

พฤติกรรมการไหลของน้ำสับปรดผสมโยอาหารผงจากกากมะนาว

ปรอยฝน เลิศวันวัฒนา¹ นภาพร เชี่ยวชาญ²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

และ ภาวดี เมระคานนท์³

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120

รับเมื่อ 25 กรกฎาคม 2550 ตอบรับเมื่อ 5 มิถุนายน 2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้โยอาหารผงที่ผลิตจากกากมะนาวหลังการคั้นน้ำมาใช้เป็นแหล่งของโยอาหารในเครื่องต้มเพื่อสุขภาพ โดยทดลองเติมในน้ำสับปรด และศึกษาผลของขนาดอนุภาค (38-63 63-125 125-180 และ 180-250 ไมครอน) และ ความเข้มข้น (ร้อยละ 1-5) ของโยอาหารผงต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำสับปรดหลังการผลิต จากการวัดพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30 °C พบว่า ทุกตัวอย่างแสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก ยกเว้นตัวอย่างน้ำสับปรดผสมโยอาหารผงความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 38-63 ไมครอน ที่แสดงพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน โดยเมื่อผสมโยอาหารผงที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและความเข้มข้นสูงขึ้น ตัวอย่างน้ำสับปรดผสมโยอาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างน้ำสับปรดผสมโยอาหารผงหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 วัน มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และทุกตัวอย่างมีความเป็นซูโดพลาสติกเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : กากมะนาว / ขนาดอนุภาค / ความหนืด / พฤติกรรมการไหล / โยอาหาร

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

³ นักวิจัย

Rheological Behavior of Pineapple Juice with Suspended Dietary Fiber Powder from Lime Residues

Proyphon Lertwanawatana¹, Naphaporn Chiewchan²,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Toongkru, Bangkok 10140

and Pawadee Methacanon³

National Metal and Materials Technology Center, 114 Thailand Science Park,

Phaholyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120

Received 25 July 2007 ; accepted 5 June 2008

Abstract

Lime residue powder, a rich source of dietary fiber (DF) and antioxidants, was used to supplement pineapple juice in order to provide a new pleasant odor and increase the dietary fiber of the juice. The effects of particle size (38-63, 63-125, 125-180 and 180-250 μ m) and concentration (1-5% w/v) of the powder on the physical characteristics of the supplemented juice were determined. At 30°C, all samples exhibited a pseudoplastic behavior with the exception of the juice suspended with a 1% powder comprising particles of the smallest size range which behaved like a Newtonian fluid. An increase in viscosity was observed for juices with larger particle sizes and higher concentrations of powder. The viscosities of the samples increased significantly and all samples became more pseudoplastic after storage at 4°C for 1 day.

Keywords : Lime Residues / Particle Size / Viscosity / Rheological Behavior / Dietary Fiber

¹ Master Degree Student, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering.

² Assistant Professor, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering.

³ Researcher.

1. บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่มีการเสริมคุณค่าทางโภชนาการเป็นที่นิยมมากขึ้นในหมู่ผู้บริโภค รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมใยอาหาร [1] ใยอาหารมีความสำคัญต่อระบบทางเดินอาหารหลายประการ เช่น ช่วยลดอาการท้องผูก เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ อีกทั้งใยอาหารยังช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด จึงช่วยป้องกันการเกิดโรคเบาหวานและโรคหัวใจ [2]

จากผลงานวิจัยพบว่า เศษเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผักและผลไม้ เป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี [3-6] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษเหลือทิ้งของผลไม้ตระกูลส้ม (Citrus fruit) โดยเปลือกและกากที่เหลือหลังการคั้นน้ำจะมีสัดส่วนถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักผล [6] ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยการประยุกต์ใยอาหารจากพืชตระกูลส้มในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น ไส้กรอก [7] และ แฉก เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มสีเหลืองและกลิ่นส้มให้กับอาหาร [8] เป็นต้น นอกจากเศษเหลือทิ้งของผลไม้ตระกูลส้มจะประกอบด้วยใยอาหารในปริมาณสูงแล้ว ยังจัดเป็นใยอาหารที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีสัดส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำในปริมาณที่สมดุล [9] โดยทั่วไปสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำควรอยู่ในช่วง 1.0-2.3 เพื่อที่จะได้ประโยชน์จากใยอาหารทั้งสองชนิด [10-11] Jongarootaprangsee และคณะ [12] รายงานว่าใยอาหารผงผลิตจากกากมะนาว (Lime, *Citrus aurantifolia* Swing) หลังการคั้นน้ำ ประกอบด้วยใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 62.94-64.30 (น้ำหนักแห้ง) โดยมีสัดส่วนของปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 1.1-1.2 นอกจากนี้ใยอาหารดังกล่าวยังมีค่าการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และการบวมน้ำ (Swelling capacity) สูง ซึ่งเหมาะสมในการนำมาใช้กับอาหารเหลว เช่น เครื่องดื่มชนิดต่างๆ

นอกจากนี้ใยอาหารของผลไม้ตระกูลส้มยังมีสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามินซี และสารกลุ่มฟีนอล [13-15] Larrauri และคณะ [9] รายงานว่า กากมะนาวมีปริมาณสารฟีนอลสูงกว่าใยอาหารจากส้มและยังมีสารฟลาโวนอยด์ที่

มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี

กระบวนการเตรียมใยอาหาร ทั้งการสกัด การอบแห้ง และการบด ต่างมีผลต่อสมบัติและลักษณะของใยอาหาร [4, 6, 16-18] ตัวอย่างเช่น การลดขนาดอนุภาคจากการบดแห้งทำให้โครงสร้างของใยอาหารมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นรวมทั้งยังทำลายรูพรุนของโครงสร้าง จึงมีผลต่อสมบัติ Hydration การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์จะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและสมบัติทางกายภาพของ อาหาร เช่น เพิ่มน้ำหนัก (Cooking yield) ให้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ [19] ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับวีทโด (Wheat dough) [20] นอกจากนี้ยังเพิ่มความคงตัวหรือความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร [21] โดยพบว่าขนาด (Particle size) ของใยอาหารมีผลต่อความหนืดของน้ำผลไม้เข้มข้น [22-24] ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของอาหารเหลวยังขึ้นกับขั้นตอนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการให้ความร้อน ซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติ Hydration ของใยอาหารและสมบัติการไหล (Rheological property) [25]

