

**อิทธิพลของแป้งข้าวโพดบดหยาบดัดแปรด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน  
ต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว**  
**Effect of modified corn grit flour by extrusion process on physical  
properties and its sensory characteristics in extruded snack**

นิพนธ์ ลิ้มสงวน\* จุฬาลักษณ์ จารุณูช พิสุทธิ บุตรสุวรรณ พิศมัย ศรีชาเยช และกัษมาพร ปัญธิะบุตร  
ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900  
\*E-mail : ifrnpl@ku.ac.th

**บทคัดย่อ**

ศึกษาอิทธิพลของแป้งข้าวโพดบดหยาบดัดแปรด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสมบัติทางกายภาพ (อัตราการพองตัว ความหนาแน่นรวม และลักษณะเนื้อสัมผัส) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และปริมาณแป้งข้าวโพดดัดแปรที่ใช้ทดแทนข้าวโพดบดหยาบในสูตรการผลิต พบว่า ปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ( $p < 0.05$ ) อาทิ การเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปร รวมทั้ง ความชื้นเริ่มต้น และความเร็worอบของสกรูในการดัดแปร จะช่วยพัฒนาคุณลักษณะทางกายภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์ในด้านของอัตราการพองตัวที่สูงขึ้น ความแข็งลดลง และความกรอบที่มากขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ การใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรที่มีความชื้นเริ่มต้น 18% ความเร็worอบของสกรูที่ 400 รอบต่อนาที และปริมาณการใช้ที่ 50% อีกทั้งเมื่อศึกษาถึงผลของการติดฟันในผู้ทดสอบชิม พบว่าการเติมแป้งดัดแปรในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ :** ข้าวโพดบดหยาบ แป้งดัดแปร กระบวนการเอกซ์ทรูชัน สมบัติทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

**Abstract**

The study examined three factors (feed moisture, screw speed and % modified corn grit substitution) that affected the effect of modified corn grit flour by extrusion process on physical properties (expansion ratio, bulk density and texture profile) and sensory characteristics in extruded snack. The results found that, all the three factors affected the physical properties and sensory evaluation ( $p < 0.05$ ) at the higher level. They affected good quality in high expansion, crispness, but low hardness. The suitable condition to meet high quality snack as 18% feed moisture, screw speed at 400 rpm and 50% modified corn grit substitution. The proper ratio of %substitute also decreased the stickiness problem of snack.

**Keywords :** Corn grit; Modified starch; Extrusion process; Physical property; Extruded snack

## 1. บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อัดพอง ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมการบริโภคของคนในสังคมมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอาหารเข้าจากธัญชาติ ซึ่งสร้างความสะดวกในการรับประทาน เนื่องจากเตรียมง่ายลดระยะเวลาในการปรุงอาหารในช่วงเช้า เครื่องดื่มสำเร็จรูปจากธัญชาติ เหมาะสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมปริมาณอาหารในแต่ละมื้อ และมีความนิยมมากขึ้นตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ซึ่งกลายเป็นส่วนหนึ่งของอาหารมื่อว่าง ใช้ในการรับประทานเล่น ระหว่างมื้ออาหาร หรือรับประทานขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ดูโทรทัศน์ หรืออ่านหนังสือ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ค่อนข้างใหญ่ มีรายงานมูลค่าการตลาดเฉพาะผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 2.1 พันล้านปอนด์ต่อปี [1] หรือคิดเป็นน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มากกว่า 485,000 ตัน ต่อปี [2]

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อัดพองนี้ใช้วัตถุดิบหลักคือ แป้ง และมีการเติมวัตถุเจือปนอาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภคเช่น ในขนมขบเคี้ยว ช่วยทำให้เนื้อสัมผัสมีความกรอบ หรือนุ่ม เป็นต้น หรือในกรณีของอาหารเข้าจากธัญชาติ ช่วยเพิ่มความกรอบแข็งเพื่อให้สามารถลอยตัวในนมหรือน้ำผลไม้ได้นานขึ้น และเวลาทานยังคงความกรอบอยู่ และในกรณีของเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากธัญชาติ ใช้เพื่อช่วยในเรื่องของการละลาย เป็นต้น ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้มากในอุตสาหกรรมนี้คือ แป้งดัดแปร นั่นเอง

แป้งดัดแปรมีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหารเป็นอย่างมาก เนื่องจากแป้งดิบ ซึ่งเป็นแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีสมบัติต่าง ๆ เฉพาะตัว อาจเป็นลักษณะพิเศษมาจากแหล่งที่ผลิต เช่น แป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะจำเพาะ เช่น ขนาด รูปร่าง และการพองตัว แต่สิ่งที่แป้งทุก ๆ ชนิดมีคล้ายกัน คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อมีปัจจัยความร้อน แรงเฉือน และเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่แล้วแป้งดิบจึงไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม เพราะ มีความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทน

ต่อสภาวะต่าง ๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ และสิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี [3] การเกิด เจลาติโนซ (Gelatinization) การคืนตัว (Retrogradation) และการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็ง (Freeze-thaw) เพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่น ๆ เพิ่มขึ้น [4] ในการดัดแปรแป้งนั้นแบ่งเป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ การดัดแปรทางเคมี การดัดแปรทางกายภาพ และการดัดแปรทางเทคโนโลยี-ชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีจะให้สมบัติของแป้งที่ผ่านการดัดแปรที่แตกต่างกัน

เอกซ์ทรูชัน เป็นอีกกระบวนการหนึ่งในการดัดแปรแป้งทางกายภาพ ใช้สำหรับการผลิตแป้งพรีเจลาติโนซ หรือแป้งพรีเจล เป็นแป้งดัดแปรที่ทำโดยให้ความร้อนแก่แป้ง ทำให้แป้งสุกหรือเกิดเจลาติโนซ แล้วทำให้แห้ง และบดให้ละเอียด ได้แป้งดัดแปรที่สามารถละลายกระจายตัวได้ในน้ำเย็น ให้ความหนืดได้ทันทีและไม่เกิดเจล เป็นกระบวนการดัดแปรแป้งที่ไม่ยุ่งยากเหมาะสมสำหรับใช้กับอาหารที่ไม่ต้องให้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี่ ซอส ส่วนผสมของซุฟฟอง [5] สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ ใช้เป็นสารยึดเกาะในอาหารประเภทเนื้อเพื่อช่วยรักษาความชุ่มชื้น และอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเพื่อช่วยการดูดซับน้ำ และเก็บฟองอากาศได้ดีขึ้น ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ได้ลักษณะเนื้อเค้กที่มีความสม่ำเสมอ [6] ใช้เป็นส่วนผสมในของหวานที่มีลักษณะคล้ายโยเกิร์ต [7] ใช้เป็น texturizing agent สำหรับ oat cereal [8] ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับส่วนผสมของอาหารแช่แข็ง เช่น milk shake และใช้เป็นส่วนผสมในขนมขบเคี้ยว [9]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำข้าวโพด อันเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศชนิดหนึ่ง โดยทำรายได้จากการส่งออกต่างประเทศ มีมูลค่าประมาณปีละ 6,000 ล้านบาท ทั้งนี้ส่วนใหญ่ส่งออกในรูปของเมล็ดข้าวโพดแห้ง ซึ่งมีมูลค่าต่ำ นำมาผ่านการแยกส่วน

ของคัพพะ และบดให้ละเอียดที่ 20-30 mesh ซึ่งเรียกว่า ข้าวโพดบดหยาบ มาผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้เป็นแป้งข้าวโพดตัดแปร ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อการตัดแปรข้าวโพดบดหยาบ อิทธิพลของแป้งตัดแปรต่อสมบัติทางกายภาพและการยอมรับในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ทำให้ได้องค์ความรู้ที่สามารถนำไปวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แป้งตัดแปรดังกล่าวในอุตสาหกรรมอาหาร อันจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรของไทย สร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน และลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 วัตถุดิบ

แป้งข้าวโพดบดหยาบตัดแปรจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ข้าวโพดบดหยาบ แป้งข้าวเจ้า แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน น้ำตาลทราย แคลเซียมคาร์บอเนต วิตามินรวม น้ำมันพืช และใบหอมแห้ง

### 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง Twin Screw Extruder (Hermann Berstoff Laboratory Co-rotating Twin Screw Extruder รุ่น ZE 25x33D, Germany) เครื่องบด Fitz Mill (Comminutor serial # 1871, USA) เครื่องบด Pin Mill (Alpine Augsbug, Germany) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyser, model TA.XT plus, Stable Micro Systems, UK) กล้อง Light Microscope (LM: ประเภท Stereoscopic Microscope ยี่ห้อ ZEISS รุ่น Stemi 2000-C) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven; Memmert, Germany) เตาความร้อน (Hotplate) เครื่องชั่ง (Sartorius, Germany)

### 2.3 การเตรียมตัวอย่าง

ทำการตัดแปรแป้งข้าวโพดบดหยาบโดยใช้สภาวะเอกซ์ทรูชัน ได้แก่ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของการตัดแปรแป้ง 2 ระดับ ที่ 14 และ 18% ความเร็วรอบของสกรูในการตัดแปรแป้ง 2 ระดับ ที่ 300 และ 400 รอบ

