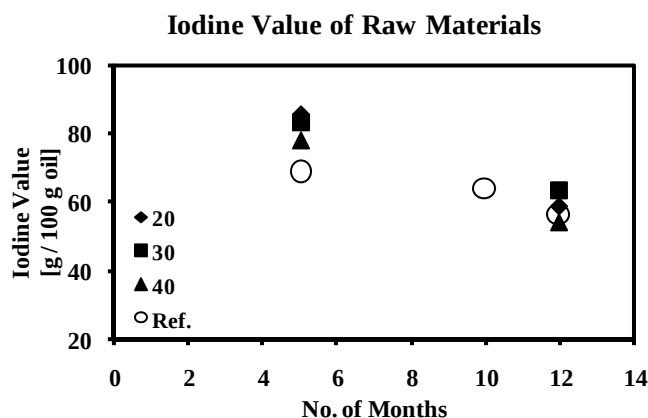
ค่าความหนืดเชิงจลน์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บในภาชนะปิด
ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยตัวอย่างอ้างอิงคือ เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมัน
ปาล์มโอลีนบริสุทธิ์ตรา เกสร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าไอโอดีนของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว และน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยทำการสุ่มทดสอบ 2 ครั้งในเดือนที่ 5 และ 12 สำหรับน้ำมันปาล์มใช้แล้ว และสุ่มทดสอบ 3 ครั้งในเดือนที่ 5, 10, และ 12 สำหรับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ซึ่งใช้เป็นน้ำมันอ้างอิง พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป ค่าไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ โดยเมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับคุณสมบัติอื่น ๆ จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการรายงานผล คือ ในเดือนที่ 5 ขณะที่ค่าไอโอดีนของทั้งน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีค่าสูงนั้น ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทั้งสองชนิดยังคงมีค่าต่ำอยู่ ในขณะที่เมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของการเก็บรักษา คือ ในเดือนที่ 12 จะเห็นว่า ค่าไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงจากในช่วงแรก ขณะเดียวกัน ปริมาณกรดไขมันอิสระกลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงต้นของการเก็บรักษาในภาชนะปิด น้ำมันปาล์มใช้แล้วซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของกรดไขมันทั้งอิ่มและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ ทำให้สามารถวัดค่าไอโอดีนซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความไม่อิ่มตัวของสารได้ในปริมาณมากอยู่ แต่เมื่อเวลาผ่านไป น้ำมันปาล์มซึ่งประกอบด้วยสายโซ่ของกรดไขมันที่ยังไม่เสถียร เกิดการแตกตัวต่อไปได้เป็นโมเลกุลอื่นที่เสถียรขึ้นซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจเป็นกรดไขมันอิสระดังจะเห็นได้จากค่าไอโอดีนของน้ำมันปาล์มที่วัดได้มีค่าลดลงสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นยังสังเกตได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่เก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น ค่าไอโอดีนที่วัดได้มีค่าลดลง แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันในสัดส่วนที่สูงขึ้น

ภาพที่ 4.5

ค่าไอโอดีนของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บรักษาในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยตัวอย่างอ้างอิงคือน้ำมันปาล์มโอลีนบริสุทธิ์ตรา เกสร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

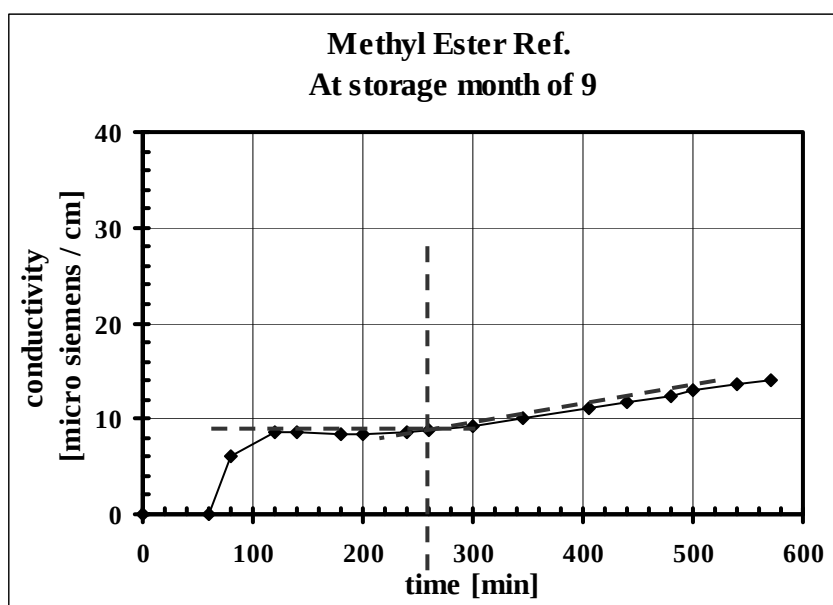


เมื่อทำการทดสอบหาค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอายุขัย (shelf life) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ณ ช่วงเดือนที่ 9 และ 10 ของการทดลอง (ธันวาคม 2549 และมกราคม 2550) ดังแสดงในภาพที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า น้ำมันที่เก็บไว้นานขึ้น ค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันมีแนวโน้มที่ลดลง โดยเปลี่ยนแปลงจาก 260 นาที ในเดือนที่ 9 ไปเป็น 30 นาที ในเดือนที่ 10 อันเนื่องมาจาก เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทิลเอสเทอร์ค่อย ๆ ลดลงไปด้วย

เมื่อทดลองทำการตรวจวัดค่าเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นค่าชี้วัดอัตราการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนของน้ำมัน และค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ Oxidation Stability ณ เดือนที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า หลังการทดสอบทั้งค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าไอโอดีนสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้การเกิดออกซิเดชันของเมทิลเอสเทอร์ได้

ภาพที่ 4.6

การหาค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน ณ เดือนที่ 9 ของการเก็บรักษา (ธันวาคม 2549) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เก็บรักษาในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง



ตารางที่ 4.1

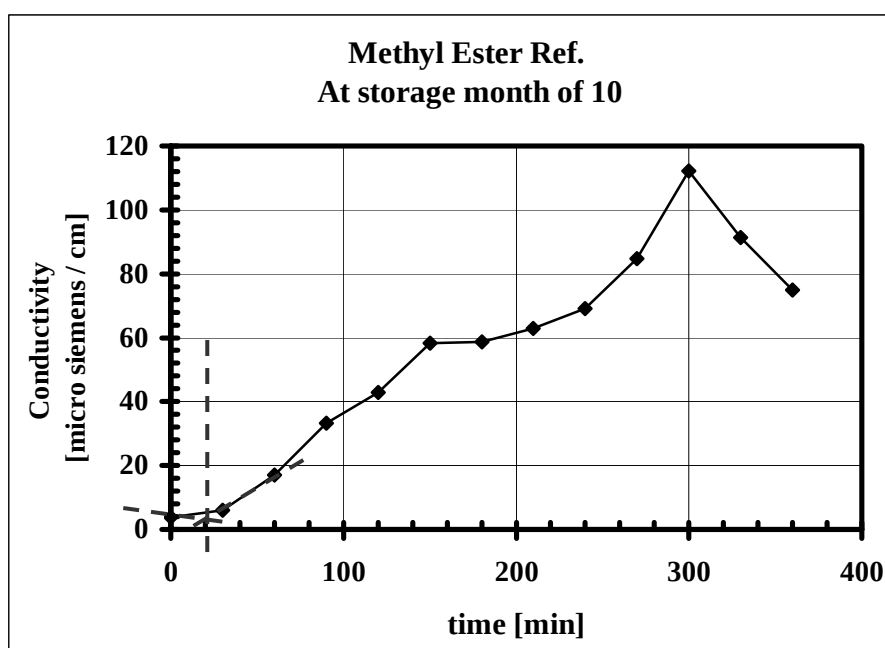
ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ Oxidation Stability (O.S.T.) ณ เดือนที่ 10 ของการเก็บรักษา (มกราคม 2550)

Parameters	Before O.S.T.	After O.S.T.
PV [meq / kg oil]	70	58.42
IV [g / 100 g oil]	64.09	27.60

หมายเหตุ หน่วยของค่าเปอร์ออกไซด์คือ milliequivalent / kilograms of oil ; meq / kg oil

ภาพที่ 4.7

การหาค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน ณ เดือนที่ 10 ของการเก็บรักษา (มกราคม 2550) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เก็บรักษาในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง



4.1.2 การศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันปาล์มใช้แล้วและผลที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิต น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Storage Stability of WPO and its effects on quality of biodiesel)

