การประยุกต์ใช้แป้งพุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาดัดแปร เพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสมะเขือเทศ

กสิภูมิ ทวนคง[1] ดุษฎี อุตภาพ[2*] สันทณีย์ ปัญจอานนท์[3]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
วิไล รังสาดทอง[4]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
และ จุรีรัตน์ พุดตาลเล็ก[5]
มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม 73000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้แป้งพุทธรักษา แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ระดับการแทนที่ 0.11 และแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซีเทตที่ระดับการแทนที่ 0.08 เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งทางการค้า เพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดและเพิ่มความคงตัวในซอสมะเขือเทศโดยมีซอสทางการค้าเป็นชุดอ้างอิง พบว่าซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งทุกชนิดที่ระดับความเข้มข้น 1.5% (w/w) มีความหนืดต่ำกว่าซอสทางการค้า (ความหนืดเริ่มต้นที่ 2757 cP) ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 3.0% (w/w) พบว่าซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปร แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลัง มีค่าความหนืดเริ่มต้น 1644, 5118, 5490, 9015 และ 3855 cP และลดลงเป็น 1443, 4641, 3903, 5403 และ 2745 cP ตามลำดับ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 8 สัปดาห์ ซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งพุทธรักษาไม่ดัดแปรจะเกิดการแยกตัวของน้ำสูงสุด (41-57%) ส่วนแป้งดัดแปรชนิดแอซีเทตและแป้งทางการค้ามีการแยกตัวของน้ำปานกลาง (15-22%) และแป้งดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลกับแป้งมันสำปะหลังมีการแยกตัวของน้ำต่ำ (1-8%) ในขณะที่ซอสมะเขือเทศทางการค้าที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันพบว่ามีการแยกตัวของน้ำ 15-18% ซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลพบว่ามีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน เมื่อพิจารณาจากค่าความหนืด การแยกตัวของน้ำและลักษณะปรากฏ รวมถึงปริมาณของแข็ง pH ความเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และสีของผลิตภัณฑ์ ทำให้สรุปได้ว่าแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลเป็นแป้งที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสมะเขือเทศ

คำสำคัญ : แป้งพุทธรักษากินได้ / ซอสมะเขือเทศ/ สารให้ความข้นหนืด / สารให้ความคงตัว

---

* *Corresponding author : dudsadee.utt@kmutt.ac.th*

1 *นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี*

2 *รองศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี*

3 *นักวิจัย สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี*

4 *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์*

5 *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*

Application of Native and Modified Canna Starches as Thickening agent in Tomato sauces

Khasipoom Thaunkhong[1], Dudsadee Uttapap[2*], Santhanee Puncha-arnon[3]

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkhuntian, Bangkok, 10150

Vilai Rungsardthong[4]

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

and Chureerat Puttanlek[5]

Silpakorn University, Nakorn Pathom 73000

Abstract

Native canna starch and its derivatives (hydroxypropyl canna starch with molar substitution of 0.11 and acetylated canna starch with degree of substitution of 0.08) together with the other two starches, i.e., cassava and commercial-modified starches, were evaluated as thickening and phase stabilizing agents in tomato sauce; a commercial tomato sauce was used as a reference. Viscosities of tomato sauces containing all types of starches at a concentration of 1.5% (w/w) were lower than that of the commercial sauce (initial viscosity = 2757 cP). Viscosities of the sauces added with 3.0% (w/w) of native canna, acetylated canna, hydroxypropyl canna, commercial-modified, and cassava starches were 1644, 5118, 5490, 9015 and 3855 cP and decreased to 1443, 4641, 3903, 5403 and 2745 cP, respectively, when kept at room temperature for 8 weeks. Tomato sauces added with native canna starch had the highest percentage of serum loss (41-57%); this was followed by the souces added with acetylated canna and commercial-modified starches (medium loss, 15-22%), and hydroxypropyl canna and cassava starches (low loss, 1-8%), whereas the serum loss of the commercial tomato sauce kept under the same condition was around 15-18%. Tomato sauces with hydroxypropyl canna starch exhibited smooth and homogeneous texture without observable water separation. Based on the three main criteria, namely, viscosity, serum loss and textural appearance as well as total solid content, pH, acidity, reducing sugar content and color, it could be concluded that hydroxypropyl canna starch has high potential for being used as thickening agent in tomato sauce.

Keywords : Canna Starch / Tomato Sauce / Thickening Agent / Stabilizing Agent

* *Corresponding author : dudsadee.utt@kmutt.ac.th*

1 *Graduated Student, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.*

2 *Associate Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.*

3 *Researcher, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.*

4 *Associate Professor, Department of Agro-Industrial Technology, Faculty of Applied Science.*

5 *Assistant Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology.*

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตและบริโภคซอสประเภทต่างๆ ในปริมาณมาก โดยใช้เป็นเครื่องปรุงรสในอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติ ประเภทของซอสซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคของคนไทยคือ ซอสถั่วเหลืองและซอสพริก ส่วนซอสที่มีการขยายตลาดอย่างรวดเร็วในปัจจุบันได้แก่ซอสมะเขือเทศ เนื่องจากมีการรับวัฒนธรรมการบริโภคอาหารแบบตะวันตก โดยทั่วไปนอกจากลักษณะปรากฏของซอส เช่น สีและความสวยงามของบรรจุภัณฑ์แล้ว ลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ได้แก่ ความหนืดและความคงตัวของซอสก็เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยลักษณะเนื้อซอสมะเขือเทศที่ดีต้องข้นเป็นเนื้อเดียวกันและมีสีแดงของมะเขือเทศ มีความหนืดและข้นพอดีและไม่เกิดการแยกตัวของส่วนของเหลวและส่วนของแข็ง [1] ในซอสมะเขือเทศความข้นหนืด (Viscosity/Consistency) และความคงตัวของเนื้อซอสขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้คือ สายพันธุ์ วิธีการบดมะเขือเทศ ความเข้มข้นของเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและค่าความเป็นกรดด่าง [2] สารประกอบหลักที่ให้ความข้นหนืดและความคงตัวของซอส คือเพคติน (Pectin) ซึ่งเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในเนื้อมะเขือเทศ [3] เพคตินเป็นสารโมเลกุลใหญ่จึงให้ความข้นหนืดได้ดี เพคตินจะช่วยให้สารแขวนลอยอยู่ตัวมากขึ้นโดยโมเลกุลของเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลซึ่งในสภาพที่แตกตัวจะจับกับน้ำและกระจายตัวได้ดีจึงช่วยพยุงให้อนุภาคต่างๆ แขวนลอยอยู่ได้

