

ผลของมอลโตเดกทรีนเอสเทอร์ร่วมกับ Tween 80  
ต่อสมบัติเชิงรีโอโลยีและความคงตัวของอิมัลชันเครื่องดื่ม  
Effect of Combination of Esterified Maltodextrin  
and Tween 80 on Rheological Properties  
and Stability of Emulsion Drink

ศันสนีย์ อุดมระติ\* และวิภา สุโรจนเมธากุล

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

สุภัคชนม์ คล่องดี

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

นพรัตน์ ปราบสงบ

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Sunsanee Udomrati\* and Vipa Surojanametakul

Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Supakchon Klongdee

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Nopparat Prabsangob

Faculty of Product Development, Department of Agro-Industry, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

---

## บทคัดย่อ

การใช่มอลโตเดกทรีน (DE16) และมอลโตเดกทรีนปาล์มิเตท (DE16\_P) ที่ความระดับเข้มข้น 2.5-10 % (w/w) ทำให้อิมัลชันเครื่องดื่มมีความหนืด (0.8-1.8 mPa.s) ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำส้มทางการค้า (0.9-1.7

mPa.s) อิมัลชันเครื่องดื่มที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P ให้เม็ดไขมันที่มีขนาดเริ่มต้นใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ Tween 80 เพียงอย่างเดียว หรือเมื่อใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 เนื่องจาก DE16\_P สามารถดูดซับอยู่ที่พื้นผิวเม็ดไขมันทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น และขนาดเม็ดไขมันมีแนวโน้มเล็กลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเนื่องจากในสถานะของอิมัลชันเครื่องดื่มที่เป็นกรด (pH ประมาณ 3.8) DE16\_P บางส่วนที่ห่อหุ้มเม็ดไขมันอาจหลุดออกทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง ขณะที่การใช้ Tween 80 เพียงอย่างเดียวและการใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 อนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนในระหว่างการเก็บรักษานาน 7 วัน ความเข้มข้นที่เริ่มทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation) ของเม็ดไขมัน (critical flocculation concentration, CFC) ของ DE16 และ DE16\_P คือ 2.8 และ 3.6 % (w/w) ตามลำดับ จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงรีโอโลยี (rheological properties) พบว่าอิมัลชันเครื่องดื่มที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P ในทุกความเข้มข้น แสดงพฤติกรรมการไหลแบบนิวโทเนียนตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 7 วัน แม้ว่าเม็ดไขมันเกิดการเกาะกลุ่มที่ระดับความเข้มข้นของ DE16\_P 5, 7.5 และ 10 % (w/w) ก็ตาม เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันอย่างหลวม ๆ ทำให้พฤติกรรมการไหลไม่เปลี่ยนแปลง DE16\_P จึงช่วยชะลอการหลอมรวมตัวของเม็ดไขมัน (coalescence) และช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ดีกว่าระบบที่ใช้ Tween 80 เพียงอย่างเดียว หรือ Tween 80 ร่วมกับ DE16 ดังนั้นการใช้ DE16\_P ช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันและยังช่วยปรับลักษณะความหนืดและเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์อิมัลชันเครื่องดื่ม

**คำสำคัญ :** ความคงตัวของอิมัลชัน; ทวิน 80; มอลโตเดกทรีน; มอลโตเดกทรีนเอสเทอร์; รีโอโลยี; อิมัลชัน

## Abstract

The present research applied esterified maltodextrin palmitate (EMP) as emulsifier and stabilizer in emulsion drink (oil-in-water emulsion). The rheological properties and stability of combination of EMP and Tween 80-stabilized emulsion drink were investigated, compared to emulsion stabilized by sole Tween 80 and combined-native maltodextrin and Tween 80. Viscosities of emulsions containing EMP or native maltodextrin with concentration of 2.5-10 % (w/w) were 0.8-1.8 mPa.s, which closed to viscosities of commercial opaque orange juices (0.9-1.7 mPa.s). A combination of EMP and Tween 80 expressed the largest oil droplets because EMP was adsorbed at the oil droplet surface as outer layer stabilization film and this combination was able to inhibit coalescence more efficiently than the emulsion drink stabilized by sole Tween 80 or combination of native maltodextrin and Tween 80 during storage of 7 days. In emulsion drink system, EMP synergized with Tween 80 could enhance stability and improve the textural characteristics of the emulsion.

**Keywords:** emulsion stability; Tween 80; maltodextrin; esterified maltodextrin; rheology; emulsion

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารมีการนำมอลโตเดกทริน ( $(C_6H_{10}O_5)_n$ ) ไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารอย่างกว้างขวาง เนื่องจากราคาถูกและไม่เป็นพิษ (non-toxicity) โดยมอลโตเดกทรินที่ผลิตจากสตาρχ้าวโพตมันฝรั่งและข้าว ได้รับการรับรองโดยองค์การอาหารและยาว่าสามารถใช้เติมลงไปในการอาหารอย่างปลอดภัย (generally recognized as safe, GRAS) มอลโตเดกทรินได้มาจากการย่อยแอมิโลสและแอมิโลเพกทินในแป้งด้วยกรดหรือเอนไซม์เพื่อให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง โมเลกุลมอลโตเดกทรินประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสเรียงต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha(1,4)$  ไกลโคซิดิก และมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (dextrose equivalent, DE) น้อยกว่า 20 โมเลกุล มอลโตเดกทรินประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic part) เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงไม่มี surface active ระหว่างผิวของน้ำมันและน้ำในระบบอิมัลชัน มอลโตเดกทรินจึงทำหน้าที่เป็นเพียงสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) โดยทำหน้าที่เพิ่มความหนืดให้กับระบบอิมัลชัน นักวิจัยจึงต้องการเพิ่มสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ให้กับมอลโตเดกทรินโดยการเพิ่มหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) จากโมเลกุลของกรดไขมันลงบนสายโซ่หลัก (backbone) ของโมเลกุลมอลโตเดกทรินโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มอลโตเดกทรินเอสเทอร์มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ (amphiphilic molecule) ทำให้มีสมบัติในการเป็นทั้งอิมัลซิไฟเออร์และสารเพิ่มความคงตัว มอลโตเดกทรินเอสเทอร์เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ (non-ionic molecule) ดังนั้นความเป็นกรด-ด่างในระบบอิมัลชันจึงไม่มีผลต่อสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งเป็นข้อดีจึงสามารถใช้มอลโตเดกทรินเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลาย

Udomrati และ Gohtani [1,2] Udomrati

และคณะ [3] ศึกษาและสังเคราะห์โมเลกุลมอลโตเดกทรินเอสเทอร์จากมอลโตเดกทรินที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส 16 (DE16) และ 9 (DE9) และโซโกลิโอแลกคาไรค์เอสเทอร์ โดยการเติมหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic part) บนสายโซ่หลักของโมเลกุลมอลโตเดกทรินและโซโกลิโอแลกคาไรค์ด้วยวิธีเอสเทอร์ริฟิเคชันร่วมกับกรดไขมัน 3 ชนิด คือ กรดไขมันเคะโนอิก (C-10) กรดไขมันลอริก (C-12) และกรดไขมันปาล์มิติก (C-16) โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่ามอลโตเดกทรินเอสเทอร์และโซโกลิโอแลกคาไรค์เอสเทอร์เหล่านี้แสดงสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์อย่างชัดเจน คือ สามารถลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ และสามารถรักษาความคงตัวของอิมัลชัน โดยส่วนที่ชอบไขมันของโมเลกุลโซโกลิโอแลกคาไรค์เอสเทอร์เหล่านี้ดูดซับที่บริเวณผิวเม็ดไขมัน และล้อมรอบเม็ดไขมันเป็นการป้องกันการรวมตัวของเม็ดไขมัน [4-7] โดยสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโมเลกุลโซโกลิโอแลกคาไรค์เอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อกรดไขมันที่เข้าทำปฏิกิริยามีสายยาวขึ้น และ/หรือ ค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, DS) เพิ่มขึ้น ดังนั้นโซโกลิโอแลกคาไรค์เอสเทอร์น่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายเพื่อเพิ่มความคงตัวของอิมัลชัน อีกทั้งยังสามารถใช้ปรับลักษณะความหนืดและเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์ให้เป็นตามที่ต้องการ แต่เนื่องจากในระบบอิมัลชันอาหารอาจมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์มากกว่าหนึ่งตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของมอลโตเดกทรินเอสเทอร์ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ตัวอื่นคือ Tween 80 ในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเนื่องจาก Tween 80 เป็นอิมัลซิไฟเออร์แบบไม่มีประจุ (non-ionic surfactant) ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย

การทำให้เกิดอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเป็นการเพิ่มความชุ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์

ดึงดูดใจผู้บริโภคเนื่องจากผู้บริโภครู้สึกว่าเป็นน้ำผลไม้เข้มข้น ส่วนผสมที่เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว (hydrophobic component) ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเหล่านี้ ได้แก่ สารทำให้ขุ่น (oil clouding agent) สารกลั่นรส วิตามินที่ละลายในไขมัน และวัตถุดิบเสียที่ละลายในไขมัน [8] ส่วนผสมเหล่านี้ไม่สามารถกระจายตัวอย่างคงตัวในวัฏภาคน้ำ โดยส่วนผสมเหล่านี้เกิดการรวมตัวและแยกชั้นอยู่ด้านบนของผลิตภัณฑ์ [9] จึงจำเป็นต้องใช้อิมัลซิไฟเออร์เพื่อช่วยทำให้สารเหล่านี้สามารถกระจายตัวและมีความคงตัวในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของมอลโตเดกทรินเอสเทอร์ร่วมกับ Tween 80 เพื่อใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชันเครื่องดื่ม โดยตรวจสอบความคงตัวและสมบัติเชิงรีโอโลยี (rheological property) ของอิมัลชัน งานวิจัยนี้ทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงรีโอโลยีและความคงตัวของอิมัลชันเครื่องดื่ม เนื่องจากการเสถียรภาพของอิมัลชัน เช่น การเกาะกลุ่ม (flocculation) และการหลอมรวมตัว (coalescence) ของเม็ดไขมันสามารถอธิบายด้วยสมบัติเชิงรีโอโลยี [10,11] ทำให้สามารถทำนายความคงตัวและควบคุมคุณภาพของอิมัลชันเครื่องดื่มในระหว่างการเก็บรักษา

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัตถุดิบ

มอลโตเดกทรินจากมันสำปะหลังที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส 16 (DE16) เอนไซม์ไลเปสจาก *Thermomyces lanuginosus* จากบริษัท Sigma-Aldrich ความเข้มข้นของเอนไซม์ 2 % (w/v) และมีความการทำงานของเอนไซม์ (enzyme activity) ประมาณ 100,000 U/g น้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ได้เติมสารกันหืน (antioxidant) และวัตถุเจือปนในอาหารได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท มรกต อินดัสเทรียล จำกัด

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเคมีที่ใช้สำหรับงานวิเคราะห์ (analytical grade)

### 2.2 การเตรียมมอลโตเดกทรินปาล์มิติก

การดัดแปรมอลโตเดกทรินเอสเทอร์ทำตามวิธีของ Udomrati และคณะ [1] มอลโตเดกทริน (DE16) ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันร่วมกับกรดไขมันปาล์มิติก (C-16) โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนมอลโตเดกทรินและกรดปาล์มิติก 1 : 0.5 (mole of glucose unit/ mole of palmitic acid) ชั่งมอลโตเดกทริน 1 g ละลายใน dimethyl sulfoxide (DMSO) 2 mL กวนด้วย magnetic stirrer จนมอลโตเดกทรินละลายหมด เติมกรดปาล์มิติก กวนต่อด้วย magnetic stirrer จนเป็นเนื้อเดียวกัน เติมเอนไซม์ไลเปส 350  $\mu$ L บ่มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C นาน 4 ชั่วโมง โดยกวนตลอดเวลา ตักตะกอนมอลโตเดกทรินเอสเทอร์ด้วยเอทานอล และแยกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm นาน 5 นาที ล้างตะกอนด้วยเอทานอล 3 ครั้ง ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C นานข้ามคืน

### 2.3 การเตรียมอิมัลชันเครื่องดื่ม

เตรียมสารละลาย Tween 80 ที่มีความเข้มข้น 1.0 % (w/w) ในน้ำปราศจากไอออน (deionized water, DI) และเตรียมอิมัลชันชนิดไขมันในน้ำเข้มข้น (concentrated emulsion) โดยการผสมน้ำมันถั่วเหลือง 20 % (w/w) และสารละลาย Tween 80 ที่ระดับความเข้มข้น 80 % (w/w) โฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ความเร็วสูง (high speed homogenizer) (Ultra-Turrax T25, IKA, Staufen, Germany) ที่ความเร็วรอบ 15,000 rpm นาน 5 นาที แล้วนำอิมัลชันไปโฮโมจิไนซ์ต่อด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์แรงดันสูง (high pressure homogenizer) (APV 2000, SPX, Charlotte NC, USA) ที่ความดัน 750 bar

จำนวน 4 รอบ (cycle)