การผลิตน้ำผลไม้ผสมผงใยอาหารเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งยังเป็นการนำเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่ม การนำใยอาหารผงผลิตจากกากมะนาวหลังการคั้นน้ำเติมในน้ำสับปะรด จะช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารให้กับน้ำสับปะรด เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่ผลิตได้ตลอดทั้งปี และราคาไม่แพง ถึงแม้ว่าสับปะรดจะเป็นผลไม้มีกากสูงก็ตาม แต่กากสับปะรดประกอบด้วยใยอาหารปริมาณต่ำ มีใยอาหารที่ละลายน้ำปริมาณน้อย [26] และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ [26-27] การเติมผงใยอาหารจากกากมะนาว นอกจากจะเป็นแหล่งใยอาหารแล้ว ยังจะได้ประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในกากมะนาว ได้แก่กลิ่นหอมของมะนาว นอกจากนี้เพคตินซึ่งมีอยู่มากในกากมะนาว จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจมีกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างไปจากน้ำผลไม้ทั่วไป จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำผงใยอาหารสูงที่ผลิตจากกากมะนาวหลังการคั้นน้ำมาเติมในน้ำสับปะรด เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

โดยศึกษาผลของขนาดของผงโยอาหารและความเข้มข้นต่อพฤติกรรมการไหล ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพแบบใหม่ ที่มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ล้างมะนาว (Lime, *Citrus aurantifolia* Swing) ให้สะอาด หั่นครึ่ง คั้นน้ำ และเอาเมล็ดออก จากนั้นลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 5 นาที เหยี่ยงเอาน้ำส่วนเกินออก แล้วแช่กากมะนาวในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที อัตราส่วนกากมะนาว 1 กก. ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5 ล. เพื่อลดความขม เหยี่ยงเอาสารละลายที่มากเกินพอออกอีกครั้ง จากนั้นนำกากมะนาวมาบดด้วยเครื่องบดสับ (Waring WCG75E ประเทศจีน) ที่ระดับความเร็วปานกลาง 2 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งทันที

2.2 การเตรียมผงโยอาหารจากกากมะนาว

นำกากมะนาวบดที่เตรียมไว้ประมาณ 1,000 ก. เคลือบบนถาดสำหรับอบแห้ง แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Termaks TS8000 ประเทศนอร์เวย์) ที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างโดยอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อน (Memmert 800 ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 105 °C จนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณปริมาณความชื้น [28] โดยให้ความชื้นสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 9 ของน้ำหนักแห้ง บดกากมะนาวแห้งให้เป็นผงและแบ่งเป็น 4 ขนาด ได้แก่ 38-63 63-125 125-180 และ 180-250 ไมครอน โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400, 230, 120, 80 และ 60 เมช ด้วยเครื่องแยกขนาด (Retsch AS200 Basic ประเทศเยอรมัน) บรรจุโยอาหารผงแต่ละขนาดแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.3 การเตรียมน้ำสับประรด

ล้างสับประรด (Smooth Cayenne pineapples, *Ananas comosus* Merr.) ให้สะอาด ปอกเปลือก เอาแกนกลางออก หั่นให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก คั้นน้ำด้วยเครื่อง

คั้นระบบไฮโดรลิก (Sakaya, 4104, ประเทศไทย) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total soluble solid, TSS) และค่า pH ในน้ำสับประรดด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ (Atago N1 ประเทศญี่ปุ่น) และเครื่องวัด pH (Tüv Rheinland CG 841 ประเทศเยอรมัน) ตามลำดับ โดยควบคุมน้ำสับประรดให้มีค่า TSS อยู่ในช่วง 12.2-14.2 องศาบริกซ์ และค่า pH อยู่ในช่วง 3.74-4.00 ก่อนเติมกากมะนาวผงทุกครั้ง

2.4 การเตรียมน้ำสับประรดผสมโยอาหารผง

โยอาหารผงขนาด 38-63 ไมครอน ปริมาณ 15 ก. ลงในน้ำสับประรดปริมาตร 285 มล. ที่กวนด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) จากนั้นปั่นผสมด้วยโถปั่นของเหลว (Waring 32BL80, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ความเร็วระดับปานกลาง เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เกิดเนื้อสัมผัสที่เนียนขึ้น แล้วอุ่นตัวอย่างด้วยเครื่องเขย่า (Heto SB-29-A AT ประเทศเดนมาร์ก) ที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการอ้วนน้ำอย่างเต็มที่ของโยอาหาร (Full hydration) ตัวอย่างที่ได้จะมีความเข้มข้นโยอาหารผงร้อยละ 5 แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งมาเจือจางด้วยน้ำสับประรดเพื่อปรับความเข้มข้นของโยอาหารผงให้เป็น 3 และร้อยละ 1 ตามลำดับ จากนั้นพาสเจอร์ไรส์ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 2 นาที ในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ บรรจุตัวอย่างขณะร้อนในขวดพลาสติก แบ่งขวดตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำไปวัดพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) และอีกส่วนหนึ่งนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาวัดพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นทำการทดลองซ้ำเช่นเดิม แต่เปลี่ยนขนาดของโยอาหารผงเป็น 63-125 125-180 และ 180-250 ไมครอน ตามลำดับ

2.5 การวัดพฤติกรรมการไหล

ศึกษาพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างน้ำสับประรดผสมโยอาหารโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Haake VT500 ประเทศเยอรมัน) ใช้หัวหมุนทรงกระบอก ชนิด NV วัดความหนืดตัวอย่างที่มีความเข้มข้นโยอาหารผงร้อยละ 1 และหัวหมุนทรงกระบอกชนิด SVI สำหรับวัดความหนืด

ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของใยอาหารผงร้อยละ 3 และ 5 ให้อัตราเฉือน (shear rate) เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 500 ต่อวินาที ภายใน 3 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างในระหว่างการวัดที่ 30 และ 4 °C ตามลำดับ

2.6 การวัดขนาดอนุภาค

วัดขนาดอนุภาคของใยอาหารผง (ตัวอย่างแห้ง) และขนาดของใยอาหารผงเมื่อผสมอยู่ในน้ำสับปะรด (ตัวอย่างเปียก) ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Malvern Mastersizer S, MS15 (dry), PS65 (hydrate), ประเทศอังกฤษ) ซึ่งใช้หลักการของการกระเจิงของแสงเลเซอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตัวอย่างตัวอย่างแห้งใช้ร้อยละ 10 ถึง 20 ก. และตัวอย่างเปียกใช้ร้อยละ 80 มล.