ต่อหน้าที่ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดแทนข้าวโพดบดหยาบในสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และปริมาณการทดแทนข้าวโพดบดหยาบในวัตถุดิบผสม ที่ 25 50 75 และ 100% ผสมวัตถุดิบต่าง ๆ ได้แก่ แป้งข้าวโพดบดหยาบตัดแปร แป้งข้าวเจ้า แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน น้ำตาลทราย แคลเซียมคาร์บอเนต วิตามินรวม น้ำมันพืช และผงใบหอมแห้ง (กำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ คงที่ ยกเว้นแป้งข้าวโพดบดหยาบตัดแปร) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม แล้วจึงนำวัตถุดิบผสมผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและการยอมรับต่อไป

### 2.4 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

นำวัตถุดิบที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วเป็นเนื้อเดียวกัน ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ที่หมุนตามกัน ซึ่งประกอบด้วยบารเรล 7 หัว ความยาวของบารเรลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 870:25 ผันงบารเรลให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าซึ่งควบคุมได้ ในผันงบารเรลบางส่วนเป็น แจ็กเก็ตสองชั้นที่มีท่อสำหรับปั้มน้ำเย็นเข้าไปหมุนเวียนด้วยอัตราการไหลที่ควบคุมได้ เพื่อป้องกันความร้อนที่สูงเกินไป ส่วนท้ายสุดของบารเรลประกอบด้วยหน้าแปลน ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยหยัก ส่วนผสมวัตถุดิบถูกป้อนเข้าสู่เครื่องด้วยถังป้อนที่มีสกรูคู่อยู่ที่กันถึงทำหน้าที่ป้อนวัตถุดิบแบบปริมาตร ซึ่งในสภาวะการผลิตของการทดลองนี้จะปรับอัตราการป้อนให้คงที่ และปรับปริมาณน้ำเข้าไปผสมกับวัตถุดิบในปริมาณที่เท่ากันตลอด เพื่อแปรค่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบขณะป้อน (feed moisture) ให้อยู่ที่ 16% รวมถึงปรับความเร็วรอบของสกรู (screw speed) ที่ 350 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยว โดยจัดอุณหภูมิที่บารเรลให้คงที่ ( $H_2$ : 45°C;  $H_3$ : 55°C;  $H_4$ : 95°C;  $H_5$ : 130°C;  $H_6$ : 140°C;  $H_7$ : 130°C; Die: 120°C) หลังจากผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน นำเอกซ์ทรู-เดทที่ได้อบด้วยความร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่อไป

## 2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

### 2.5.1 อัตราการพองตัว (Expansion ratio)

นำเวอร์เนียคาลิเปอร์มาวัดขนาดของเอกซ์ทราเดท นำค่าที่วัดได้หารด้วยขนาดของหน้าแปลน (วิเคราะห์จำนวน 10 ซ้ำ) เพื่อคำนวณค่า Expansion ratio [10]

### 2.5.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ใส่ตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการเอ็กซ์ทราชันลงในกระบอกตวง 100 ml. จนถึงระดับ ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างเทียบกับปริมาตรของกระบอกตวง (วิเคราะห์จำนวน 5 ซ้ำ) จะได้ค่า Bulk density [11]

### 2.5.3 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile)

วิเคราะห์ค่าความกรอบและความแข็งโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser, TA.XT plus) หัววัดที่ใช้คือหัวใบมีดตัด (HDP/BS; Blade set with knife) รายละเอียดในการตั้งค่าการวัดดังนี้

Test Mode	Compression
Pre-test Speed	1.00 mm/sec
Test Speed	2.00 mm/sec
Post-test Speed	10.00 mm/sec
Target Mode	Distance
Distance	8.00 mm
Trigger Type	Auto (Force)
Trigger Force	10.00 g

ค่าความกรอบแปลผลจากจำนวนพีกที่เกิดขึ้นระหว่างการวัด ส่วนค่าความแข็งคือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการวัดเนื้อสัมผัส (วิเคราะห์จำนวน 15 ซ้ำ) ด้วยซอฟต์แวร์จากเครื่องวิเคราะห์ [12]

## 2.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

คัดเลือกสภาวะการตัดแปรที่เหมาะสมที่สุดจากการพิจารณาคุณลักษณะที่ได้ นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการใช้แป้งข้าวโพดบดหยาบตัดแปร (0% 25% 50% 75% และ 100% ทดแทนข้าวโพดบดหยาบที่มีสัดส่วนในสูตรการผลิตขนมขบเคี้ยว 35%) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 60 คน ประเมินความชอบต่อผลิตภัณฑ์ด้านความกรอบ ความแข็ง การติดฟัน และความชอบโดยรวม