ซอสมะเขือเทศอาจมีความข้นหนืดเปลี่ยนไปหรือเกิดการแยกชั้นขององค์ประกอบในซอสปรากฏให้เห็นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง การแยกชั้นระหว่างเนื้อมะเขือเทศและน้ำรวมถึงความหนืดที่ลดลงของซอสมะเขือเทศเมื่อเวลาผ่านไป อาจเกิดจากการที่เพคตินที่มีอยู่ในเนื้อมะเขือเทศถูกย่อยด้วยเอนไซม์โพลีกาแลคโตโรเนสและเอนไซม์เพคตินเอสเทอร์เรส รวมถึงสภาพความเป็นกรดของเนื้อมะเขือเทศก็ทำให้เกิดการย่อยสลายพันธะภายในโมเลกุลทำให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง จากการศึกษาของ Luh และ Daound [4] พบว่าการให้ความร้อน 104-121°C 15 วินาที สามารถยับยั้งเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดที่คงที่มากขึ้นเพราะเพคตินไม่ถูกย่อยสลาย นอกจากนี้ผู้ผลิตบางรายอาจมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับความข้นหนืดให้เหมาะสมและเพิ่มความคงตัวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแยกชั้นของเนื้อซอสและน้ำ [3] สารไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมซอสมะเขือเทศ คือ กัม (Gum) ประเภทต่างๆ เช่น แซนแทนกัม (Xanthan Ggum) โลคัสบีนกัม (Locust Bean Gum) กัวร์กัม (Guar Gum) แป้งและแป้งดัดแปร กัมเป็นสารประกอบที่มีราคาแพง (ราคาอยู่ระหว่าง 100-700 บาทต่อกิโลกรัม) ส่วนราคาแป้งอยู่ที่ 10-20 บาทต่อกิโลกรัม (สอบถามจากบริษัทผู้ขาย) ดังนั้นแป้งและแป้งดัดแปรจึงเป็นกลุ่มของสารไฮโดรคอลลอยด์ทางเลือกที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสมะเขือเทศเนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่าย มีปริมาณการผลิตสูงและมีสมบัติที่หลากหลายขึ้นกับชนิดของแป้งและวิธีการในการดัดแปรแป้ง แป้งที่จะนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและเพิ่มความคงตัวของซอสมะเขือเทศควรมีสมบัติหลักๆ คือ มีความหนืดและความใสของน้ำแป้งสุกสูง ทนต่อแรงเฉือนและความเป็นกรดได้ดี และต้องมีการแยกชั้นของน้ำกับแป้งต่ำ สำหรับประเทศไทยแป้งที่น่าจะนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสมะเขือเทศได้ดีคือ แป้งมันสำปะหลัง รวมถึงแป้งดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากผลิตได้มากในประเทศและมีราคาถูก น้ำแป้งสุกมีความหนืดและความใสสูง

แป้งอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจคือ แป้งพุทธรักษา แม้ว่าจะยังไม่มีการผลิตในเชิงการค้าในประเทศไทย แต่มีรายงานว่าแป้งพุทธรักษามีสมบัติที่น่าจะนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดได้ดี เนื่องจากน้ำแป้งสุกมีความใสและความหนืดสูง แป้งมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีนและไขมัน เจือปนอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก [5] โดยน้ำแป้งสุกมีความหนืดสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังประมาณ 2-3 เท่า [6] แต่แป้งพุทธรักษาเป็นแป้งที่มีการคืนตัว (Retrogradation) สูงซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวต่ำ แป้งพุทธรักษาที่ผ่านการดัดแปรโดยวิธีไฮดรอกซีโพรพิลเลชันและแอซิทิลเลชันพบว่ามีการคืนตัวลดลงมาก [7,8] ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพในการนำแป้งพุทธรักษาทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปรในการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำแป้ง

พุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาดัดแปรมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอส ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ซอสมะเขือเทศเป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีการบริโภคกันค่อนข้างมาก เป็นที่รู้จักของคนทั่วไปและพบปัญหาการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ แป้งที่เลือกใช้ในการทดลองนี้คือ แป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียว แป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวดัดแปรชนิดแอซิเทตที่ระดับการแทนที่ (Degree of Substitution, DS) 0.08 แป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ระดับการแทนที่ (Molar Substitution, MS) 0.11 โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับแป้งดัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตและแป้งมันสำปะหลัง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้แป้งพุทธรักษาสายพันธุ์ไทยเขียว (Thai-Green Cultivar: TG) ปลูกที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เก็บเกี่ยวเหง้าหลังจากเพาะปลูกประมาณ 9 เดือน และนำมาสกัดแป้งที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง จังหวัดระยอง และแป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวดัดแปร 2 ชนิด คือ ชนิดแอซิเทตที่ระดับการแทนที่ 0.08 (Acetylated Canna starch; AC-Canna) เตรียมโดย Saartrat [9] และชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ระดับการแทนที่ 0.11 (Hydroxypropylated Canna Starch; HP-Canna) เตรียมโดย Chuenkamol [10] ทำการเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch; CAS) และแป้งดัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟต (Commercial-Modified Starch; CS) ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์แป้ง โดยใช้เนื้อมะเขือเทศเข้มข้นกระป๋อง (28-30° Brix) ตราไมก้าเป็นส่วนผสมหลักของซอสมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศทางการค้าที่ใช้ในการทดลองได้จากการสุ่มเลือกซื้อมาจากห้างสรรพสินค้าจำนวน 5 ยี่ห้อ

2.2 การเตรียมซอสมะเขือเทศ

ดัดแปลงจากสูตรของซอสทางการค้า โดยมีส่วนประกอบของเนื้อมะเขือเทศเข้มข้น 30 g น้ำตาลทราย 14.5 g เกลือ 2.5 g น้ำส้มสายชู 10 g แป้งที่สัดส่วน 0, 1.5, 3.0 g และเติมน้ำ 43.0, 41.5, 40.0 g ตามลำดับ ขั้นตอนการเตรียมซอสมะเขือเทศ นำเนื้อมะเขือเทศเข้มข้นมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เติมน้ำตาล เกลือ และน้ำผสมให้เข้ากันแล้วนำไปให้ความร้อนที่ 85-90 °C จากนั้นเติมน้ำส้มสายชู แล้วนำแป้งชนิดต่างๆ มาผสมน้ำที่เหลือจากส่วนผสมเล็กน้อย แล้วเติมลงในซอสมะเขือเทศให้ความร้อนและกวนให้เข้ากัน 10 นาที บรรจุลงขวดที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วขณะร้อน แล้วแช่ลงในน้ำเย็นทันที (ดัดแปลงจาก Marapho [11]) นำตัวอย่างไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและนำไปวัดสมบัติต่างๆ ทุก 2 สัปดาห์เป็นเวลา 8 สัปดาห์

2.3 การศึกษาสมบัติของซอสมะเขือเทศ

2.3.1 ความหนืด

วัดความหนืดซอสมะเขือเทศด้วยเครื่อง Brook-Field Viscometer (Brookfield Engineering Inc., Model RV 2 DV-I, UK) โดยใช้ Small Adapter เข็มเบอร์ 4 ความเร็ว 100 rpm นาน 2 นาที และควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C นำซอสมะเขือเทศ 18.5 ml ใส่ใน Small Adapter จากนั้นติดตั้งเข้ากับเครื่อง Brookfield บันทึกผลที่วัดได้

2.3.2 การแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ (percent serum loss, SL) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Yuan และคณะ [12] และ Thitipraphunkul และคณะ [6]

โดยเตรียมหลอดเซนตริฟิวส์ขนาด 15 ml นำไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกน้ำหนักไว้ เทซอสมะเขือเทศประมาณ 5 g ลงในหลอดเซนตริฟิวส์จดบันทึกน้ำหนักไว้ นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นถ่ายน้ำที่บริเวณผิวหน้าซอสมะเขือเทศออก นำหลอดที่ถ่ายน้ำออกแล้วมาชั่งน้ำหนักสุดท้าย เพื่อนำมาคำนวณหาค่า Percent Serum Loss, %SL จากสูตร

$$\%SL = \frac{(\text{น้ำหนักซอสก่อนถ่ายน้ำ} - \text{น้ำหนักซอสหลังถ่ายน้ำออก}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนถ่ายน้ำ}}$$

