ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร — **สาขา**

พัฒนาผลิตภัณฑ์ — **ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Product Development of Vacuum Fried Jackfruit Seeds

นามผู้วิจัย นายปรย เสาวลักษณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ธงชัย สุวรรณสิชณน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ้งชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Product Development of Vacuum Fried Jackfruit Seeds

โดย

นายปรย เสาวลักษณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
พ.ศ. 2552

ปรย เสาวลักษณ์ 2552: การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธงชัย สุวรรณสิชณน์, Ph.D. 233 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุน จากการสำรวจพฤติกรรม ทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภคจำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 92 เห็นด้วยกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ และจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภค พบว่า มี 5 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด 2) ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ 3) ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 4) ปัจจัยด้านราคา และ 5) ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษากระบวนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่เหมาะสม โดยการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศได้แก่ ความหนาของตัวอย่าง ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ความดันสุญญากาศ เวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมันและความดันในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน พบว่า ความหนาของตัวอย่าง อุณหภูมิในการทอด ความดันสุญญากาศและเวลาในการทอดมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศได้แก่ อุณหภูมิในการทอด 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 600, 650 และ 700 มิลลิเมตรปรอท และเวลาในการทอด 9, 12 และ 15 นาที โดยการวางแผนการออกแบบส่วนประสมกลางและการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง พบว่า การซ้อนทับของกราฟคอนทัวร์คุณภาพทางประสาทสัมผัสได้สภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 650 มิลลิเมตรปรอท ทอดเป็นเวลา 9 นาที เมื่อนำผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ได้ไปปรุงแต่งกลิ่นรสสาหร่ายปริมาณร้อยละ 2.0 และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ 100 กรัม ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใยหยาบและปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 4.42, 6.20, 25.38, 1.31, 2.34 และ 60.35 ตามลำดับ ค่าสีในระบบ CIELAB ได้แก่ L* a* และ b* เท่ากับ 78.90, 7.09 และ 26.80 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.23 และค่าความแข็งเท่ากับ 5.85 นิวตัน เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ไปทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.56) ร้อยละ 89.0 ของผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์นี้และร้อยละ 63.5 ตัดสินใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีวางจำหน่าย

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Poraya Saowalak 2009: Product Development of Vacuum Fried Jackfruit Seeds. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Suwonsichon, Ph.D. 233 pages.

The purpose of this research was to develop value added product from jackfruit seed. Consumer survey of 200 respondents in Bangkok was done and its result indicated that 92% of consumers agreed with the idea of developing the vacuum fried jackfruit seed chips. There were five factors affecting consumer buying decision which were 1) flavor and cleanness 2) nutrition and package 3) overall quality 4) price and 5) appearance. The process development and its optimization were also studied. The Plackett and Burman design experiment was applied to screen significant process variables of vacuum fried jackfruit seed chips. These variables were thickness of sample, drying time, frying temperature, frying time, vacuum pressure, centrifuged time and centrifuged pressure. Statistical analysis results showed that thickness of sample, frying temperature, vacuum pressure and frying time were significant variables ($p \leq 0.05$) affecting the quality of jackfruit seed chips. To optimize these three process conditions which were frying temperatures (100, 120 and 140 ^{o}C), vacuum pressures (600, 650 and 700 mm.Hg) and frying times (9, 12 and 15 min.) for vacuum fried jackfruit seed chips, the central composite design, a response surface methodology was employed. Based on the superimposed contour plots of sensory attributes, the optimum process conditions were frying temperature of 120 ^{o}C, a vacuum pressure of 650 mm.Hg and a frying time of 9 min. The proximate analysis of this developed vacuum fried jackfruit seed chips seasoned with 2.0% seaweed flavor were 4.42% moisture, 6.27% protein, 25.38% fat, 1.31% ash, 2.34% crude fiber and 60.35% carbohydrate in dry basis. The CIELAB color system values of this product were L*, a* and b* equaled to 78.90, 7.09 and 26.80, respectively. The a_w and hardness were 0.23 and 5.85 N, respectively. Consumer acceptance test, 9-point hedonic scale, of this product with 200 respondents was conducted. Results showed that they liked this developed product moderately (6.56). The 89.0% of consumers accepted this product and 63.5% of them decided to buy this product when it is sold in the market.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ธงชัย สุวรรณสิชฌน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดการดำเนินการวิจัยรวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานเพื่อให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ จนงานสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติสนิทมิตรสหาย รวมทั้งผู้มีพระคุณที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน สำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจและกำลังใจที่มีให้มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอมอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์ให้แก่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีความผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

ปรย เสาวลักษณ์

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)
สารบัญตาราง (2)
สารบัญภาพ (7)
คำนำ 1
วัตถุประสงค์ 3
การตรวจเอกสาร 4
อุปกรณ์และวิธีการ 43
อุปกรณ์ 43
วิธีการ 45
ผลและวิจารณ์ 66
สรุปและข้อเสนอแนะ 182
สรุป 182
ข้อเสนอแนะ 184
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 185
ภาคผนวก 196
ภาคผนวก ก ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในกรุงเทพมหานครในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551 197
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าทางสถิติ 203
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนและเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 208
ภาคผนวก ง การอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค 214
ภาคผนวก จ แบบสอบถามและแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 217
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 233

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	น้ำหนักส่วนประกอบของขนุน	5
2	คุณค่าทางอาหารของขนุนในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม	6
3	สถิติการเพาะปลูกขนุนรวมทั้งประเทศในปี 2548-2550	8
4	การใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนในงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์	9
5	การประมาณการยอดขายของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ	11
6	งานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	15
7	การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของมันฝรั่งระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ	21
8	หน่วยการทดลองการออกแบบส่วนประกอบกลางทั้ง 15 จุด	36
9	กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคที่รับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ	47
10	การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	56
11	แผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมนกำหนดให้จำนวนสิ่งทดลองเท่ากับ 12	56
12	ตัวแปรเข้ารหัสของปัจจัยในแผนการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง	59
13	แผนผังการออกแบบส่วนประสมกลาง	59
14	พฤติกรรม ทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภค 3 ช่วงกลุ่มอายุ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจากการอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค	73
15	ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย	78
16	ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย	80
17	ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย	85
18	คะแนนความสำคัญเฉลี่ยของคุณลักษณะต่างๆ ของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	น้ำหนักของแต่ละตัวแปรโดยการหมุนแกนปัจจัย (factor loading of rotated component matrix)	91
20	ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามเพศ	95
21	ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามอายุ	96
22	ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามระดับการศึกษา	97
23	ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามระดับรายได้	98
24	ค่าคุณภาพของเมล็ดขนุน	102
25	ค่าคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	104
26	คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดขนุนจากกการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	107
27	ลักษณะปรากฏของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	111
28	ค่าคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	113
29	ค่าสีในระบบ CIELABของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	114
30	ค่าคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
31	คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน	118
32	ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจากการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน	121
33	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	123
34	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพด้านค่าสีในระบบ CIELAB ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	124
35	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	125
36	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	127
37	ตัวแปรเข้ารหัสของปัจจัยในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	131
38	แผนผังการออกแบบส่วนประสมกลางในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	132
39	ค่าคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน	136
40	สมการถดถอยและสัดส่วนความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	137
41	ค่าสีในระบบ CIELAB ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน	139
42	ค่าคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน	142
43	สมการถดถอยและสัดส่วนความแปรปรวนของคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
44	น้ำหนักของปัจจัยทางด้านคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	146
45	คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอดเวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน	153
46	สมการถดถอยและสัดส่วนความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	154
47	อุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดของ 5 สิ่งทดลองที่ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ	162
48	คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	163
49	ผลคะแนนการทดสอบความพอดีต่อคุณลักษณะความแข็งของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	164
50	ผลคะแนนการทดสอบความพอดีต่อคุณลักษณะความกรอบของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	164
51	ส่วนผสมกลิ่นรสเนยในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	166
52	ส่วนผสมกลิ่นรสครองแครงในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	166
53	ผลรวมคะแนนลำดับความชอบและค่าเฉลี่ยคะแนนลำดับความชอบความชอบกลิ่นรส 5 กลิ่นรสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	168
54	คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ปริมาณสาหร่ายต่างกัน	169
55	ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	171
56	ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 1 ถุง (50 กรัม)	173

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
57	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค	174
58	คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	175
59	คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แยกตามเพศ	176
60	คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แยกตามอายุ	177
61	คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แยกตามระดับรายได้	178
62	การยอมรับและตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	180
63	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	181

ตารางผนวกที่

ก1	ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในกรุงเทพมหานครในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551	198
ข2	แผนการจัดหน่วยการทดลองแบบสุ่มในบลอคไม่สมบูรณ์สมดุลย์	206
ข3	ผลรวมการให้อันดับคะแนนความชอบกลิ่นรส 5 กลิ่นรสของผู้บริโภค	207

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ชนิดเครื่องทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ก) continuos vacuum fryer[1] (ข) semi-continuos vacuum fryer[2] (ค) batch-type vacuum fryer[3]	13
2	ส่วนประกอบเครื่องทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	13
3	กรรมวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	14
4	โครงสร้างโมเลกลุของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งประกอบด้วย 1 โมเลกุลกลีเซอรีนและ 3 โมเลกุลกรดไขมัน	23
5	ภาพ 3 มิติแสดงค่าสีในระบบ CIELAB	26
6	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างการทอด	32
7	ภาพคอนทรัวร์ของปริมาณความชื้น (Y_1) ปริมาณไขมัน (Y_2) และแรงแตกหัก (Y_3) ของแครอททอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิในการทอด (X_1) ความดันดันสุญญากาศ (X_2) เวลาในการทอด (X_3)	39
8	การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	51
9	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามชนิดของผักจำนวน 54 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551	67
10	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามชนิดของผลไม้จำนวน 16 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551	68
11	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามกรรมวิธีการผลิตจำนวน 70 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551	69
12	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามชนิดของบรรจุภัณฑ์ จำนวน 70 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	การจัดกลุ่มตัวแปรที่ผู้บริโภคใช้พิจารณาในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ	93
14	แนวความคิดผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	100
15	ลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 12 สิ่งทดลอง จากการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน	120
16	ลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 15 สิ่งทดลองที่มีสภาวะในการทอดคือ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศแตกต่างกัน	133
17	Principal Component Analysis ของค่าคุณภาพเคมีและทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศของแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ 2 (PC2)	147
18	แผนภาพเดนโดแกรมการจำแนกกลุ่มสิ่งทดลองของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสภาวะในการทดลองแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง ตามค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพด้วยวิธีการจำแนกกลุ่มแบบ Hierarchical เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล	148
19	กราฟ bi-plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสภาวะในการทดลองแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง	149
20	การจัดแบ่งกลุ่มเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 15 สิ่งทดลองด้วยค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบขององค์ประกอบที่ 1 และ 2 ร่วมกับการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล	150
21	แผนผังความชอบของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (X) เพื่ออธิบายความชอบรวม (preference) (Y) ของผู้บริโภคโดยการวิเคราะห์ด้วย PLS1	155

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะในการทอดแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง (1-15) กับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (X) เพื่ออธิบายความชอบรวม (preference) (Y) ของผู้บริโภคโดยการวิเคราะห์ด้วย PLS1	156
23	กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะในการทอดแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง (1-15) กับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (X) เพื่ออธิบายความชอบรวม (preference) (Y) ของผู้บริโภคโดยการวิเคราะห์ด้วย PLS1 ร่วมกับจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล	158
24	กราฟคอนทัวร์ที่แรเงาพื้นที่ที่มีคะแนนความชอบมากกว่า 6 ของคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ (ก), กลิ่นโดยรวม (ข), รสชาติ (ค), ความกรอบ (ง), ความแข็ง (จ.) และความชอบรวม (ฉ)	160
25	พื้นที่ที่เกิดจากการซ้อนทับกราฟคอนทัวร์ของค่าคะแนนความชอบทางประสาทด้านด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่นโดยรวม, รสชาติ, ความกรอบ, ความแข็ง และความชอบรวม ที่มีคะแนนความชอบตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไป	161
26	ตำแหน่งสิ่งทดลองที่ทำการศึกษาอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	162
27	กรรมวิธีการปรุงแต่งกลิ่นรสเกลือ กลิ่นรสบาร์บิคิวและกลิ่นรสสาหร่าย	165
28	กรรมวิธีการปรุงแต่งกลิ่นรสเนยและกลิ่นรสครองแครง	166
29	กรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	170
30	ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	170

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Product Development of Vacuum Fried Jackfruit Seeds

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ผลิตผลเหล่านี้บางชนิดได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง แต่บางชนิดนำมาใช้ประโยชน์น้อยมาก ขนุนเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ เนื่องด้วยเป็นไม้ผลขนาดใหญ่ มีกลิ่นหอม รสหวานชวนรับประทาน จึงเป็นที่นิยมปลูกกันมาก ทำให้มีผลผลิตมีปริมาณมาก ขนุนสามารถรับประทานได้ทั้งในลักษณะเป็นผลไม้สดหรือผลไม้แปรรูป ได้แก่ ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ขนุนกรอบ ขนุนแห้ง หรือขนุนแช่แข็ง ปริมาณผลผลิตขนุนของประเทศไทยในปี 2548, 2549 และ 2550 มีผลผลิตรวมทั้งประเทศจำนวน 10,979, 31,396 และ 25,707 ตัน ตามลำดับ ในขนุนหนึ่งผลมีน้ำหนักเนื้อและเมล็ดร้อยละ 35.41 และ 12.91 ของน้ำหนัก ทำให้มีเมล็ดขนุนเหลือทิ้งสูงถึง 1,417-4,053 ตันต่อปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) ซึ่งไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ จากการศึกษาของ เจน และคณะ (2544) พบว่า เมล็ดขนุนมีคุณค่าทางอาหาร โดยมีปริมาณโปรตีน ฟอสฟอรัส และวิตามินบี1 ค่อนข้างสูง โดยมีการนำมาบริโภคในรูปของเมล็ดขนุนต้ม เมล็ดขนุนในน้ำเชื่อมหรือแป้งจากเมล็ดขนุน อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนยังมีไม่มากนัก และขาดการพัฒนาทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เนื่องจากมีอายุการเก็บที่สั้นเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปทำให้เน่าเสียเร็วกว่าปกติเพราะอุณหภูมิในเนื้อเยื่อมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี (พรดารา, 2544) ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะนำเมล็ดขนุนไปพัฒนาให้เกิดมูลค่าเพิ่มขึ้นหรือใช้ผลพลอยได้นี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบเป็นการแปรรูปผักหรือผลไม้อีกวิธีการหนึ่งในฤดูที่มีผลผลิตทางการเกษตรออกมาสู่ตลาดค่อนข้างมาก ประกอบกับผู้ประกอบการต้องการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตเหล่านั้น โดยผักหรือผลไม้ทอดกรอบสามารถใช้เป็นของรับประทานเล่นแบบไทยๆ นอกเหนือจากของทานเล่นชนิดอื่นๆ ที่มีในท้องตลาด เช่น ขนมขบเคี้ยว (snack) ชนิดต่างๆ ผักหรือผลไม้ที่นิยมนำมาผลิตเป็นแผ่นทอดกรอบเช่น กล้วย มันฝรั่ง ขนุน แครอท ฟักทอง

และทุเรียน ฯลฯ สำหรับผักหรือผลไม้ทอดกรอบจะทำให้ภาพลักษณ์ของการเป็นของรับประทานเล่นที่มีประโยชน์มากกว่า เนื่องจากผลิตจากผักหรือผลไม้ที่ไม่ผ่านการผสมสารอื่นๆ ลงไป ทำให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพให้ความสำคัญกับการเลือกซื้อมากขึ้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2545) แต่การแปรรูปผักหรือผลไม้ทอดกรอบนี้มักประสบปัญหาเรื่องการเกิดสีน้ำตาลและกลิ่นผิดปกติ เนื่องจากการทอดอาหารที่ความดันบรรยากาศต้องใช้อุณหภูมิสูงและทอดเป็นเวลานานจนเกิดสีน้ำตาลในอาหาร รวมทั้งสารอาหารและวิตามินบางชนิดเกิดการสลายตัว นอกจากนี้ยังมีการดูดซึมน้ำมันในปริมาณสูงอีกด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งช่วยให้อาหารมีสีสัน รสชาติ เนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภครวมทั้งรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นกรรมวิธีหนึ่งที่เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำออกจากอาหาร เนื่องจากจุดเดือดของน้ำและน้ำมันต่ำลงทำให้ใช้เวลาในการทอดสั้นลงจึงเป็นการลดปริมาณไขมันในอาหาร (Fan *et al*., 2005a) ส่งผลให้สามารถรักษาคุณภาพด้านสี กลิ่นและรสชาติ ของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ธรรมชาติได้ นอกจากนี้การทอดที่อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศจะช่วยลดการเสื่อมเสียและการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน (Shyu and Hwang, 2000) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดมีคุณภาพที่ดีขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยเป็นการศึกษากรรมวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและการปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนากระบวนการทอดอาหารให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้นทั้งด้านการลดปริมาณการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ช่วยรักษาสีและกลิ่นรสตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงน่าจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดขนุน และเป็นการใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจให้แก่ผู้บริโภคได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจและรวบรวมข้อมูลทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร

2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3. เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

4. เพื่อศึกษาชนิดของสารปรุงแต่งกลิ่นรสและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

5. เพื่อประเมินคุณภาพและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การตรวจเอกสาร

1. ขนุน

1.1 ลักษณะทั่วไปของขนุน

ขนุนจัดอยู่ในตระกูลโมราซีอี้ (moraceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า อาร์โทคาร์ปัส เฮทเทอโรฟิลลัส (artocarpus heterophyllus) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอินเดียตอนใต้ ปลูกกันมากในอินโดนีเซีย ศรีลังกา พม่า และไทย พืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับขนุนที่รู้จักกันดีได้แก่ จำปาดะ สาเก หม่อนและปอกระสา (พรดารา, 2544) ขนุนเป็นต้นไม้ขนาดกลางจนถึงใหญ่ อายุยืน มีน้ำยางสีขาว ทรงพุ่มทึบ ออกดอกและผลตามส่วนของลำต้นและกิ่งก้าน ภายนอกเป็นหนามถี่ ภายในมียวงสีเหลืองหรือสีจำปา น้ำหนักของผลเฉลี่ยประมาณ 18 กิโลกรัม และอาจจะหนักถึง 50 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นรวดเร็ว การตกผลจะใช้เวลาประมาณ 3-5 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของขนุนเป็นพันธุ์หนักหรือพันธุ์เบา และการปลูกใช้ส่วนของเมล็ด กิ่งทาบหรือติดตา ถ้าใช้เมล็ดก็จะตกผลช้ากว่าการปลูกด้วยกิ่งทาบหรือติดตา ลักษณะของขนุนจัดเป็นผลรวม (multiple) (เปรมปรี, 2543) คือ มีหลายดอกในช่อดอกเดียวกัน ส่วนที่เป็นเนื้อขนุนรอบๆ แต่ละเมล็ด เกิดมาจากกลีบดอกชั้นนอกของดอกดอกเดียว ปลายสุดของทุกๆ กลีบชั้นนอกจะรวมติดอยู่ด้วยกัน ผลของขนุนโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่ถึงใหญ่มาก รูปร่างลักษณะของผลก็แตกต่างกันออกไป บางครั้งอาจจะเป็นรูปไข่จนถึงยาวรีหรือผลกลม ที่ผิวเปลือกภายนอกของผลจะเต็มไปด้วยหนามสั้นๆ เมื่อผลยังไม่แก่ผิวเปลือกหนามจะมีสีเขียวอ่อนๆ แล้วค่อยๆ เป็นสีเหลืองและในที่สุดเกือบเป็นสีน้ำตาลเมื่อผลแก่เต็มที่

ขนุนหนึ่งผลจะมีเมล็ดมากบางครั้งมีถึง 100 กว่าเมล็ด เมล็ดมีขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ขึ้นกับพันธุ์ เมล็ดขนุนจัดเป็นเมล็ดที่สูญเสียความงอกไว (recalcitrant seeds) ซึ่งสูญเสียความงอกได้เร็ว เมล็ดมีเปลือกหุ้มบางๆ ใสแต่เหนียว มีรูเปิดด้านข้างของเมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วยเอ็นโดสเปอร์ม 2 ส่วน ส่วนหนึ่งมีขนาดใหญ่และอีกส่วนหนึ่งมีขนาดเล็ก ซึ่งทั้ง 2 ส่วนจะต่อเชื่อมติดกันทางด้านป้านของเมล็ด ซึ่งมีต้นอ่อน (embryo) เชื่อมทั้ง 2 ส่วนนี้ เมล็ดมีรูปร่างทรงกลมคล้ายรูปไข่ ด้านป้านของเมล็ดอยู่ทางเปลือก ส่วนด้านแหลมอยู่ทางแกนกลางของผลทางด้านป้านของเมล็ดเป็นตำแหน่งที่รากและยอดงอกออกมา

จากกการศึกษาของ สุภิญยาฐ์ (2535) พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของส่วนประกอบต่างๆ ในขนุน ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ เนื้อ เปลือก เมล็ด แกนและเยื่อเมล็ด ในปริมาณที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักส่วนประกอบของขนุน

ส่วนประกอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักผลรวม (ร้อยละ)
น้ำหนักเนื้อ	1,754.70 ± 794.29	35.41
น้ำหนักเปลือก	867.03 ± 716.00	17.50
น้ำหนักเมล็ด	639.67 ± 279.01	12.91
น้ำหนักแกน	330.03 ± 125.15	6.66
น้ำหนักเยื่อเมล็ด	186.80 ± 91.57	3.77

ที่มา: สุภิญยาฐ์ (2535)

1.2 คุณค่าทางอาหารของขนุน ซังขนุนและเมล็ดขนุน

ขนุนจัดเป็นผลไม้ที่รับประทานได้ทั้งเมล็ดและซังนอกเหนือจากเนื้อ สารอาหารส่วนใหญ่ในขนุนได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ในเนื้อขนุนมีปริมาณร้อยละ 23.7 ซังขนุนมีปริมาณร้อยละ 29.2 และในเมล็ดขนุนมีปริมาณร้อยละ 30.6 (นฤมล, 2548) ปริมาณสารอาหารต่างๆ ของขนุนแสดงไว้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของขนุนในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ขนุนแก่	ซังขนุน	เมล็ดขนุน
ความชื้น (กรัม)	72.90	66.00	60.70
ไขมัน (กรัม)	0.30	0.00	0.20
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	23.70	29.20	30.60
เส้นใย (กรัม)	0.90	1.80	1.60
โปรตีน (กรัม)	1.70	1.40	5.50
ค่าพลังงานความร้อน (แคลอรี่)	94.00	122.00	146.00
แคลเซียม (มก.)	27.00	21.00	0.00
ฟอสฟอรัส (มก.)	38.00	13.00	105.00
เหล็ก (มก.)	0.06	0.20	2.90
วิตามินบี 1 (มก.)	0.09	0.08	1.74
วิตามินบี 2 (มก.)	0.10	0.15	0.02
วิตามินเอ (มก.)	9.00	13.00	3.25
วิตามินซี (มก.)	0.70	0.00	24.00
ไนอาซีน (IU)	329.00	0.00	22.00

ที่มา: นฤมล (2548)

1.3 พันธุ์ขนุน

การจัดแบ่งชนิดขนุนที่มีปลูกในเทศไทย ยังไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน เนื่องจากในอดีตที่ผ่านมา ผู้คนไม่ค่อยให้ความสนใจที่จะคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์ขนุนให้มีลักษณะที่ดี ประกอบกับวิธีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่ได้ผลดี ยังไม่เป็นที่นิยมและรู้จักกันในหมู่ชาวสวน ซึ่งการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดทำให้ขนุนเกิดการแปรปรวนทางพันธุกรรมมาก มีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีการแบ่งขนุนโดยยึดหลักตามลักษณะคุณภาพและขนาดของผลออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ (ศักดิ์สิทธิ์, 2545) ดังนี้

1.3.1 ขนุนละมุด เป็นขนุนที่มีลักษณะผลขนาดเล็ก รูปทรงผลค่อนข้างกลม หนามถี่และแหลม เปลือกบาง เมื่อผลสุกเปลือกจะนิ่ม ถ้าลองกดหรือบีบที่ผิวจะมีรอยยุบจมตามรอยกด นอกจากนั้นยังสามารถที่จะใช้มือฉีกและดึงเอาไส้กลางผลออกมาได้สะดวก โดยทั่วไปขนุนชนิดนี้จะมีผิวเปลือกสีเขียวอมเหลือง หนามไม่มีรอยรอบสีน้ำตาล ยวงและซังอ่อนนุ่ม รสชาติหวานจัดกลิ่นหอมฉุน และเนื่องจากเป็นขนุนที่มีเนื้อค่อนข้างเละจึงไม่เหมาะที่จะนำไปเป็นขนุนสำหรับแกะยวงขายเพราะไม่ได้ราคาแต่เหมาะสมสำหรับใช้ทำเป็นขนุนกวนหรือขายเป็นขนุนอ่อนและนำเมล็ดมาเพาะทำเป็นต้นตอสำหรับการติดตา ทาบกิ่งและเปลี่ยนยอดขนุนพันธุ์ดีเนื่องจากขนุนละมุดมีความทนทานและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี

1.3.2 ขนุนหนัง เป็นขนุนที่ปลูกกันมากที่สุด ผลมีลักษณะกลมยาว ยวงโต ไส้เล็ก เนื้อแน่นและหนา เมื่อผลสุกเปลือกจะเหนียวและมียางมาก ฐานยวงติดกับแกนกลางหรือไส้ของผล ปลายยวงติดกับเปลือกผล ระหว่างยวงมีซังอัดแน่นสลับกันไปทั้งผล เนื้อยวงแห้งแข็งกรอบ รสหวาน สีของเนื้อมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อน เหลือง จนถึงสีดอกจำปาหรือสีชมพูเป็นขนุนที่เหมาะสำหรับที่จะนำมาแกะยวงขาย ขนุนหนังดังกล่าวอาจมีการเรียกชื่อตามสีของเนื้อ เช่น ขนุนที่มีเนื้อสีจำปาก็เรียกว่าขนุนพันธุ์จำปาหรือจำปากรอบ เป็นต้น

1.3.3 ขนุนจำปาดะ เป็นขนุนชนิดหนึ่งที่พบมากทางภาคใต้ มีลักษณะลำต้น ใบ และรูปทรงคล้ายกับขนุนหนังมากแต่ผลมีขนาดเล็กมากกว่า ใบมีขนสีน้ำตาลค่อนข้างสากมือ ผลกลมยาว หนามเล็ก เปลือกผลบาง เมื่อสุกจะมียางน้อย ปลายยวงไม่ติดกับเปลือกผล ฐานยวงติดกับแกนกลางหรือไส้ของผล เมื่อผ่าแบะผลออกแล้วดึงขั้วของแกนกลางผล ยวงจะติดออกมากับแกนกลางผลทั้งหมด เนื้อยวงค่อนข้างเละรสชาติหอมหวาน กลิ่นฉุนมาก

1.4 ผลผลิตขนุนในประเทศไทย

แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญคือ ในเขตภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคตะวันตก เช่น จังหวัดนครราชสีมา จันทบุรี เพชรบุรี กาญจนบุรี นอกจากนั้นยังแพร่กระจายพื้นที่ปลูกมากในเขตจังหวัดภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ร้อยเอ็ด เลย และในปัจจุบันได้เพิ่มพื้นที่ปลูกไปตามภาคต่างๆ มากขึ้นเรื่อยๆ จังหวัดที่ให้ผลผลิตสูงสุด 3 จังหวัดแรก คือ จังหวัดจันทบุรี กาญจนบุรีและเพชรบุรี ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) สำหรับปริมาณผลผลิตขนุนของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สถิติการเพาะปลูกขนุนรวมทั้งประเทศในปี 2548-2550

