บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

น้ำมันพืชเป็นผลผลิตที่ได้จากธรรมชาติปัจจุบันนอกจากการนำน้ำมันพืชมาใช้ในการประกอบอาหารยังถูกใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนทางเลือกที่สะอาด ซึ่งในการใช้งานน้ำมันพืชแรงตึงผิวเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญในของของเหลวที่ใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการพ่นฝอยละอองน้ำมันพืชในห้องปฏิกรณ์ ในขั้นตอนนี้พบว่าถ้าแรงตึงผิวของน้ำมันพืชมีค่าสูงละอองน้ำมันที่พ่นจะมีขนาดใหญ่และมีแนวโน้มสูงมากที่จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพและการปลดปล่อยมลพิษ แรงตึงผิวและสมบัติทางกายภาพต่างๆ น้ำมันพืชอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ ดังนั้นสมการทำนายแรงตึงผิวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งโดยช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์แรงตึงผิว และหากสมการดังกล่าวเชื่อมสัมพันธ์กับโครงสร้างสารด้วยจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาออกแบบโครงสร้างสารให้เหมาะสมกับความแรงตึงที่ต้องการ สมการสำหรับทำนายแรงตึงผิวของของเหลวมีการนำเสนอมากพอสมควร แต่สมการสำหรับทำนายแรงตึงผิวของน้ำมันพืชยังมีอยู่ในปริมาณน้อย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของแรงตึงผิวของน้ำมันพืช
2. เพื่อโยงสัมพันธ์แรงตึงผิวของน้ำมันพืชกับพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ ต่างๆ

ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชที่ส่งผลต่อแรงตึงผิวเท่านั้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ด้านวิชาการ: งานวิจัยนี้สร้างองค์ความรู้ใหม่ที่จะโยงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกรดไขมันองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชกับพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์และแรงตึงผิวของน้ำมันพืช และสามารถประยุกต์ใช้ใน

การศึกษาพฤติกรรมต่างที่เกี่ยวของเพื่อออกแบบควบคุมให้เกิดกระบวนการที่เหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ด้านนโยบาย: การส่งเสริมให้ประชาชนปลูกพืชพลังงานสำหรับผลิตน้ำมันพืชโดยไม่พึ่งพิงปาล์มน้ำมันและถั่วเหลืองเท่านั้น โดยการใช้น้ำมันพืชผสมแต่ยังคงมีสมบัติของตามความต้องการใช้งานที่เป็นไปตามมาตรฐานการค้า

นิยามศัพท์เฉพาะ

กฎพลังงานควบรวมอิสระ คือ

การประมาณ คือ

กรดไขมัน คือ

พลังงานอิสระ คือ พลังงานที่อยู่ในของวัสดุ และมีลักษณะแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการไม่เป็นระเบียบของอะตอมหรือโมเลกุล (Entropy) ซึ่งระบบที่เกิดสมดุลนั นจะมีค่าพลังงานอิสระที่น้อยที่สุด

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เข้าใจในงานวิจัยเพิ่มมากขึ้น ผู้วิจัยได้รวบรวมองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอันเป็นประโยชน์ไว้ในบทที่นี้ ซึ่งเนื้อหาประกอบไปด้วย

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลิปิด

แรงตึงผิว

ความสัมพันธ์แรงตึงผิวกับพลังงานอิสระของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผิว

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลิปิด

ไขมันหรือลิปิด (Lipid) เป็นสารชีวิโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว (non-polar) ซึ่งจะแสดงสมบัติที่เกลียดน้ำ (Hydrophobicity) ทำให้ลิปิดสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่ไม่ละลายในน้ำ และลิปิดอีกชนิดจะประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว (polar) ทั้งที่มีประจุหรือไม่มีประจุอยู่ในโครงสร้างด้วย ทำให้มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilicity) ซึ่งลิปิดที่มีสมบัติสองอย่างนี้อยู่ด้วยกันจะเป็น Amphipathic molecule หรือแอมพิไฟล์ (Amphiphiles) ลิปิดกลุ่มนี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลาง ทำให้ลิปิดที่เกลียดน้ำสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ ตัวอย่างของลิปิดพวกนี้ได้แก่พวกฟอสโฟกลีเซอไรด์ สฟินโกลิปิด (sphingolipid) เป็นต้น ลิปิดบางชนิดอาจจะมีส่วนของโมเลกุลที่ไม่มีขั้วเป็นชนิดสายตรง เช่น พวกกลีเซอไรด์ เทอร์ปินอยด์ หรือ เป็นวงแหวน เช่น พวกสเตอรอยด์ ลิปิดเหล่านี้มีสมบัติเป็นกลาง (Neutral lipids) มีความไม่ชอบน้ำสูงและมักจะรวมตัวกันเอง ลิปิดบางชนิดอาจจะอยู่รวมกับโปรตีน ได้แก่ ไลโปโปรตีน (Lipoprotein) ชนิดต่างๆ ในน้ำเลือด บางชนิดอยู่กับคาร์โบไฮเดรทเป็นโมเลกุลลูกผสม พวกไกลโครลิปิด (Glycolipids) เป็นต้น

การจำแนกลิปิด

ลิปิดส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติ สามารถจำแนกได้หลายรูปแบบ เช่น จำแนกตามลักษณะของสูตรโครงสร้างจะแบ่งลิปิดออกเป็น 5 ประเภท คือ เอสเตอร์ของกลีเซอรอล (Glycerol ester) เอสเตอร์ของแอลกฮอล์อื่นๆ สฟิงโกลิปิด (Sphingolipid) อนุพันธ์ของเตอรอล (Sterol derivative) และอนุพันธ์ของเทอร์ปีน (Terpene derivative) หรือการจำแนกกรดไขมันตามลักษณะความมีขั้วและไม่มีขั้วในโมเลกุลออกเป็น 2 ชนิด คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) โมเลกุลจะมีความอิ่มตัว โดยคาร์บอนอะตอมจะเรียงต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว (Single bond) อย่างเดียว เช่น กรดพัลมิติค (Palmitic acid) มีคาร์บอน 16 ตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากในธรรมชาติและพบในร่างกาย กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่มีทั้งพันธะเดี่ยวและพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน อาจมีได้ตั้งแต่ 1 พันธะคู่ เรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monoenoic fatty acids) หรือ Monounsaturated fatty acids) และ 2 พันธะคู่ขึ้นไปเรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyenoic fatty acids หรือ Polyunsaturated fatty acids) ทั้งนี้พันธะคู่ในกรดไขมันต้องอยู่ห่างกัน 3 คาร์บอนดังนี้ $-CH=CH-CH_2-CH=CH-$ เสมอ ตัวอย่างกรดไขมันทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่พบได้ทั่วไปแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันที่พบได้ทั่วไปตามแหล่งสามัญต่างๆ

กรดไขมันอิ่มตัว		
กรดไขมัน	**สูตร**	**แหล่งสามัญ**
Acetic acid	CH_3COOH	น้ำส้มสายชู
Butyric acid	C_3H_7COOH	เนย
Caproic acid	$C_5H_{11}COOH$	เนย
Caprylic acid	$C_7H_{15}COOH$	เนย
Capric acid	$C_9H_{19}COOH$	เนย น้ำมันมะพร้าว
Lauric acid	$C_{11}H_{23}COOH$	น้ำมันมะพร้าว
Myristic acid	$C_{13}H_{27}COOH$	น้ำมันมะพร้าว
*Palmitic acid	$C_{15}H_{31}COOH$	สัตว์ และไขมันพืช
*Stearic acid	$C_{17}H_{35}COOH$	สัตว์ และไขมันพืช
Arachidic acid	$C_{19}H_{39}COOH$	น้ำมันถั่ว
Lignoceric acid	$C_{23}H_{47}COOH$	สมอง และเนื้อเยื่อประสาท
Cerotic acid	$C_{25}H_{51}COOH$	ขี้ผึ้งจากรังผึ้ง และไขมันจากขนแกะ

กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
*Palmitoleic acid	$C_{15}H_{29}COOH$	สัตว์และไขมันพืช
*Oleic acid	$C_{17}H_{33}COOH$	สัตว์ ไขมันพืชและน้ำมันพืช
Linoleic acid	$C_{17}H_{31}COOH$	น้ำมันลินสีด น้ำมันพืช
Linolenic acid	$C_{17}H_{29}COOH$	น้ำมันลินสีด
Arachidonic acid	$C_{19}H_{31}COOH$	สมองและเนื้อเยื่อประสาท

*กรดไขมันที่พบได้บ่อย

สารประกอบกลีเซอไรด์

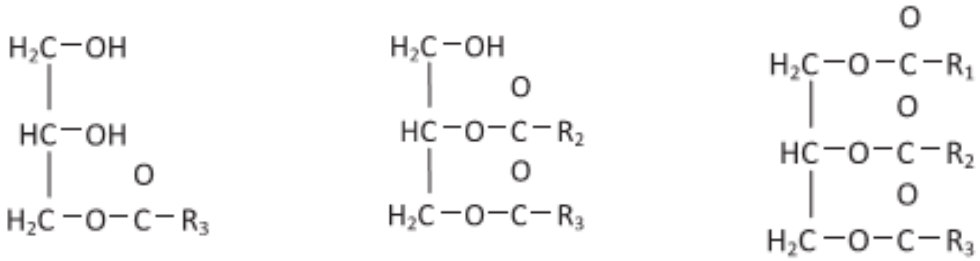
สารประกอบกลีเซอไรด์ เป็นลิปิดที่มีกรดไขมันจับกับกลีเซอรอลด้วยพันธะเอสเตอร์อาจเรียกว่า เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) ส่วนกรดไขมันเรียกว่าหมู่เอซิล (Acyl group, $R\text{-}COO^-$) แบ่งได้ตามจำนวนกรดไขมันที่มีอยู่ในโมเลกุล เช่น

โมโนกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบกลีเซอไรด์ที่มีหมู่เอซิล 1 หมู่จับกับกลีเซอรอล โดยกรดไขมันอาจจะเกิดพันธะเอสเตอร์กับหมู่อัลกอฮอลของกลีเซอรอลได้ที่คาร์บอนตำแหน่ง 1 หรือ 2 อย่างใดอย่างหนึ่งจะได้ 1 – โมโนกลีเซอไรด์ (1 – monoglyceride) หรือ 2 – โมโนกลีเซอไรด์ (2 – monoglyceride)

ไดกลีเซอไรด์ ป็นสารประกอบกลีเซอไรด์ที่มีหมู่อัลคิล 2 หมู่จับอยู่กับกลีเซอรอลโดยพันธะเอสเอตร์ที่คาร์บอนที่ตำแหน่ง 1 และ 2 หรือตำแหน่ง 1 และ 3 ของกลีเซอรอล

ไตรกลีเซอไรด์ เป็นสารประกอบกลีเซอไรด์ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เป็นเอสเตอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 ตัว โดยธรรมชาติพบว่ากรดไขมันทั้ง 3 ตัวอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ เช่น Palmitic acid + 2 oleic acid หรือ 2 palmitic acid + linoleic acid หรือ palmitic acid + steric acid + oleic acid ฯลฯ

โครงสร้างโมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ แสดงดังภาพที่ 2.1



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมกุลของกลีเซอไรด์ (ก) โมโนกลีเซอไรด์ (ข) ไดกลีเซอไรด์ และ (ค) ไตรกลีเซอไรด์ (Issariyakul and Dalai 2014)

