

พฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดไขมันต่ำจากการใช้แป้งข้าวเจ้า ร่วมกับแซนแทนกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด

Flow Behavior of Low Fat Salad Dressing Thickened

by Rice Flour–Xanthan Gum Combinations

บุศราภา ลีละวัฒน์ แสงเพชร ไพโรจน์ และสุภาพร สัมพันธ์ปรีดา

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: jafood@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดไขมันต่ำ จากการใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแซนแทนกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด โดยวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) เพื่อศึกษาผลของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (x_1) ร้อยละ 16.84-25.2 แป้งข้าวเจ้า (x_2) ร้อยละ 0.9-5.1 และแซนแทนกัม (x_3) ร้อยละ 0.09-0.51 โดยน้ำหนัก ต่อค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการ Herschel-Bulkley ได้แก่ ค่า yield stress (y_1), consistency coefficient (K) (y_2) และ flow behavior index (n) (y_3) พบว่า เมื่อน้ำมันถั่วเหลืองและแซนแทนกัมมากขึ้น ส่งผลให้ค่า yield stress สูงขึ้น เมื่อแป้งข้าวเจ้าและแซนแทนกัมมากขึ้น ส่งผลให้ค่า consistency coefficient สูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าค่า flow behavior index มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.64 จาก contour plot เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2.65 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.28 เมื่อนำน้ำสลัดไขมันต่ำที่มีพฤติกรรมการไหลที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้าจำนวน 3 สูตร มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พบว่า อัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม ที่ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุดทางด้านเนื้อสัมผัส ความข้นหนืด สี รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม คือ 24.04 : 4.5 : 0.45 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: ไขมันต่ำ น้ำสลัด แป้งข้าวเจ้า แซนแทนกัม พฤติกรรมการไหล

Abstract

This research studied the flow behavior of low fat salad dressing thickened by rice starch–xanthan gum combination using central composite design (CCD) of three factors. The three independent variables investigated in this experiment were 16.84-25.2% soybean oil (x_1), 0.9-5.1% rice flour (x_2) and 0.09-0.5% xanthan gum (x_3) by weight. Dependent variables of Herschel-Bulkley equation were yield stress (y_1), consistency coefficient (K) (y_2) and flow behavior index (n) (y_3). The results found that the yield stress increased with increasing soybean oil and xanthan gum. The consistency coefficient increased with increasing rice flour and xanthan gum. In addition, the highest flow behavior index ($n = 0.64$) was obtained from the contour plot when using rice flour 2.65% and xanthan gum 0.28%. The 3 low fat salad dressings that had the flow behavior similar to that of commercial low fat salad dressing were selected for sensory evaluation using 9-point hedonic scale. It was found that the ratio of soybean oil: rice flour: xanthan gum equaled to 24.04 : 4.5 : 0.45 by weight gave the highest score of texture, consistency, color, taste, flavor and overall liking.

Keywords : low fat; salad dressing; rice flour; xanthan gum; flow behavior

บทนำ

ในปัจจุบันอาหารเพื่อสุขภาพ กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะผู้บริโภคหันมาใส่ใจกับสุขภาพกันมากขึ้น น้ำสลัด เป็นผลิตภัณฑ์ที่คนไทยนิยมรับประทาน แต่เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันซึ่งมีส่วนผสมของน้ำและน้ำมัน โดยมีไข่แดงเป็นตัวประสานให้เป็นเนื้อเดียวกัน หรือเรียกว่า อิมัล-ซิฟายเออร์ ไข่แดงมีลิโปโปรตีน (lipoprotein) ที่ถูกดูดซับและจัดเรียงตัวใหม่อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเกิดอิมัลชันที่บริเวณผิวของหยดน้ำมัน ทำให้เกิดการลดแรงตึงผิว และทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น [1] โดยทั่วไป น้ำสลัดครีมมีปริมาณไขมันอยู่ในสูตรไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก แต่ไม่ถึงร้อยละ 65 [2] โดยน้ำหนัก ดังนั้นปริมาณไขมันในสลัดครีมที่สูงมากดังกล่าว อาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้ เช่น โรคอ้วน โรคคอเลสเตอรอลอุดตันในเส้นเลือด เป็นต้น จึงได้มีงานวิจัยหลายงานที่พัฒนาสูตรน้ำสลัดไขมันต่ำโดยใช้โพลี-แซคคาไรด์เพื่อลดปริมาณไขมันและมีส่วนช่วยในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำสลัดให้ใกล้เคียงกับน้ำสลัดทั่วไป [3], [4], [5]