2.7 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

การหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber, TDF) ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใช้วิธี Enzymatic-gravimetric [28] ซึ่งวิธีนี้ใช้

เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ทนความร้อน (ยี่ห้อ Sigma-Aldrich, ประเทศเยอรมัน) ย่อยตัวอย่างอบแห้งให้เกิดเจล จากนั้นย่อยตัวอย่างด้วยโปรติเอส (Protease) และอะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) (ยี่ห้อ Sigma-Aldrich, ประเทศเยอรมัน) เพื่อกำจัดโปรตีนและแป้ง นำตัวอย่างไปกรองได้ส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ล้างใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำด้วยน้ำกลั่นอุ่น นำส่วนใสจากการกรองที่ผสมกับน้ำล้างมาเติมเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาณ 4 เท่าของปริมาตรนั้นๆ แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อให้ส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ตกตะกอน นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert 800, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ สำหรับการวิเคราะห์โปรตีนใช้วิธี Kjeldahl และวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทำโดยเผาตัวอย่างในเตาเผาที่อุณหภูมิ 525 °C (ยี่ห้อ Neco 2-160, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ตามลำดับ (AOAC, 2000)

สูตรการคำนวณปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ แสดงดังนี้

$$\frac{\text{ร้อยละใยอาหารที่ละลายน้ำ}}{\text{ร้อยละใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ}} = \frac{((\text{น้ำหนักของส่วนที่เหลือ} - \text{โปรตีน} - \text{เถ้า} - \text{แป้ง}) \times 100)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (1)$$

และปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับผลบวกระหว่างปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

2.8 การวิเคราะห์ปริมาณเพคติน

นำกากมะนาวสด 5 ก. หรือใยอาหารผง 1 ก. มาสกัดเพคตินด้วย กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 30 มล. เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 °C โดยกวนสารละลายอย่างต่อเนื่อง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำไปหมუნเหวี่ยงแยกชั้นด้วยความเร็ว 2,700 xg เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เก็บส่วนที่แยกชั้นอยู่ด้านบนไว้ และละลายลงใน 2-propanol ที่มีปริมาตรเท่ากัน ทำการตกตะกอนเพคตินด้วยการปรับ pH สารละลายเป็น 3.5 ทิ้งไว้ 6 ชม. นำสารละลายไปหมუნเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2700 xg อีกครั้ง เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อแยกเพคตินออกมา จากนั้นนำไปละลายใน 2-propanol อีกครั้ง กวนเป็นเวลา 1 ชม. นำ

ไปหมუნเหวี่ยงอีกครั้งที่ 2,700 xg เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C ทำการละลายเพคตินที่แยกอยู่ด้านบนและละลายลงใน 2-propanol ซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นล้างส่วนที่แยกได้ด้วย 2-propanol ปริมาตร 25 มล. นำไปหมუნเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2,700 xg เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เก็บส่วนที่ตกตะกอนและนำไปอบแห้งที่ 60 °C เป็นเวลา 5 ชม.

2.9 การวัดสี

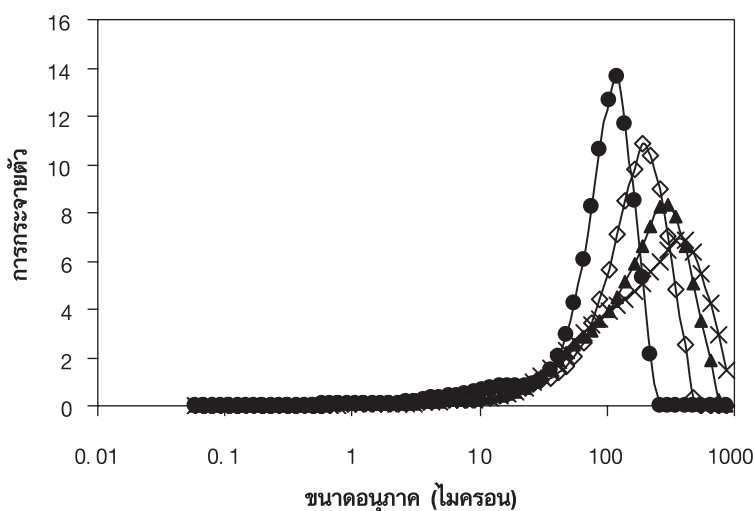
วัดค่าสีของตัวอย่างด้วยระบบ Hunter Lab ด้วยเครื่องวัดสี (บริษัท Juki รุ่น JP 7100 ประเทศญี่ปุ่น) โดยรายงานค่าสีเป็นสัญลักษณ์ *L*, *a* และ *b* ซึ่งแสดงถึงความสว่าง (Lightness) ความเป็นสีแดง (Redness) และความเป็นสีเหลือง (Yellowness) ของตัวอย่าง ตามลำดับ

2.10 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นแบบ Full factorial โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของกากมะนาวผง 3 ระดับ (ร้อยละ 1 3 และ 5) ขนาดอนุภาคโยอาหารผง 4 ระดับ (38-63 63-125 125-180 และ 180-250 ไมครอน) และอุณหภูมิ 2 ระดับ (4 และ 30 °C) ต่อพฤติกรรมการไหลของน้ำสับปะรดผสมกากมะนาวผง ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และการวิเคราะห์ค่าจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทำซ้ำ

3. ผลการทดลอง

ขนาดของอนุภาคของโยอาหารผงหลังจากการอ้วนน้ำอย่างเต็มที่ (Full hydration) ในน้ำสับปะรด แสดงในรูปที่ 1 พบว่าอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากอ้วนน้ำไว้ในตัวอนุภาค (ตารางที่ 1) งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าโยอาหารที่มีเพคตินเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก เช่น Peach pomace [21] มีค่าการบวมน้ำ (Swelling) สูงกว่าโยอาหารอื่นๆ สำหรับกากมะนาวผงที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย



รูปที่ 1 การกระจายตัวของอนุภาคของโยอาหารในน้ำสับปะรดจากขนาดอนุภาคเริ่มต้นต่างๆ ((●) 38-63 ไมครอน (◇) 63-125 ไมครอน (▲) 125-180 ไมครอน และ (×) 180-250 ไมครอน

ตารางที่ 1 ขนาดอนุภาคโยอาหารผงก่อนและหลังผสมกับน้ำสับปะรด

ขนาดตะแกรงร่อน (ไมครอน)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย หลังการแชวนลอยน้ำสับปะรด (ไมครอน)
38-63	94
63-125	159
125-180	210
180-250	249

เพคติน 24.65 ± 0.88 ก./100 ก. น้ำหนักแห้ง เนื่องจากสารประกอบกลุ่มเพคติกมีความเป็น Hydrophilicity สูง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่บวมน้ำ หลังจากเกิดการ อุ่มน้ำอย่างเต็มที่แล้วนั้น จะมีผลต่อพฤติกรรมกลไกของ ตัวอย่าง เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะขัดขวางการไหล ทำให้ส่งผลต่อค่าความหนืดของตัวอย่าง นอกจากนี้เพคตินยังทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickening agent) หรือสารที่ทำให้เกิดเจล จึงส่งผลต่อพฤติกรรมกลไกของตัวอย่างเช่นกัน

รูปที่ 2 แสดงพฤติกรรมกลไกการไหลของน้ำสับปะรดผสมโยอาหารจากกากมะนาวที่ขนาดอนุภาค และความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30°C ตามลำดับ ซึ่งพฤติกรรมกลไกการไหลของตัวอย่างสามารถอธิบายด้วยสมการยกกำลัง (Power-law) ดังนี้

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

โดยที่ τ คือ แรงเค้น (Shear stress; Pa)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (Consistency coefficient; Pa s^n)

$\dot{\gamma}$ คือ อัตราเฉือน (Shear rate; s^{-1})

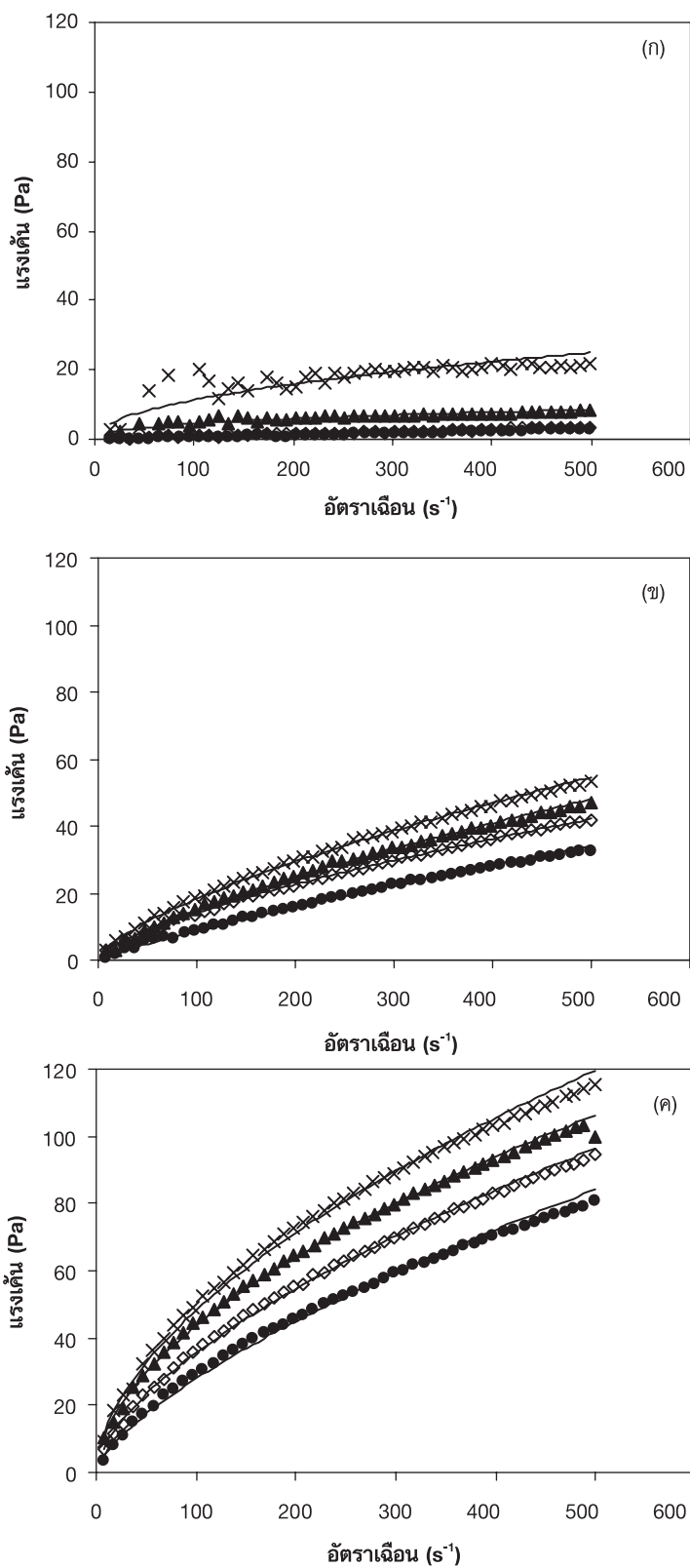
n คือ ค่าดัชนีพฤติกรรมกลไกการไหล (Flow behavior index)

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (K) และค่าดัชนีพฤติกรรมกลไกการไหล (n) ผลโดยรวมแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีพฤติกรรมกลไกการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic behavior) ยกเว้นที่ตัวอย่างความเข้มข้นร้อยละ 1 ของโยอาหารผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (38-63 ไมครอน) มีพฤติกรรมกลไกการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian behavior)