2.3.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด [13]

นำถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดมาอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ข้ามคืน นำออกมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_1) ชั่งตัวอย่างซอสมะเขือเทศ 2 g ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมบันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง (W_2) นำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ข้ามคืนและทิ้งให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่หรือต่างกันไม่เกิน 0.1% (ทศนิยมตำแหน่งที่ 3) น้ำหนักที่น้อยที่สุดถือเป็นน้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบแห้งแล้ว (W_3)

$$\text{Total Solid (\%)} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_2} \times 100$$

2.3.4 ค่าความเป็นกรดด่างและสี

วัดค่า pH (Inlab TFK 325, Wissenso-chaftlich-Technische Werkstatten GmbH & Co., KG. Germany) และการเปลี่ยนแปลงสี (Colorimeter, Minolta Chroma Meter CR-300, Japan) ของซอสมะเขือเทศทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยมีซอสมะเขือเทศในท้องตลาดเป็นตัวเปรียบเทียบ

2.3.5 ปริมาณกรดทั้งหมด

ชั่งซอสมะเขือเทศ 2 g แล้วเจือจาง 10 เท่าด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10000 rpm เก็บส่วนใสเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป ปิเปตสารละลาย 5 mL ลงใน Flask ขนาด 25 mL ไตเตรตตัวอย่างด้วย 0.1 N NaOH โดยใช้ phenolphthalein เป็น indicator ค่าที่ได้แสดงผลเป็น CH_3COOH (1 mL 0.1 N NaOH = 0.0060 g CH_3COOH) [13]

2.3.6 น้ำตาลรีดิวซ์

วัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธีของ Bernfeld [14] โดยใช้สารละลาย 3,5-Dinitrosalicylic Acid (DNS Reagent) โดยนำส่วนใสที่เหลือจากการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ปิเปตตัวอย่าง 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง ปิเปตสารละลาย DNS reagent 0.5 mL ลงในหลอดทดลอง นำหลอดทดลองไปต้มที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 5 นาที แล้วนำไปแช่น้ำเย็นอีก 5 นาที เติมน้ำกลั่น 5 ml แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (Shimadzu UV-160, ประเทศญี่ปุ่น) ที่ความยาวคลื่น 540 nm นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

2.3.7 ลักษณะทางกายภาพของซอสมะเขือเทศด้วยกล้องจุลทรรศน์

หยดซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งลงบนแผ่น slide ย้อมสีด้วยสารละลาย KI/I_2 ปิดด้วย Cover Glass ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Light Microscope, Olympus D70, ประเทศญี่ปุ่น) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของซอสมะเขือเทศผสมแป้งทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Duncan's Multiple-Range Test ($P \leq 0.05$)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการสำรวจซอสมะเขือเทศในท้องตลาด

3.1.1 ส่วนประกอบของซอสมะเขือเทศในท้องตลาด

จากการสำรวจซอสมะเขือเทศที่วางจำหน่ายในท้องตลาดโดยเก็บข้อมูลชื่อตราสินค้า ส่วนประกอบของซอสมะเขือเทศ สี บรรจุภัณฑ์ ขนาดบรรจุและวันหมดอายุ พบว่ามีซอสมะเขือเทศ 5 ตราสินค้าที่พบได้ทั่วไปตามตลาดและซุปเปอร์มาร์เก็ตมีสีแดงสดใกล้เคียงกัน ภาชนะบรรจุเป็นขวดแก้วซึ่งปิดผนึกอย่างดีเพื่อป้องกันอากาศและจุลินทรีย์เข้าไปในผลิตภัณฑ์ เพราะซอสมะเขือเทศไม่นิยมใส่วัตถุกันเสีย ขนาดการบรรจุขวดเล็ก 300 mL และขวดใหญ่ 1000 mL และสามารถเก็บรักษาได้นาน 1-2 ปี เมื่อยังไม่เปิดขวดโดยดูจากวันหมดอายุ จากการสำรวจส่วนประกอบของซอสมะเขือเทศจากฉลากปิดขวดพบว่าซอสมะเขือเทศตราสินค้าต่างๆ มีส่วนประกอบใกล้เคียงกัน คือ เนื้อมะเขือเทศ 60-80% (w/w) น้ำตาล 14-15% (w/w)

เกลือ 2.5-3.0% (w/w) และน้ำส้มสายชู (5%) 3-10% (w/w) ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายอยู่บนชั้นสินค้าและยังไม่เปิดใช้สังเกตไม่เห็นการแยกชั้นแต่เมื่อนำมาเปิดดูและทดลองเทซอสออกจากขวดพบว่ามีการแยกชั้นของของเหลว และเมื่อเก็บเป็นเวลานาน 2 เดือน พบว่าการแยกชั้นของของเหลวจะมากขึ้น ความหนืดลดลงและเนื้อซอสมีสีคล้ำขึ้นโดยเฉพาะบริเวณคอขวด

3.1.2 สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของซอสทางการค้า

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของซอสมะเขือเทศทางการค้า 5 ชนิด พบว่าตัวอย่างที่สุ่มมาทั้งหมดมีความหนืดอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง (2460-4614 cP) (ตารางที่ 1) แต่เมื่อสังเกตด้วยตาและการเทพบว่ามีความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกัน แต่ซอสชนิด D จะมีเนื้อสัมผัสยืดเหนียว ซึ่งเมื่อย้อมด้วยสารละลายไอโอดีนพบว่าติดสีม่วง แสดงว่าน่าจะมีการเติมแป้งเป็นสารให้ความข้นหนืด ส่วนการแยกชั้นของซีรั่มพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 14-45% ยกเว้นซอส D ที่คาดว่ามีการเติมแป้งเป็นสารให้ความข้นหนืดมีค่าการแยกชั้นของซีรั่มต่ำมาก (0.13±0.04%) ซอสมะเขือเทศในท้องตลาดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 24-27% ค่า pH 3.5-3.9 ค่าความเป็นกรดทั้งหมด 3-5% และค่าสีแดง/เขียว 14-17

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของซอสมะเขือ

ตัวอย่างทางการค้า	Total Solid (%w/w)	Viscosity (cP)	% Serum Loss (% w/w)	pH	Acidity (%w/w)	สีแดง/เขียว (a)
A	26.17±0.02	2757	14.98±0.05	3.50±0.01	4.95±0.01	16.22±0.08
B	24.30±0.34	3417	28.85±0.01	3.57±0.01	5.04±0.01	16.59±0.13
C	24.50±0.15	2460	28.55±0.15	3.69±0.01	3.00±0.01	14.07±0.20
D	26.30±0.09	3336	0.13±0.04	3.90±0.01	3.60±0.01	14.15±0.23
E	24.20±0.10	4614	44.25±0.47	3.60±0.01	3.60±0.01	16.31±0.04

3.2 สมบัติของผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งเป็นสารให้ความข้นหนืด

