

บทที่ 5 ศึกษาระดับความสุกของกล้วยและการเนื้ร่วมกับกระบวนการ การพ่ฟฟิ่งที่มีต่อคุณภาพกล้วยแผ่น

5.1 บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไร้ไขมันได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ (Hang and Zhang, 2012) เนื่องจากการรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณไขมันมากเกินไป ส่งผลเสียต่อสุขภาพ ซึ่งไขมันก่อให้เกิดโรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง และโรคอ้วน เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีไขมัน และมีเนื้อสัมผัสที่กรอบให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เทคนิคการพ่ฟฟิ่งด้วยอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งสามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เทคนิคนี้ใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น เพื่อทำให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์เดือด และระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว มีผลให้เกิดแรงดันไอน้ำสูง จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัว (Payne et al., 1989) ปัจจัยของกระบวนการพ่ฟฟิ่งด้วยอุณหภูมิสูงระยะเวลานั้นมีด้วยกันหลายตัวแปรเช่น ความชื้นเริ่มต้นก่อนพ่ฟฟิ่ง อุณหภูมิ และเวลาพ่ฟฟิ่ง เป็นต้น ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ การขยายตัว เนื้อสัมผัส และสี (Nath et al., 2007; Shilton et al., 1998 และ Varnalis et al., 2004)

จากผลการศึกษาบทที่ 3 พบว่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วยแผ่นก่อนพ่ฟฟิ่งที่เหมาะสมประมาณ 25% d.b. (Raikham et al., 2013) และอุณหภูมิในการพ่ฟฟิ่ง 160°C เป็นเวลา 2 นาที ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีสีคล้ำเกิดขึ้น นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้ว วิธีการพ่ฟฟิ่งด้วยวิธีการลวกหรือการเนื้ตัวอย่างก่อนนำไปผ่านกระบวนการพ่ฟฟิ่ง เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถเพิ่มความยืดหยุ่น และลดการซึมผ่านของไอน้ำออกจากวัสดุได้ ส่งผลให้วัสดุเกิดการขยายตัวได้ดีระหว่างพ่ฟฟิ่ง (Varnalis et al., 2001) แต่การลวกอาจทำให้สูญเสียคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส สี รสชาติ และส่วนประกอบของสารอาหารบางส่วน (Kidmose and Martens, 1999; Williams et al., 1986) ขณะที่การเนื้สามารถลดการสูญเสียคุณภาพดังกล่าวได้ดีกว่า ดังนั้นการศึกษาในบทนี้จึงเลือกใช้วิธีการเนื้

นอกจากปัจจัยดังกล่าวเบื้องต้นแล้ว ระดับความสุกของกล้วย ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยกล้วยดิบมีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 75g/100g และมีปริมาณน้ำตาลน้อยเพียง 2g/100g ขณะที่กล้วยสุกมีปริมาณแป้งลดลงเหลือประมาณ 60g/100g และมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 34g/100g ซึ่งสัดส่วนที่แตกต่างของปริมาณแป้ง และน้ำตาลดังกล่าว มีผลกระทบต่อระดับการหดตัวของผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษาของ Yamsaengsung et al. (2011) รายงานว่าระดับความสุกของกล้วยมากขึ้น มีผลต่อปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณน้ำตาลที่สูง

ภายในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เกิดการหดตัวมากกว่ากล้วยดิบ เช่นเดียวกับกล้วยแผ่นที่ผ่านการออสโมซิส ที่ความเข้มข้นของปริมาณซูโครสสูง ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น และมีความยืดหยุ่นลดลง ส่งผลให้เกิดการขยายตัวได้ยากระหว่างการแปรรูปด้วยการพффฟิง (Tabtiang et al., 2012) และผล การศึกษาของ Nieto et al. (2004) พบว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสด้วยซูโครส ทำให้โครงสร้าง เกิดการหดตัวสูงประมาณ 44% ขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสเกิดการหดตัวน้อยลงเป็น 27% อย่างไรก็ตามเพื่อลดระดับการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ควรมีสัดส่วนของปริมาณแป้งสูง ประมาณ 60-70% ซึ่งสามารถช่วยให้เกิดการขยายตัวได้ดี (Conway, 1971)

การบริโภคอาหารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงในปริมาณที่มาก จะทำให้ระดับ น้ำตาลกลูโคสในเลือดสูงขึ้น พิจารณาได้จากค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index, GI) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ ถึงการดูดซึมของระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด ดังนั้นการเลือกรับประทานอาหารหรือขนมขบเคี้ยวที่ แปรรูปมาจากคาร์โบไฮเดรตที่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดได้ จึงเป็นผลิตภัณฑ์อีก ทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ สำหรับกล้วยดิบมีระดับดัชนีน้ำตาลที่ต่ำ เนื่องจาก มีสัดส่วนปริมาณ Resistant starch (RS) ที่สูง โดย RS มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับใยอาหาร (dietary fiber) และจะไม่เกิดการย่อยในระบบทางเดินอาหารภายในร่างกาย เนื่องจากสตรัคเจอร์นี้มีความต้านทาน การต่อการย่อย หากบริโภคเป็นประจำ สามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคต่างๆได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงระดับดัชนีน้ำตาลของคาร์โบไฮเดรตนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น กระบวนการให้ความร้อน ทำให้โครงสร้างแป้งถูกทำลาย ส่งผลให้แป้งย่อยได้ง่ายขึ้น เช่น การลวกมันฝรั่งด้วยน้ำร้อนนานประมาณ 15 นาที ส่งผลต่อระดับดัชนีน้ำตาล (GI) ที่เพิ่มขึ้นจาก 53 เป็น 66 (Lin et al., 2012) และผลการศึกษาของ Chung et al. (2006) รายงานว่าข้าวเหนียวที่ยังไม่ ผ่านการให้ความร้อนมีระดับ GI เป็น 87.6 หลังจากให้ความร้อนและเกิดเจลประมาณ 60-70% มีผล ให้ระดับ GI เพิ่มขึ้นเป็น 91-92 และผลการศึกษาของ Chung et al., (2009) รายงานว่าแป้งข้าวโพด และแป้งถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการให้ความร้อนมีระดับ GI เท่ากับ 73.2 และ 61.2 ตามลำดับ และเมื่อ ระดับการเกิดเจลเพิ่มขึ้น พบว่าระดับ GI เพิ่มขึ้นเป็น 85-90 นอกจากกระบวนการให้ความร้อนที่มีผล ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับดัชนีน้ำตาลแล้ว การเพิ่มสัดส่วนของแป้งที่มีปริมาณ Resistant starch สูงในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่น แป้งกล้วย แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น สามารถช่วยลดระดับ GI ลงได้ ซึ่งผลการศึกษาของ Edith et al. (2012) รายงานว่าการเพิ่มสัดส่วนของแป้งกล้วยดิบในปริมาณ สูงเพื่อเป็นส่วนผสมในการทำคุกกี้ ส่งผลต่อระดับ GI ที่ลดลง

จากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแปรรูปกล้วยแผ่นอบกรอบด้วยเทคนิคการพuffing ร่วมกับการศึกษาอิทธิพลของระดับความสุกของกล้วย เวลาในการนึ่งที่มีต่อคุณภาพของกล้วยแผ่น ได้แก่ การหดตัว เนื้อสัมผัส สี และระดับ Glycemic index

5.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

5.2.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดด้วยอากาศร้อน

รายละเอียดเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

5.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

กล้วยหอมทองมีปริมาณของแข็งละลายได้ในช่วง 17-18 และ 3-5°Brix จากนั้นนำกล้วยมาปอกเปลือกและนำมาหั่นเป็นรูปทรงแบบแผ่นที่ความหนา 2.5 มม. และนำกล้วยไปแช่ในกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.25% (w/v) เป็นเวลา 5 นาที และในการศึกษานี้จะแบ่งระยะเวลาการนึ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน สำหรับกล้วยดิบระยะที่ 1 จะนำไปผ่านการนึ่งที่เวลาต่างๆ ได้แก่ 30 วินาที 1 นาที 1.5 นาที และ 2 นาที ตามลำดับ ส่วนกล้วยสุกระยะที่ 3 จะนำไปผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที เนื่องจากเนื้อสัมผัสของกล้วยระยะ 3 ค่อนข้างนิ่มจึงไม่เหมาะที่จะนึ่งเป็นเวลานาน ซึ่งจะทำให้เนื้อกล้วยยุบ หลังจากนั้นจึงนำกล้วยไปจัดเรียงบนตระแกรงก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง

5.2.3 กระบวนการพuffing

ขั้นตอนการพuffing กล้วยด้วยลมร้อนประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกอบแห้งกล้วยแผ่นที่ผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C ให้เหลือความชื้นประมาณ 25% d.b. โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งประมาณ 2 m/s จากนั้นทำการพuffing กล้วยด้วยฟลูอิดซ์เบดด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เวลาที่ใช้ในการพuffing 2 นาที โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งประมาณ 3.5 m/s และในขั้นตอนสุดท้ายนำกล้วยที่ผ่านการพuffing ไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่สถานะเดียวกับขั้นตอนแรกจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการประมาณ 4% d.b.