สารประกอบไตรกลีเซอไรด์หรือบางทีเรียกว่าไขมันเป็นกลาง (Neutral fats) หรือไขมันแท้ (Ture fats) ซึ่งจะประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปพบอยู่ในไขมันที่สะสมไว้ในเซลล์ของพืชและสัตว์ และในน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหาร กลีเซอไรด์มีจุดหลอมเหลวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ไตรกลีเซอไรด์บางครั้งอาจเป็นของแข็งเรียกว่า “ไขมัน” หรือเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า “น้ำมัน (Oil)” เช่น ไตรกลีเซอไรด์ที่สกัดจากเมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง และเมล็ดดอกคำฝอย เป็นต้นส่วนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันหมู หรือน้ำมันพืชที่ผ่านกรรมวิธีเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) เพื่อทำให้พันธะคู่ส่วนใหญ่กลายเป็นพันธะเดี่ยว ไตรกลีเซอไรด์มีฤทธิ์เป็นกลาง (Neutral fat) เนื่องจากไม่มีหมู่ที่มีขั้วอยู่ในโมเลกุลเลย ไตรกลีเซอไรด์เมื่ออยู่ในน้ำจะไม่กระจายตัวเป็นไมเซลล์ (Micelle) เหมือนเกลือของกรดไขมัน แต่จะรวมตัวกันเองเป็นหยดน้ำมันลอยอยู่บนผิวน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่น (Density) ต่ำกว่าน้ำ กลีเซอไรด์เป็น Saponifiable lipid สามารถละลายด้วยด่า NaOH หรือ KOH ได้เกลือของกรดไขมัน หรือสบู่และกลีเซอรอล

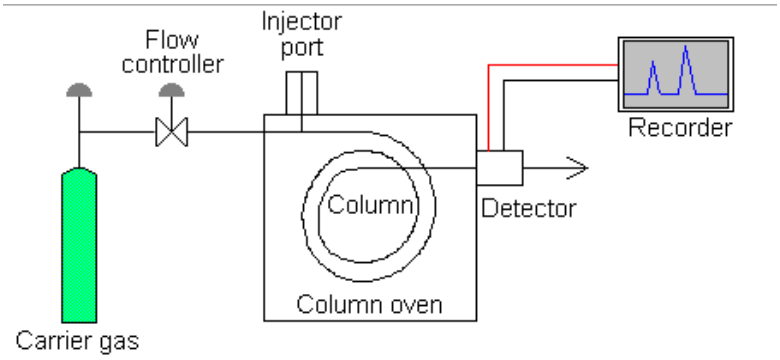
การแยกและการวิเคราะห์ลิปิดด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟฟี

แก๊สโครมาโตกราฟฟีมีบทบาทอย่างมากในงานวิจัยลิปิด ทั้งนี้เป็นเพราะลิปิดเป็นสารที่มีโพลาริตี้ต่ำ (ต่ำกว่าสารชีวโมเลกุลอื่นๆ) มีขนาดโมเลกุลไม่ใหญ่มากนัก ระเหยเป็นไอได้ง่ายจึงเหมาะต่อการใช้แก๊สโครมาโตกราฟฟีในการแยก เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ปัจจุบันได้พัฒนาไปมากให้ข้อมูลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือและทำทวนซ้ำได้ดี (Producibility) แก๊สโครมาโตกราฟีจึงใช้ทั้งด้านการวิเคราะห์เอกลักษณ์ (Identification) และวิเคราะห์ปริมาณ (Quantitation) ในส่วนหลักการทำแก๊สโครมาโตกราฟีของกรดไขมันชนิดเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Esters, FAMEs) จะประกอบด้วยหลายขั้นตอนโดยเริ่มตั้งแต่การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น

(Esterification) แล้วนำไปฉีด (Injection) ในเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี เพื่อทำการแยก FAMEs แต่ละชนิด หลังจากที่แยกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการตรวจสอบเอกลักษณ์และหาปริมาณของ FAMEs ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะต้องมีสภาวะการทำงานที่เหมะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการแยกได้สูงสุด (Eder 1995)

หลักการทำงานของแก๊สโครมาโตกราฟี

เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟทั่วไปประกอบด้วยตู้อบ (Oven) สำหรับให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ ตัวฉีดสาร (Injector) คอลัมน์ เครื่องตรวจวัด (Detector) และเครื่องบันทึก (Recorder) เครื่องวัดจะตรวจวัดปริมาณสารที่ผ่านออกมาจากคอลัมน์และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าสู่เครื่องบันทึก โดยแผนภาพอย่างง่ายของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 แผนภาพแสดงเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Division, Wellbeing et al.)

เครื่องตรวจวัดของแก๊สโครมาโตกราฟเป็นอุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์ที่ซับซ้อนและสำคัญชนิดหนึ่งที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากปริมาณสารที่ชะออกมาจากคอลัมน์นั้นมีปริมาณน้อย การเก็บรวบรวมเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีภายหลังจะยุ่งยากและไม่สะดวกอย่างยิ่ง เครื่องตรวจวัดของแก๊สโครมาโตกราฟทั่วไปจะเป็นแบบตรวจวัดผลต่าง (Differentiating detector) และจัดแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ (1) เครื่องตรวจวัดที่ตอบสนองต่อความเข้มข้นสาร พื้นที่ใต้พีคที่เครื่องจดบันทึกบันทึกไว้จะเป็นตราส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นสารที่ไหลผ่านเครื่องตรวจวัดและ (2) เครื่องตรวจวัดที่ตอบสนองต่ออัตราไหลของมวล พื้นที่ใต้พีคที่เครื่องจดบันทึกบันทึกไว้จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณมวลสารที่ไหลผ่านเครื่องตรวจวัด

ค่าสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number; *SN*)

ค่าสะปอนนิฟิเคชันคือ จำนวนมิลลิกรัมของด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในไขมัน หรือน้ำมัน (เรียกว่า ปฏิกิริยา Saponification) อย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่ ซึ่งเป็นเกลือของกรดไขมัน (Fatty acid) 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล โดยค่าสะปอนนิฟิเคชันเป็นค่าที่บอกขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ หากน้ำมันที่มีค่าสะปอนนิฟิเคชันสูงแสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซ์ ทำนองเดียวกันถ้าค่าสะปอนนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ด่างน้อยในการทำปฏิกิริยา โดยค่าสะปอนนิฟิเคชันมีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุล (*M*)

ค่าไอโอดีน (Iodine Value; *IV*)

ค่าไอโอดีน คือจำนวนของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหนัก 100 กรัม เป็นค่าที่บอกถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ค่าไอโอดีนเป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิด Oxidative rancidity ได้ง่ายด้วยการหาค่าของไอโอดีนโดยวิธีของฮานัส (Hanus) ใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานในกรดอะซิติริกที่มีไอโอดีนโบรไมด์ช่วยเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยากับไขมันตัวอย่างที่ทราบปริมาณที่แน่นอนซึ่งละลายในคลอโรฟอร์มหรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ทิ้งไว้ในที่มืดระยะหนึ่ง ไตเตรทปริมาณไอโอดีนที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) โดยค่าไอโอดีนมีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุล (*M*) และจำนวนพันธะคู่

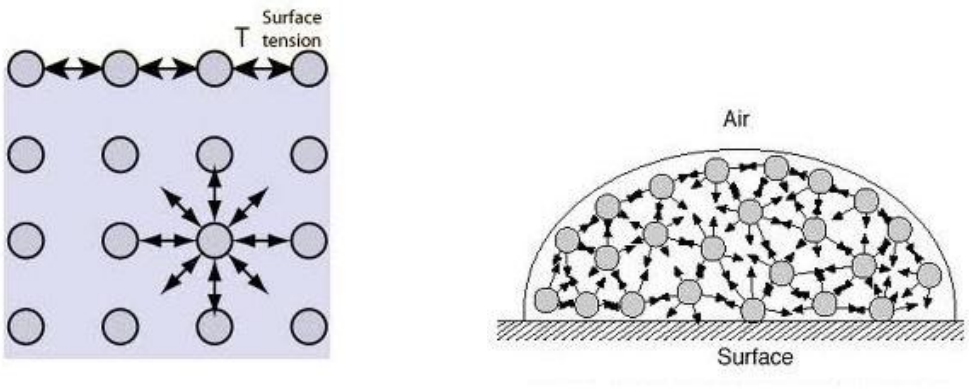
แรงตึงผิว (Surface Tension)

แรงตึงผิว (γ) คือสมบัติของพื้นผิวของของเหลวเป็นแรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ผิวของของเหลวสัมผัสกับของเหลวอื่นหรือกับผิวของแข็งโดยมีพลังงานเพียงพอต่อการยืดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นทำให้เกิดเป็นลักษณะคล้ายๆ กับแผ่นบางๆ ที่สามารถต้านแรงดึงได้เล็กน้อย มีทิศขนานกับผิวของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่

ของเหลวสัมผัส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความตึงผิวของเหลวจะมีค่าลดลงในของไหลทุกชนิดจะมีสมบัติของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล 2 ชนิด คือ

1. แรงยึดติด (Cohesive Forces) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวชนิดเดียวกันแรงนี้สามารถรับความเค้นดึง (Tensile Stress) ได้เล็กน้อย

2. แรงเชื่อมแน่น (Adhesive force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับสารชนิดอื่น เช่น น้ำกับแก้ว ปรอทกับแก้ว เป็นต้น



ภาพที่ 2.3 แรงตึงผิวของของเหลว

การวัดค่า แรงตึงผิว วัดจาก อัตราส่วนของแรงที่กระทำไปที่ผิวของฟิมล์ของเหลว ต่อความยาวของผิวฟิมล์ที่ยืดออกเมื่อแรงกระทำ มีหน่วยเป็นแรงต่อระยะทาง (N/m หรือ ดายน์ต่อเซ็นติเมตร, dyne/cm) ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$\gamma = \frac{F}{L} \tag{2.1}$$

เมื่อ F คือแรง (นิวตัน, N)

L คือความยาว (เมตร, m)

แรงตึงผิวเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญในของเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด เพราะมีผลต่อกระบวนการพ่นฝอยละอองน้ำมันในห้องเผาไหม้ในช่วงเริ่มต้น โดยในขั้นแรกออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับละอองน้ำมันซึ่งจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวของละอองน้ำมันเท่านั้น และจะปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ในขั้นตอนนี้พบว่าถ้าแรงตึงของน้ำมันมีค่าสูงละอองน้ำมันที่พ่นจะมีขนาดใหญ่และมีแนวโน้มสูงมากที่จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพและการปลดปล่อยมลพิษ (Ejim, Fleck et al. 2007, Wang, Huang et al. 2010) แรงตึงผิวและสมบัติทางกายภาพต่างๆ ไบโอดีเซลอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้

การวิเคราะห์ค่าแรงตึงผิวทำได้หลายวิธีด้วยกันต้องอาศัยเครื่องมือและประสบการณ์ดังนั้นสมการทำนายแรงตึงผิวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งช่วยลดเวลาและทรัพยากรณ์ในการวิเคราะห์แรงตึงผิว และหากสมการดังกล่าวเชื่อมสัมพันธ์กับโครงสร้างสารด้วยจะเป็นประโยช์อย่างมากในการพัฒนาออกแบบโครงสร้างสารให้เหมาะสมกับความแรงตึงผิวที่ต้องการ สมการสำหรับทำนายแรงตึงผิวของของเหลวมีการนำเสนอมากพอสมควรแต่สมการสำหรับทำนายแรงตึงผิวของไบโอดีเซลยังมีอยู่ในปริมาณน้อย (Allen, Watts et al. 1999)