## 2.7 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2x2x4 จำนวนการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 2 ระดับ ที่ 14 และ 18% ความเร็วรอบของสกรู 2 ระดับ ที่ 300 และ 400 รอบต่อนาที และปริมาณการทดแทนข้าวโพดบดหยาบในวัตถุดิบผสม ที่ 25 50 75 และ 100% ดังแสดงใน Table 1 โดยเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีกรรณเติมแป้งข้าวโพดบดหยาบตัดแปร ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® version 12 (SPSS Thailand Co., Ltd.) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทราชัน ทั้ง 17 สิ่งทดลอง นำมาถ่ายภาพด้วยกล้อง Light Microscope (LM) ใช้กำลังขยายต่ำอยู่ที่ 6.5 เท่า ดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งเห็นได้ว่าการตัดแปรแป้งโดยเพิ่มความชื้นเริ่มต้นและความเร็วรอบ และการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดตัดแปร ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พองมากขึ้น หลังจากนั้นนำสิ่งทดลองทั้งหมดวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ได้แก่ อัตราการพองตัว ความหนาแน่นรวม ความแข็ง และความกรอบของผลิตภัณฑ์

#### 3.1.1 อัตราการพองตัว (Expansion ratio)

การพองตัวของผลิตภัณฑ์อาหารในระบบเอ็กซ์ทราชันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันตรงบริเวณหน้าแปลนและความดันบรรยากาศภายนอก โดยการพองตัวเกิดขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นแป้งเกิดเจลาติไนเซชัน แป้งสุกและหลอมเหลวที่บริเวณหลังหน้าแปลนเมื่อความดันในเครื่องเพิ่มสูงขึ้น และแป้งที่หลอมเหลวถูกผลักดันผ่านหน้าแปลนมาสู่ความดันบรรยากาศที่ต่ำกว่า ทำให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ยวกันก็ดันเนื้อเยื่ออาหารให้โป่งพองออกเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ผลิตภัณฑ์จึงมีการพองตัวขึ้น

[13] อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัวได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณของการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปร และความเร็วยรอบของสกรู กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบในการตัดแปร อัตราการเกิดเจลลาคีโนซ์จะต่ำกว่า [14] ความสุกของแป้งจะน้อยกว่า ทำให้อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น จากการที่แป้งมีความหนืดสูงกว่าส่งผลต่อความดันภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ Chinnaswamy และ Hanna [15] ในกรณีของการตัดแปรที่ความชื้นของวัตถุดิบขณะป้อนที่ต่ำ ทำให้แป้งเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ ทำให้ความหนืดขณะนวดและผสมในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต่ำนั่นเอง [16] ในขณะที่

เพิ่มปริมาณของการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปร จะทำให้อัตราการพองตัวมีมากขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้าวโพดบดหยาบที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีปริมาณของโปรตีน และไขมัน ที่สูงกว่าทำให้อัตราการพองตัวต่ำกว่า [17] จากการที่โปรตีนมีสมบัติลดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ไขมันจะทำให้เกิดการลื่นในระบบ ทำให้ความดันภายในเครื่องลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jones และคณะ [18] และ Singh และคณะ [19] ส่วนความเร็วยรอบของสกรูในการตัดแปร มีแนวโน้มทำให้เพิ่มอัตราการพองตัวได้เล็กน้อย เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของแต่ละปัจจัยพบว่า อิทธิพลร่วมในทุกปัจจัยมีผลต่ออัตราการพองตัว ยกเว้นอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปร และความเร็วยรอบของสกรูที่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์