เตรียมสารละลายมอลโตเดกทริน (DE16) หรือสารแขวนลอยมอลโตเดกทรินปาล์มิเตต (DE16\_P) ที่มีความเข้มข้น 2.5, 5, 7.5 และ 10 % (w/w) ละลาย DE16 หรือ DE16\_P และกรดซิตริกในน้ำ DI กวนด้วย magnetic stirrer นาน 30 นาที การเติมกรดซิตริกเพื่อปรับ pH ของอิมัลชันให้มีค่าประมาณ 4 ซึ่งใกล้เคียงกับเครื่องตีม้น้ำส้มในท้องตลาด นำสารละลาย DE16 หรือสารแขวนลอย DE16\_P ผสมลงในอิมัลชันที่เตรียมไว้และกวนผสมด้วย magnetic stirrer นาน 10 นาที พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °C นาน 10 นาที โดยอิมัลชันสุดท้ายมีน้ำมันถั่วเหลือง 5 % (w/w) เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน วัดค่า pH ของอิมัลชันวัดด้วยเครื่อง pH meter

## 2.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกทรินหรือมอลโตเดกทรินปาล์มิเตตต่อสมบัติเชิงรีโอโลยีของอิมัลชันเครื่องดื่ม

ตรวจวัดสมบัติเชิงรีโอโลยีของอิมัลชันเครื่องดื่มที่มีความเข้มข้นของ DE16 หรือ DE16\_P ระดับต่าง ๆ ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (rheometer) (MCR 302, Anton Paar, Austria) ตามวิธีของ Udomrati และ Gohtani [6] โดยใช้หัววัดแบบโคนและแผ่นเรียบ (cone and plate) ขนาด 50 mm ช่วงอัตราเฉือน (shear rate)  $1\text{--}225\text{ s}^{-1}$  ที่อุณหภูมิ 25 °C ค่า flow behavior index ( $n$ ), yield stress ( $\tau_0$ ) และ consistency index ( $k$ ) ได้จาก Herschel-Bulkley model แสดงดังสมการ (1)

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

โดย  $\tau$  คือ ค่า shear stress (Pa);  $\tau_0$  คือ ค่า yield stress (Pa);  $\dot{\gamma}$  คือ ค่า shear rate ( $\text{s}^{-1}$ );  $n$  คือ ค่า flow behavior index;  $k$  คือ ค่า consistency index

( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) ค่าความหนืดของอิมัลชันเครื่องดื่มรายงานค่าที่ shear rate  $130\text{ s}^{-1}$

Relative flow behavior index ( $n_{\text{relative}}$ ) คำนวณได้จากสมการ (2)

$$n_{\text{relative}} = \frac{n_{\text{emulsion}}}{n_{\text{solution}}} \quad (2)$$

โดย  $n_{\text{relative}}$  คือ relative flow behavior index;  $n_{\text{emulsion}}$  คือ flow behavior index ของอิมัลชันเครื่องดื่มที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับมอลโตเดกทริน (DE16) หรือมอลโตเดกทรินปาล์มิเตต (DE16\_P);  $n_{\text{solution}}$  คือ flow behavior index ของสารละลายมอลโตเดกทริน (DE16) และสารแขวนลอยมอลโตเดกทรินปาล์มิเตต (DE16\_P) ตรวจวัดสมบัติเชิงรีโอโลยีของอิมัลชันเครื่องดื่มในระหว่างการเก็บรักษา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน

## 2.5 ศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกทรินหรือมอลโตเดกทรินปาล์มิเตตต่อความคงตัวของอิมัลชันเครื่องดื่ม

### 2.5.1 วัดขนาดของเม็ดไขมัน

ตรวจวัดขนาดเฉลี่ยของเม็ดไขมันของอิมัลชันเครื่องดื่มในระหว่างการเก็บรักษาด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (laser diffraction particle size analyzer) (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Ltd., UK)

### 2.5.2 วัดการแยกชั้น (creaming)

บรรจุอิมัลชันเครื่องดื่มลงในหลอดฉีดยาพลาสติก (plastic syringe) ขนาด 1 mL เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันน้อยกว่าน้ำ ระหว่างเก็บรักษาเม็ดไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวด้านบนของอิมัลชัน เกิดการแยกชั้นส่วนครีมทึบแสง (cream layer) อยู่ด้านบน ขณะที่ส่วนใส (serum layer) อยู่ด้านล่าง สามารถคำนวณดัชนีการเกิดครีม (creaming index) ดังสมการ (3)

$$\text{Creaming index (\%)} = 100 \times H_L/H_E \quad (3)$$
 โดย  $H_L$  (mm) คือ ความสูงของชั้นส่วนที่ใส;  $H_E$  (mm) คือ ความสูงของอิมัลชันทั้งหมด

2.5.3 วัดค่า critical flocculation concentration (CFC) ของอิมัลชันเครื่องดื่มด้วยวิธีวัดความขุ่น ตามวิธีของ Udomrati และคณะ [11]

ดูดของเหลว 20  $\mu\text{L}$  จากตรงกลางของชั้นส่วนใสของอิมัลชันเครื่องดื่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ลงใน cuvette ที่มี path length ขนาด 10 mm เจือจางด้วยน้ำกลั่น 3 mL วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ค่า CFC คือ ความเข้มข้นของมอลโตเดกทรีนที่ทำให้ไขมัน 80 % ของไขมันเริ่มต้นในอิมัลชันเกาะกลุ่มเกิดเป็นชั้นครีมอยู่ด้านบน [12]

## 2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomize design, CRD) โดยทดลอง 2 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 ผลของมอลโตเดกทรีนหรือมอลโตเดกทรีนปาล์มิเตทร่วมกับ Tween 80 ต่อความคงตัวของอิมัลชันเครื่องดื่ม

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในส่วนนี้ศึกษาผลของมอลโตเดกทรีน (DE16) หรือ มอลโตเดกทรีนปาล์มิเตท (DE16\_P) ต่อความคงตัวของอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม DE16\_P ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งอิมัลซิไฟเออร์ช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชันและเป็นสารเพิ่มความหนืดช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส เพิ่ม body ให้แก่ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ดังนั้นจึง

พยายามจำลองและศึกษาในสภาวะควบคุม เช่น pH ความหนืด ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่วางขายในท้องตลาด โดยค่า pH และความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำส้มทางการค้าที่มีลักษณะขุ่นและทึบแสงแสดงในตารางที่ 1 เครื่องดื่มน้ำส้มทางการค้าทุกตัวมีค่า pH ต่ำกว่า 4 เล็กน้อย เพื่อให้ระบบอิมัลชันเครื่องดื่มที่ศึกษามีสภาวะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดให้มากที่สุด จึงมีการปรับค่า pH ประมาณ 3.8 โดยใช้กรดซิตริก

**Table 1** pH values and viscosity of commercial orange juices

| Brands | pH   | Viscosity (mPa.s) at shear rate 130 s <sup>-1</sup> |
|--------|------|-----------------------------------------------------|
| C-Vitt | 3.64 | 0.94±0.03                                           |
| Splash | 3.96 | 1.68±0.04                                           |