ปี	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
2548	11,461	10,979
2549	19,017	31,396
2550	21,210	25,707

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2552)

ปริมาณผลผลิตขนุนของประเทศไทยในปี 2548, 2549 และ 2550 มีผลผลิตรวมทั้งประเทศจำนวน 10,979, 31,396 และ 25,707 ตัน ตามลำดับ ในขนุนผลหนึ่งมีน้ำหนักเนื้อและเมล็ดเท่ากับร้อยละ 35.41 และ 12.91 ของน้ำหนัก ทำให้มีเมล็ดขนุนเหลือทิ้งสูงถึง 1,417-4,053 ตันต่อปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) ดังนั้นจึงได้มีการนำเมล็ดขนุนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากขึ้น เพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นการเป็นการใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.5 การใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุน

เมล็ดขนุนมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญเช่น ปริมาณโปรตีน ฟอสฟอรัส และวิตามินบี1 ค่อนข้างสูง พบว่า มีการนำเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์ในรูปของเมล็ดขนุนต้ม เมล็ดขนุนในน้ำเชื่อม หรือแป้งจากเมล็ดขนุน อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนยังไม่มากนัก และขาดการพัฒนาทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เนื่องจากมีอายุการเก็บที่สั้นเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปทำให้เน่าเสียเร็วกว่าปกติเพราะอุณหภูมิในเนื้อเยื่อมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี (พรดารา, 2544) ดังนั้นจึงได้มีผู้วิจัยนำเมล็ดขนุนไปพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าหรือใช้ผลพลอยได้นี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการศึกษาคุณสมบัติของเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุน รวมทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนในงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ผลที่ได้	ผู้วิจัย
1. ขนมขบเคี้ยวจากเมล็ดขนุน	- ขนมขบเคี้ยวจากเมล็ดขนุน โดยการนำเมล็ดขนุนไปหั่นขนาด 1-2 มิลลิเมตร นำไปต้มในน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 5 นาที ที่อัตราส่วน 1:10 จากนั้นนำไปวางผึ่งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ก่อนที่จะนำเข้าอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปทอดแบบจุ่มที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 นาที	เจน และคณะ (2544)
2. ขนมเบื้องไทยจากแป้งเมล็ดขนุน	- อัตราส่วนของแป้งเมล็ดขนุนแทนที่ถั่วเขียว : ปริมาณน้ำปูนใสที่ใช้ในการทำขนมเบื้องไทยที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 30 : 0 : 135	พรดารา (2544)
3. การใช้แป้งพรีเจลเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในเค้กม้วน	- สามารถทดแทนแป้งสาลีในผลิตเค้กได้ มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าร้อยละ 1.2 อัตราส่วนแป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุน : แป้งสาลี 30 : 70 เป็นสูตรที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด	สุนิสา (2547)
4. การศึกษาแป้งเมล็ดขนุนและการประยุกต์ใช้ในทางเภสัชกร	- สกัดแป้งเมล็ดขนุนและทำให้บริสุทธิ์โดยการบดล้างจากเมล็ดขนุนที่เหลือทิ้ง และการแปรสภาพแป้งที่ได้ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) และการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ด้วยกรดเกลือเจือจาง และพบว่าโลชันกันแดดที่มีแป้งเมล็ดขนุนผสมกับคาร์โบพอร์ 904 (Carbopol 940) เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีความคงตัวและความหนืดพอเหมาะ	ฉันทนา และคณะ (2547)

2. ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบเป็นการแปรรูปผักหรือผลไม้อีกวิธีการหนึ่งในฤดูที่มีผลผลิตทางการเกษตรออกมาสู่ตลาดค่อนข้างมาก ประกอบกับผู้ประกอบการต้องการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตเหล่านั้น โดยผักหรือผลไม้ทอดกรอบสามารถใช้เป็นของทานเล่นแบบไทยๆ นอกเหนือจากของทานเล่นชนิดอื่นๆ ที่มีในท้องตลาด เช่น ขนมขบเคี้ยวชนิดต่างๆ ผักหรือผลไม้ที่นิยมนำมาผลิตเป็นแผ่นทอดกรอบเช่น กล้วย มันเทศ มันฝรั่ง แตงกวา แครอท ฟักทองและทุเรียน ฯลฯ สำหรับผักหรือผลไม้ทอดกรอบจะทำให้ภาพลักษณ์ของการเป็นของทานเล่นที่มีประโยชน์มากกว่าเนื่องจากผลิตจากผักหรือผลไม้ที่ไม่ผ่านการผสมสารอื่นๆลงไป ทำให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพให้ความสำคัญกับการเลือกซื้อมากขึ้น โดยสามารถวางจำหน่ายได้ทั้งในซูเปอร์มาร์เก็ต ร้านสะดวกซื้อและร้านขายของฝากทั่วไป

ทั้งนี้ผักหรือผลไม้ที่นิยมนำมาทำแผ่นกรอบนั้นมีหลากหลายประเภท เช่น ทุเรียน กล้วย ขนุน มะละกอ มันเทศ เผือก มันฝรั่ง ฟักทอง แครอทและแตงกวา เป็นต้น แต่ที่นิยมและมีการวางจำหน่ายโดยทั่วไปตามท้องตลาด ได้แก่ ทุเรียน กล้วย เผือก มันและมันฝรั่ง โดยการแปรรูปเป็นแผ่นกรอบของผักหรือผลไม้เหล่านี้จะเป็นการแปรรูปด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนนัก เช่น การทอด การฉาบ และการอบ เป็นต้น

สำหรับการถนอมอาหารด้วยหลากหลายวิธีในปัจจุบันยังมีข้อเสียอยู่มากมาย เช่น ในเรื่องของสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการและอายุการเก็บรักษา ดังนั้นการแปรรูปอาหารโดยการทอดจึงเหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรมมากกว่า โดยมีการแปรรูปอย่างรวดเร็วด้วยความร้อน สามารถผลิตได้ครั้งละจำนวนมากทำให้อาหารที่ได้มีความชื้นต่ำ ช่วยรักษาคุณภาพในด้านต่างๆ ของอาหารและเนื่องจากใช้เวลาทอดสั้นมากเป็นผลให้วิตามินบางชนิดและสารอาหารยังคงสภาพอยู่ในอาหารมากกว่าวิธีการแปรรูปด้วยความร้อนแบบอื่นๆ แต่การผลิตผักหรือผลไม้ทอดกรอบนี้มักประสบปัญหาเรื่องการเกิดสีน้ำตาลและกลิ่นผิดปกติ เนื่องจากการทอดอาหารที่ความดันบรรยากาศต้องใช้อุณหภูมิสูงและทอดเป็นเวลานานจนเกิดสีน้ำตาลในอาหาร รวมทั้งสารอาหารและวิตามินบางชนิดเกิดการสลายตัว นอกจากนี้ยังมีการดูดซึมน้ำมันในปริมาณสูงอีกด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นกรรมวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งเป็นการทอดภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศซึ่งเป็นการช่วยลดจุดเดือดของของเหลวที่อยู่ในอาหาร ทำให้น้ำระเหยออกได้ที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยให้อาหารมีสี รสชาติและ

เนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค รวมทั้งรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารอีกด้วย จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

สำหรับผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบนั้นผู้บริโภครับรู้และเข้าใจว่าเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ดังนั้นการประมาณยอดขายจึงควรพิจารณาจากตลาดขนมขบเคี้ยวโดยรวมภายในประเทศ ซึ่งจากการศึกษาของ ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2551) พบว่า ตลาดผักหรือผลไม้ทอดกรอบคิดเป็นร้อยละ 1.5 โดยประมาณของตลาดขนมขบเคี้ยวโดยรวม ดังนั้นการประมาณการยอดขายของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจึงสามารถที่จะใช้การพยากรณ์จากยอดขายดังกล่าว เมื่อพิจารณาพบว่า ยอดขายผลิตภัณฑ์ในปี 2551 มีมูลค่าโดยรวมประมาณ 318 ล้านบาทและจะเพิ่มขึ้นเป็น 350 ล้านบาทโดยประมาณในปี 2552 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การประมาณการยอดขายของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ปี	ยอดขายของตลาดขนมขบเคี้ยว (ล้านบาท)	ยอดขายของตลาดผักหรือผลไม้ทอดกรอบ (ล้านบาท)
2549	17,539	263.17
2550	19,292	289.39
2551	21,222	318.33
2552	23,344	350.16

ที่มา: ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2551)

อย่างไรก็ตามการขยายตัวของผักหรือผลไม้ทอดกรอบให้กว้างขึ้นทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศนั้น ผู้ผลิตในปัจจุบันหันมาให้ความสำคัญกับการพัฒนารูปแบบของผักหรือผลไม้ทอดกรอบให้มีความหลากหลายชนิดมากขึ้นไม่จำกัดเฉพาะผักหรือผลไม้บางประเภทดังที่กล่าวข้างต้น อีกทั้งยังได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิต เครื่องมือที่ใช้ที่มีความทันสมัยมากขึ้นเพื่อให้สามารถใช้แปรรูปผักหรือผลไม้ได้หลากหลายชนิด โดยผลของการมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายจะสามารถเข้าถึงกลุ่มของผู้บริโภคได้ง่ายขึ้นและกว้างยิ่งขึ้น

3. การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของกรรมวิธีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีสุญญากาศ โดยหลักทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของการระเหยและการเดือดของน้ำในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ (760 มม.ปรอท) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเมื่อมีความดันบรรยากาศต่ำลง (ต่ำกว่า 760 มม.ปรอท) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และจะแปรผันตามกันถ้าความดันยิ่งต่ำลง อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะต่ำลงด้วย (บริษัท โปรเทรด คอมเมอร์เชียล จำกัด, 2549) ด้วยหลักการพื้นฐานนี้จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรได้ โดยการควบคุมความดันในกระบวนการผลิต ซึ่งข้อดีของการลดอุณหภูมิ คือ จะทำให้สามารถแปรรูปผักหรือผลไม้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสีสันสวยงาม ไม่ไหม้หรือมีสีเข้ม มีกลิ่นและคงรสชาติตามธรรมชาติไว้ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะและคุณภาพเหมือนธรรมชาติ

ในระบบการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ วิจิตร (2537) ได้แบ่งชนิดของเครื่องทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศออกเป็น 3 ชนิด ดังภาพที่ 1 คือ

1) continuos vacuum fryer
2) semi-continuos vacuum fryer
3) batch-type vacuum fryer

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 ชนิดเครื่องทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

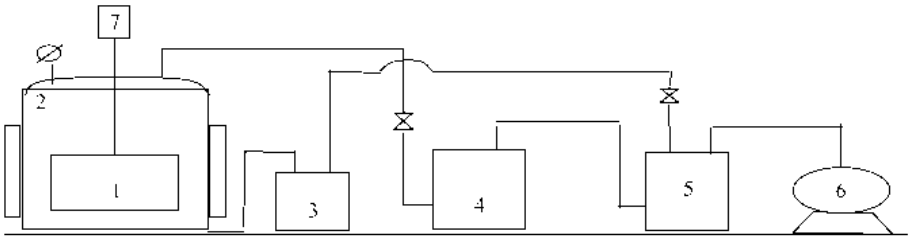
(ก) continuos vacuum fryer [1]

(ข) semi-continuos vacuum fryer [2]

(ค) batch-type vacuum fryer [3]

ที่มา: [1] BMA Nederland BV (2008), [2] Betterpack Co.,LTD. (2008), [3] Greenday Co.,LTD. (2008)

ในระบบการทอดภายใต้สุญญากาศจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 7 ส่วน คือ เครื่องทอด ตะกร้าทอด คอนเดนเซอร์ ปั๊มสุญญากาศ เครื่องแยกกาก ถังน้ำมันและมอเตอร์ไฟฟ้า ดังภาพที่ 2



1. frying basket 2. vacuum fryer 3. store oilcan 4. condenser

5. segregator 6. vacuum pump 7. electric motor

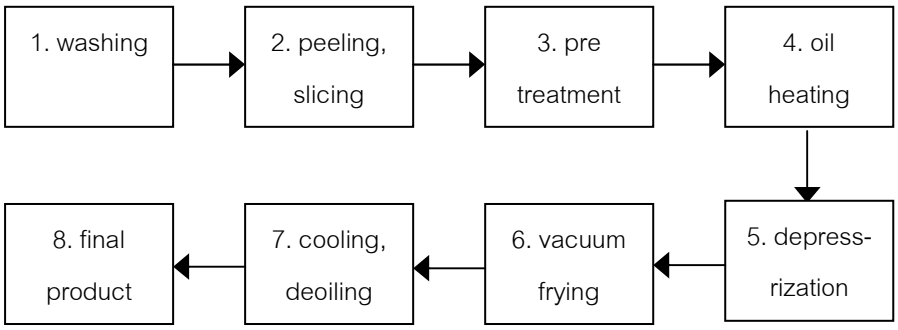
ภาพที่ 2 ส่วนประกอบเครื่องทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ที่มา: Garrayo and Moreira (2002)

สำหรับการทำงานของเครื่องทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Garrayo and Moreira, 2002) จะประกอบด้วย (1) ตะกร้าทอด (frying basket) ใช้ปั๊มลมในการให้กำลังงาน ระบบควบคุมการยกตะแกรงใช้ระบบไฮดรอลิก (hydraulic) ซึ่งใช้ในการนำพาเอาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิต

เรียบร้อยแล้วออกมาจากตัวเครื่องทอด (2) เครื่องทอด (vacuum fryer) โดยทั่วไปจะทำจากสแตนเลส มีขนาดบรรจุหลายขนาดตั้งแต่ 20 ถึง 100 ลิตร โดยจะมีเกจวัดแรงดันอยู่ข้างบนเพื่อบอกระดับความดันสุญญากาศ (3) ถังเก็บน้ำมัน (store oilcan) ใช้บรรจุน้ำมันโดยใช้ปั๊มลมในการควบคุมปริมาณน้ำมันในเครื่องทอด (4) เครื่องควบแน่น (condenser) เป็นส่วนที่ช่วยควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องทอด ก่อนที่จะเข้าปั๊มให้มีค่าไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และควบแน่นไอน้ำและไอน้ำมันที่ระเหยออกมาเพื่อป้องกันความเสียหายของปั๊ม (5) เครื่องแยกกาก (segregator) จะช่วยแยกกากอาหารที่ติดมากับน้ำมันในระหว่างการดูดกลับน้ำมันช่วยให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพที่ดี (6) ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ควบคุมให้เกิดสภาวะสุญญากาศ โดยการดูดไอน้ำภายในเครื่องทอดและช่วยควบคุมปริมาณน้ำมันในเครื่องทอด (7) มอเตอร์ (electric motor) ช่วยในการทำงานของเครื่องทอด โดยจะเป็นตัวให้ความร้อนระหว่างการทอดและช่วยควบคุมเฟืองในระบบของตัวเครื่องทอดให้ตะแกรงภายในที่ใช้บรรจุวัตถุดิบหมุนขณะทำการเดินเครื่อง

สำหรับกรรมวิธีการผลิตผักหรือผลไม้ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Garayo and Moreira, 2002) นั้นจะมีวิธีการที่คล้ายกันๆ ดังภาพที่ 3 ทั้งนี้สำหรับผักหรือผลไม้บางชนิดนั้นต้องนำไปผ่านกรรมวิธีก่อนการทอดเนื่องจากส่วนประกอบในวัตถุดิบแต่ละชนิดแตกต่างกันทำให้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทอดสุญญากาศต้องกำหนดขึ้นตามความเหมาะสมของผักหรือผลไม้นั้นๆ



ภาพที่ 3 กรรมวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ที่มา: Garrayo and Moreira (2002)

สำหรับกรรมวิธีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศประกอบด้วย (1) ในขั้นตอนแรกจะนำวัตถุดิบที่ได้มาล้างทำความสะอาด คัดเลือกให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ (2) หลังจากนั้นนำมาปอกเปลือกหรือหั่นให้ได้ตามขนาด (3) นำวัตถุดิบมาผ่านกรรมวิธีก่อนการทอดให้เหมาะสมกับชนิดของวัตถุดิบนั้นๆ เช่น นำมาลวก นำมาแช่สารละลายหรือนำไปแช่แข็งก่อนการทอด (4) ตั้งอุณหภูมิในการทอดให้เหมาะสมให้น้ำมันถึงอุณหภูมิที่กำหนด (5) เปิดเครื่องให้เข้าสู่สภาวะสุญญากาศที่กำหนดไว้ (6) นำอาหารไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศตามอุณหภูมิ เวลาและความดันที่กำหนด (7) นำอาหารที่ทอดแล้วไปทำให้เย็นหรือการนำไปเหวี่ยงสลัดน้ำมัน (8)ได้ผลิตภัณฑ์ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศบรรจุในภาชนะบรรจุ

สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศได้มีผู้วิจัยทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทอดและผลของสภาวะที่ใช้ในการทอดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อทอดภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศไว้พอสมควรดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 งานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ผลิตภัณฑ์	ผลที่ได้	ผู้วิจัย
1. การทอดทุเรียนสุกแช่แข็งด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ	- ทอดทุเรียนสุกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที ความดันสุญญากาศ <700 มม.ปรอท ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด และพบว่า การหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้อาหารมีปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ปริมาณไขมัน และค่ากลิ่นหืน ต่ำกว่าการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะบรรยากาศ	ณัฏชา (2547)
2. แอปเปิ้ลทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	- การลวกแอปเปิ้ลแล้วนำไปแช่สารละลายฟรุกโตสและแช่แข็งก่อนนำไปทอดจะทำให้ได้ตัวอย่างมีคุณภาพที่ดี และจากการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการทอดแอปเปิ้ล คือ อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-25 นาที สารละลายฟรุกโตสร้อยละ 30-40	Shyu and Hwang (2001)

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ผลที่ได้	ผู้วิจัย
3. มันฝรั่งแผ่นทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	- เปรียบเทียบการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (3.115 กิโลปาสคาล และ 144 องศาเซลเซียส) กับการทอดที่สภาวะบรรยากาศ (165 องศาเซลเซียส) พบว่า การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้มั่นฝรั่งแผ่นมีปริมาณไขมันน้อยกว่าและทำให้ได้สีและเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า	Garayo and Moreira (2002)
4. แครอททอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	- พบว่า ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดและความดันสุญญากาศเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าแรงแตกหักจะลดลง สำหรับค่าสีทั้งค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ระดับอุณหภูมิและความดันสุญญากาศต่างกัน	Fan *et al.* (2005a)
5. แครอททอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	- การลวกแครอทแล้วนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาลก่อนนำไปแช่แข็งก่อนเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปทอด จะทำให้แครอทที่ได้มีคุณภาพดีกว่าตัวอย่างที่ผ่านกรรมวิธีอื่นๆ และสภาวะที่เหมาะสมในการทอดแครอทแผ่นคือ อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส ที่ความดันสุญญากาศ 0.010-0.020 ไมโครปาสคาล เวลา 15 นาที	Fan *et al.* (2005b)

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารทอดซึ่งไม่ใช่เพียงแต่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบเพียงเท่านั้น (อาหารหรือน้ำมัน) แต่ยังเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิในการทอด ระยะเวลาในการทอด กระบวนการทอด กรรมวิธีก่อนการทอด รูปทรงของอาหารหรือเครื่องทอด เป็นต้น

ตัวแปรในเรื่องของกระบวนการอย่างเช่น อุณหภูมิของน้ำมัน ชนิดของน้ำมันและขนาดของชิ้นตัวอย่าง สิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลต่อค่าสีของอาหารทอด อย่างไรก็ตามผลของชนิดของน้ำมันมีผลเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) เช่นเดียวกันกับชนิดของน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณไขมันในอาหาร (Krokida *et al.*, 2001c)

สำหรับกระบวนการทอดมีผลสำคัญต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร อย่างเช่น ความกรอบ (crispness) โดย Krokida *et al.* (2001c) รายงานว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อความกรอบของมันฝรั่งแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้น้ำมันที่เติมไฮโดรเจน (hydrogenated oil) แทนน้ำมันเมล็ดฝ้าย (cottonseed oil) จะทำให้อาหารมีความกรอบมากกว่า อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถบอกได้ว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการสูญเสียน้ำของการทอดมันฝรั่ง (Costa and Oliveira, 1999)

3.1.1 ปัจจัยของการเตรียมวัตถุดิบ

ก. การเตรียมตัวอย่างและการคัดเลือก การเตรียมตัวอย่างก่อนการทอดไม่ว่าจะเป็นการทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัดแต่งและหั่นเป็นชิ้นมีผลต่อคุณภาพทั้งทางด้านเคมีกายภาพ จุลินทรีย์และทางประสาทสัมผัส ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ สำหรับการคัดเลือกตัวอย่างนั้นเป็นการกำหนดตัวอย่างให้ได้ตามมาตรฐานสามารถทำได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่หนึ่ง การคัดขนาด เป็นการคัดตัวอย่างให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ขั้นที่ 2 การสังเกต เป็นการสังเกตตัวอย่างว่ามีตำหนิหรือข้อบกพร่องต่างๆ หรือไม่ ไม่ว่าจะเป็นสีหรือตำหนิต่างๆ ซึ่งการคัดเลือกตัวอย่างนี้เป็นการลดการสูญเสียและเพิ่มผลที่ได้ให้มากขึ้น (Keijbets, 2001)

ตัวอย่างเช่นในการผลิตเฟรนช์ฟรายด์ หลังจากได้รับวัตถุดิบมา มันฝรั่งจะถูกส่งมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและคราบต่างๆ ที่ติดมา แล้วนำมาปอกเปลือกด้วยไอร้อน (ที่ระดับ 14-18 ความดันบาร์) แล้วนำมาตัดให้ได้ตามขนาดด้วยเครื่องตัดที่มีใบมีดรูปร่างต่างๆ กัน เพื่อให้อาหารมีรูปร่างตามที่ผู้ผลิตต้องการ หลังจากนั้นก็จะนำมาคัดเลือกและตรวจสอบเพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการขั้นต่อไป (Keijbets, 2001)

ข. รูปร่างของอาหาร อาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อมวลมากจะทำให้มีการดูดซึมของปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้น และพบว่า พื้นที่ผิวของอาหารและปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้น อาหารที่มีพื้นที่ผิวขรุขระจะทำให้มีพื้นที่ผิวหน้าเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้นด้วย ด้วยสาเหตุนี้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตอาหารทอดจึงมีการตัดผิวหน้าของอาหารให้เรียบเพื่อลดการดูดซึมของน้ำมัน (นุช, 2545)

ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Gamble and Rice (1988) พบว่า ถ้าความหนาของมันฝรั่งแผ่นเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณไขมันในมันฝรั่งลดลง โดยปริมาณไขมันเมื่อเทียบกับปริมาตรของมันฝรั่งจะลดลงจากร้อยละ 25.2 ที่ความหนา 0.88 มิลลิเมตร ไปเป็นร้อยละ 14.8 ที่ความหนา 1.58 มิลลิเมตร ดังนั้นปริมาณไขมันในอาหารจะมีความสัมพันธ์กับความหนาของอาหาร

ค. ความชื้นเริ่มต้นในอาหาร ความชื้นในอาหารจะระเหยออกมาเมื่อได้รับความร้อนทำให้ความดันภายในลดลงเป็นสาเหตุทำให้น้ำมันที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าของอาหารเข้าไปข้างในและเมื่อนำอาหารออกจากเครื่องทอด แรงดันสุญญากาศก็จะช่วยให้น้ำมันเข้าไปข้างในได้อีก เนื่องจากการเกิดรูพรุนที่มีสาเหตุจากการระเหยของน้ำ (Sukumar *et al*., 2003) และจากการศึกษาของ Tran *et al.* (2007) พบว่า เกิดการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำมันที่เข้าไปในอาหารกับน้ำในอาหารที่ระเหยออกมา ซึ่งอาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงมีผลให้มีปริมาณไขมันสูงตามไปด้วยและมีความสัมพันธ์กันสูงระหว่างปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณความชื้นที่ลดลง

โดย Moreira *et al.* (1997) ได้ศึกษาถึงปัจจัยในการเพิ่มขึ้นของน้ำมันในอาหารในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและขนาดของตัวอย่างมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงและมีขนาดเล็กจะมีการดูดซึมน้ำมันปริมาณสูง

ง. กรรมวิธีก่อนการทอด กรรมวิธีก่อนกระบวนการทอดที่แตกต่างกันจะมีความสามารถในการลดปริมาณไขมันที่แตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วๆ ไป การนำอาหารไปทำแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นของอาหารก่อนนำไปทอดจะทำให้กระบวนการทอดใช้เวลาสั้นลงและช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารที่ได้

การลวกอาหารก่อนนำไปทอดพบว่า มีผลทำให้เมื่อนำอาหารไปทอดจะมีปริมาณไขมันลดลง ช่วยปรับปรุงสีและเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น (Moyano and Pedreschi, 2006) โดยในระหว่างการลวกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี ไม่ว่าจะเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ที่ช่วยทำให้สีของอาหารยังคงสดอยู่ ความร้อนจากการลวกจะช่วยฆ่าเอนไซม์ เช่น เอนไซม์พอลิฟีนิล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่ทำอาหารเกิดสีคล้ำขึ้น สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการลวกนั้น ในโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้อยู่ที่อุณหภูมิ 60-90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 5-60 นาที (Keijbets, 2001)

การแช่สารละลาย การนำผักและผลไม้แช่ในสารละลายน้ำตาลก่อนการนำไปทอดจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันต่ำเนื่องจากน้ำตาลบางส่วนไปแทนที่น้ำในชิ้นอาหารเมื่อนำชิ้นอาหารไปทอดจึงทำให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำได้ลดลง และจากการทดลองของ Shyu and Hwang (2000) พบว่า การนำแอปเปิ้ลไปแช่สารละลายฟรุกโตสแล้วนำไปแช่แข็งก่อนที่จะนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนที่สม่ำเสมอและมีการหดตัวเพียงเล็กน้อยเนื่องจากสารละลายฟรุกโตสจะช่วยให้น้ำในอาหารซึมผ่านออกมาด้วยแรงดันออสโมติก (osmotic) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดี

การทำแห้ง (drying) การนำอาหารไปทำแห้งก่อนการทอดจะเป็นการลดปริมาณความชื้นในอาหารให้ลดลงซึ่งช่วยให้ปริมาณไขมันในอาหารหลังการทอดลดลงด้วย จากการศึกษาของ Gamble and Rice (1987) พบว่า การนำอาหารไปทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟ (microwave) และการใช้ลมร้อน (hot air) จะทำให้อาหารที่ได้มีปริมาณไขมันลดลง ในขณะที่การนำอาหารไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dry) จะทำให้อาหารมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น

3.1.2 ปัจจัยระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ก. อุณหภูมิ การทอดเพื่อให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามต้องการนั้นควรใช้อุณหภูมิในการทอดที่เหมาะสมซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร Mittelman *et al.* (1984) รายงานว่าอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการถ่ายเทมวลในการทอดแบบน้ำมันท่วม นอกจากนี้ Li (2005) ยังได้รายงานอีกว่า อุณหภูมิปกติที่ใช้ในการทอดอาหารจะมีค่าประมาณ 160-190 องศาเซลเซียส แต่บางครั้งในกระบวนการทอดอาจสูงถึง 190-205 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการทอดที่เหมาะสมจะทำให้ได้อาหารที่มีสีทอง กรอบและมีกลิ่นรสที่ดี ในการทอดอาหารโดยปกติจะดูดซึมน้ำมันประมาณร้อยละ 8-25 สำหรับการทอดอาหารที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ได้อาหารที่มีความสว่าง มีกลิ่นรสที่น้อยและเพิ่มการดูดซึมน้ำมันในอาหาร แต่การทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงจะทำให้อาหารมีเปลือกนอกที่แข็งและปริมาณไขมันน้อยแต่อาจทำให้ภายในอาหารไม่สุกซึ่งการได้รับความร้อนสูงนี้จะทำให้ผิวหน้าดำหรือเกิดปัญหาอีกหลายอย่างก่อนที่อาหารจะสุก