5.2.4 การหาน้ำหนักแห้ง

รายละเอียดการหาน้ำหนักแห้งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

5.2.5 การทดสอบคุณภาพด้านการหัตถ์

รายละเอียดการทดสอบคุณภาพด้านการหัตถ์ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

5.2.6 การทดสอบคุณภาพด้านสี

รายละเอียดการทดสอบคุณภาพด้านสีได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

5.2.7 การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

รายละเอียดการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

5.2.8 การทดสอบสมบัติด้านการย่อยและดูดซึมแป้งกล้วย

การทดสอบสมบัติด้านการย่อยและดูดซึม (Starch hydrolysis) ของแป้งกล้วย ซึ่งใช้แป้งกล้วยที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการฟัฟฟิงและอบแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 4% d.b. จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 Mesh แล้วจึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Goni et al. (1997) โดยนำตัวอย่างแป้งกล้วยจำนวน 50 mg ซึ่งไม่ผ่านการให้ความร้อนใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 mL จากนั้นเติม KCl-HCl buffer pH 1.5 ประมาณ 10 mL แล้วจึงนำไปปั่นเป็นเวลา 2 นาที โดยใช้เครื่อง ultra turrax homogenizer (IKA Labortechnik, T25, Staufen, Germany) เติมสารละลาย pepsin (Sigma, P-7000, St. Louis, MO) ใน KCL-HCL buffer (1g/10 mL) ปริมาณ 0.2 mL เพื่อสกัดเอาโปรตีนออก และจึงนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อน (Heto-Holten A/S, SBD50, Allerød, Denmark) ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 60 min จากนั้นปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 25 mL ด้วย tris-maleate buffer (pH 6.9) เติมสารละลายเอนไซม์ α -amylase ปริมาณ 5 mL ซึ่งมีกิจกรรมเท่ากับ 2.6 UI ใน tris-maleate buffer ซึ่งเป็นฟัฟเฟอร์ที่นำมาใช้เพื่อปรับเอนไซม์ α -amylase ให้ทำงานได้ที่ pH 6.9 (Sigma, A-6814, St. Louis, MO) เพื่อวัดอัตราการย่อยของแป้งกล้วย จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 37°C ดูดตัวอย่างปริมาณ 0.1 mL ใส่ในหลอดทดลองทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลา 180 นาที หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ α -amylase โดยนำหลอดทดลองไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที เติม 0.4 M sodium acetate buffer (pH 4.75) ปริมาณ 1 mL และเติมเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาณ 30 μ L เพื่อย่อย maltodextrin ให้เป็นน้ำตาล D-glucose (*Aspergillusniger*: Sigma, A9913-10mL, St. Louis, MO) ลงในหลอดทดลอง จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 45 นาที ในขั้นตอนสุดท้ายวัดความเข้มข้นของกลูโคสโดย glucose oxidase-

peroxidase kit (Sigma Chemical Co., G3660-1CAP, St. Louis, MO) การคำนวณหาอัตราของการย่อยแป้งสามารถคำนวณได้จากสมการของ Goni et al. (1997) คือ

$$C = C_{\infty} (1 - e^{-kt}) \quad (5.1)$$

โดยที่	C	=	ร้อยละของอัตราการย่อยแป้งกล้วยที่เวลา t
	C_{∞}	=	ร้อยละของอัตราการย่อยแป้งกล้วยที่เวลา 180 min
	k	=	ค่าคงที่ของอัตราการย่อย
	t	=	เวลาที่ใช้ในการย่อย, min

สำหรับพื้นที่ใต้กราฟการไฮโดรไลซิส (AUC) ที่จะนำไปคำนวณหาค่า hydrolysis index (HI) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.2

$$AUC = (C_{\infty}(t_f - t_0) - \left(\frac{C_{\infty}}{k}\right)(1 - \exp(-k(t_f - t_0)))) * 100 \quad (5.2)$$

โดยที่ t_0 คือ เวลาเริ่มต้นที่ใช้ในการย่อย 0 min และ t_f คือเวลาสุดท้ายที่ใช้ในการย่อย 180 min

ส่วนค่า HI คำนวณได้จากการหารพื้นที่ใต้กราฟของอัตราการย่อยตัวอย่างที่ทดสอบด้วยพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างอ้างอิง ซึ่งในที่นี้คือพื้นที่ใต้กราฟของอัตราการย่อยขนมปังขาวสำหรับค่า glycemic index (GI) คำนวณได้จากสมการที่ 5.3 (Goni et al., 1997)

$$GI = 39.71 + 0.549HI \quad (5.3)$$

5.2.9 การทดสอบปริมาณใยอาหาร

วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธีเอนไซม์เมติก-กราวิเมตริก (Enzymatic-gravimetric method) ทำการทดสอบด้วยวิธี (AOAC, 1995, Method No. 991.43) โดยทำการย่อยแป้งตัวอย่างด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส หลังจากนั้นย่อยโปรตีน และสตาร์ชในตัวอย่างด้วยเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) และเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) ตามลำดับ จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างด้วยน้ำกลั่น ส่วนที่ไม่ผ่านการกรองคือใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนที่ผ่านการกรองรวมทั้งน้ำที่ใช้ล้างจะมีใยอาหารที่ละลายน้ำผสมอยู่ จากนั้นนำส่วนที่ผ่านการกรองซึ่งรวมกับน้ำที่ใช้ล้างมาเติมด้วยเอทานอล 95% (v/v) ที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ปริมาตรของเอทานอลเป็น 4 เท่าของส่วนที่ผ่านการกรองรวมกับน้ำ เพื่อตกตะกอนใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จากนั้นนำไปกรอง และล้างด้วยเอทานอล 78% เอทานอล 95%

(v/v) และอะซีโตน ตามลำดับ ซึ่งกากที่ได้จากการกรองทั้งส่วนที่เป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และละลายน้ำจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักหลังนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C และนำกากส่วนที่กรองได้ไปหาโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และทำเบลนจ์ เพื่อคำนวณปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำ โดยคำนวณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำจากสมการนี้

$$\% \text{ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ}, \% \text{ใยอาหารที่ละลายน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักของกาก-โปรตีน-เถ้า}-\text{เบลนจ์}) \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

(5.4)

5.2.10 การทดสอบปริมาณแป้ง

ทำการทดสอบตามวิธี (AOAC, 1995 Method No.920.44) ซึ่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 250 มล. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มล. กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่าง ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 250 มล. แล้วจึงถ่ายตะกอน ของตัวอย่างลงใน Flask ขนาด 250 มล. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรด HCl 25% w/v ปริมาตร 20 มล. และนำ Flask ดังกล่าวไปต่อกับชุด Reflux ให้ความร้อนนานเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับค่า pH ของสารละลายดังกล่าวให้เป็นกลาง ด้วย NaOH ซึ่งจะปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 250 มล. แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล ซึ่งวิเคราะห์น้ำตาลตามวิธีของ (Michael Somogyi, 1945) โดยปีเปต สารละลายน้ำแป้งปริมาตร 1 มล. ลงในหลอดทดลอง เติมสาร Somogyi 2 มล. นำไปต้มให้เดือด 20 นาที จากนั้นทำให้เย็น และเติมสารละลาย Nelson 20 มล. และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 4 มล. เขย่าให้ เข้ากัน และจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 nm. โดยอ่านค่าความเข้มข้นของกลูโคสจากกราฟมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสคือ 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีนี้เป็นวิธีการวัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล ซึ่ง ปริมาณแป้งคำนวณได้จากสมการที่ (5.6)

$$\text{ปริมาณแป้ง} = \text{ปริมาณกลูโคส} \times 0.9$$

(5.5)

5.2.11 การทดสอบปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส

ทำการทดสอบตามวิธี (AOAC, 1995 Method No.982.14, HPLC method) ซึ่งตัวอย่างประมาณ 5 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 mL เติมน้ำกลั่นที่ต้มร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ปริมาตร 50 mL จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic นาน 20 นาที และนำออกมาตั้งทิ้งไว้เย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยเติมสารละลาย 15% $K_6(Fe(CN_6))3H_2O$ ปริมาตร 1.25 mL เขย่าให้เข้ากัน และเติม 30% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ปริมาตร 1.25 mL เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL โดยใช้ขวดปรับปริมาตรตั้งทิ้งไว้ 15 นาที และกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นนำส่วนใสมากรองผ่าน Syringe Filter ขนาด 0.2 ไมครอน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล กลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส โดยใช้เครื่อง HPLC ซึ่งอาศัยหลักการทางโครมาโตกราฟี เพื่อแยกชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ โดยใช้ column แบบ Sigar Pak I ขนาด 6.5*300 mm (Waters, Milford, MA, USA)

5.2.12 ทดสอบปริมาณเถ้า

การหาปริมาณเถ้าของแป้งกล้วยตามวิธี (AOAC, 1995 Method No.923.03) ซึ่งตัวอย่างน้ำหนัก 5 g ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ และนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน จากนั้นจึงนำมาเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550°C นาน 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือเทา และนำออกมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักของเถ้าในตัวอย่างดังสมการนี้

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = (W_2 - W_3) * 100 / (W_2 - W_1) \quad (5.6)$$

W_1 คือ น้ำหนักของจานกระเบื้องหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่

W_2 คือ น้ำหนักของจานกระเบื้องและตัวอย่างก่อนอบหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่

W_3 คือ น้ำหนักของจานกระเบื้องและตัวอย่างหลังอบหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่

5.2.13 การหาปริมาณโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของแป้งกล้วยตามวิธี Kjeldahl method (AOAC, 1995 Method No.920.87) ซึ่งตัวอย่างแป้งกล้วยจำนวน 1 g ใส่ในหลอดย่อย (digestion flask) และเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (ประกอบด้วย K_2SO_4 98% และ $CuSO_4$ 2%) ประมาณ 1 g จากนั้นเติมกรดซัลฟูริก 20 mL และนำหลอดทดลองไปใส่ในเครื่องย่อยโปรตีน จากนั้นนำหลอดทดลองที่ออกจากเครื่องย่อยแล้วมาเติมเติมกรดบอริก (ความเข้มข้น 4%) จำนวน 25 mL และนำหลอดทดลองดังกล่าวไปกลั่นต่อประมาณ 1