หากมีการลดปริมาณไขมันในน้ำสลัดลง ปัญหาที่ตามมาคือ สัดส่วนของน้ำหรือตัวกลางภายในน้ำสลัดเพิ่มขึ้น จำนวนเม็ดน้ำมันในน้ำสลัดลดลง ซึ่งมีผลทำให้น้ำสลัดมีความข้นหนืดและความเสถียรลดลงสามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารที่เพิ่มความหนืด เช่น แป้ง หรือสารแขวนลอยอื่นๆ เพื่อไปสร้างลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัว และความเสถียรให้เพิ่มขึ้นได้ [6]

แป้งข้าว เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ไฮเดรต มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำสลัดไขมันต่ำได้คือ การเพิ่มความหนืด การเกิดเจล ความสามารถในการอุ้มน้ำ การมีเสถียรภาพที่ดีในสภาวะที่เป็นกรด-ด่าง ร้อนและเย็น และยังมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย [7] จากสมบัติดังกล่าว จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แป้งข้าวต้มสุก แทนน้ำมันถั่วเหลืองในน้ำสลัด [5] และการแทนที่ไขมันในน้ำสลัดด้วยอนุภาคแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการลดขนาด [4]

แซนแทนกัม (xanthan gum) เป็นสารโพลีไดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง มักพบในกะหล่ำปลี กะหล่ำดอก จะแสดงหน้าที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัล-ซิฟายเออร์ที่ดีสำหรับอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น [3] แซนแทนกัมมักจะถูกใช้ร่วมกับสารให้ความข้นหนืดชนิดอื่นเนื่องจากจะทำให้ได้สมบัติทางวิทยากระแสที่เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ซอสและน้ำสลัด [8] จากคุณสมบัติดังกล่าว [9] ได้มีการศึกษาการเติมแซนแทนกัมลงในสารละลายสตาร์ชข้าวโพดพบว่า แซนแทนกัมช่วยเพิ่มความคงตัวต่อการแช่แข็ง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แซนแทนกัมร่วมกับสตาร์ชข้าวสาลี พบว่า ช่วยลดอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลไดโนซ์ ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มมากขึ้น และยังช่วยลดอัตราการเกิดโรโทรกราเดชันอีกด้วย [10]

โมเดลวิทยากระแส (Rheological model) เป็นโมเดลที่ใช้ในการอธิบายการไหลของของเหลว การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความหนืด [7] การศึกษาโมเดลวิทยากระแสของน้ำสลัด อิมัลชันที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแซนแทนกัมในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดนั้น จะช่วยให้ทราบอิทธิพลของแป้งข้าวเจ้าและแซนแทนกัมต่อพฤติกรรมของการไหลของน้ำสลัดที่ได้ และช่วยให้เลือกสูตรน้ำสลัดที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้า หรือใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแซนแทนกัมที่จะทำให้ได้ความข้นหนืดของน้ำสลัดตามความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ริเริ่มขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดจากการใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแซนแทนกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่มีความหนืดที่เหมาะสม และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

น้ำมันถั่วเหลือง ยี่ห้อฮงเน่ แบงช้าวเจ้า ยี่ห้อ ปลาไทยห้าดาว แชนแทนกัม ยี่ห้อ Jungbunzlauer น้ำส้มสายชูกลั่น 5% ยี่ห้อภูเขาทอง น้ำตาลทราย ยี่ห้อ มิตรผล นมผงขาดมันเนย ยี่ห้อ Jungbunzlauer เกลือ ยี่ห้อปรุททิพย์ และไข่ไก่

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องปั่นผสมอาหาร ยี่ห้อ Panasonic รุ่น MK-5080M ประเทศไทย เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP3202S ประเทศเยอรมนี เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น Ub-10 Meter Kit ประเทศไทย เครื่องปั่นเหวี่ยง ยี่ห้อ Hettich รุ่น Universal 16R ประเทศเยอรมนี เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield รุ่น RV DV-II+ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมน้ำสลัดไขมันต่ำ