**Table 2** pH values and viscosity of Tween 80-stabilized emulsion drink containing maltodextrin (DE16) and maltodextrin palmitate (DE16\_P) with various concentrations

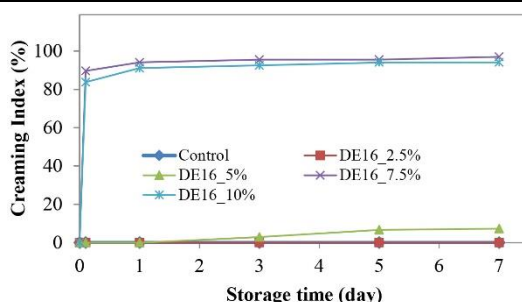
| Samples                  | pH   | Viscosity (mPa.s) at shear rate 130 s <sup>-1</sup> |
|--------------------------|------|-----------------------------------------------------|
| Control (Tween 80_0.2 %) | 3.75 | 0.65±0.01                                           |
| DE16_2.5 %               | 3.59 | 0.82±0.00                                           |
| DE16_5 %                 | 3.62 | 1.01±0.03                                           |
| DE16_7.5 %               | 3.74 | 1.34±0.00                                           |
| DE16_10 %                | 3.79 | 1.71±0.08                                           |
| DE16_P_2.5 %             | 3.81 | 0.84±0.04                                           |
| DE16_P_5 %               | 3.78 | 1.05±0.02                                           |
| DE16_P_7.5 %             | 3.93 | 1.41±0.03                                           |
| DE16_P_10 %              | 4.06 | 1.86±0.06                                           |

อิมัลชันเครื่องดื่มที่มีมอลโตเดกทรีน (DE16) และมอลโตเดกทรีนปาล์มิต (DE16\_P) ที่ความเข้มข้น 2.5-10 % ให้ความหนืดอยู่ในช่วง 0.82-1.86 mPa.s (ตารางที่ 2) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนืดของน้ำส้มทางการค้า (0.9-1.7 mPa.s) (ตารางที่ 1) ปริมาณของ DE16\_P ที่เหมาะสมที่ใช้ในอิมัลชันเครื่องดื่มต้องใช้ข้อมูลบ่งชี้ของความคงตัวของอิมัลชัน เช่น ค่า creaming index การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดไขมัน สมบัติเชิงรีโอโลยีของอิมัลชันในระหว่างการเก็บรักษาประกอบการพิจารณา

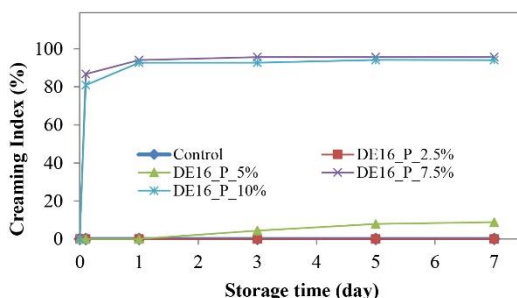
3.1.1 การแยกชั้นของอิมัลชันเครื่องดื่มในระหว่างเก็บรักษา

อิมัลชันที่มี Tween 80 เพียงอย่างเดียว (control) และอิมัลชันที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 หรือ DE16\_P ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 % (w/w) ไม่เกิดการแยกชั้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 7 วัน (รูปที่ 1 และ 2) ขณะที่ระดับความเข้มข้น 5 % (w/w) ทั้ง DE16 และ DE16\_P เกิดการแยกชั้นเพียงเล็กน้อย โดยเกิดชั้นครีมเมื่อเก็บรักษามากกว่า 3 วัน และที่ระดับความเข้มข้นที่ 7.5 และ 10 % (w/w) ทั้ง DE16 และ DE16\_P เริ่มเกิดชั้นครีมชัดเจนเมื่อเก็บรักษาเพียง 1 วัน ส่วนชั้นของเหลวด้านล่างหรือส่วนของเซรัม (serum) ที่ระดับความเข้มข้น 10 % (w/w) มีความขุ่นน้อยกว่าที่ความเข้มข้น 7.5 % (w/w) อย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 3) เมื่อความเข้มข้นของ DE16 และ DE16\_P เพิ่มขึ้น การแยกชั้นของอิมัลชันเกิดเร็วขึ้นและชัดเจนขึ้น เห็นได้จาก creaming index ที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1 และ 2) การแยกชั้นครีมและชั้นเซรัมของอิมัลชันเกิดจากกลไกการเกาะกลุ่มจากการพร่อง (depletion flocculation) (รูปที่ 3)

กลไกการเกาะกลุ่มจากการพร่องของอิมัลชันชนิดไขมันในน้ำที่มีพอลิแซ็กคาไรด์ในวัฏภาค



**Figure 1** Progression of creaming index during storage time for 7 days of Tween 80 [0.2 % (w/w)]-stabilized emulsions drink containing maltodextrin (DE16) with different concentrations



**Figure 2** Progression of creaming index during storage time for 7 days of Tween 80 [0.2 % (w/w)]-stabilized emulsions drink containing maltodextrin palmitate (DE16\_P) with different concentrations

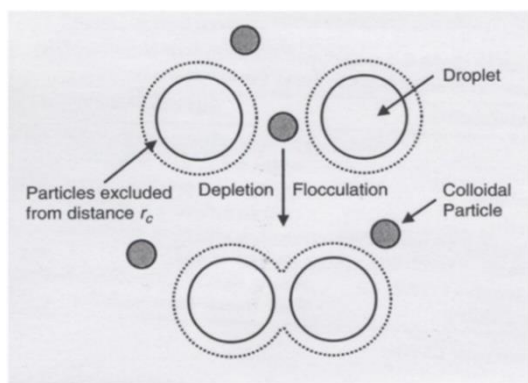
ของน้ำแสดงดังรูปที่ 3 เนื่องจากโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์มีแต่ส่วนที่ละลายได้ในน้ำจึงไม่สามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) บนบริเวณผิวของเม็ดไขมัน จึงเกิดช่องแคบที่ปราศจากโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์บริเวณรอบเม็ดไขมัน โดยบริเวณดังกล่าวแสดงขอบเขตด้วยเส้นประในรูปที่ 3 ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ระหว่างบริเวณช่องแคบและในวัฏภาคต่อเนื่อง โมเลกุลน้ำไหลออก

จากส่วนช่องแคบทำให้เกิดแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) โดยดึงดูดให้เม็ดไขมันเคลื่อนที่เข้าหากัน แต่ถ้าในวิฤภาคน้ำมีความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ต่ำ ระบบอิมัลชันยังคงรักษาความคงตัวไว้ได้เนื่องจากแรงดึงดูด (attractive force) ในระบบ เช่น แรงออสโมติก (osmotic force) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) น้อยกว่าแรงผลัก (repulsive force) เช่น สเท