นาที่ แล้วจึงนำหลอดทดลองออกมาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 N จนได้สารละลายสีเทาจึงหยุด ซึ่งปริมาณโปรตีนในตัวอย่างแบ่งก๊วยกำนวนได้ดังนี้

$$\text{Nitrogen content (\%)} = \frac{14 \times (v_1 - v_2) \times \text{Normality of HCL (mol/L)} \times 100}{\text{Weight of Sample (g)} \times 1000} \quad (5.7)$$

เมื่อ v_1 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรทตัวอย่าง
 v_2 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรท blank

$$\text{ปริมาณโปรตีน} = \text{ร้อยละไนโตรเจน} \times \text{Empirical factor} \quad (5.8)$$

โดย Empirical factor ของแบ่งก๊วย = 6.25

5.2.14 การหาปริมาณไขมัน

วิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดของแบ่งก๊วยตามวิธี (AOAC, 1995 Method No.920.85) ซึ่งตัวอย่างแบ่งก๊วยประมาณ 3 g (W) และนำไปห่อด้วยกระดาษกรองใส่ใน thimbles แล้วนำ thimbles ไปติดตั้งกับชุด soxtec system จากนั้นนำ extraction cups อีกอันมาชั่งน้ำหนัก (W_1) และเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 50 mL ลงใน extraction cups แล้วนำไปติดตั้งกับชุด soxtec system หลังจากนั้นใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกไปจนหมด แล้วจึงนำ extraction cups ไปอบที่ 100 °C ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จึงนำมาชั่งน้ำหนัก (W_2) ปริมาณไขมันในตัวอย่างแบ่งก๊วยกำนวนได้ดังนี้

$$\text{Lipid content (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100 \quad (5.9)$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (g)
 W_1 = น้ำหนักของ round bottom flask (g)
 W_2 = น้ำหนักของ round bottom flask และตัวอย่าง (g)

5.2.15 การทดสอบ DSC

สมบัติเชิงความร้อนของแป้งกล้วยวิเคราะห์โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry: DSC (Perkin Elmer Co. Ltd., model DSC-7, Norwalk, USA) โดยนำตัวอย่างกล้วยแผ่นที่เงื่อนไขต่างๆ มาบดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดอนุภาคของแป้ง 100 Mesh (150 μm) ซึ่งตัวอย่างแป้ง 2 มิลลิกรัม ใส่ใน aluminium DSC pan เติมน้ำและปิดฝาให้สนิททิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) ใช้ Indium สำหรับ calibrate DSC empty pan เพื่อใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง โดยแป้งจะถูกให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 20°C ถึง 110°C โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10°C ต่อนาที จะได้อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature) และอุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature) ของการเกิดเจลในเซชันของตัวอย่างแป้ง เอนทัลปี (enthalpy) โดยค่า degree of gelatinization สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{DG (\%)} = \left(1 - \left[\frac{\Delta H}{\Delta H_c} \right] \right) \times 100 \quad (5.10)$$

เมื่อ	DG	คือ	degree of gelatinization, %
	ΔH	คือ	transition enthalpy of treated banana, J/g (dry weight basis)
	ΔH_c	คือ	transition enthalpy of control banana, J/g (dry weight basis)

5.2.16 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก XRD

การวัดระดับสภาพเป็นผลึก (degree of crystallinity) ของแป้งกล้วย โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาดอนุภาคของแป้ง 100 Mesh (150 μm) จำนวน 0.5 g ใส่ใน sample holder และนำไปวัดด้วยเครื่อง X-ray diffraction: XRD Bruker AXS D8 DISCOVER XRD (Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany) โดยใช้รังสี $\text{CuK}\alpha$ ขนาด 40 kV และ 40 mA ที่ความยาวคลื่น 0.1546 nm ช่วงมุมกระจาย (Diffraction, 2θ) เริ่มต้นจาก $5-30^{\circ}$ และระดับสภาพเป็นผลึก (X_c) ของตัวอย่างคำนวณได้ดังสมการที่ 5.11

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100\% \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } X_c &= \text{ระดับสภาพเป็นผลึก, \%} \\
 A_c &= \text{พื้นที่บริเวณชั้นผลึก} \\
 A_a &= \text{บริเวณออสถินฐาน}
 \end{aligned}$$

5.2.17 การวิเคราะห์ทางสถิติ

รายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

5.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทอง

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลกล้วยระหว่างระยะการสุกที่ 1 และ 3 ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในช่วง 3-5 °Brix และ 17-18 °Brix ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่ากล้วยระยะการสุกระหว่าง 1 และ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยเล็กน้อย ส่วนปริมาณสคาร์ชในกล้วยระยะการสุกที่ 1 มีค่าสูงสุดประมาณ 74.57 g/100g และปริมาณสคาร์ชค่อยๆลดลงเหลือประมาณ 60.70 g/100g ในกล้วยสุกระยะ 3 ขณะที่ปริมาณน้ำตาล ได้แก่ ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสเพิ่มสูงขึ้นตามระยะความสุกของกล้วย โดยปริมาณน้ำตาลซูโครสมีส่วนมากกว่าน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตส ซึ่งมีค่าประมาณ 30.04 3.38 และ 4.88g/100g ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลกล้วยที่ระดับความสุก 1 ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 3-5°Brix และกล้วยระดับความสุกที่ 3 ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 17-18°Brix

Compositions (g/100g)	Ripening stage	
	1: (3-5 °Brix)	3: (17-18 °Brix)
Protein	5.10±0.03	5.74±0.10
Fat	0.37±0.01	0.32±0.01
Soluble fiber	4.61±0.03	5.64±0.24
Insoluble fiber	8.46±0.51	9.10±0.04
Ash	3.34±0.03	3.45±0.02
Starch	74.57±0.81	60.70±0.86
Sucrose	2.25±0.05	30.04±0.41
Glucose	0.44±0.05	3.38±0.12
Fructose	0.49±0.05	4.88±0.08

5.3.2 สมบัติทางความร้อน

ผลการศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสตาร์ชจากการเกิดเจลลิตในเซชัน เมื่อนำกล้วยไปผ่านกระบวนการนึ่งเป็นเวลาระหว่าง 30 วินาที จนถึง 2 นาที ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จาก DSC โดยพิจารณาในเทอมของอุณหภูมิทรานซิชัน T_g , T_p และ T_c ค่าพลังงานความร้อน (ΔH) และระดับการเกิดเจลลิตในเซชัน (DG) ของแป้งกล้วยที่เงื่อนไขต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.2 พบว่า กล้วยระยะสุกที่ 1 ในกรณีที่ไม่ได้ผ่านการนึ่งเริ่มเกิดเจลลิตในเซชันที่อุณหภูมิทรานซิชัน T_g คือ 74.7°C และเกิดเจลลิตในเซชันอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 82.4°C ซึ่งช่วงอุณหภูมิทรานซิชันดังกล่าว มีค่าพลังงานความร้อนในการเกิดเจลลิตในเซชันอย่างสมบูรณ์เป็น 15.1 J/g ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Lii et al. (1982) พบว่าช่วงของอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันในกล้วยระยะการสุกที่ 1 คือ 74-81 °C และที่ระดับความสุกเดียวกันแต่นำไปผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาที พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันอย่างสมบูรณ์สูงกว่ากรณีที่ไม่ได้ผ่านการนึ่งเป็น 84.4°C และมีค่าพลังงานความร้อนลดลงเหลือ 7.6 J/g ซึ่งค่าพลังงานความร้อนที่ลดลงเป็นผลเนื่องมาจากกล้วยระยะ 1 ที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาทีมีระดับการเกิดเจลลิตในเซชัน 49% เมื่อกล้วยเริ่มสุกมากขึ้นที่ระยะการสุกที่ 3 พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันอย่างสมบูรณ์สูงกว่ากล้วยระยะการสุกที่ 1 คือ 85.5°C และมีค่าพลังงานความร้อนเป็น 6.8 J/g ซึ่งค่าความร้อนที่แตกต่างดังกล่าว เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของสัดส่วนปริมาณแป้ง และน้ำตาล โดยกล้วยระยะการสุกที่ 3 มีปริมาณน้ำตาลสูง และมีปริมาณแป้งน้อยกว่ากล้วยระยะการสุกที่ 1 ส่งผลให้เกิดการสูญเสียโครงสร้าง และสภาพความเป็นผลึกได้ง่ายกว่า

ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชันสูงกว่าระดับความสุกที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ค่าพลังงานความร้อนมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาระดับความเป็นผลึกของแป้งกล้วยที่ความสุกระดับ 1 และ 3 กรณีที่ไม่ผ่านการนึ่ง และแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งที่เวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.1 พบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งกล้วยระยะการสุกที่ 1 และ 3 กรณีที่ยังไม่ผ่านการนึ่ง ดังรูป 5.1 (a) และ (b) มี Diffraction angle (2θ) ที่ตำแหน่ง 15° 17.1° 22.9° และ 26.5° ในกรณีกล้วยระดับความสุกที่ 1 และที่ตำแหน่ง 14.4° 16.9° 22.0° และ 24.1° ในกรณีกล้วยระดับความสุกที่ 3 และในกรณีกล้วยระยะ 1 ที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาที ดังรูปที่ 5.1 (c) ซึ่งมี Diffraction angle (2θ) ที่ตำแหน่ง 14.8° 16.9° และ 22.9° ซึ่งพิกที่ที่เกิดขึ้นแสดงถึงสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกชนิด B (B-type) ซึ่งได้แก่ สตาร์ชจากพืชหัว เช่น กล้วย และสตาร์ชที่มีอะมิโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น และพิกที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวมีระดับความเป็นผลึกแสดงดังตารางที่ 5.3 โดยระยะการสุกที่ 1 ในกรณีที่ไม่ผ่านการนึ่งมีระดับความเป็นผลึกสูงสุด 25.8% ขณะที่ระยะการสุกที่ 3 กรณีที่ไม่ผ่านการนึ่งเช่นเดียวกันมีระดับความเป็นผลึกน้อยกว่าเป็น 12.6% และเมื่อระยะเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 30 วินาที ในกรณีกล้วยระยะ 1 มีระดับความเป็นผลึกลดลงเหลือประมาณ 12.2% และเมื่อระยะเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้นระหว่าง 1-2 นาที จะเห็นได้ว่าพิกส่วนใหญ่ที่พบในแป้งกล้วยจะหายไป แสดงถึงโครงสร้างผลึกบางส่วนถูกทำลายไป เนื่องจากการเกิดเจลในเซชันของแป้ง จึงทำให้ระดับความเป็นผลึกลดลง

