Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 577-580 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 577-580 (2554)

# ลักษณะคุณภาพของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการพัฟฟิงด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน

# Quality attributes of crispy banana slices produced by fluidization bed puffing technique

**ชลลดา ไร่ขาม[1] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[2] อดิศักดิ์ นารถกรณกุล[1] และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[1]**

Chonlada Raikham[1], Somkiat Prachayawarakorn[2], Adisak Nathakaranakule[1] and Somchart Soponronnarit[1]

## Abstract

At the present, free-oil crispy snack foods have been increase demand. The healthy crispy foods can be produced alternatively by a puffing technique. By this technique, the moisture content before puffing (or intermediate moisture content), puffing time and puffing temperature are important factors that affect textural and physical properties of crispy foods. The objective of this work was, therefore, to study the influence of such operating parameters on the free-oil crispy banana quality, e.g. the volume expansion, color and textural properties. Hom Tong banana slices (3.5 mm thick) were dried at 90 °C to moisture levels of 15, 25 and 35% dry basis (d.b.) after which they were puffed in a fluidized bed dryer for 1, 1.5 and 2 min at 170, 190 and 210°C using a superficial velocity of 3.5 m/s. In the last step, the samples were dried under the same conditions as the first step until the sample moisture content was lower than 4% d.b. The results showed that high puffing temperature caused high volume expansion, whereas intermediate moisture content positively or negatively affected the volume expansion. There was low expansion at the low or high intermediate moisture content. The highest volume expansion was found at an intermediate moisture content of 25% d.b. The puffing temperature and intermediate moisture content did not influence the hardness and the crispiness properties. However, at an intermediate moisture content of 35% d.b., there was an increase in hardness and a decrease in crispiness. As high puffing temperature at 210 °C, it impacted on the color of product. To improve the banana product with good texture, the approximate intermediate moisture content of 25% d.b. was recommended.

**Keywords:** volume expansion, snack, crispiness, texture

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันแนวโน้มการพัฒนาขนมขบเคี้ยวอบกรอบไร้น้ำมันกำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ลักษณะผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้สามารถผลิตได้โดยกระบวนการพัฟฟิง อุณหภูมิความชื้นและเวลาเป็นปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการดังกล่าวซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีต่อคุณภาพของกล้วยหอมทองแผ่นอบกรอบ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาได้แก่ การขยายตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส และสี การทดลองเริ่มต้นด้วยการนำกล้วยแผ่นที่มีความหนา 3.5 mm มาอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 15 25 และ 35% d.b. จากนั้นนำไปผ่านพัฟฟิงด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดเบดที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 °C เป็นเวลา 1, 1.5 และ 2 นาที โดยใช้ความเร็วของอากาศ 3.5 m/s จากนั้นนำมาอบแห้งที่สภาวะเดียวกันกับขั้นตอนแรกจนได้ความชื้นต่ำกว่า 4 % d.b. จากผลการทดลองที่ได้พบว่ากล้วยที่พัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงมีการขยายตัวเชิงปริมาตรสูงขณะที่ความชื้นก่อนพัฟฟิงส่งผลทั้งในเชิงลบหรือเชิงบวกต่อการขยายตัวเชิงปริมาตร มีการขยายตัวน้อยที่ความชื้นสูงหรือต่ำเกินไป ที่ความชื้น 25% d.b. มีการขยายตัวเชิงปริมาตรสูงสุด อุณหภูมิและความชื้นก่อนพัฟฟิง ไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยทั้งในด้านความกรอบและความแข็ง ยกเว้นที่ความชื้นของกล้วย 35% d.b. โดยมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากและกรอบน้อย ขณะที่อุณหภูมิพัฟฟิงสูง 210 °C มีผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ เพื่อการพัฒนาเป็นของขบเคี้ยว โดยมีเนื้อสัมผัสที่ดีควรพัฟฟิงที่ความชื้นไม่ควรสูงกว่า 25% d.b.