จากการศึกษาของ Fan *et al.* (2005a) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแครอทแผ่นเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลง แต่ปริมาณไขมันในอาหารพบว่า จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการทอดที่เพิ่มขึ้น และค่าสีพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทั้งค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง ที่อุณหภูมิในการทอดต่างกัน สำหรับการทอดอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น ณัฏชา (2547) ได้กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงประมาณ 80-130 องศาเซลเซียส

ข. ความดัน การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นกรรมวิธีที่เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำออกจากอาหารเนื่องจากการระเหยน้ำในสภาวะจุดเดือดของน้ำต่ำลงทำให้สามารถรักษาคุณภาพด้านกลิ่น สี และรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ธรรมชาติได้ และยังสามารถยืดอายุการใช้งานของน้ำมันได้นานขึ้น (ณัฐพงษ์ และคณะ, 2549) และจากการศึกษาของณัฏชา (2547) พบว่า การทอดอาหารที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศประมาณ 600-740 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 80-130 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ

จากการศึกษาของ Garayo and Moreira (2002) ได้เปรียบเทียบการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (3.115 กิโลปาสคาล และ 144 องศาเซลเซียส) กับการทอดที่สภาวะบรรยากาศ (165 องศาเซลเซียส) พบว่า การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้มั่นฝรั่งแผ่นมีคุณภาพที่ดีกว่า คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีปริมาณไขมันน้อยกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีความสว่างมากกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ ในขณะที่ค่าสีแดงและค่าสีเขียว พบว่า ตัวอย่างที่ทอดที่สภาวะบรรยากาศจะมีค่ามากกว่าการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและจากการวัดค่าความแข็งพบว่า ค่าที่ได้จากทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกัน

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Apple and Snack Co.,LTD (2009) ที่พบว่าการทอดมันฝรั่งภายใต้สภาวะสุญญากาศจะช่วยลดปริมาณไขมันเมื่อเปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศจากร้อยละ 35.0 เป็นร้อยละ 14.8 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของมันฝรั่งระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ

ส่วนประกอบ (ร้อยละ)	สภาวะในการทอด	
	สภาวะบรรยากาศ	สภาวะสุญญากาศ
ปริมาณความชื้น	2.5	2.0
โปรตีน	4.7	4.1
ปริมาณไขมัน	35.0	14.8
เส้นใย	1.8	1.2
เถ้า	3.4	1.4
คาร์โบไฮเดรต	52.6	76.5

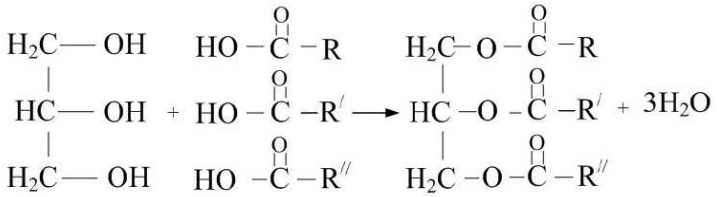
ที่มา: ดัดแปลงจาก Apple and Snack Co.,LTD (2009)

ค. เวลาในการทอด สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นเป็นการเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำออกจากอาหาร ซึ่งจุดเดือดของน้ำจะลดลง น้ำสามารถระเหยได้เร็วขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการทอดอาหารสั้นลง ช่วยรักษาสีตามธรรมชาติ กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์และช่วยยืดอายุของน้ำมันที่ใช้ทอด สำหรับเวลาที่ใช้ในการทอดนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยคือ ชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการทอด คุณลักษณะของอาหารและความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในการบริโภค จากการศึกษาของ Tan and Mittal (2007) พบว่า เมื่อเวลาในการทอดโดนัทภายใต้สภาวะสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นลดลงและปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น

ง. การหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมัน จากการศึกษาของ ณัฏชา (2547) พบว่า การทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่มีระบบการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันต่างกัน 2 ระบบ คือ การหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะบรรยากาศและการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่าทุเรียนทอดจากการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ปริมาณไขมันและค่ากลิ่นหืน ต่ำกว่าการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะบรรยากาศ ทำให้มีโอกาสในการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์และการเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยาทางเคมีได้น้อยกว่า

3.1.3 ปัจจัยของไขมันและน้ำมันที่ใช้ทอด

ไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรีน ไขมันจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ไขมันและน้ำมันจะมีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน โดยไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์มีกรดไขมันที่อิ่มตัวอยู่มากและมักเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องซึ่งได้แก่ ไขมันในเนื้อสัตว์ ไขมันในไก่ ไขมันในนมและน้ำมันหมู ส่วนไขมันและน้ำมันพืชมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่มากเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (ยกเว้นน้ำมันมะพร้าว) เช่น น้ำมันรำ น้ำมันถั่ว น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกคำฝอยและน้ำมันดอกทานตะวัน เป็นต้น ไขมันและน้ำมันประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์มากมายหลายชนิดผสมรวมกันอยู่ (มากกว่าร้อยละ 95) และในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยโมเลกุลของกรดไขมันและกลีเซอรีน (Sangdehi, 2005) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างโมเลกลุของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งประกอบด้วย 1 โมเลกุลกลีเซอรีน และ 3 โมเลกุลกรดไขมัน

ที่มา: Sangdehi (2005)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R คือหมู่แอลคิล (alkyl) โดยส่วนมากกรดไขมันในไขมันและน้ำมันจากสัตว์และพืชจะมีคาร์บอนในโมเลกุลประมาณ 14-22 อะตอม คุณสมบัติของไขมันและน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของกรดไขมัน กรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่จะเรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) สำหรับกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 คู่ หรือมากกว่าจะเรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) กรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวสูงและเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง พันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน ซึ่งตำแหน่งของพันธะคู่จะมีบทบาทสำคัญต่อความคงตัวของกรดไขมัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่ใกล้กันจะมีความไม่คงตัวมาก (Stockwell, 1988)

ไขมันและน้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปสู่อาหารในระหว่างการทอดอาหาร น้ำมันจะเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ด้วยการแทนที่น้ำที่ระเหยไปเป็นไอและกลายเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคุณภาพของไขมันและน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอดและการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเสื่อมเสียของน้ำมันในระหว่างการทอดจะช่วยให้สามารถที่จะควบคุมกระบวนการและผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้

ชนิดของน้ำมันและไขมันที่ถูกนำมาใช้ในการทอดอาหารนั้นมีหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นน้ำมันพืช น้ำมันพืชไฮโดรจีเนต น้ำมันสัตว์ มาร์การีน เนยขาว อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันชนิดใดก็ต้องขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้นั้นๆ (Blumenthal, 1991) การเลือกใช้น้ำมันจะขึ้นอยู่กับกระบวนการในการทอด กรรมวิธีก่อนการทอด การเก็บรักษา อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

และต้นทุน (Podmore, 2002) และ Sangdehi (2005) ยังได้กล่าวอีกว่าน้ำมันที่ดีควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระ กรดไขมันอิ่มตัวและไขมันทรานส์ (*trans*-unsaturated) ต่ำ และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated acids) สูง โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นควรเลือกใช้น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณต่ำเพื่อช่วยให้น้ำมันมีความคงทนมากขึ้น

น้ำมันพืชส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการแปรรูปอาหาร ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเนย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก น้ำมันคาโนลา น้ำมันดอกคำฝอยและน้ำมันเมล็ดทานตะวัน สำหรับน้ำมันมะกอก น้ำมันคาโนลาและน้ำมันเนยถั่วจะมีความไม่อิ่มตัวอยู่สูง น้ำมันเมล็ดทานตะวันและน้ำมันคาโนลาจะนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนตเพื่อให้มีความคงทนสูงในระหว่างการทอดและน้ำมันปาล์มนิยมนำมาใช้ในการทอดอาหารเนื่องจากมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันเป็นส่วนประกอบในน้ำมัน (Moreira *et al.,* 1999)

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากไม่มีกลิ่นที่อุณหภูมิห้อง มีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงและมีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดไขมัน (ร้อยละ 50 กรดไขมันไม่อิ่มตัว) น้ำมันปาล์มมีสีที่ดี เมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่นๆ คุณสมบัติในการในการทอดที่ดีของน้ำมันปาล์มคือ มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวปานกลาง มีกรดไลโนเลนิค (linolenic acid) และวิตามินอี (tocopherol) (380-890 ppm) ซึ่งเป็นสารกันหืนธรรมชาติ ช่วยในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปาล์ม จากการศึกษาของ Rossell (2001) กล่าวว่าน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการทอดอาหารเพราะน้ำมันปาล์มมีปริมาณไอโอดีนต่ำประมาณ 55-56 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและกลิ่นหืนในอาหาร นอกจากนี้น้ำมันปาล์มยังมีองค์ประกอบของแอลฟา-โทโคฟีรอล (α-tocopherol) และแกมมา-โทโคไตรอีนอล (γ-tocotrienols) ซึ่งเป็นสารกันหืนธรรมชาติ

3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

คุณภาพของอาหารที่ผ่านกระบวนการทอดจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดและชนิดของอาหารที่นำมาทอด คุณภาพของน้ำมันที่ดีจะทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ดี สำหรับอาหารบางชนิดอาจจะได้รับผลจากกลิ่นรสของน้ำมัน เช่น มันฝรั่งทอด สำหรับคุณลักษณะของอาหาร

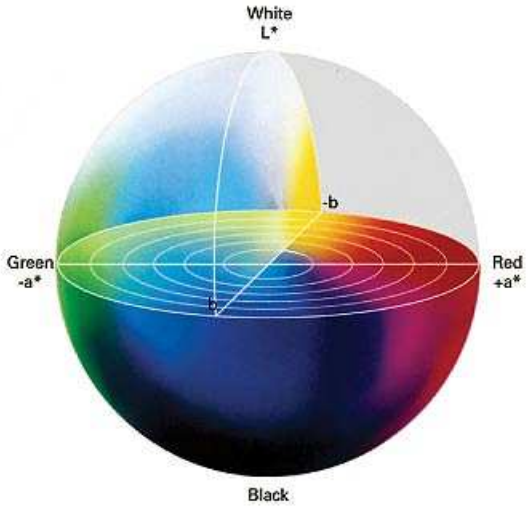
ที่ต้องการนั้นจะแตกต่างกันตามคุณลักษณะของวัตถุดิบ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของวัตถุดิบ ได้แก่ สภาพแวดล้อมระหว่างการเจริญเติบโต ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว วิธีการเก็บรักษาและการขนส่ง สำหรับคุณภาพของอาหารทอดจะขึ้นกับกระบวนการในการผลิตและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิต โดยเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบ การตรวจสอบและคัดเลือก การล้างทำความสะอาด การผ่านกรรมวิธีก่อนการทอดต่างๆ กระบวนการทอด การทำให้เย็นและการบรรจุ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารทอดทั้งสิ้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในอาหารทอดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ด้าน คือ

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร

คุณภาพของอาหารเป็นตัวบอกการยอมรับคุณลักษณะของอาหาร คุณลักษณะของอาหารที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะที่ซ่อนเร้นและคุณลักษณะเชิงปริมาณ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเช่น สี ความมันวาว ขนาด รูปร่าง ตำหนิ กลิ่นและรสชาติ คุณลักษณะซ่อนเร้น เช่น คุณค่าทางโภชนาการ สารปนเปื้อนและสารพิษต่างๆ และคุณลักษณะเชิงปริมาณหมายถึงคุณภาพโดยรวมของอาหาร (Staunches *et al*., 1991) นอกจากนี้ Li (2005) ยังได้กล่าวอีกว่า เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏและสีเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการรับรู้ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมจะผลิตอาหารทอดโดยควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้อาหารที่มีลักษณะปรากฏและกลิ่นรสตามที่ต้องการซึ่งคุณภาพเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะของอาหาร เช่น ปริมาณความชื้น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ผลผลิต และอายุการเก็บ

ก. ค่าสี (color) การเปลี่ยนแปลงสีเป็นปัจจัยสำคัญของอาหารทอดเนื่องจากมีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค สีเป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพของอาหาร (เช่น สีเหลืองทองในมันฝรั่งทอด) และมีอิทธิต่อการจดจำกลิ่นรส (Moreira *et al*., 1999) ปฏิกิริยาสีน้ำตาลของอาหารที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารเคมีที่มีอยู่ภายในอาหารเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymic browning reaction) หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) คือ ปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่อะมิโนหรือโปรตีน วิธีการวัดค่าสีโดยทั่วไปใช้เทคนิคในการวัดค่าด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) ที่มีสเกลค่าสีหลายค่าที่ใช้เป็นตัวแทนของสี ค่าที่ได้อยู่ในรูปของ L*, a*, และ b* ซึ่งวิธีนี้เป็นการเลียนแบบการมองเห็นของมนุษย์และค่าที่ได้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยค่า L* หมายถึงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (มืด) ถึง 100 (สว่าง) แสดงค่าตามแนวตั้ง ค่า a* หมายถึงค่าสีแดง (+) และค่าสีเขียว (-) แสดงค่าตามแกน X และ

ค่า b* หมายถึงค่าสีเหลือง (+) และค่าสีน้ำเงิน (-) แสดงค่าตามแกน Y (McGuire, 1992) ดังภาพที่ 5 แสดงภาพ 3 มิติ ของค่าสีของ L*, a*, และ b* ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าตำแหน่งมุมของเนื้อสีหลัก (hue angle) และค่าความบริสุทธ์ของเนื้อสีหลัก (chroma) ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มของสี



ภาพที่ 5 ภาพ 3 มิติของค่าสีในระบบ CIELAB

ที่มา: Williams (2002)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่ของ Ngadi *et al.* (2007) พบว่า ค่าความสว่าง L* จะลดลง ในขณะที่ค่าสีแดง a* และค่าสีเหลือง b* จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่างจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกแต่หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่ค่าความเข้มของสีของนักเก็ตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากการศึกษาของ Krokida *et al.* (2001a) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการทอดเฟรนช์ฟรายด์คือ อุณหภูมิที่สูงในการทอดและอาหารที่มีความหนาน้อยจะมีผลทำให้ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะน้ำมันที่ผ่านการไฮโดรจีเนตจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี

ข. ปริมาณความชื้น (moisture content) ในการทอดอาหารนั้นจากการศึกษาของ Garayo and Moreira (2002) พบว่า กระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำ (drying process) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศและภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น สามารถแบ่งได้เป็น

3 ช่วง คือ ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating period) ช่วงอัตราการระเหยของไอน้ำคงที่ (constant drying period) และช่วงการระเหยของไอน้ำลดลง (falling rate period)

ช่วงแรกจะเริ่มจากการนำชิ้นอาหารไปทอดในน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูง ความร้อนจะเกิดการถ่ายโอนจากน้ำมันไปสู่ผิวของชิ้นอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจะถ่ายโอนความร้อนจากชิ้นอาหารไปสู่น้ำในอาหาร จนน้ำในอาหารมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดของน้ำและน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแพร่ออกสู่ภายนอกอาหาร โดยในช่วงแรกนี้น้ำที่อยู่ในรูปของน้ำอิสระ (bulk water หรือ free water) ที่บริเวณผิวหน้าหรือน้ำที่อยู่ภายในอาหารซึ่งอยู่ในลักษณะที่เป็นโมเลกุลอิสระจะระเหยออกมาได้ง่าย อัตราการสูญเสียความชื้นในช่วงนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น ช่วงแรกของการให้ความร้อนนี้จะสั้นและเกิดขึ้นปริมาณน้อยเนื่องจากจุดเดือดของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความดัน โดยที่จุดเดือดของน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีค่าต่ำกว่าจุดเดือดที่สภาวะบรรยากาศ (100 องศาเซลเซียส) การเปลี่ยนสถานะของน้ำกลายเป็นไอภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงสามารถเกิดได้รวดเร็วกว่าและมีช่วงเวลาที่สั้นกว่าภายใต้สภาวะบรรยากาศ จากนั้นจะเข้าสู่ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยของน้ำที่ลดลง และเกิดขึ้นอย่างคงที่เนื่องมาจากเมื่ออาหารได้รับความร้อนจะทำให้ผิวของชิ้นอาหารเกิดการแข็งตัว ทำให้รูพรุนที่ผิวหน้าของอาหารมีขนาดเล็กลง น้ำที่อยู่ภายในอาหารจึงระเหยออกมาได้น้อยลงและน้ำที่ระเหยออกมาในช่วงนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำที่เกาะยึดอยู่กับชิ้นอาหารจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำในช่วงนี้มีค่าลดลงและใช้ระยะเวลานาน สำหรับในช่วงนี้ ราม และ ถาวร (2548) กล่าวว่าอาหารจะเกิดการขยายตัวเนื่องจากน้ำภายในอาหารไม่สามารถออกมาได้หรือระเหยออกมาได้น้อยลง ทำให้เกิดแรงดันขึ้นภายในอาหารจากแรงดันไอน้ำที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการขยายตัวของอาหารและเมื่อน้ำที่อยู่ในอาหารลดต่ำลงจนกระทั่งน้ำที่ผิวหน้าอาหารหมดไปก็จะเข้าสู่ช่วงสุดท้ายคือ ช่วงการระเหยของไอน้ำลดลง ในระหว่างช่วงนี้การถ่ายเทมวลของน้ำถูกควบคุมโดยกลไกการแพร่ของน้ำ (moisture diffusion mechanisms) และดำเนินสู่ช่วงสุดท้ายจนถึงความชื้นสุมดุล (equilibrium moisture content)

จากการศึกษาของ Garayo and Moreira (2002) พบว่า ปริมาณความชื้นในการทอดมันฝรั่งแผ่นภายใต้สภาวะสุญญากาศจะลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเพิ่มขึ้นและความดันสุญญากาศมีผลต่อปริมาณความชื้น โดยเมื่อความดันสุญญากาศต่ำลงอัตราการสูญเสียน้ำหรือปริมาณความชื้นก็จะสูงขึ้น ซึ่งตรงกับข้อเท็จจริงที่ว่าเมื่อความดันต่ำลงจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงซึ่งทำให้น้ำระเหยออกไปเป็นไอได้เร็วขึ้น

ค. ปริมาณไขมัน (fat content) การถ่ายโอนมวลของน้ำมันภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้น Garayo and Moreira (2002) กล่าวว่า สามารถออกได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงการทอด (frying period) และช่วงการเย็นตัว (cooling period) โดยในช่วงของการทอดนั้น น้ำในอาหารจะได้รับความร้อนจากน้ำมันทำให้อุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือดแล้วเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปจากรูพรุนของอาหารพร้อมๆ กับอากาศในรูพรุน อาหารในช่วงดังกล่าวมีอุณหภูมิและความดันภายในรูพรุนของอาหารเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็ว (เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมัน) ในระหว่างช่วงนี้ความดันของรูพรุน (capillary pressure) มีค่าลดลง ทำให้ไม่มีแรงขับดันน้ำมันเข้าสู่อาหารแต่เมื่อเข้าสู่ช่วงของการเย็นตัว น้ำมันจะมีแรงขับดันมากขึ้นเนื่องจากความดันภายในรูพรุนของอาหารมีค่าลดลง ทำให้น้ำมันที่อยู่เกาะอยู่ที่ผิวของอาหารเข้าสู่รูพรุนของอาหารได้มากขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ตามมา ทำให้ความดันของรูพรุนเพิ่มขึ้นซึ่งความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้เป็นแรงขับดันให้น้ำมันและอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้

สำหรับการถ่ายโอนมวลของน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงการทอด ช่วงการเปลี่ยนแปลงความดัน (pressurization period) และช่วงการเย็นตัว สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นเมื่อเริ่มต้นทอดอาหาร น้ำในอาหารจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วและอาหารเกิดเปลือกแข็ง เมื่อใส่อาหารลงไปในน้ำมัน สำหรับแรงดันของรูพรุนมีค่าลดลง ทำให้ไม่มีการดูดซึมน้ำมันในช่วงนี้ เมื่อเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลงความดัน อาหารจะจะถูกยกออกจากเครื่องทอดและเก็บไว้ในสภาวะสุญญากาศ และเมื่อเปิดฝาเครื่องทอด แรงดันภายในรูพรุนของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนไปสู่แรงที่ระดับบรรยากาศ ซึ่งช่วงนี้เองที่น้ำมันและอากาศสามารถที่เคลื่อนที่เข้าไปในอาหารได้ แต่เนื่องจากอากาศสามารถแพร่เข้าไปแทนที่รูพรุนในอาหารได้เร็วกว่าน้ำมันที่เกาะอยู่ที่ผิวของอาหาร ส่งผลให้น้ำมันสามารถเข้าสู่อาหารได้น้อยลงและเมื่อเข้าสู่ช่วงสุดท้ายคือ ช่วงของการเย็นตัว จะมีน้ำมันเหลืออยู่ที่ผิวของอาหารเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้การดูดซึมน้ำมันเข้าสู่อาหารในช่วงนี้เกิดขึ้นได้น้อย

สำหรับปริมาณไขมันในอาหารที่ทอดภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศจะมีค่าประมาณร้อยละ 30 (ธิวาริ, 2547) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำมันที่เข้าไปในระหว่างการทอดและในขณะที่อาหารเย็นตัว ซึ่งน้ำมันร้อยละ 20 ของน้ำมันที่สะสมในอาหารทั้งหมดจะถูกดูดซึมในขณะทำการทอด ส่วนน้ำมันอีกร้อยละ 80 ของน้ำมันที่สะสมในอาหารนั้นจะยังคงอยู่บนผิวหน้าของอาหาร จนกระทั่งอาหารเย็นตัวน้ำมันร้อยละ 64 ของปริมาณไขมันที่ผิวอาหารจะถูก

ดูดซึมซึ่งเกิดภายหลังจากการทอดเสร็จสิ้นแล้ว โดยยังคงเหลือน้ำมันอีกร้อยละ 36 ค้างอยู่ที่ผิวอาหาร (Moreira *et al.*,1997) ดังนั้นน้ำมันส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารไม่ได้เข้าสู่อาหารในระหว่างการทอดหรือถ้ามีก็น้อยมาก

จากการศึกษาของ Baumann and Escher (1995) พบว่า อุณหภูมิของน้ำมันที่ต่างกันในการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศเป็นผลให้น้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งโดยปริมาณไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการทอดที่เพิ่มขึ้น (Krokida *et al.*, 2000) สำหรับการทอดในอุณหภูมิสูงเป็นผลให้อาหารเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วและทำให้น้ำมันเกาะที่ผิวหน้าของอาหาร สำหรับในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ปริมาณไขมันในมันฝรั่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและความดันในการทอดแต่ขึ้นอยู่กับเวลาในการทอด เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นด้วย (Krokida *et al*., 2001b)

ง. เนื้อสัมผัส (texture) คุณภาพของเนื้อสัมผัสมีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค สามารถรับรู้ได้โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ว่าจะเป็นการรับประทานหรือการสัมผัส (Medved, 1986) เปลือกแข็งของอาหารเกิดจากการถ่ายเทมวลของน้ำในอาหารและการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโน (amino acids) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates) ไขมัน (lipids) และการแตกตัว (breakdown) ของอาหาร เปลือกแข็งของอาหารบางครั้งจะเกิดขึ้นเร็วกว่าการสุกของอาหารภายในขณะที่ทอดที่อุณหภูมิสูง สำหรับความกรอบของอาหารจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับรูพรุนในอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นในอาหารลดลง (Kawas and Moreira, 2001)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผักและผลไม้ที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ของ ราม และ ถาวร (2548) พบว่า ความหนาของชิ้นตัวอย่างอาหารจะหดตัวลงในช่วงแรกของการทอดและจะขยายตัวออกเมื่อเวลาในการทอดผ่านไปและเมื่อน้ำในตัวอย่างระเหยออกจนเกือบหมดชิ้นตัวอย่างจะหดตัวลงอีกครั้ง ส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะหดตัวลงหลังการทอด ซึ่งจะหดตัวลงมากในช่วงแรกและจะหดตัวน้อยลงเมื่อเวลาการทอดผ่านไป การหดตัวของชิ้นตัวอย่างทั้งความหนาและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะสอดคล้องกับอัตราการสูญเสียความชื้นในระหว่างการทอดของชิ้นตัวอย่างกล่าวคือ ในช่วงแรกของการทอดตัวอย่างจะสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วทำให้ชิ้นตัวอย่างหดตัวลง นอกจากนี้ Garayo and Moreira (2002) ยังพบอีกว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความแข็งของมันฝรั่งจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อค่าความดันสุญญากาศต่ำลงจะทำให้ค่าความแข็ง

ของอาหารมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ที่อุณหภูมิและความดันสุญญากาศต่างกันไม่มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งแผ่น

จ. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส (flavor) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับกลิ่นรสในอาหารเกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมเสียของไขมัน (lipid degradation) ที่มาจากน้ำมันที่ใช้ทอด แต่เนื่องจากความหลากหลายของสารอาหารในการทอด ทำให้อาหารที่ได้มีกลิ่นรสที่แตกต่างกัน ซึ่งการอธิบายเกี่ยวกับการการเกิดกลิ่นรสในอาหารเป็นสิ่งที่ซับซ้อน เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นการทำปฏิกิริยาของส่วนประกอบและความซับซ้อนของกลิ่นรสที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการทอดและการทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ใช้ทอด ถึงแม้จะไม่ใช้ปัจจัยหลักแต่ความแตกต่างของกลิ่นรสในอาหารก็เป็นไปในทำนองเดียวกับความแตกต่างของสารระเหย ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้แตกต่างกันในเรื่องของคุณสมบัติเท่านั้น

ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในอาหารจากการศึกษาของ Pokorny (1999) คือ เฟรนช์ฟรายด์ ซึ่งเป็นอาหารที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน โดยปริมาณความชื้นในอาหารจะลดลงและปริมาณไขมันในอาหารจะเพิ่มขึ้นซึ่ง ทั้งสองจะทำให้ผิวอาหารของอาหารเกิดการแห้ง สำหรับสตาร์ชและโปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก น้ำตาลรีดิวซ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารสีน้ำตาลแต่การเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นกับปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ในวัตถุดิบ สำหรับธาตุอาหารต่างๆ จะสูญเสียไปพอประมาณ เนื่องจากการสูญเสียความชื้นในอาหารและการดูดซึมน้ำมันเข้ามาและกลิ่นรสในอาหารเกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) ของกรดอะมิโนและการเกิดออกซิไดซ์ (oxidized) ของน้ำมัน

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน

น้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการทอดอาหาร คุณสมบัติของน้ำมันมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหาร การใช้น้ำมันในการกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติด้านความร้อน เช่น ความหนืด แรงตึงผิว ค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (convective heat transfer coefficient) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นต่อไปอีกถ้านำน้ำมันไปใช้ในกระบวนการผลิตที่นานขึ้นและยังทำให้น้ำมันในอาหารมีปริมาณมากขึ้น (Moreira *et al*., 1999)

ในระหว่างการทอดอาหาร น้ำมันจะถูกนำมาใช้งานอย่างต่อเนื่องและใช้ซ้ำในอาหารในระหว่างการทอด ซึ่งทำให้น้ำมันเกิดการสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูง (160-180 องศาเซลเซียส) อีกทั้งอากาศและความชื้นตลอดเวลา เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมสลายตัวของน้ำมัน ซึ่งทำให้เกิดสารระเหยต่างๆ ในอาหารขึ้น และเกิดฟองในน้ำมันซึ่งมาจากน้ำในอาหาร

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นในสภาวะที่แตกต่างกัน 3 ช่วง (Mcgill, 1980) และในแต่ละสภาวะที่แตกต่างกันก็มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันแตกต่างกันด้วย ดังนี้