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันวัตถุดิบที่มีระยะเวลาในการเก็บต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา (ภาชนะปิด และเปิด) เวลาในการเก็บรักษา และผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพและร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ การทดลองทำโดยการเก็บตัวอย่างน้ำมันปาล์มใช้แล้ว (จากร้านไก่ทอดบริเวณหอพักนักศึกษา) ในทุก ๆ เดือน รวมเป็นเวลา 8 เดือน ตั้งแต่ มิถุนายน 2549 (เดือนที่ 1) จนถึง มกราคม 2550 (เดือนที่ 8) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และที่สภาวะการเก็บรักษาในภาชนะปิด และเปิด โดยตั้งสมมติฐานว่าน้ำมันเมื่อเริ่มเก็บตัวอย่างในแต่ละเดือนมีคุณภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งควบคุมโดยการเก็บตัวอย่างน้ำมันจากร้านเดิม ใช้น้ำมันชนิดเดิม โดยไม่มีการทอดซ้ำจากนั้น ในช่วงท้ายของการทดลอง ในเดือนมีนาคม 2550 (เดือนที่ 10) จึงได้นำตัวอย่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บมาในช่วงเดือนต่าง ๆ และเก็บรักษาในภาชนะปิด และเปิด ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยา Transesterification โดยศึกษาถึงผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าความหนืดเชิงจลน์ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน ค่าร้อยละผลได้ และค่าความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลของสภาวะการเก็บรักษาแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก เป็นการศึกษเปรียบเทียบการเก็บในภาชนะปิด และในภาชนะเปิด ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 40 องศาเซลเซียสที่เวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ซึ่งในที่นี้อุณหภูมิที่เราศึกษา คือ 20 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส โดยประมาณ), และ 40 องศาเซลเซียส

เนื่องจากคุณภาพของตัวอย่างน้ำมันที่เก็บมาในเดือนต่าง ๆ นั้นมีคุณภาพเริ่มต้นไม่คงที่ดังที่ตั้งสมมติฐานไว้ จึงทำให้การรายงานผลค่า Acid value และ Kinematic viscosity ที่เปลี่ยนไป ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 มีแนวโน้มที่กระจัดกระจาย ในการวิเคราะห์ช่วงต่อไป จึงเลือกวิเคราะห์ภายในกลุ่มน้ำมันที่มีคุณภาพเมื่อเริ่มเก็บตัวอย่างใกล้เคียงกัน คือ ค่า Acid Value อยู่ในช่วง 3.18 ถึง 4.20 ซึ่งได้แก่ น้ำมันที่เก็บในเดือนที่ 1, 3, 4, และ 5

ส่วนที่ 1 การศึกษาเปรียบเทียบการเก็บในภาชนะปิด และภาชนะเปิด

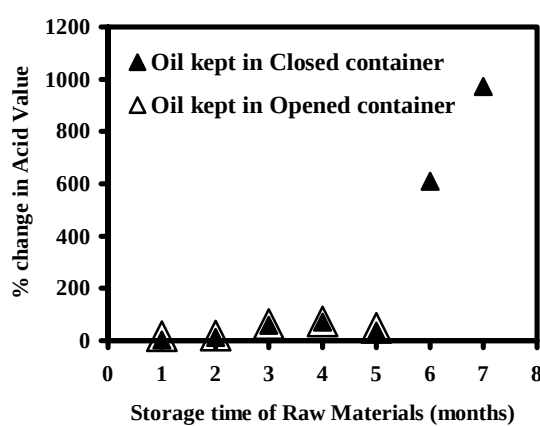
a) ผลของการเก็บน้ำมันในภาชนะปิด และภาชนะเปิดต่อสมบัติของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงร้อยละของค่า Acid Value ของน้ำมันที่เก็บในภาชนะปิดและภาชนะเปิด ที่เวลาต่าง ๆ กันดังแสดงในภาพที่ 4.8 พบว่า เมื่อเก็บน้ำมันในภาชนะปิดไว้เป็นเวลานานขึ้น ค่า Acid Value จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดหลังจากเดือนที่ 5 และการเก็บรักษาในสภาวะเปิดฝา มีการเพิ่มของ Acid Value ใกล้เคียงกับการเก็บในสภาวะปิดฝาที่อุณหภูมิเดียวกัน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความหนืดนั้นเป็นไปดังภาพที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า การเก็บในภาชนะเปิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดที่ไม่คงที่โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเก็บในภาชนะปิดมีแนวโน้มของค่าความหนืดลดลงที่เวลาการเก็บรักษานานขึ้น การลดลงของค่าความหนืดนั้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ ส่วนกรณีการเพิ่มขึ้นก็เนื่องมาจากเกิดเป็นสารประกอบจำพวกโพลีเมอร์ ซึ่งมีความหนืดสูงกว่าขึ้นในโมเลกุล (Mittelbach and Gangl, 2001)

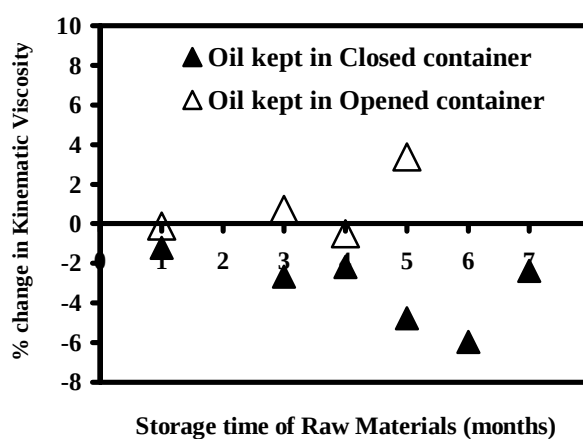
ภาพที่ 4.8

ร้อยละผลต่างของค่าความเป็นกรดระหว่างเริ่มต้นเก็บตัวอย่างกับช่วงท้ายของการทดลอง โดยเก็บน้ำมันในภาชนะปิด (▲) และภาชนะเปิด (△) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.9

ร้อยละผลต่างของค่าความหนืดเชิงจลน์ระหว่างเริ่มต้นเก็บตัวอย่างกับช่วงท้ายของการทดลอง โดยเก็บน้ำมันในภาชนะปิด (▲) และภาชนะเปิด (△) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 4.2 สรุปแสดงผลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมัน
ปาล์มใช้แล้ว และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ (ภาพที่ 4.10 ถึง 4.13)

Degraded WPO	Methyl Ester from degraded WPO.																																				
Fig. 4.10 (a) AV of selected oils (before Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.10 (a)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (mg KOH/g oil)</th><th>Opened (mg KOH/g oil)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>3.8</td><td>3.8</td></tr><tr><td>1</td><td>4.0</td><td>4.2</td></tr><tr><td>3</td><td>6.8</td><td>4.5</td></tr><tr><td>4</td><td>5.5</td><td>4.8</td></tr><tr><td>5</td><td>4.8</td><td>5.0</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (mg KOH/g oil)	Opened (mg KOH/g oil)	0	3.8	3.8	1	4.0	4.2	3	6.8	4.5	4	5.5	4.8	5	4.8	5.0	Fig. 4.10 (b) AV of Methyl Esters (after Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.10 (b)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (mg KOH/g oil)</th><th>Opened (mg KOH/g oil)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0.8</td><td>0.8</td></tr><tr><td>1</td><td>0.5</td><td>2.8</td></tr><tr><td>3</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>4</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>5</td><td>2.5</td><td>3.5</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (mg KOH/g oil)	Opened (mg KOH/g oil)	0	0.8	0.8	1	0.5	2.8	3	1.0	1.0	4	1.0	1.0	5	2.5	3.5
Storage time (months)	Closed (mg KOH/g oil)	Opened (mg KOH/g oil)																																			
0	3.8	3.8																																			
1	4.0	4.2																																			
3	6.8	4.5																																			
4	5.5	4.8																																			
5	4.8	5.0																																			
Storage time (months)	Closed (mg KOH/g oil)	Opened (mg KOH/g oil)																																			
0	0.8	0.8																																			
1	0.5	2.8																																			
3	1.0	1.0																																			
4	1.0	1.0																																			
5	2.5	3.5																																			
Fig. 4.11 (a) Viscosity of selected oils (before Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.11 (a)</caption><thead><tr><th>Storage time [months]</th><th>Closed (cSt)</th><th>Opened (cSt)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>40.5</td><td>40.5</td></tr><tr><td>1</td><td>39.5</td><td>40.0</td></tr><tr><td>3</td><td>39.5</td><td>41.0</td></tr><tr><td>4</td><td>39.5</td><td>40.0</td></tr><tr><td>5</td><td>40.5</td><td>44.0</td></tr></tbody></table>	Storage time [months]	Closed (cSt)	Opened (cSt)	0	40.5	40.5	1	39.5	40.0	3	39.5	41.0	4	39.5	40.0	5	40.5	44.0	Fig. 4.11 (b) Viscosity of Methyl Esters (after Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.11 (b)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (cSt)</th><th>Opened (cSt)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>5.0</td><td>5.0</td></tr><tr><td>1</td><td>4.5</td><td>5.5</td></tr><tr><td>3</td><td>4.5</td><td>4.5</td></tr><tr><td>4</td><td>5.0</td><td>5.0</td></tr><tr><td>5</td><td>5.5</td><td>6.5</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (cSt)	Opened (cSt)	0	5.0	5.0	1	4.5	5.5	3	4.5	4.5	4	5.0	5.0	5	5.5	6.5
Storage time [months]	Closed (cSt)	Opened (cSt)																																			
0	40.5	40.5																																			
1	39.5	40.0																																			
3	39.5	41.0																																			
4	39.5	40.0																																			
5	40.5	44.0																																			
Storage time (months)	Closed (cSt)	Opened (cSt)																																			
0	5.0	5.0																																			
1	4.5	5.5																																			
3	4.5	4.5																																			
4	5.0	5.0																																			
5	5.5	6.5																																			
Fig. 4.12 (a) PV of selected oils (before Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.12 (a)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (meq/kg oil)</th><th>Opened (meq/kg oil)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>15</td><td>65</td></tr><tr><td>1</td><td>20</td><td>30</td></tr><tr><td>3</td><td>25</td><td>45</td></tr><tr><td>4</td><td>15</td><td>70</td></tr><tr><td>5</td><td>20</td><td>60</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (meq/kg oil)	Opened (meq/kg oil)	0	15	65	1	20	30	3	25	45	4	15	70	5	20	60	Fig. 4.12 (b) PV of Methyl Esters (after Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.12 (b)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (meq/kg oil)</th><th>Opened (meq/kg oil)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>10</td><td>10</td></tr><tr><td>1</td><td>20</td><td>60</td></tr><tr><td>3</td><td>25</td><td>30</td></tr><tr><td>4</td><td>35</td><td>65</td></tr><tr><td>5</td><td>40</td><td>75</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (meq/kg oil)	Opened (meq/kg oil)	0	10	10	1	20	60	3	25	30	4	35	65	5	40	75
Storage time (months)	Closed (meq/kg oil)	Opened (meq/kg oil)																																			
0	15	65																																			
1	20	30																																			
3	25	45																																			
4	15	70																																			
5	20	60																																			
Storage time (months)	Closed (meq/kg oil)	Opened (meq/kg oil)																																			
0	10	10																																			
1	20	60																																			
3	25	30																																			
4	35	65																																			
5	40	75																																			
Fig. 4.13 (a) IV of selected oils (before Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.13 (a)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (g/100 g oil)</th><th>Opened (g/100 g oil)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>62</td><td>62</td></tr><tr><td>1</td><td>65</td><td>65</td></tr><tr><td>3</td><td>75</td><td>75</td></tr><tr><td>4</td><td>70</td><td>70</td></tr><tr><td>5</td><td>65</td><td>65</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (g/100 g oil)	Opened (g/100 g oil)	0	62	62	1	65	65	3	75	75	4	70	70	5	65	65	Fig. 4.13 (b) IV of Methyl Esters (after Rxn) <table><caption>Data for Fig. 4.13 (b)</caption><thead><tr><th>Storage time (months)</th><th>Closed (g/100 g oil)</th><th>Opened (g/100 g oil)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>55</td><td>55</td></tr><tr><td>1</td><td>70</td><td>65</td></tr><tr><td>3</td><td>78</td><td>78</td></tr><tr><td>4</td><td>75</td><td>68</td></tr><tr><td>5</td><td>70</td><td>50</td></tr></tbody></table>	Storage time (months)	Closed (g/100 g oil)	Opened (g/100 g oil)	0	55	55	1	70	65	3	78	78	4	75	68	5	70	50
Storage time (months)	Closed (g/100 g oil)	Opened (g/100 g oil)																																			
0	62	62																																			
1	65	65																																			
3	75	75																																			
4	70	70																																			
5	65	65																																			
Storage time (months)	Closed (g/100 g oil)	Opened (g/100 g oil)																																			
0	55	55																																			
1	70	65																																			
3	78	78																																			
4	75	68																																			
5	70	50																																			