จากรูปที่ 2(ก) จะสังเกตเห็นความแปรปรวนของข้อมูลที่อัตราเฉือนต่ำ ($0-200 \text{ s}^{-1}$) โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ของอนุภาคขนาดใหญ่ (125-180 และ 180-250 ไมครอน) ซึ่งที่ความเข้มข้นของโยอาหาร

ผงสูงขึ้นจะไม่ปรากฏความแปรปรวนดังกล่าว เมื่อเทียบกับช่วงขนาดอนุภาคเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ที่ระดับความเข้มข้นของอนุภาคต่ำ โยอาหารผงมีจำนวนอนุภาคขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่ในน้ำสับปะรด การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบของอนุภาคโยอาหารผงส่งผลให้ค่าแรงเค้นขึ้นลงไม่แน่นอน แต่เมื่อให้อัตราเฉือนเพิ่มขึ้น อนุภาคจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ทำให้การไหลราบเรียบขึ้น ซึ่งการเรียงตัวของอนุภาคทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น และส่งผลให้ค่าความหนืดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโยอาหารผง ผลของขนาดอนุภาคต่อพฤติกรรมกลไกการไหลนั้นจะสังเกตได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ปรากฏการณ์นี้ชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นและขนาดของอนุภาคมีผลต่อแรงเค้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถพิจารณาได้จากข้อมูลในตารางที่ 2 และ 3 ค่า K และความหนืดปรากฏ (η_a) เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโยอาหารผงสูงขึ้นและขนาดอนุภาคโยอาหารผงใหญ่ขึ้น แต่ค่า n จะลดลง ซึ่งหมายถึงพฤติกรรมกลไกการไหลของตัวอย่างเป็นซูโดพลาสติกเพิ่มขึ้น ดังที่กล่าวมาข้างต้น น้ำสับปะรดที่มีความเข้มข้นของโยอาหารจากกากมะนาวสูง มีผลทำให้ค่า K และ η_a เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องมาจากตัวอย่างมีจำนวนอนุภาคมากขึ้น ทำให้โอกาสการขัดกันระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุให้ไปขัดขวางการไหล ดังนั้นความหนืดจึงเพิ่มมากกว่าน้ำสับปะรดผสมโยอาหารผงที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า [22, 30-31]

นอกจากนี้ความสามารถในการแขวนลอยของอนุภาคโยอาหารผงในน้ำสับปะรด น่าจะเป็นผลร่วมของเพคตินในกากมะนาวที่ละลายออกมาในระบบ จากที่กล่าวมาข้างต้น เพคตินทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickening agent) และทำให้เกิดเจล จึงเพิ่มความหนืดให้กับตัวอย่าง ดังนั้นจึงช่วยแขวนลอยตะกอนของเยื่อผลไม้ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ดีในระบบที่มีค่า pH ต่ำ และมีความร้อนซึ่งเพิ่มการละลายของเพคติน [32] การเพิ่มความเข้มข้นของผงโยอาหารในน้ำสับปะรด จึงเป็นการเพิ่มปริมาณเพคตินที่ละลายได้ ซึ่งส่งผลให้ความหนืดของน้ำสับปะรดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 แรงเค้นที่กระทำต่อน้ำสลับประตผลสมกากมะนาวผง: (ก) ร้อยละ 1 (ข) ร้อยละ 3 (8) ร้อยละ 5 ที่ขนาดอนุภาคต่างๆ ((●) 38-63 ไมครอน (◊) 63-125 ไมครอน (▲) 125-180 ไมครอน และ (x) 180-250 ไมครอน) ณ อุณหภูมิ 30 °C

ตารางที่ 2 ผลของความเข้มข้นและขนาดอนุภาคของกากมะนาวผงต่อสัมประสิทธิ์ความหนืด (K) และค่าดัชนีการไหล (n) ของน้ำสับปะรดที่อุณหภูมิ 30 °C

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	K (Pa s ⁿ)	n	r^2
1	38-63	0.006 ± 0.001	1	0.964
	63-125	0.069 ± 0.015	0.640 ± 0.020	0.842
	125-180	1.186 ± 0.001	0.324 ± 0.001	0.819
	180-250	1.581 ± 0.288	0.441 ± 0.048	0.637
3	38-63	0.170 ± 0.061	0.864 ± 0.069	0.990
	63-125	0.378 ± 0.226	0.774 ± 0.096	0.993
	125-180	0.486 ± 0.075	0.734 ± 0.026	0.993
	180-250	0.732 ± 0.146	0.684 ± 0.030	0.997
5	38-63	1.325 ± 0.149	0.676 ± 0.015	0.994
	63-125	3.630 ± 1.360	0.562 ± 0.050	0.996
	125-180	4.167 ± 1.199	0.550 ± 0.020	0.994
	180-250	5.250 ± 1.592	0.542 ± 0.020	0.993