ก. ช่วงการเก็บรักษา เป็นช่วงตั้งแต่น้ำมันถูกผลิตขึ้นมาจนกระทั่งน้ำมันอยู่ในเครื่องทอด ในระหว่างนี้น้ำมันจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการสัมผัสกับอากาศ

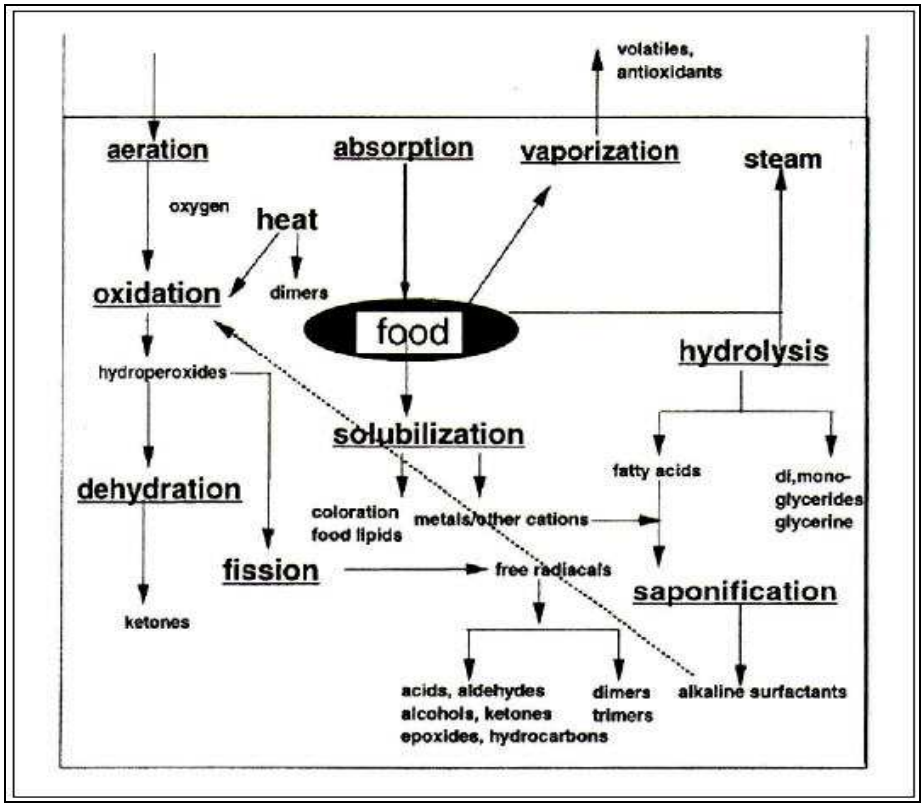
ข. ช่วงการเตรียมการ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนตั้งแต่การได้รับความร้อนระหว่างการทอดและช่วงของการเย็นตัวของน้ำมันเมื่อทอดอาหารเสร็จ ในระหว่างนี้น้ำมันจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและการสัมผัสกับอากาศ

ค. ช่วงการทอด ช่วงนี้จะมีการใช้งานน้ำมันในกระบวนการทอด น้ำมันจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากอากาศ ไอน้ำ ความร้อนและอาหารก่อนการทอด

น้ำมันที่ใช้ในการทอดเกิดการเสื่อมเสียและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เนื่องจากความร้อนที่ได้รับทำให้เกิดปฏิกิริยากันระหว่างน้ำมันและอาหาร ดังภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างการทอด สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของน้ำมันในระหว่างการทอดที่สำคัญสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมี เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในอากาศกับน้ำมันบริเวณผิวหน้า (ที่พันธะคู่) ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ เช่น สารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียร สามารถที่จะเปลี่ยนสมบัติไปเป็น (1) ปฏิกิริยาฟิชชัน (fission) จะผลิตแอลกอฮอล์ (alcohols), อัลดีไฮด์ (aldehyde), กรดไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) (2) ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration)

จะผลิตคีโตน (ketones) และ (3) การเกิดอนุมูลอิสระ (free radical formation) จะผลิตโมโนเมอร์ (monomers), ไดเมอร์ (dimers) และโพลีเมอร์ (polymers) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดหืนในน้ำมัน (Miller, 1993) การป้องกันการเสื่อมเสียสามารถนำน้ำมันมาผ่านขบวนการทำให้บริสุทธิ์ (refined) ซึ่งทำให้มีอายุการเก็บมากกว่า 12 สัปดาห์



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างการทอด

ที่มา: Moreira *et al.* (1999)

ข. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) การให้ความร้อนแก่น้ำมันเป็นเวลานานจะเป็นการเร่งให้เกิดการรวมตัวของสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก คือ โมโนเมอร์, ไดเมอร์ และโพลีเมอร์ ไปเป็นสารที่มีโมเลกลุขนาดใหญ่ โดยโมเลกุลจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่และพันธะคู่จะเข้ามาใกล้ชิดกันขึ้น ทำให้น้ำมันมีความไม่คงตัวและง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและยังทำให้น้ำมันเกิดการมีคุณภาพเปลี่ยนแปลง เช่น สี ความหนืด ความหนาแน่นและการแข็งตัว (solidification) (Moreira *et al.*, 1999) นอกจากนั้น Gutierrez and Dobarganes (1988)

ยังได้กล่าวว่าปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะทำให้น้ำมันมีความหนาแน่นและความหนืดเพิ่มขึ้นและถ้านำน้ำมันมาใช้ต่อไปอีกจะทำให้เกิดเงามันวาวบนผิวหน้าของน้ำมัน เนื่องจากโลหะที่สะสมตัวและจะเกิดควันขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อนำมาทอด

ค. การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของน้ำมันในระหว่างการทอดคือ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อนำอาหารลงไปทอดในน้ำมัน ไอน้ำจากอาหารจะไปทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) และโมโนกลีเซอไรด์ (monoglycerides), ไดโนกลีเซอไรด์ (diglycerides) และกลีเซอรอล (glycerol) สำหรับกรดไขมันอิสระจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมัน ทำให้อาหารและน้ำมันเกิดกลิ่นหืนขึ้น สำหรับปฏิกิริยานี้ถูกเร่งโดยเอนไซม์ไลเปส (lipases) (O'brien, 1993)

ง. การหืนในน้ำมัน การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติและคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนไป (นิธิยา, 2548) สำหรับการหืนในน้ำมันเกิดขึ้นได้ 3 แบบ คือ

1) การเกิดกลิ่นหืนในสภาพที่มีความชื้น (hydrolytic rancidity) เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรซิสของน้ำมันกับเอนไซม์ไลเปสและความชื้น สาเหตุเนื่องจากมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นและจุลินทรีย์หลั่งเอนไซม์ไลเปสออกมา ทำให้ไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นโมโนกลีเซอไรด์, ไดโนกลีเซอไรด์, กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกลุต่ำมีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนมากเช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนยและน้ำมันหมู เป็นต้น เมื่อเกิดการหืนจะทำให้น้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

2) การเกิดกลิ่นหืนในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจน (oxidative rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดพันธะเพอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) การหืนด้วยปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันเกิดขึ้นที่หมู่แอลฟา-เมทิลลีน (α-methylene) ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ยังเกิดขึ้นกับอาหารที่มีน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น

ทองแดงและตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย

การเกิดการหืนโดยวิธีนี้จะทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลงด้วยและยังทำลายพวกวิตามินต่างๆ ที่ละลายในน้ำมันอีกด้วย การหืนโดยวิธีออกซิเดชันนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้โดยมีเอนไซม์ไลพอกซิเดส (lipoxidase) ช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะเป็นการออกซิเดชันที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic oxidation)

3) การเหม็นหืนแบบคีโตนิค (ketonic rancidity) เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เร่งด้วยเอนไซม์ที่โมเลกลุของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน เช่น ในน้ำมันมะพร้าวที่ขึ้นรามีความชื้นและสารอาหารพวกไนโตรเจนเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อการเจริญของราด้วย เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะได้สารประกอบ เมทิล-เอมิล คีโตน (methyl-amyl ketone) นอกจากนี้พบว่า ยังเกิดกับผลิตภัณฑ์นมด้วย สำหรับการหืนนี้พบน้อยมากในอาหารที่ผ่านการแปรรูปและบรรจุในภาชนะบรรจุที่ดีถูกต้องและมีสุขลักษณะที่ดี

4. เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ได้แก่ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis; FA) การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง(Response Surface Methodology; RSM) เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรชชันแบบ Partial Least Square (PLS) และเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster Analysis) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของตัวแปรต้น (input) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (output) ที่เกิดขึ้น

กระบวนการมีปัจจัย (factor) หรือตัวแปรต้น (X_1, X_2, X_3, X_4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองต้องการที่จะทำการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

สำหรับขั้นตอนในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย

4.1.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (problem statement)

4.1.2 การเลือกปัจจัย (factor)

4.1.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (response)

4.1.4 เลือกแบบทดลอง (experiment design)

4.1.5 ดำเนินการทดลอง (perform the experiment)

4.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis)

4.1.7 สรุปผลการทดลอง (summary)

ตัวอย่างการวางแผนการทดลองจากการศึกษาของ นิลุบล และ อนุกูล (2549) ได้ทำการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมเจียวสุญญากาศด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง โดยการวางแผนการทดลองแบบส่วนประกอบกลาง (Central Composite Design; CCD) ทำการศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ เวลาในการเจียว และแรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ที่ใช้เหวี่ยงสลัดน้ำมัน แผนการทดลองประกอบด้วย 3 ส่วนคือ จุดที่อยู่บนแกน 8 จุด จุดที่อยู่บนแกนหลัก 6 จุด และจุดศูนย์กลาง 1 จุด รวมเป็นหน่วยการทดลองทั้งหมด 15 จุด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 หน่วยการทดลองการออกแบบส่วนประกอบกลางทั้ง 15 จุด

หน่วยการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	แรงหนีศูนย์กลาง สัมพัทธ์ที่ใช้เหวี่ยงสลัดน้ำมัน (g)
1	-1 (105)	-1 (10)	-1 (2309)
2	-1 (105)	-1 (10)	1 (4094)
3	-1 (105)	1 (20)	-1 (2309)
4	-1 (105)	1 (20)	1 (4094)
5	1 (115)	-1 (10)	-1 (2309)
6	1 (115)	-1 (10)	1 (4094)
7	1 (115)	1 (20)	-1 (2309)
8	1 (115)	1 (20)	1 (4094)
9	0 (110)	0 (15)	0 (3202)
10	-2 (100)	0 (15)	0 (3202)
11	2 (120)	0 (15)	0 (3202)
12	0 (110)	-2 (5)	0 (3202)
13	0 (110)	2 (25)	0 (3202)
14	0 (110)	0 (15)	-2 (1417)
15	0 (110)	0 (15)	2 (4986)

ที่มา: นิลุบล และ อนุกูล (2549)

นำหน่วยการทดลองทั้งหมด 15 จุด มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน ผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประกอบกลางถูกติดตามผลด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลลำดับสอง (second-order polynomial regression analysis) ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS เพื่อสังเกตค่าตัวแปรของสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดกระเทียมเจียวภายใต้สภาวะสุญญากาศ

$$Y_n = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_2X_3 + b_6X_1X_3 + b_7X_1^2 + b_8X_2^2 + b_nX_3^2$$

เมื่อ Y_n = ค่าตอบสนองที่เกิดจากการแปรค่าตัวแปร

b_0 = ค่าคงที่

b_n = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

X_n = ตัวแปรอิสระ

จากผลการทดลองสภาวะที่เหมาะในการผลิตกระเทียมเจียวภายใต้สุญญากาศที่มีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 2.66 คือ เจียวกระเทียมที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 นาที หมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันด้วยแรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ต่ำสุด 1417 g และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมเจียวสุญญากาศที่มีไขมันต่ำสุดร้อยละ 15.04 คือ เจียวกระเทียมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันด้วยแรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์สูงสุด 4986 g

4.2 การวิเคราะห์ปัจจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคที่มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดจำนวนตัวแปรที่ศึกษาให้น้อยลง โดยทำการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่า กลุ่มปัจจัย ที่ได้จะช่วยให้สามารถอธิบายข้อมูลได้ง่ายขึ้น (กัลยา, 2544)

การวิเคราะห์ปัจจัยยึดหลักที่ว่าการที่ตัวแปรหรือข้อมูลต่างๆ มีความสัมพันธ์กันก็เพราะตัวแปรต่างๆ เหล่านั้นมีปัจจัยร่วมกัน (common factors) ถ้าพบว่าปัจจัยร่วมและตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันสูงแทนที่จะใช้ตัวแปรจำนวนมากๆ อาจใช้ปัจจัยร่วมแทนตัวแปรเหล่านี้ได้ เป็นการลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลง การจับกลุ่มของตัวแปรซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างกันและกันของตัวแปร ทำให้ทราบถึงโครงสร้างและแบบแผนของข้อมูลและหาปัจจัยร่วมของตัวแปรได้ (สุชาติ และ ลัดดาวัลย์, 2527)

ธงชัย และคณะ (2549) ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดของผู้บริโภค โดยการสำรวจผู้บริโภคจำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร กลุ่มตัวอย่างทำการให้คะแนนความสำคัญของตัวแปรทั้งสิ้น 17 ตัวแปร ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดของผู้บริโภค พบว่า ตัวแปรที่มีคะแนนความสำคัญอยู่ในระดับมาก ซึ่งมีอิทธิพลต่อการ

ตัดสินใจซื้อ ได้แก่ 1) ความกรอบของแป้งทอด 2) คงความกรอบได้นาน 3) การเกาะติดชิ้นอาหารหลังทอด 4) รสชาติ 5) ความง่ายในการชุบติดของแป้งเหลว และ 6) การผสมน้ำได้ทันทีไม่ต้องปรุงเพิ่ม และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปัจจัย สามารถจัดกลุ่ม 17 ตัวแปรนี้ได้เป็น 5 ปัจจัย ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 70.87 โดยปัจจัยทั้ง 5 นี้ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านเนื้อสัมผัส 2) ปัจจัยด้านส่วนผสมของวัตถุดิบ 3) ปัจจัยด้านบรรจุภัณฑ์ 4) ปัจจัยสุขภาพ และ 5) ปัจจัยด้านยี่ห้อและลักษณะปรากฏ

4.3 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น สิ่งแรกที่ต้องทำในการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง คือ ค้นหาฟังก์ชันที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามหรือค่าตอบสนองต่อตัวแปรอิสระต่างๆ ซึ่งการค้นหาฟังก์ชันต่างๆ เหล่านี้มักใช้ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล (polynomial) ลำดับต้นๆ เช่น ลำดับหนึ่ง (first order) หรือลำดับสอง (second order) (Montgomery, 2005) สมการลำดับหนึ่งมีแบบหุ่นดังนี้

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \ldots + a_kX_k + \varepsilon$$

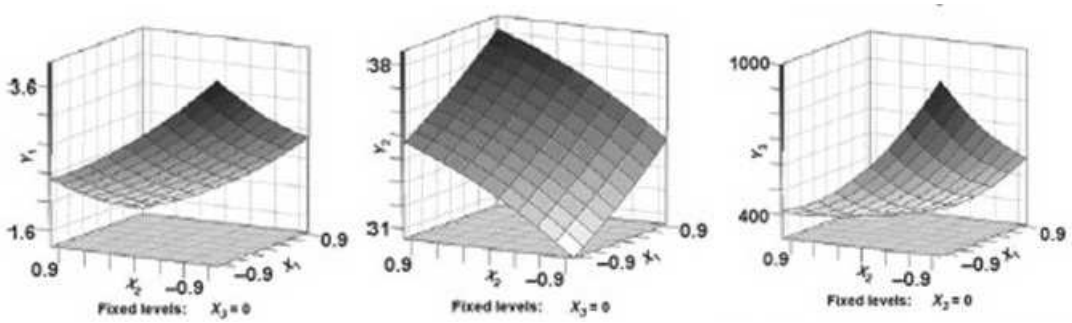
เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม (ค่าตอบสนองหรือค่าคุณภาพที่วัด) $X_1, X_2, \ldots, X_k$ คือ ตัวแปรอิสระซึ่งเป็นปัจจัยเชิงปริมาณที่นำมาศึกษา และ ε คือ ความคลาดเคลื่อน

สำหรับระบบที่มีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งต้องใช้โพลีโนเมียลที่มีลำดับสูงขึ้น เช่น สมการลำดับสอง มีแบบหุ่นดังนี้

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^{K} a_iX_i + \sum_{i=1}^{K} a_{ii}X_i^2 + \sum_{i} \sum_{j} a_{ij}X_iX_j + \varepsilon$$

เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม และ x_{i-j} คือ ตัวแปรอิสระ และ ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Fan *et al.* (2005b) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทอด ความดันสุญญากาศ และเวลาในการทอด ที่มีผลต่อคุณภาพของแครอททอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการทอด ความดันสุญญากาศ และเวลาในการทอด ที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และค่าแรงแตกหัก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดแครอทภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทอดแครอทภายใต้สภาวะสุญญากาศ คือ อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส ความดัน 0.01-0.02 ไมโครปาสคาล เวลา 15 นาที ทำให้มีผลิตภัณฑ์ปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 3 และปริมาณน้ำมนต่ำกว่าร้อยละ 35 ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงรักษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ภาพคอนทรัวร์ของปริมาณความชื้น (Y_1) ปริมาณไขมัน (Y_2) และแรงแตกหัก (Y_3) ของแครอททอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิในการทอด (X_1) ความดันดันสุญญากาศ (X_2) เวลาในการทอด (X_3)

ที่มา: Fan *et al.* (2005b)

4.4 เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นวิธีการทางสถิติที่สกัดหรือเอาโครงสร้างหรือสิ่งที่เหมือนกันออกจากเมตริกซ์ของความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วม (variance-covariance matrix) หรือเมตริกซ์ของความสัมพันธ์ (correlation matrix)โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะแสดงผลของความสัมพันธ์ของข้อมูล PCA สร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลเดิม โดยอธิบายความแปรปรวนได้สูงสุด และให้มีการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด แสดงข้อมูลได้ทั้งในรูปของตารางความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมากับตัวแปรเดิมหรือแสดงในรูปของแผนภาพ

กลุ่มของข้อมูลที่กระจายอยู่ในช่องว่างซึ่งมีสองมิติ หรือมากกว่าแกนแรกซึ่งผ่านข้อมูลมากที่สุดจะเรียกว่า องค์ประกอบที่ 1 (PC 1; the first principal component) สมการของแกนจะประกอบไปด้วยตัวแปรที่สามารถลดความแปรปรวนของกลุ่มข้อมูลได้มากที่สุด แกนที่สองซึ่งตั้งฉากกับแกนที่หนึ่ง เรียกว่า องค์ประกอบที่ 2 (PC 2; the second principal component) ซึ่งจะช่วยลดความแปรปรวนซึ่งอธิบายไม่ได้ที่เหลือมากที่สุด และทำนองเดียวกันกับแกนอื่นโดยใช้หลักการเช่นเดียวกัน

การตรวจสอบข้อมูลเดิมซึ่งจัดกลุ่มไปในองค์ประกอบต่างๆ ที่สร้างขึ้นมาโดยปกติจะอธิบายในแง่ของความแปรปรวนซึ่งถูกอธิบายได้โดยแต่ละองค์ประกอบ และในบางครั้งพบว่าการแสดงผลด้วยแผนภาพจะทำให้มองเห็นความนัยหรือความหมายที่ซ่อนอยู่ได้มากกว่าการพิจารณาผลจากตัวเลขอย่างเดียว การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักนิยมใช้ในการสร้างแผนภาพความชอบในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อหาปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อความชอบและใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่อง (instrument measurement) และข้อมูลจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (อนุวัตร, 2549)

จากการศึกษาของ Axten (2009) ได้ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาน้ำมันหอมระเหยของฮอพ (hop) จำนวน 29 ตัวอย่าง โดยการทดสอบกับผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อจำแนกคุณลักษณะของฮอพ ผลจากการวิเคราะห์พบว่า สามารถลดตัวแปรให้เหลือเพียง 2 องค์ประกอบ และสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ร้อยละ 69 เพื่อใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของตัวอย่าง

4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square เป็นวิธีการที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม กับตัวแปรต้น หลายตัว โดยที่ทำการลดจำนวนข้อมูลของตัวแปรต้นด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบให้มีองค์ประกอบน้อยลงเสียก่อนแล้วนำเอาตัวแปรองค์ประกอบใหม่เหล่านั้น (PCs) ไปวิเคราะห์สมการถดถอยต่อไป แต่วิธีการนี้จะเลือกเพียงบาง PCs โดยพยายามใช้ให้น้อยที่สุด และอธิบายความแปรปรวนให้มากที่สุด (อนุวัตร, 2549)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square มี 2 วิธี คือ วิธี PLS 1 เป็นการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตาม (Y) เพียงตัวเดียว และวิธี PLS 2 เป็นการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตาม (Y) หลายตัวในสมการไปพร้อมๆ กัน

สมการ (model) จะสร้างขึ้นเสมือนเป็นชุดองค์ประกอบของตัวอย่าง (samples) และตัวแปร (variables) แสดงความสัมพันธ์ในรูปแผนภาพ โดยตัวอย่างอธิบายด้วยค่าคะแนน (score) และตัวแปรอธิบายด้วยค่าน้ำหนัก (loading)

ตัวอย่าง จากการศึกษาของ CAMO Software Inc. (2009) ได้ทำการพัฒนาตัวอย่างเครื่องดื่มจำนวน 18 ตัวอย่าง โดยการศึกษาชนิดของสารแต่งกลิ่นรส (A และ B) และปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ 40, 60 และ 80) นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทเชิงพรรณนากับผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนร่วมกับการทดสอบความชอบกับผู้บริโภคจำนวน 180 คน นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์รีเกรซชันแบบ Partial Least Square จากผลการทดลองพบว่า สามารถแบ่งความชอบของผู้บริโภคออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่จะชอบตัวอย่าง A มากกว่าตัวอย่าง B ที่ระดับปริมาณน้ำตาลร้อยละ 60 และปัจจัยที่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคในทางบวก คือ กลิ่นสังเคราะห์ (synthetic) และกลิ่นแลคโทนิค (lactonic odour) และปัจจัยที่มีผลในทางลบคือ กลิ่นสุก (ripe) และกลิ่นซัลฟูริค (sulphuric odour)

4.6 เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล

เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูลเป็นเทคนิคการจำแนกหรือแบ่งกลุ่มหรือแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ส่วนข้อมูลที่อยู่ต่างกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกลักษณะหรือตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มจึงมีความสำคัญ นอกจากนั้นข้อมูลใดข้อมูลหนึ่งจะต้องอยู่ในกลุ่มเพียงกลุ่มเดียว สำหรับการจำแนกกลุ่มตัวแปรจะแบ่งกลุ่มโดยให้ตัวแปรอยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (กัลยา, 2544)

ตัวอย่างจากการศึกษาของ อิทธิพัทธ์ (2551) ได้ทำการจำแนกกลุ่มพุดดิ้งเค้กข้าวหอมมะลิจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวหอมมะลิ ไข่ และนม แตกต่างกัน จากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร (multivariate analysis) วิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล สามารถแบ่งตัวแปรจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ 6 กลุ่ม โดยใช้คุณลักษณะด้านสี ความเคลือบปาก การเป็นเม็ดทราย รสหวานและการกลืน เป็นเกณฑ์ในอธิบายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ
   1.1 เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ จากตลาดสี่มุมเมือง
   1.2 มันปาล์ม ตรามรกต ผลิตโดย บริษัท มรกตอินดัสตรี้ส์ จำกัด (มหาชน)
   1.3 เกลือแกง ตราเกลือปรุงทิพย์ ผลิตโดย บริษัท ปรุงทิพย์ จำกัด
   1.4 กลิ่นรสบาร์บีคิว ผลิตโดย Bakerylands
   1.5 กลิ่นรสสาหร่าย ผลิตโดย บริษัท ฟูดส์ โปรดักส์ จำกัด

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต
   2.1 เครื่องทอดสุญญากาศ (OFM Vacuum fryer, Owner Foods Machinery Co.,LTD)
   2.2 เครื่องบดแป้ง Hammer mill รุ่น AP-S บริษัท Hosokawa Micron Corp. ประเทศญี่ปุ่น
   2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก
   2.4 อุปกรณ์เครื่องครัว

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ
   3.1 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ
      3.1.1 เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น CM-3500d, บริษัท Minolta, ประเทศญี่ปุ่น
      3.1.2 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity) ยี่ห้อ aqualab รุ่น series 3 and 3TE ,US and Canada
      3.1.3 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd รุ่น TA 500, บริษัท Intro Enterprise Co.,LTD, ประเทศอังกฤษ
      3.1.4 เครื่องวัดความหนืดของแป้ง (Rapid Visco Analyzer) รุ่น 4D, บริษัท Newport cientific Pty, Ltd., ประเทศออสเตรเลีย
      3.1.5 ชุดวิเคราะห์กำลังการพองตัว

3.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.2.2 เครื่องสกัดไขมันแบบกลั่น Soxtec รุ่น 2050 Auto System ประเทศสวีเดน

3.2.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับย่อยและกลั่นเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

3.2.4 เตาเผา

3.2.5 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.3.1 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.3.2 แบบสอบถามหรือแบบทดสอบ

3.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS® เวอร์ชั่น 12.0

3.4.3 โปรแกรมสำเร็จรูป STATISTICA® Trail version

3.4.4 โปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler® เวอร์ชั่น 8.0

วิธีการ

1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูลทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร

สำรวจและรวบรวมข้อมูลทางด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอกรอบที่มีจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการคือ สำรวจผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด โดยสำรวจแหล่งจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภคในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 4 แหล่ง คือ ร้านสะดวกซื้อ ซุปเปอร์มาร์เก็ต ร้านขายของฝากและงานแสดงสินค้า ในช่วงเมษายน-มิถุนายน 2551 สำรวจเพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบได้แก่ ตรายี่ห้อ ชนิดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบ กรรมวิธีการผลิต ส่วนประกอบ บรรจุภัณฑ์ ราคา น้ำหนัก ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายและสถานที่จำหน่าย ข้อมูลที่ได้จะนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อไป

2. การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อให้ทราบแนวความคิดและทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบและทราบความต้องการของผู้บริโภคเพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือ 1) การอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค และ 2) การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค

การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยทำการอภิปรายกลุ่มตัวแทนผู้บริโภค (focus group discussion) กับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ชอบรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ ตามขั้นตอนของ (Lawless and Heymann,1999) และแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง เพื่อรวบรวมพฤติกรรม

แนวความคิดและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งกลุ่มผู้บริโภคที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบ ออกเป็น 3 กลุ่มคือ อายุ 15-25 ปี, อายุ 26-35 ปี และอายุมากกว่า 35 ปี กลุ่มละ 8 คน เก็บรวบรวมข้อมูลของผู้บริโภคและบันทึกระหว่างการอภิปราย ข้อมูลที่รวบรวมได้จะนำมาวิเคราะห์ในเชิงพรรณนาและนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการสร้างแบบสอบถามสำหรับการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคในขั้นตอนต่อไป

2.2 การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่อาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.2.1 สร้างแบบสอบถามและทดสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถามจำนวน 30 ชุด จากนั้นทำการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องของแบบสอบถาม

2.2.2 สำรวจผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน เพื่อหาสัดส่วนของประชากรที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบ (p)

2.2.3 กำหนดขนาดตัวอย่างโดยคำนวณจากสูตรการแจกแจงค่าสัดส่วนตัวอย่าง (วรัญญา, 2545) คือ

$$n = Z^2pq / E^2$$

โดยที่ n = ขนาดของตัวอย่าง

p = สัดส่วนของประชากรที่คาดว่าจะรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

q = 1- p

Z = ความเชื่อมั่นที่กำหนด (ร้อยละ 95) = 1.96

E = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ (ร้อยละ 5)

จากการสำรวจเบื้องต้นเพื่อหาสัดส่วนของผู้บริโภคที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 40 คน พบว่า มีผู้บริโภคที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 34 คน และไม่ได้รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 6 คน คิดเป็นสัดส่วนค่า $p = 0.85$ และ $q = 0.15$ เมื่อนำไปแทนค่าในสมการจะได้ขนาดของตัวอย่างจำนวนเท่ากับ 195.92 คน (จากการคำนวณ $n = \{(1.96)^2(0.85)(0.15)\}/ (0.05)^2$) แต่เพื่อความความสะดวกในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล จึงได้ประมาณกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายเท่ากับ 200 คน ในการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.2.4 สำรวจผู้บริโภคจำนวน 200 คน ด้วยแบบสอบถามแสดงดังภาคผนวก จ1 สำหรับการสุ่มตัวอย่างผู้บริโภคนั้น ใช้วิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (multi-stage sampling) โดยมีวิธีการดังนี้

ก. วิธีการสุ่มแบบสุ่มแบ่งชั้น (stratified random sampling) โดยการแบ่งการสุ่มตัวอย่างออกเป็นเพศชายและหญิง และทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามช่วงอายุ 4 กลุ่ม คือ อายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี, อายุ 26-35 ปี, อายุ 36-45 ปี และอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปี

ข. วิธีการสุ่มกำหนดโควตา (quota sampling) โดยจะทำการแบ่งกลุ่มผู้บริโภคออกเป็นกลุ่มจำนวนเท่าๆ กัน ดังนี้ แบ่งเป็นเพศชายและหญิงจำนวนกลุ่มละ 100 คน และแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามช่วงอายุ 4 กลุ่ม คือ อายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี, อายุ 26-35 ปี, อายุ 36-45 ปี และอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปี จำนวนกลุ่มละ 50 คน ดังแสดงในตารางที่ 9 และสุ่มตัวอย่างผู้บริโภคทั้งหมดโดยใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างตามความสะดวก (convenience sampling)

ตารางที่ 9 กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคที่รับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

อายุ (ปี)	เพศ	
	ชาย (คน)	หญิง (คน)
≤ 25	25	25
26 - 35	25	25
36 - 45	25	25
≥ 46	25	25

แบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจความคิดเห็น พฤติกรรมการบริโภค และความต้องการของผู้บริโภค แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมในการรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคประกอบด้วยข้อมูลลักษณะพฤติกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคและการเลือกซื้อผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคและปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ พฤติกรรมในการบริโภค และความต้องการของผู้บริโภค ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาแบบร้อยละ ส่วนข้อมูลด้านปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยการหาค่าเฉลี่ยและคำนวณระดับความสำคัญของปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสนใจต่อผลิตภัณฑ์ ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย และหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางประชากรศาสตร์ (ส่วนที่ 1) กับระดับความคิดเห็นของปัจจัยด้านต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัย ซึ่งจะต้องมีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างของลักษณะทางประชากรศาสตร์ให้มีการกระจายของประชากรในแต่ละกลุ่มที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน จึงจะนำมาศึกษาอิทธิพลของกลุ่มลักษณะประชากรศาสตร์นั้นๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มด้วยสถิติ t-test เมื่อลักษณะประชากรศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม และใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เมื่อลักษณะประชากรศาสตร์มากกว่า 2 กลุ่ม

2.3 การพัฒนาแนวความคิดผลิตภัณฑ์

การพัฒนาแนวความคิดผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทำโดยรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค และการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจากข้อ 2.1 และ 2.2.

นำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ผลเพื่อสร้างเป็นแนวความคิดผลิตภัณฑ์นำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในขั้นตอนต่อไป

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน คือ 1) การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 2) การศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 3) การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ และ 4) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการนำเมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐซึ่งซื้อมาจากตลาดสี่มุมเมือง กรุงเทพมหานคร มาล้างน้ำทำความสะอาด พักให้เมล็ดสะเด็ดน้ำ ลอกเยื่อสีขาวครีมที่หุ้มชั้นนอกออก จากนั้นนำไปลอกเยื่อสีน้ำตาลออกโดยแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5% เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปล้างน้ำและถูเยื่อสีน้ำตาลออกด้วยมือ ล้างด้วยน้ำสะอาด จนหมดคราบลื่นจะได้เมล็ดขนุนมาทำการศึกษาคุณภาพของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศดังนี้

3.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis)

นำเมล็ดขนุนมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบและคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2000) (แสดงดังภาคผนวก ค) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

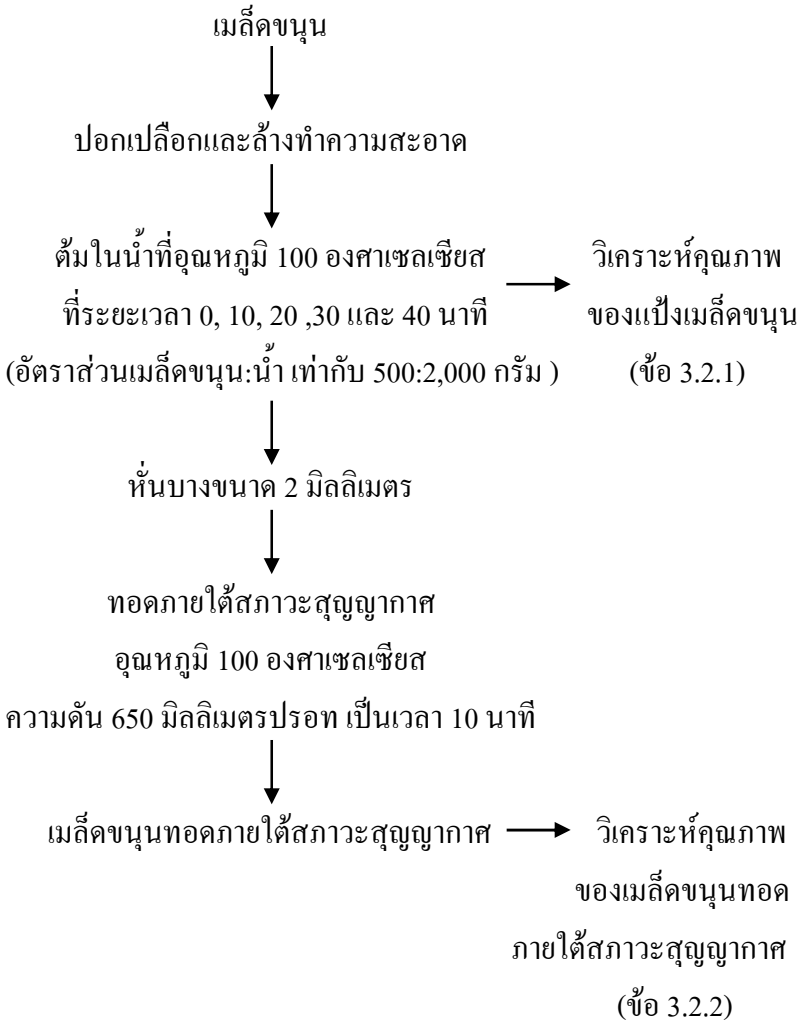
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) = 100 - ร้อยละของ (ความชื้น+โปรตีน+ไขมัน+เถ้า+เส้นใยหยาบ)

3.1.2 ค่าสี

วัดค่าสีในระบบ CIELAB โดยใช้เครื่อง spectrophotometer แหล่งกำเนิดแสง D65 ค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐานค่า x ค่าสีแดงเท่ากับ 81.80 ค่า y ค่าสีเขียวเท่ากับ 82.60 ค่า z ค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 88.30 ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0-100), ค่า a* (+ หมายถึงสีแดง, - หมายถึงสีเขียว) และค่า b* (+ หมายถึงสีเหลือง, - หมายถึงสีน้ำเงิน)

3.2 การศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การศึกษากรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การนำเมล็ดขนุนมาทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น ต้องนำเมล็ดขนุนมาผ่านกรรมวิธีก่อนการทอดคือ การต้ม ก่อนที่จะนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นการศึกษาในขั้นนี้จึงได้ทำการศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ศึกษาระยะเวลาในการต้ม 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 นาที โดยนำเมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด แล้วนำไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาต่างๆ (ใช้เมล็ดขนุน 500 กรัม ต่อน้ำ 2,000 กรัม) สำหรับขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมล็ดขนุนที่ระยะเวลาในการต้มต่างกันจำนวน 5 สิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

3.2.1 การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุน

นำเมล็ดขนุนที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน (0, 10, 20, 30 และ 40 นาที) ไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 นำเมล็ดขนุนไปบด

ด้วยเครื่องบดแป้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้แป้งจากเมล็ดขนุน นำมาศึกษาคุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

ก. ค่าคุณภาพทางเคมี

1) ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

ข. ค่าคุณภาพทางกายภาพ

1) การวิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลาย (swelling power and solubility determination) ตามวิธีการของ Schoch (1967)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที คนตลอดเวลา แล้วนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ใช้ปิเปตดูดสารละลายส่วนใสใส่ในภาชนะที่ทราบน้ำหนักคงที่ นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแป้งที่ผ่านการอบจนแห้งจากส่วนใสที่ดูดออก (W_{sb}) เพื่อหาปริมาณแป้งที่ละลายน้ำ และชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอนจะได้น้ำหนักของแป้งที่พองตัว (W_{sp}) นำมาคำนวณร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว

ร้อยละการละลาย (WSI)

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักปริมาณแป้งที่ละลายน้ำ } (W_{sb}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (db)}}$$

ร้อยละกำลังการพองตัว (WSP)

$$\text{WSP (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแป้งที่พองตัว } (W_{sp}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (db)} \times (100 - \%\text{WSI})}$$

2) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด

นำตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 จำนวน 3 กรัม และตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25 ± 0.05 กรัม ใส่ในกระบอก (can) ของเครื่องวัดความหนืดของแป้ง แล้วทำการวัดค่าความหนืดของแป้งเมล็ดขนุนจนกระทั่งวัดค่าเสร็จทำการบันทึกค่าดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (breakdown) และค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough)

3.2.1 การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

นำเมล็ดขนุนที่ศึกษาระยะเวลาในการต้ม 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 นาที จำนวน 5 สิ่งทดลอง มาหั่นบางขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 650 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 10 นาที แสดงขั้นตอนดังภาพที่ 8 แล้วนำไปวัดค่าคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

ก. ค่าคุณภาพทางเคมี

1) ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

2) ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

ข. ค่าคุณภาพทางกายภาพ

1) ค่าสี ตามวิธีการข้อ 3.1.2

2) การขยายตัว (expansion) สุ่มตัวอย่างทั้งก่อนทอดและหลังทอดมาอย่างละ 10 ชิ้น วัดขนาดความหนาโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ที่มีความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณหาร้อยละการขยายตัว

$$\text{การขยายตัว (ร้อยละ)} = \frac{\text{ความหนาของผลิตภัณฑ์หลังทอด}}{\text{ความหนาของผลิตภัณฑ์ก่อนทอด}} \times 100$$

3) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

นำตัวอย่างไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น แล้วนำมาใส่ในตลับพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 เซนติเมตร สูง 1.2 เซนติเมตร แล้วนำตลับไปใส่ในตลับ (chamber) ของเครื่อง อ่านค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

4) ค่าเนื้อสัมผัส

ทำการวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของ Lloyd รุ่น TA 500 โดยใช้หัวกดแบบหัวบอล (ball probe) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และฐานรองรับรูปทรงกระบอกกรวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งทำให้ตัวอย่างแตก ทดสอบจำนวน 10 ซ้ำ บันทึกค่าความแข็ง (hardness) มีหน่วยเป็นนิวตัน ค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป (work) มีหน่วยเป็นมิลลิจูล และค่าระยะทางแตกหัก (distance of breaking) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ค. ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน (0, 10, 20, 30 และ 40 นาที) ด้วยวิธีการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (สเกลคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็งและความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 30 คน ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อหาคะแนนความชอบเฉลี่ยของ

แต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อใช้คัดเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเมล็ดขนุนก่อนนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3.3 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 3.2 จากผลการทดลองดังกล่าวจะได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเมล็ดขนุนก่อนนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศดังแสดงในภาพที่ 8 และจากการวิจัยเบื้องต้นนอกจากนี้พบว่า ยังมีปัจจัยอื่นหลังจากการต้มเมล็ดขนุนก่อนการทอดที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นในขั้นนี้จึงได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อจะที่ได้กรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยต่างๆ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีอยู่ด้วยกัน 7 ปัจจัย คือ ความหนาของตัวอย่าง ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ความดันสุญญากาศ เวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน และความดันในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน

จากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน (Plackett and Burman design) ศึกษาปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัย คือ ความหนาของตัวอย่าง ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ความดันสุญญากาศ เวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน และความดันในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน โดยการศึกษาระดับของปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) แสดงดังตารางที่ 10 เลือกแบบแผนจำนวนสิ่งทดลอง (N) เท่ากับ 12 ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัย	ระดับ	
	สูง (+)	ต่ำ (-)
1. ความหนาของตัวอย่าง	4 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร
2. ระยะเวลาในการอบแห้ง	30 นาที	0 นาที
3. อุณหภูมิในการทอด	120 องศาเซลเซียส	100 องศาเซลเซียส
4. เวลาในการทอด	12 นาที	8 นาที
5. ความดันสุญญากาศ	700 มิลลิเมตรปรอท	600 มิลลิเมตรปรอท
6. เวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	10 นาที	5 นาที
7. ความดันในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	700 มล.ปรอท	600 มล.ปรอท

ตารางที่ 11 แผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมนกำหนดให้จำนวนสิ่งทดลอง เท่ากับ 12

ปัจจัย *	สิ่งทดลอง											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ความหนาตัวอย่าง	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-
ระยะเวลาในการอบแห้ง	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-
อุณหภูมิในการทอด	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
เวลาในการทอด	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-
ความดันสุญญากาศ	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-
เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-
ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-

หมายเหตุ * กำหนดให้ระดับของปัจจัยเท่ากับ + ระดับสูง และ - ระดับต่ำ

สิ่งทดลองจำนวน 12 สิ่งทดลองที่ได้จากการศึกษาการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพในด้านต่างๆดังนี้

3.3.1 ค่าคุณภาพทางเคมี

ก. ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

ข. ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

3.3.2 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

ก. ค่าสี ตามวิธีการข้อ 3.1.2

ข. ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ตามวิธีการข้อ 3.2.1 ข. 3)

ค. ค่าเนื้อสัมผัส ตามวิธีการข้อ 3.2.1 ข. 4)

จากผลการศึกษาการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมนข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพเคมีและกายภาพ นำมาวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย (effect) เพื่อคำนวณอิทธิของปัจจัยต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ และคำนวณค่า p-value เพื่อคำนวณความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละปัจจัย (ไพโรจน์, 2545) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะสามารถกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถกำหนดกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อไป

สำหรับการคำนวณอิทธิพลของของปัจจัย สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{อิทธิพลของปัจจัย} = \left[\frac{\text{ผลตอบสนองจากการใช้ระดับสูง}}{\text{จำนวนสิ่งทดลองที่ระดับสูง}}\right] - \left[\frac{\text{ผลตอบสนองจากการใช้ระดับต่ำ}}{\text{จำนวนสิ่งทดลองที่ระดับต่ำ}}\right]$$

และการคำนวณ p-value ของอิทธิพลของปัจจัยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ค่า p-value} = \frac{\text{อิทธิพลของปัจจัย}}{\text{ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error of effect)}}$$

3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 3.3 จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะสามารถกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงได้กำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย ที่ได้การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำปัจจัยดังกล่าวมาผันแปรเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการวางแผนการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัยๆ คือ X_1, X_2 และ X_3 ทำการศึกษาปัจจัยละ 3 ระดับคือ ต่ำ (-1) ปานกลาง(0) และสูง (+) ดังตารางที่ 12 และทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 3 ซ้ำ จะได้สิ่งทดลองทั้งหมดจำนวน 15 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ตัวแปรเข้ารหัสของปัจจัยในแผนการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง

ปัจจัย *	ตัวแปรเข้ารหัส		
	-1	0	+1
X_1	-1	0	+1
X_2	-1	0	+1
X_3	-1	0	+1

หมายเหตุ * กำหนดให้ X_1, X_2 และ X_3 คือ ปัจจัยที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 13 แผนผังการออกแบบส่วนประสมกลาง

สิ่งทดลอง	ตัวแปรเข้ารหัสของแต่ละปัจจัย *		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	0	-1	-1
6	0	-1	1
7	0	1	-1
8	0	1	1
9	-1	0	-1
10	1	0	-1
11	-1	0	1
12	1	0	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

หมายเหตุ * กำหนดให้ X_1, X_2 และ X_3 คือ ปัจจัยที่ทำการศึกษา

สิ่งทดลองจำนวน 15 สิ่งทดลองที่ได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพในด้านต่างๆดังนี้

3.4.1 ค่าคุณภาพทางเคมี

ก. ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

ข. ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000) (ดังภาคผนวก ค)

3.4.2 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

ก. ค่าสี ตามวิธีการข้อ 3.1.2

ข. ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ตามวิธีการข้อ 3.2.1 ข. 3)

ค. ค่าเนื้อสัมผัส ตามวิธีการข้อ 3.2.1 ข. 4)

3.4.3 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวน 15 สิ่งทดลอง โดยการจัดแผนการทดสอบแบบสุ่มในบลอคไม่สมบูรณ์สมดุลย์ (Balanced Incomplete Block design; BIB) (กำหนด t = 15, k = 3, r = 7, b = 35, λ = 1) ทำซ้ำ 5 ชุดการทดลอง สุ่มแบบอิสระต่อกัน โดยให้ผู้ทดสอบแต่ละคนเป็นบลอค ซึ่งรวมผู้ทดสอบทั้งหมดจำนวน 175 คน ผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้รับ 3 ตัวอย่างจากทั้งหมด 15 ตัวอย่าง (แสดงแผนการจัดหน่วยการทดลองในภาคผนวก ข2) ทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (สเกลคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็งและความชอบรวม วิเคราะห์คะแนนความชอบเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่อใช้คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองทั้ง 15 สิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS® เวอร์ชั่น 12.0, STATISTICA® Trail version และโปรแกรม The Unscrambler® เวอร์ชั่น 8.0 เพื่อสรุปข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในลำดับต่อไป โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังต่อไปนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของสิ่งทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.5.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองโดยสร้างสมการลำดับที่สองเพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพกับปัจจัยที่ศึกษา นำมาสร้างกราฟคอนทัวร์เพื่อหาจุดที่เหมาะสม ดังสมการ

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3$$

เมื่อ y คือ คุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ X_1, X_2, X_3 คือ ตัวแปรอิสระซึ่งเป็นปัจจัยเชิงปริมาณที่นำมาศึกษาวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองจากสมการถดถอยที่มีค่าสัดส่วนความแปรปรวน (R^2) ตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป

3.5.3 การจัดกลุ่มสิ่งทดลองด้วยวิธีการจำแนกกลุ่มข้อมูล เพื่อแบ่งกลุ่มสิ่งทดลองที่มีค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพเหมือนกันหรือคล้ายกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน

3.5.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งทดลองกับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแต่ละกลุ่มสิ่งทดลอง

3.5.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธี Partial Least Squares Analysis แบบ PLS1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งทดลอง ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับความชอบโดยรวมในรูปแผนภาพความชอบ (preference mapping) โดยเลือกการสร้างกราฟแบบ biplot (scores and loading)

3.6 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3.6.1 หาขอบเขตของสภาวะการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศที่เหมาะสม โดยการนำกราฟคอนทัวร์ของค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบที่มีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไปมาซ้อนทับกันเพื่อหาขอบเขตที่เหมาะสมของสภาวะในการทอด ได้แก่ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศ

3.6.2 แผนผังความชอบที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Partial Least Square จากข้อ 3.5.5 จะนำมาใช้คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม พิจารณาร่วมกับการหาขอบเขตของสภาวะที่เหมาะสมจากการซ้อนทับกราฟคอนทัวร์ ข้อ 3.6.1 เพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความชอบรวมกับคุณลักษณะต่างๆได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมถึงสามารถแสดงความสัมพันธ์ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ได้รับความชอบรวมมากหรือน้อยที่แตกต่างกันได้ง่ายขึ้น

3.6.3 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่เกิดจากการซ้อนทับกันของกราฟคอนทัวร์จากข้อ 3.6.1 โดยกำหนดจุดที่ศึกษาภายในพื้นที่ดังกล่าวนำสิ่งทดลองไปทำการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (สเกลคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ร่วมกับการทดสอบความพอดี (just about right scale) (สเกลคะแนน 1 = น้อยที่สุด, 5 = มากที่สุด)โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทดสอบความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม สภาวะที่ถูกคัดเลือกจะนำไปศึกษาสารปรุงแต่งกลิ่นรสและปริมาณที่เหมาะสมในขั้นถัดไป

4. การศึกษาสารปรุงแต่งกลิ่นรสและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 3 จากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้ทราบถึงกรรมวิธีการผลิตและสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาศึกษาสารปรุงแต่งกลิ่นรสและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอนคือ 1) การคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ และ 2) การศึกษาปริมาณสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

คัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภคและการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 2 โดยให้ผู้บริโภคเรียงลำดับกลิ่นรสตามความชอบในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ คัดเลือกกลิ่นรสที่ผู้บริโภคต้องการ 5 กลิ่นรส

การคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยนำตัวอย่างทั้ง 5 สิ่งทดลองที่ได้ปรุงแต่งกลิ่นรสแล้วไปคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรส โดยการทดสอบให้เรียงลำดับความชอบ (ranking) ในด้านรสชาติ (สเกลคะแนน 1 = ชอบน้อยที่สุด, 5 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 50 คน ณ ห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบ Multiple ranking ด้วยวิธี Friedman's test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี LSD (ดังภาคผนวก ข3) เพื่อคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

4.2 การศึกษาปริมาณสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากผลการศึกษาการคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 4.1 นำกลิ่นรสที่ได้มาศึกษาปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ หลังจากนั้นนำเมล็ดทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ได้ปรุงแต่งกลิ่นรสมาทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (สเกลคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด)โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทดสอบความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม ปริมาณสารปรุงแต่งกลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปริมาณกลิ่นรสที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

5. การศึกษาคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

5.1 ค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และค่าเนื้อสัมผัส ตามวิธีการข้อ 3.1.2, 3.2.1 ข. 3) และ 3.2.1 ข. 4) ตามลำดับ

5.2 ค่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีนไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบและคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2000) (ดังภาคผนวก ค)

6. การคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

คำนวณต้นทุนโดยรวมของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยคำนวณต้นทุนวัตถุดิบและค่าภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์ (วิทยาลัยการจัดการ, 2548)

7. การศึกษาความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ทดสอบความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยทดสอบกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบ ที่มีอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป จำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยวิธีการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (สเกลคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) แบบสอบถามแสดงในภาคผนวก จ5 ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวกนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความถี่ ร้อยละและค่าเฉลี่ยของความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและสร้างแบบจำลองทำนายการยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค (logistic regression analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามได้แก่ การยอมรับผลิตภัณฑ์ และตัวแปรอิสระได้แก่ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม

8. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. ระยะเวลาทำการวิจัย

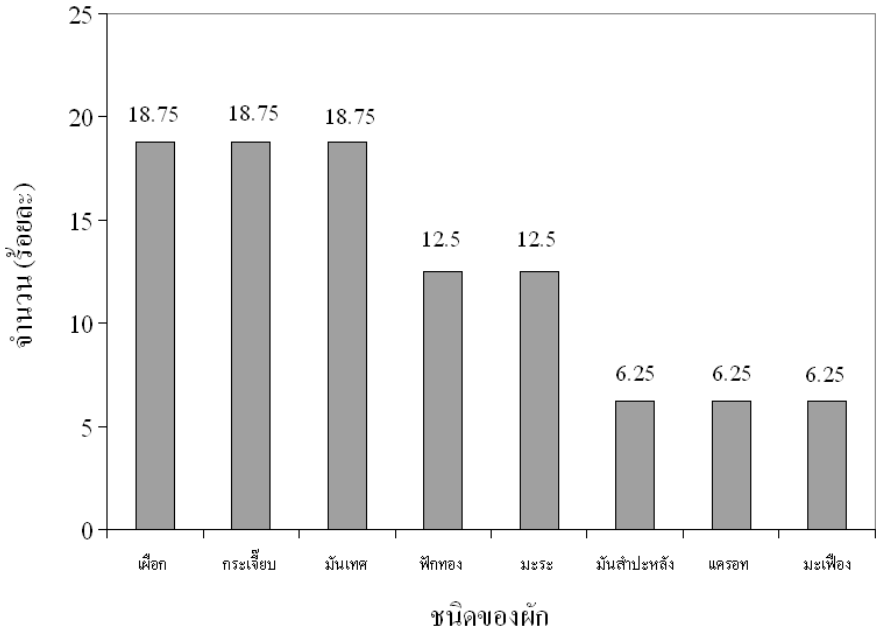
ระยะเวลาเริ่มต้นตั้งแต่ เดือนมิถุนายน 2551 และสิ้นสุดเดือนเมษายน 2552

ผลและวิจารณ์

1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูลทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร

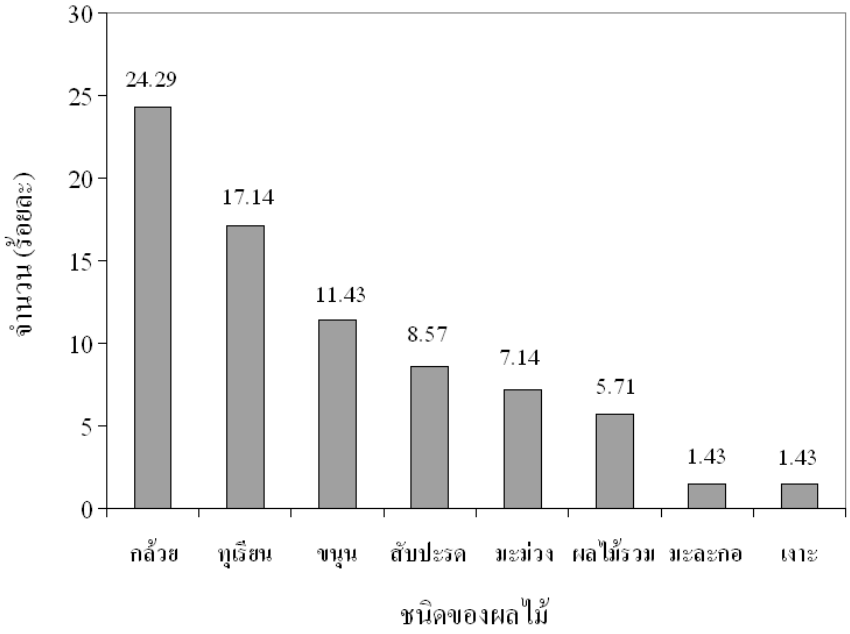
สำรวจผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาดในกรุงเทพมหานคร ระหว่างช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551 โดยสำรวจผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในร้านสะดวกซื้อ ซุปเปอร์มาร์เก็ต ร้านขายของฝากและงานแสดงสินค้า โดยเก็บข้อมูลในด้านต่างๆ ได้แก่ ตรายี่ห้อ ชนิดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบ กรรมวิธีการผลิต ส่วนประกอบ บรรจุภัณฑ์ ราคาจำหน่าย น้ำหนักและผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย (แสดงดังตารางผนวกที่ ก1) ผลการสำรวจตลาดพบว่ามีผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 13 ตรายี่ห้อ จำนวน 70 ผลิตภัณฑ์ (แบ่งออกเป็นผลไม้ 54 ผลิตภัณฑ์ และผัก 16 ผลิตภัณฑ์) จากข้อมูลในตารางดังกล่าวได้แบ่งผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ 3 กลุ่มคือ 1) แบ่งตามชนิดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบ 2) แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต และ 3) แบ่งตามชนิดของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีรายะเอียดดังต่อไปนี้