จากการเปรียบเทียบการเก็บในภาชนะปิด และเปิดพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป การเก็บในภาชนะปิดและเปิด มีค่าการเปลี่ยนแปลงของ Acid value และค่าไอโอดีนใกล้เคียงกัน ดังในภาพที่ 4.10 (a) และ 4.13 (a) โดยน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดจะมีค่าเหล่านี้สูงกว่าที่เก็บในภาชนะปิดอยู่เล็กน้อยแต่ที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดคือ ค่าความหนืด และค่าเปอร์ออกไซด์ ดังภาพที่ 4.11 (a) และ 4.12 (a) ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาในภาชนะเปิด อากาศ และน้ำซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพสามารถแพร่สู่น้ำมันได้โดยง่าย เมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในสถานะที่เหมาะสม ออกซิเจนจะไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณพันธะคู่ของไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปสารประกอบเปอร์ออกไซด์จะค่อย ๆ สลายตัวกลายเป็นสารประกอบที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นลง (เช่น แอลดีไฮด์, คีโตน, แอลกอฮอล์, และอีเทอร์ เป็นต้น) หรือเกิดเป็นสารโพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลและความหนืดสูงขึ้น (Bailey, 1951) ส่งผลให้น้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้นกว่าที่เก็บในภาชนะปิดนั่นเอง

สำหรับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันเก่านี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่วัดได้ พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดมีแนวโน้มที่ค่า Acid value, ค่าความหนืด, และค่าเปอร์ออกไซด์จะมีค่าสูงกว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันซึ่งเก็บในภาชนะปิด ดังแสดงในภาพที่ 4.10 (b), 4.11 (b), และ 4.12 (b) สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป การเก็บในภาชนะปิดอาจเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ได้เป็น FFA มากขึ้น ในขณะที่ผลจากการเก็บรักษาในภาชนะเปิด นอกจากจะเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ได้เป็น FFA แล้วยังทำให้พันธะคู่ของน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดสารประกอบเปอร์ออกไซด์ได้มากขึ้น ในระหว่างเก็บรักษาสารประกอบเปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวกลายเป็นสารประกอบที่มีขั้วซึ่งมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล (เช่น แอลดีไฮด์ และคีโตน) และสารจำพวกโพลิเมอร์ที่มีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การเกิด gum และตะกอนที่จะไปอุดตันไส้กรองเครื่องยนต์ (Bouaid, Aracil, and Martinez, 2007)

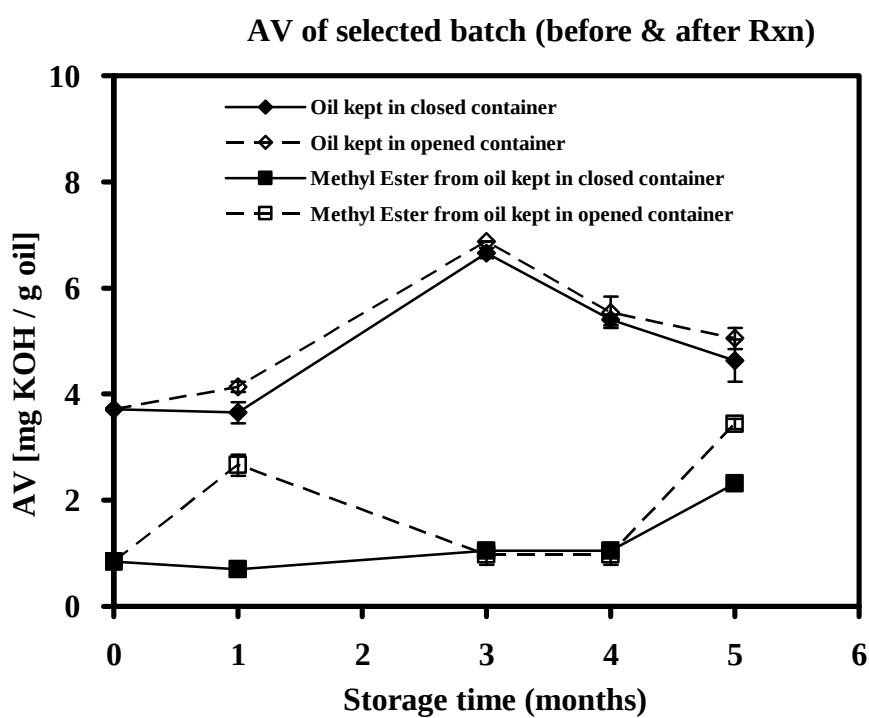
เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าไอโอดีนดังภาพที่ 4.13 (b) ก็พบว่าสอดคล้องกันเนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะปิดมีโอกาสในการสัมผัสกับน้ำ และอากาศน้อยกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอัตราที่ต่ำกว่า ดังนั้น จึงมีปริมาณพันธะคู่ของน้ำมันเหลืออยู่มากกว่าจึงให้ค่าไอโอดีนที่สูงกว่า

นอกจากนี้ ยังสังเกตได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปทั้งค่าความหนืดและค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าไอโอดีนกลับค่อย ๆ ลดต่ำลง แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของไตรกลีเซอไรด์ในสัดส่วนที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้ จะเห็นว่า การที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดมีค่าสูงกว่าที่เก็บในภาชนะปิดอย่างเห็นได้ชัดนั้นแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาในภาชนะเปิดก่อให้เกิดพฤติกรรมการณ์เสื่อมสภาพแบบออกซิเดชันที่ชัดเจนกว่าการเก็บรักษาในภาชนะปิด

เมื่อพิจารณาถึงเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลพบว่า ค่า Acid value ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันทั้งที่เก็บในภาชนะปิดและเปิด ต่างก็มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานทั้งสิ้น ส่วนค่าความหนืดนั้นมีค่าตามมาตรฐานเป็นส่วนใหญ่มีเพียงเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดในเดือนหลัง (เดือนที่ 5) เท่านั้นที่มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบขั้นตอนเดียวโดยควบคุมสัดส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน และปริมาณ KOH ที่ใช้ในการทดลอง โดยมีได้มุ่งเน้นในเรื่องมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เนื่องจากต้องการที่จะศึกษาถึงลักษณะการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาเป็นหลัก ดังนั้น สำหรับการวิจัยต่อไปในอนาคต ก็ควรที่จะมีการสนใจถึงการผลิตให้ได้ตามมาตรฐานด้วย เพื่อการพัฒนาไปใช้ได้จริง