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืด

ความหนืดของซอสมะเขือเทศทางการค้า (เลือกใช้ซอส A เป็นตัวแทนเนื่องจากเป็นยี่ห้อที่จำหน่ายทั่วไปและมีการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ต่ำ) และซอสมะเขือเทศชุดควบคุม (ไม่ใส่สารให้ความข้นหนืด) ที่ระยะเวลาต่างๆ ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าความหนืดของซอสมะเขือเทศทางการค้าและซอสมะเขือเทศชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยซอสมะเขือเทศทางการค้ามีความหนืดเริ่มต้นที่ 2757 cP เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 8 สัปดาห์ พบว่ามีความหนืดลดลงเป็น 1797 cP ส่วนซอสมะเขือเทศชุดควบคุมมีความหนืดเริ่มต้นต่ำมากคือ 714 cP และลดลงเล็กน้อยเป็น 423 cP แสดงว่าซอสมะเขือเทศที่เตรียมขึ้นเองมีสมบัติทางด้านความหนืดไม่เทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ทางการค้า จึงควรที่จะมีการเติมสารให้ความข้นหนืดเพื่อปรับความหนืดของซอสให้สูงขึ้น โดยในการศึกษาเบื้องต้นได้ทดลองใช้แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ความเข้มข้น 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0% (w/w) พบว่าค่าความหนืดของซอสที่ได้แบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม คือซอสที่ใช้แป้งที่ความเข้มข้น 1.5-2.0% และ 2.5-3.0% ดังนั้นในแป้งชนิดอื่นจึงทำการทดลองที่ความเข้มข้น 1.5 และ 3.0% (w/w) เท่านั้น พบว่าที่ความเข้มข้น 1.5% (w/w) ซอสมะเขือเทศมีความหนืดแตกต่างจากซอสมะเขือเทศทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซอสมะเขือเทศซึ่งผสมแป้งชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.5% (w/w) มีความหนืดไม่เกิน 2000 cP

ซึ่งต่ำกว่าความหนืดของซอสมะเขือเทศทางการค้า โดยซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปร แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลังมีค่าความหนืดเริ่มต้น 933, 1782, 1977, 1902 และ 1236 cP ตามลำดับ ซึ่งมีความหนืดต่ำเกินไปสำหรับซอสมะเขือเทศเมื่อเปรียบเทียบกับซอสมะเขือเทศทางการค้า

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งในซอสมะเขือเทศเป็น 3.0% (w/w) พบว่าซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปรมีความหนืดน้อยกว่าซอสมะเขือเทศทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีความหนืดเริ่มต้น 1644 cP ซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลังมีความหนืดแตกต่างจากซอสมะเขือเทศทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีความหนืดเริ่มต้น 5118, 5490, 9015 และ 3855 cP ตามลำดับ ซอสมะเขือเทศส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่ความหนืดจะมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ยกเว้นกรณีของซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปรซึ่งมีความหนืดสูงขึ้นมาก และแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทตที่มีความหนืดสูงขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งอาจเป็นผลจากสมบัติในการคืนตัวของแป้งพุทธรักษาที่พบว่าเป็นแป้งที่มีการคืนตัวได้ดี เมื่อสังเกตลักษณะเนื้อของซอสพบว่าเนื้อบางส่วนมีการจับตัวกันเป็นก้อนทำให้เนื้อซอสไม่เนียน การที่ซอสมะเขือเทศส่วนใหญ่มีความหนืดลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้อาจเนื่องจากมีการย่อยสลายของสารโมเลกุลใหญ่เช่น แป้งหรือเพคติน อย่างช้าๆ ในสภาวะที่มีความเป็นกรดของซอสมะเขือเทศ จากการทดลองพบว่าซอสที่เติมแป้งดัดแปรทางการค้ามีความหนืดลดลงอย่างมากในช่วง 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นความหนืดจะค่อนข้างคงที่

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงของ Serum Loss

%Serum Loss เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงตัวของซอสโดยบอกระดับการแยกตัวของส่วนของเหลวจากของแข็งที่มีอยู่ในซอส ถ้า %Serum Loss มีค่าสูงแสดงว่าซอสมีความคงตัวต่ำ ตารางที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลง %Serum Loss ของซอสมะเขือเทศทางการค้าและซอสชุดควบคุม พบว่าซอสทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยซอสมะเขือเทศทางการค้ามีค่า %Serum Loss อยู่ในช่วง 14.98-17.81% ในขณะที่ซอสชุดควบคุมมีค่า %Serum Loss เริ่มต้น 71.68% และเปลี่ยนเป็น 77.90% เมื่อเก็บนาน 8 สัปดาห์ ส่วนการเปลี่ยนแปลง %Serum Loss ของซอสมะเขือเทศที่เติมแป้ง 1.5 และ 3.0% (w/w) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งโดยรวมแล้วแป้งทุกชนิดที่ความเข้มข้น 3.0% (w/w) ทำให้ซอสมีความคงตัวมากกว่าแป้งที่ความเข้มข้น 1.5% (w/w)

ที่ความเข้มข้นแป้ง 1.5% (w/w) ซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปร แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่า %Serum Loss อยู่ในช่วง 56.54-64.51%, 53.77-53.69%, 38.98-39.99%, 46.10-51.37%, และ 17.37-41.72% ตามลำดับ ในช่วงระยะเวลาการเก็บ 2 สัปดาห์ %Serum Loss มีค่าค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นซอสที่เติมแป้งมันสำปะหลังซึ่ง %Serum Loss สูงขึ้นอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 4 แต่หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ซอสที่เติมแป้งทุกชนิดที่ความเข้มข้น 1.5% (w/w) มีค่า Serum Loss สูงกว่าซอสทางการค้า

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของซอสมะเขือเทศเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

Sample	Viscosity (cP)				
	0 week	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks
Commercial Sauce	2757^{e}	2373^{f}	2202^{g}	2019^{e}	1797^{f}
Control	714^{a}	465^{a}	453^{a}	459^{a}	423^{a}
1.5% TG Canna	933^{a}	1146^{c}	1125^{c}	1047^{c}	1038^{c}
3.0% TG Canna	1644^{c}	2505^{g}	1815^{e}	1656^{d}	1443^{d}
1.5% AC-Canna	1782^{cd}	1728^{d}	1704^{d}	1689^{d}	1644^{e}
3.0% AC-Canna	5118^{g}	5487^{j}	5337^{k}	4851^{h}	4641^{j}
1.5% HP-Canna	1977^{d}	1851^{e}	1710^{d}	1665^{d}	1656^{e}
2.0% HP-Canna	2748^{e}	2472^{fg}	2166^{g}	2061^{e}	2046^{g}
2.5% HP-Canna	4069^{f}	3756^{h}	3357^{i}	2946^{f}	2782^{h}
3.0% HP-Canna	5490^{h}	4884^{i}	4065^{j}	3885^{g}	3903^{i}
1.5% CAS	1236^{b}	936^{b}	951^{b}	921^{b}	867^{b}
3.0% CAS	3855^{f}	3297^{g}	3108^{h}	2916^{f}	2745^{h}
1.5% CS	1902^{d}	1860^{e}	1905^{f}	1719^{d}	1803^{f}
3.0% CS	9015^{i}	5787^{k}	5583^{l}	5547^{i}	5403^{k}

Values in a column followed by different superscript letters are significantly ($p < 0.05$) different