ริก (steric) และไฮเดรชัน (hydration) เม็ดไขมันยังคงกระจายตัวเป็นเม็ดเดี่ยวอยู่อย่างอิสระ แต่เมื่อความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์เพิ่มขึ้นจนถึง critical flocculation concentration (CFC) ซึ่งก็คือความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เริ่มเหนียวทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมัน แรงออสโมติกเพิ่มขึ้นจนทำให้แรงดึงดูดในระบบมีมากกว่าแรงผลักเม็ดไขมันเคลื่อนที่

**Table 3** Appearance of Tween 80-stabilized emulsions drink containing maltodextrin (DE16) and maltodextrin palmitate (DE16\_P) with various concentrations during storage

| Storage time (days) | DE16                                                                                                          | DE16_P                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                   | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10   | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10   |
| 1                   | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10  | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10  |
| 3                   | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 |
| 5                   | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 |
| 7                   | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 | <br>(%) 0, 2.5, 5, 7.5, 10 |

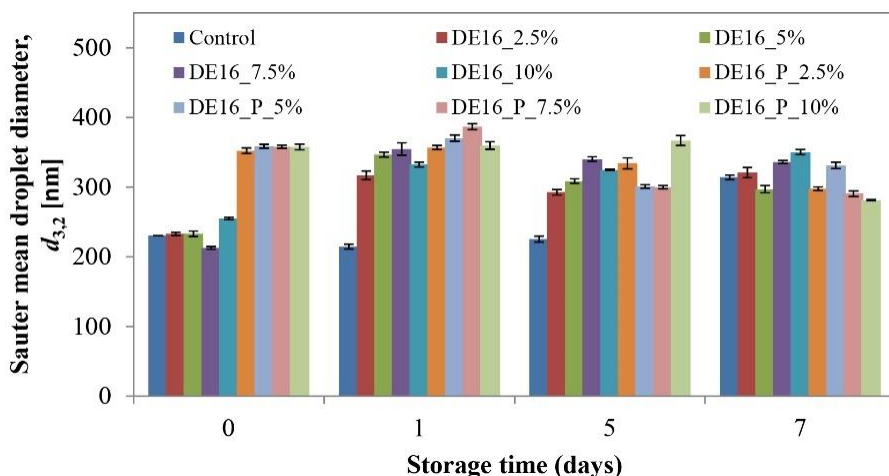


**Figure 3** Mechanism of depletion flocculation [10]

3.1.2 ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของอิมัลชัน เครื่องดื่มในระหว่างการเก็บรักษา

รูปที่ 4 ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0 วัน อิมัลชันที่ใช้ Tween 80 เพียงอย่างเดียว (control) และอิมัลชันที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 มีอนุภาคของเม็ดไขมันมีขนาดใกล้เคียงกัน (~230 nm) ขณะที่การใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P ขนาดเม็ดอนุภาคมีขนาดใหญ่ที่สุด (~360 nm) น่าจะเป็นเพราะโมเลกุล

DE16\_P ห่อหุ้มด้านนอกของเม็ดไขมัน [6,7] ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดเพิ่มขึ้น ผลของขนาดเม็ดอนุภาคไขมันที่เพิ่มขึ้นน่าจะช่วยยับยั้งการเกิดกลไกการรักษาความคงตัวของ Tween 80 และ DE16\_P เป็นแบบ double layer stabilization และเมื่อเก็บรักษาอิมัลชันพบว่าอิมัลชันที่มีการใช้ Tween 80 เพียงอย่างเดียว อนุภาคของเม็ดไขมันมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังเก็บรักษานานมากกว่า 5 วัน ขณะที่การใช้ Tween 80 และ DE16 ในทุกระดับความเข้มข้นเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่มากขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บรักษาเพียง 1 วัน และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นอนุภาคของเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่มากขึ้นเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษานาน 7 วัน ขณะที่การใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P อนุภาคของเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่มากขึ้นเล็กน้อยหลังจากเก็บรักษานาน 1 วัน แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นขนาดของเม็ดไขมันมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากระบบอิมัลชันมีสภาวะเป็นกรด (pH ประมาณ 3.8) ทำให้โมเลกุล DE16\_P ถูกย่อยด้วยกรด จึงอาจส่งผลให้โมเลกุล DE16\_P บางส่วนที่ห่อหุ้มเม็ดไขมัน



**Figure 4** Emulsion droplet diameters of Tween 80-stabilized emulsions drink containing malto-dextrin (DE16) and malto-dextrin palmitate (DE16\_P) with different concentrations during storage time

หลุดออก อนุภาคของเม็ดไขมันจึงมีขนาดเล็กลง ซึ่งอาจทำให้ความสามารถในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันลดลง

### 3.2 ผลของมอลโตเดกทรินหรือมอลโตเดกทริน ปาล์มิตทรวกับ Tween 80 ต่อสมบัติเชิงรีโอโลยีของอิมัลชันเครื่องดื่ม

รูปที่ 5 ค่า  $n$  (flow behavior index) ของสารละลาย DE16 ( $n_{solution}$ ) ในช่วงความเข้มข้น 2.5-10 % (w/w) มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงพฤติกรรมไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Loret และคณะ [13] ที่รายงานว่าสารละลายมอลโตเดกทรินจากมันฝรั่งในช่วงความเข้มข้น 1-35 % แสดงสมบัติการไหลแบบนิวโตเนียน ส่วน DE16\_P เป็นตัวแขวนลอย (dispersant) ไม่สามารถละลายน้ำอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากโมเลกุลมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยมีค่าร้อยละการละลายน้ำ 84.81 [1] สาร

แขวนลอย (dispersion) ของ DE16\_P ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 และ 5 % (w/w) มีค่า  $n_{solution}$  ประมาณ 1 แสดงพฤติกรรมไหลแบบนิวโตเนียน เช่นเดียวกับ DE16 (รูปที่ 5) แต่เมื่อความเข้มข้นของ DE16\_P เพิ่มขึ้นเป็น 7.5 และ 10 % (w/w) ค่า  $n_{solution}$  มีค่าน้อยกว่า 1 เล็กน้อย (ประมาณ 0.97) เมื่อของไหลมีค่า  $n$  น้อยกว่า 1 แสดงพฤติกรรมไหลแบบเชียร์ทินนิง (shear thinning) โดยความหนืดของระบบลดลงเมื่อแรงเฉือนในระบบเพิ่มขึ้น [14] น่าจะเป็นเพราะเมื่ออัตราเฉือน (shear rate) เพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคที่ไม่ละลายน้ำเหล่านี้แตกออกและมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ความหนืดของระบบลดลง