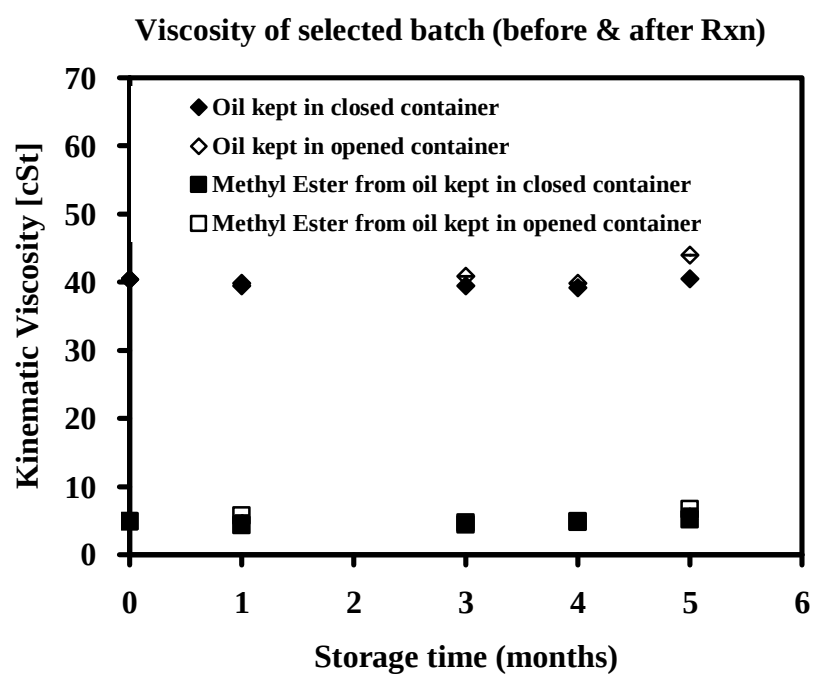
ภาพที่ 4.10

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 0, 1, 3, 4, และ 5 ของการทดลอง (◆, ◇)
และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันเหล่านี้ (■, □) เก็บรักษาในภาชนะปิด (Closed)
และเปิด (Opened) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



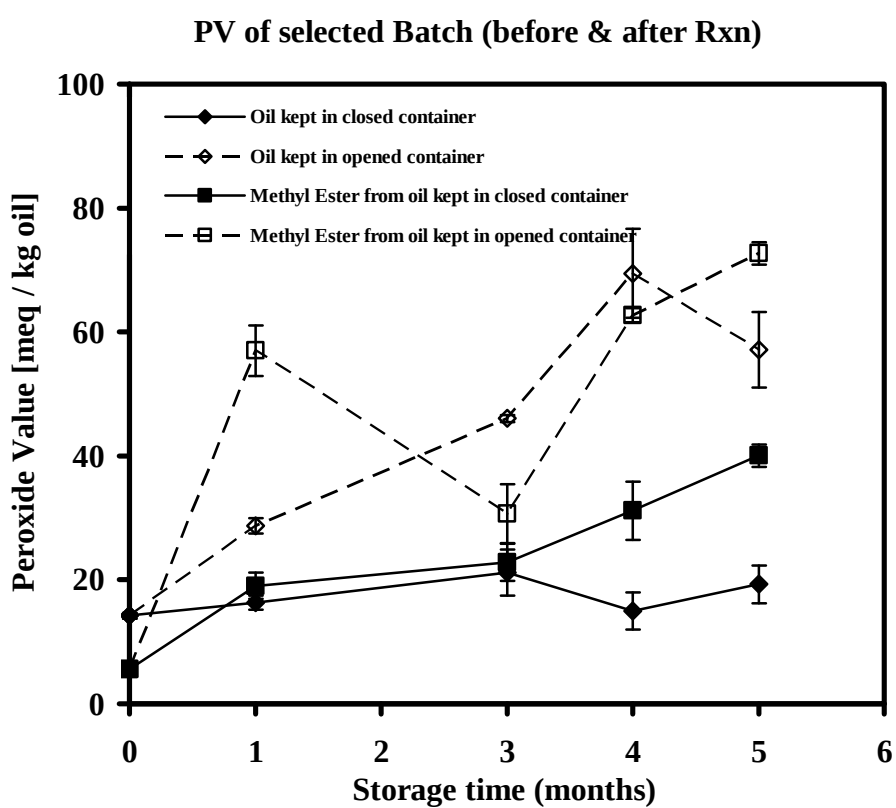
ภาพที่ 4.11

ค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 0, 1, 3, 4, และ 5 ของการทดลอง (◆, ◇) และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันเหล่านี้ (■, □) เก็บรักษาในภาชนะปิด และเปิด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



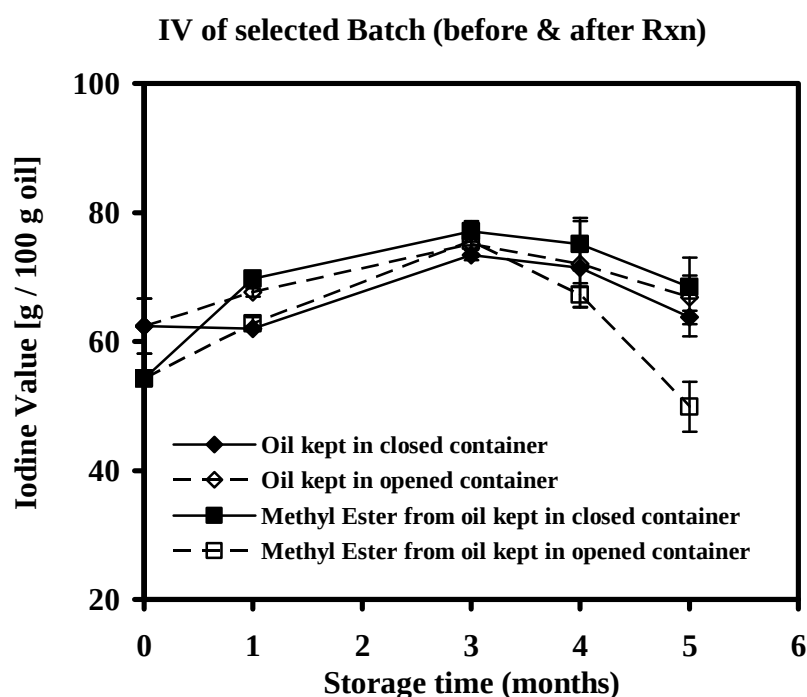
ภาพที่ 4.12

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 0, 1, 3, 4, และ 5 ของการทดลอง (◆, ◇)
และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันเหล่านี้ (■, □) เก็บรักษาในภาชนะปิด และเปิด
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.13

ค่าไอโอดีนของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 0, 1, 3, 4, และ 5 ของการทดลอง (◆, ◇) และของ
เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันเหล่านี้ (■, □) เก็บรักษาในภาชนะปิด และเปิด
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



b) ผลของการเก็บน้ำมันในภาชนะปิด และภาชนะเปิดต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

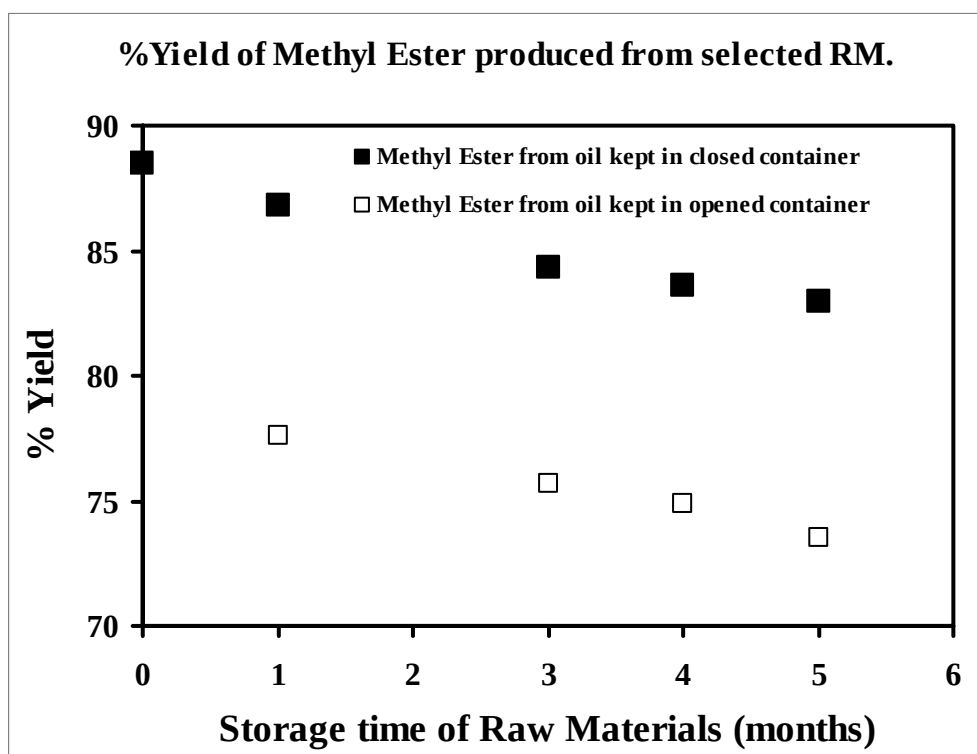
ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เมื่อพิจารณาค่า yield ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันที่เก็บในภาชนะปิดกับภาชนะเปิด ดังแสดงในภาพที่ 4.14 พบว่า เมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันที่เก็บรักษาไว้นานกว่าจะมีค่าร้อยละของผลได้ที่ต่ำกว่า นอกจากนั้นเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันที่เก็บในภาชนะปิดยังมีค่าร้อยละผลได้ที่สูงกว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิด สาเหตุ