Macleod (Macleod 1923) ได้เสนอสมการทำนายแรงตึงผิวของของเหลวบริสุทธิ์จากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของของเหลว (ρ_L) และของไอ (ρ_V) ที่ภาวะสมดุล (Equilibrium) ดังนี้

$$\gamma = K(\rho_L - \rho_V)^4 \qquad (2.2)$$

เมื่อ *K* คือค่าคงที่ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแต่เปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบ

สมการที่ (2.2) ได้มีการปรับปรุงโดย Sugden (Sugden 1924) ดังแสดงในสมการที่ (2.3) เป็นสมการที่ใช้ทำนายแรงตึงผิวของที่สารประกอบอินทรีย์ได้ดี

$$\gamma = [P_{ch}(\rho_L - \rho_v)]^4 \qquad (2.3)$$

เมื่อ $P_{ch} = K^{-1/4} = \text{Parachor}$

Parachor (P_{ch}) เป็นตัวแปรบนสมติฐานที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมี ในการพิจารณาค่าแรงตึงผิวจากการทำนายด้วยสมการที่ (2.2) ซึ่งมีความไวต่อค่าของ P_{ch} และความหนาแน่น เพราะค่า P_{ch} มีความสัมพันธ์แบบดีกรีกำลัง 4 ดังนั้นถ้าเกิดความคลาดเคลื่อนของค่า P_{ch} หรือความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ผลของค่าแรงตึงผิวจะมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากถูกขยายความคลาดเคลื่อนด้วยดีกรีกำลัง 4 อีกทั้งในการใช้งานจำเป็นต้องทราบความหนาแน่นของสารที่ศึกษาที่อุณหภูมิที่สนใจด้วยทำให้เกิดข้อจำกัดในการคำนวณเป็นอย่างมากโดยจะทำให้เกิดความยุ่งยากหลายขั้นตอน

Escobedo และ Mansoorithere (Escobedo and Mansoori 1996) ได้ชี้ถึงข้อบกพร่องหลายประการของสมการที่ (2.2) ในการทำนายแรงตึงผิวดังนี้

1. P_{ch} ในความเป็นจริงเป็นพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2. เป็นไปได้ยากที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของแรงตึงผิวกับโครงสร้างโมเลกุลด้วยค่า P_{ch} ได้อย่างชัดเจนและถูกต้อง

3. ร้อยละเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (AAD(%)) ในการทำนายแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นกับความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของโครงสร้างโมเลกุลของของเหลวภายใต้การพิจารณา

Guggenheim (Guggenheim 1945) ได้ทำนายสมบัติทางกายภาพของแก๊สและของเหลวด้วยวิธีเดียวกันจากการศึกษาพบว่าดีกรีในสมการที่ (2.2) ควรเป็น 11/3 ไม่ใช่ 4

Flingoh and Chong(Flingoh 1992) ศึกษาแรงตึงผิวของน้ำมันปาล์ม ปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียรีน พบว่าแรงตึงผิวลดลงในรูปแบบเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.4)

$$\gamma = a_1 + b_1 T \qquad (2.4)$$

เมื่อ a_1 และ b_1 คือค่าคงที่ถดถอยเชิงเส้นขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี

Esteban (Esteban, Riba et al. 2012) ได้ทดลองหาแรงตึงผิวของน้ำมันพืช 8 ชนิดที่อุณหภูมิ 10-140°C และได้เสนอสมการในการทำนายแรงตึงผิวของน้ำมันพืชจากความหนาแน่นของน้ำมันพืชดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\gamma = a_2 + b_2\rho \qquad (2.5)$$

เมื่อ a_2 และ b_2 คือค่าคงที่ถดถอยเชิงเส้นขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี

แม้ว่าสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.5) แสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่ค่าคงที่ต่างๆ ในสมการจะเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบทางเคมีทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน ทั้งยังไม่ทราบความหมายของค่าคงที่ต่างๆอย่างชัดเจน อีกทั้งสมการยังขาดองค์ประกอบตาม Halvoson et al. (Halvorsen, Mammel et al. 1993) ได้แสดงเงื่อนไขสำคัญของสมการที่ดีสำหรับประมาณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลคือ ต้องมีความสัมพันธ์กับกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว และเปลี่ยนตามอุณหภูมิ

Phankosol et al.(Phankosol, Sudaprasert et al. 2014) ได้เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับพลังงานอิสระปฏิสัมพันธ์ระหว่างผิวตามกฎพลังงานควบรวมของมาร์ติน (Martin 1950) และขยายพลังงานอิสระด้วยเอนทัลปี (H) และเอนโทรปี (S) ในการประมาณค่าแรงตึงผิวของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซลที่อุณภูมิต่างๆ สมการดังกล่าว (สมการที่ (2.6)) มีเงื่อนไขสำคัญของสมการที่ดีครบตามองค์ประกอบของ Halvoson et al. (Halvorsen, Mammel et al. 1993)

$$\gamma = a_3 + b_3 z + c_3 T + d_3 zT + e_3 n_d + f_3 n_d T$$

(2.6)

เมื่อ $a_3 = \frac{\Delta H_f}{\Delta A}$, $b_3 = \frac{\delta H}{\Delta A}$, $c_3 = \frac{-\Delta S_f}{\Delta A}$, $d_3 = \frac{-\delta S}{\Delta A}$, $e_3 = \frac{-\Delta H_{db}}{\Delta A}$ และ $f_3 = \frac{-\Delta S_{db}}{\Delta A}$

f, *db* และ *A* คือกลุ่มฟังก์ชัน พันธะคู่ และพื้นที่ผิว

พลังงานอิสระได้ถูกนำมาใช้ในการประมาณคุณสมบัติต่างๆ ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และน้ำมันพืช เช่นการแยกสารในแก๊สโครมาโตกราฟี ความหนืดจลน์ ความหนืดพลศาสตร์ ความหนาแน่น ความเร็วเสียง และแรงตึงผิวของไบดีเซล ในงานวิจัยนี้ ได้ขยายพลังงานอิสระมาใช้ประมาณแรงตึงผิวของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่างๆ โดยประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ของ Phankosol et al.(Phankosol, Sudaprasert et al. 2014)Chunix และคณะ (Chunxi, Wenchuan et al. 2000) ได้เสนอความสัมพันธ์พลังงานส่วนเกินอิสระของกิบบส์กับสมการของ

Wilson และแรงตึงผิวกับพลังงานอิสระ สมการโดยรวมค่อนข้างซับซ้อนแต่สามารถทำนายแรงตึงผิวของของเหลวผสม 2 ชนิดทั้งหมด 124 ตัวอย่างและของเหลวผสมหลายองค์ประกอบจำนวน 16 ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องโดยค่า AAD จากการเปรียบเทียบกับการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.54 และ1.36 ตามลำดับ

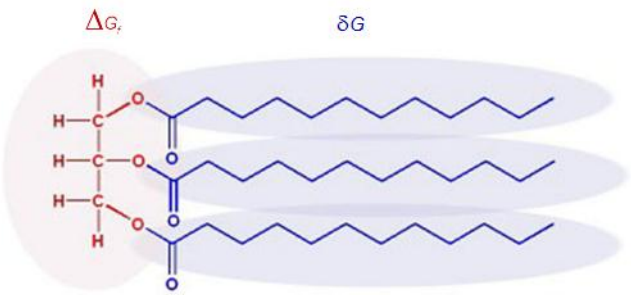
ความสัมพันธ์แรงตึงผิวกับพลังงานอิสระของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผิว

แรงตึงผิวของน้ำมันพืชมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับโครงสร้างโมเลกุลทั้งความยาวของโซ่อะตอมคาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอน โดยความยาวของโซ่อะตอมคาร์บอนที่ยาวขึ้นทำให้แรงตึงผิวเพิ่มขึ้นด้วย แรงตึงผิวกับพลังงานอิสระปฏิสัมพันธ์ระหว่างผิว (Free energy of interfacial interaction; ΔG) แสดงได้ดังสมการที่ (2.7) (Phankosol, Sudaprasert et al. 2014)

$$\gamma = \left(\frac{\partial G}{\partial A}\right)_{T,P} \tag{2.7}$$

เมื่อ A คือพื้นที่ผิว

พิจารณาจากโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride ; TG) ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับพลังงานควบรวมอิสระ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์กับพลังงานควบรวมอิสระ

โครงสร้างโมเลกุลของ TG ประกอบด้วย $CH_3-(CH_2)_{z-1}-f$ ซึ่งมาร์ติน(Martin 1950) ได้แบ่งกลุ่มโครงสร้างในโมเลกุลที่แตกต่างออกเป็น f, CH_2 และ CH_3 เพื่อใช้อธิบายการ

เปลี่ยนแปลงพลังงานควบรวมอิสระของการเปลี่ยนสภาพจากสารละลายเป็นแก๊สของสารในอนุกรมเดียวกันของสารสมมติดังสมการที่ (2.8)

$$\Delta G = \Delta G_f + \Delta G_1 + \Delta G_2 ..... + \Delta G_z \qquad (2.8)$$

เมื่อ $\Delta G_1 \ldots \Delta G_z$ คือพลังงานควบรวมอิสระของกลุ่มเมทิลีน (Methylene) และเมทิล (Methyl) ซึ่งเป็นกลุ่มมีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นสามารถทำการเฉลี่ยให้อยู่ในรูป δG สมการที่ (2.8) ลดรูปลงได้ดังสมการที่ (2.9)

$$\Delta G = \Delta G_f + 3(z\delta G) \qquad (2.9)$$

เมื่อ ΔG_f , δG และ z คือพลังงานควบรวมอิสระของสารสมมติที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากับศูนย์หรือจะเรียกสั้นๆว่าพลังงานควบรวมอิสระที่เกิดจากกลุ่มฟังก์ชัน, คือพลังงานควบรวมอิสระของการเปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งคาร์บอนอะตอม และจำนวนอะตอมคาร์บอนในสายไฮโดรคาร์บอน