**คำสำคัญ:** การขยายตัว ขนมขบเคี้ยว ความกรอบ เนื้อสัมผัส

---

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุ่งครุ กรุงเทพ 10140

[1] Energy Technology Division, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkru, Bangkok 10140

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุ่งครุ กรุงเทพ 10140

[2] Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkru, Bangk ok 10140

## คำนำ

กล้วยเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย ด้วยสมบัติเด่นที่ช่วยเพิ่มพลังงานให้กับร่างกาย อุดมไปด้วยน้ำตาลธรรมชาติรวมทั้งเส้นใยและกากอาหาร อีกทั้งยังประกอบไปด้วยสารอาหารวิตามินและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่เนื่องจากกล้วยเก็บรักษาได้ไม่นาน เน่าเสียได้ง่าย จึงทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการดังกล่าว นอกจากนี้แล้วในบางฤดูกาลมีกล้วยมากเกินความต้องการส่งผลให้เกิดภาวะล้นตลาด ดังนั้นการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไร้น้ำมันกำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคกล้วยสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ด้วยเทคนิคของกระบวนการพัฟฟิงโดยเทคนิคนี้ปัจจัยของความชื้น อุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยความชื้นของวัสดุก่อนพัฟฟิง อุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดแรงดันของไอน้ำภายในเนื้อวัสดุ ความชื้นก่อนการพัฟฟิงที่สูงเกินไป มีผลให้การขยายตัวลดลง เนื่องจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีการหดตัวหลังผ่านกระบวนการพัฟฟิง และส่งผลให้เนื้อสัมผัสแข็ง ในขณะที่พัฟฟิงด้วยความชื้นที่ต่ำเกินไป มีผลต่อการขยายตัวน้อย เนื่องจากความชื้นที่ไม่เพียงพอต่อการเกิดแรงดันไอน้ำภายในวัสดุ (Nath *et al.,* 2007 , 2008 ; Shilton *et al.,* 1998) นอกจากนี้อุณหภูมิและเวลาในการพัฟฟิงมีส่วนเกี่ยวข้องกับความดันไอภายในวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยของความดันไอจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิง โดยมีผลต่อโครงสร้างและความเป็นรูพรุนของวัสดุ ดังนั้นเพื่อพัฒนากล้วยเป็นขนมขบเคี้ยวไร้น้ำมันและคุณภาพโดยรวมด้านต่างๆเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงมีวัตุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นของกล้วยก่อนการพัฟฟิง อุณหภูมิและเวลาพัฟฟิง ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การขยายตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส และสี

## อุปกรณ์และวิธีการ

นำกล้วยหอมทองซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ประมาณ 14-18 °brix และความชื้นเริ่มต้นประมาณ 300-400 %d.b. มาปอกเปลือกและหั่นตามขวางด้วยเครื่องหั่น โดยกำหนดขนาดความหนาของกล้วย 3.5 mm พรีทรีทเมนต์ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 700 ppm เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำไปผ่านกระบวนการพัฟฟิง (puffing) ซึ่งประกอบไปด้วยการอบแห้ง 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกนำตัวอย่างไปอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) ให้เหลือความชื้นประมาณ 15, 25 และ 35% d.b. จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการพัฟฟิงภายในเครื่องฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิพัฟฟิง 170, 190 และ 210 °C เป็นเวลา 1,1.5 และ 2 นาที ตามลำดับ (โดยปัจจัยของเวลาพัฟฟิงดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการขยายตัว เนื้อสัมผัสและสีอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยของความชื้นและอุณหภูมิพัฟฟิง ดังนั้นจึงไม่นำมาพิจารณา) โดยใช้ความเร็วของอากาศร้อนประมาณ 3.5 m/s และขั้นตอนสุดท้ายนำตัวอย่างมาอบแห้งด้วยสภาวะเดียวกันกับขั้นตอนแรก จนกระทั่งความชื้นของตัวอย่างลดลงเหลือ 4% d.b. จากนั้นนำตัวอย่างไปทดสอบเพื่อศึกษาคุณภาพของกล้วยแผ่นหลังผ่านกระบวนการพัฟฟิง โดยพิจารณาได้จากสมบัติด้านเนื้อสัมผัสซึ่งทดสอบด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA.XT Plus และสมบัติด้านการขยายตัวเชิงปริมาตรใช้วิธีการแทนที่ปริมาตรของกล้วยในสารละลาย n-heptane ส่วนคุณภาพด้านสีทดสอบด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab, ColorFlex, UK)