เนื่องจาก เมื่อเวลาผ่านไปน้ำมันปาล์มใช้แล้วเกิดการเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดไขมันอิสระ สารประกอบจำพวกเปอร์ออกไซด์ (ซึ่งจะกลายสภาพเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ หรือกลายเป็นสารจำพวกโพลีเมอร์ได้ต่อไป) เป็นต้น (Bailey, 1951) ยิ่งเก็บรักษาในภาชนะเปิดด้วยแล้ว การเสื่อมสภาพยิ่งเกิดเร็วขึ้น ทำให้เมื่อนำไปทำปฏิกิริยา Transesterification แล้วส่วนที่นำไปผลิตได้เป็นเมทิลเอสเทอร์คงเหลืออยู่น้อยลง ดังจะเห็นได้จากขั้นตอนหลังการทำปฏิกิริยาแล้วตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ในชั้นบนกับกลีเซอรอลในชั้นล่าง ซึ่งจะเห็นว่า สำหรับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บไว้ในภาชนะเปิดนานกว่า 3 เดือน ต้องใช้เวลานานกว่าปกติในการแยกชั้นของสารละลาย โดยเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะมีลักษณะขุ่น และกลีเซอรอลที่ได้ก็ค่อนข้างแข็ง เนื่องจาก การเก็บในภาชนะเปิดทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำในน้ำมัน เกิดการแตกตัวให้กรดไขมันอิสระมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา Saponification เป็นสบู่มากขึ้นนั่นเอง

เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าร้อยละของเอสเทอร์ที่คงเหลืออยู่ในเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ดังแสดงในภาพที่ 4.15 พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่ทำการเก็บไว้ในภาชนะปิด มีค่าร้อยละของเอสเทอร์ที่คงเหลืออยู่ โดยเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 85 และสูงกว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิดคือโดยเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 80 เนื่องจาก น้ำมันที่เก็บในสภาวะเปิด มีโอกาสในการเสื่อมสภาพ และกลายเป็นสารประกอบที่ไม่พึงประสงค์ สูงกว่าน้ำมันที่เก็บในสภาวะควบคุม (ไม่สัมผัสกับน้ำ และอากาศ) ทำให้องค์ประกอบของเอสเทอร์ที่เหลืออยู่สำหรับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะปิดมีสูงกว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิด

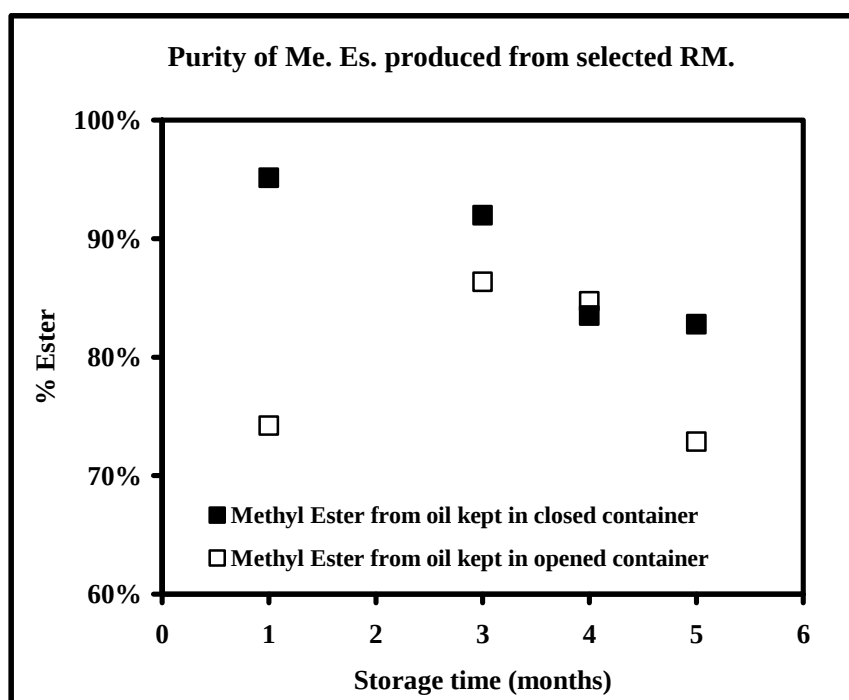
ภาพที่ 4.14

ค่าร้อยละผลได้ (% Yield) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บรักษาในภาชนะปิด (Closed :■) และภาชนะเปิด (Opened :□) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.15

ค่าร้อยละของเอสเทอร์ภายในเมทิลเอสเทอร์ซึ่งผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ที่เก็บรักษาในภาชนะปิด (■) และเปิด (□) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี GC



หมายเหตุ ผลของค่า %Yield และ %Ester ที่คำนวณได้นี้ เป็นผลการวิเคราะห์เฉพาะกรณีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแบบนี้เท่านั้น (ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 นั่นคือ เป็นการทำการปฏิกิริยาขั้นตอนเดียว (Straight Transesterification) โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 7: 1 โดยโมล และใช้ปริมาณคะตะลิสต์ KOH เป็นร้อยละ 0.49 โดยน้ำหนักต่อปริมาณของน้ำมันบวกกับปริมาณที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยากับ FFA ในน้ำมันใช้แล้วในตัวอย่างนั้น ๆ

ส่วนที่ 2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา (ในภาชนะปิด)

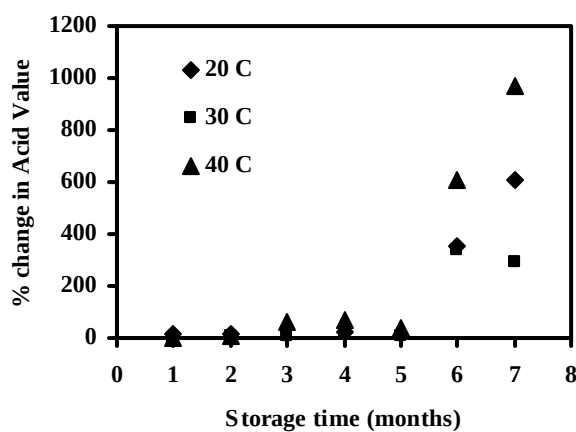
a) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อสมบัติของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงร้อยละของค่า Acid Value ของน้ำมันที่เก็บในสภาวะการเก็บต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ กันดังแสดงในภาพที่ 4.16 พบว่า เมื่อเก็บน้ำมันไว้เป็นเวลานานขึ้น ค่า Acid Value จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดหลังจากเดือนที่ 5 และการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีการเพิ่มขึ้นของ Acid Value มากกว่าการเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) ตามลำดับ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความหนืดนั้นเป็นไปดังภาพที่ 4.17 พบว่า โดยส่วนใหญ่เมื่อเก็บน้ำมันนานขึ้น ค่าความหนืดมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลง โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสมีการลดลงของความหนืดมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) ตามลำดับ

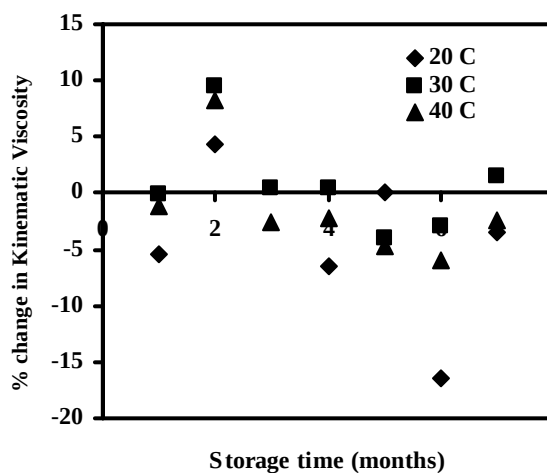
ภาพที่ 4.16

ร้อยละผลต่างของค่าความเป็นกรดระหว่างเริ่มต้นเก็บตัวอย่างกับช่วงท้ายของการทดลอง โดยเก็บน้ำมันในภาชนะปิด ที่ 20 (◆), อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) (■), และ 40 (▲) องศาเซลเซียส