สำหรับโมเลกุลที่มีพันธะคู่ (Double Bond(s); n_d) Chanida Sansa-ard et al.(Chanida Sansa-ard 2011) เสนอผลของพันธะคู่กับพลังงานควบรวมอิสระควบของพันธะคู่ (ΔG_{db}) รวมโดยขยายความสัมพันธ์สมการที่ (2.9) ได้ดังสมการที่ (2.10)

$$\Delta G = \Delta G_f + 3(z\delta G + n_d \Delta G_{db}) \qquad (2.10)$$

ขยายสมการที่ (2.10) ด้วยเอนทัลปี (H) และเอนโทรปี (S) และจัดรูปได้ดังสมการที่ (2.11)

$$\gamma = a_4 + b_4 z + c_4 T + d_4 zT + e_4 n_d + f_4 n_d T \qquad (2.11)$$

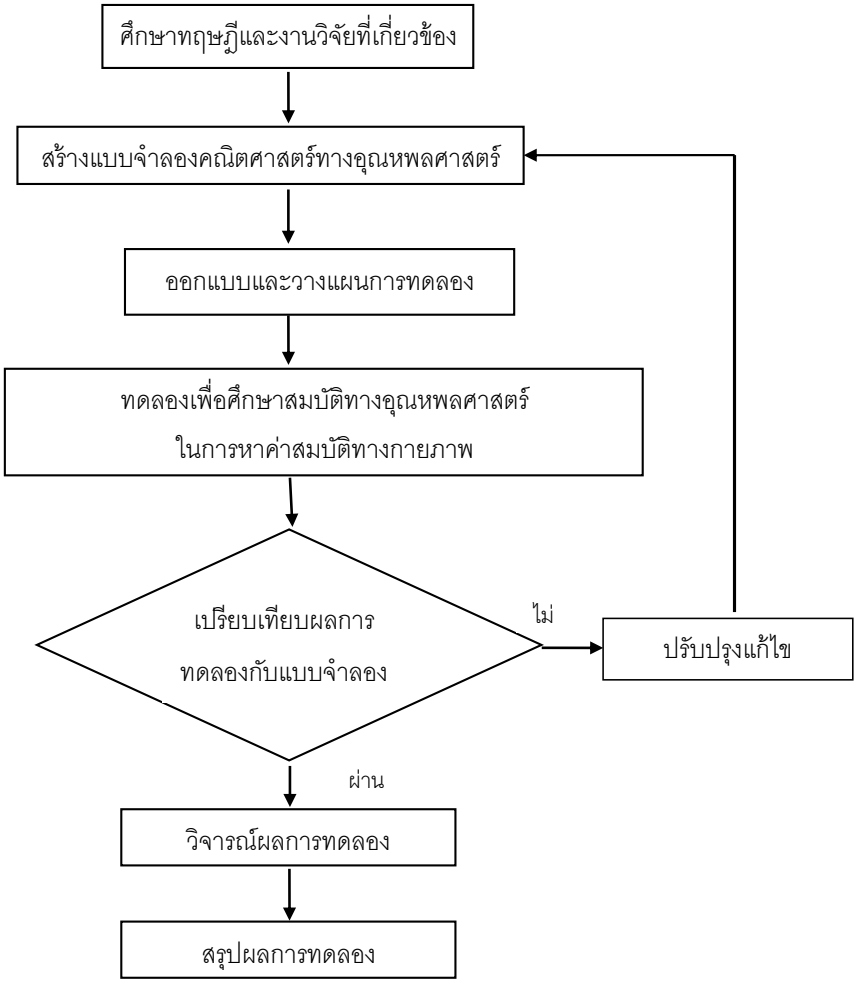
เมื่อ $a_4 = \frac{\Delta H_f}{\Delta A}$, $b_4 = \frac{3\delta H}{\Delta A}$, $c_4 = \frac{-\Delta S_f}{\Delta A}$, $d_4 = \frac{-3\delta S}{\Delta A}$, $e_4 = \frac{-3\Delta H_{db}}{\Delta A}$ และ $f_4 = \frac{-3\Delta S_{db}}{\Delta A}$

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้เข้าใจการศึกษาแรงตึงผิวของน้ำมันพืชกับพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้รวมขั้นตอนการวิจัยและวิธีการแบบจำลองไว้ในบทนี้

ขั้นตอนการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนการทำงานดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ข้อมูลการทดลอง

ในการศึกษานี้ใช้ผลการทดลองของ Esteban et al.(Esteban, Riba et al. 2012) ซึ่งได้ทำการทดลองหาแรงตึงผิวของน้ำมันพืช 6 ชนิด ด้วยวิธีการ Drop weight method ที่ช่วงอุณหภูมิ 10-140°C

การหาค่าเฉลี่ยจำนวนอะตอมคาร์บอน (z_{ave}) และจำนวนพันธะคู่ ($n_{d(ave)}$)

ในการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืช ถ้าพิจารณาในรูปของจำนวนอะตอมคาร์บอนของกรดไขมันและจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย จะทำให้สมการที่ (2.11) สะดวกในการพิจารณา

มากยิ่งขึ้นซึ่งคำนวณจากองค์ประกอบกรดไขมันตามวิธีของ Phankosol et al.(Phankosol, Sudaprasert et al. 2014) ดังสมการที่สมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$z_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i} \tag{3.1}$$

$$n_{d,ave} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i n_{d,i}}{\sum_{i=1}^{n} x_i} \tag{3.2}$$

เมื่อ x_i คือสัดส่วนโดยโมลหรือมวลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช

การหาค่าคงที่ในสมการที่ (2.11)

ค่าคงที่ในสมการที่ (2.11) หาด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรตามวิธี Phankosol et al.(Phankosol, Sudaprasert et al. 2014) เมื่อแทนค่าคงที่ต่างๆในสมการที่ (2.11) ได้สมการประมาณแรงตึงผิวของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่างๆ ดังสมการที่ (3.3)

$$\gamma = 0.901 + 3.1064 z_{ave} + 0.07915 T - 0.00893 z_{ave} T - 0.399 n_{d,(ave)} + 0.0036 n_{d,(ave)} T \tag{3.3}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (AAD (%))

$$\mathrm{AAD}(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{N} \left| \frac{\gamma_{\exp} - \gamma_{cal}}{\gamma_{\exp}} \right| \tag{3.4}$$

โดยที่ $\gamma_{\exp}$ คือค่าจากผลการทดลองที่มีนำเสนอ γ_{cal} คือค่าที่ได้จากการคำนวณ และ N คือค่าจำนวนของจุดข้อมูล

ค่าเอนเอียง (Bias (%))

$$\mathrm{Bias}(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\gamma_{\exp} - \gamma_{cal}}{\gamma_{\exp}} \right] \tag{3.5}$$

ค่าคลาดเคลื่อนมาตราฐาน (Standard Error:σx)

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{N} \qquad (3.6)$$

เมื่อ σ และ N คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และจำนวนข้อมูลตามลำดับ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่ทำนายตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปกับตัวแปรตาม 1 ตัว เช่น ต้องการทำนายค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซล(Y) โดยใช้ตัวทำนาย 3 ตัว ประกอบด้วย อุณหภูมิ (X_1) ความยาวโซ่อะตอมคาร์บอนของกรดไขมัน (X_2) และจำนวนพันธะคู่ในสายโซ่อะตอมคาร์บอนของกรดไขมัน (X_3) เป็นต้น ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุนั้นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation Coefficient) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นจำนวนทั้ง 3 ตัวกับตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นใด สมการทั่วไปของการถดถอยพหุแสดงดังสมการที่ (3.7)

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots + b_ix_i + \varepsilon_i \qquad (3.7)$$

เมื่อ	Y	คือตัวแปรตาม
	$x_1, x_2, \ldots x_i$	คือตัวแปรต้น
	$b_1, b_2, \ldots b_i$	คือค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย
	ε_i	คือค่าความคลาดเคลื่อในการทำนาย

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยในการคำนวณด้วยความสัมพันธ์ตามเมตริกซ์ต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} X_{i1} & \sum_{i=1}^{n} X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} X_{ip-1} \\ \sum_{i=1}^{n} X_{i1} & \sum_{i=1}^{n} X_{i2}^2 & \sum_{i=1}^{n} X_{i1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} X_{i1}X_{ip-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} X_{ip-1} & \sum_{i=1}^{n} X_{ip-1}X_{i1} & \sum_{i=1}^{n} X_{ip-1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} X_{ip-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} Y_i \\ \sum_{i=1}^{n} X_{i1}Y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} X_{ip-1}Y_i \end{bmatrix}$$

บทที่ 4
ผลการศึกษา

จากการดำเนินการศึกษาวิจัยได้รวบรวมผลการศึกษา ผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของแรงตึงผิวของน้ำมันพืช และการโยงสัมพันธ์แรงตึงผิวของน้ำมันพืชกับพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ ต่างๆ ไว้ในบทนี้

ความสัมพันธ์ของขนาดโมเลกุลและระดับความไม่อิ่มตัวกับแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

ในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืช 6 ชนิด เพื่อประกอบการประมาณค่าพร้อมคำนวณค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ ไว้ในตารางที่ 1 พบว่าค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ อยู่ในช่วง 17.04-17.92 และ 0.60-1.57 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืช 6 ชนิด(Esteban, Riba et al. 2012)

Oils	Fatty acid (%)							z_{ave}	$n_{d,(ave)}$	SN	IV
	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	Other				
Rapeseed	4.7	0.3	1.3	65.3	19.2	8.3	1.1	17.92	1.30	190.45	1.30
Sunflower	6.7	0.3	2.9	38.7	51.3	0.1	0.2	17.86	1.42	191.19	1.42
Soybean	11.2	0.2	2.9	25.2	55.4	5.0	0.2	17.77	1.51	191.98	1.51
Palm	45.6	0.4	3.8	38.5	10.5	0.1	1.0	17.04	0.60	197.60	0.60
Corn	11.4	0.3	1.7	32.8	53.3	0.5	0.2	17.76	1.41	192.09	1.41
Grapeseed	7.2	0.1	3.9	20.2	68.4	0.2	0.2	17.85	1.57	191.45	1.57

จากการประมาณแรงตึงผิวของน้ำมันพืชด้วยสมการที่ (3.3) ของน้ำมันพืช 6 ชนิด ที่ช่วงอุณหภูมิ 10-140°C เทียบกับผลการทดลองของ Esteban et al.(Esteban, Riba et al. 2012) แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าสมการที่นำเสนอมีความแม่นยำสูงค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน (D (%))โดย Bias (%), ช่วงค่า AD (%) และ AAD (%) เท่ากับ -0.03, 0.00-1.04% และ 0.33% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (3.3)

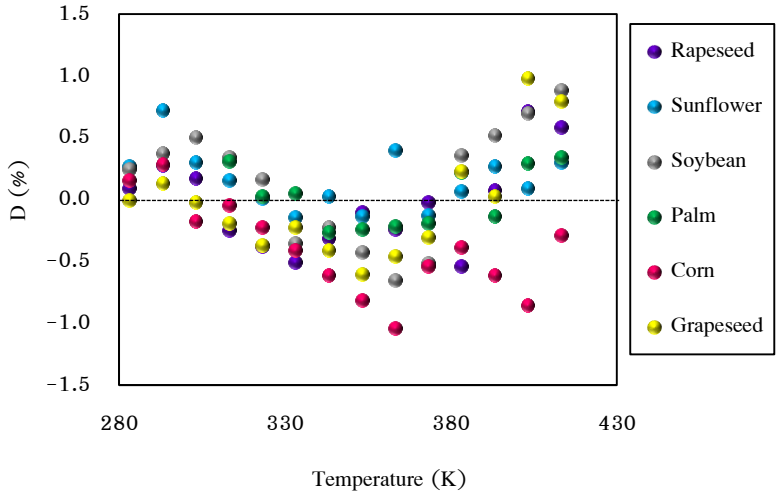
Vegetable oils	$z_{(ave)}$	$nd_{(ave)}$	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
Rapeseed	17.92	1.30	283.15	34.5	34.5	0.09
			293.15	33.8	33.7	0.28
			303.15	33	32.9	0.17
			313.15	32.1	32.2	-0.25
			323.15	31.3	31.4	-0.38
			333.15	30.5	30.7	-0.51
			343.15	29.8	29.9	-0.31
			353.15	29.1	29.1	-0.11
			363.15	28.3	28.4	-0.24
			373.15	27.6	27.6	-0.02
			383.15	26.7	26.8	-0.54
			393.15	26.1	26.1	0.07
			403.15	25.5	25.3	0.71
			413.15	24.7	24.6	0.58
AAD (%)						0.31
Sunflower	17.86	1.42	283.15	34.6	34.5	0.27
			293.15	34	33.8	0.72
			303.15	33.1	33.0	0.30
			313.15	32.3	32.2	0.16
			323.15	31.5	31.5	0.01
			333.15	30.7	30.7	-0.14
			343.15	30	30.0	0.03
			353.15	29.2	29.2	-0.13
			363.15	28.6	28.5	0.40
			373.15	27.7	27.7	-0.12
			383.15	27	27.0	0.07
			393.15	26.3	26.2	0.27
			403.15	25.5	25.5	0.09
			413.15	24.8	24.7	0.30
AAD (%)						0.22