## ผลและวิจารณ์ผล

Figure1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นก่อนพัฟฟิงและอุณหภูมิต่อการขยายตัวของกล้วยแผ่น พบว่า ความชื้นของกล้วยก่อนพัฟฟิงและอุณหภูมิ ส่งผลต่อค่าการขยายตัวทั้งที่เพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อความชื้นของกล้วยก่อนพัฟฟิงเพิ่มขึ้นประมาณ 25% d.b. ให้การขยายตัวเชิงปริมาตรสูงสุดประมาณ 160 % แต่เมื่อความชื้นกล้วยก่อนพัฟฟิงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจาก 25% d.b. กลับให้การขยายตัวเชิงปริมาตรลดลง ซึ่งพัฟฟิงกล้วยที่ความชื้นสูงกว่า 25% d.b. มีผลต่อการขยายตัวได้ดีในช่วงพัฟฟิง หลังจากนั้นโครงสร้างกล้วยเกิดการหดตัวลงในขั้นตอนสุดท้าย เนื่องจากโครงสร้างกล้วยไม่เสถียร แต่ในกรณีที่ความชื้นกล้วยต่ำเกินไป ส่งผลให้การขยายตัวน้อย เมื่อพิจารณาอุณหภูมิพัฟฟิง พบว่า การพัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้กล้วยขยายตัวมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำทุกเงื่อนไขของความชื้นก่อนพัฟฟิง เนื่องจากอุณหภูมิพัฟฟิงที่สูง มีผลต่ออัตราการระเหยและกลายเป็นไอได้อย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้การขยายตัวเชิงปริมาตรสูงขึ้น

สำหรับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นโดยพิจารณาจากค่าความแข็ง (hardness) และค่าความกรอบ ซึ่งแสดงด้วยค่าความชันเริ่มต้นและจำนวนยอด พบว่าพัฟฟิงกล้วยที่ความชื้นก่อนพัฟฟิงต่างกันที่ 15 และ 25% d.b. และใช้อุณหภูมิพัฟฟิงระหว่าง 170-210 °C ค่าความแข็งของกล้วยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อค่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วยมากกว่า 25% d.b. ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นดังแสดงใน Figure 1b