ตารางที่ 5.2 สมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 และ 3 และผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ

Ripening stage	Steaming time (min)	Transition temperature ($^{\circ}\text{C}$)			ΔH_1 (J/g)	DG (%)
		T_0	T_p	T_c		
1: (3-5 °Brix)	Raw banana	74.7	77.8	82.4	15.1	-
	30 s	74.3	78.9	84.4	7.6	49.0
	1	ND	ND	ND	ND	ND
	1.5	ND	ND	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND	ND	ND
3: (17-18 °Brix)	Raw banana	77.0	80.3	85.5	6.8	-
	1.5	ND	ND	ND	ND	ND

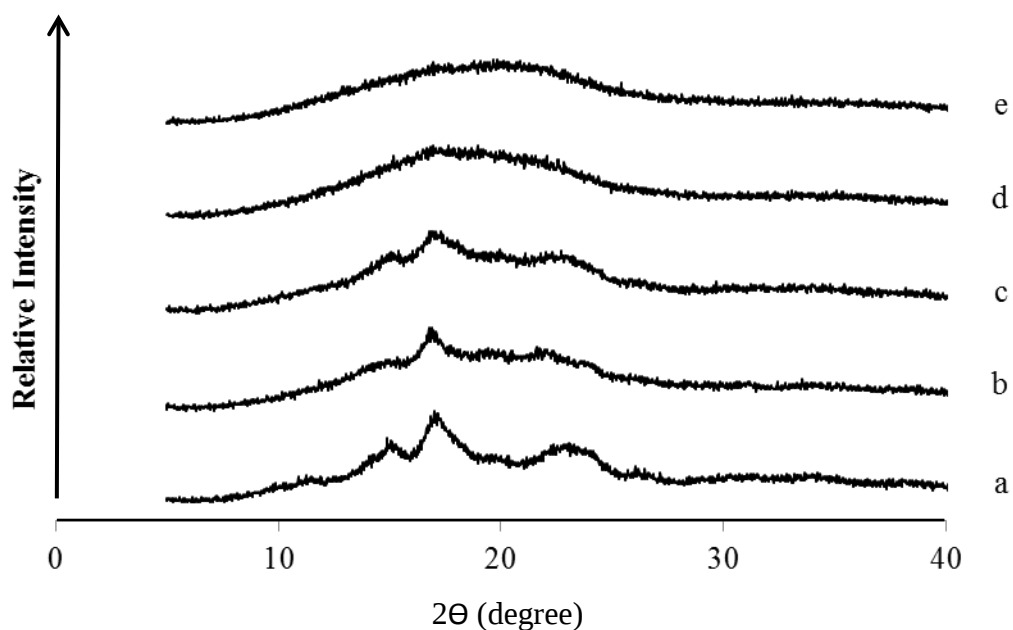
T_o, T_p, T_c = the temperature of onset, peak, and conclusion of gelatinization, respectively,

ΔH = enthalpy of gelatinization, DG = degree of gelatinization

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5.3 กล้วยระดับความสุกที่ 1 และ 3 ที่ผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆร่วมกับการฟัฟฟิงที่มีผลต่อระดับโครงสร้างความเป็นผลึก

Ripening stage	Steaming time (min)	Degree of crystallinity (%)	Diffraction peaks at 2 θ Value ($^{\circ}$ angle)	Crystal pattern
1: (3-5 °Brix)	Raw banana	25.8	15.0 ,17.1 ,22.9 ,26.5	B
	30 s	12.2	14.8, 16.9, 22.9	B
	1	ND	ND	-
	1.5	ND	ND	-
	2	ND	ND	-
3: (17-18 °Brix)	Raw banana	12.6	14.4 ,16.9 ,22.0, 24.1	B
	1.5	ND	ND	-



รูปที่ 5.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งกล้วยของแป้งกล้วยดิบและกล้วยสุกที่เงื่อนไขต่างๆ (a) Unripe banana (reference) (b) ripe banana (reference) (c) Unripe banana steaming 30 s (d) Unripe banana steaming 1.5 min (e) ripe banana steaming 1.5 min

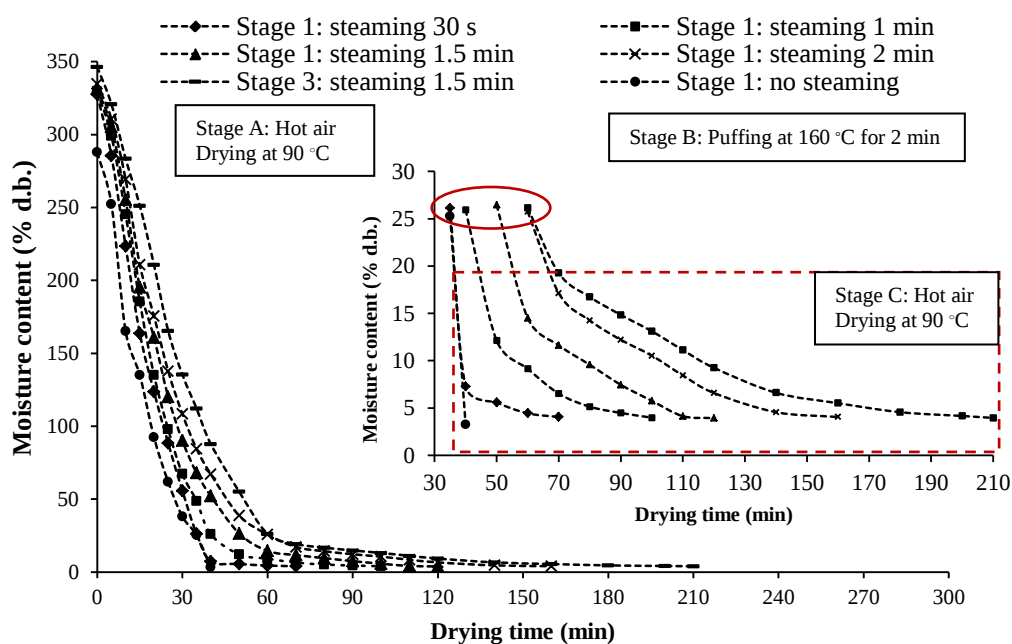
5.3.3 อิทธิพลของกระบวนการพффฟที่มีต่อการลดความชื้นของกล้วยแผ่น

จากผลการทดลองอบแห้งกล้วยแผ่นด้วยกระบวนการพффฟ โดยความชื้นเริ่มต้นของกล้วยสระยะการสุกที่ 1 มีค่าประมาณ $274.9 \pm 0.8\%$ d.b. และกล้วยสระยะการสุกที่ 3 มีค่าประมาณ $284.6 \pm 0.7\%$ d.b. หลังจากนั้นนำกล้วยระยะการสุกที่ 1 และ 3 พรีทรีทเมนต์ด้วยกรดซิตริก (pH 2.68) เป็นเวลา 5 นาที โดยกล้วยระยะการสุก 1 และ 3 มีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 288.6 ± 0.8 และ 333.6 ± 0.9 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปนึ่งเป็นเวลาระหว่าง 30 วินาที จนกระทั่งถึง 2 นาที โดยกล้วยระยะการสุกที่ 1 นึ่งเป็นเวลา 30 วินาที มีความชื้นเป็น $327.5 \pm 1.0\%$ d.b. เมื่อเพิ่มเวลานึ่งเป็น 1.5 และ 2 นาที ความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 329.7 ± 1.1 331.5 ± 0.9 และ $334.8 \pm 0.8\%$ d.b. ตามลำดับ ส่วนกล้วยระยะ 3 ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที มีความชื้นเป็น $346.5 \pm 0.9\%$ d.b. จากนั้นนำตัวอย่างกล้วยแผ่นไปอบแห้งด้วยกระบวนการพффฟ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนโดยข้อมูลการทดลองภายใต้เงื่อนไขต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.2 สำหรับขั้นตอนแรก (A) อบแห้งกล้วยแผ่นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C ให้เหลือความชื้นประมาณ 25% d.b. จากรูปจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงแรกค่อยๆ ลดลง ซึ่งมีลักษณะกราฟแบบ Exponential curve ซึ่งเวลาอบแห้งในขั้นตอนแรกขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5.4 พบว่ากล้วยระยะการสุกที่ 1 กรณีที่ยังไม่ผ่านการนึ่งและผ่านการนึ่ง 30 วินาทีใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดคือ 30 และ 35 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากความชื้นเริ่มต้นน้อย อีกทั้งแป้งยังไม่เกิดเจลลิตในเซชัน ทำให้บริเวณผิวมีรูพรุนมาก ส่งผลให้ความชื้นระเหยออกจากวัสดุได้ง่าย เมื่อเพิ่มเวลานึ่งตัวอย่างให้นานขึ้นระหว่าง 1-2 นาที พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้นประมาณ 40-55 นาที ส่วนกล้วยระยะการสุกที่ 3 ใช้เวลาอบแห้งนานสุด 60 นาที ผลการศึกษาของ Islam and Flink (1982) รายงานว่าอบแห้งมันฝรั่งที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ส่งผลต่อแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของความชื้นเพิ่มขึ้น จึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนาน

หลังจากนั้นนำกล้วยแผ่นไปพффฟในขั้นตอน (B) ด้วยฟลูอิดเซชันที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 2 นาที จากรูปจะเห็นได้ว่า ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยแผ่นสัมผัสกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ความชื้นระเหยออกจากกล้วยแผ่นได้อย่างรวดเร็ว โดยกล้วยระดับความสุก 1 ที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาที พบว่า ความชื้นลดลงได้เร็วหลังจากพффฟเหลือประมาณ 7.29% d.b. ขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลาระหว่าง 1-2 นาที ความชื้นลดลงเหลือประมาณ 12-17% d.b. ส่วนกล้วยระดับความสุกที่ 3 ความชื้นของตัวอย่างลดลงได้น้อยหลังจากพффฟ โดยความชื้นลดลงเหลือประมาณ 19.3% d.b. ซึ่งความแตกต่างของการลดลงของความชื้นระหว่างกล้วยระยะการที่ 1 และ 3 เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลที่สูงในกล้วยระดับ 3 ซึ่งปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มแรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากกล้วยแผ่น ส่งผลให้ความชื้นลดลงได้น้อยในช่วงพффฟ ดังนั้นจึงทำ

ให้ใช้เวลาในการอบแห้งนาน นอกจากนี้นี้ระยะเวลาในการนึ่งที่นานขึ้น มีผลต่อความชื้นเริ่มต้นที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ผ่านการนึ่ง ดังนั้นเมื่อนำไปตัวอย่างไปฟัฟฟิง ส่งผลให้ความชื้นลดลงได้น้อยกว่า

ขั้นตอนสุดท้าย (C) นำกล้วยแผ่นมาอบแห้งต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณ 4% d.b. ซึ่งการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้ายใช้เวลาอบแห้งนานกว่า 2 ช่วงแรกของการอบแห้ง โดยกล้วยระยะ 1 กรณีที่ยังไม่ผ่านการนึ่งใช้เวลาอบแห้งอบแห้งทั้งหมดสั้นสุด 32 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากความชื้นลดลงได้มากกว่าหลังผ่านการฟัฟฟิง ส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้าย ขณะที่กล้วยระยะ 1 ที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาทีใช้เวลาอบแห้ง 72 นาที และเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 และ 2 นาที ใช้เวลาอบแห้งในนานขึ้นเป็น 102 132 และ 152 นาทีตามลำดับ ส่วนกล้วยระยะที่ 3 กรณีที่ผ่านการนึ่งใช้เวลาอบแห้งนานสุด 212 นาที



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาของกล้วยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เหลือความชื้นประมาณ 25% d.b. ด้วยเงื่อนไขของการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ ที่ระดับความหนา 2.5 มม. ร่วมกับการฟัฟฟิงด้วยอุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 2 นาที

ตารางที่ 5.4 แสดงเวลาการอบแห้งตลอดกระบวนการพัพฟิง

Ripening stage	Steaming time (min)	Initial moisture content (% d.b.)	Drying time (min)			
			Stage 1	Stage 2	Stage 3	Total drying time
1:(3-5°Brix)	No steaming	288.6±0.8	30	2	-	32
	30 s	327.5±1.0	35	2	35	72
	1	329.7±1.1	40	2	60	102
	1.5	331.5±0.9	50	2	80	132
	2	334.8±0.8	55	2	100	152
3:(17-18°Brix)	No steaming	333.6±0.9	50	2	90	142
	1.5	346.5±0.9	60	2	150	212

5.3.4 อิทธิพลของการนึ่งกล้วยที่ระยะเวลาต่างๆและระดับการสุกของกล้วยที่มีต่อระดับการหดตัว

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของระยะเวลาการนึ่งต่างๆ และระดับการสุกของกล้วยที่มีต่อระดับการหดตัว พบว่า กล้วยระดับความสุกที่ 1 ที่ไม่ผ่านการนึ่งมีระดับการหดตัวสูงกว่ากล้วยที่ผ่านการนึ่งทุกเงื่อนไข ซึ่งมีระดับการหดตัวประมาณ 52.6% ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากกล้วยระยะความสุกที่ 1 กรณีที่ยังไม่ผ่านการนึ่ง ส่วนประกอบเพคตินที่บริเวณผนังเซลล์ยังไม่ถูกทำลาย จึงทำให้รอยต่อระหว่างผนังเซลล์ยังไม่มีการยึดติดกัน ดังนั้นผนังเซลล์จึงไม่มีความยืดหยุ่น และเมื่อนำไปพัพฟิง จึงเกิดการขยายตัวได้ยาก จากผลการศึกษาของ (Nuankamol et al., 2012) รายงานว่า ระดับความสุกของกล้วยหอมทองที่เพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนประกอบของเพคตินถูกทำลาย และมีค่าลดลง ส่งผลให้โครงสร้างมีความนุ่ม และยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยระดับความสุกที่ 3 ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่ผ่านการนึ่งเช่นกัน พบว่า กล้วยระดับความสุกที่ 3 มีระดับการหดตัวน้อยกว่ากล้วยระดับความสุกที่ 1 ซึ่งระดับการหดตัวที่แตกต่างกันนี้ เป็นผลเนื่องมาจากระดับความสุกที่เพิ่มขึ้น ทำให้เพคตินถูกทำลาย ทำให้รอยต่อของผนังเซลล์มีการยึดติดกัน และเนื้อสัมผัสมีลักษณะอ่อนนุ่ม และมีความยืดหยุ่นมากกว่า จึงเกิดการขยายตัวได้ดีระหว่างพัพฟิง ดังนั้นกล้วยระยะการสุกที่ 3 จึงมีระดับการหดตัวน้อยกว่าระยะการสุกที่ 1 โดยกล้วยที่ระยะ 3 กรณีที่ไม่ผ่านการนึ่งมีการหดตัวเป็น 27.5 ± 2

เมื่อพิจารณาตัวอย่างกล้วยระยะการสุกที่ 1 และผ่านการนึ่งเป็นเวลานานขึ้นระหว่าง 1-2 นาที พบว่า ระดับการหดตัวน้อยลง เนื่องจากการเกิดเจลาตินในเซชันอย่างสมบูรณ์ของแป้งกล้วย ทำให้ตัวอย่างกล้วยมีเนื้อสัมผัสนุ่มลง ส่งผลให้เกิดการขยายตัวได้ดีในระหว่างขั้นตอนการพัพฟิง สอดคล้องกับผล

การศึกษาของ Valmalis et al. (2004) พบว่า มันฝรั่งซึ่งมีปริมาณแป้งสูง จากนั้นนำมันฝรั่งไปลวก ส่งผลต่อระดับการขยายตัวได้มากกว่ากรณีที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงสร้าง และลดการซึมผ่านของไอน้ำออกจากวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดการขยายตัวได้ดี และจากผลการศึกษาของ (Conway, 1971) พบว่า ปริมาณแป้งของผลิตภัณฑ์ประมาณ 60-70% ช่วยให้อายุการขยายตัวได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยระดับความสุกที่ 3 และผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที ซึ่งเกิดเจลลิตินในเซชันอย่างสมบูรณ์เช่นกัน พบว่า กล้วยระยะการสุกที่ 3 มีระดับการหดตัวสูงกว่ากล้วยระยะการสุกที่ 1 ซึ่งเป็นผลมาจากกล้วยระดับความสุกที่ 3 มีปริมาณน้ำตาลมากกว่ากล้วยระดับ 1 โดยปริมาณน้ำตาลที่สูงภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้เซลลูโลสของผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น และเกิดการขยายตัวได้ยากในระหว่างการพuffing

ตารางที่ 5.5 กล้วยผ่านการนึ่งที่เวลาต่างๆร่วมกับการพuffing ที่มีผลต่อระดับการหดตัวของกล้วยแผ่น

Ripening stage	Steaming time (min)	Degree of shrinkage (%)
1: (3-5 °Brix)	No steaming	52.6±1.9 ^d
	30 s	42.1±1.8 ^c
	1	35.8±1.9 ^b
	1.5	36.1±1.8 ^b
	2	36.3±1.9 ^b
3:(17-18 °Brix)	No steaming	27.5±2.0 ^a
	1.5	40.7±1.6 ^c

**Different letters in the same figure indicate that values are significantly different ($p < 0.05$).

5.3.5 อิทธิพลของการนึ่งกล้วยที่ระยะเวลาต่างๆและระดับความสุกของกล้วยที่มีต่อเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 5.6 แสดงอิทธิพลของการนึ่งกล้วยแผ่นที่เวลาต่างๆ และระดับความสุกที่มีต่อเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง ความชื้นเริ่มต้นและจำนวนยอด พบว่า กล้วยระดับความสุกที่ 1 ที่ไม่ผ่านการนึ่งมีเนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยกว่ากล้วยที่ผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ ซึ่งมีค่าความแข็ง ความชื้นเริ่มต้น และจำนวนยอดเป็น 10.3 ± 3.3 12.5 ± 2.9 และ 6 ± 3 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกล้วยยังไม่เกิดเจลลิตินในเซชัน ทำให้อุณหภูมิของเม็ดแป้งเกาะกันอย่างหลวม ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความเปราะและแตกง่าย ดังนั้น