**Table 1** Physical properties of extruded snack from different modified condition by extrusion process

Experiment	Feed moisture (%)	Screw speed (rpm)	Substitute content (%)	Expansion ratio*	Bulk density (g/100 ml)*	Hardness (g)*	Crispness*
1**	-	-	0	1.74 ± 0.06 <sup>l</sup>	9.22 ± 0.06 <sup>c</sup>	3218 ± 427 <sup>a</sup>	23.47 ± 4.32 <sup>h</sup>
2	14	300	25	1.84 ± 0.04 <sup>i</sup>	8.77 ± 0.11 <sup>d</sup>	2983 ± 512 <sup>ab</sup>	32.27 ± 5.71 <sup>def</sup>
3	14	300	50	1.93 ± 0.04 <sup>h</sup>	8.12 ± 0.07 <sup>f</sup>	2599 ± 379 <sup>c</sup>	36.13 ± 6.63 <sup>bcd</sup>
4	14	300	75	2.33 ± 0.09 <sup>f</sup>	7.37 ± 0.15 <sup>h</sup>	2144 ± 415 <sup>d</sup>	34.27 ± 6.90 <sup>bcd</sup>
5	14	300	100	2.65 ± 0.09 <sup>bc</sup>	5.82 ± 0.13 <sup>k</sup>	1742 ± 269 <sup>ef</sup>	46.27 ± 9.78 <sup>a</sup>
6	14	400	25	1.98 ± 0.07 <sup>h</sup>	10.07 ± 0.21 <sup>a</sup>	2595 ± 441 <sup>c</sup>	23.07 ± 4.48 <sup>h</sup>
7	14	400	50	2.23 ± 0.08 <sup>g</sup>	7.85 ± 0.14 <sup>g</sup>	2075 ± 382 <sup>de</sup>	30.47 ± 7.95 <sup>efg</sup>
8	14	400	75	2.46 ± 0.07 <sup>e</sup>	6.56 ± 0.14 <sup>j</sup>	2087 ± 318 <sup>de</sup>	37.53 ± 7.63 <sup>bc</sup>
9	14	400	100	2.50 ± 0.07 <sup>de</sup>	5.15 ± 0.15 <sup>n</sup>	1530 ± 335 <sup>g</sup>	38.27 ± 8.38 <sup>b</sup>
10	18	300	25	2.20 ± 0.04 <sup>g</sup>	9.73 ± 0.06 <sup>b</sup>	2755 ± 447 <sup>bc</sup>	28.13 ± 4.82 <sup>fg</sup>
11	18	300	50	2.47 ± 0.04 <sup>e</sup>	8.35 ± 0.12 <sup>e</sup>	1909 ± 530 <sup>def</sup>	30.93 ± 6.05 <sup>efg</sup>
12	18	300	75	2.61 ± 0.08 <sup>c</sup>	6.66 ± 0.05 <sup>j</sup>	2065 ± 397 <sup>de</sup>	30.87 ± 7.58 <sup>efg</sup>
13	18	300	100	2.68 ± 0.06 <sup>ab</sup>	5.50 ± 0.10 <sup>l</sup>	1921 ± 335 <sup>def</sup>	38.53 ± 8.14 <sup>b</sup>
14	18	400	25	2.39 ± 0.06 <sup>f</sup>	9.33 ± 0.16 <sup>c</sup>	2027 ± 536 <sup>de</sup>	26.13 ± 6.45 <sup>gh</sup>
15	18	400	50	2.54 ± 0.04 <sup>d</sup>	7.84 ± 0.09 <sup>g</sup>	1947 ± 357 <sup>def</sup>	28.07 ± 5.47 <sup>fg</sup>
16	18	400	75	2.61 ± 0.07 <sup>c</sup>	6.78 ± 0.14 <sup>i</sup>	1795 ± 398 <sup>efg</sup>	32.87 ± 10.17 <sup>cdef</sup>
17	18	400	100	2.73 ± 0.11 <sup>a</sup>	5.34 ± 0.11 <sup>m</sup>	1722 ± 153 <sup>fg</sup>	36.33 ± 6.42 <sup>bcd</sup>

\*Mean ± standard deviation of triplicate analysis. Values with different letters within the same column are significantly different at p<0.05.

\*\*Control (no modified condition)

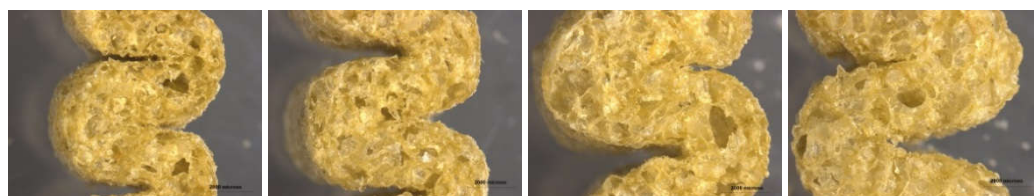
**Table 2** Liking score of extruded snack from different modified corn grit substitution

Modified condition			Liking Score*			
Feed Moisture (%)	Screw Speed (rpm)	Modified corn grit substitution (%)	Crispiness	Hardness	Stickiness	Overall
18	400	100	7.00 ± 0.54 <sup>a</sup>	6.57 ± 0.64 <sup>a</sup>	6.33 ± 0.46 <sup>a</sup>	6.57 ± 0.35 <sup>a</sup>
18	400	75	6.87 ± 0.41 <sup>ab</sup>	6.40 ± 0.29 <sup>ab</sup>	6.13 ± 0.37 <sup>ab</sup>	6.47 ± 0.28 <sup>ab</sup>
18	400	50	6.57 ± 0.28 <sup>abc</sup>	5.83 ± 0.33 <sup>c</sup>	5.87 ± 0.22 <sup>bc</sup>	6.27 ± 0.51 <sup>ab</sup>
18	400	25	6.47 ± 0.24 <sup>bc</sup>	5.90 ± 0.47 <sup>bc</sup>	5.73 ± 0.31 <sup>bc</sup>	5.93 ± 0.42 <sup>bc</sup>
18	400	0	6.10 ± 0.32 <sup>c</sup>	5.47 ± 0.14 <sup>c</sup>	5.50 ± 0.41 <sup>c</sup>	5.67 ± 0.19 <sup>c</sup>

\* Mean ± standard deviation with different letters within the same column are significantly different at p<0.05.