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (3.3) (ต่อ)

Vegetable oils	$z_{(ave)}$	$nd_{(ave)}$	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
Soybean	17.77	1.51	283.15	34.6	34.5	0.25
			293.15	33.9	33.8	0.38
			303.15	33.2	33.0	0.51
			313.15	32.4	32.3	0.34
			323.15	31.6	31.5	0.16
			333.15	30.7	30.8	-0.35
			343.15	30	30.1	-0.22
			353.15	29.2	29.3	-0.43
			363.15	28.4	28.6	-0.65
			373.15	27.7	27.8	-0.52
			383.15	27.2	27.1	0.36
			393.15	26.5	26.4	0.52
			403.15	25.8	25.6	0.70
			413.15	25.1	24.9	0.88
AAD (%)						0.45
Palm	17.04	0.60	313.15	31.5	31.4	0.31
			323.15	30.7	30.7	0.02
			333.15	30	30.0	0.05
			343.15	29.2	29.3	-0.26
			353.15	28.5	28.6	-0.24
			363.15	27.8	27.9	-0.21
			373.15	27.1	27.2	-0.19
			383.15	26.5	26.4	0.22
			393.15	25.7	25.7	-0.13
			403.15	25.1	25.0	0.30
			413.15	24.4	24.3	0.34
AAD (%)						0.21
Corn	17.76	1.41	283.15	34.5	34.4	0.15
			293.15	33.8	33.7	0.29
			303.15	32.9	33.0	-0.18

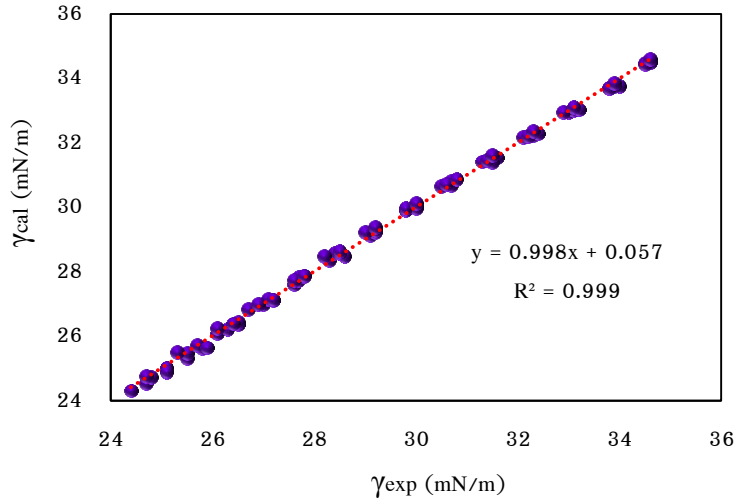
ตารางที่ 4.2 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (3.3) (ต่อ)

Vegetable oils	$z_{(ave)}$	$nd_{(ave)}$	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
			313.15	32.2	32.2	-0.05
			323.15	31.4	31.5	-0.22
			333.15	30.6	30.7	-0.41
			343.15	29.8	30.0	-0.61
			353.15	29	29.2	-0.82
			363.15	28.2	28.5	-1.04
			373.15	27.6	27.7	-0.54
			383.15	26.9	27.0	-0.39
			393.15	26.1	26.3	-0.62
			403.15	25.3	25.5	-0.85
			413.15	24.7	24.8	-0.29
AAD (%)						0.46
Grapeseed	17.85	1.57	283.15	34.6	34.6	0.00
			293.15	33.9	33.9	0.13
			303.15	33.1	33.1	-0.02
			313.15	32.3	32.4	-0.19
			323.15	31.5	31.6	-0.37
			333.15	30.8	30.9	-0.23
			343.15	30	30.1	-0.41
			353.15	29.2	29.4	-0.61
			363.15	28.5	28.6	-0.46
			373.15	27.8	27.9	-0.30
			383.15	27.2	27.1	0.23
			393.15	26.4	26.4	0.03
			403.15	25.9	25.6	0.98
			413.15	25.1	24.9	0.80
AAD (%)						0.34



ภาพที่ 4.1 ร้อยละความคลาดเคลื่อน (D(%)) ของแรงตึงผิวจากการประมาณด้วยสมการที่ (3.3) เทียบกับกับผลการทดลองของ Flingoh and Chong(Flingoh 1992) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวจากการประมาณด้วยสมการที่ (3.3) กับการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบว่าค่าจุดตัดแกน ความชัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เท่ากับ 0.057, 0.998, 0.999 และ 0.120 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวจากการประมาณด้วยสมการที่ (3.3) กับผลการทดลองของ Flingoh and Chong(Flingoh 1992)ที่ช่วงอุณหภูมิ 10-140°C

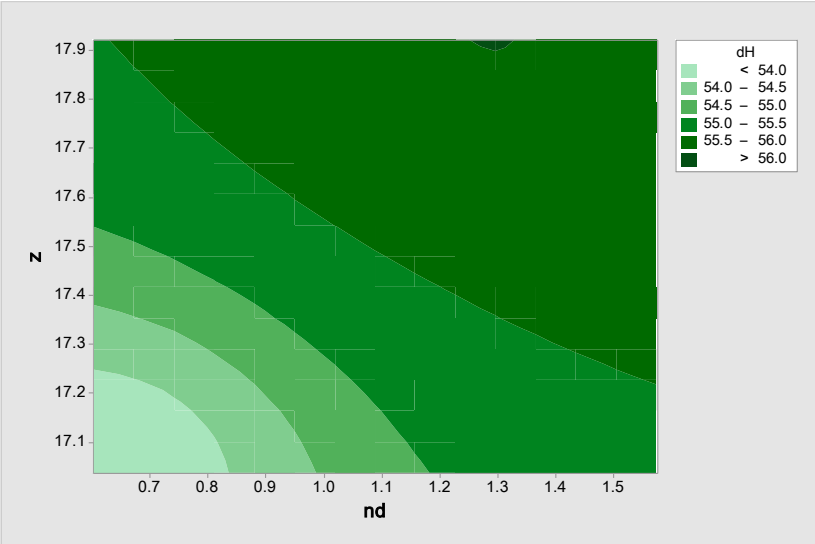
พิจารณาสมการที่ (3.3) เมื่อค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ คงที่ สมการที่ (3.3) จะลดรูปเป็นสมการที่ (2.4) ทำให้ทราบความหมายของค่าคงที่ a_1 และ b_1 ตามสมการที่ (4.1) และ (4.2) เป็นผลของกลุ่มพลังงานงานอิสระปฏิสัมพันธ์ระหว่างผิวของเอนทัลปี (H) และเอนโทรปี (S) ตามลำดับ ซึ่งจากเดิมพิจารณาเป็นเพียงค่าคงที่ถดถอยเชิงเส้นเท่านั้นไม่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีอย่างชัดแจ้ง ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ a_1 และ b_1 ของสมการที่ (2.4) ด้วยวิธีการของ Flingoh and Chong(Flingoh 1992) และจากสมการที่ (3.3) ของน้ำมันพืช 6 ชนิด พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ภาพที่ 4.3 แสดงผลร่วมของ z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ ที่ส่งผลต่อ ΔH_{TG} และ ΔS_{TG} ซึ่งมีผลสอดคล้องกับผลร่วมของ SN และ IV ที่ส่งผลต่อ ΔH_{TG} และ ΔS_{TG} คือขนาดโมเลกุลของ TG ที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้พลังงาน ΔH_{TG} และ ΔS_{TG} สูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นของความไม่อิ่มตัวก็ทำให้พลังงานทั้งสองสูงขึ้นเช่นกัน

$$a_1 = \Delta H_{TG} = \frac{\Delta H_f}{\Delta A} + \frac{3z_{ave}\delta H}{\Delta A} + \frac{-3n_{d(ave)}\Delta H_{db}}{\Delta A} \tag{4.1}$$

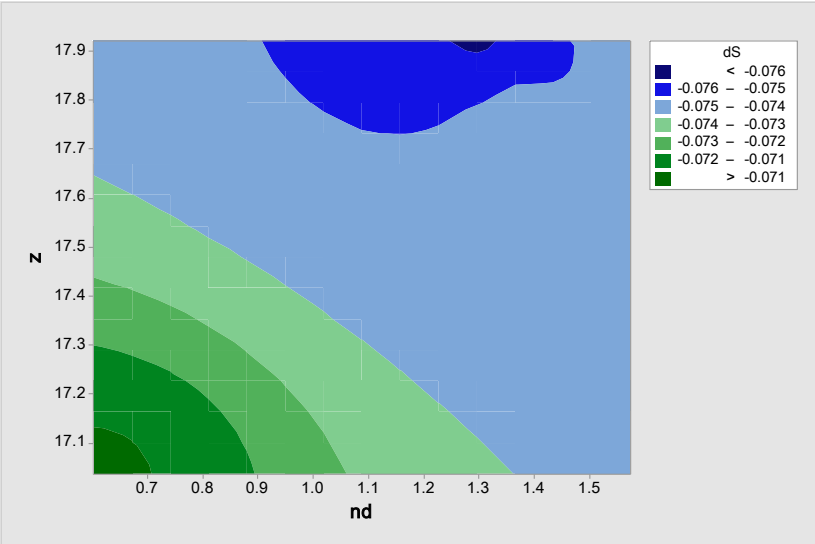
$$b_1 = \Delta S_{TG} = \frac{-\Delta S_f}{\Delta A} + \frac{-3z_{ave}\delta S}{\Delta A} + \frac{-3n_{d(ave)}\Delta S_{db}}{\Delta A} \tag{4.2}$$

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ a_1 และ b_1 ของสมการที่ (2.4) ด้วยวิธีการของ Flingoh and Chong(Flingoh 1992) และจากสมการที่ (3.3) ของน้ำมันพืช 6 ชนิด

Vegetable Oils	z_{ave}	$n_{d,(ave)}$	สมการที่ (3.3)		สมการที่ (2.4)	
			a_1	b_1	a_1	b_1
Rapeseed	17.92	1.30	56.057	-0.0762	55.852	-0.0757
Sunflower	17.86	1.42	55.811	-0.0752	56.085	-0.0759
Soybean	17.77	1.51	55.499	-0.0741	55.484	-0.0740
Palm	17.04	0.60	53.584	-0.0708	53.482	-0.0705
Corn	17.76	1.41	55.522	-0.0744	55.990	-0.0761
Grapeseed	17.85	1.57	55.729	-0.0746	55.269	-0.0733



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของ z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ กับ ΔH_{TG} (dH) และ ΔS_{TG} (dS)

ความสัมพันธ์ค่าสะปอนนิฟิเคชันและค่าไอโอดีนกับแรงตึงผิวของน้ำมันพืช

อย่างไรก็ตามสมการที่ (3.3) ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานจำเป็นต้องทราบข้อมูลองค์ประกอบของกรดไขมัน ซึ่งต้องทำการวิเคราะห์จากเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี (GC) หรือเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยเครื่องมือทั้งคู่มีราคาค่อนข้างสูงและในการใช้งานจำเป็นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ Phankosol et al. (Phankosol, Sudaprasert et al. 2014) ได้เสนอการประมาณค่าสมบัติทางกายภาพที่อุณหภูมิต่างๆ จากค่าสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number; *SN*) และค่าไอโอดีน (Iodine Value; *IV*) ซึ่งค่าทั้งสองได้แสดงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับขนาดโมเลกุลและความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันลักษณะปรากฏของน้ำมันเช่น ค่าซีเทน (Krisnangkura 1986) และค่าความร้อนการเผาไหม้ (Krisnangkura 1991) เป็นต้น โดยทำการแทนสมการที่ (4.3)-(4.5) ในสมการที่ (3.3) เมื่อจัดรูปใหม่ได้ดังสมการที่ (4.6)

$$M = 14z - 2n_d + 46 \tag{4.3}$$

$$SN = \frac{56000}{M} \tag{4.4}$$

$$IV = \frac{25400(n_d)}{M} \tag{4.5}$$

$$\gamma = -9.292 + 0.10846T + \frac{12426.22}{SN} - \frac{35.726T}{SN} + \frac{0.10513(IV)}{SN} + \frac{0.00512T(IV)}{SN} \tag{4.6}$$