เตรียมน้ำสลัดไขมันต่ำ โดยนำแบงช้าวเจ้า ร้อยละ 0.9-5.1 น้ำตาลทรายร้อยละ 21 น้ำส้มสายชูกลั่นร้อยละ 12 แชนแทนกัมร้อยละ 0.09-0.51 เกลือ ร้อยละ 2 และน้ำร้อยละ 25.9 โดยน้ำหนัก มาผสมกัน และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 83 องศาเซลเซียส จากนั้นเตรียมน้ำมัน โดยให้ความร้อนกับน้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ 16.84-25.2 โดยน้ำหนัก) จนมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมน้ำแดงร้อยละ 6.72 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปผสมกับมัสตาร์ดและนมผงขาดมันเนย ก่อนที่จะผสมรวมกันกับส่วนแรกๆ ที่เตรียมไว้ (ดัดแปลงจากมะลิ, 2534 [3])

3.2 ศึกษาสมบัติของน้ำสลัดไขมันต่ำ

จากการใช้แบงช้าวเจ้าร่วมกับแชนแทนกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด

เตรียมน้ำสลัดไขมันต่ำจากการแปรอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง แบงช้าวเจ้า และแชนแทนกัมที่ระดับต่างๆ โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) จำนวน 17 สูตร โดยให้สัญลักษณ์และแปรระดับของแต่ละปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 1

จากนั้นวิเคราะห์โมเดลพยากรณ์ของน้ำสลัดไขมันต่ำที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง แบงช้าวเจ้า และแชนแทนกัมต่างๆ ตามแผนการสุ่มตัวอย่างการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 และน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้า 3 ยี่ห้อ มาวัดค่า % torque ด้วย Brookfield Viscometer ที่ความเร็วรอบต่างๆ (0.5-100 rpm) ด้วย spindle เบอร์ 5 และแปลง % torque เป็น shear stress และความเร็วรอบเป็น shear rate ตามวิธีการของ Mitschka (1982) [11] จากนั้นนำค่า shear stress (σ) และ shear rate ($\dot{\gamma}$) ไปศึกษาพฤติกรรม การไหลของน้ำสลัด โดยการเลือกสมการความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate เป็น Herschel-Bulkley [12] เนื่องจากพฤติกรรม การไหลของน้ำสลัดมีลักษณะคือ ต้องการ yield stress ค่าหนึ่งถึงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ จากนั้นค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม shear rate สูงขึ้น จากการแทนค่า shear stress และ shear rate ต่างๆ ลงในสมการที่ 1 จะได้ค่าคงที่ หรือ rheological parameters ของสมการดังกล่าว ได้แก่ yield stress (σ_0), consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SigmaPlot version 10.0

$$\sigma = \sigma_0 + K(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

เมื่อ σ คือ shear stress (Pa)

σ_0 คือ yield stress (Pa)

K คือ consistency coefficient (Pa.sⁿ)

$\dot{\gamma}$ คือ shear rate (1/s)

n คือ flow behavior index

นำค่าคงที่ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่ yield stress (σ_0), consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) มาศึกษาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (X_1) แบงช้าวเจ้า (X_2) และแชนแทนกัม (X_3) โดยการวิเคราะห์แบบ second-order

polynomial regression ใช้วิธี least square regression ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 17.0 เพื่อสังเกตค่า parameters ของสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ 2

$$Y_n = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_2X_3 + b_6X_1X_3 + b_7X_1^2 + b_8X_2^2 + b_nX_3^2 \quad (2)$$

เมื่อ Y_n = ค่าตอบสนองที่เกิดจากการแปรค่าตัวแปร

b_0 = ค่าคงที่

b_n = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

X_n = ตัวแปรอิสระ

จากนั้นใช้เทคนิค response surface methodology (RSM) เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (น้ำมันถั่วเหลือง (X_1), แป้งข้าวเจ้า (X_2) และแซนแทนกัม (X_3)) และตัวแปรตาม (yield stress (Y_1), consistency coefficient (Y_2) และ flow behavior index (Y_3)) คัดเลือกสูตรน้ำสลัดที่มีพฤติกรรมการไหลใกล้เคียงกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้ามากที่สุด 3 สูตร และน้ำสลัดทางการค้า 1 ยี่ห้อ มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยประเมินคุณภาพของน้ำสลัดไขมันต่ำด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Point Hedonic Scale ผู้ทดสอบจำนวน 60 คน

ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม ต่อพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดไขมันต่ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ไม่เดลความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ

shear rate ของน้ำสลัดทางการค้า และสูตรที่ได้จากการผสมน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม ในอัตราส่วนต่างๆ เป็นไปตาม Herchel-Bulkley model ดังสมการที่ 1 โดยมีค่า yield stress อยู่ในช่วง 6.27-29.16 Pa ค่า consistency coefficient อยู่ในช่วง 9.88-39.98 Pa.sⁿ และค่าดัชนีการไหลอยู่ในช่วง 0.48 – 0.64 ซึ่งการที่มีค่าดัชนีการไหลน้อยกว่า 1 แสดงถึงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning หรือเมื่อเพิ่มความเร็วในการกวนผสมจะทำให้ค่าความหนืดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Paraskevopoulou และคณะ (2007) ที่พบว่า น้ำสลัดที่เตรียมจากส่วนผสมของน้ำมันมะกอก และน้ำมันวามีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning โดยเมื่อใช้กัมชนิดต่างๆ เติมลงไปใต้น้ำสลัดดังกล่าว จะมีผลทำให้ค่าความหนืดมีสมบัติความเป็น shear thinning มากขึ้น โดยเฉพาะแซนแทนกัม มีผลทำให้ค่าดัชนีการไหลต่ำที่สุดเท่ากับ 0.467 เมื่อเทียบกับกัมชนิดอื่นๆ เช่น Carboxymethyl Cellulose, Guar gum และ Locust bean gum เป็นต้น [13]

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมต่อค่าตอบสนอง ได้แก่ ค่า yield stress, consistency coefficient และ flow behaviour index โดยใช้ second-order polynomial regression analysis สมการความสัมพันธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์แสดงระดับของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ				
		-1.4	-1	0	1	1.4
น้ำมันถั่วเหลือง (g)	X_1	16.84	18.04	21.04	24.04	25.24
แป้งข้าวเจ้า (g)	X_2	0.9	1.5	3	4.5	5.1
แซนแทนกัม (g)	X_3	0.09	0.15	0.3	0.45	0.51

ตารางที่ 2 Central Composite Design (CCD) ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดไข่มันต่ำ

สูตรที่	X_1 (น้ำมันถั่วเหลือง)	X_2 (แป้งข้าวเจ้า)	X_3 (แซนแทนกัม)
1	-1 (18.04)	-1 (1.5)	-1 (0.15)
2	-1 (18.04)	-1 (1.5)	1 (0.45)
3	-1 (18.04)	1 (4.5)	-1 (0.15)
4	-1 (18.04)	1 (4.5)	1 (0.45)
5	1 (24.04)	-1 (1.5)	-1 (0.15)
6	1 (24.04)	-1 (1.5)	1 (0.45)
7	1 (24.04)	1 (4.5)	-1 (0.15)
8	1 (24.04)	1 (4.5)	1 (0.45)
9	-1.4 (16.84)	0 (3)	0 (0.3)
10	1.4 (25.24)	0 (3)	0 (0.3)
11	0 (21.04)	-1.4 (0.9)	0 (0.3)
12	0 (21.04)	1.4 (5.1)	0 (0.3)
13	0 (21.04)	0 (3)	-1.4 (0.09)
14	0 (21.04)	0 (3)	1.4 (0.51)
15	0 (21.04)	0 (3)	0 (0.3)
16	0 (21.04)	0 (3)	0 (0.3)
17	0 (21.04)	0 (3)	0 (0.3)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยตัวแปรของ Herschel-Bulkley ของน้ำสลัดไข่มันต่ำที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง, แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม

Condition (g : g : g)	Herschel-Bulkley Parameters		
	σ_0 [Pa]	K [Pa.s ⁿ]	n
สูตรทางการค้า 1	16.23 ^d ± 0.01	30.59 ^f ± 0.00	0.60 ^{bc} ± 0.00
สูตรทางการค้า 2	30.24 ^e ± 0.01	28.59 ^{ef} ± 0.01	0.50 ^{ab} ± 0.00
สูตรทางการค้า 3	33.62 ^e ± 0.00	50.64 ^h ± 0.00	0.62 ^c ± 0.01
18.04 : 1.5 : 0.15	6.75 ^{ab} ± 0.11	9.88 ^a ± 0.60	0.60 ^{bc} ± 0.01
18.04 : 1.5 : 0.45	19.93 ^d ± 0.33	15.10 ^{ab} ± 0.79	0.56 ^{abc} ± 0.10
18.04 : 4.5 : 0.15	7.65 ^{ab} ± 1.25	11.80 ^a ± 0.70	0.60 ^c ± 0.01

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยตัวแปรของ Herschel-Bulkley ของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง, แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม (ต่อ)

Condition (g : g : g)	Herschel-Bulkley Parameters		
	σ_0 [Pa]	K [Pa.s ⁿ]	n
18.04 : 4.5 : 0.45	28.67 ^e ± 0.36	25.07 ^{cdef} ± 2.55	0.56 ^{abc} ± 0.11
24.04 : 1.5 : 0.15	8.26 ^{abc} ± 2.20	10.48 ^a ± 0.47	0.59 ^{bc} ± 0.05
24.04 : 1.5 : 0.45	27.84 ^e ± 2.77	21.94 ^{bode} ± 1.90	0.59 ^{bc} ± 0.06
24.04 : 4.5 : 0.15	8.18 ^{abc} ± 3.91	12.45 ^a ± 1.38	0.55 ^{abc} ± 0.02
24.04 : 4.5 : 0.45	28.98 ^e ± 6.64	26.69 ^{def} ± 2.37	0.55 ^{abc} ± 0.02
16.84 : 3.0 : 0.30	13.07 ^{bcd} ± 0.50	14.95 ^{ab} ± 1.21	0.62 ^c ± 0.01
25.24 : 3.0 : 0.30	16.14 ^d ± 4.69	18.48 ^{abcd} ± 0.74	0.61 ^c ± 0.02
21.04 : 0.9 : 0.30	16.15 ^d ± 0.25	14.09 ^{ab} ± 0.27	0.64 ^c ± 0.01
21.04 : 5.1 : 0.30	15.27 ^d ± 1.36	21.59 ^{bode} ± 2.80	0.57 ^{abc} ± 0.02
21.04 : 3.0 : 0.09	6.27 ^a ± 1.04	10.34 ^a ± 0.54	0.48 ^a ± 0.02
21.04 : 3.0 : 0.51	29.16 ^e ± 7.74	39.98 ^g ± 15.67	0.48 ^a ± 0.01
21.04 : 3.0 : 0.30	17.71 ^d ± 0.11	16.29 ^{abc} ± 0.04	0.64 ^c ± 0.00
21.04 : 3 : 0.3	14.34 ^{cd} ± 1.37	17.54 ^{abc} ± 1.19	0.57 ^{abc} ± 0.02
21.04 : 3 : 0.3	15.23 ^d ± 2.33	16.59 ^{abc} ± 2.08	0.59 ^{bc} ± 0.02

a,b,c,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 สมประสิทธิ์ถดถอย (R^2) และสมการถดถอยของการตอบสนอง

ค่าตอบสนอง	R^2	Regression equation
Yield stress (σ_0)	0.977	$15.585 + 1.369X_1 + 0.940X_2 + 9.093X_3 - 0.353X_1^2 + 0.210X_2^2 + 1.232X_3^2 - 1.293X_1X_2 + 0.555X_1X_3 + 0.915X_2X_3$
Consistency (K)	0.880	$18.220 + 1.230X_1 + 2.444X_2 + 7.188X_3 - 1.809X_1^2 - 1.235X_2^2 + 2.5000X_3^2 - 0.647X_1X_2 + 0.899X_1X_3 + 1.354X_2X_3$
Flow behavior index (n)	0.847	$0.592 - 0.007X_1 - 0.015X_2 - 0.008X_3 + 0.017X_1^2 + 0.011X_2^2 - 0.051X_3^2 - 0.010X_1X_2 + 0.010X_1X_3 - 3 \times 10^{-5}X_2X_3$