A: Control



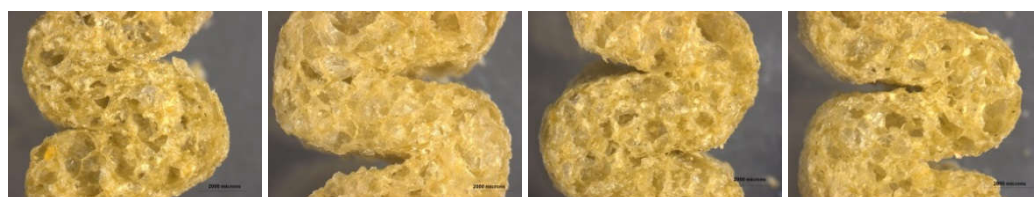
25%

50%

75%

100%

B: Feed Moisture=14%, Screw Speed= 300 rpm



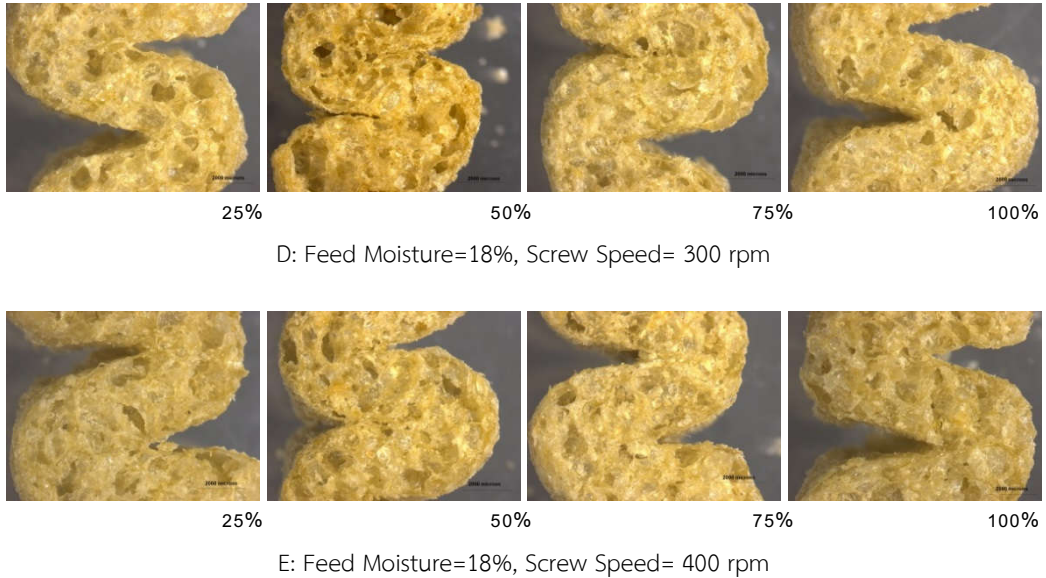
25%

50%

75%

100%

C: Feed Moisture=14%, Screw Speed= 400 rpm



**Figure 1** Extruded snack from different modified conditions by extrusion process and corn grit substitution (6.5X)

อีกทั้งยังพบว่าทุกตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรมีอัตราการพองตัวที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้แป้งดังกล่าว อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรสามารถเพิ่มอัตราการพองตัว (1.84-2.73) ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

### 3.1.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นรวมเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยที่เอกซ์ทรูเดตที่พองตัวได้มาก จะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำ ในขณะที่เอกซ์ทรูเดตที่พองตัวน้อย จะมีความหนาแน่นรวมสูง ซึ่งความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามระหว่างอัตราการพองตัวและความหนาแน่นรวมได้มีการรายงานมาก่อนหน้านี้ [20] จากการศึกษาที่ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวขึ้น ทำให้มีโพรงอากาศภายใน จึงทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง [13] ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ดังแสดงใน Table 1 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นรวม ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณของการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปร และความเร็วรอบของสกรู กล่าวคือเมื่อเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ความหนาแน่นรวม

จะลดลง ในขณะที่เพิ่มปริมาณของการใช้แป้งตัดแปร และความเร็วรอบของสกรูในการตัดแปร ก็ลดความหนาแน่นรวมเช่นกัน [13] เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของแต่ละปัจจัยพบว่า อิทธิพลร่วมในทุกปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวม

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรกับตัวอย่างควบคุม พบว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งฯ ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นรวมที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งเกิดจากอัตราการพองตัวที่สูงนั่นเอง