จากการคำนวณค่า *SN* และ *IV* ด้วยสมการที่(4.4) และ (4.5) ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่ามีช่วงของค่า *SN* และ *IV* มีค่าเท่ากับ 190.45-197.6 และ 51.69-135.89 ตามลำดับ การประมาณค่าแรงตึงผิวด้วยสมการที่ (4.6) เทียบกับการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า Bias(%), ช่วงค่า AD(%) และ AAD(%) เท่ากับ 0.00%, 0.00-1.02% และ 0.33% ตามลำดับ แรงตึงผิวที่ประมาณด้วยสมการที่ (4.6) มีค่าใกล้เคียงกับการประมาณด้วยสมการที่ (3.3) ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากการปัดเศษทศนิยมจากการแปลงความสัมพันธ์

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (4.6)

Vegetable oils	*SN*	*IV*	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
Rapeseed	190.45	111.65	283.15	34.50	34.46	0.11
			293.15	33.80	33.70	0.30
			303.15	33.00	32.94	0.19
			313.15	32.10	32.18	-0.24
			323.15	31.30	31.42	-0.37
			333.15	30.50	30.65	-0.51
			343.15	29.80	29.89	-0.31
			353.15	29.10	29.13	-0.11
			363.15	28.30	28.37	-0.25
			373.15	27.60	27.61	-0.04
			383.15	26.70	26.85	-0.56
			393.15	26.10	26.09	0.05
			403.15	25.50	25.33	0.68
			413.15	24.70	24.57	0.55
						0.30
Sunflower	191.19	122.18	283.15	34.60	34.50	0.30
			293.15	34.00	33.75	0.75
			303.15	33.10	32.99	0.32
			313.15	32.30	32.24	0.18
			323.15	31.50	31.49	0.03
			333.15	30.70	30.74	-0.13
			343.15	30.00	29.99	0.04
			353.15	29.20	29.24	-0.13
			363.15	28.60	28.49	0.40
			373.15	27.70	27.73	-0.13
			383.15	27.00	26.98	0.06

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (4.6) (ต่อ)

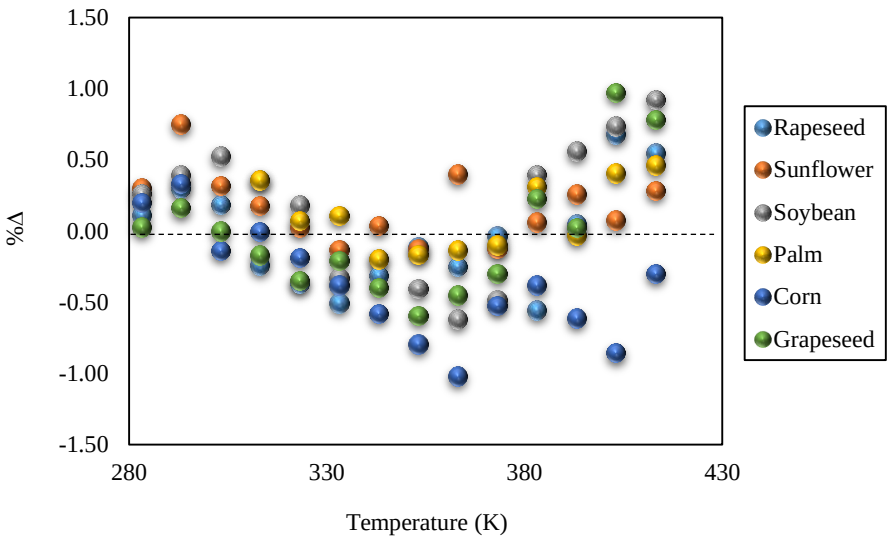
Vegetable oils	*SN*	*IV*	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
			393.15	26.30	26.23	0.26
			403.15	25.50	25.48	0.08
			413.15	24.80	24.73	0.28
						0.22
Soybean	191.98	130.35	283.15	34.60	34.51	0.26
			293.15	33.90	33.77	0.39
			303.15	33.20	33.03	0.52
			313.15	32.40	32.28	0.36
			323.15	31.60	31.54	0.18
			333.15	30.70	30.80	-0.33
			343.15	30.00	30.06	-0.20
			353.15	29.20	29.32	-0.40
			363.15	28.40	28.58	-0.62
			373.15	27.70	27.83	-0.49
			383.15	27.20	27.09	0.39
			393.15	26.50	26.35	0.56
			403.15	25.80	25.61	0.74
			413.15	25.10	24.87	0.92
						0.45
Palm	197.60	51.69	313.15	31.50	31.39	0.36
			323.15	30.70	30.68	0.07
			333.15	30.00	29.97	0.11
			343.15	29.20	29.26	-0.20
			353.15	28.50	28.55	-0.17
			363.15	27.80	27.84	-0.13
			373.15	27.10	27.13	-0.10

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (4.6) (ต่อ)

Vegetable oils	*SN*	*IV*	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
			383.15	26.50	26.42	0.31
			393.15	25.70	25.71	-0.03
			403.15	25.10	25.00	0.41
			413.15	24.40	24.29	0.46
						0.21
Corn	192.09	121.6163	283.15	34.5	34.43	0.20
			293.15	33.8	33.69	0.33
			303.15	32.9	32.94	-0.14
			313.15	32.2	32.20	-0.01
			323.15	31.4	31.46	-0.19
			333.15	30.6	30.72	-0.38
			343.15	29.8	29.97	-0.58
			353.15	29	29.23	-0.80
			363.15	28.2	28.49	-1.02
			373.15	27.6	27.75	-0.53
			383.15	26.9	27.00	-0.38
			393.15	26.1	26.26	-0.61
			403.15	25.3	25.52	-0.86
			413.15	24.7	24.77	-0.30
						0.45
Grapeseed	191.45	135.89	283.15	34.60	34.59	0.03
			293.15	33.90	33.84	0.16
			303.15	33.10	33.10	0.00
			313.15	32.30	32.35	-0.17
			323.15	31.50	31.61	-0.35
			333.15	30.80	30.86	-0.21

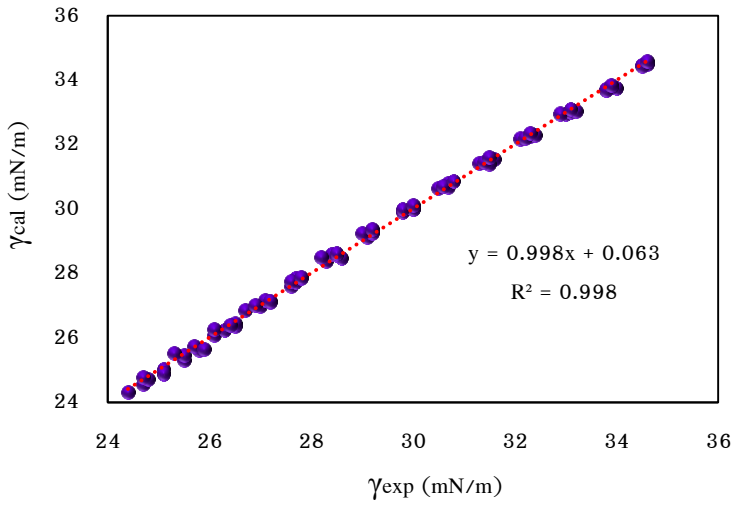
ตารางที่ 4.4 ค่าแรงตึงผิวของน้ำมันพืช (mN m^{-1}) จากการประมาณด้วยสมการที่ (4.6) (ต่อ)

Vegetable oils	*SN*	*IV*	T (K)	γ_{exp}	γ_{cal}	%Δ
			343.15	30.00	30.12	-0.40
			353.15	29.20	29.37	-0.60
			363.15	28.50	28.63	-0.45
			373.15	27.80	27.88	-0.30
			383.15	27.20	27.14	0.23
			393.15	26.40	26.39	0.02
			403.15	25.90	25.65	0.97
			413.15	25.10	24.90	0.78
						0.33



ภาพที่ 4.4 ร้อยละความคลาดเคลื่อน (D(%)) ของแรงตึงผิวจากการประมาณด้วยสมการที่ (4.6) เทียบกับกับผลการทดลองของ Flingoh and Chong(Flingoh 1992) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการวาดกราฟระหว่างแรงตึงผิวที่ประมาณจากสมการที่ (4.6) กับการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ (10-140°C) พบว่าความสมพันธ์กันเป็นเส้นตรงมีค่าจุดตัดแกน ความชัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.063, 0.998, 0.998 และ 0.120 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวจากการประมาณด้วยสมการที่ (4.6) กับผลการทดลองของ Flingoh and Chong(Flingoh 1992)ที่ช่วงอุณหภูมิ 10-140°C

ผลของค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงตึงผิว

เพื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงตึงผิวเทียบกับค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ โดยทำการอนุพันธ์สมการที่ (3.3) เทียบกับค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ ได้ดังสมการที่ (4.7) และ (4.8) ตามลำดับ

$$\left(\frac{d\gamma}{dz_{ave}}\right)_{n_{d,(ave)},T} = 3.1064 - 0.00893T \tag{4.7}$$

$$\left(\frac{d\gamma}{dn_{d,(ave)}}\right)_{z_{ave},T} = -0.399 + 0.0036T \tag{4.8}$$

จากสมการที่ (4.7) อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงตึงผิวเทียบกับ z_{ave} พบว่าเมื่อผลของ z_{ave} ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อแรงตึงผิวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีการลดลงของค่าแรงตึงผิวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.00893 (mN/m)·(Carbon numbers ·K)$^{-1}$ จนถึงที่อุณหภูมิ 347.86 K ทำให้สมการที่ (4.7) มีค่าเท่ากับศูนย์แสดงให้เห็นถึงความยาวของโมเลกุลที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงแรงตึงผิวไม่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 347.86 K ผลของ z_{ave} ที่เพิ่มขึ้นส่งผลแรงตึงผิวมีค่าลดลง เนื่องจากการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลของ TG มีพลังงานจลน์สูงขึ้นและมากพอที่ทำให้โมกุลของ TG ขนาดใหญ่ห่างกันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทำให้ผลเนื่องจากแรงยึดติด (Cohesive Forces) ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลงจากระยะระหว่างโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาผลของ $n_{d(ave)}$ ที่ส่งผลต่อค่าแรงตึงผิวตามสมการที่ (4.8) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ $n_{d(ave)}$ ที่อุณหภูมิใดๆ ส่งผลให้แรงตึงผิวเพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของแรงตึงผิวของน้ำมันพืชกับตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของแรงตึงผิวของน้ำมันพืช และการโยงสัมพันธ์แรงตึงผิวของน้ำมันพืชกับพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ ต่างๆ สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