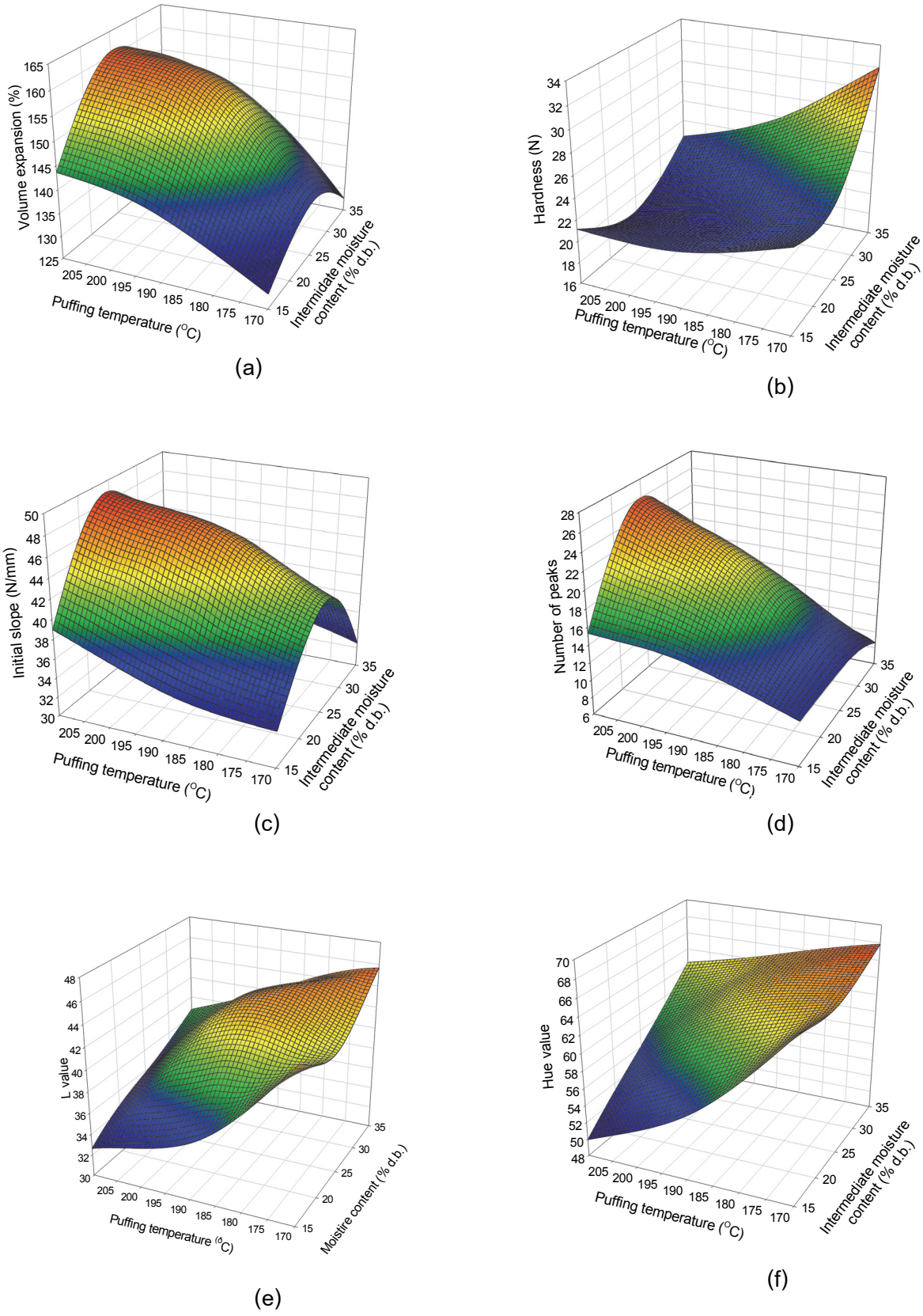


**Figure 1** Surface plot of the effect of intermediate moisture content and puffing temperature on (a) volume expansion, (b-d) textural properties, (e-f) color values

ที่อุณหภูมิพัฟฟิงดังกล่าวสอดคล้องกับผลการขยายตัว กล่าวคือโครงสร้างกล้วยเกิดการหดตัวลง จึงมีผลต่อความแข็งที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความกรอบพบว่าพัฟฟิงกล้วยที่ความชื้น 25% d.b. และพัฟฟิงที่อุณหภูมิสูง 210 °C ส่งผลให้ความกรอบมีค่าสูงสุด โดยมีค่าความชันเริ่มต้นและจำนวนยอดประมาณ 46-51 N/mm และ 27±4 ตามลำดับดังแสดงใน Figures 1c,1d เนื่องจากการที่กล้วยเกิดการขยายตัวเชิงปริมาตรสูงกว่าเงื่อนไขอื่นๆ จึงทำให้โครงสร้างเปราะ ดังนั้นเนื้อสัมผัสจึงมีความกรอบมากกว่าเงื่อนไขพัฟฟิงอื่นๆ ขณะที่ความชื้น 15 และ 35% d.b มีผลต่อความกรอบที่ลดลง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากค่าความชื้นดังกล่าวให้ผลการขยายตัวน้อยและใกล้เคียงกันจึงทำให้ค่าความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์ที่ขายตามท้องตลาดโดยผ่านการแปรรูปด้วย vacuum frying ความหนาประมาณ 3.5 - 4.5 mm พบว่า คุณภาพเนื้อสัมผัสด้านความแข็งมีค่าประมาณ 35-45 N, initial slope 22-35 N/mm และจำนวนยอด 13±4 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความแข็งมากกว่าและค่าความกรอบน้อยกว่ากล้วยที่ผ่านการแปรรูปด้วยกระบวนการพัฟฟิง ภายใต้เงื่อนไขสภาวะที่เหมาะสมที่ความชื้นของกล้วยก่อนพัฟฟิงประมาณ 25% d.b อุณหภูมิ 190-210 °C พบว่า ค่าความแข็ง 20-25 N ค่าความชันเริ่มต้น 46-51 N/mm และจำนวนยอด 27±4