1.1 แบ่งตามชนิดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบ ได้แก่ ชนิดของผัก (ร้อยละ 22.86) เช่น เผือก กระเจี๊ยบ มันสำปะหลัง มันเทศ ฟักทอง มะระ แครอท และมะเฟือง ดังภาพที่ 9 และชนิดของผลไม้ (ร้อยละ 77.14) เช่น กล้วย ทุเรียน ขนุน สับปะรด มะละกอ มะม่วง เงาะ และผลไม้รวม ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามชนิดของผักจำนวน 54 ผลิตภัณฑ์ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551

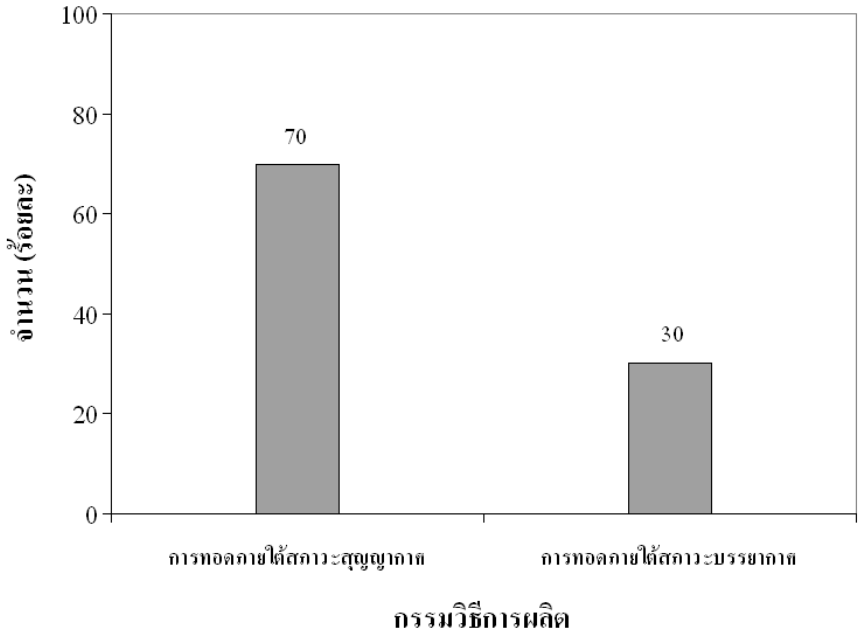
จากภาพที่ 9 การแบ่งตามชนิดของผัก สรุปได้ว่า ชนิดของผลไม้ที่นิยมนำมาผลิตมากที่สุดคือ เผือก กระเจี๊ยบ และมันเทศ คิดเป็นร้อยละ 18.75 เท่ากัน



ภาพที่ 10 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามชนิดของผลไม้จำนวน 16 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551

จากภาพที่ 10 การแบ่งตามชนิดของผลไม้ สรุปได้ว่า ชนิดของผลไม้ที่นิยมนำมาผลิตมากที่สุดคือ กล้วย คิดเป็นร้อยละ 24.29 รองลงมาคือ ทุเรียน และขนุน คิดเป็นร้อยละ 17.14 และ 11.43 ตามลำดับ

1.2 แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต ได้แก่ การทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศและการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังภาพที่ 11



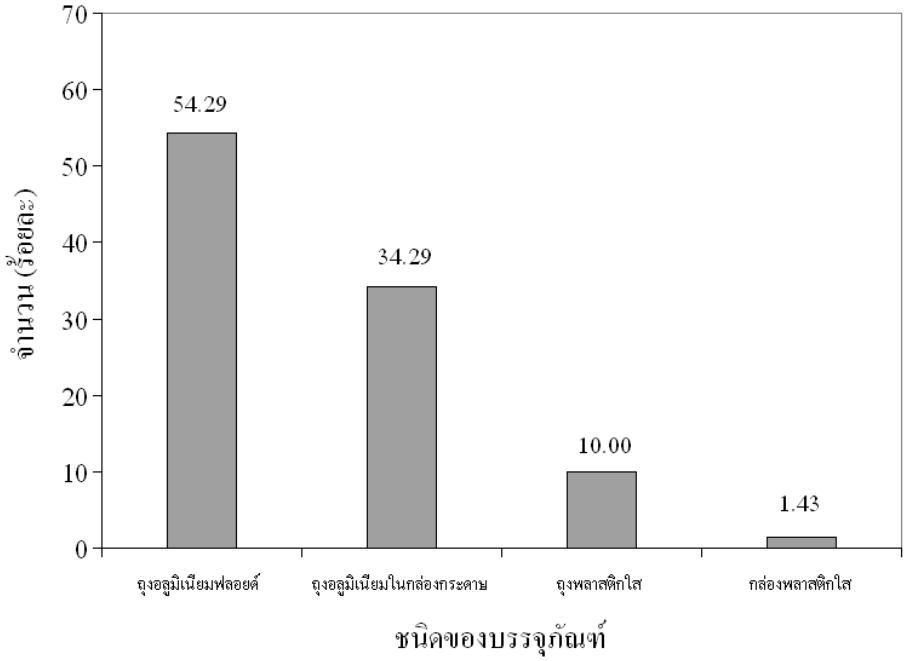
ภาพที่ 11 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามกรรมวิธีการผลิตจำนวน70 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551

จากภาพที่ 11 การแบ่งตามกรรมวิธีการผลิต สรุปได้ว่า กรรมวิธีการผลิตส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบคือ การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ คิดเป็นร้อยละ 70 และการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศคิดเป็นร้อยละ 30

จากผลการสำรวจผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบพบว่า วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นส่วนใหญ่นั้นจะพบเฉพาะผักหรือผลไม้บางประเภทเท่านั้น โดยผักหรือผลไม้ที่นิยมนำมาแปรรูปและมีจำหน่ายโดยทั่วไป ได้แก่ ทุเรียน กล้วย มัน เผือก ขนุน และฟักทอง นอกจากนั้นยังมีผักหรือผลไม้ชนิดอื่นที่นำมาแปรรูปด้วยเช่นกัน ได้แก่ มะม่วง กระเจี๊ยบ มะระ เงาะ แครอท และมะเฟือง แต่จะพบว่า สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างผักหรือผลไม้ใน 2 กลุ่มนี้ คือ กระบวนการแปรรูปผักหรือผลไม้ ซึ่งจะพบว่า การแปรรูปผักหรือผลไม้ทอดกรอบจะมีวิธีการแปรรูปอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ การทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศและการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ สำหรับการทอด

ภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้นโดยส่วนใหญ่จะพบเฉพาะผักหรือผลไม้ทอดในกลุ่มแรกเท่านั้น สำหรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มักจะเป็นผักหรือผลไม้ที่มีส่วนประกอบหลักคือ แป้ง ซึ่งจะเหมาะกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ แต่สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นจะพบได้ในผักหรือผลไม้ทอดทั้ง 2 กลุ่ม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่ 2 นั้นเป็นผักหรือผลไม้ที่ไม่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมักจะมีความชื้น น้ำตาลหรือเส้นใยในผลิตภัณฑ์สูง ทำให้การแปรรูปด้วยเทคโนโลยีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้

1.3 แบ่งตามชนิดของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขวดพลาสติก ถุงพลาสติกใส ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ และกล่องพลาสติกใส ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำแนกตามชนิดของบรรจุภัณฑ์จำนวน 70 ผลิตภัณฑ์ ที่สำรวจในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551

จากภาพที่ 12 การแบ่งตามชนิดของบรรจุภัณฑ์ สรุปได้ว่า บรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบคือ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์คิดเป็นร้อยละ 54.29 รองลงมาคือ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ คิดเป็นร้อยละ 34.39

บรรจุภัณฑ์ของผักหรือผลไม้ทอดกรอบ พบว่า จะสามารถแบ่งออกได้ตามกระบวนการทอดเช่นกัน สำหรับชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่พบในท้องตลาดได้แก่ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ ถุงพลาสติกใสและกล่องพลาสติกใส โดยผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้น โดยส่วนใหญ่จะบรรจุในถุงพลาสติกใสหรือกล่องพลาสติกใส ในขณะที่การแปรรูปด้วยการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น โดยส่วนใหญ่จะบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์หรือถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ

เมื่อพิจารณาถึงราคาและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ พบว่า ก็แตกต่างด้วยเช่นกัน สำหรับผักหรือผลไม้ที่แปรรูปด้วยการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้นจะมีราคาถูกและน้ำหนักมากกว่าผักหรือผลไม้ที่แปรรูปด้วยการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่า รวมถึงชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ โดยราคาของผักหรือผลไม้ในกลุ่มจะอยู่ในช่วงราคาตั้งแต่ 10-100 บาท ต่อน้ำหนักตั้งแต่ 50-250 กรัม เมื่อพิจารณาดูจะพบว่า ปริมาณและบรรจุภัณฑ์ของผักหรือผลไม้ทอดในกลุ่มนี้จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกปริมาณน้อยเหมาะสำหรับการรับประทานหมดภายในครั้งเดียว และกลุ่มสองปริมาณมากเหมาะสำหรับการรับประทานหลายครั้ง สำหรับผักหรือผลไม้ที่แปรรูปด้วยการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีราคาที่แพงกว่าโดยราคาจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 30-50 บาท ต่อนำหนักตั้งแต่ 30-100 กรัม และเมื่อพิจารณาปริมาณและบรรจุภัณฑ์จะพบว่าโดยส่วนใหญ่จะเป็นแบบกลุ่มที่แรกคือ มีปริมาณน้อยเหมาะสำหรับการรับประทานหมดภายในครั้งเดียว

จากการพิจารณาข้อมูลทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบพบว่าตลาดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบในปัจจุบันนี้มีโอกาสในการเติบโตในท้องตลาดเช่นเดียวกับตลาดขนมขบเคี้ยว เนื่องจากตลาดขนมขบเคี้ยวเริ่มอิ่มตัวและผู้บริโภคได้หันมาให้ความสนใจกับตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ ทำให้การนำผักหรือผลไม้มาแปรรูปด้วยการทอดสุญญากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร ดังนั้นจึงเห็นว่าการผลิตผักหรือผลไม้ทอดกรอบในปัจจุบันควรหันมาใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่ทันสมัยขึ้น โดยกระบวนการทอดผักหรือผลไม้ภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีขึ้น รวมทั้งมีการพัฒนาในเรื่องของผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ การปรุงรสและบรรจุภัณฑ์ ที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้

2. การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ผลจากการศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค และข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถาม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค

จากการอธิปรายกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่รับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 3 กลุ่ม โดยแบ่งเป็นช่วงอายุระหว่าง 15-25, 26-35 และมากกว่า 35 ปี กลุ่มละ 8 คน เพื่อสำรวจพฤติกรรม ทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ จากการอธิปรายได้ผลสำรวจดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 พฤติกรรม ทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภค 3 ช่วงกลุ่มอายุ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจากการอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค

พฤติกรรมและทัศนคติ	กลุ่มอายุ		
	15-25 ปี	26-35 ปี	มากกว่า 35 ปี
1. พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ			
1.1 ชนิดของผักที่เคยรับประทาน	- มันฝรั่ง (8) - ฟักทอง (4) - เผือก (4) - เห็ด (2)	- มันฝรั่ง (8) - ฟักทอง (8) - ถั่ว (8) - เผือก (8) - มันเทศ (6) - แครอท (2) - เห็ด (2) - หอมหัวใหญ่ (1)	- มันฝรั่ง (8) - ฟักทอง (8) - ถั่ว (8) - เผือก (8) - มันเทศ (5) - กระเจี๊ยบ (2) - สุกินี่ (1)
1.2 ชนิดของผลไม้ที่เคยรับประทาน	- กล้วย (8) - ทุเรียน (8) - ขนุน (5) - สับปะรด (1)	- กล้วย (8) - ทุเรียน (8) - ขนุน (7) - สับปะรด (1) - แอปเปิ้ล (1)	- กล้วย (8) - ทุเรียน (8) - ขนุน (8) - มะละกอ (1) - แอปเปิ้ล (1) - สับปะรด (1)
1.3 เหตุผลในการซื้อ	- รับประทานยามว่าง (7) - ชอบรับประทาน (6) - รสชาติ (5) - บรรจุภัณฑ์ (4) - ความแปลกใหม่ (4)	- ชอบรับประทาน (6) - รสชาติ (4) - ราคา (4) - เป็นของฝาก (4) - คุณค่าทางอาหาร (2) - บรรจุภัณฑ์ (1)	- ชอบรับประทาน (7) - รสชาติ (7) - ราคา (3) - เป็นของฝาก (3) - คุณค่าทางอาหาร (2)
1.4 ชนิดของบรรจุภัณฑ์ของผักหรือผลไม้	- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (6) - ถุงพลาสติกใส (5) - ถุงกระดาษ (3) - กล่องกระดาษ (2) - ถาดโฟม (1)	- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (6) - ถุงพลาสติกใส (6) - กล่องกระดาษ (3) - ถุงกระดาษ (3) - ขวดพลาสติกใส (2) - กล่องพลาสติก (1)	- ถุงพลาสติกใส (8) - ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (5) - ถุงกระดาษ (4) - กล่องกระดาษ (4) - ขวดพลาสติกใส (1)

ตารางที่ 14 (ต่อ)

พฤติกรรมและทัศนคติ	กลุ่มอายุ		
	15-25 ปี	26-35 ปี	มากกว่า 35 ปี
1.5 ความถี่ในการบริโภค	- เดือนละ 1-2 ครั้ง (6) - อาทิตย์ละ 1-2 ครั้ง (2)	- อาทิตย์ละ 1-2 ครั้ง (2) - อาทิตย์ละ 3-5 ครั้ง (2) - เดือนละ 1-2 ครั้ง (2) - นานๆ ครั้ง (2)	- อาทิตย์ละ 1-2 ครั้ง (3) - เดือนละ 1-2 ครั้ง (3) - นานๆ ครั้ง (2)
1.6 ค่าใช้จ่ายในการซื้อรับประทานต่อครั้ง	- 20-50 บาท (8) - 100-200 บาท (1)	- 20-50 บาท (8) - 100-200 บาท (4)	- 20-50 บาท (8) - 100-200 บาท (3)
1.7 น้ำหนักสุทธิ	- 50-100 กรัม (8) - 100-500 กรัม (2)	- 50-100 กรัม (8) - 100-500 กรัม (3)	- 50-100 กรัม (7) - 100-500 กรัม (3)
1.8 สถานที่ซื้อ	- ร้านสะดวกซื้อ (5) - ร้านขายของฝาก (3) - ซุปเปอร์มาร์เก็ต (2) - ตลาดสด (2)	- ซุปเปอร์มาร์เก็ต (5) - ร้านสะดวกซื้อ (4) - ร้านขายของฝาก (4) - งานแสดงสินค้า (3) - ตลาดสด (3)	- ซุปเปอร์มาร์เก็ต (6) - ร้านขายของฝาก (6) - งานแสดงสินค้า (5) - ร้านสะดวกซื้อ (4) - ตลาดสด (4)
1.9 ปัญหาที่พบ	- ไม่กรอบ (6) - มีกลิ่นหืน (6) - อมน้ำมัน (5) - ไม่อร่อย (4) - แข็งเกินไป (3) - ขนาดไม่พอดีคำ (2) - บรรจุภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน (1)	- อมน้ำมัน (7) - มีกลิ่นหืน (6) - ไม่กรอบ (3) - แข็งเกินไป (3) - บรรจุภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน (1)	- อมน้ำมัน (8) - มีกลิ่นหืน (5) - ไม่กรอบ (5) - แข็งเกินไป (3) - บรรจุภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน (2)

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ความต้องการ	กลุ่มอายุ		
	15-25 ปี	26-35 ปี	มากกว่า 35 ปี
2. ความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ			
2.1 การรับประทานผักหรือผลไม้ทอดสุญญากาศ	- เคย (5) - ไม่เคย (3)	- เคย (7) - ไม่เคย (1)	- เคย (8)
2.2 ชนิดของผักที่เคยรับประทาน	-	- แครอท (2)	- กระเจี๊ยบ (2)
2.3 ชนิดของผลไม้ที่เคยรับประทาน	- กล้วย (4) - ทุเรียน (3) - ขนุน (2)	- ทุเรียน (5) - กล้วย (5) - ขนุน (4) - แครอท (2) - สับปะรด (1)	- กล้วย (5) - ทุเรียน (4) - ขนุน (4) - แอปเปิ้ล (1) - มะละกอ (1)
2.4 ความรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์	- แปลกใหม่ (7) - ไม่อมน้ำมัน (6) - ไม่มีกลิ่นหืน (5) - รสชาติดี (4) - ราคาสูงกว่า (4) - คงคุณค่าทางอาหาร (3) - สีสวย (3) - กรอบพอดี (2)	- ไม่อมน้ำมัน (6) - ไม่มีกลิ่นหืน (6) - คงคุณค่าทางอาหาร (5) - รสชาติดี (5) - ราคาสูงกว่า (5) - แปลกใหม่ (3)	- ไม่อมน้ำมัน (5) - ไม่มีกลิ่นหืน (5) - คงคุณค่าทางอาหาร (4) - ราคาสูงกว่า (4) - รสชาติดี (3) - แปลกใหม่ (3)
2.5 คุณลักษณะที่ต้องการ	- เป็นแผ่นบาง (6) - เป็นแว่น (2)	- เป็นแผ่นบาง (5) - เป็นแว่น (2) - ทั้งเมล็ด (1)	- เป็นแผ่นบาง (6) - ทั้งเมล็ด (2)
2.6 การปรุงรส	- ต้องการ (8)	- ต้องการ (6) - ไม่ต้องการ (2)	- ต้องการ (7) - ไม่ต้องการ (1)

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ความต้องการ	กลุ่มอายุ		
	15-25 ปี	26-35 ปี	มากกว่า 35 ปี
2.7 รสชาติที่ต้องการ	- เกลือ (5) - ชีส (3) - สาหร่าย (3) - คาราเมล (3) - บาร์บีคิว (2) - ซินนามอน (2) - ซาวครีมและหัวหอม (1)	- เกลือ (6) - น้ำตาล (4) - สาหร่าย (4) - กระเทียม (3) - คาราเมล (2)	- เกลือ (6) - คาราเมล (2) - พริกไทย (1) - บาร์บีคิว (1) - สาหร่าย (1)
2.8 รูปแบบของบรรจุภัณฑ์	- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (5) - ถุงกระดาษ (2) - ถุงพลาสติกใส (1)	- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (7) - ถุงกระดาษ (1)	- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (5) - ถุงกระดาษ (3)
2.9 ราคาของบรรจุภัณฑ์	- 20-50 บาท (8)	- 20-50 บาท (6) - 50-100 บาท (2)	- 20-50 บาท (7) - 50-100 บาท (1)
2.10 ปริมาณของบรรจุภัณฑ์	-20-50 กรัม (8)	- 20-50 กรัม (6) - 50-100 กรัม (2)	- 20-50 กรัม (6) - 50-100 กรัม (2)

หมายเหตุ ตัวเลขที่อยู่ใน ( ) หมายถึงจำนวนผู้ที่ตอบ

จากการอธิปรายกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่รับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 3 กลุ่ม โดยแบ่งเป็นช่วงอายุระหว่าง 15-25, 26-35 และมากกว่า 35 ปี ดังตารางที่ 14 พบว่า ผู้บริโภคทั้ง 3 กลุ่มให้ความสนใจผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ สำหรับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการคือ เมล็ดขนุนหั่นเป็นแผ่นบาง ขนาดพอดีคำ นำไปทอดมีสีเหลือง กรอบ มีการปรุงรสเพื่อเพิ่มรสชาติ บรรจุในภาชนะที่สะดวกในการรับประทาน ปริมาณบรรจุ 20-50 กรัม ในราคาประมาณ 20-50 บาท

2.2 การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายกลุ่มในข้อ 2.1 นำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแบบสอบถาม (ภาคผนวก จ1) เพื่อใช้ในการสำรวจพฤติกรรมการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ รวมถึงการสำรวจความคิดเห็นและความต้องการของผู้บริโภคเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการสำรวจจากผู้บริโภคที่รับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 200 คน โดยแบ่งผู้บริโภคออกเป็นเพศชายและหญิงจำนวน 100 คน เท่าๆ กัน และแบ่งออกเป็นช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี, อายุ 26-35 ปี, อายุ 36-45 ปี และอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปี จำนวน 50 คน เท่าๆ กัน สำหรับข้อมูลทั่วไปและพฤติกรรมในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

จากการสำรวจผู้บริโภคเป้าหมายที่ซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบจำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่า ระดับการศึกษาของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 52.0 โดยประกอบอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 27.0 นักเรียน/นิสิต/นักศึกษาร้อยละ 26.0 และรับราชการ/รัฐวิสาหกิจร้อยละ 21.5 ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขายร้อยละ 18.0 และอาชีพอื่นๆ (ได้แก่ รับจ้างและแม่บ้าน) ร้อยละ 7.5 และรายได้ต่อเดือนของผู้บริโภคส่วนใหญ่มากกว่า 20,000 บาท ต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 39.0 และรายได้น้อยกว่า 10,000 บาท ต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 28.5

ตารางที่ 15 ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

(N = 200)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
ระดับการศึกษา	ประถมศึกษา	3	1.5
	มัธยมศึกษา	40	20.0
	อนุปริญญา	19	9.5
	ปริญญาตรี	104	52.0
	สูงกว่าปริญญาตรี	34	17.0
อาชีพ	พนักงานบริษัทเอกชน	54	27.0
	นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	52	26.0
	รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	43	21.5
	ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	36	18.0
	รับจ้าง	9	4.5
	แม่บ้าน	6	3.0
รายได้ต่อเดือน	น้อยกว่า/เท่ากับ 10,000 บาท	57	28.5
	10,001 - 15,000 บาท	34	17.0
	15,001 - 20,000 บาท	31	15.5
	มากกว่า 20,000 บาท	78	39.0

2.2.2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายที่ซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่า ชนิดของผักหรือผลไม้ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่เคยรับประทานสามารถแบ่งออกได้เป็น ชนิดของผลไม้ คือ ทุเรียนร้อยละ 90.0 กล้วยร้อยละ 86.0 และขนุนร้อยละ 64.0 และชนิดของผัก คือ มันฝรั่งร้อยละ 81.0 เผือกร้อยละ 77.50 และฟักทองร้อยละ 73.0

สำหรับพฤติกรรมการซื้อผักหรือผลไม้ของผู้บริโภคในด้านอื่นๆ โดยส่วนใหญ่พบว่า ความถี่ในการรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบจะรับประทาน 1-2 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 31.0 ปริมาณที่ซื้อรับประทาน 51-100 กรัม คิดเป็นร้อยละ 48.5 ค่าใช้จ่ายในการซื้อ

แต่ละครั้ง 21-50 บาท คิดเป็นร้อยละ 52.0 สำหรับสถานที่ซื้อรับประทาน คือ ซุปเปอร์มาร์เก็ต คิดเป็นร้อยละ 59.0 และรองลงมาคือ ร้านสะดวกซื้อและร้านขายของฝาก คิดเป็นร้อยละ 56.0 เท่ากัน ชนิดของบรรจุภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่ซื้อรับประทานโดยส่วนใหญ่เป็นถุงพลาสติกใส คิดเป็นร้อยละ 68.0 และกิจกรรมที่ทำระหว่างรับประทานผลิตภัณฑ์คือ ดูโทรทัศน์ คิดเป็นร้อยละ 73.5 รองลงมาคือ ระหว่างการสังสรรค์ คิดเป็นร้อยละ 62.0

สำหรับเหตุผลที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบมารับประทานคือ รับประทานยามว่าง คิดเป็นร้อยละ 61.0 รองลงมาคือ รสชาติ คิดเป็นร้อยละ 48.0 และชอบรับประทาน คิดเป็นร้อยละ 45.5 ตามลำดับ และจากการสอบถามพบว่าผู้บริโภคร้อยละ 62.5 พบปัญหาในการรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ โดยปัญหาส่วนใหญ่ที่พบคือ ผลิตภัณฑ์อมน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 76.8 รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเหม็นหืน คิดเป็นร้อยละ 76.0 และผลิตภัณฑ์ไม่กรอบ คิดเป็นร้อยละ 68.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

(N = 200)

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
ผลไม้เคยที่รับประทาน	ทุเรียน	180	90.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	กล้วย	172	86.0
	ขนุน	128	64.0
	สับปะรด	38	19.0
	มะพร้าว	34	17.0
	มะละกอ	22	11.0
	มะม่วง	21	10.5
	แอปเปิ้ล	20	10.0
	พุทรา	6	3.0
	ลูกพีช	3	1.5
	สตรอเบอร์รี่	2	1.0
	กระท้อน	2	1.0
ผักที่เคยรับประทาน	มันฝรั่ง	162	81.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	เผือก	155	77.5
	ฟักทอง	146	73.0
	มันทอด	132	66.0
	ถั่ว	132	66.0
	หอมหัวใหญ่	91	45.5
	ถั่วฝักยาว	85	42.5
	เห็ด	81	40.5
	แครอท	77	38.5
	กระเทียม	70	35.0
	หอมแดง	58	29.0
	กระเจี๊ยบ	19	9.5
	มะระ	13	6.5
	รากบัว	10	5.0
	ผักบุ้ง	10	5.0
	ข้าวโพด	4	2.0
	มะเขือยาว	3	1.5

ตารางที่ 16 (ต่อ)

(N = 200)

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
ความถี่ในการรับประทาน	1 - 2 ครั้งต่อสัปดาห์	32	16.0
	3 - 4 ครั้งต่อสัปดาห์	10	5.0
	1 - 2 ครั้งต่อเดือน	62	31.0
	3 - 4 ครั้งต่อเดือน	24	12.0
	2 - 3 เดือนต่อครั้ง	55	27.5
	นานๆ ครั้ง	17	8.5
ปริมาณที่ซื้อรับประทาน	น้อยกว่าหรือเท่า 50 กรัม	80	40.0
	51 - 100 กรัม	97	48.5
	101 - 250 กรัม	24	12.0
	251 - 500 กรัม	10	5.0
	501 - 1,000 กรัม	5	2.5
ค่าใช้จ่ายในการซื้อ/ครั้ง	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาท	19	9.5
	21 - 50 บาท	104	52.0
	51 - 100 บาท	60	30.0
	101 - 150 บาท	11	5.5
	151 - 200 บาท	6	3.0
	มากกว่า 200 บาท	5	2.5
สถานที่ซื้อรับประทาน	ซุปเปอร์มาร์เก็ต	118	59.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	ร้านสะดวกซื้อ	112	56.0
	ร้านขายของฝาก	112	56.0
	ตลาดสด	65	32.5
	สถานที่จัดแสดงสินค้า	61	30.5
	ร้านอาหาร	12	6.0

ตารางที่ 16 (ต่อ)

(N = 200)

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ถุงพลาสติกใส	136	68.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	ถุงกระดาษ	78	39.0
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	75	37.5
	กระป๋อง	57	28.5
	กล่องพลาสติก	41	20.5
	ถาดโฟม	37	18.5
	ถุงอลูมิเนียมในกล่องกระดาษ	28	14.0
	ถุงพลาสติกในกล่องกระดาษ	25	12.5
	ขวดพลาสติก	15	7.5
	จาน	8	4.0
กิจกรรมระหว่างรับประทาน	ดูโทรทัศน์	147	73.5
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	ระหว่างสังสรรค์	124	62.0
	ระหว่างการเดินทาง	93	46.5
	ชมภาพยนตร์ที่บ้าน	76	38.0
	เล่นคอมพิวเตอร์	70	35.0
	อ่านหนังสือ	70	35.0
	ฟังเพลง/วิทยุ	48	24.0
	ขณะรอคอย	47	23.5
	ทำงาน	39	19.5
	เล่นเกมส์	28	14.0
	ชมภาพยนตร์ที่โรงภาพยนตร์	22	11.0