สรุปผลการศึกษา

จากการโยงสัมพันธ์แรงตึงผิวของน้ำมันพืชกับโครงสร้างทางเคมีหรือองค์ประกอบของกรดไขมัน จากกฎควบรวมพลังงานอิสระของมาร์ติน โดยวิธีที่นำเสนอสามารถทำนายแรงตึงผิวของน้ำมันพืชได้โดยค่าจำนวนอะตอมคาร์บอนเฉลี่ย (z_{ave}) และจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย ($n_{d(ave)}$) หรือ ค่าสะปอนนิฟิเคชัน(*SN*) และค่าไอโอดีน (*IV*) ซึ่งให้ความแม่นยำเช่นเดียวกัน ความสัมพันธ์ที่นำเสนอมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาปรับปรุงการทำนายสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชในอนาคตและสมบัติอื่นๆที่คล้ายคลึงกัน สมการที่ใช้ในการทำนายแรงตึงผิวสรุปได้ดังนี้

$$\gamma = 0.901 + 3.1064 z_{ave} + 0.07915T - 0.00893 z_{ave}T - 0.399 n_{d,(ave)} + 0.0036 n_{d,(ave)}T \quad (5.1)$$

$$\gamma = -9.292 + 0.10846T + \frac{12426.22}{SN} - \frac{35.726T}{SN} + \frac{0.10513(IV)}{SN} + \frac{0.00512T(IV)}{SN} \quad (5.2)$$

การใช้งานสมการนอกช่วงอุณหภูมิ 10-140°C อาจทำให้ความแม่นยำต่ำลงได้

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มการศึกษากลุ่มของกรดไขมันที่มีโครงสร้างพิเศษที่ส่งผลต่อแรงตึงผิวและเชื่อมโยงกับกฎควบรวมพลังงานอิสระของมาร์ติน เช่นในน้ำมันละหุ่ง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

Allen, C. W., K. C. Watts and R. Ackman (1999). "Predicting the surface tension of biodiesel fuels from their fatty acid composition." Journal of the American Oil Chemists' Society **76**(3): 317-323.

Chanida Sansa-ard, K. A., Supathra Lilitchan, and Kanit Krisnangkura (2011). "Free Energy Contribution to Gas Chromatographic Separation of Petroselinate and Oleate Esters." Chromatography Research International **2011**: 9 pages.

Chunxi, L., W. Wenchuan and W. Zihao (2000). "A surface tension model for liquid mixtures based on the Wilson equation." Fluid Phase Equilibria **175**(1–2): 185-196.

Division, B., F. o. H. a. Wellbeing and S. H. University. "Gas chromatography." from http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/chrom/gaschrm.htm.

Eder, K. (1995). "Gas Chromatographic analysis of fatty acid methl esters." Journal of Chromatography B. **671**: 113-131.

Ejim, C. E., B. A. Fleck and A. Amirfazli (2007). "Analytical study for atomization of biodiesels and their blends in a typical injector: Surface tension and viscosity effects." Fuel **86**(10–11): 1534-1544.

Escobedo, J. and G. A. Mansoori (1996). "Surface tension prediction for pure fluids." AIChE Journal **42**(5): 1425-1433.

Esteban, B., J.-R. Riba, G. Baquero, R. Puig and A. Rius (2012). "Characterization of the surface tension of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines." Fuel **102**(0): 231-238.

Flingoh, C. H. O. H., Chong, C.L. (1992). "Surface tensions of palm oil, palm olein and palm stearin." ELAEIS **4**(1): 27-31.

Guggenheim, E. A. (1945). "The Principle of Corresponding States." The Journal of Chemical Physics **13**(7): 253-261.

Halvorsen, J. D., W. C. Mammel, Jr. and L. D. Clements (1993). "Density estimation for fatty acids and vegetable oils based on their fatty acid composition." J. Am. Oil Chem. Soc. **70**(9): 875-880.

Issariyakul, T. and A. K. Dalai (2014). "Biodiesel from vegetable oils." Renewable and Sustainble Energy Reviews **31**: 446-471.

Krisnangkura, K. (1986). "A simple method for estimation of cetane index of vegetable oil methyl esters." Journal of the American Oil Chemists Society **63**(4): 552-553.

Krisnangkura, K. (1991). "Estimation of heat of combustion of triglycerides and fatty acid methyl esters." Journal of the American Oil Chemists Society **68**(1): 56-58.

Macleod, D. B. (1923). "On a relation between surface tension and density." Transactions of the Faraday Society **19**(July): 38-41.

Martin, A. J. P. (1950). "Partition Chromatography." Annual Review of Biochemistry **19**(1): 517-542.

Phankosol, S., K. Sudaprasert, S. Lilitchan, K. Aryusuk and K. Krisnangkura (2014). "Estimation of Density of Biodiesel." Energy & Fuels **28**(7): 4633-4641.

Phankosol, S., K. Sudaprasert, S. Lilitchan, K. Aryusuk and K. Krisnangkura (2014). "Estimation of surface tension of fatty acid methyl ester and biodiesel at different temperatures." Fuel **126**(0): 162-168.

Sugden, S. (1924). "VI.-The variation of surface tension with temperature and some related functions." Journal of the Chemical Society, Transactions **125**(0): 32-41.

Wang, X., Z. Huang, O. A. Kuti, W. Zhang and K. Nishida (2010). "Experimental and analytical study on biodiesel and diesel spray characteristics under ultra-high injection pressure." International Journal of Heat and Fluid Flow **31**(4): 659-666.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณจำนวนอะตอมคาร์บอนเฉลี่ย (z_{ave}) และจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย ($n_{d(ave)}$)

ตารางที่ ก องค์ประกอบของกรดไขมัน

C z:n_d	z	n_d	Mole Fraction (x_i)	$z\ x_i$	$n_d\ x_i$
Caprate, C10:0	10	0	0.0000	0.00	0.00
Laurate, C12:0	12	0	0.0000	0.00	0.00
Myristate, C14:0	14	0	0.0000	0.00	0.00
Palmitate, C16:0	16	0	0.1754	2.81	0.00
Palmitoleate, C16:1	16	1	0.0000	0.00	0.00
Stearate, C18:0	18	0	0.0375	0.68	0.00
Oleate, C18:1	18	1	0.2848	5.13	0.28
Linoleate, C18:2	18	2	0.5023	9.04	1.00
Linolenate, C18:3	18	3	0.0000	0.00	0.00
Arachidate, C20:0	20	0	0.0000	0.00	0.00
Gadoleate, C20:1	20	1	0.0000	0.00	0.00
Behenate, C22:0	22	0	0.0000	0.00	0.00
Erucate, C22:1	22	1	0.0000	0.00	0.00
Lignocerate, C24:0	24	0	0.0000	0.00	0.00
		$\sum$	1.0000	17.65	1.29

จากตารางที่ ก พบว่าค่าจำนวนอะตอมคาร์บอนเฉลี่ย (z_{ave}) และจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย ($n_{d(ave)}$) เท่ากับ 17.65 และ 1.29 ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณค่าสะปอนนิฟิเคชัน

การคำนวณค่าสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number: *SN*)

$$SN = \sum SN_i (x_i)$$

โดย

$$SN_i = \frac{56(1000)}{MW_i}$$

เมื่อ SN_i = ค่า *SN* ของกรดไขมัน *i* ที่เป็นองค์ประกอบในลิปิด

MW_i = น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมัน *i*

x_i = สัดส่วนของกรดไขมัน *i* ที่มีอยู่ในองค์ประกอบของน้ำมัน

ตารางที่ ข ผลการคำนวณค่าสะปอนนิฟิเคชัน

C $z{:}n_d$	MW_i	SN_i	Mole Fraction (x_i)	$SN_i\ x_i$
Caprate, C10:0	186.2928	301	0.0000	0.00
Laurate, C12:0	214.3464	261	0.0000	0.00
Myristate, C14:0	242.4000	231	0.0000	0.00
Palmitate, C16:0	270.4536	207	0.1754	36.32
Palmitoleate, C16:1	268.4376	209	0.0000	0.00
Stearate, C18:0	298.5072	188	0.0375	7.04
Oleate, C18:1	296.4912	189	0.2848	53.79
Linoleate, C18:2	294.4752	190	0.5023	95.52
Linolenate, C18:3	292.4592	191	0.0000	0.00
Arachidate, C20:0	326.5608	171	0.0000	0.00
Gadoleate, C20:1	324.5448	173	0.0000	0.00
Behenate, C22:0	354.6144	158	0.0000	0.00
Erucate, C22:1	352.5984	159	0.0000	0.00
Lignocerate, C24:0	382.6680	146	0.0000	0.00
		$\sum$	1.0000	192.67

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณค่าไอโอดีน

การคำนวณค่าไอโอดีน (Iodine Value: *IV*) **ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์**

$$IV = \sum IV_i (x_i)$$

โดย $$IV = \frac{(126.9x2)x100x\text{ จำนวนพันธะคู่}}{MW}$$

เมื่อ IV_i = ค่า IV ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในลิปิด

MW = น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์

x_i = สัดส่วนของกรดไขมัน X ที่มีอยู่ในองค์ประกอบของลิปิด

ตารางที่ ค ผลการคำนวณค่าไอโอดีน

C z:n_d	MW_i	IV_i	Mole Fraction (x_i)	$IV_i\ x_i$
Caprate, C10:0	186.2928	0.00	0.0000	0.00
Laurate, C12:0	214.3464	0.00	0.0000	0.00
Myristate, C14:0	242.4000	0.00	0.0000	0.00
Palmitate, C16:0	270.4536	0.00	0.1754	0.00
Palmitoleate, C16:1	268.4376	94.55	0.0000	0.00
Stearate, C18:0	298.5072	0.00	0.0375	0.00
Oleate, C18:1	296.4912	85.60	0.2848	0.24
Linoleate, C18:2	294.4752	172.37	0.5023	0.87
Linolenate, C18:3	292.4592	260.34	0.0000	0.00
Arachidate, C20:0	326.5608	0.00	0.0000	0.00
Gadoleate, C20:1	324.5448	78.20	0.0000	0.00
Behenate, C22:0	354.6144	0.00	0.0000	0.00
Erucate, C22:1	352.5984	71.98	0.0000	0.00
Lignocerate, C24:0	382.6680	0.00	0.0000	0.00
		$\sum$	1.0000	110.96

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงตึงผิว

1. การคำนวณแรงตึงผิวด้วยสมการที่ (3.3) โดยใช้ค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$

จากภาคผนวก ก ค่า z_{ave} = 17.65

$n_{d(ave)}$ =1.29

γ = 59.1249-0.3683(17.65)-0.1092(303.15)+0.0019(17.65)(303.15)+3.676(1.29)
-0.00893(1.29)(303.15)
= 30.94 mN/m

ร้อยละความคลาดเคลื่อน (D)

$$D = \frac{(30.89-30.94)}{(30.89)}100\% = -0.16\%$$

2. การคำนวณแรงตึงผิวด้วยสมการที่ (4.6)

จากภาคผนวก ข และ ค ค่า *SN* = 192.67

IV = 110.96

$$\gamma = 61 - \frac{1472}{192.67} - 0.117(303.15) + \frac{7.6(303.15)}{192.67} + \frac{8(110.96)}{192.67} - \frac{0.019T(110.96)}{192.67}$$

$$\gamma = 30.96 \mathrm{mN/m}$$

ร้อยละความคลาดเคลื่อน (D)

$$D = \frac{(30.89-30.96)}{(30.89)}100\% = -0.22\%$$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นายสุริยา พันธ์โกศล

วัน เดือน ปีเกิด 31 ธันวาคม 2529

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนยโสธรพิทยาคม ปีการศึกษา 2548
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2553
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2555
ระดับปริญญาเอก	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2556

ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย มูลนิธิการศึกษาเชล 100 ปี
ทุนวิจัย วช. ประจำปีงบประมาณ 2559
ทุนวิจัยนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2559

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

วารสารในนานาชาติ

1. Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K. and Krisnangkura, K., 2015, “An empirical equation for estimation of kinematic viscosity of fatty acid methyl ester and biodiesel”, Journal of the American Oil Chemists Society, Vol. 92, No. 7, pp. 1051-1061. (IF:1.602)

2. Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K. and Krisnangkura, K., “Estimation of Density of Biodiesel”, Energy & Fuel. Vol. 28, No. 7, pp. 4633-4641. (IF:2.733)
3. Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K. and Krisnangkura, K., 2014, “Estimation of Surface Tension of Fatty Acid Methyl Ester and Biodiesel at Different Temperatures”, Fuel, Vol. 126, pp. 162-168. (IF:3.406)

วารสารในประเทศ

1. สุริยา พันธ์โกศล และคณิต กฤษณังกูร, 2558, “การประมาณแรงตึงผิวของไบโอดีเซลจากค่าสะปอนนิฟิเคชันและค่าไอโอดีน”, วิจัยพลังงาน, สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, หน้า 57-68. (TCI 2)
2. สุริยา พันธ์โกศล ณิชาภัส สิทธิศุข และติณณภพ จุ่มอิ่น, 2558, “แนวทางเชิงประจักษ์สาหรับการประมาณค่าความหนาแน่นและความหนืดของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่างๆ” 2015วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, กรุงเทพมหานคร, หน้า1-7.
3. นพนันต์ เมืองเหนือ ติณณภพ จุมอิ่ม และสุริยา พันธ์โกศล, 2558, “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับพิสูจน์เอกลักษณ์ของเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี และการคำนวณสมบัติเชื้อเพลิงของเอทิลไบโอดีเซล”, ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, กรุงเทพมหานคร, หน้า 136-143. (TCI 2)
4. นฏกร สิริมงคลกาล สุริยา พันธ์โกศล เก้ากันยา สุดประเสริฐ กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร, 2558, “การประมาณค่าความดันไอของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ”, ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, กรุงเทพมหานคร, หน้า 127-135. (TCI 2)
5. สุริยา พันธ์โกศล ติณณภพ จุ่มอิ่น และคณิต กฤษณังกูร, 2559, “การประมาณแรงตึงผิวของน้ำมันพืชด้วยกฎควบรวมพลังงานอิสระ”, วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 12 หน้า (ตอบรับ) (TCI 1)

5. สุริยา พันธ์โกศล ติณณภพ จุ่มอิ่น และคณิต กฤษณังกูร, 2559, “การประมาณแรงตึงผิวของน้ำมันพืชด้วยกฎควบรวมพลังงานอิสระ”, วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 12 หน้า (ตอบรับ) (TCI 1)
6. นันทชัย ปัจจุบัน สุริยา พันธ์โกศล* เก้ากันยา สุดประเสริฐ กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร, 2559, “ความสัมพันธ์ความหนืดและความหนาแน่นของเอทิลไบโอดีเซลจากกฎควบรวมพลังงานอิสระ”, วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 16 หน้า (ตอบรับ) (TCI 1)

รายงานการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ

1. Natakron Sirimongkolgal, Kaokanya Sudapraser and Suriya Phankosol, “Correlation of vapor pressure of biodiesel and its saponification number and iodine value at various temperatures” The 1st Industrial Technology International Research Conference 2015, 21-22 July 2015, Phrakhon Rajabhat University, Bangkok.
2. Nantachai Patjuban, Kaokanya Sudapraser and Suriya Phankosol, “Predicting dynamic viscosity of ethyl biodiesels from its saponification numbers and iodine values”, The 1st Industrial Technology International Research Conference 2015, 21-22 July 2015, Phrakhon Rajabhat University, Bangkok.
3. Phankosol, S. and Krisnangkura, K., 2015, “Estimation Density and Viscosity of Ethyl-Biodiesel from Saponification Number and Iodine Values”, The 10th Annual Siam Physics Congress 2015: SPC2015, May 20-22, Sheraton Grande Sukhumvit Hotel, Bangkok, Thailand.
4. Muangnuea, N., Sudaprasert, K., Chum-in, T., Saengthip, S. and Phankosol, S., 2015, “Development of a Computer Program for Calculation Physical and Chemical Properties of Biodiesel Via Ethanolysis”, The 8th Silpakorn University International Conference on Academic Research and Creative Arts: Integration of Art and Science, February 12-13, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand, pp. 168.
5. Saengthip, S., Sri-Ngernyuang, L., Chum-in, T., Muangnuea, N. and Phankosol, S., 2015, “Development of a Computer Program for Gas Chromatographic Identification of Alkyl Esters”, The 8th Silpakorn University International Conference on Academic

Research and Creative Arts: Integration of Art and Science, February 12-13, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand, pp. 169.

6. Phankosol, S. and Krisnangkura, K., 2015, “Estimation density of biodiesel produced by ethanolysis”, Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015), January 21-23, Amari Watergate Hotel, Bangkok, Thailand, pp. 601-603.
7. Phankosol, S. and Krisnangkura, K., 2014, “Estimation kinematic viscosity of biodiesel produced by ethanolysis”, 6th International Science, Social Sciences, Engineering and Energy Conference, December 17-19, Prajaktra Design Hotel, UdonThani, Thailand.

รายงานการประชุมทางวิชาการในประเทศ

1. สุริยา พันธ์โกศล และติณณภพ จุ่มอิ่น, “แนวทางเชิงประจักษ์สำหรับการประมาณค่าความหนาแน่นและความหนืดของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ”, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1 เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ, 11 กรกฎาคม 2558, วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, กรุงเทพฯ
2. ศุภกิจ บุตรน้ำเพ็ชร, ปวัฒวงศ์ บำรุงขันท์ และสุริยา พันธ์โกศล, “การศึกษาสมรรถณะการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพื่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเธอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว”, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1 เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ, 11 กรกฎาคม 2558, วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, กรุงเทพฯ
3. ศิริกาญ แซ่อื้อ, ติณณภพ จุ่มอิ่น, อำนวย เดชชัยศรี และสุริยา พันธ์โกศล, “การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการประมาณค่าสมบัติเชิงเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล”, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1 เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ, 11 กรกฎาคม 2558, วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, กรุงเทพฯ
4. ชนัญชิดา สายชุมดี และสุริยา พันธ์โกศล, “การจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในเขตจังหวัดสมุทรสาคร” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11, 17-19 มิถุนายน 2558, โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ, ชลบุรี

5. นฏกร สิริมงคลกาล, สุริยา พันธ์โกศล, เก้ากันยา สุดประเสริฐ, กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร, “การประมาณค่าความดันไอของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11, 17-19 มิถุนายน 2558, โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ, ชลบุรี
6. นันทชัย ปัจจุบัน, สุริยา พันธ์โกศล, เก้ากันยา สุดประเสริฐ, กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร, “การประมาณความหนืดและความหนาแน่นของเอทิลไบโอดีเซล” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11, 17-19 มิถุนายน 2558, โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ, ชลบุรี
7. ติณณภพ จุ่มอิ่น, นันทรัตน์ สุขปัญญา, อริย์พงศ์ อารีเวชศรีมงคล และสุริยา พันธ์โกศล, “การพัฒนาโปรกรมสำหรับการจำลองและระบุเอกลักษณ์ของกรดไขมันที่มีแอลกอฮอล์สายยาวเป็นองค์ประกอบ”, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3, 10 พฤษภาคม 2558, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียนม, ชลบุรี, หน้า 93-99
8. นันทชัย ปัจจุบัน, สุริยา พันธ์โกศล, เก้ากันยา สุดประเสริฐ, กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร, “การทำนายค่าความดันไอของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ”, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3, 10 พฤษภาคม 2558, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียนม, ชลบุรี, หน้า 100-106
9. ศุภกิจ บุตรน้ำเพ็ชร, ปวัฒวงศ์ บำรุงขันท์ และสุริยา พันธ์โกศล, “การศึกษาระบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพื่อการผลิตไฟฟ้า ด้วยเธอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว”, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3, 10 พฤษภาคม 2558, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียนม, ชลบุรี, หน้า 119-124
10. ประเสริฐศักดิ์ เดี้ยปิย์, ยุวดี ปังสุข, รุจิกาญจน์ ปองดอกฟ้า และสุริยา พันธ์โกศล, “การปรบัปรุงคุณภาพน้ำดิบสำหรับบริโภคในภาวะฉุกเฉิน”, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3, 10 พฤษภาคม 2558, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียนม, ชลบุรี, หน้า 316
11. อาทิตย์ คงราษี, อัศวิน ฉายสกุล, ปฐม เริงหิรัญ และสุริยา พันธ์โกศล, “การจัดสรรพนักงานสำรวจอุบัติเหตุเพื่อปรับปรุงการให้บริการกรณีศึกษา” ”, การประชุมวิชาการและนำเสนอ

ผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3, 10 พฤษภาคม 2558, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียนม, ชลบุรี, หน้า 328

12. พรีเวทย์ เศรษฐภัทรทวี, รพิชา กรุดยิ้ม, มโนสิทธิ์ เหรารักษา และสุริยา พันธ์โกศล, "การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการทำนายอาการเสียของแอร์",การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3, 10 พฤษภาคม 2558, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียนม, ชลบุรี, หน้า 347
13. Sitthisuk, N., Sudaprasert, K., Phankosol, S., Aryusuk, K. and Krisnangkura, K., 2014, "Correlation of Biodiesel Viscosity to Its Surface Tension" The 40th Congress on Science and Technology of Thailand, December 2-4, Hotel Pullman Khon Kaen Raja Orchid, Khon Kaen, pp. 1035-1014
14. Kampasri, J., Sudaprasert, K., Phankosol, S., Aryusuk, K. and Krisnangkura, K., 2014, "Thermodynamic Relationship Between Dynamic and Kinematic Viscosities of Biodiesel" The 40th Congress on Science and Technology of Thailand, December 2-4, Hotel Pullman Khon Kaen Raja Orchid, Khon Kaen, pp. 1035-1014.
15. Chum-in, T., Sudaprasert, K., Phankosol, S., Aryusuk, K., and Krisnangkura, K., 2014, "Development of Computer Program for Calculation of Biodiesel Properties", The 40th Congress on Science and Technology of Thailand, December 2-4, Hotel Pullman Khon Kaen Raja Orchid, Khon Kaen, pp. 975-982.
16. Chum-in, T., Sudaprasert, K., Phankosol, S., Aryusuk, K., and Krisnangkura, K., 2014, "Development of Computer Program for Calculation of Biodiesel Properties", The 40th Congress on Science and Technology of Thailand, December 2-4, Hotel Pullman Khon Kaen Raja Orchid, Khon Kaen, pp. 975-982.
17. Pantong, N., Phankosol, S., Sudaprasert, K. and Krisnangkura,K., 2012, "Kinetic of Trans-ethylation of Palm Oil in a Continuous Reactor", The 38th Congress on Science and Technology of Thailand, October 17-19, The Empress Hotel, Chiang Mai, pp. 114.
18. Phankosol, S., Pantong, N., Sudaprasert, K. and Krisnangkura, K., 2012, "Kinetic of Transmethylation of Palm Oil in a Continuous Reactor", The 38th Congress on

Science and Technology of Thailand, October 17-19, The Empress Hotel, Chiang Mai , pp. 114.