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งในซอสมะเขือเทศเป็น 3.0% (w/w) พบว่าซอสมะเขือเทศซึ่งผสมแป้งชนิดต่างๆ (ยกเว้นซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งดัดแปรทางการค้า) มีค่า Serum Loss แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับซอสมะเขือเทศทางการค้า ที่เวลาเริ่มต้นซอสมะเขือเทศซึ่งเติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปร แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทตมี %Serum Loss สูงกว่าซอสทางการค้า ส่วนซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล และแป้งมันสำปะหลังมี % Serum Loss ต่ำกว่าซอสมะเขือเทศทางการค้า ซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปร แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลัง มีค่า %serum loss อยู่ในช่วง 40.97-56.90%, 16.50-21.67%, 4.24-8.26%, 14.73-17.55% และ 0.37-0.73% ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้นี้ค่อนข้างสอดคล้องกับผลการศึกษาสมบัติของแป้งในส่วนของความสามารถในการคืนตัวซึ่งคาดว่าแป้งที่เกิดการคืนตัวสูงน่าจะให้ค่า %Serum Loss สูงด้วย อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ตรงข้ามกับที่คาดไว้ก็คือ ค่า %Serum Loss ของซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งมันสำปะหลังที่พบว่ามีค่าต่ำมาก ซึ่งจากการศึกษาสมบัติทางด้านความหนืดพบว่าเป็นแป้งที่มีการคืนตัวค่อนข้างสูง การที่ซอสมะเขือเทศมีค่า %Serum Loss ที่ต่างไปจากที่คาดไว้อาจเป็นเพราะซอสมะเขือเทศมีองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายอย่างทั้งสารโมเลกุลใหญ่เช่น เพคติน และสารโมเลกุลเล็กเช่น น้ำตาล เกลือ น้ำส้มสายชู ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้อาจเกิด Interaction กับแป้งทำให้สมบัติของแป้งเปลี่ยนไป เมื่อเปรียบเทียบกับซอสมะเขือเทศทางการค้า พบว่าแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 3.0% (w/w) ให้ค่า Serum Loss ที่เทียบเคียงได้หรือดีกว่า เมื่อเก็บซอสมะเขือเทศไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าซอสที่เติม

แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลและแป้งมันสำปะหลัง มี %Serum Loss น้อยกว่าซอสมะเขือเทศทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [15] กำหนดว่าซอสมะเขือเทศต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 20% และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [1] กำหนดให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในเคตชัปมะเขือเทศไม่ต่ำกว่า 29% จากการทดลองพบว่าซอสทางการค้ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 26.17% ซอสมะเขือเทศชุดควบคุมมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 22.24% และซอสมะเขือเทศผสมแป้งเป็นสารให้ความข้นหนืดที่ 1.5 และ 3.0% w/w มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 24-26% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แต่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับเคตชัปมะเขือเทศเล็กน้อย

3.2.4 การเปลี่ยนแปลง pH และสีของซอสมะเขือเทศ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [15] กำหนดค่าความเป็นกรดด่างของซอสมะเขือเทศต้องมีค่าไม่เกิน 4.5 พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH น้อยมาก (ไม่เกิน 0.2 หน่วย pH) ในช่วงการเก็บนาน 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 4) ซึ่ง pH ที่มีค่าเป็นกรดจะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดี สำหรับสีของซอสมะเขือเทศการเก็บรักษาเป็นเวลานานอาจทำให้ซอสมีสีดำคล้ำมากขึ้น ดังนั้นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของซอสมะเขือเทศน่าจะเป็นค่าความสว่าง (L) ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า L ของซอสมะเขือเทศทางการค้าเมื่อเก็บรักษาจนถึงสัปดาห์ที่ 8 ค่าความสว่างลดลงอย่างชัดเจนโดยลดลงมากกว่าสูตรอื่นๆ ส่วนซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งพุทธรักษาดัดแปรบางสูตรพบว่ามีความสว่างลดลงบ้างแต่ไม่ชัดเจนเท่าซอสมะเขือเทศทางการค้า

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของ Serum Loss ของซอสมะเขือเทศเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

Sample	Serum Loss (%w/w)				
	0 week	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks
Commercial Sauce	14.98^{d}	20.88^{d}	16.17^{d}	17.51^{c}	17.81^{d}
Control	71.68^{m}	77.87^{j}	76.85^{l}	77.55^{l}	77.90^{m}
1.5% TG Canna	56.54^{l}	58.40^{i}	59.69^{k}	60.80^{k}	64.51^{l}
3.0% TG Canna	40.97^{i}	47.23^{g}	51.62^{j}	55.79^{j}	56.90^{k}
1.5% AC-Canna	53.77^{k}	54.24^{h}	52.09^{j}	52.75^{i}	53.69^{j}
3.0% AC-Canna	16.50^{e}	21.99^{d}	20.45^{e}	20.86^{d}	21.67^{e}
1.5% HP-Canna	38.98^{h}	39.27^{f}	35.62^{g}	36.16^{f}	39.99^{g}
2.0% HP-Canna	25.78^{g}	27.35^{e}	31.19^{f}	31.32^{e}	31.41^{f}
2.5% HP-Canna	5.91^{c}	6.45^{b}	8.83^{c}	9.65^{b}	10.71^{c}
3.0% HP-Canna	4.24^{b}	4.86^{b}	5.72^{b}	6.96^{b}	8.26^{b}
1.5% CAS	17.37^{f}	20.22^{d}	38.57^{h}	39.35^{g}	41.72^{h}
3.0% CAS	0.37^{a}	0.54^{a}	0.40^{a}	0.60^{a}	0.73^{a}
1.5% CS	46.10^{j}	48.35^{g}	45.67^{i}	49.29^{h}	51.37^{i}
3.0% CS	14.73^{d}	15.62^{c}	16.93^{d}	17.55^{c}	17.55^{d}

Values in a column followed by different superscript letters are significantly ($p < 0.05$) different

3.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด

ปริมาณกรดทั้งหมดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณกรดที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โดยผลที่ได้เป็นค่าที่เทียบเท่ากรดแอซิติกซึ่งเป็นกรดที่ใช้กันมากในการปรุงแต่งรสชาติ ปกติความเป็นกรดอนุญาตให้มีได้ไม่เกินร้อยละ 7% [15] พบว่าซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งและซอสมะเขือเทศชุดควบคุมมีปริมาณกรดทั้งหมด 3.00-3.30% (ตารางที่ 4) และความเป็นกรดเกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงการเก็บไว้ 8 สัปดาห์ ในขณะที่ซอสทางการค้ามีค่าความเป็นกรดประมาณ 4.95% ในสัปดาห์แรกและลดลงเล็กน้อยเป็น 4.65% ค่าความเป็นกรดนี้จะขึ้นกับกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อมะเขือเทศและปริมาณน้ำส้มสายชูที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด, pH และความสว่างของซอสมะเขือเทศเมื่อเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์