เนื้อสัมผัสจึงมีค่าความแข็งน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ระดับความสุกเดียวกันแต่นำไปผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ พบว่า กล้วยที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาที จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 14.6 N และเมื่อเวลานึ่งเพิ่มขึ้นระหว่าง 1-2 นาที เนื้อสัมผัสของกล้วยมีความแข็งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 18.1-19.9 N และมีความกรอบเพิ่มขึ้นพิจารณาได้จากค่าความชันเริ่มต้นและจำนวนยอด ทั้งนี้เนื่องมาจากกล้วยที่ผ่านการนึ่งระหว่าง 1-2 นาที มีระดับการหดตัวน้อย และมีโพรงเกิดขึ้นขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการนึ่งไม่มีโพรงหรือสัดส่วนช่องว่างเกิดขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากลักษณะโครงสร้างของกล้วยแผ่นดังรูปที่ 5.3 ดังนั้นขนาดของโพรงที่เกิดขึ้น จึงทำให้กล้วยแผ่นมีความกรอบเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกล้วยระดับความสุกที่ 1 และ 3 ภายใต้เงื่อนไขการนึ่งที่เวลาเดียวกันคือ 1.5 นาที พบว่ากล้วยระดับความสุกที่ 3 มีเนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยกว่ากล้วยระดับความสุก 1 ทั้งนี้เนื่องมาจากระดับความสุกที่ 3 นั้น โครงสร้างมีความอ่อนนุ่มมากกว่า เป็นผลมาจากแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งน้อย อย่างไรก็ตามกล้วยระยะการสุกที่ 1 กลับมีเนื้อสัมผัสที่กรอบมากกว่า ซึ่งพิจารณาได้จากค่าความชันเริ่มต้นและจำนวนยอด ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากระดับการหดตัวที่น้อยกว่าของกล้วยระดับ 1 เนื่องจากภายในโครงสร้างของตัวอย่างมีโพรงเกิดขึ้น จึงมีผลต่อความกรอบมากขึ้น

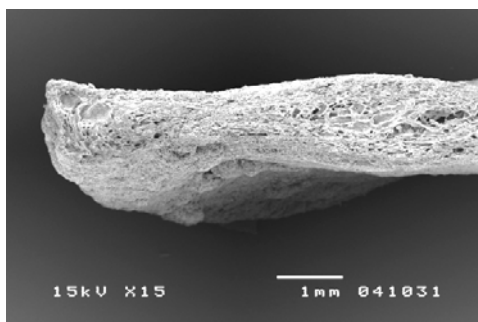
ตารางที่ 5.6 กล้วยผ่านการนึ่งที่เวลาต่างๆ ร่วมกับการพuffing ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่น

Ripening stage	Steaming time (min)	Hardness (N)	Initial slope (N/mm)	Number of peaks
1:(3-5 °Brix)	No steaming	10.3±3.3 ^a	12.5±2.9 ^a	6±3 ^a
	30 s	14.6±4.1 ^b	14.1±3.4 ^a	13±3 ^c
	1	18.1±3.9 ^{bc}	31.2±3.5 ^c	11±3 ^{bc}
	1.5	19.5±3.3 ^{cd}	32.3±3.7 ^c	10±4 ^b
	2	19.9±3.8 ^{cd}	32.3±3.8 ^c	12±3 ^{bc}
3:(17-18 °Brix)	No steaming	9.4±3.1 ^a	22.3±5.3 ^b	4.4±3 ^a
	1.5	10.8±3.8 ^a	24.1±4.8 ^b	4.6±3 ^a

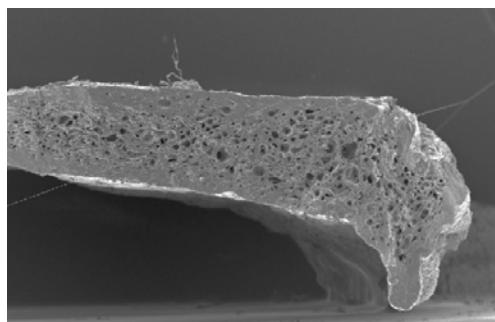
Different letters in the same figure indicate that values are significantly different ($p < 0.05$)

5.3.6 โครงสร้างระดับจุลภาคและการกระจายตัวของรูพรุน

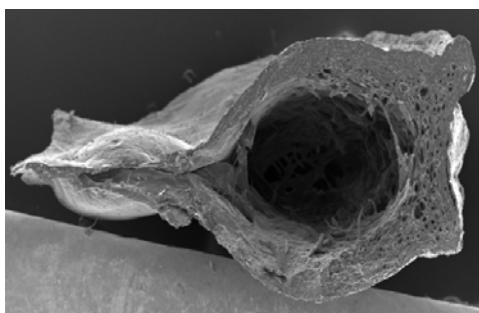
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของก๊วยแผ่นหลังการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการพuffing ภายใต้เงื่อนไขของการนึ่งที่เวลาต่างๆ และอุณหภูมิในการพuffing 160°C เป็นเวลา 2 นาที ด้วยเครื่อง SEM (Scanning electron microscope) ดังรูปที่ 5.3 (a)-(f) พบว่าก๊วยระดับความสุกที่ 1 ในกรณีที่ยังไม่ผ่านการนึ่ง แสดงดังรูปที่ 5.3 (a) จะเห็นได้ว่าไม่มีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้นภายในก๊วยแผ่น มีเพียงรูขนาดเล็ก และเมื่อเพิ่มเวลานึ่งเป็น 30 วินาที ดังรูปที่ 5.3 (b) พบว่า โครงสร้างมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ผ่านการนึ่ง แต่ความเป็นรูพรุนที่บริเวณผิวลดลง เนื่องจากแป้งเกิดเจลลิตในเซชันบางส่วน ขณะที่ก๊วยระดับความสุกที่ 1 ในกรณีที่ผ่านมาการนึ่งเป็นเวลา 1.5 และ 2 นาที ดังรูปที่ 5.3 (c)-(f) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้นภายในก๊วยแผ่น เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดรูพรุนภายใต้เงื่อนไขของก๊วยที่ระดับความสุกที่ 1 และ 3 ที่ผ่านการนึ่งด้วยระยะเวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.4 (a)-(d) พบว่า ก๊วยระยะการสุกที่ 1 ในกรณีที่ไม่ผ่านการนึ่งแสดงดังรูปที่ 5.4 (a) มีจำนวนรูพรุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กอยู่ในช่วง 0.006-0.035 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.1-0.4 มม. ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากแป้งก๊วยยังไม่เกิดเจลลิตในเซชัน ทำให้อุณหภูมิของเม็ดแป้งเกาะกันอย่างหลวม อีกทั้งโครงสร้างไม่มีการขยายตัวระหว่างพuffing ส่งผลให้รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ขณะที่ก๊วยที่ระดับความสุกเดียวกัน แต่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 และ 2 นาที แสดงดังรูปที่ 5.4 (b) และ (c) ตามลำดับ พบว่าก๊วยแผ่นที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 2 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนรูพรุนขนาดเล็กอยู่ในช่วงระหว่าง 0.08-0.25 มม. ซึ่งมีจำนวนรูพรุนมากกว่าตัวอย่างก๊วยที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที ขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนรูพรุนขนาดใหญ่ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-4 มม. ภายใต้ทั้งสองเงื่อนไขมีจำนวนรูพรุนใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบระดับความสุกระหว่าง 1 และ 3 ในกรณีที่ไม่ผ่านการนึ่งแสดงดังรูปที่ 5.4 (a) และ (d) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระดับความสุกที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนรูพรุนขนาดใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-3 มม. มากกว่าก๊วยระดับ 1 เนื่องจากโครงสร้างเกิดการหดตัวน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาจากค่า Void area fraction ของเงื่อนไขต่างๆ พบว่าก๊วยระดับความสุกที่ 1 ในกรณีที่ยังไม่ผ่านการนึ่งมีค่าเท่ากับ 28.7% และผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 และ 2 นาที มีค่าเท่ากับ 49.5 และ 51.2% ตามลำดับ ซึ่งค่า Void area fraction มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างน้อยในกรณีการนึ่งระหว่าง 1.5 และ 2 นาที ส่วนก๊วยระยะความสุกที่ 3 มีค่าเท่ากับ 41.5%