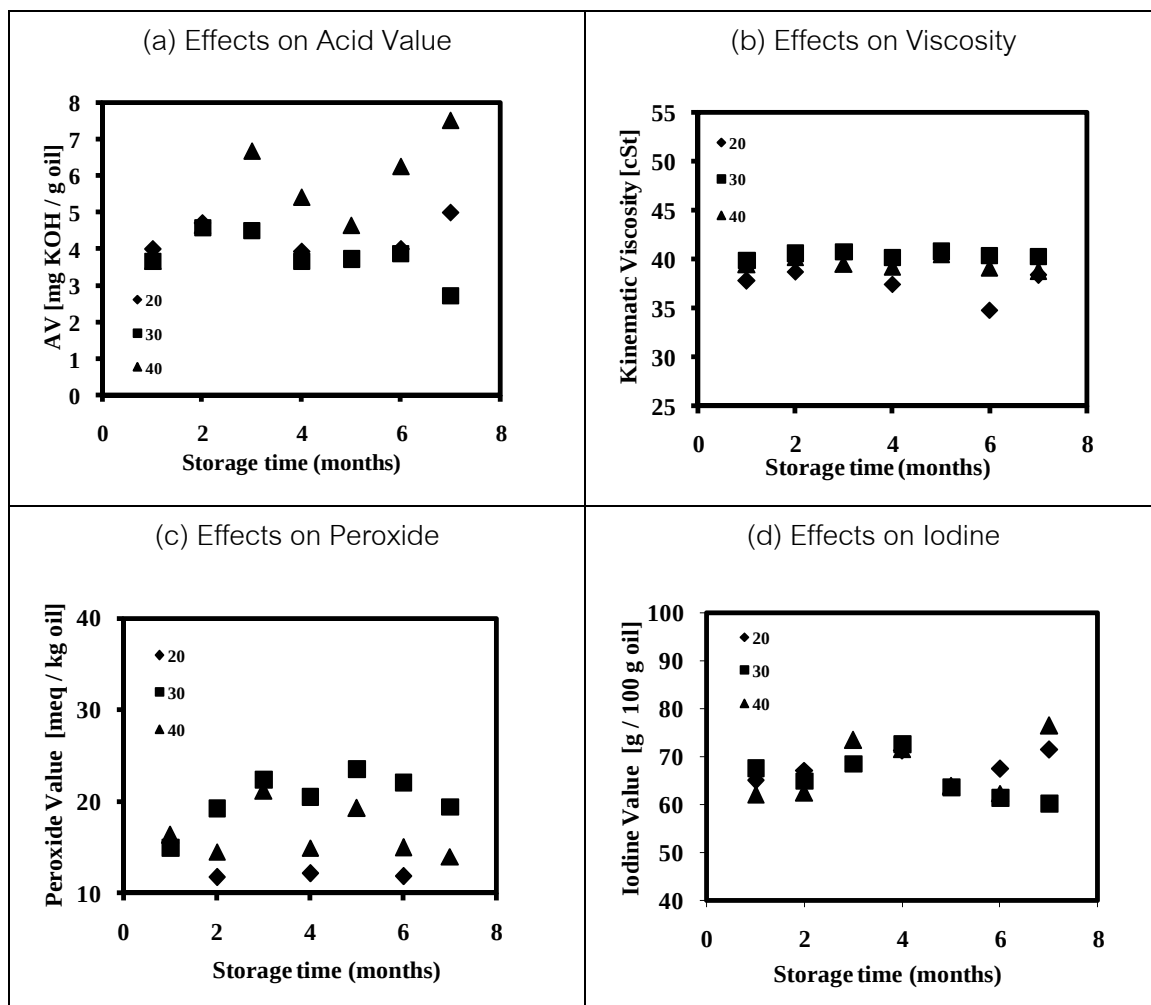


ภาพที่ 4.17

ร้อยละผลต่างของค่าความหนืดเชิงจลน์ระหว่างเริ่มต้นเก็บตัวอย่างกับช่วงท้ายของการทดลอง โดยเก็บน้ำมันในภาชนะปิด ที่ 20 (◆), อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) (■), และ 40 (▲) องศาเซลเซียส



ตารางที่ 4.3 สรุปรูปแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาที่มีต่อสมบัติ
ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว



สำหรับข้อมูลผลการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C นั้น ในที่นี้เราทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่บ้างขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอก ดังนั้น ในส่วนนี้จึงนำเสนอผลการทดลองที่อุณหภูมิ 20 และ 40 °C ส่วนรายละเอียดผลการทดลองในทุก ๆ อุณหภูมิการเก็บรักษาอยู่ในภาคผนวก ข

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ได้แก่ ค่า Acid Value ค่าความหนืด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าไอโอดีน ที่เวลาการเก็บรักษาในช่วง 7 เดือน และอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มใช้แล้วนี้จะค่อย ๆ ลดลงในขณะที่ค่าไอโอดีนกลับเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์ออกไซด์และค่า Acid value ค่อนข้างคงที่ และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของค่าไอโอดีนและค่า Acid value มีแนวโน้มสูงขึ้นและลดลงสลับกันไป ส่วนค่าความหนืดและค่าเปอร์ออกไซด์นั้นค่อนข้างคงที่ และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ช่วงระยะเวลาการเก็บเท่ากัน คือ ในเดือนที่ 4 ของการทดลองได้ผลดังนี้

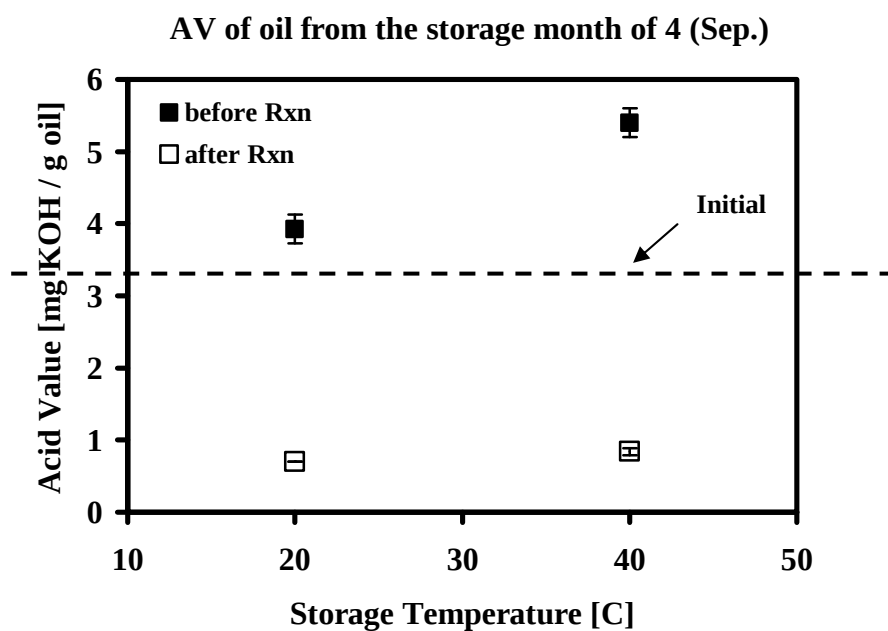
ภาพที่ 4.18 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้วนี้ จะเห็นว่า ก่อนที่จะนำไปทำปฏิกิริยา น้ำมันที่เก็บที่ 40 องศาเซลเซียสมีความเป็นกรดสูงที่สุด และเมื่อนำไปทำปฏิกิริยา Transesterification แล้ววัดค่าความเป็นกรด หลังจากทำปฏิกิริยาก็คพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับก่อนทำปฏิกิริยา ซึ่งจะเห็นว่า ยิ่งค่า Acid value สูง ยิ่งแสดงถึงปริมาณกรดไขมันอิสระที่มากตาม ซึ่งกรดไขมันอิสระนี้จะไปทำปฏิกิริยากับ คะตะลิสต์เบสแข่งกับน้ำมันเกิดเป็นสบู่ขึ้นมาแทน ทำให้ปฏิกิริยาโดยรวมเกิดได้แย่ง การแยกชั้นกันระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลจึงทำได้ยากขึ้น

สำหรับค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ แสดงในภาพที่ 4.19 พบว่า ทั้งก่อนและหลังทำปฏิกิริยา ค่าความหนืดของน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อทำการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าไอโอดีนของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 4 ของการทดลอง เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วนี้ ผลที่ได้เป็นดังภาพที่ 4.20 และ 4.21 พบว่า ค่าไอโอดีนและค่าเปอร์ออกไซด์ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงกว่าค่าไอโอดีน และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่า สำหรับเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มการเกิดออกซิเดชันที่ชัดเจน ดังจะเห็นได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูง และค่าไอโอดีนที่ต่ำ ส่วนน้ำมันปาล์มใช้แล้วไม่พบแนวโน้มการเกิดออกซิเดชันที่ชัดเจน เนื่องจากค่าไอโอดีนที่เท่า ๆ กันในแต่ละอุณหภูมิ

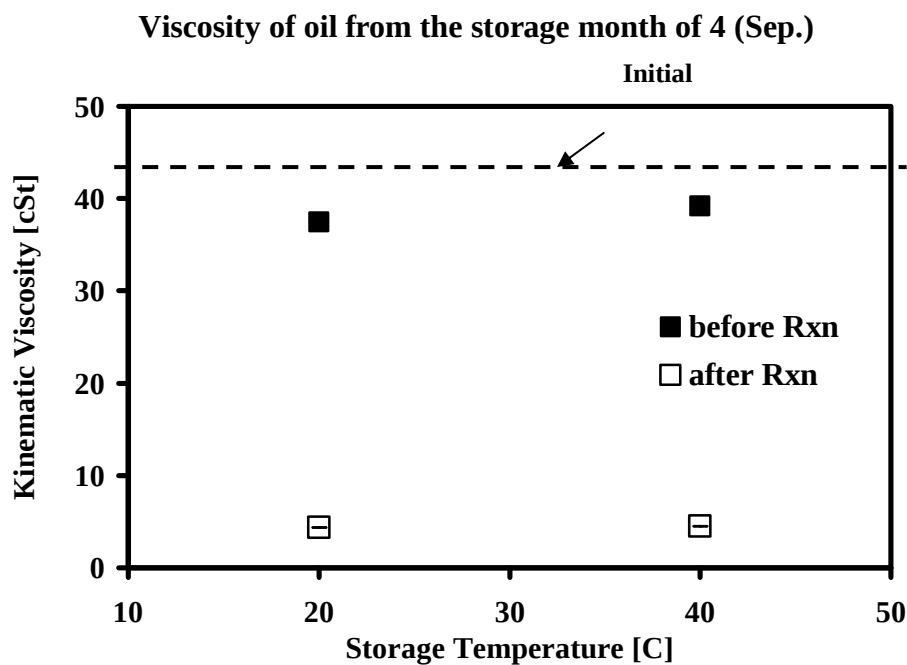
ภาพที่ 4.18

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 4 ของการทดลอง เก็บในภาชนะปิด
ที่อุณหภูมิ 20, และ 40 องศาเซลเซียส และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้
วัดค่าก่อนและหลังทำปฏิกิริยา (before & after Rxn.)
(โดยเส้นประแสดงค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว
ที่วัดได้เมื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง)