r^2 = correlation coefficient

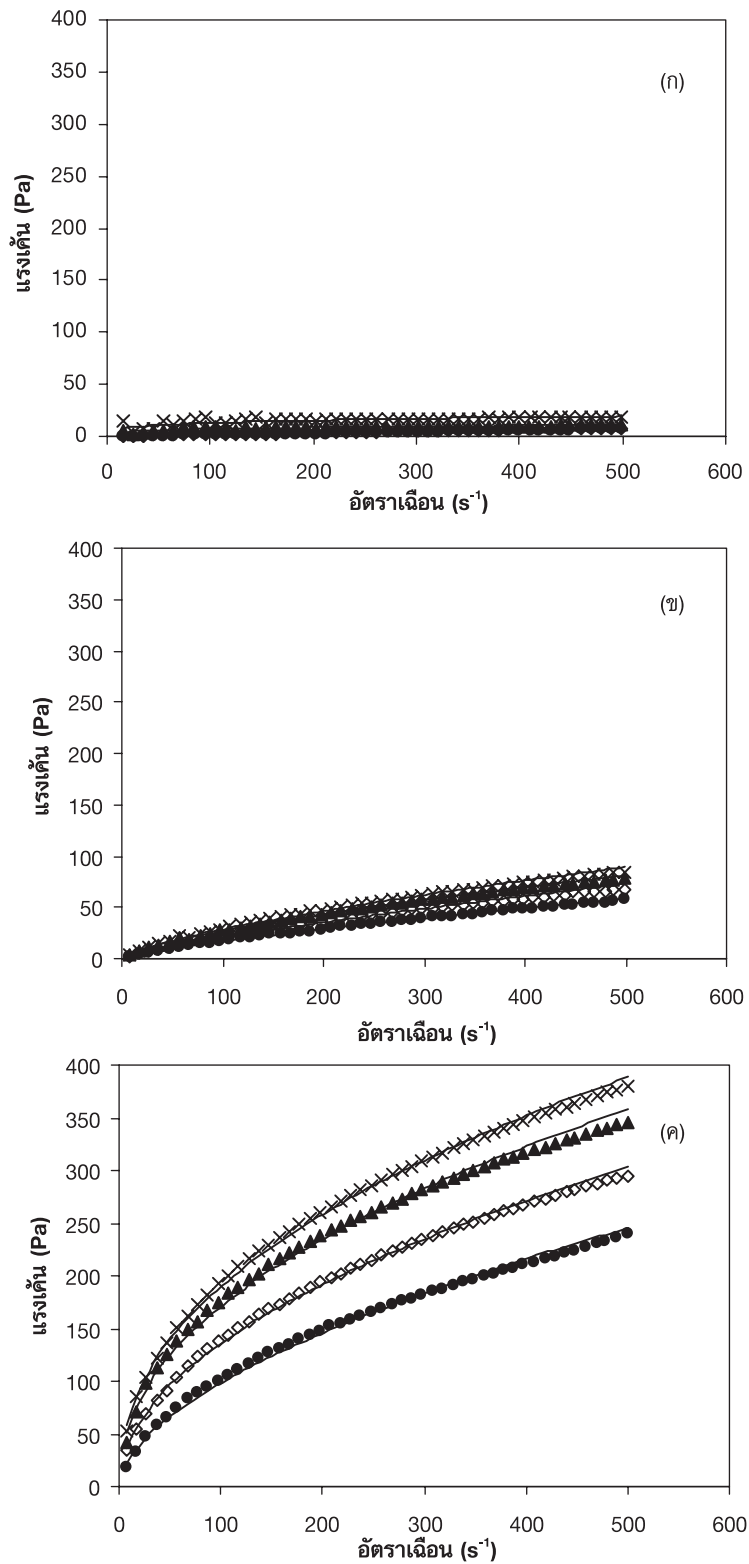
ตารางที่ 3 ความหนืดปรากฏที่ความเร็ว 500 s⁻¹ ของเปลือกมะนาวผงผสมน้ำสับปะรดที่อุณหภูมิ 30 °C

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	η_a (Pa s)
1	38-63	6.58E-03 ± 0.0006
	63-125	7.69E-03 ± 0.0004
	125-180	1.63E-02 ± 0.0027
	180-250	4.38E-02 ± 0.0038
3	38-63	6.56E-02 ± 0.0012
	63-125	7.92E-02 ± 0.0043
	125-180	8.95E-02 ± 0.0037
	180-250	1.19E-01 ± 0.0322
5	38-63	1.69E-01 ± 0.0070
	63-125	2.20E-01 ± 0.0271
	125-180	2.38E-01 ± 0.0431
	180-250	2.85E-01 ± 0.059

จากพฤติกรรมการไหลของน้ำสับประดผสมใยอาหารจากกากมะนาวที่ขนาดอนุภาคและความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 4 °C (รูปที่ 3) พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดแสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก โดยค่า K และค่า n แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งสังเกตได้ว่า แรงเค้นมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นและขนาดของใยอาหารผงเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลการทดลองที่ 30 °C เมื่อเปรียบเทียบค่า K ของตัวอย่างทดลองที่อุณหภูมิ 30 และ 4 °C พบว่าค่า K เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อลดอุณหภูมิลง ความหนืดปรากฏ (η_a) เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตาม ค่า n ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ตารางที่ 6 แสดงลักษณะของน้ำสับประดสดเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำสับประดผสมกากมะนาวผงขนาด 38-63 ไมครอน ความเข้มข้นร้อยละ 5 ซึ่งน้ำสับประดที่เตรียมมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ค่า pH และปริมาณเพคติน ใกล้เคียงกับการรายงานผลการวิเคราะห์น้ำสับประดสำเร็จรูปที่ผลิตเชิงการค้า (Commercially produced pineapple juice) โดย Camáron และคณะ [33] นอกจากนี้ น้ำสับประดที่เตรียมมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Jirattananon และคณะ [34]

เมื่อเติมกากมะนาวผงลงในน้ำสับประด มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และค่า pH ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของกากมะนาวที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็นองค์ประกอบ และกรดที่ยังคงอยู่ในกากมะนาวมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อพิจารณาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในน้ำสับประดผสมใยอาหารผง ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น พบว่ามีใยอาหารสูงกว่า อาทิเช่น เครื่องดื่มเสริมเส้นใยอาหารชนิดผงสำเร็จรูปจากมะละกอมียูใยอาหารทั้งหมด 1.46 ก. ต่อ 100 มิลลิลิตร [35] โยเกิร์ตเสริมใยอาหารจากอินนูลิน หน่อไม้ข้าวสาลีและแอปเปิ้ล ซึ่งมีใยอาหารทั้งหมด 1.3 ก./100 มล. ต่อ 100 มล. [36] นอกจากนี้เมื่อเติมใยอาหารแล้วน้ำสับประดมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลรวมของอนุภาคของกากมะนาวที่ไปขัดขวางการไหลและเพคตินที่ละลายออกมาจากกากมะนาว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเจลเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างไปจากเครื่องดื่มทั่วไป และการเติมกากมะนาวในน้ำสับประดทำให้ความสว่างของน้ำสับประดเพิ่มขึ้น ความเป็นสีเขียว (a) และความเป็นสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน



รูปที่ 3 แรงเค้นที่กระทำต่อน้ำสลับประตพสมกากมะนาวผง: (ก) ร้อยละ 1 (ข) ร้อยละ 3 (ค) ร้อยละ 5 ที่ขนาดอนุภาคต่างๆ ((●) 38-63 ไมครอน (◇) 63-125 ไมครอน (▲) 125-180 ไมครอน และ (x) 180-250 ไมครอน) ณ อุณหภูมิ 4 °C