ตารางที่ 16 (ต่อ)

(N = 200)

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมศาสตร์		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
เหตุผลในการเลือกซื้อ	รับประทานยามว่าง	122	61.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	รสชาติ	96	48.0
	ชอบรับประทาน	91	45.5
	ทดแทนขนมขบเคี้ยวต่างๆ	92	46.0
	รับประทานสะดวก	72	36.0
	เป็นของฝาก	68	34.0
	สามารถหาซื้อได้ทั่วไป	50	25.0
	ความหิว	37	18.5
	เป็นผลิตภัณฑ์แปลกใหม่	37	18.5
	เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ	29	14.5
	คุณค่าทางโภชนาการ	24	12.0
	ทดแทนผักหรือผลไม้สด	8	4.0
ปัญหาในการรับประทาน	พบปัญหา	125	62.5
	ไม่พบปัญหา	75	37.5
ปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์อมน้ำมัน	96	76.8
(N = 125 จากผู้พบปัญหา)	ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเหม็นหืน	95	76.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	ผลิตภัณฑ์ไม่กรอบ	85	68.0
	ไม่ระบุวันหมดอายุ	48	38.4
	ไม่ระบุฉลากโภชนาการ	43	34.4
	ผลิตภัณฑ์ไม่สะอาด	28	22.4
	ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน	24	19.2
	ผลิตภัณฑ์มีสีไม่น่ารับประทาน	24	19.2
	บรรจุภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน	23	11.5

2.2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแสดงดังตารางที่ 17 พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 92.0 สนใจผลิตภัณฑ์หากมีการผลิตขึ้นมา โดยเหตุผลที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการเลือกซื้อคือ รสชาติ คิดเป็นร้อยละ 88.0 รองลงมาคือ ความกรอบ คิดเป็นร้อยละ 65.5 และความไม่อมน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 65.0 ตามลำดับ สำหรับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือ เป็นแผ่นบาง คิดเป็นร้อยละ 48.5 โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการให้มีการปรุงรสลงไปในผลิตภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 74.0 และรสชาติที่ต้องการให้ใส่ลงไปในผลิตภัณฑ์คือ เกลือ คิดเป็นร้อยละ 63.5 รองลงมาคือ น้ำตาล คิดเป็นร้อยละ 18.9 และบาร์บีคิว คิดเป็นร้อยละ17.6 ตามลำดับ

สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการคือ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์คิดเป็นร้อยละ 36.0 ปริมาณบรรจุต่อหนึ่งหน่วยบรรจุ 51-100 กรัม คิดเป็นร้อยละ 48.0 โดยมีราคาจำหน่ายอยู่ระหว่าง 21-50 บาท คิดเป็นร้อยละ 61.5 สถานที่จำหน่ายที่ผู้บริโภคต้องการคือ ซุปเปอร์มาร์เก็ต คิดเป็นร้อยละ 77.5 รองลงมาคือ ร้านสะดวกซื้อ คิดเป็นร้อยละ 77.0 และร้านขายของฝาก คิดเป็นร้อยละ 53.5 ตามลำดับ และหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศขึ้นมา พบว่าผู้บริโภคโดยส่วนใหญ่ร้อยละ 72.5 จะซื้อผลิตภัณฑ์ ขณะที่ร้อยละ 2.0 จะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไม่ชอบรับประทานและมีราคาแพง นอกจากนั้นยังมีผู้บริโภคอีกกลุ่มหนึ่งที่ไม่แน่ใจว่าจะตัดสินใจซื้อหรือไม่อีกถึงร้อยละ 25.5 เนื่องจากยังไม่เคยรับประทานเมล็ดขนุนมาก่อนทำให้ไม่ทราบถึงรสชาติ รวมทั้งยังมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 17 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

(N = 200)

ข้อมูลเชิงทัศนคติ		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
ความสนใจผลิตภัณฑ์	สนใจ	184	92.0
	ไม่สนใจ	16	8.0
เหตุผลที่ใช้ในการเลือกซื้อ	รสชาติ	176	88.0
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	ความกรอบ	131	65.5
	ความไม่อมน้ำมัน	130	65.0
	ไม่มีกลิ่นหืน	124	62.0
	ราคา	96	48.0
	กลิ่น	92	46.0
	สี	76	38.0
	บรรจุภัณฑ์	57	28.5
	รูปร่างและขนาด	53	26.5
	ปริมาณผลิตภัณฑ์	45	22.5
	คุณค่าทางโภชนาการ	5	2.5
	ความสะอาด	2	1.0
รูปแบบของผลิตภัณฑ์	เป็นแผ่นบาง	97	48.5
	เมล็ดผ่าครึ่ง	48	24.0
	เป็นแว่นกลม	41	20.5
	ทั้งเมล็ด	14	7.0
การปรุงรสในผลิตภัณฑ์	ต้องการ	148	74.0
	ไม่ต้องการ	52	26.0
รสชาติที่ต้องการ	เกลือ	94	63.5
(N = 148 จากผู้ต้องการปรุงรส)	น้ำตาล	28	18.9
	บาร์บีคิว	26	17.6

ตารางที่ 17 (ต่อ)

(N = 200)

ข้อมูลเชิงทัศนคติ		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
บรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	72	36.0
	ถุงกระดาษ	30	15.0
	ถุงพลาสติกใส	27	13.5
	กระป๋อง	24	12.0
	กล่องพลาสติก	12	6.0
	ขวดพลาสติก	12	6.0
	ถุงอลูมิเนียมในกล่องกระดาษ	9	4.5
	ถุงพลาสติกในกล่องกระดาษ	9	4.5
	ขวดแก้ว	2	1.0
	ใบตอง	2	1.0
	ถาดโฟม	1	0.5
ปริมาณผลิตภัณฑ์	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กรัม	87	43.5
	51 - 100 กรัม	96	48.0
	101 - 250 กรัม	11	5.5
	251 - 500 กรัม	6	3.0
ราคาผลิตภัณฑ์	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาท	52	26.0
	21 - 50 บาท	123	61.5
	51 - 100 บาท	18	9.0
	101-150 บาท	5	2.5
	151 - 200 บาท	2	1.0
สถานที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์	ซุปเปอร์มาร์เก็ต	155	77.5
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	ร้านสะดวกซื้อ	156	77.0
	ร้านขายของฝาก	107	53.5
	สถานที่จัดแสดงสินค้า	48	24.0
	ตลาดสด	36	18.0
	สถานบันเทิง	2	1.0
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	ซื้อ	145	72.5
	ไม่แน่ใจ	51	25.5
	ไม่ซื้อ	4	2.0

2.2.4 ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ ค่าคะแนนความสำคัญแต่ละปัจจัยจะนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัย เพื่อให้ทราบว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ทัศนคติของผู้บริโภคต่อระดับความสำคัญของคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยให้คะแนนความสำคัญจาก 1 ถึง 5 (1 คือ สำคัญน้อยที่สุด และ 5 คือ สำคัญมากที่สุด) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 18 พบว่า เมื่อจัดลำดับคุณลักษณะตามคะแนนสำคัญเฉลี่ย คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน (4.60) รสชาติ (4.57) ความสะอาดของผลิตภัณฑ์ (4.56) ความปลอดภัยในการบริโภค (4.48) ผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน (4.45) ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ (4.40) และความกรอบ (4.35) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเป็นลำดับต้นๆ ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความสะอาดในการบริโภคและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ตารางที่ 18 คะแนนความสำคัญเฉลี่ยของคุณลักษณะต่างๆ ของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ

(N = 200)

คุณลักษณะ	ระดับคะแนน (ความถี่)					ค่าเฉลี่ย*	ระดับ** ความสำคัญ
	1	2	3	4	5		
ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน	8	1	4	36	151	4.60	มากที่สุด
รสชาติ	4	3	6	49	138	4.57	มากที่สุด
ความสะอาดของผลิตภัณฑ์	6	0	8	47	139	4.56	มากที่สุด
ความปลอดภัยในการบริโภค	2	3	15	56	124	4.48	มากที่สุด
ผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน	9	4	6	55	126	4.45	มากที่สุด
ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์	5	1	18	61	115	4.40	มากที่สุด
ความกรอบ	4	4	19	62	111	4.35	มากที่สุด
การมีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ เช่น อย.	2	9	25	76	88	4.19	มาก
ไม่มีวัตถุกันเสียหรือวัตถุกันหืน	5	5	31	71	88	4.15	มาก
กลิ่น	4	7	21	97	71	4.12	มาก
ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพ	1	6	38	90	65	4.06	มาก
ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ	1	10	41	91	57	3.96	มาก
อายุการเก็บรักษา	5	7	50	73	65	3.92	มาก
บรรจุภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน	2	8	61	89	40	3.77	มาก
ผลิตภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน	1	7	65	92	35	3.76	มาก
คุณค่าทางโภชนาการ	6	13	55	78	48	3.75	มาก
ความสะดวกในการหาซื้อจากร้านค้า	3	10	75	63	49	3.71	มาก
ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อบรรจุภัณฑ์	4	14	62	78	42	3.68	มาก
ขนาดพอดีคำในการรับประทาน	2	14	67	81	36	3.66	มาก
ฉลาก	4	14	72	78	33	3.63	มาก
สี	11	17	58	92	22	3.48	มาก
ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย	3	21	79	72	25	3.46	มาก
ความสวยงามของบรรจุภัณฑ์	4	13	90	71	22	3.45	มาก
ขนาด รูปร่าง	10	16	74	88	12	3.39	ปานกลาง
ตรายี่ห้อ	8	26	109	43	14	3.14	ปานกลาง
ชื่อเสียงของร้านจำหน่ายสินค้า	15	28	97	39	21	3.09	ปานกลาง

* ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญ = $\frac{\text{ความถี่ของผู้บริโภคระดับคะแนน x ระดับคะแนน}}{\text{จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม}}$

** ระดับคะแนน 1 หมายถึงสำคัญน้อยที่สุด ระดับคะแนน 5 หมายถึงสำคัญมากที่สุด

ปัจจัยมีความสำคัญน้อยที่สุด คือ ช่วงคะแนน 1.00-1.80

ปัจจัยมีความสำคัญน้อย คือ ช่วงคะแนน 1.81-2.60

ปัจจัยมีความสำคัญปานกลาง คือ ช่วงคะแนน 2.61-3.40

ปัจจัยมีความสำคัญมาก คือ ช่วงคะแนน 3.41-4.20

ปัจจัยมีความสำคัญมากที่สุด คือ ช่วงคะแนน 4.21-5.00

(ช่วงกว้างคะแนนเฉลี่ยในแต่ละชั้นคำนวณตามวิธีการในภาคผนวก ข1)

เมื่อนำตัวแปรคุณลักษณะของผักหรือผลไม้ทอดกรอบในด้านต่างๆ ที่ผู้บริโภคใช้พิจารณาในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มตัวแปรและลดตัวแปรลงให้เป็นตัวแปรใหม่ด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย ซึ่งพิจารณาการจัดเข้ากลุ่มของตัวแปรได้จากองค์ประกอบที่มีค่าไอเกน (eigenvalue) ที่มากกว่า 1 (ค่าไอเกน คือ ผลบวกของค่าน้ำหนักตัวแปร (factor loading) ยกกำลังสองของแต่ละตัวแปรในองค์ประกอบหนึ่งๆ) และจากการพิจารณาค่าน้ำหนักของแต่ละตัวแปร โดยการหมุนแกนองค์ประกอบเพื่อจัดเข้ากลุ่มของตัวแปรว่าควรเข้าเป็นองค์ประกอบใดซึ่งจะพิจารณาเปรียบเทียบกัน โดยกำหนดว่าถ้าน้ำหนักของตัวแปรนั้นมีค่ามาก (เข้าใกล้ -1 หรือ +1) แสดงว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบสูง และหากมีค่าน้อย (เข้าใกล้ 0) แสดงว่ามีความสัมพันธ์ต่ำ (กัลยา, 2544) ซึ่งในที่นี้จะใช้เกณฑ์ว่าหากค่าน้ำหนักของตัวแปรใดมีค่ามากกว่า 0.6 จะจัดกลุ่มให้เป็นองค์ประกอบนั้น ๆ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 มีจำนวนเท่ากับ 5 องค์ประกอบ แสดงในตารางที่ 19 ดังนั้นจึงสามารถจัดกลุ่มของตัวแปรได้เป็น 5 ปัจจัย โดยสามารถอธิบายการแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 66.31 (ได้จากการคำนวณผลรวมของค่าร้อยละความแปรปรวนของ ปัจจัยที่ 1-5 คือ 19.85, 14.65, 14.54, 9.71 และ 7.56 ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักของแต่ละตัวแปรซึ่งใช้เกณฑ์ 0.6 ในการจัดกลุ่มตัวแปรสามารถจัดกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 19.85 จากคุณลักษณะของปัจจัยที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร รสชาติ กลิ่น ความกรอบ ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ ความ

สะอาดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืนและผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน จึงได้นิยามปัจจัยนี้ว่า “กลิ่นรสและความสะอาด” ซึ่ง ปัจจัยนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนได้สูงสุด นั่นคือเป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกันกับการจัดลำดับคุณลักษณะตามคะแนนความสำคัญเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 18 ซึ่งพบว่า คุณลักษณะที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในลำดับต้นๆ ส่วนใหญ่เป็นคุณลักษณะด้านความสะอาดในการบริโภคและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ปัจจัยที่ 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 14.65 จากคุณลักษณะของปัจจัยที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร ขนาดพอดีคำในการรับประทาน คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อบรรจุภัณฑ์ ความสวยงามของบรรจุภัณฑ์ ตรายี่ห้อ ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย ชื่อเสียงของร้านจำหน่ายสินค้าและความสะดวกในการหาซื้อจากร้านค้า จึงได้นิยามปัจจัยนี้ว่า “คุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์”

ปัจจัยที่ 3 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 14.54 จากคุณลักษณะของปัจจัยที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร บรรจุภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน ฉลาก การมีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ ไม่มีวัตถุกันเสียหรือวัตถุกันหืน ความปลอดภัยในการบริโภคและอายุการเก็บรักษา จึงได้นิยาม ปัจจัยนี้ว่า “คุณภาพของผลิตภัณฑ์”

ปัจจัยที่ 4 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 9.71 จากคุณลักษณะของปัจจัยที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพและผลิตภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน จึงได้นิยามปัจจัยนี้ว่า “ราคา”

ปัจจัยที่ 5 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 7.56 จากคุณลักษณะของปัจจัยที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร สีและขนาด รูปร่าง จึงได้นิยามปัจจัยนี้ว่า “ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์”

ตารางที่ 19 น้ำหนักของแต่ละตัวแปรโดยการหมุนแกนปัจจัย (factor loading of rotated component matrix)

ตัวแปร	น้ำหนักปัจจัย (factor loading)				
	1	2	3	4	5
ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน	0.811*	0.082	0.150	0.222	0.130
ผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน	0.771*	0.087	0.148	0.235	0.149
รสชาติ	0.766*	0.095	0.274	0.066	0.179
ความกรอบ	0.708*	0.121	0.232	0.117	0.158
กลิ่น	0.674*	0.084	0.297	-0.011	0.382
ความสะอาดของผลิตภัณฑ์	0.645*	0.116	0.545	0.155	0.113
ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์	0.609*	0.103	0.512	0.206	0.172
ชื่อเสียงของร้านจำหน่ายสินค้า	-0.135	0.789*	0.309	0.099	0.057
ตรายี่ห้อ	0.120	0.642*	0.308	0.106	-0.046
ความสวยงามของบรรจุภัณฑ์	0.085	0.667*	0.257	0.004	0.256
ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย	0.057	0.632*	0.010	0.375	-0.071
ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อบรรจุภัณฑ์	0.383	0.573*	0.019	0.098	0.146
ขนาดพอดีคำในการรับประทาน	0.521	0.555*	-0.106	0.162	0.117
ความสะดวกในการหาซื้อจากร้านค้า	0.106	0.552*	0.207	0.195	0.228
คุณค่าทางโภชนาการ	0.310	0.395*	0.389	0.333	-0.082
การมีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ เช่น อย.	0.217	0.244	0.773*	0.157	0.204
ความปลอดภัยในการบริโภค	0.428	0.123	0.747*	0.121	0.159
อายุการเก็บรักษา	0.338	0.355	0.599*	0.146	-0.088
ไม่มีวัตถุกันเสียหรือวัตถุกันหืน	0.458	0.334	0.544*	0.134	-0.224
บรรจุภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน	-0.033	0.357	0.496*	0.449	0.406
ฉลาก	0.315	0.373	0.469*	0.007	0.080
ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพ	0.258	0.178	0.149	0.839*	0.012
ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ	0.299	0.204	0.102	0.828*	0.022
ผลิตภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน	0.047	0.293	0.428	0.562*	0.378
สี	0.322	0.084	0.064	0.069	0.739*
ขนาด รูปร่าง	0.310	0.135	0.057	0.012	0.726*

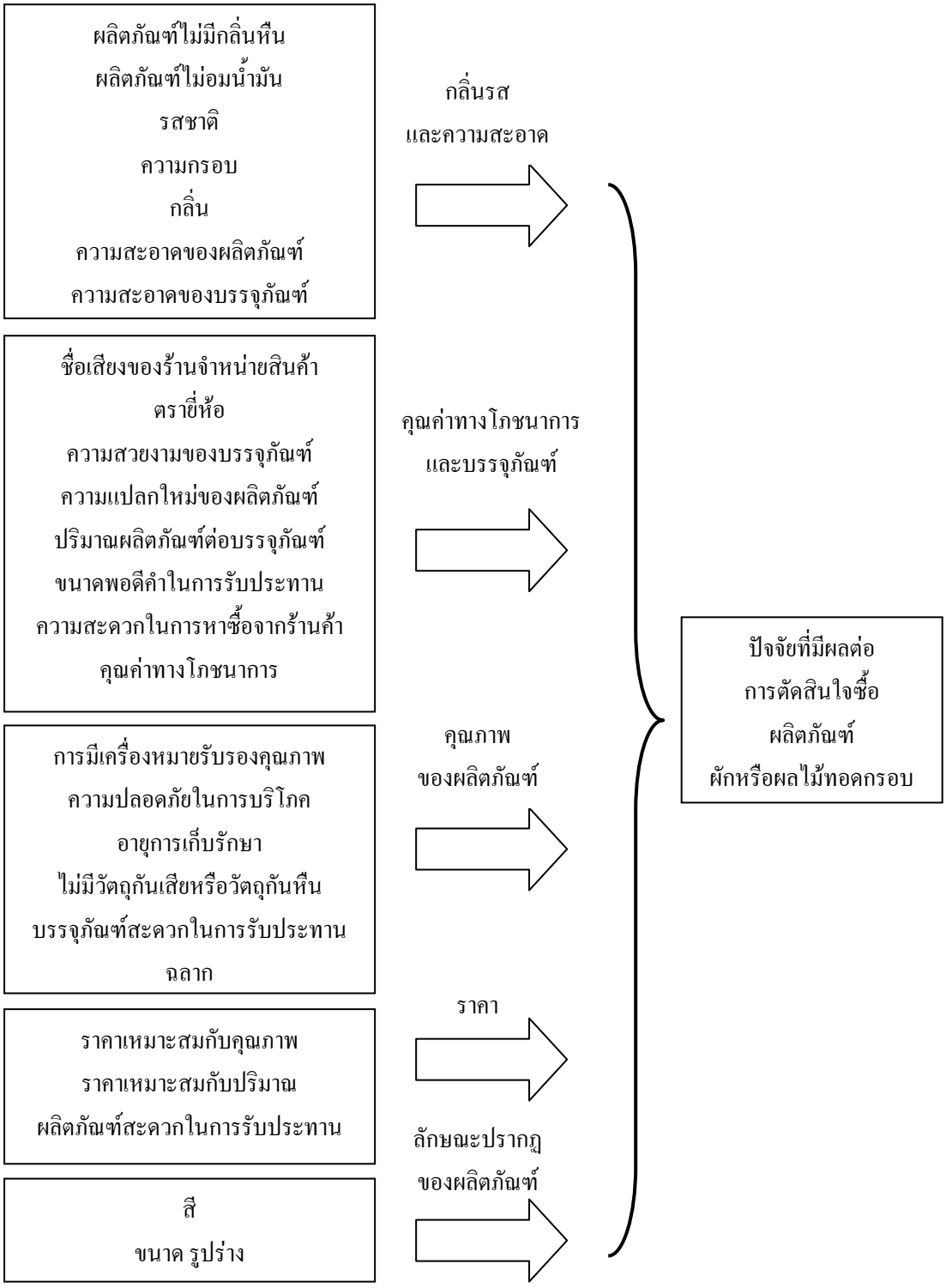
ตารางที่ 19 (ต่อ)

ตัวแปร	น้ำหนักปัจจัย (factor loading)				
	1	2	3	4	5
ค่าไอเกน	5.161	3.808	3.781	2.524	1.966
ร้อยละความแปรปรวนที่อธิบายได้	19.850	14.647	14.543	9.709	7.560
ร้อยละความแปรปรวนสะสม	19.850	34.498	49.040	58.750	66.310

หมายเหตุ * หมายถึง ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์สูงกับองค์ประกอบนั้นๆ

จากการศึกษาพฤติกรรมและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคพบว่า มี ปัจจัยที่สำคัญ 5 ปัจจัย คือ1) ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด 2) ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ 3) ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 4) ปัจจัยด้านราคา และ 5) ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 13

ผลจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจะพบว่า ปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน, รสชาติ, ความสะอาดของผลิตภัณฑ์, ความปลอดภัยในการบริโภค, ผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน, ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ และความกรอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเป็นลำดับต้นๆ ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความสะอาดในการบริโภคและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ จากความต้องการดังกล่าวจะสอดคล้องกับแนวความคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพตามที่ผู้บริโภคต้องการ ทั้งในเรื่องของสี กลิ่นรส คุณค่าทางโภชนาการ และความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณลักษณะตามที่ผู้บริโภคต้องการและยอมรับ



ภาพที่ 13 การจัดกลุ่มตัวแปรที่ผู้บริโภคใช้พิจารณาในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

2.2.5 การศึกษาปัจจัยที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภค

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบมี 5 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด 2) ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ 3) ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 4) ปัจจัยด้านราคา และ 5) ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจะถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจากแบบสอบถาม ดังตารางที่ 15 ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษาและระดับรายได้ สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับอาชีพของผู้บริโภคไม่ได้นำมาศึกษาเนื่องจากมีจำนวนในการกระจายตัวของประชากรที่แตกต่างกันมาก ถ้าหากนำมาวิเคราะห์จะทำให้ผลที่ได้อธิบายได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงศึกษาเพียงอิทธิพลของเพศ อายุ ระดับการศึกษา และระดับรายได้ ต่อระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ปัจจัย

สมมติฐานของการทดลองกำหนดให้กลุ่มของเพศ อายุ ระดับการศึกษา และระดับรายได้ของผู้บริโภค ไม่มีผลต่อการให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ จากผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกความสัมพันธ์ตามข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคดังนี้

ก. เพศ กลุ่มเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยมีการกระจายของประชากรที่เท่ากัน คือ กลุ่มเพศชายและกลุ่มเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 50 เท่ากัน โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มเพศทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวนี้ให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ปัจจัย ไม่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติ t-test ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 20) จากการศึกษาพบว่า เพศไม่มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามเพศ

ตัวแปร	เพศ		t-test	p-value
	ชาย (n = 100)	หญิง (n = 100)		
ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด ns	0.004	-0.004	0.053	0.957
ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ ns	-0.019	0.019	-0.273	0.785
ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ns	-0.030	0.030	-0.425	0.671
ปัจจัยด้านราคา ns	-0.131	0.131	-1.862	0.064
ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ns	-0.055	0.055	-0.781	0.436

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ข. อายุ กลุ่มอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม โดยมีการกระจายของประชากรที่เท่ากัน คือ อายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี, อายุ 26-35 ปี, อายุ 36-45 ปี และอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปี คิดเป็นร้อยละ 25 เท่ากัน โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มอายุทั้ง 4 กลุ่มดังกล่าวนี้ให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ปัจจัย ไม่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 21) จากการศึกษาพบว่า อายุมีผลต่อปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มอายุ 26-35 ปี และ 36-45 ปี ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ สำหรับกลุ่มอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี และกลุ่มอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปี ไม่ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มอายุ 26-35 ปี ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านนี้มากที่สุด สำหรับปัจจัยอื่นๆ พบว่า อายุไม่มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ตารางที่ 21 ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามอายุ

ตัวแปร	อายุ				F-test	p-value
	≤ 25 ปี (n = 50)	26-35 ปี (n = 50)	36-45 ปี (n = 50)	≥ 46 ปี (n = 50)		
ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด ns	0.043	0.163	0.029	-0.235	1.419	0.239
ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ ns	-0.160	0.075	0.161	-0.075	1.046	0.373
ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ns	0.093	-0.188	0.130	-0.035	1.036	0.378
ปัจจัยด้านราคา ns	0.086	0.119	-0.173	-0.032	0.872	0.456
ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์	-0.227 b	0.311 a	0.032 ab	-0.116 b	2.787	0.042*

หมายเหตุ a - b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค. ระดับการศึกษา จากข้อมูลด้านระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า มีการกระจายตัวของประชากรกันมาก ดังนั้นจึงทำการแบ่งกลุ่มระดับการศึกษาออกเป็นสองกลุ่มที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ กลุ่มระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีและกลุ่มระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรี (ร้อยละ 31.0 และร้อยละ 69.0 ตามลำดับ) โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มระดับการศึกษาทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวนี้ให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ปัจจัย ไม่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติ t-test ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22) จากการศึกษาพบว่า ระดับการศึกษามีผลต่อปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีไม่ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์มากที่สุด สำหรับกลุ่มระดับการศึกษาที่สูงกว่าปริญญาตรีให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ สำหรับปัจจัยอื่นๆ พบว่า ระดับการศึกษาไม่มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามระดับการศึกษา

ตัวแปร	ระดับการศึกษา		t-test	p-value
	ต่ำกว่าปริญญาตรี (n = 62)	สูงกว่าปริญญาตรี (n = 138)		
ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด [ns]	0.008	-0.003	1.22	0.304
ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ [ns]	-0.071	0.032	0.417	0.796
ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [ns]	0.085	-0.038	1.277	0.280
ปัจจัยด้านราคา [ns]	0.016	-0.007	0.566	0.688
ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์	-0.310 [a]	0.139 [b]	2.921	0.022*

หมายเหตุ [a - b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ง. ระดับรายได้ กลุ่มระดับรายได้ผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม โดยมีการกระจายของประชากรที่ใกล้เคียงกัน คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท, 10,001-15,000 บาท, 15,001-20,000 บาท และมากกว่า 20,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 28.5, 17.0, 15.5 และ 39.0 ตามลำดับ โดยมีสมมติฐานว่ากลุ่มระดับรายได้ทั้ง 4 กลุ่มดังกล่าวให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ปัจจัย ไม่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 23) จากการศึกษาพบว่า ระดับรายได้มีผลต่อปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มระดับรายได้ 10,001-15,00 บาท ไม่ให้ความสำคัญกับปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากที่สุด สำหรับกลุ่มระดับรายได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท, 15,001-20,000 บาท และมากกว่า 20,000 บาท ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยกลุ่มระดับรายได้ 15,001-20,000 บาท ให้ความสำคัญมากที่สุด

สำหรับปัจจัยอื่นๆ พบว่า ระดับรายได้ไม่มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยคะแนนมาตรฐานซีของระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบของผู้บริโภคจำแนกตามระดับรายได้

ตัวแปร	ระดับรายได้ (บาท)				F-test	p-value
	≤10,000 (n = 57)	10,001-15,000 (n = 34)	15,001-20,000 (n = 31)	>20,000 (n = 78)		
ปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด [ns]	0.143	-0.163	0.031	-0.046	0.754	0.521
ปัจจัยด้านคุณค่าทางโภชนาการและบรรจุภัณฑ์ [ns]	-0.007	0.217	-0.283	0.023	1.388	0.248
ปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์	0.085 [a]	-0.468 [b]	0.244 [a]	0.045 [a]	3.413	0.019*
ปัจจัยด้านราคา [ns]	0.072	-0.031	-0.086	-0.005	0.183	0.908
ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ [ns]	-0.213	0.218	-0.192	0.137	2.316	0.077