อิมัลชันเครื่องดื่มที่ใช้ Tween 80 เพียงอย่างเดียวและอิมัลชันที่มีการใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 และ DE16\_P ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 % (w/w) แสดงค่า  $n_{relative}$  ประมาณ 1 (รูปที่ 6) และเมื่อความเข้มข้นของ DE16 และ DE16\_P 5 % (w/w) ค่า

$n_{relative}$  มีค่าต่ำกว่า 1 เล็กน้อย สาเหตุที่ตัวอย่างอิมัลชันเครื่องดื่มแสดงสมบัติการไหลแบบเชียร์ทินนิง ( $n_{relative} < 1$ ) น่าจะเป็นเพราะอิมัลชันเกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation) ยืนยันได้จากค่าดัชนีการแยกชั้นครีม (รูปที่ 1 และ 2) และภาพถ่ายการแยกชั้น (รูปที่ 3) และ/หรือ เกิดการหลอมรวมตัว (coalescence) ของเม็ดไขมัน โดยเมื่ออัตราเฉือน (shear rate) ทำให้เม็ดไขมันที่เกาะกลุ่มกัน (flocculated droplet) แตกออกหรือแยกออกจากกัน ทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดลดลง [15] เม็ดไขมันที่หลอมรวมตัวกัน (coalesced droplet) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเหนี่ยวนำให้อิมัลชันมีพฤติ-

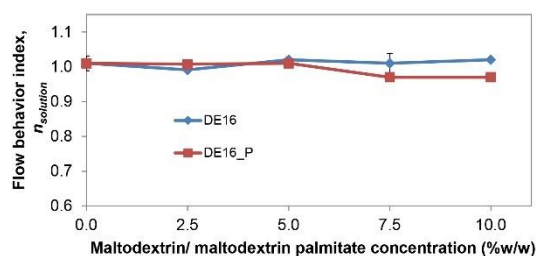


Figure 5 Flow behavior index ( $n_{solution}$ ) of maltodextrin DE16 (DE16) solutions and maltodextrin palmitate (DE16\_P) dispersions at various concentrations

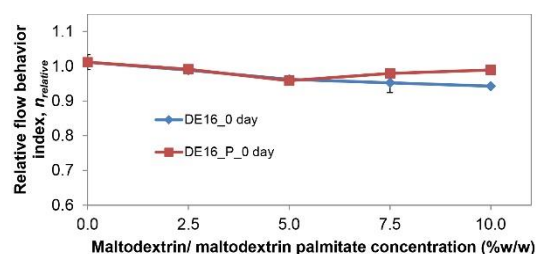
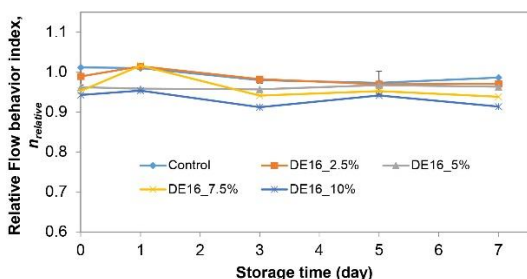


Figure 6 Relative flow behavior index ( $n_{relative}$ ) of Tween 80-stabilized emulsions drink containing maltodextrin (DE16) and maltodextrin palmitate (DE16\_P) at various concentrations



**Figure 7** Relative flow behavior index ( $n_{relative}$ ) of Tween 80- stabilized emulsions drink containing maltodextrin (DE16) various concentrations during storage time

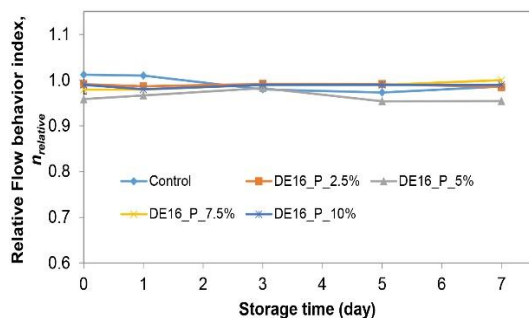
กรรมกรไหลแบบเชียร์ทินนิ่งเช่นกัน เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างเม็ดไขมันที่มีขนาดใหญ่อ่อนแอและถูกทำลายได้ง่ายด้วยแรงเฉือนขนาดต่ำ [16] และค่า  $n_{relative}$  ของอิมัลชันที่มีการใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 มีแนวโน้มลดลง (shear thinning เพิ่มขึ้น) เมื่อความเข้มข้นของ DE16 เพิ่มขึ้น เนื่องจากในระบบมีแรงดึงดูดพร่อง (depletion attraction) เพิ่มขึ้น [17] ทำให้เม็ดไขมันเกาะกลุ่มกันแน่นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดจึงลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มแรงเฉือน ขณะที่ระบบอิมัลชันที่มีการใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P ค่า  $n_{relative}$  แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ DE16\_P เพิ่มขึ้นเป็น 7.5 และ 10 % (w/w) และมีค่าใกล้เคียง 1 (นิวโทเนียน) อีกครั้ง ทั้ง ๆ ที่ อิมัลชันเกิดการแยกชั้นและการเกาะกลุ่ม (รูปที่ 3) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะ DE16\_P ในระบบมีปริมาณมากขึ้นทำให้สามารถห่อหุ้มเม็ดไขมันขัดขวางการเกาะกลุ่มกันของเม็ดไขมัน เม็ดไขมันจึงเกาะกลุ่มอย่างหลวม ๆ เมื่อให้แรงเฉือนเพียงเล็กน้อยเม็ดไขมันที่เกาะกลุ่มก็สามารถกระจายตัวออกจากกันโดยง่าย จึงทำให้ไม่แสดงสมบัติการไหลแบบเชียร์ทินนิ่งอย่างชัดเจน เมื่อเม็ดไขมันเกาะกลุ่มอย่างหลวม ๆ น่าจะส่งผลช่วยชะลอการหลอม

รวมตัวของเม็ดไขมัน

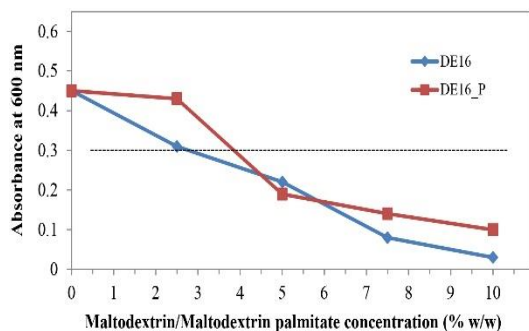
รูปที่ 7 อิมัลชันที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 และ 5 % (w/w) แสดงค่า  $n_{relative}$  ประมาณ 1 ตลอดอายุการเก็บรักษา (7 วัน) ส่วนการใช้ DE16 ที่ความเข้มข้น 7.5 และ 10 % (w/w) ทำให้ค่า  $n_{relative}$  มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น น่าจะเป็นเพราะการเกาะกลุ่มกันและหลอมรวมตัวของเม็ดไขมัน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลของขนาดเม็ดไขมัน (รูปที่ 4) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