ตารางที่ 4 ผลของความเข้มข้นและขนาดอนุภาคของกากมะนาวผงต่อสัมประสิทธิ์ความหนืด (K) และค่าดัชนีการไหล (n) ของน้ำสับปะรดที่อุณหภูมิ 4 °C

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	K (Pa s ⁿ)	n	r^2
1	38-63	0.020 ± 0.004	0.9378 ± 0.043	0.983
	63-125	0.064 ± 0.048	0.813 ± 0.119	0.926
	125-180	1.400 ± 0.773	0.348 ± 0.131	0.654
	180-250	2.782 ± 0.413	0.353 ± 0.012	0.695
3	38-63	0.335 ± 0.213	0.839 ± 0.097	0.993
	63-125	0.577 ± 0.024	0.764 ± 0.028	0.995
	125-180	0.815 ± 0.453	0.739 ± 0.074	0.996
	180-250	0.939 ± 0.204	0.714 ± 0.005	0.997
5	38-63	6.220 ± 1.375	0.586 ± 0.025	0.995
	63-125	11.466 ± 3.059	0.519 ± 0.028	0.999
	125-180	19.844 ± 1.115	0.460 ± 0.001	0.995
	180-250	20.992 ± 4.791	0.462 ± 0.023	0.999

r^2 = correlation coefficient

ตารางที่ 5 ความหนืดปรากฏที่ความเร็ว 500 s⁻¹ ของเปลือกมะนาวผงผสมน้ำสับปะรดที่อุณหภูมิ 4 °C

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	η_a (Pa s)
1	38-63	1.40E-02 ± 0.0008
	63-125	1.78E-02 ± 0.0021
	125-180	2.08E-02 ± 0.0020
	180-250	4.02E-02 ± 0.0050
3	38-63	1.07E-01 ± 0.0109
	63-125	1.27E-01 ± 0.0108
	125-180	1.42E-01 ± 0.0215
	180-250	1.51E-01 ± 0.0249
5	38-63	4.53E-01 ± 0.0376
	63-125	5.56E-01 ± 0.0505
	125-180	6.72E-01 ± 0.0281
	180-250	7.22E-01 ± 0.0559

ตารางที่ 6 คุณลักษณะของตัวอย่างน้ำสับประดหลังเติมกากมะนาวผงขนาด 38-63 ไมครอน ความเข้มข้นร้อยละ 5

ลักษณะ	น้ำสับประด	น้ำสับประดผสมโยอาหารร้อยละ 5
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	14.2 °Brix	16 °Brix
pH	3.84	3.64
ปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	0.056 ก./100 มล.	1.64 ก./100 มล.
ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำ	0.02 ก./100 มล.	1.48 ก./100 มล.
ปริมาณโยอาหารทั้งหมด	0.076 ก./100 มล.	3.03 ก./100 มล.
ปริมาณเพคติน	0.0073 ก./100 มล.	1.28 ก./100 มล.
ความหนืดปรากฏ ที่ อัตราเฉือน = 500 s ⁻¹ (วัดที่ 30°C)	0.0036 Pa.s	0.17 Pa.s
สี	L = 22.38, a = -1.46, b = 1.37	L = 40.71, a = -9.37, b = 17.47

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติการไหลพบว่าความหนืดและความเป็นซูโดพลาสติกของน้ำผลไม้ผสมโยอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและขนาดอนุภาคของโยอาหารผง อีกทั้งเพคตินได้ละลายออกมาจากโยอาหารผงจากกากมะนาวช่วยเพิ่มความหนืดให้กับน้ำผลไม้จึงช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโยอาหารผงผลิตจากกากมะนาวหลังการคั้นน้ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มปริมาณโยอาหาร จึงอาจนำไปสู่การผลิตเครื่องดื่มสุขภาพในระดับอุตสาหกรรมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ (BIOTEC) และคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค

6. เอกสารอ้างอิง

1. Fernández-López, J., Fernández-Gin's, J.M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., and Pérez-Álvarez, J.A., 2004, "Lemon Albedo as a New Source of Dietary Fiber: Application to Functional Citrus By-products to Meat Products,"

Trends in Food Science and Technology, Vol. 15, pp. 176-185.

2. Davidson, M.H. and McDonald, A., 1998, "Fiber: Forms and Functions", *Nutrition Research*, Vol. 18, pp. 617-624.

3. Thebaudin, J.Y., Lafabvre, A.C., Harrington, M., and Bourgeois, C.M., 1997, "Dietary Fibers: Nutritional and Technological Interest", *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 8, No. 2, pp. 41-48.

4. Larrauri, J.A., 1999, "New Approaches in the Preparation of High Dietary Fiber Powders from Fruit By-Products", *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 3-8.

5. Schieber, A., Stintzing, F.C., and Carle, R., 2001, "By-products of Plant Food Processing as a Source of Functional Compounds Recent Developments", *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 12, No. 11, pp. 401-413.

6. Lario, Y., Sendra, E., García-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., and Pérez-Alvarez, J.A., 2004, "Preparation of High Dietary Fiber Powder from Lemon Juice by Products," *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol. 5, No. 1, pp. 113-117.