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ของน้ำสลัดไขมันต่ำ

อัตราส่วน น้ำมัน : แป้งข้าวเจ้า : แซน แทนกัม	คะแนนเฉลี่ย					
	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความข้น หนืด ^{ns}	สี	รสชาติ	กลิ่นรส	ความชอบ โดยรวม
น้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้า	6.33	5.92	4.97 ^a	5.83 ^a	5.40 ^a	5.92 ^a
18.04 : 4.5 : 0.45	6.35	6.12	6.42 ^b	6.45 ^{ab}	5.87 ^{ab}	6.40 ^a
24.04 : 1.5 : 0.45	6.45	6.28	6.60 ^b	6.15 ^a	6.03 ^b	6.40 ^a
24.04 : 4.5 : 0.45	6.33	6.35	6.97 ^b	6.97 ^b	6.3 ^b	7.05 ^b

a,b,c,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าสมการถดถอยแบบ second-order polynomial อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และ แชนแทนกัมกับค่า yield stress, consistency coefficient และ flow behaviour index ของน้ำสลัดได้ดี ($R^2 = 0.847-0.977$) และจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากสมการกำลังสองด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าตัวแปรต้นที่มีผลต่อค่า yield stress มากที่สุด คือ น้ำมันถั่วเหลืองและแชนแทนกัม ซึ่งสอดคล้องกับที่ Tabilo-Munizaga and Barbosa-Ca'novas (2005) ได้กล่าวว่า ปริมาณน้ำมันและสารให้ความข้นหนืดในน้ำสลัด มีอิทธิพลสูงต่อค่า yield stress มากที่สุด โดยถ้าปริมาณน้ำมันและปริมาณสารให้ความข้นหนืดสูง จะส่งผลให้น้ำสลัดมีค่า yield stress ที่สูง [14]

สำหรับตัวแปรต้นที่มีผลต่อค่า consistency coefficient และ flow behavior index มากที่สุด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า และแชนแทนกัม โดยแชนแทนกัมมีอิทธิพลต่อค่า consistency coefficient มากกว่าแป้งข้าวเจ้า ทั้งนี้เนื่องจากแชนแทนกัม เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถละลายน้ำได้ดี และทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความหนืด (thickening agent) ได้ดีกว่า แป้งข้าวเจ้า

จากการใช้ response surface methodology (RSM) เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่มีผลต่อค่า rheological parameters (รูปที่ 1) พบว่า ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง และแชนแทนกัมที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า yield stress เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณแชนแทนกัมร้อยละ 0.4 ขึ้นไป หากเพิ่มปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง จะส่งผลให้ค่า yield stress เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 1a) เนื่องจาก แชนแทนกัมมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย กลูโคส แมนโนส และกรดกลูโคนิก โดยมีแกนเป็น 1,4- β -D-glucan ซึ่งเหมือนกับเซลลูโลส มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลักษณะโครงสร้างเป็นกึ่งก้าน [15] ทำให้สามารถขัดขวางการเกิดการรวมตัวกัน (coalescence) หรือการจับกลุ่ม (flocculation) ของหยดน้ำมัน จึงเป็นเหตุให้การสร้างโครงสร้างร่างแหของอนุภาคภายในอิมัลชันน้ำสลัด ยึดเกาะกันได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