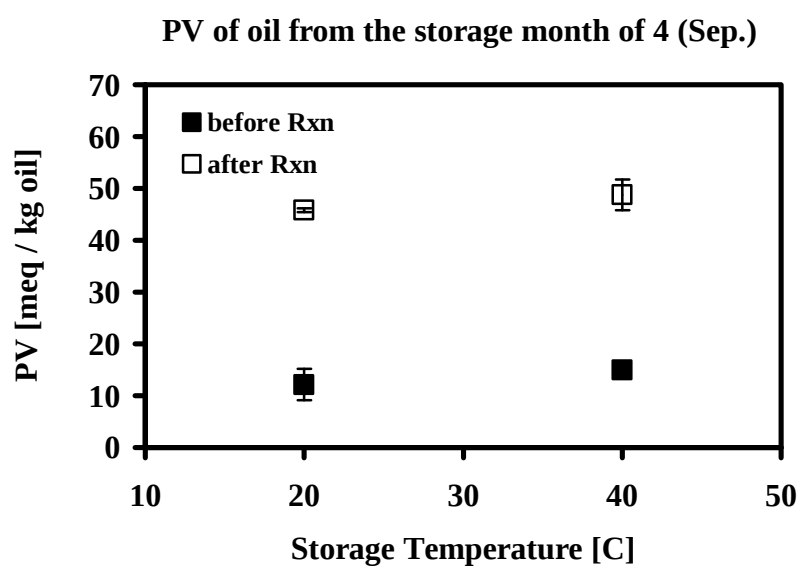
ภาพที่ 4.19

ค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 4 ของการทดลอง เก็บรักษาในภาชนะ
ปิด ที่อุณหภูมิ 20, และ 40 องศาเซลเซียส และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้
วัดค่าก่อนและหลังทำปฏิกิริยา
(โดยเส้นประแสดงค่าที่วัดได้เมื่อเดือนที่เก็บตัวอย่างมา)



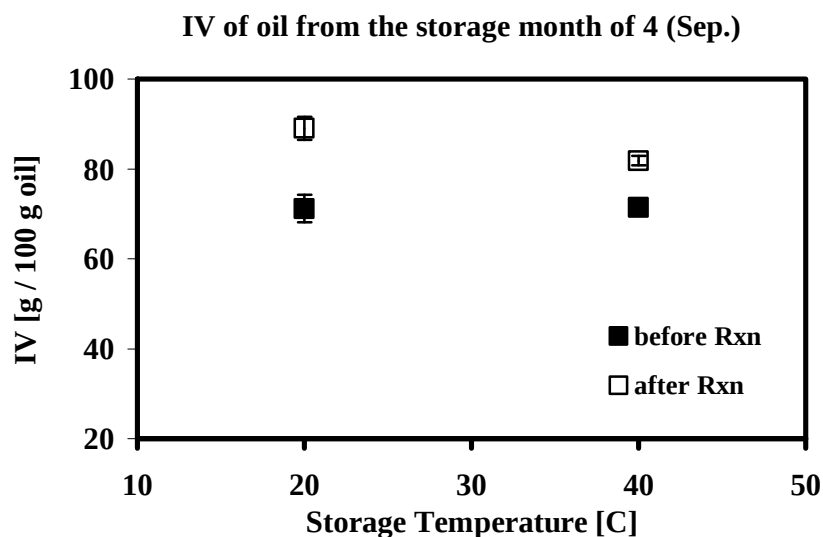
ภาพที่ 4.20

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 4 ของการทดลอง เก็บรักษาในภาชนะปิด
ที่อุณหภูมิ 20, และ 40 องศาเซลเซียส และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้
วัดค่าก่อนและหลังทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 4.21

ค่าไอโอดีนของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากเดือนที่ 4 ของการทดลอง เก็บรักษาในภาชนะปิด
ที่อุณหภูมิ 20, และ 40 องศาเซลเซียส และของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้
วัดค่าก่อนและหลังทำปฏิกิริยา



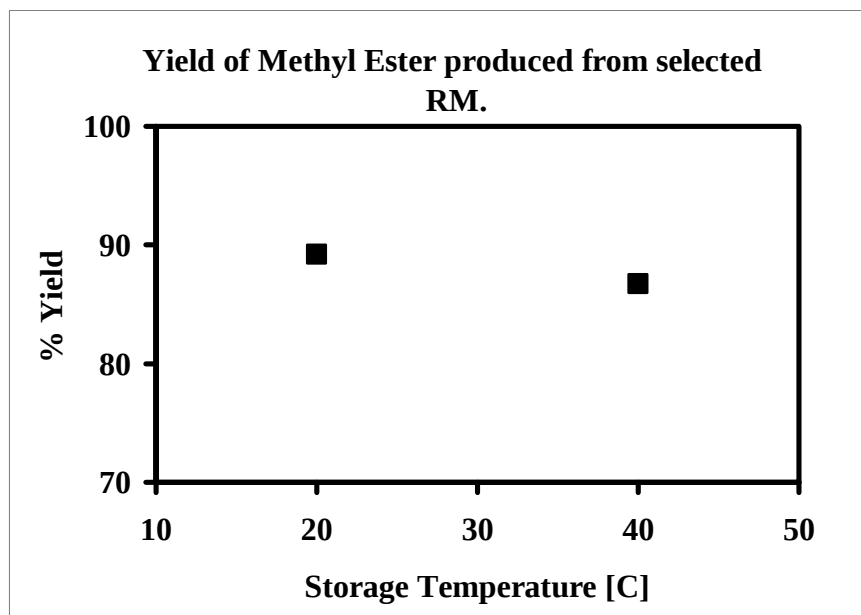
b) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

เมื่อนำน้ำมันเก่าที่เก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาผลิตเป็นไบโอดีเซล แล้วพิจารณาค่าร้อยละผลได้ (%yield) และค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ จะเห็นว่า %yield และ %ester นั้นแปรผกผันกับปริมาณกรดไขมันตามคาดคือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงที่สุดนั้น มีค่า %yield และ %ester ต่ำกว่า น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จึงสามารถ

สรุปได้ว่า ยิ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำมันวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้น คุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะมีค่าลดต่ำลง

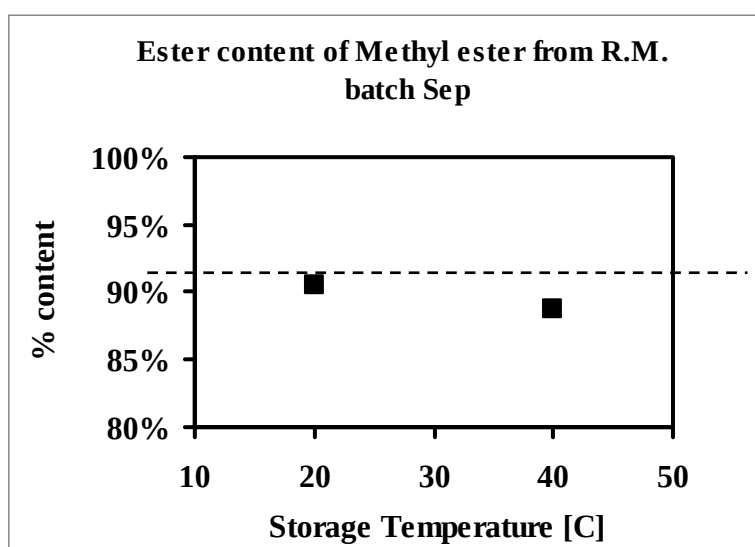
ภาพที่ 4.22

ค่าร้อยละผลได้ (% Yield) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เก็บรักษาในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิ 20, และ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.23

ค่าร้อยละของเอสเทอร์ที่คงเหลืออยู่ภายในเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วจากเดือน
ที่ 4 ของการทดลอง เก็บรักษาในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี GC
(โดยเส้นประแสดงค่าที่วัดได้ของน้ำมันที่เป็นตัวอย่างอ้างอิง)



ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์หาสมบัติที่ใช้บ่งชี้ความสามารถในการผลิตเป็นน้ำมัน ดีเซลชีวภาพของวัตถุดิบ