Sample	Acidity (% w/w)		pH		ค่าความสว่าง L	
	เริ่มต้น	ที่ 8 อาทิตย์	เริ่มต้น	ที่ 8 อาทิตย์	เริ่มต้น	ที่ 8 อาทิตย์
Commercial Sauce	4.95^{e}	4.65^{e}	3.50^{a}	3.37^{a}	38.98^{h}	32.97^{bc}
Control	3.30^{d}	3.30^{d}	3.61^{cd}	3.62^{e}	30.82^{a}	30.83^{ab}
1.5% TG Canna	3.00^{a}	3.00^{a}	3.61^{cd}	3.60^{c}	31.90^{bc}	31.12^{ab}
3.0% TG Canna	3.30^{d}	3.00^{a}	3.61^{de}	3.60^{c}	32.55^{cde}	31.61^{abc}
1.5% AC-Canna	3.30^{d}	3.30^{d}	3.61^{bc}	3.61^{d}	32.98^{e}	31.16^{ab}
3.0% AC-Canna	3.20^{c}	3.00^{a}	3.63^{fg}	3.61^{d}	35.41^{g}	32.99^{bc}
1.5% HP-Canna	3.30^{d}	3.15^{b}	3.61^{de}	3.61^{d}	32.53^{cde}	31.21^{ab}
2.0% HP-Canna	3.20^{c}	3.20^{c}	3.62^{ef}	3.63^{f}	31.87^{bc}	31.46^{abc}
2.5% HP-Canna	3.10^{b}	3.00^{a}	3.60^{b}	3.59^{b}	32.16^{bcd}	33.66^{c}
3.0% HP-Canna	3.00^{a}	3.00^{a}	3.63^{g}	3.59^{b}	33.65^{f}	32.13^{abc}
1.5% CAS	3.00^{a}	3.00^{a}	3.61^{cd}	3.60^{c}	31.58^{b}	30.95^{ab}
3.0% CAS	3.00^{a}	3.15^{b}	3.62^{ef}	3.60^{c}	35.07^{g}	32.99^{bc}
1.5% CS	3.30^{d}	3.00^{a}	3.62^{ef}	3.62^{e}	32.92^{e}	29.95^{a}
3.0% CS	3.30^{d}	3.00^{a}	3.62^{ef}	3.59^{b}	32.73^{de}	32.85^{bc}

Values in a row followed by different superscript letters are significantly ($p \leq 0.05$) different

3.2.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

น้ำตาลรีดิวซ์ในซอสมะเขือเทศส่วนใหญ่มาจากน้ำตาลที่มีอยู่เดิมในผลมะเขือเทศ นอกจากนี้อาจได้จากการย่อยสลายโพลีแซคคาร์ไรด์ที่มีอยู่ในเนื้อมะเขือเทศแป้งซึ่งเติมลงไปเพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดและน้ำตาลซูโครสที่เติมเพื่อเพิ่มความหวาน ในสภาวะที่เป็นกรดโมเลกุลเหล่านี้อาจถูกไฮโดรไลซ์ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นได้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในซอสมะเขือเทศทางการค้าและซอสชุดควบคุมแสดงดังตารางที่ 5 โดยในช่วง 4 สัปดาห์แรกพบว่าซอสมะเขือเทศทางการค้ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อนข้างคงที่ที่ 3.5-3.7% หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและมีค่าเป็น 9.12% ในสัปดาห์ที่ 8 แสดงว่าน่าจะมีการย่อยสลายสารโมเลกุลต่างๆ ที่กล่าวมา ทำให้มีน้ำตาลรีดิวซ์

สูงขึ้น ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความหนืดก็พบว่าความหนืดของซอสลดลงเช่นเดียวกัน สำหรับซอสชุดควบคุมซึ่งไม่เติมแป้งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นไม่มาก ซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้น 1.5 และ 3.0% (w/w) มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในทิศทางเดียวกันคือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จะสูงขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ซอสมะเขือเทศที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปร แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล แป้งดัดแปรทางการค้าและแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น 3.0% (w/w) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น 4.06, 4.02, 4.11, 4.39 และ 4.32% และเพิ่มขึ้นเป็น 6.12, 6.74, 6.35, 6.79 และ 6.54% ตามลำดับ เมื่อเก็บนาน 8 สัปดาห์

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของซอสมะเขือเทศเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

Sample	Reducing Sugar (%w/w)				
	0 week	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks
Commercial Sauce	3.57^{a}	3.75^{a}	3.77^{a}	8.70^{f}	9.12^{h}
Control	5.42^{g}	6.35^{h}	6.57^{h}	6.56^{d}	6.92^{f}
1.5% TG Canna	4.14^{c}	6.01^{fg}	5.71^{g}	6.22^{b}	8.65^{g}
3.0% TG Canna	4.06^{bc}	4.69^{c}	5.63^{c}	5.64^{a}	6.12^{ab}
1.5% AC-Canna	5.12^{f}	6.36^{h}	6.77^{i}	7.01^{e}	7.03^{c}
3.0% AC-Canna	4.02^{bc}	5.78^{fg}	5.87^{de}	6.01^{b}	6.74^{e}
1.5% HP-Canna	3.98^{b}	4.01^{b}	5.62^{c}	5.72^{a}	6.19^{b}
2.0% HP-Canna	4.02^{bc}	4.12^{b}	5.33^{b}	5.72^{a}	6.09^{ab}
2.5% HP-Canna	4.02^{bc}	4.18^{b}	5.63^{c}	5.75^{a}	6.05^{a}
3.0% HP-Canna	4.11^{c}	4.09^{b}	5.62^{c}	5.76^{a}	6.35^{c}
1.5% CAS	4.45^{e}	5.40^{e}	5.82^{d}	6.00^{b}	6.03^{a}
3.0% CAS	4.40^{de}	5.49^{ef}	6.15^{fg}	6.38^{c}	6.79^{e}
1.5% CS	4.34^{de}	4.60^{c}	5.99^{ef}	6.14^{b}	6.51^{d}
3.0% CS	4.32^{d}	4.92^{d}	5.90^{de}	6.10^{b}	6.54^{d}

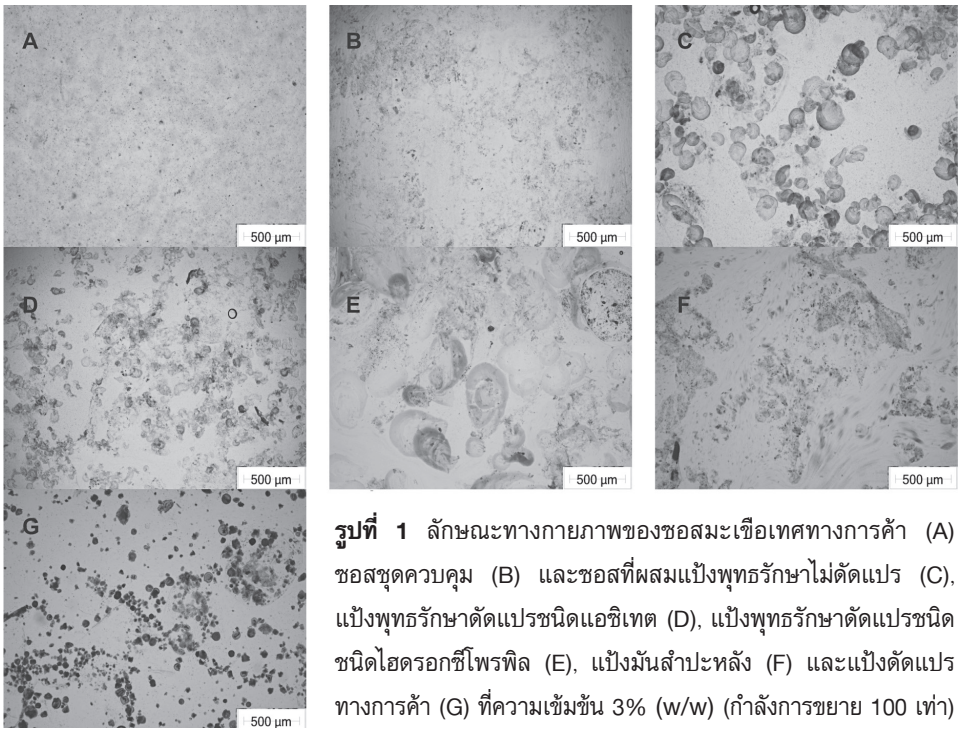
Values in a column followed by different superscript letters are significantly ($p \leq 0.05$) different