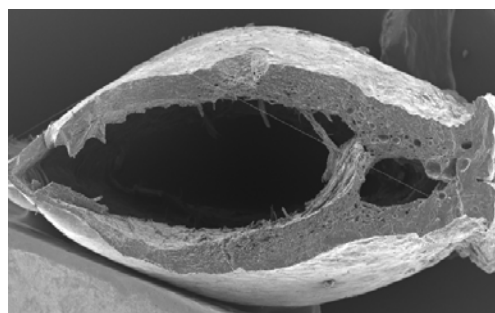
(a) Ripening stage 1: no steaming



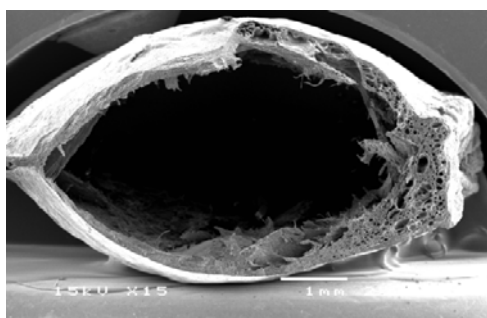
(b) Ripening stage 1: steaming 30 s



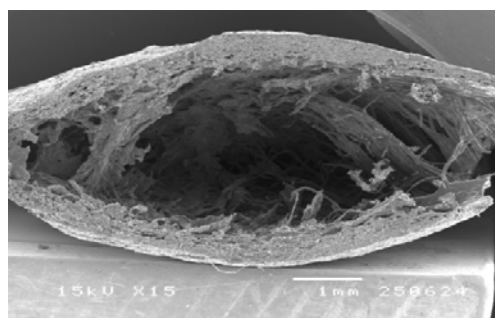
(c) Ripening stage 1: steaming 1 min



(d) Ripening stage 1: steaming 1.5 min



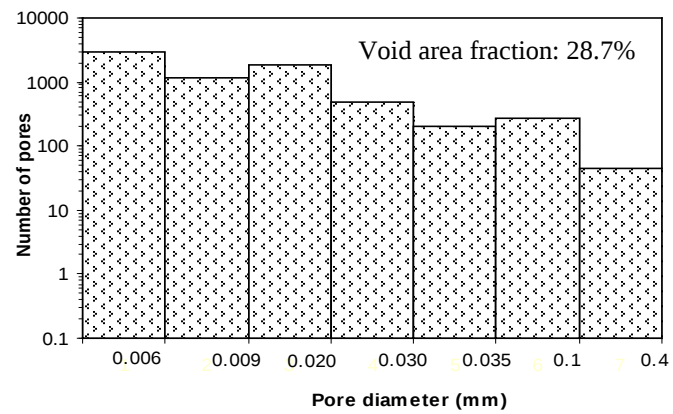
(e) Ripening stage 1: steaming 2 min



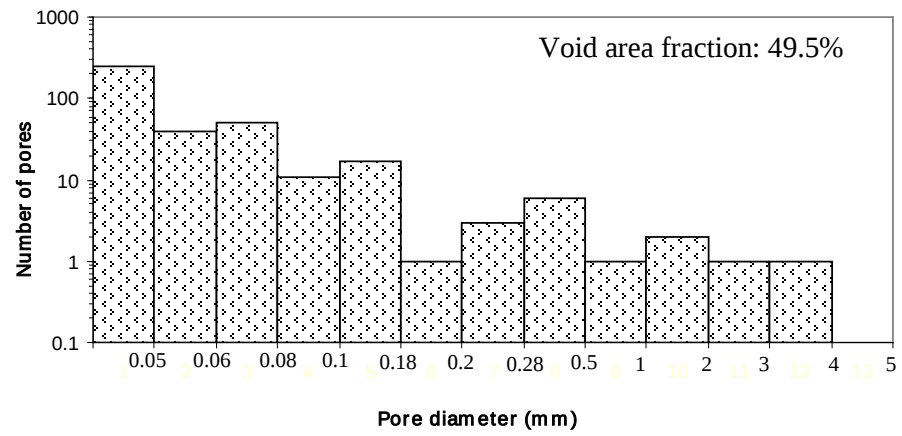
(f) Ripening stage 3: no steaming

รูปที่ 5.3 ภาพตัดขวางของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการพัฟฟิงภายใต้เงื่อนไขของการนึ่งที่เวลาต่างๆ ด้วยเงื่อนไขของอุณหภูมิในการพัฟฟิง 160°C เป็นเวลา 2 นาที

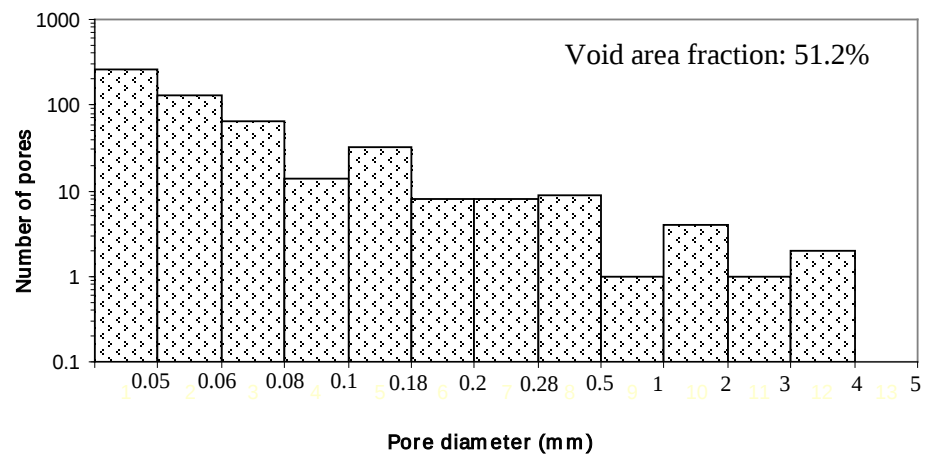
(a)



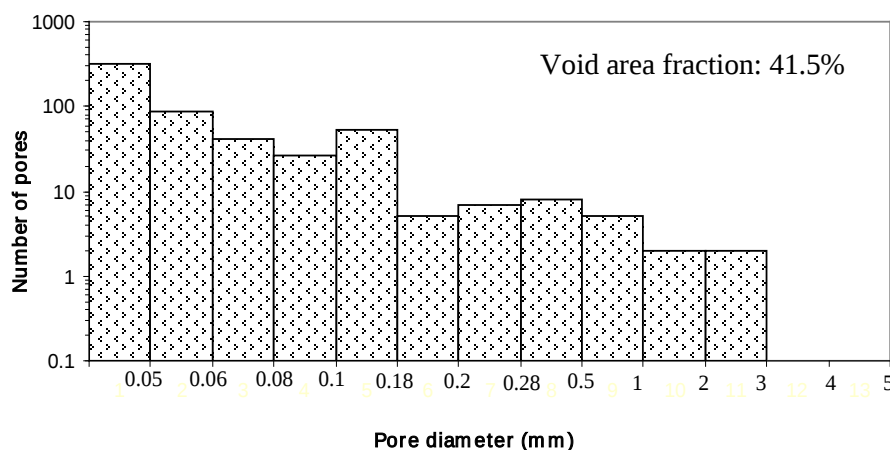
(b)



(c)



(d)



รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนภายใน โครงสร้างของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งด้วยร้อน ร่วมกับการฟุ้งฟางภายใต้เงื่อนไขของกล้วยที่ระยะ 1 ซึ่งฟุ้งด้วยอุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 2 นาที (a) กรณีไม่ผ่านการนี้ (b) ในกรณีที่ผ่านการนี้เป็นเวลา 1.5 นาที (c) ในกรณีที่ผ่านการนี้เป็นเวลา 2 นาที (d) กล้วยระยะความสุกที่ 3 ในกรณีที่ไม่ผ่านการนี้

5.3.7 อิทธิพลของการนี้กล้วยที่ระยะเวลาต่างๆและระดับความสุกของกล้วยที่มีต่อ การเปลี่ยนแปลงสี

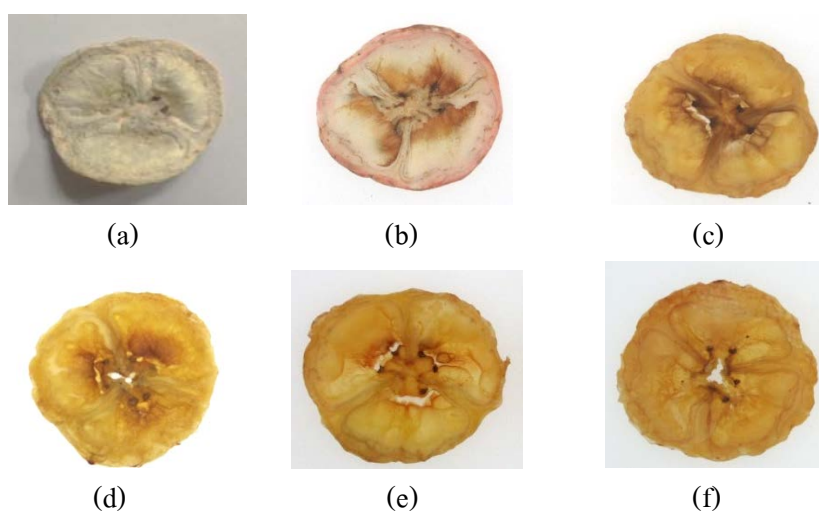
ตารางที่ 5.7 แสดงอิทธิพลของการนี้ที่ระยะเวลาต่างๆ และระดับความสุกร่วมกับการฟุ้งที่มีผลต่อ สีของกล้วยแผ่น พบว่า กล้วยระดับความสุกที่ 1 กรณีที่ยังไม่ผ่านการนี้ และผ่านการนี้เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการฟุ้ง พบว่าลักษณะกล้วยเป็นสีขาวและมีความสว่างมาก ซึ่งพิจารณาได้จากค่าความสว่าง (L-value) ที่เพิ่มขึ้นเป็น 62.2 และ 52.2 ในกรณีที่ไม่ผ่านการนี้ และผ่านการนี้เป็นเวลา 30 วินาที ตามลำดับ ขณะกล้วยที่ผ่านการนี้เป็นเวลา 1 1.5 และ 2 นาที พบว่า กล้วยมีความสว่างลดลง เนื่องจากแป้งได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน โมเลกุลของแป้งคือเกิดเจลาตินเซชัน ซึ่งเป็นผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความสว่างลดลง แต่กล้วยที่ ผ่านการนี้เวลานาน 2 นาที พบว่ากล้วยจะมีความเป็นสีเหลืองทองมากกว่า และลักษณะความ เป็นสีแดงลดลง โดยสีของกล้วยระดับความสุกที่ 1 ที่ผ่านการนี้เป็นเวลา 1-2 นาที มีลักษณะปรากฏ ใกล้เคียงกับสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดด้วยสุญญากาศ ส่วนกล้วยระดับความสุกที่ 3 สีของกล้วยมีความสว่างลดลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเล็กน้อย เนื่องจากกล้วยระดับความสุกที่ 3 มีน้ำตาลอยู่มากจึงกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ อย่างไรก็ตามสีของกล้วยระดับ