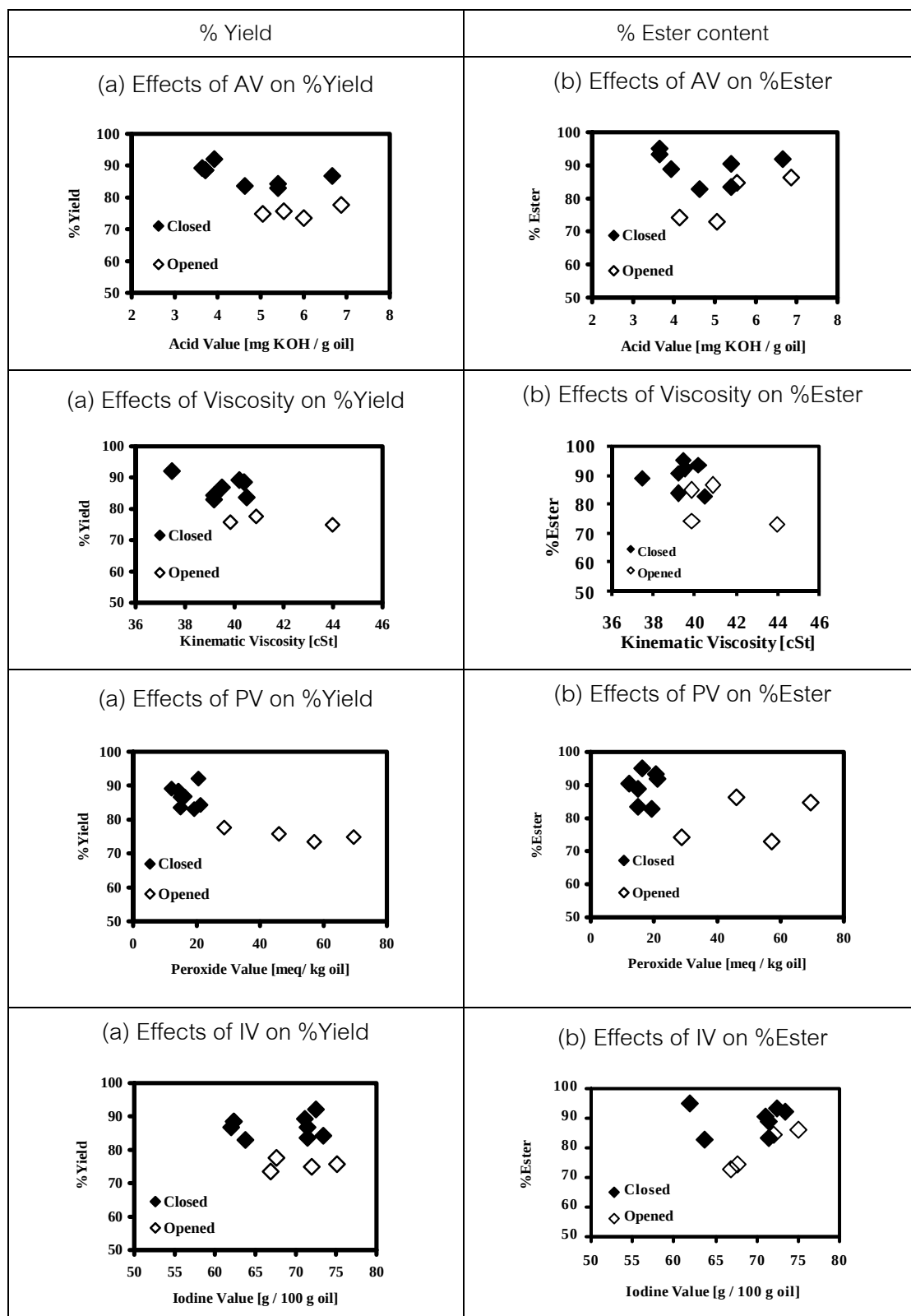
ในส่วนนี้เป็นส่วนของการวิเคราะห์ว่าสมบัติใดของวัตถุดิบที่สามารถใช้ในการบ่งชี้ถึง
ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ของ
สมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันปาล์มใช้แล้วเก็บรักษาทั้งในภาชนะปิดและเปิดฝา ที่ระยะเวลาการเก็บ
รักษาต่าง ๆ กัน ทั้งสิ้น 7 เดือน ที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ (%Yield) และค่าความบริสุทธิ์ (%Ester)

ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ โดยการนำข้อมูลจากการทดลองทั้ง 2 ส่วนข้างต้นมาประมวลผลต่อผลที่ได้พบว่า

สำหรับการเก็บน้ำมันวัตถุดิบในภาชนะปิดและเปิดฝา พบว่า %Yield ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะปิดมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันที่เก็บในภาชนะเปิด ถึงแม้ว่าค่า AV ค่าไอโอดีน และค่าความหนืด IV จะมีค่าใกล้เคียงกันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาผลของค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า ยิ่งน้ำมันวัตถุดิบมีปริมาณเปอร์ออกไซด์มาก เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ยิ่งมีค่า %Yield ที่ลดต่ำลง ทั้งยังสังเกตได้ว่า เมทิลเอสเทอร์ที่มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงนี้ผลิตมาจากน้ำมันที่เก็บรักษาในภาชนะเปิด มีโอกาสในการสัมผัสกับน้ำและอากาศมากกว่า เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ซึ่งมีผลทำให้ค่า %Yield ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ลดลงนั่นเอง ดังนั้น สำหรับการเก็บรักษาในสภาวะต่างกันในช่วงเวลาไม่เกิน 6 เดือนที่ทำการศึกษา จึงเหมาะสมที่จะใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ในการบ่งชี้ถึงความต่างของ %Yield ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ และเมื่อพิจารณาเฉพาะในกรณีของระบบปิด จะพบแนวโน้มความสัมพันธ์ในส่วน of ค่า AV กับค่า %Yield จึงสามารถใช้ค่า AV ของน้ำมันพืชใช้แล้วที่เก็บในระบบปิดเป็นตัวบ่งบอกถึงค่า %Yield ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้เช่นกัน

สำหรับผลของสมบัติต่าง ๆ ที่มีต่อค่าความบริสุทธิ์ (%Ester) นั้นจะเห็นว่า ค่า %Ester ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากการเก็บน้ำมันทั้งสองกรณี ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณเปอร์ออกไซด์ และค่าความหนืดว่าจะมีมากหรือน้อยเพียงใดก็ตาม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าไอโอดีน แม้ว่าจะดูเหมือนไม่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสมบัติอื่นข้างต้น แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะการเก็บในภาชนะเปิดฝา จะพบแนวโน้มที่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่มีปริมาณไอโอดีนอยู่สูง เมื่อนำมาผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ จะได้ค่า %Ester ที่สูงกว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่มีปริมาณไอโอดีนอยู่ต่ำ ทั้งนี้ เนื่องมาจากน้ำมันปาล์มประกอบไปด้วยโครงสร้างของกรดไขมันทั้งอิ่มและไม่อิ่มตัว การเก็บรักษาในสภาวะเปิด ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ชัดเจนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โมเลกุลของกรดไขมันเหล่านี้จึงเกิดการแตกตัวต่อไปได้เป็นสารประกอบอื่น เมื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่จึงพบว่ามีความต่ำ ดังนั้น เมื่อมีการนำน้ำมันซึ่งมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันที่ลดต่ำลงเหล่านี้มาทำปฏิกิริยา เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จึงมีค่าความบริสุทธิ์ที่ลดต่ำลงด้วย

ตารางที่ 4.4 สรุปแสดงผลของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บรักษา
ในภาชนะปิด และเปิดฝาที่มีต่อคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้



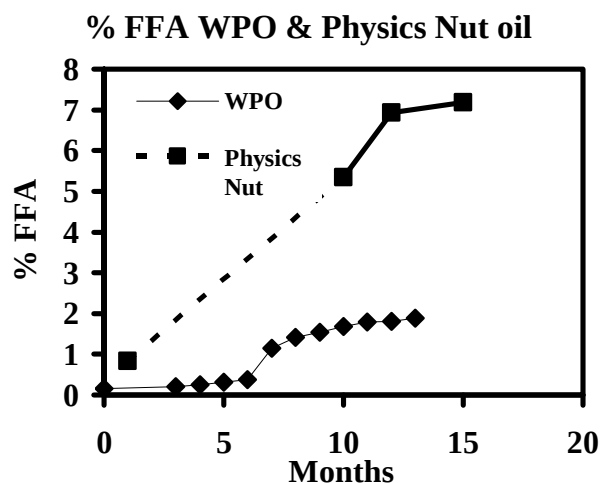
4.2 การทดลองเกี่ยวกับน้ำมันสนุดำ

ทำการวัดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันสนุดำที่เก็บไว้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 จนกระทั่ง มกราคม 2550 โดยทำการวัดค่าในเดือนที่ 1, 10, 12, และ 15 ของการเก็บรักษา จากภาพที่ 4.24 และ 4.25 เป็นการแสดงปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันสนุดำเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ที่สภาวะในการเก็บรักษาเดียวกัน คือ เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง ผลที่ได้พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันสนุดำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จาก 0.83 % ไปเป็น 6.93 % ในช่วง 12 เดือนแรก แต่พอหลังจากนั้น เป็นต้นไป การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระก็เกิดอย่างช้า ๆ จนกระทั่ง ถือได้ว่าคงที่ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ณ ช่วงเวลานี้ น้ำมันสนุดำได้เปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารประกอบอื่น ในทำนองเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ทำให้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นน้อยมาก จนถือได้ว่าคงที่

โดยเมื่อวัดค่าความหนืดของน้ำมันสนุดำดังกล่าวแล้ว พบว่า ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงขึ้นลงสลับไปมา เช่นเดียวกับที่พบในน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

ภาพที่ 4.24

ปริมาณ FFA ของน้ำมันสบูดำ เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง ตั้งแต่เดือนที่ 1 จนถึงเดือนที่ 15 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.25

ค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันสบูดำ เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใช้แล้ว เก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง ตั้งแต่เดือนที่ 1 จนถึงเดือนที่ 15 ของการเก็บรักษา