ส่วนค่า  $n_{relative}$  ของระบบอิมัลชันที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P (รูปที่ 8) พบว่าค่า  $n_{relative}$  ในทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ยกเว้น DE16\_P ที่ระดับความเข้มข้น 5 % (w/w) แสดงค่า  $n_{relative}$  ต่ำที่สุด ( $n < 1$  เล็กน้อย) ตลอดอายุการเก็บรักษา น่าจะเป็นเพราะ DE16\_P ที่ระดับความเข้มข้น 5 % (w/w) ยังไม่เพียงพอต่อการยับยั้งหรือชะลอการเกาะกลุ่มหรือหลอมรวมตัวของเม็ดไขมันได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ DE16\_P ที่ติดแปรมีค่า DS น้อย (0.015) และมีค่าร้อยละการละลายน้ำประมาณ 84 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า DE16\_P ยังคงประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic part) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิด depletion flocculation ดังนั้นถ้าในระบบมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic part) ปริมาณน้อย หรือปริมาณไม่มากเพียงพอ ทำให้ไม่สามารถชะลอหรือยับยั้งการเกาะกลุ่ม และ/หรือหลอมรวมตัวของเม็ดไขมัน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้ Tween 80 ร่วมกับ DE16 และ Tween 80 ร่วมกับ DE16\_P ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าค่า  $n_{relative}$  ของระบบที่ใช้ DE16 มีค่า  $n_{relative}$  น้อยกว่าระบบที่ใช้ DE16\_P ในทุกระดับความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่า DE16\_P ที่ยึดติดและอยู่พื้นผิวของเม็ดไขมัน

ช่วยขัดขวางการเกาะกลุ่มรวมตัวกันแน่นของเม็ดไขมันได้ ซึ่งน่าจะช่วยชะลอการหลอมรวมตัวของเม็ดไขมันได้ในระหว่างการเก็บรักษา



**Figure 8** Relative flow behavior index ( $n_{relative}$ ) of Tween 80- stabilized emulsions drink containing maltodextrin palmitate ( DE16\_P) various concentrations during storage time



**Figure 9** Absorbance of oil-in-water emulsions containing maltodextrin (DE16) and maltodextrin palmitate (DE16\_P) with varied concentrations in the aqueous phase. The horizontal line represents the absorbance of an oil- in- water emulsion containing 1 % (w/w) oil without maltodextrin/ maltodextrin palmitate.

ค่า consistency index ( $k$ ) เป็นตัวบ่งชี้ความหนืดของของไหล [18,19,20] ทั้งค่า  $k_{solution}$  และ  $k_{emulsion}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ DE16 และ DE16\_P เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของมอลโตเดกทรินหรือมอลโตเดกทรินปาล์มิเตตต่อปริมาตรของวัฏภาคต่อเนื่องเพิ่มขึ้น การเกาะกลุ่มรวมกันของเม็ดไขมันสามารถทำให้ค่า  $k$  มีค่าเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากวัฏภาคต่อเนื่องถูกจับอยู่ระหว่างเม็ดไขมันที่เกาะกลุ่มทำให้สัดส่วนปริมาตร (volume fraction) ของอนุภาคในระบบเพิ่มขึ้น [10] ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนค่า  $\tau_0$  (yield stress) ของสารละลาย DE16 และ DE16\_P ความเข้มข้น 0-10 % (w/w) มีค่า 0.001-0.02 (ตารางที่ 4) ส่วนระบบอิมัลชันที่มีการใช้ DE16 หรือ DE16\_P ร่วมกับ Tween 80 ค่า  $\tau_0$  มีค่า 0.001-0.002 (ตารางที่ 5)

### 3.3 Critical flocculation concentration (CFC) ของอิมัลชันเครื่องดื่ม

Critical flocculation concentration (CFC) คือ ความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์ที่ทำให้เม็ดไขมันเริ่มเกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation) Klinkesorn และคณะ [12] ระบุว่า CFC คือ ความเข้มข้นของมอลโตเดกทรินที่ทำให้ไขมัน 80 % ของไขมันเริ่มต้นในอิมัลชันเกาะกลุ่มเกิดเป็นชั้นครีม (cream layer) อยู่ด้านบน เส้นประแนวนอนในรูปที่ 9 แทนค่าการดูดกลืนแสงของอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของไขมัน 1 % (w/w) [น้ำมันในอิมัลชันเท่ากับ 5 % (w/w)] วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ใช้เป็นเส้นอ้างอิงเพื่อหาค่า CFC ของแต่ละตัวอย่าง ดังนั้น CFC ของอิมัลชันเครื่องดื่มที่มีการใช้ DE16 และ DE16\_P สามารถประเมินจากจุดตัดกันของเส้นประและเส้นกราฟของการดูดกลืนแสงของตัวอย่างนั้น ๆ ที่แปรผันตามความเข้มข้น (รูปที่ 9) ค่า CFC ของ DE16 และ DE16\_P คือ 2.8 และ 3.9 % (w/w) ตามลำดับ

โดยค่า CFC ของ DE16\_P และ DE16 ต่างกันเพียงเล็กน้อย อิมัลชันเครื่องดื่มที่มีการใช้ DE16\_P ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3.9 % (w/w) สามารถเกิดการเกาะรวมตัวของเม็ดไขมัน เนื่องจาก DE16\_P มีค่า degree of substitution (DS) ค่อนข้างต่ำ คือ 0.015 [1]

DE16\_P จึงยังคงมี DE16 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป (native maltodextrin) ปะปนอยู่ ดังนั้นในตัวอย่างที่มี DE16\_P จึงเกิดการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมันจากกลไก depleting flocculation เช่นเดียวตัวอย่าง DE16

**Table 4** Rheological characteristics of maltodextrin (DE16) solutions and maltodextrin palmitate (DE16\_P) dispersions at various concentrations.

| Concentrations<br>(% w/w) | DE16          |                                     | DE16_P        |                                     |
|---------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|
|                           | $\tau_0$ (Pa) | $k_{solution}$ (Pa.s <sup>n</sup> ) | $\tau_0$ (Pa) | $k_{solution}$ (Pa.s <sup>n</sup> ) |
| 0                         | 0.003±0.003   | 0.0004±0.0002                       | 0.003±0.003   | 0.0004±0.0002                       |
| 2.5                       | 0.001±0.000   | 0.0007±0.0000                       | 0.009±0.000   | 0.0008±0.0003                       |
| 5.0                       | 0.006±0.006   | 0.0005±0.0003                       | 0.018±0.007   | 0.0008±0.0000                       |
| 7.5                       | 0.014±0.010   | 0.0013±0.0004                       | 0.019±0.003   | 0.0035±0.0030                       |
| 10.0                      | 0.016±0.013   | 0.0034±0.0009                       | 0.010±0.001   | 0.0031±0.0009                       |