7. García, M.L., Dominguez, R., Galvez, M.D., Casas, C., and Selgas, M.D., 2002, "Utilization of Cereal and Fruit Fiber in Low Fat Dry Fermented Sausages", *Meat Science*, Vol. 60, pp. 227-236.
8. Attavanich, N., and Anprung, P., 2003, "Dietary Fiber Powder from *Citrus reticulata* Blanco Peel and Its Application", *Food*, Vol. 33, pp. 45-55.
9. Larrauri, J.A., Rupérez, P., Bravo, L., and Saura-Calixto, F., 1996, "High Dietary Fiber Powders from Orange and Lime Peels: Associated Polyphenols and Antioxidant Capacity", *Food Research International*, Vol. 29, No. 8, pp. 757-762.
10. Grigelmo-Miguel, N. and Martín-Belloso, O., 1999, "Characterization of Dietary fiber from Orange Juice Extraction", *Food Research International*, Vol. 31, No. 5, pp. 355-361.
11. Jaime, L., Fernandez, A., Martin-Cabrejas, M., Lopez Andreu, F., and Esteban, R., 2002, "Structural Carbohydrates Differences and Potential Source of Dietary Fiber of Onion (*Allium cepa* L.) Tissues", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 50, pp. 122-128.
12. Jongaroontaprangsee, S., Tritrong, W., Chokanaporn, W., Methacanon, P., Devahastin, S., and Chiewchan, N., 2007, "Effects of Drying Temperature and Particle Size on Hydration Properties of Dietary Fiber Powder from Lime and Cabbage By-products," *International Journal of Food Properties*, Vol. 81, pp. 318-329.
13. Miyake, Y., Yamamoto, K., Morimitsu, Y., and Osawa, T., 1997, "Isolation of C-Glucosylflavone from Lemon Peel and Antioxidative Activity of Flavonoid Compounds in Lemon Fruit," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 45, pp. 4619-4623.
14. Bocco, A., Cuvelier, M.E., Richard, H., and Berset, C., 1998, "Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Citrus Peel and Seed Extracts", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 46, pp. 2123-2129.
15. Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, and Jiang, Y., 2003, "Antioxidant Activities of Peel, Pulp and Seed Fractions of Common Fruits as Determined by FRAP Assay", *Nutrition Research*, Vol. 23, pp. 1719-1726.
16. Cadden, A.M., 1987, "Comparative Effects of Particle Size Reduction on Physical Structure and Water Binding Properties of Several Plant Fibers", *Journal of Food Science*, Vol. 52, pp. 1595-1631.
17. Kethireddipalli, P., Hung, Y.C., Phillips, R.O., and McWatters, K. H., 2002, "Evaluating the Role of Cell Material and Soluble Protein in the Functionality of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Pastes", *Journal of Food Science*, Vol. 67, pp. 53-59.
18. Figuerando, F., Hurtado, M.L., Estévez, Chiffelle, I., and Asenjo, F., 2005, "Fiber Concentrates from Apple Pomace and Citrus Peel as Potential Fiber Sources for Food Enrichment", *Journal of Food Engineering*, Vol. 91, pp. 395-401.
19. Fernández-Ginés, J.M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., and Pérez-Álvarez, J.A., 2004, "Lemon Albedo as a New Source of Dietary Fiber: Application to Bologna Sausages," *Meat Science*, Vol. 67, No. 1, pp. 7-13.
20. Wang, J., Rosell, C.M., and Barber, C.B., 2002, "Effect of Addition of Different Fibers on Wheat Dough Performance and Bread Quality", *Food Chemistry*, Vol. 79, pp. 221-226.
21. Grigelmo-Miguel, N., Gorinstein, S., and Martín-Belloso, O., 1999, "Characterization of Peach Dietary Fiber Concentrate as a Food Ingredient", *Food Chemistry*, Vol. 65, No. 2, pp. 175-181.
22. Vitali, A.A. and Rao, M.A., 1984, "Flow

Properties of Low-Pulp Concentrated Orange Juice: Serum Viscosity and Effect of Pulp Content”, *Journal of Food Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 876-887.

23. Tanglerpaibul, T. and Rao, M.A., 1987, “Rheological Properties of Tomato Concentrations as Affected by Particle Size and Methods of Concentration”, *Journal of Food Science*, Vol. 52, No. 1, pp. 141-145.

24. Sánchez, M.C., Valencia, C., Ciruelos, A., Latorre, A., and Gallegos, C., 2003, “Rheological Properties of Tomato Paste: Influence of the Addition of Tomato Slurry”, *Journal of Food Science*, Vol. 68, No. 2, pp. 551-554.

25. Grigeldo-Miguel, N. and Martín-Belloso, O., 1999, “Influence of Fruit Dietary Fiber Addition on Physical and Sensorial Properties of Strawberry Jams”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 41, No. 1, pp. 13-21.

26. Gorinstein, S., Zemser, M., Haruenkit, R., Chuthakorn, R., Grauer, F., Matin-Belloso, O., and Trakhtenberg, S., 1999, “Comparative Content of Total Polyphenols and Dietary Fiber in Tropical Fruits and Persimmon”, *Journal of Nutrition and Biochemistry*, Vol.10, No. 6, pp. 367-371.

27. Sun, J., Chu, Y.F., Wu, X., and Liu, R.H., 2002, “Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Fruits”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 50, pp. 7446-7454.

28. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2000, *Official Methods of Analysis*, 17th ed., Association of Official Agricultural Chemists, Virginia.

29. Cameron, R.G., Baker, R.A. and Grohmann, K., 1997, “Citrus Tissue Extracts Affect Juice Cloud

Stability”, *Journal of Food Science*, Vol. 62, No. 2, pp. 242-245.

30. Bhattacharya, S., Bhat, K.K., and Raghuveer, K.G., 1992, “Rheology of Bangal Gram (*cicer arietinum*) Flour Suspensions”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 17, pp. 83-96.

31. Oomah, B.D., Séry, G., Godfrey, D.V., and Beveridge, T.H.J., 1999, “Rheology of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Juice”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 47, pp. 3546-3550.

32. Espachs-Barroso, A., Soliva-Fortuny, R.C., and Martín-Belloso, O., 2005, “A Natural Clouding Agent from Orange Peels Obtained Using Polygalacturonase and Cellulase”, *Food Chemistry*, Vol. 92, pp. 55-61.

33. Cámara, M., Díez, C., and Torija, E., 1995, “Chemical Characterisation of Pineapple Juices and Nectars: Principal Components Analysis”, *Food Chemistry*, Vol. 54, pp. 93-100.

34. Jiratananon, R., Uttapap, D., and Tangamornsukan, C., 1997, “Self-forming Dynamic Membrane for Ultrafiltration of Pineapple Juice”, *Journal of Membrane Science*, Vol. 129, pp. 135-143.

35. Ittimongkol, B., Srisukh, V., Tungrugsasut, W., Sukkhaw, B., Chinganjanarod, P., and Jaichareon, P., 2002, “Instant Dietary Fiber-Supplemented Beverage Mixes from Papaya”, *Thai Journal of Phytopharmacy*, Vol. 9, pp. 13-21.

36. Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M., and Bevilacqua, A., 2004, “Influence of Dietary Fiber Addition on Sensory and Rheological Properties of Yogurt”, *International of Dietary Journal*, Vol. 14, pp. 263-268.