### 3.1.3 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile)

ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวต่อการตัดสินใจและการเลือกซื้อของผู้บริโภค โดยลักษณะเนื้อสัมผัสนี้เกิดขึ้นจากการที่แป้งได้รับความร้อนและความดันภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้อุณหภูมิภายในอาหารเกิดการระเหยตัวออกไปและเกิดการพองตัวขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องแล้ว [21] การพองตัวนี้สัมพันธ์กับความแข็ง และความกรอบของผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยการวัดแรงตัดสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหักเลียนแบบการเคี้ยวด้วยฟัน แปรผลในเทอมของ

ความแข็ง (Hardness) [15] ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวน้อยจะมีเนื้อแน่น ทำให้ผนังเซลล์ที่เป็นโครงสร้างของแป้งหนาขึ้น ความแข็งมากขึ้นจึงต้องใช้แรงตัดสูงในการทำให้แตก ในขณะที่ความกรอบ (Crispness) [22] เกิดจากปริมาณของฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์กล่าวคือ ถ้าผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวสูงจะทำให้กักเก็บฟองอากาศได้ดี จึงทำให้มีความกรอบมากขึ้นนั่นเอง ความแข็งและความกรอบถือเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวซึ่งโดยปกติ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ดีควรมีค่าความแข็งต่ำ แต่ค่าความกรอบสูงจากการทดลองนี้พบว่าค่าความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ดังแสดงใน Table 1 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัว ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ใช้ ความเร็วรอบของสกรู และปริมาณของการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรรูป กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบในการตัดแปรรูป ความแข็งจะลดลง ในขณะที่เพิ่มความเร็วนรอบของสกรูในการตัดแปรรูป และปริมาณของการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรรูป ก็ลดความแข็งลงเช่นกัน โดยอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง ยกเว้นอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความเร็วรอบสกรูที่ไม่ส่งผลต่อค่าดังกล่าว แต่ในกรณีของความกรอบ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับในแต่ละปัจจัย จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่กรอบมากขึ้นด้วย ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นนี้แปรผันตามอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ และแปรผกผันกับความหนาแน่นรวม [13] และเมื่อวิเคราะห์ผลของอิทธิพลร่วมแต่ละปัจจัยพบว่าเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณของแป้งข้าวโพดตัดแปรรูป ความชื้นเริ่มต้น และความเร็วนรอบสกรูที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบ

### 3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

เพื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ จึงได้ผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวใบหม่อนผสมแป้งข้าวโพดตัดแปรรูปที่สภาวะการผลิตที่เหมาะสม (จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพ พบว่าการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรรูปที่สภาวะความชื้นเริ่มต้น 18% และ

ความเร็วรอบของสกรูที่ 400 รอบต่อนาทีให้อัตราการพองตัวที่ดีที่สุด จึงเลือกใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรรูปที่สภาวะดังกล่าว) ที่มีปริมาณการทดแทนข้าวโพดบดหยาบที่ 100%, 75%, 50%, 25% และ 0% (Control) แล้วใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 60 คน ประเมินและให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านความกรอบ ความกระด้าง การติดฟัน และความชอบโดยรวม ใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 9 สเกล (9-points hedonic scaling)

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมแป้งข้าวโพดตัดแปรรูป ที่สภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่มีปริมาณการทดแทนแป้งข้าวโพดตัดแปรรูปต่างๆกันที่ 100%, 75%, 50%, 25% และ 0% (Control) ดังผลการทดลองใน Table 2 พบว่าสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่มีปริมาณการทดแทนแป้งข้าวโพดตัดแปรรูป 100% มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งในด้านความกรอบ ความกระด้าง การติดฟัน และความชอบโดยรวมสูงสุด และผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ให้คะแนนต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในเกณฑ์ชอบปานกลาง (7 คะแนน) ส่วนที่ 0%(Control) ซึ่งไม่มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดตัดแปรรูปนั้น มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งในด้านความกรอบ ความกระด้าง การติดฟัน และความชอบโดยรวมต่ำสุด และผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ให้คะแนนต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย-ปานกลาง (6-7 คะแนน)

ซึ่งปริมาณการทดแทนแป้งข้าวโพดตัดแปรรูปที่ 100%, 75% และ 50% มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งในด้านความกรอบ ความกระด้าง การติดฟัน และความชอบโดยรวมใกล้เคียงกันและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน และที่ปริมาณการทดแทนแป้งข้าวโพดตัดแปรรูปที่ 25% และ 0% (Control) มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งในด้านความกรอบ ความกระด้าง การติดฟัน และความชอบโดยรวมใกล้เคียงกันและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าการใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรรูปในการผลิตเป็นไปในแนวทางที่เหมาะสมเพราะให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี



#### 4. สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลของแป้งข้าวโพดบดหยาบดัดแปรด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสมบัติทางกายภาพและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พบว่า การใช้แป้งข้าวโพดดัดแปร ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นี้มีคุณลักษณะที่ดี กล่าวคือ เมื่อเติมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว แป้งข้าวโพดดัดแปร จะช่วยพัฒนาคุณลักษณะทางกายภาพในด้านอัตราการพองตัวที่สูงขึ้น ความแข็งแรงลดลง และความกรอบที่มากขึ้น อีกทั้งเมื่อศึกษาผลของการตีฟนในผู้ทดสอบชิม พบว่าการเติมแป้งข้าวโพดดัดแปรในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวด้วย โดยระดับที่เหมาะสมได้แก่การใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรที่มีความชื้นเริ่มต้น 18% ความเร็วรอบของสกรูที่ 400 รอบต่อนาที และปริมาณการใช้ที่ 50%

คณะผู้วิจัย เห็นว่าการดัดแปรแป้งข้าวโพดบดหยาบเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อัดพองให้ผลที่ดี และคาดว่าจะใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อัดพองประเภทอื่นๆ เช่น เครื่องดื่มธัญชาติสำเร็จรูป และอาหารเข้า ธัญชาติ เพื่อทดสอบสมบัติของแป้ง และขยายการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่อนุเคราะห์สถานที่ในการปฏิบัติงานพร้อมเครื่องจักรและอุปกรณ์ทั้งหมดในการทดลอง

#### 6. บรรณานุกรม

- [1] Mintel. 2004. **Snacking and drinking on the go-UK**. April. London: Mintel International Group Ltd.
- [2] Datamonitor. 2004. **Savoury snacks in the United Kingdom: Industry profile** (Reference code 0183-0199). February, Datamonitor Europe: London.
- [3] Light, J.M. 1990. “Modified food starches:why, what, where and how”. **Cereal Foods World**. 35(1): 1081-1092.
- [4] BeMiller, J.N. 1997. “Starch modification : challenges and prospects”. **Starch/Staerke**. 49(4): 127-131.
- [5] Powell, E.L. 1967. Production and use of pregelatinized starch. In R.L. Whistler, and E.F.Paschall (Eds.). **Starch: Chemistry and Technology Vol. II** (pp. 523-536). Academic Press Inc. New York.
- [6] Boettger, M. 1963. “Recent study show the effect of pregelatinized starches on cake quality”. **Cereal Science Today**. 8: 106-108.
- [7] Gardiner, D.S. 1975. “Dessert Composition”. British-Patent. 1 419 996.
- [8] Ronai, K.S. and Spanier, H.C. 1972. “Instant Oat Cereal”. United-State-Patent. 3 704 134.
- [9] Beltran, E.G. and Singer, N.S. 1970. “Snack Food”. Canadian-Patent 847 281 (847281).
- [10] Anton, A. A., Fulcher, R. G. and Arntfield, S. D. 2009. “Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking”. **Food Chemistry**. 113(4): 989-996.
- [11] Rahman, M.S. 1995. In: (1st edn. ed.), **Food Properties Handbook**, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

- [12] Nath, A. and Chattopadhyay, P.K. 2007. "Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology". **Journal of Food Engineering**. 80(4): 1282-1292.
- [13] Charunuch, C. and et al. 2011. **The effects of extrusion conditions on the resistant starch and product characteristics of the yellow pea grits and broken rice-based expanded snack**. Research report. Kasetsart University.
- [14] Thongtha, S. and et al. 2007. **Rice bran addition in expanded rice products using extrusion**. Research report. Suranaree University of Technology. (*in Thai*)
- [15] Chinnaswamy, R. and Hanna, M.A. 1990. "Relationship between viscosity and expansion properties of various extrusion-cooked grain components". **Food Hydrocolloids**. 3(6): 423-434.
- [16] Limsangouan, N. and et al. 2009. **Study of physical and chemical properties of modified corn grit flour by extrusion process**. Research report. Kasetsart University. (*in Thai*)
- [17] Ryu, G.H. 2004. Application of extrusion technology on food process. In seminar paper: **Innovation of rice puffing**, 8-9 September 2004. Bangkok, Thailand
- [18] Jones, D. and et al. 2000. "Physico-chemical properties of ready-to-eat breakfast cereals". **Cereal Food World**. 45: 164-168.
- [19] Singh, B., Sekhon, K.S. and Singh, N. 2007. "Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice". **Food Chemistry**. 100(1): 198-202.
- [20] Singh, N. and et al. 1996. "Extrusion behavior of wheat, rice and potato blends". **Journal of Food Science and Technology**. 30(4): 291-294.
- [21] Ofoli, R.Y., Morgan, R.G. and Steffe, J.F. 1993. "Characterization of the swelling of starch doughs during extrusion". **Journal of Food Engineering**. 18(3): 297-312.
- [22] Ainsworth, P. and et al. 2007. "Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack". **Journal of Food Engineering**. 81(4): 702-709.