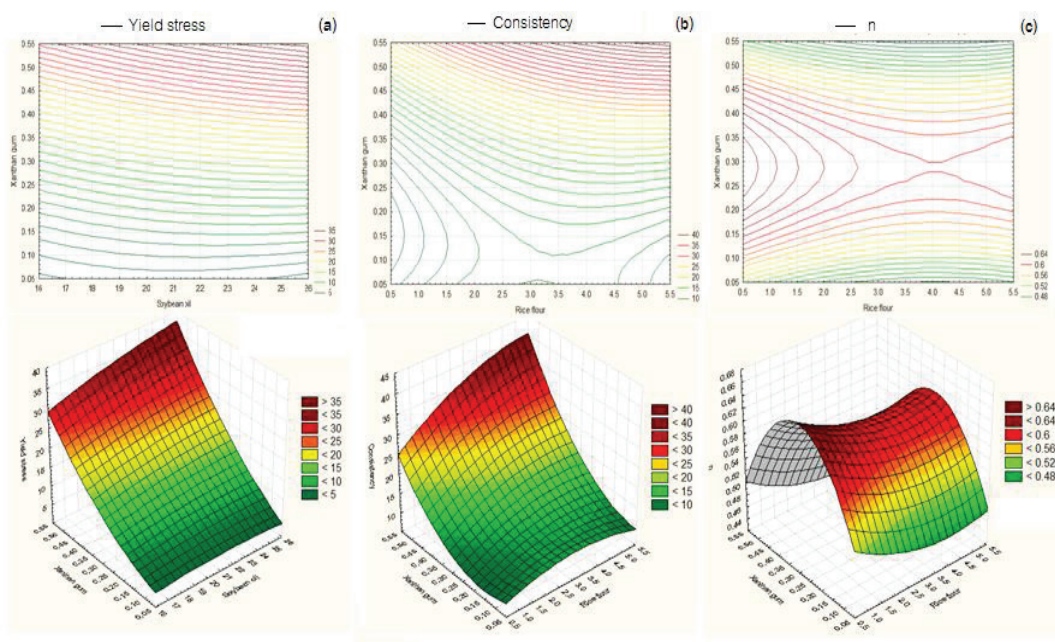
มากขึ้น ดังนั้นค่า yield stress ซึ่งหมายถึงค่า stress น้อยที่สุด ที่ทำให้น้ำสลัดเกิดการไหลได้ จึงมีค่ามากขึ้น เมื่อปริมาณแชนแทนกัมเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า yield stress ที่สูงมีผลต่อการป้องกันการแยกชั้นของน้ำสลัด เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น [16] นอกจากนี้ พบว่า ปริมาณแป้งข้าวเจ้าและแชนแทนกัมที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า consistency coefficient เพิ่มขึ้น (รูปที่ 1b) และค่า flow behavior index มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.64 เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 2.65 และแชนแทนกัมร้อยละ 0.28 จากรูปที่ 1c จะเห็นว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณแป้งข้าวเจ้า แชนแทนกัม และอัตราการไหลเป็นรูปเกือกม้า โดยหากเพิ่มหรือลดปริมาณแชนแทนกัมจากร้อยละ 0.28 จะส่งผลให้ค่าอัตราการไหลลดลง เมื่อพิจารณาที่ร้อยละของแป้งข้าวเจ้าคงที่ แต่หากเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าในช่วงที่ใช้แชนแทนกัมน้อยกว่าร้อยละ 0.15 หรือมากกว่าร้อยละ 0.45 พบว่าจะทำให้ค่าอัตราการไหลมีแนวโน้มลดลง หรือน้ำสลัดมีพฤติกรรมเป็นแบบ shear thinning มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่ใช้แชนแทนกัมน้อยกว่า 0.15 อิทธิพลของการให้ความหนืดของแป้งข้าวเจ้ามีมากกว่าแชนแทนกัม ซึ่งโครงสร้างของอิมัลชันน้ำสลัดที่ได้จากการให้ความหนืดของแป้งข้าวเจ้าจะไม่แข็งแรงหรือถูกทำลายได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเติมแป้งข้าวเจ้ามากขึ้นจึงทำให้น้ำสลัดมีพฤติกรรมเป็นแบบ shear thinning มากขึ้น แต่หากใช้แชนแทนกัมในช่วงร้อยละ 0.15-0.45 พบว่าปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่เติมลงไปไม่ค่อยมีผลต่อพฤติกรรมของการไหลของน้ำสลัด โดยในช่วงการใช้แชนแทนกัมดังกล่าว ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลของน้ำสลัดค่อนข้างคงที่ และมีค่าสูงกว่าการใช้แชนแทนกัมในช่วงอื่น ทั้งนี้เนื่องจากแชนแทนกัมให้โครงสร้างร่างแหของอนุภาคภายในอิมัลชันน้ำสลัด ยึดเกาะกันได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ ทำให้การใช้แชนแทนกัมในช่วงดังกล่าว ทำให้น้ำสลัดมีความคงทนต่อการกวนหรือการให้ shear rate ได้ดี จึงมีค่าอัตราการไหลที่สูงกว่าช่วงอื่น

จากการเปรียบเทียบค่าตัวแปรจากสมการ Herchel -Bulkley ได้แก่ yield stress, consistency coefficient และ flow behavior index ของน้ำสลัดทั้ง