ความสุกที่ 3 มีลักษณะใกล้เคียงกับสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดที่ความดันบรรยากาศและลักษณะสีของกล้วยที่เงื่อนไขต่างๆแสดงดังรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.7 กล้วยผ่านการนึ่งที่เวลาต่างๆและระดับความสุกร่วมกับการพัฟฟิงที่มีผลต่อสีของกล้วยแผ่น

Ripening stage	Steaming time (min)	L-value	a-value	b-value	Hue angle
1:(3-5 °Brix)	No steaming	62.2±0.8 ^g	1.0±0.2 ^a	11.7±0.6 ^a	84.9±1.4 ^g
	30 s	52.2±0.8 ^f	3.1±0.4 ^c	14.6±0.9 ^{bc}	78.1±1.8 ^e
	1	41.1±0.6 ^d	4.3±0.5 ^d	14.7±0.9 ^c	73.7±1.7 ^d
	1.5	40.9±0.6 ^d	3.3±0.5 ^c	15.4±0.8 ^{cd}	77.7±1.2 ^e
	2	43.2±0.9 ^e	2.3±0.4 ^b	16.3±0.8 ^d	81.9±1.1 ^f
3:(17-18 °Brix)	No steaming	37.6±0.7 ^c	7.7±0.4 ^f	14.6±0.4 ^{bc}	62.1±1.8 ^b
	1.5	33.5±0.6 ^a	5.1±0.4 ^d	12.1±0.7 ^a	67.4±1.7 ^c
Commercial: vacuum fried banana		34.8±0.8 ^b	8.5±0.5 ^g	13.5±0.6 ^b	57.8±1.3 ^a

Different letters in the same figure indicate that values are significantly different ($p < 0.05$).

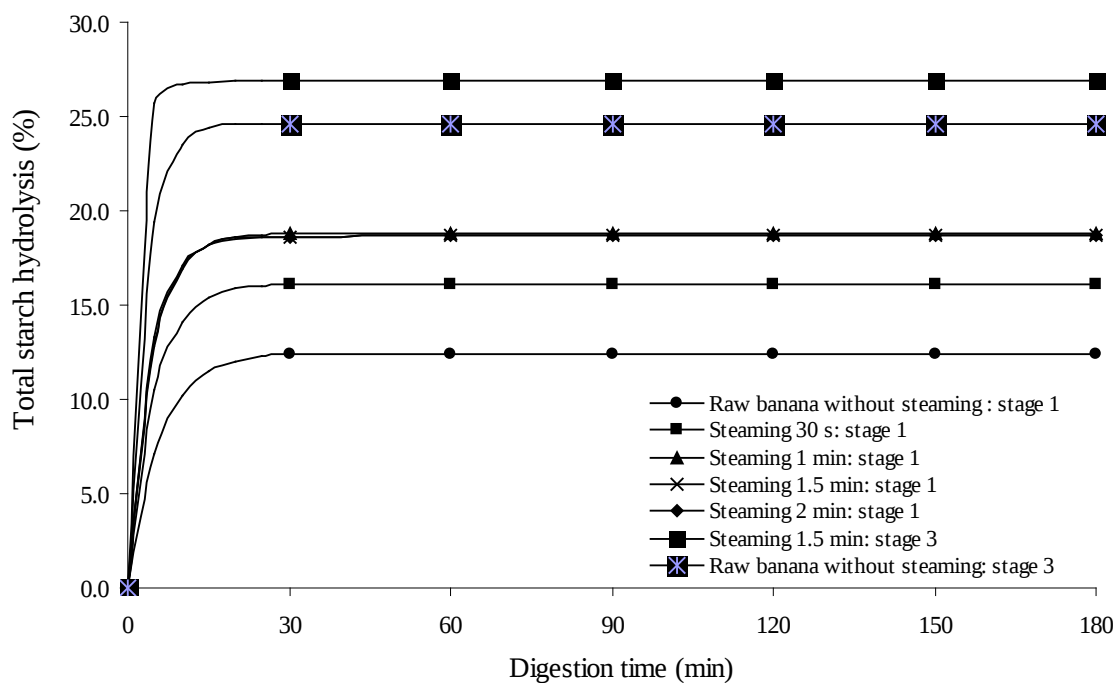


รูปที่ 5.5 กล้วยแผ่นที่ระดับความสุกที่ 1 ระดับความหนา 2.5 มม. หลังการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 2 นาที (a) กล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการนึ่ง (b) ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาที (c) ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1 นาที (d) ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที (e) ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 2 นาที (f) กล้วยระยะความสุกที่ 3 ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที

5.3.8 อิทธิพลของการนึ่งกล้วยด้วยเวลาต่างๆ และระดับความสุกของกล้วยที่มีต่อระดับ Glycemic index

รูปที่ 5.6 แสดงอิทธิพลของการนึ่งกล้วยที่ระยะเวลาต่างๆ และระดับความสุกของกล้วยที่แตกต่างกัน ร่วมกับการพืฟฟิงที่มีผลต่ออัตราการย่อยของแป้งกล้วย พบว่า ปริมาณของแป้งที่ถูกย่อยเริ่มมีอัตราการย่อยคงที่ที่เวลา 30 นาทีทุกเงื่อนไขการศึกษา เมื่อพิจารณากรณีกล้วยระดับความสุกที่ 1 ในกรณีไม่ผ่านการนึ่ง จะเห็นได้ว่าการย่อยสลายช้ากว่าเงื่อนไขอื่น โดยมีค่าการย่อยสูงสุดเป็น 12.4% จากนั้นระดับการย่อยจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ที่เวลา 180 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 30 วินาที พบว่ามีระดับการย่อยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 16.1% และเพิ่มเวลานึ่งระหว่าง 1-2 นาที มีระดับการย่อยอยู่ในช่วง 18.6-18.7% ส่วนกล้วยระดับความสุกที่ 3 ที่ผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที มีอัตราการย่อยสูงเป็น 27% เมื่อพิจารณาอัตราการย่อยสำหรับอาหารชนิดอื่นซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้ พบว่า Lentils และ chickpeas มีระดับการย่อยประมาณ 16-27% (Goni et al., 1997)

ตารางที่ 5.8 แสดงปัจจัยของกล้วยระดับความสุกที่ 1 และ 3 ซึ่งผ่านการนึ่งด้วยเวลาต่างๆ ร่วมกับการพืฟฟิงที่มีต่อระดับดัชนีน้ำตาล (GI) พบว่า กล้วยระยะที่ 1 ที่ไม่ผ่านการนึ่งมีระดับ GI ต่ำกว่าเงื่อนไขอื่นๆ โดยมีค่าประมาณ 49.3 และเมื่อเพิ่มเวลาในการนึ่งเป็น 30 วินาที ระดับ GI เพิ่มขึ้นเป็น 52.3 ขณะที่เพิ่มเวลาในการนึ่งระหว่าง 1-2 นาที พบว่า ระดับ GI เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าประมาณ 54.1 ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันที่สมบูรณ์ระหว่างช่วงเวลานึ่งดังกล่าว จึงส่งผลต่อระดับ GI ไม่แตกต่างกัน จากรายงานวิจัยของ Svihus et al. (2005) และ Holm et al. (1988) รายงานว่า ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันที่เพิ่มขึ้น ทำให้สูญเสียโครงสร้างความเป็นผลึกและยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคสได้เร็วขึ้น ซึ่งมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด โดยระดับ GI ทุกเงื่อนไขการนึ่งของกล้วยระยะความสุกที่ 1 จัดอยู่ในระดับ GI ต่ำ ขณะที่กล้วยระดับความสุกที่ 3 ที่ไม่ผ่านการนึ่งมีค่า GI ประมาณ 58.63 เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลมากกว่ากล้วยระดับ 1 ส่งผลต่อการย่อยและการดูดซึมของระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดได้ง่ายกว่า ทำให้มีระดับ GI เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกล้วยระดับความสุกที่ 1 สำหรับกล้วยระดับความสุกที่ 3 และผ่านการนึ่งเป็นเวลา 1.5 นาที พบว่า มีค่า GI ประมาณ 66.2 ซึ่งจัดได้ว่ามีระดับ GI ปานกลาง



รูปที่ 5.6 อัตราการย่อยของกล้วยดิบที่เงื่อนไขต่าง ๆ

ตารางที่ 5.8 กล้วยผ่านการนึ่งที่เวลาต่างๆ ร่วมกับการพuffing ที่มีผลต่อระดับ GI

Ripening stage	Steaming time (min)	Puffing temperature (°C)	C_{∞}	K (min)	HI	GI
1:(3-5 °Brix)	No steaming	160	12.44±0.19 ^a	0.17±0.02 ^a	17.51 ± 0.32 ^a	49.31 ± 0.45 ^a
	30 s		16.12±0.13 ^b	0.21±0.01 ^b	22.98 ± 0.55 ^b	52.33 ± 0.38 ^b
	1		18.75±0.15 ^c	0.25±0.01 ^c	26.20 ± 0.46 ^c	54.09 ± 0.51 ^c
	1.5		18.67±0.14 ^c	0.23±0.01 ^c	26.13 ± 0.42 ^c	54.05 ± 0.57 ^c
	2		18.68±0.15 ^c	0.24±0.02 ^c	26.19 ± 0.35 ^c	54.09 ± 0.46 ^c
3:(17-18 °Brix)	No steaming	160	24.65±0.14 ^d	0.31±0.01 ^d	34.46 ± 0.45 ^d	58.63 ± 0.38 ^d
	1.5		27.01±0.16 ^e	0.43±0.02 ^e	48.25 ± 0.51 ^e	66.20± 0.41 ^e