3.2.7 ลักษณะทางกายภาพของซอสมะเขือเทศซึ่งผสมแป้งชนิดต่างๆ

1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของซอสมะเขือเทศทางการค้า ซอสมะเขือเทศชุดควบคุมและซอสที่ผสมแป้งชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 3% (w/w) โดยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าซอสมะเขือเทศทางการค้าและซอสมะเขือเทศชุดควบคุมที่ไม่เติมแป้งมีลักษณะที่คล้ายกันคือ มีการกระจายตัวของอนุภาคขนาดเล็กๆ และไม่พบอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีลักษณะคล้ายเม็ดแป้ง จากการศึกษาความหนืดของซอสทำให้ทราบว่าซอสมะเขือเทศทางการค้ามีความหนืดสูงกว่าซอสมะเขือเทศชุดควบคุมมาก ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าน่าจะมีการเติมสาร

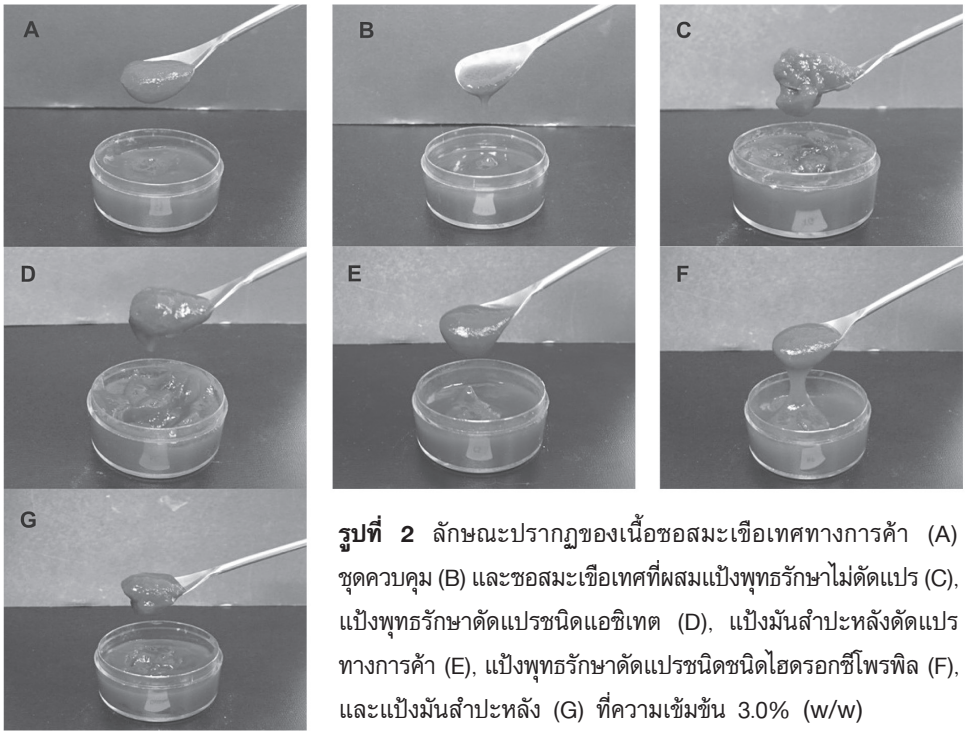
ไฮโดรคอลลอยด์ตัวอื่นๆ ลงไปในซอสทางการค้าเพื่อเพิ่มความหนืด ซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งลงไปเพื่อเพิ่มความข้นหนืดสังเกตเห็นเม็ดแป้งซึ่งติดสีน้ำเงินม่วงได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 1 C-G) โดยเม็ดแป้งพุทธรักษาไม่ดัดแปรมีระดับการพองตัวและการแตกของเม็ดแป้งที่ต่ำกว่าแป้งดัดแปร แป้งมันสำปะหลังก็มีการแตกสูงเช่นกันในขณะที่แป้งดัดแปรทางการค้ายังคงเห็นเม็ดแป้งที่มีลักษณะเป็นเม็ดๆ อยู่



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของซอสมะเขือเทศทางการค้า (A) ซอสชุดควบคุม (B) และซอสที่ผสมแป้งพุทธรักษาไม่ดัดแปร (C), แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต (D), แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดชนิดไฮดรอกซีโพรพิล (E), แป้งมันสำปะหลัง (F) และแป้งดัดแปรทางการค้า (G) ที่ความเข้มข้น 3% (w/w) (กำลังการขยาย 100 เท่า)

2) ลักษณะปรากฏของซอสมะเขือเทศ

ลักษณะปรากฏของซอสที่เติมแป้งชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2 และ 3 ซอสชุดควบคุมซึ่งไม่มีการผสมแป้งเนื้อซอสมีลักษณะเหลวไม่ข้นหนืด ซอสมะเขือเทศผสมแป้งที่ความเข้มข้น 1.5% (w/w) เนื้อซอสมีลักษณะเหลวใกล้เคียงกับซอสชุดควบคุม ส่วนซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้ง 3.0% (w/w) พบว่าซอสที่ผสมแป้งพุทธรักษาไม่ดัดแปรและแป้งดัดแปรชนิดแอซิเทตมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งจับตัวเป็นก้อนและมีการแยกชั้นของน้ำอย่างชัดเจน ซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลพบว่ามีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ยืดเหนียวเล็กน้อย เมื่อเทออกจากขวดการไหลเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน มีความข้นหนืดใกล้เคียงกับซอสทางการค้าและไม่มีการแยกชั้นของน้ำและเนื้อมะเขือเทศ ในซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งมันสำปะหลังเนื้อซอสมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนนิ่มๆ แต่ไม่มีการแยกชั้นของน้ำ เมื่อเขย่าขวดพบว่าก้อนของซอสมะเขือเทศจะแตกออกแต่ก็ยังมีการจับตัวกันเป็นก้อนเล็ก ส่วนในซอสมะเขือเทศซึ่งผสมแป้งดัดแปรทางการค้าพบว่ามีความหนืดสูงมากไม่สามารถเทออกจากขวดได้ ต้องใช้แรงเขย่ามาก แต่เนื้อซอสเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกันคล้ายซอสมะเขือเทศทางการค้า มีการแยกชั้นของน้ำเล็กน้อย



รูปที่ 2 ลักษณะปรากฏของเนื้อซอสมะเขือเทศทางการค้า (A) ชุดควบคุม (B) และซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งพุทธรักษาไม่ดัดแปร (C), แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต (D), แป้งมันสำปะหลังดัดแปรทางการค้า (E), แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดชนิดไฮดรอกซีโพรพิล (F), และแป้งมันสำปะหลัง (G) ที่ความเข้มข้น 3.0% (w/w)