17 สูตร กับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้าอีก 3 สูตร พบว่า น้ำสลัดไขมันต่ำสูตรที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม เท่ากับ 18.04 : 4.5 : 0.45, 24.04 : 1.5 : 0.45 และ 24.04 : 4.5 : 0.45 โดยน้ำหนัก และสูตรทางการค้า 2 มีค่า rheological parameters จากสมการ Herschel-Bulkley ได้แก่ yield stress (σ_0), consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) ไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้น เมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พบว่า สูตรที่ใช้ อัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม เท่ากับ 24.04 : 4.5 : 0.45

โดยน้ำหนัก ได้รับการยอมรับมากที่สุด ในด้านเนื้อสัมผัส ความข้นหนืด สี รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม (ตารางที่ 5)



รูปที่ 1 Contour plot และ Response Surface Methodology (RSM) ต่อค่า yield stress (a) consistency coefficient (b) และ flow behavior index (c) ของน้ำสลัดไขมันต่ำ

สรุป

ในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำโดยการลดปริมาณน้ำมันในสูตรให้น้อยกว่าร้อยละ 30 สามารถทำได้โดยการเติมแป้งข้าวเจ้าและแซนแทนกัมเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและเพิ่มเสถียรภาพน้ำสลัดไขมันต่ำได้ โดยพบว่า น้ำสลัดที่เตรียมจากอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม ที่ 24.04 :

4.5 : 0.45 โดยน้ำหนัก มีพฤติกรรมการไหลที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้ามากที่สุดและได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดในด้านเนื้อสัมผัส ความข้นหนืด สี รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Drakos, A. and Kiosseoglou V. 2008. Depletion Flocculation Effects in Egg-based Model Salad Dressing Emulsions. **Food Hydrocolloid**. 22: 218-224.
- [2] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมายองเนสและสลัดครีม. สำนักงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- [3] มะลิ เนติประมุข. 2534. การพัฒนาน้ำสลัดครีมลดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] วรจกมล สงวนพงษ์. 2544. การลดขนาดเม็ดแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งที่ได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] รุจิรา ปรีชา. 2549. ผลงานวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าว. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์กรมการข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว.
- [6] 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 Hydrocolloid**. 23: 233-243.
- [7] ปาริตา ชุนแอ. 2550. ผลของการดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้นต่อสมบัติทางรีโอโลยีและการเกิดริโพรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [8] Wendin, K. and Hall, G. 2001. Influence of Fat, Thickener and Emulsifier Contents on Salad Dressing: Static and Dynamic Sensory and Rheological Analyses. **Lebensm Wiss Technol**. 34: 222-233.
- [9] Ferrero, C., Martino, M.N. and Zaritzky, N.E. 1990. Corn Starch-Xanthan Gum and Its Effect on Stability during Storage of Frozen Gelatinized Suspensions. **STARCH-STARKE**. 46(8): 300-308.
- [10] Chirstianson, D., Hodge, J.E., Osborne, D. and Detroy, R.W. 1981. Gelatinization of Wheat Starch as Modified by Xanthan Gum Guar Gum and Cellulose Gum. **Cereal Chem**. 58(6): 513-520.
- [11] Mitschka, P. 1982. Simple Conversion of Brookfield R.V.T. Readings into Viscosity Functions. **Food Eng**. 21: 207-209.
- [12] Steffe, J.F. 1992. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. Michigan: Freeman Press – East Lansing.
- [13] Paraskevopoulou, D., Boskou, D. and Paraskevopoulou, A. 2007. Oxidative Stability of Olive Oil-Lemon Juice Salad Dressings Stabilized with Polysaccharides. **Food chem**. 101: 1197-1204.
- [14] Tabilo-Munizaga, G. and Barbosa-Ca'novas, G.V. 2005. Rheology for the Food Industry. **Journal of Food Eng**. 67: 147–156.

- [15] Whistler, R.L. and BeMiller, J.N. 1997. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Minnesota: Eagan Press.
- [16] Parker, A., Gunning, P.A., Ng, K. and Robins, M.M. 1995. How does Xanthan Stabilize Salad Dressing?. **Food Hydrocolloid**. 9(4): 333-342.