Figures 1e, 1f แสดงคุณภาพด้านสีในแง่ของค่าความสว่างและค่าเฉดสี (hue angle) โดยที่ค่าเฉดสีของผลิตภัณฑ์มีค่าเข้าใกล้ 0° จะจัดอยู่ในกลุ่มสีแดงและค่าเข้าใกล้ 90° จะจัดอยู่ในกลุ่มสีเหลือง (Barreiro *et al.,* 1997) จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความชื้นก่อนพัฟฟิงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นเป็น 210 °C ทุกเงื่อนไขของความชื้นก่อนพัฟฟิง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าความสว่างและค่า Hue angle ลดลงมาก โดยกล้วยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิพัฟฟิงที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากขึ้น โดยเงื่อนไขพัฟฟิงดังกล่าวนี้ให้เนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยและกรอบมาก คุณภาพด้านสีเป็นปัจจัยหลักที่บริโภคให้ความสำคัญเช่นเดียวกันกับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งจากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าพัฟฟิงที่อุณหภูมิต่ำทุกเงื่อนไขของความชื้นก่อนพัฟฟิงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างน้อย โดยเฉดสีของกล้วยค่อนข้างเป็นสีเหลือง แต่กลับส่งผลต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ โดยมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากกว่าและกรอบน้อยกว่าที่เงื่อนไขพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมของการศึกษานี้อาจจะให้คุณภาพเนื้อสัมผัสดีแต่อาจส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์

## สรุปผล

ผลการศึกษาคุณลักษณะของกล้วยแผ่นที่ผ่านกระบวนการพัฟฟิงด้วยเทคนิคฟลูอิไดเบด พบว่า ความชื้นของกล้วยก่อนพัฟฟิงและอุณหภูมิพัฟฟิง ส่งผลต่อการขยายตัวเชิงปริมาตรของกล้วย เมื่อความชื้นของกล้วยก่อนพัฟฟิงต่ำ ทำให้มีการพองของกล้วยน้อย ในขณะที่กล้วยมีความชื้นสูงนั้น การขยายตัวต่ำเช่นกัน ความชื้นประมาณ 25 % d.b. และพัฟฟิงที่อุณหภูมิ 210 °C มีความเหมาะสมสำหรับการพัฟฟิงกล้วย ซึ่งให้การขยายตัวของกล้วยสูงสุด และเนื้อสัมผัสของกล้วยมีความกรอบมากและแข็งน้อย แต่มีผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อพัฒนากล้วยเป็นขนมขบเคี้ยวโดยมีเนื้อสัมผัสดี ความชื้นไม่ควรสูงกว่า 25 % d.b. ส่วนอุณหภูมิในการพัฟฟิงระหว่าง 190-210 °C อาจจะให้เนื้อสัมผัสที่ดี แต่อย่างไรก็ตามกล้วยกลับมีสีน้ำตาลเข้มมากกว่ากล้วยที่มีขายตามท้องตลาด ดังนั้นจึงยังไม่สามารถสรุปปัจจัยของอุณหภูมิที่เหมาะสมได้ในขอบเขต ที่ศึกษานี้

## คำขอบคุณ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา(สกอ) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยดังกล่าว

## เอกสารอ้างอิง

Barreiro, J.A., M. Milano and A.J. Sandoval. 1995. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. Journal of Food Engineering 33: 359–371.

Nath, A. and P.K. Chattopadhyay. 2007. Optimization of oven toasting for improving crispiness and other quality attributes of ready-to eat-potato-soy snack using response surface methodology. Journal of Food Engineering 80: 1282–1292.

Nath, A., P.K. Chattopadhyay and G.C Majumdar. 2008. High-temperature short- time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snack : Process parameter optimization. Journal of Food Engineering 80: 770–780.

Shilton, N.C., A.A. Bekhit and K. Niranjan. 1998. Optimisation of a dehydration process for potato cubes using an intermediate puffing step. Food Science and Technology 41: 203-209.