**Table 5** Rheological characteristics of fresh Tween 80- stabilized emulsions drink containing maltodextrin (DE16)/ maltodextrin palmitate (DE16\_P) at various concentrations.

| Concentrations<br>(% w/w) | DE16          |                                     | DE16_P        |                                     |
|---------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|
|                           | $\tau_0$ (Pa) | $k_{solution}$ (Pa.s <sup>n</sup> ) | $\tau_0$ (Pa) | $k_{solution}$ (Pa.s <sup>n</sup> ) |
| 0                         | 0.003±0.002   | 0.0006±0.0002                       | 0.003±0.002   | 0.0006±0.0002                       |
| 2.5                       | 0.001±0.000   | 0.0010±0.0000                       | 0.004±0.001   | 0.0009±0.0004                       |
| 5.0                       | 0.001±0.001   | 0.0012±0.0000                       | 0.002±0.020   | 0.0013±0.0000                       |
| 7.5                       | 0.002±0.000   | 0.0017±0.0000                       | 0.003±0.002   | 0.0018±0.0001                       |
| 10.0                      | 0.002±0.010   | 0.0021±0.0003                       | 0.004±0.002   | 0.0022±0.0005                       |

#### 4. สรุป

การใช้มอลโตเดทรีนปาล์มิตะร่วมกับ Tween 80 ทำให้อิมัลชันเครื่องดื่มมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา (7 วัน) DE16\_P ช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชันเครื่องดื่มได้ดีกว่า DE16 ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยพิจารณาจากการ

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของขนาดเม็ดไขมันและคุณลักษณะเชิงรีโอโลยี (rheological characteristic) DE9\_P สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอิมัลชันอาหารเพื่อเพิ่มความคงตัวและปรับลักษณะเนื้อสัมผัสตามที่ต้องการ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) (107.59)

## 6. References

- [1] Udomrati, S. and Gohtani, S. , 2014, Enzymatic esterification of tapioca maltodextrin fatty acid ester, Carbohydr. Polym. 99: 379-384.
- [2] Udomrati, S. and Gohtani, S. , 2015, Enzymatic modification and characterization of xylo- oligosaccharide esters as potential emulsifiers, Int. Food Res. J. 22: 818-825.
- [3] Udomrati, S. , Khalid, N. , Gohtani, S. , Nakajima, M., Neves, M.A., Uemura, K. and Kobayashi, I. , 2016, Effect of esterified oligosaccharides on the formation and stability of oil- in- water emulsions, Carbohydr. Polym. 143: 44-50.
- [4] Udomrati, S. and Gohtani, S. , 2014, Centrifugal accelerated oil separation in maltodextrin fatty acid ester- stabilized oil-in-water emulsions, Proceeding of the 8th Thailand-Taiwan Bilateral Conference and the 2nd UNTA Meeting on Science Technology and Innovation for Sustainable Tropical Agriculture and Food.
- [5] Udomrati, S. and Gohtani, S. , 2014, Esterified xylo- oligosaccharides for stabilization of Tween 80-stabilized oil-in-water emulsions: Stabilization mechanism, rheological properties, and stability of emulsions, J. Sci. Food Agric. 94: 3241-3247.
- [6] Udomrati, S. and Gohtani, S. , 2015, Tapioca maltodextrin fatty acid ester as a potential stabilizer for Tween 80-stabilized oil- in- water emulsions, Food Hydrocoll. 44: 23-31.
- [7] Udomrati, S., Khalid, N., Gohtani, S., Nakajima, M., Uemura, K. and Kobayashi, I., 2016b, Formulation and characterization of esterified xylo-oligosaccharides-stabilized oil-in-water emulsions using microchannel emulsification, Colloids Surf. B Biointerfaces 148: 333-342.
- [8] Piorkowski, D.T. and McClements, D.J., 2013, Beverage emulsions: Recent developments in formulation, production, and applications, Food Hydrocoll. 42: 5-41.
- [9] Given, P. S. Jr., 2009, Encapsulation of flavors in emulsions for beverages, Curr. Opinion Colloid Interface Sci. 14: 43-47.
- [10] McClements, D. J. , 2005, Food Emulsions, In Raton, B. (Ed.), Principles, Practices, and Techniques, 2nd Ed, CRC Press, Boca Raton, FL.
- [11] Udomrati, S., Ikeda, S. and Gohtani, S. , 2013, Rheological properties and stability of oil- in- water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase, J. Food Eng. 116: 170-175.

- [12] Klinkesorn, U. , Sophanodora, P. , Chinachoti, P. and McClements, D.J., 2004, Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin, *Food Res. Int.* 37: 851-859.
- [13] Loret, C., Meunier, V. and Frith, J.W., 2004, Rheological characterisation of the gelation behaviour of maltodextrin aqueous solutions, *Carbohydr. Polym.* 57: 153-163.
- [14] Jafari, S.M., Beheshti, P. and Assadpoor, E., 2012, Rheological behavior and stability of D- limonene emulsions made by a novel hydrocolloid ( Angum gum) compared with Arabic gum, *J. Food Eng.* 109: 1-8.
- [15] McClements, D. J. , 2000, Comments on viscosity enhancement and depletion flocculation by polysaccharides, *Food Hydrocoll.* 14: 173-177.
- [16] Hayati, I.N., Man, Y.B.C., Tan, C.P. and Aini, I. N., 2009, Droplet characterization and stability of soybean oil/palm kernel olein O/ W emulsions with the presence of selected polysaccharides, *Food Hydrocoll.* 23: 233-243.
- [17] Udomrati, S. , Ikeda, S. and Gohtani, S. , 2011, The effect of tapioca maltodextrins on the stability of oil-in-water emulsions, *Starch/Stärke*, 63: 347-353.
- [18] de Cassia da Fonseca, V., Haminiuk, I.W.C., Izydoro, R. D. , Waszczynskyj, N. , de Paula Scheer, A. and Sierakowski, M. R. , 2009, Stability and rheological behaviour of salad dressing obtained with whey and different combinations of stabilizers, *Int. J. Food Sci. Tech.* 44: 777-783.
- [19] Wu, W. , Cui, W. , Eskin, M. A. N. and Goff, D. H. , 2009, An investigation of four commercial galactomannans on their emulsion and rheological properties, *Food Res. Int.* 42: 1141-1146.
- [20] Ibanoğlu, E. , 2002, Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum Arabic, *J. Food Eng.* 52: 273-277.