รูปที่ 3 ลักษณะปรากฏของการแยกชั้นของเนื้อซอสมะเขือเทศทางการค้า (A) ชุดควบคุม (B) และซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งพุทธรักษาไม่ดัดแปร (C), แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทต (D), แป้งมันสำปะหลังดัดแปรทางการค้า (E), แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดชนิดไฮดรอกซีโพรพิล (F) และแป้งมันสำปะหลัง (G) ที่ความเข้มข้น 3.0% (w/w)

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสมบัติของซอสมะเขือเทศทั้งหมดที่กล่าวมา ในการประเมินความเหมาะสมของแป้งที่จะนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดทั้งทางด้านชนิดและความเข้มข้นพิจารณาจากปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยคือ ความหนืด ความคงตัวและลักษณะปรากฏของซอส โดยมีปัจจัยอื่นๆ คือ ปริมาณของแข็ง สี pH และความเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เป็นตัวร่วมในการพิจารณา ในส่วนของความเข้มข้นแป้งที่เติมลงในซอส พบว่าซอสที่เติมแป้งทุกชนิดที่ความเข้มข้นแป้ง 1.5% (w/w) มีความหนืดและความคงตัวต่ำกว่าซอสทางการค้าซึ่งกำหนดให้เป็นผลิตภัณฑ์อ้างอิงโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นความเข้มข้นแป้งที่ 1.5% (w/w) จึงน้อยเกินไปที่จะทำให้ได้ซอสที่มีคุณภาพตามต้องการ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้งเป็น 3.0% (w/w) พบว่ามีเพียงซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ดัดแปรเท่านั้นที่มีค่าความหนืดต่ำกว่าซอสทางการค้า ซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งดัดแปรทางการค้ามีความหนืดเริ่มต้นที่สูงมากกว่าแป้งชนิดอื่นๆ แต่ค่าความหนืดของซอสก็ลดลงอย่างมากในสัปดาห์ที่ 2 เมื่อดูความคงตัวของซอสจากค่า %Serum Loss พบว่าซอสที่เติมแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลและแป้งมันสำปะหลังมี %Serum Loss ต่ำกว่าซอสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับลักษณะปรากฏของซอสพบว่าซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งพุทธรักษาที่ไม่ผ่านการดัดแปรและแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดแอซิเทตมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งจับตัวเป็นก้อนและมีการแยกชั้นของน้ำอย่างชัดเจน ในขณะที่ซอสมะเขือเทศซึ่งผสมแป้งดัดแปรทางการค้ามีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถเทออกจากขวดได้ ต้องใช้แรงเขย่ามากแต่เนื้อซอสเรียบเนียนคล้ายซอสมะเขือเทศทางการค้า ส่วนซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลซอสมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกันและยืดเหนียวเล็กน้อยเมื่อเทออกจากขวด การไหลเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกันใกล้เคียงกับซอสมะเขือเทศทางการค้าและไม่สังเกตเห็นการแยกชั้นของน้ำ ซอสมะเขือเทศที่ผสมแป้งมันสำปะหลังเนื้อซอสจะจับตัวกับเป็นก้อนนิ่มแต่ไม่มีการแยกชั้นของน้ำ ปัจจัยอื่นๆ ที่นำมาพิจารณาร่วมด้วยคือ ปริมาณของแข็ง สี pH และความเป็นกรดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ มีค่าที่ใกล้เคียงกันและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [15] ดังนั้นโดยสรุปแล้วแป้งที่มีแนวโน้มที่ดีที่น่าจะนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสมะเขือเทศคือ แป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลซึ่งให้ค่าความหนืดสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและให้ลักษณะปรากฏที่ดี ส่วนแป้งมันสำปะหลังแม้ว่าจะช่วยให้ซอสมะเขือเทศมีความคงตัวสูง แต่พบว่าเนื้อซอสมะเขือเทศจะจับตัวกับเป็นก้อนนิ่มและสมบัติในการให้ความหนืดจะด้อยกว่า แป้งดัดแปรทางการค้าแม้ว่าจะให้ความข้นหนืดสูงแต่ความคงตัวของซอสมะเขือเทศจะต่ำกว่าแป้งพุทธรักษาดัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลและแป้งทางการค้า

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ในโครงการทุนพัฒนาบุคลากรระดับปริญญาโทและปริญญาเอกและจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

1. Ministry of Industry Thailand, 1981, *Industrial Standards of Tomato Ketchup*, Industrial Standard Document No. 392-2524, Thai Industrial Standards Institute, Bangkok. (In Thai)

2. Stoforos, N.G. and Reid, D.S., 1992, “Factors Influencing Serum Separation of Tomato Ketchup”, *Journal of Food Science*, Vol. 57, pp. 707–713.

3. Sidhu, J.S., Bawa, A. S. and Singh, N., 1997, “Studies on the Effect of Hydrocolloids on the Consistency of Tomato Ketchup”, *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 34, pp. 423–424.

4. Luh, B.S., and Daound, H.N., 1971, “Effect of Break Temperature and Holding Time on Pectin and Pectic Enzymes in Tomato Pulp”, *Journal of Food Science*, Vol. 36, pp. 1039-1043.

5. Chansuwan, W., 2001, *Characterization of starch isolated from edible Canna rhizome (Canna edulis)*, Master Degree Thesis, King Mongkut’s

University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (In Thai)

6 Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. and Takeda, Y., 2003, "A Comparative Study of Edible Canna (*Canna edulis*) Starch from Cultivars. Part I. Chemical Composition and Physicochemical Properties", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 53, pp. 317-324.

7. Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. and Uttapap, D., 2005, "Edible Canna (*Canna edulis*) Starch Modified by Acetylation", *KMUTT Research and Development Journal*, Vol. 28, No. 1, pp. 87-102. (In Thai)

8. Chuenkamol, B., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. and Uttapap, D., 2007, "Characterization of Low-Substituted Hydroxypropylated Canna Starch", *Food Hydrocolloids*, Vol. 21, pp.1123-1132.

9. Saartrat, S., 2003, *Modification of edible Canna starches by acetylation*, Master Degree Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (In Thai)

10. *Chuenkamol, B., 2005, Modification of edible Canna starches by hydroxypropylation,* Master Degree Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (In Thai)

11. Marapho, A., 1993, *The use of modified starch as a stabilizer in tomato ketchup*, Master Degree Thesis. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (In Thai)

12. Yuan, R.C. and Thompson, D.B., 1998, "Freeze-Thaw Stability of Three Waxy Maize Starch Pastes Measured by Centrifugation and Calorimetry", *Cereal Chemistry,* Vol. 75, pp. 571–573.

13. Association of Official Analytical Chemists., 1995, *Official Methods of Analysis*, 5th Edition, Virginia: The Association of Official Agricultural Chemists.

14. Bernfeld, P., 1951, "Enzyme of Starch Degradation and Synthesis", *Advance in Enzymology*, Vol. 12, pp. 379.

15. Ministry of Industry Thailand, 2004, *Thai Community Product Standard of Tomato Ketchup*, Community Product Standard Document No. 290-2547, Thai Industrial Standards Institute, Bangkok. (In Thai)