หมายเหตุ [a - b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการนำข้อมูลจากการสำรวจผู้บริโภคมาศึกษาผลข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา และระดับรายได้ที่มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบพบว่า เพศของผู้บริโภคไม่มีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ สำหรับอายุและระดับการศึกษาของผู้บริโภคมีผลต่อการให้ระดับความคิดเห็นของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ระดับรายได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านคุณภาพ

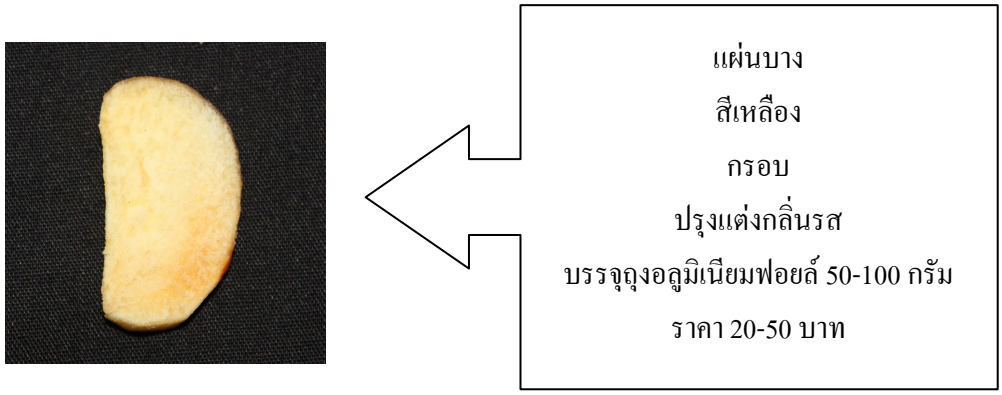
ของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าลักษณะประชากรศาสตร์ที่แตกต่างกันมีผลต่อความคิดเห็นที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นสามารถนำเอากลยุทธ์ทางการตลาดด้านต่างๆ มาใช้เพื่อกระตุ้นให้เกิดการซื้อผลิตภัณฑ์หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่มได้ตามปัจจัยที่ผู้บริโภคกลุ่มนั้นๆ ให้ความคิดเห็น

2.3 การพัฒนาแนวความคิดผลิตภัณฑ์

ผลจากการศึกษาความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศของผู้บริโภคด้วยวิธีการอภิปรายกลุ่มตัวแทนผู้บริโภค (ข้อ 2.1) และการสำรวจความต้องการของผู้บริโภค (ข้อ 2.2) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวเมื่อนำมาวิเคราะห์และประมวลผลสามารถสร้างแนวความคิดผลิตภัณฑ์ และนำไปใช้เป็นแนวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในขั้นตอนต่อไปโดยมีรายละเอียด

ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยให้เหตุผลว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ สำหรับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการคือ เมล็ดขนุนหั่นเป็นแผ่นบาง ขนาดพอดีคำ มีสีเหลือง กรอบ มีการปรุงรสเพื่อเพิ่มรสชาติ โดยเหตุผลที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์คือ รสชาติของผลิตภัณฑ์ ความกรอบ ความไม่อมน้ำมันและไม่มีกลิ่นหืน ซึ่งจะตรงกันกับแนวความคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจากข้อมูลดังกล่าวสามารถกำหนดแนวความคิด (product concept) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังนี้ (ภาพที่ 14)

แนวความคิดผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ : เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ผลิตจากเมล็ดขนุน หั่นเป็นแผ่นบางขนาดพอดีคำ นำไปทอดจนมีสีเหลืองกรอบ นำไปปรุงแต่งกลิ่นรส มีรสชาติน่ารับประทาน บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์น้ำหนักประมาณ 50-100 กรัม ราคา 20-50 บาท



ภาพที่ 14 แนวความคิดผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน คือ 1) การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 2) การศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 3) การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ และ 4) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุน ดังตารางที่ 24 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ นฤมล (2548) ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 60.70 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.50 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.20 ปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ1.60 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.60 และจากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าเมล็ดขนุนพบว่ามีเหลืองอ่อน จากการศึกษาของ Kumar *et al.* (1988) ได้รายงานองค์ประกอบของเมล็ดขนุน 2 สายพันธุ์ว่ามีปริมาณโปรตีน เส้นใยหยาบ และไขมัน อยู่ในช่วงร้อยละ 17.8-18.3, 2.1-2.5 และ 76.1 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมล็ดขนุนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณโปรตีนสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจส่งผลต่อคุณลักษณะของขนมขบเคี้ยว โดย รองรัตน์ (2546) กล่าวว่าโปรตีนซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้ว (polar) จะดูดน้ำเข้ามาในเม็ดแป้งทำให้แป้งพองตัวได้เร็วขึ้น อาจทำให้ขนมขบเคี้ยวพองตัวได้เร็วและมากขึ้น และจากการศึกษาของ วิจิตร (2537) ได้กล่าวว่าวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศควรจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่มากพอสมควร (ประมาณตั้งแต่ร้อยละ 6 ขึ้นไป) เนื่องจากแป้งเป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความกรอบ (brittle and crumbly) และการคงตัว (firmness) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าเลือกวัตถุดิบที่มีปริมาณแป้งอยู่น้อยมาก เมื่อนำไปทอดจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่แข็งและแห้ง (hardness and dry) ยิ่งถ้าวัตถุดิบนั้นมีเส้นในอยู่สูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียว (tough) มากขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนพบว่า มีคุณสมบัติในการที่จะนำมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวได้ ดังนั้นในการทดลองขั้นถัดไปจะได้ศึกษาถึงกรรมวิธีการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 24 ค่าคุณภาพของเมล็ดขนุน

ปัจจัย	เมล็ดขนุน
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
ความชื้น	63.67 ± 0.18
โปรตีน	5.25 ± 0.21
ไขมัน	0.13 ± 0.07
เส้นใยหยาบ	1.32 ± 0.12
เถ้า	1.10 ± 0.25
คาร์โบไฮเดรต[1]	28.53
ค่าสีในระบบ CIELAB	
L*	79.37 ± 2.22
a*	4.31 ± 0.53
b*	23.88 ± 2.34

หมายเหตุ [1] ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) =100 - ร้อยละของ (โปรตีน+ไขมัน+เส้นใยหยาบ+เถ้า)

3.2 การศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการศึกษาคุณภาพของเมล็ดขนุนในข้อ 3.1 พบว่า เมล็ดขนุนมีคุณสมบัติในการที่จะนำมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวได้ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การนำเมล็ดขนุนมาทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น ต้องนำเมล็ดขนุนมาผ่านกรรมวิธีก่อนการทอดคือ การต้ม ก่อนที่จะนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นการศึกษาในขั้นนี้จึงได้ทำการการศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยศึกษาระยะเวลาในการต้ม 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 นาที ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้ 1) การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุน และ 2) การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ได้ผลการทดลองดังนี้

3.2.1 การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุน

ก. ค่าคุณภาพทางเคมี

1) ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในแป้งเมล็ดขนุนที่ใช้เวลาในการต้มต่างกันพบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งเมล็ดขนุนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 25 โดยพบว่า ปริมาณความชื้นในตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนจะทำให้ผนังเซลล์เกิดการพองตัวซึ่งจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 85 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแป้งจะเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า น้ำแป้งจะมีลักษณะเหนียวซึ่งเรียกว่าเกิดเป็นเจลาติน (gelatinization) ขึ้น การทำให้แป้งสุกเกิดเป็นเจลาตินขึ้น เซลลูโลสจะอ่อนตัวและเพคตินก็สามารถละลายได้ดีขึ้นซึ่งการเกิดเจลาตินนี้เกิดจากเมื่อเม็ดแป้งแตกตัว โดยพบว่า ส่วนที่เป็นอะไมโลสจะละลายน้ำและดูดน้ำได้มากทำให้เกิดการพองตัวได้มากขึ้น โมเลกุลจะเข้ามาใกล้ชิดกันและยึดเข้าด้วยกันมีบางส่วนของอะไมโลสแตกตัวออกมาอยู่ในน้ำและเห็นเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่ในน้ำแป้งทำให้ได้สารละลายที่มีความข้นหนืดเป็นเจล (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำถูกดูดซึมเข้ามาในเม็ดแป้งมากขึ้นทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นและมีปริมาณน้ำหรือปริมาณความชื้นในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 25 ค่าคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

ระยะเวลาในการต้ม (นาที)	คุณภาพทางเคมี	คุณภาพทางกายภาพ	
	ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	กำลังการพองตัว (ร้อยละ)	การละลาย (ร้อยละ)
0	4.35 ± 2.69^{d}	15.75 ± 0.69^{b}	23.59 ± 1.14^{d}
10	4.79 ± 0.16^{cd}	18.82 ± 1.17^{a}	27.09 ± 1.74^{c}
20	4.94 ± 0.25^{bc}	18.36 ± 1.16^{a}	27.54 ± 0.91^{c}
30	5.32 ± 0.13^{b}	17.67 ± 0.59^{a}	29.88 ± 0.76^{b}
40	6.06 ± 0.42^{a}	18.22 ± 0.85^{a}	32.59 ± 0.97^{a}

หมายเหตุ $^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าคุณภาพทางกายภาพ

1) การวิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลาย

จากการศึกษากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งเมล็ดขนุนที่ใช้เวลาในการต้มต่างกันแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 25 พบว่า กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งเมล็ดขนุนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550)

กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสของแป้งเมล็ดขนุนที่ใช้เวลาในการต้มต่างกันพบว่า เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งจะมีค่าสูงขึ้นและไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพจนีย์ (2546) ที่รายงานว่ากำลังการพองตัวและค่าร้อยละการละลายของแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งสาลีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทางเดียวกัน โดยพบความสัมพันธ์กันสูงระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย จากการทดลองพบว่า แป้งที่ต้ม (10, 20, 30 และ 40 นาที) มีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งที่ไม่ได้ต้ม (0 นาที) เนื่องจากแป้งที่ไม่ได้ต้มมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าแป้งที่ต้มซึ่งอะไมโลสในแป้งจะยับยั้งการพองตัวของแป้ง โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้งซึ่งจะยับยั้งและชะลอการพองตัว (นิติ, 2543)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการะลายของแป้งเมล็ดขนุนที่ใช้เวลาในการต้มต่างกันจากตารางที่ 25 พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละการละลายของแป้งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับค่ากำลังการพองตัวนั่นคือ เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการละลายของแป้งก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ค่าร้อยละการละลายของแป้งเพิ่มขึ้นขึ้นเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงเม็ดแป้งเกิดการพองตัวและปลดปล่อยส่วนที่สามารถละลายน้ำออกมากได้มากขึ้น (นิติ, 2543)

จากผลวิเคราะห์พบว่า กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 5 ระดับ (0, 10, 20, 30 และ 40 นาที) จะอยู่ในช่วงร้อยละ 15.75-18.82 และการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 23.59-32.59 ค่าที่ได้สอดคล้องกับการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากธัญพืช ซึ่งพบว่า การพองตัวและละลายของสตาร์ชในกลุ่มนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้การพองตัวและการละลายเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) ดังนั้นการต้มเมล็ดขนุนจะช่วยให้มีการพองตัวและการละลายดีกว่าเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ผ่านการต้ม

2) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด

เมื่อนำแป้งเมล็ดขนุนที่ใช้เวลาในการต้มต่างกันมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer พบว่า มีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (breakdown) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่สำหรับค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 26 ซึ่งสามารถอธิบายผลของระยะเวลาในการต้มต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดขนุนได้ดังนี้

(1) อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) โดยเมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยจนกระทั่งถึงอุณหภูมิช่วงหนึ่งเม็ดแป้งจะดูดน้ำไว้ในปริมาณมากและพองตัวหลายเท่าจากขนาดของเม็ดแป้งเดิมอย่างรวดเร็วจนเกิดการพองตัวแบบไม่ผันกลับเรียกว่า เจลาติไนเซชัน เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะพองอย่างมากทำให้สารแขวนลอยมีความหนืดมากขึ้นขณะที่มีการกวน (shearing) อยู่ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของความหนืดอย่างมากเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Wurzburg, 1986) จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 72.80-86.67 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาของ อมรรัตน์ (2544) พบว่า อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดขนุนคือ 85.83 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดลองค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แต่พบว่า แป้งเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้ม (0 นาที) มีค่ามากกว่าแป้งเมล็ดขนุนที่ต้มเนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนที่นำไปต้มนั้นเกิดการเจลาติไนซ์ไปบางส่วนทำให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดน้อยกว่าและสอดคล้องกับ Pomeranz (1991) ที่กล่าวว่าอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดจะสัมพันธ์กับกำลังการพองตัวคือ แป้งที่มีกำลังการพองตัวสูงจะมีอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ำ

ตารางที่ 26 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดขนุนจากกการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

คุณสมบัติ	ระยะเวลาในการต้ม (นาที)				
	0	10	20	30	40
อุณหภูมิเริ่มพองตัว(องศาเซลเซียส)	86.67 ± 0.47 [a]	72.80 ± 5.24 [b]	75.92 ± 0.48 [b]	76.93 ± 1.87 [b]	77.85 ± 4.29 [b]
ความหนืดสูงสุด (RVU)	106.19 ± 3.06 [a]	48.50 ± 2.14 [b]	43.22 ± 1.70 [c]	34.63 ± 0.29 [d]	31.19 ± 1.67 [d]
ความหนืดต่ำสุด(RVU)	72.78 ± 1.85 [a]	40.25 ± 4.20 [b]	37.39 ± 3.63 [b]	30.88 ± 0.42 [c]	29.61 ± 2.52 [c]
ความหนืดสุดท้าย (RVU)	91.50 ± 2.90 [a]	56.44 ± 2.80 [b]	66.45 ± 9.55 [b]	59.46 ± 0.41 [bc]	45.81 ± 5.59 [c]
ผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (RVU)	33.42 ± 1.21 [a]	8.25 ± 2.24 [b]	5.83 ± 1.95 [bc]	3.75 ± 0.11 [cd]	1.58 ± 1.06 [d]
ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (RVU)	18.72 ± 1.41 [a]	16.19 ± 1.91 [a]	19.05 ± 13.18 [a]	18.58 ± 0.00 [a]	16.19 ± 8.01 [a]

หมายเหตุ [a - d] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

(2) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นน้ำแป้งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุดซึ่งเป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ สำหรับความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างการเจลาติไนซ์จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้งโดยเกิดขึ้นที่จุดสมดุลระหว่างการพองตัวและการไหลของอะไมโลส (Beta and Corke, 2001) จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้ความหนืดสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้ม (0 นาที) มีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าแป้งเมล็ดเมล็ดที่ต้ม และพบว่าเมื่อเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งเมล็ดขนุนก็จะลดลงเนื่องจากการแป้งเมล็ดขนุนที่นำไปต้มจะเกิดการเจลาติไนซ์บางส่วนทำให้แป้งเมล็ดขนุนเกิดการสุกและยังเหลืออีกบางส่วนที่ยังเป็นแป้งดิบอยู่ นอกจากนี้ความหนืดสูงสุดยังขึ้นกับปริมาณอะไมโลสด้วย โดย Tulyathan *et al.* (2002) กล่าวว่าแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูงเมื่อได้รับความร้อนจึงมีค่าความหนืดสูงสุดสูงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปริมาณอะไมโลสและไขมันในแป้ง

(3) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดการพองตัวแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้แกรนูลแป้งพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลงเรื่อยๆ จนถึงความหนืดต่ำสุด จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้ความหนืดต่ำสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาพบว่า แป้งเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้ม (0 นาที) จะมีค่าความหนืดต่ำสุดมากที่สุด และเมื่อเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นค่าความหนืดต่ำสุดก็จะลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้มมีกำลังการพองตัวต่ำ (จากผลการทดลองเรื่องกำลังการพองตัว) ทำให้โครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งถูกทำลายน้อย (ปิติพร, 2546) จึงมีความคงทนต่อแรงกวนมากกว่าตัวอย่างอื่น

(4) ผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (breakdown) แป้งเมื่อได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไปจะส่งผลให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายตัวออกมาทำให้ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดจะบอกถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในหลายกระบวนการผลิต จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้ผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้ม (0 นาที) มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกับตัวอย่างแป้งอื่นๆ คือมีค่า 33.42 RVU นั่นแสดงว่า

แป้งเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้มมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนสูงที่สุด แป้งที่มีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนดีปานกลางและดีน้อยที่สุดคือ แป้งที่ใช้เวลาในการต้ม 10-20 นาที และ 30-40 นาที ตามลำดับ เนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับอะไมโลสทำให้สามารถทนต่อแรงกวนได้ (รองรัตน์, 2546)

(5) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เมื่อพิจารณาถึงค่าความหนืดสุดท้ายซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการบอกถึงคุณภาพของแป้งและเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของแป้งหรือผลิตภัณฑ์ว่ามีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น (Newport Scientific, 1995) จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้ความหนืดสุดท้ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแป้งทั้ง 5 ตัวอย่างมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าค่าความหนืดต่ำสุด นั่นแสดงว่าแป้งทั้ง 5 ตัวอย่างเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นจะมีลักษณะเป็นเจลแข็ง โดยแป้งที่ให้ลักษณะเจลที่แข็งที่สุดคือ แป้งที่ไม่ผ่านการต้ม (0 นาที) จะมีค่าสูงสุดคือ 91.50 RVU เจลที่มีลักษณะแป้งปานกลางคือ แป้งใช้เวลาในการต้ม 10-30 นาที (56.44-66.45 RVU) และเจลที่มีลักษณะแข็งน้อยที่สุดคือ แป้งที่ใช้เวลาในการต้ม 40 นาที เนื่องจากเจลแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีผลทำให้น้ำแป้งมีความหนืดมากขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550)

(6) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) เม็ดแป้งเมื่อแตกออกเนื่องจากได้รับความร้อนและแรงเฉือน โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายตัวออกมาทำให้ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำได้และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก ความหนืดจะคงตัวมากขึ้นเกิดเป็นลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกปรากฏการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือ การคืนตัว (Smith, 1979) จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้ความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบว่า สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงการคืนตัวของแป้งได้คือ เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นระดับการคืนตัวของแป้งจะลดลงซึ่งการคืนตัวของแป้งมีความสอดคล้องกับปริมาณอะไมโลสของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมากจะมีแนวโน้มเกิดการคืนตัวได้ดี (Chen *et al.,* 1998)

ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนไม่สามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีลักษณะของเจลที่เป็นแบบใด แต่ก็สามารถอธิบายถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ว่าระยะเวลาในการต้มมีผลทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ดังนั้นจึงต้องนำเมล็ดขนุนที่ศึกษาระยะเวลาในการต้มมาผ่านขั้นตอนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อที่จะอธิบายการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อที่จะคัดเลือกระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนที่เหมาะสมต่อไป

3.2.2 การศึกษาระยะเวลาในการต้มต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการศึกษาระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สุญญากาศพบว่า ค่าคุณภาพทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกันแสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ลักษณะปรากฏของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

ระยะเวลาในการต้ม (นาที)	ตัวอย่าง	สี	ลักษณะปรากฏ
0		สีเหลืองเข้ม มีรอยไหม้บางส่วน	ไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะแป้งดิบที่ผิวหน้า
10		สีเหลืองเข้ม มีสีขาวของแป้ง	ไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะแป้งดิบที่ผิวหน้า
20		สีเหลือง	ผิวหน้าเรียบ มีลักษณะแป้งดิบบริเวณขอบ
30		สีเหลืองอ่อน	ผิวหน้ามีการพองของแป้ง ไม่พบลักษณะแป้งดิบ
40		สีเหลืองอ่อน	ผิวหน้ามีการพองของแป้ง ไม่พบลักษณะแป้งดิบ

เมื่อพิจารณาจากลักษณะของตัวอย่างจากตารางที่ 27 จะสังเกตเห็นว่าเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจะมีการพองตัวได้มากกว่า ไม่พบลักษณะแป้งดิบที่ผิวหน้า และมีสีที่อ่อนกว่าเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนน้อยกว่า

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนต่างกันได้ผลการทดลองดังนี้

ก. ค่าคุณภาพทางเคมี

1) ปริมาณความชื้น

จากผลการทดลองปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุนก่อนและหลังการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มแตกต่างกันพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 28 โดยปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุนก่อนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการนำเมล็ดขนุนไปต้มจะเกิดการเจลาติไนซ์ทำให้น้ำเข้าไปภายในเม็ดแป้งทำให้แป้งดูดน้ำมากขึ้นจึงเกิดการพองตัวของแป้ง (วิจิตร, 2537) ซึ่งปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุนหลังการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะสอดคล้องกันกับปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุนก่อนการทอด และจากการศึกษาของ Moreira *et al.* (1997) ได้อธิบายความชื้นของอาหารก่อนการทอดจะสัมพันธ์กับความชื้นในอาหารหลังจากการทอด โดยเมื่อความชื้นเริ่มต้นสูงจะทำให้อาหารที่ผ่านการทอดมีความชื้นสูงตามไปด้วยและส่งผลถึงการดูดซึมน้ำมันที่สูงในอาหาร

2) ปริมาณไขมัน

จากผลการทดลองปริมาณไขมันของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ใช้เวลาในการต้มแตกต่างกันดังตารางที่ 28 พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณไขมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น เมื่อนำอาหารไปทอด น้ำในอาหารจะเกิดการระเหยจากรูพรุนกลายเป็นไออย่างรวดเร็วทำให้น้ำมันสามารถเข้าไปแทนที่น้ำในอาหารส่งผลให้อาหารมีปริมาณไขมันเพิ่มสูงขึ้น (Tan and Mittal, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นุช (2545) ที่พบว่า ในกระบวนการทอดปริมาณไขมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของขนมขบเคี้ยวจากข้าวโดยปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความชื้นจะลดลงในระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 28 ค่าคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

ระยะเวลาในการต้ม (นาที)	คุณภาพทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)		
	ความชื้น		ปริมาณไขมัน
	ก่อนการทอด	หลังการทอด	
0	63.67 ± 0.18 [d]	6.52 ± 0.10 [d]	8.29 ± 1.78 [b]
10	67.26 ± 0.48 [c]	7.02 ± 0.15 [c]	10.98 ± 0.29 [a]
20	67.41 ± 0.38 [c]	8.19 ± 0.05 [b]	11.41 ± 1.31 [a]
30	70.79 ± 0.71 [b]	8.03 ± 0.29 [b]	11.38 ± 0.09 [a]
40	72.15 ± 0.16 [a]	9.06 ± 0.09 [a]	12.72 ± 2.04 [a]

หมายเหตุ [a-d] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าคุณภาพทางกายภาพ

1) ค่าสี

สีเป็นปัจจัยหนึ่งอาหารที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยเมื่อนำอาหารไปทอดจะเกิดการถ่ายเทของมวลและพลังงานความร้อนทำให้สีของอาการเกิดการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีของอาหารเช่น อุณหภูมิ ชนิดของน้ำมันและอาหารที่ทอด (Krokida, 2001c) จากผลการทดลองดังตารางที่ 29 พบว่า ค่าสีของเมล็ดขนุนก่อนและหลังการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 5 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 29 ค่าสีในระบบ CIELABของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

ค่าสีในระบบ CIELAB	ระยะเวลาในการต้ม (นาที)	ช่วงเวลา	
		ก่อนการทอด	หลังการทอด
L*	0	88.90 ± 0.02 ^{e}	58.88 ± 0.23 ^{c}
	10	89.70 ± 0.07 ^{c}	62.08 ± 3.04 ^{b}
	20	89.86 ± 0.06 ^{b}	64.23 ± 2.26 ^{b}
	30	89.47 ± 0.05 ^{d}	67.79 ± 3.89 ^{a}
	40	92.25 ± 0.05 ^{a}	70.68 ± 0.01 ^{a}
a*	0	-0.53 ± 0.01 ^{d}	-0.98 ± 0.53 ^{cd}
	10	-0.46 ± 0.03 ^{c}	-0.43 ± 1.12 ^{b}
	20	-0.44 ± 0.02 ^{bc}	-0.81 ± 0.61 ^{bc}
	30	-0.42 ± 0.02 ^{b}	-1.69 ± 0.39 ^{d}
	40	-0.29 ± 0.02 ^{a}	1.54 ± 0.01 ^{a}
b*	0	7.15 ± 0.02 ^{d}	20.12 ± 2.34 ^{b}
	10	10.50 ± 0.03 ^{c}	24.06 ± 2.86 ^{a}
	20	10.47 ± 0.14 ^{c}	25.28 ± 2.57 ^{a}
	30	11.16 ± 0.11 ^{b}	20.75 ± 1.84 ^{b}
	40	12.53 ± 0.18 ^{a}	26.59 ± 0.01 ^{a}

หมายเหตุ $^{a-e}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของเมล็ดขนุนก่อนและหลังทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากการนำอาหารไปลวกก่อนการทอดจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ช่วยทำให้สีของอาหารยังคงสดอยู่ โดยความร้อนจากการลวกจะช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ (acrylamide) ซึ่งมีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลในอาหารเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Pedreschi *et al*., 2006) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ซิงในเมล็ดขนุนกับโดยกรดอะมิโนหรือกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีน

และเปบไทด์ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นและเมื่อพิจารณาค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีค่าสีเหลืองและสีแดงเพิ่มขึ้น โดยเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้มจะมีสีเหลืองเข้มมากกว่าเมล็ดขนุนที่นำไปต้ม

2) การขยายตัว

การขยายตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เพราะเป็นปัจจัยคุณภาพอย่างหนึ่งของการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค การขยายตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ความดันและความต้านทาน ความดันเกิดจากน้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรงหรือรูพรุนเพื่อให้ความชื้นออกจากเนื้ออาหารได้ ในขณะเดียวกันก็จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดมิให้น้ำขยายตัวหลุดออกไป ถ้าใช้พลังงานพอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับความต้านทาน การพองตัวที่ได้จะมีการพองตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร (Charles, 1969) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นจะทำให้การขยายตัวของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังตารางที่ 30 โดยเมื่อระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นจะทำให้การขยายตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้คือ ความชื้นในอาหารจะกลายเป็นไอเมื่อนำไปทอดทำให้อาหารเกิดการพองตัว โดยเมื่อปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้การขยายตัวเพิ่มขึ้น (นุช, 2545)

3) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เป็นค่าหนึ่งที่แสดงถึงความสามารถของน้ำในการเกิดปฏิกิริยาหลายชนิดในอาหารและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สามารถใช้ประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ได้จากอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในตัวอย่างต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (Spieces and Hoseney, 1982) จากผลการทดลองพบว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ใช้เวลาในการต้มแตกต่างกันดังตารางที่ 30 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้

จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

4) ค่าเนื้อสัมผัส

จากผลการทดลองค่าความแข็ง ค่าระยะทางแตกหักและค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 30 โดยค่าความแข็ง ระยะทางแตกหักและค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ความชื้นเริ่มต้นก่อนการทอดมีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เนื่องจากช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอด โดยเมื่อความชื้นในผลิตภัณฑ์มากจะทำให้เกิดช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์มาก ค่าความแข็งจึงลดลง (รองรัตน์, 2546) และอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ โดย Moreira *et al*. (1999) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันต่ำจะมีเนื้อสัมผัสแข็ง จากการทดลองพบว่า เมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้มมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าเมล็ดขนุนที่นำไปต้ม เมื่อนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้มมีค่าความแข็ง ระยะทางแตกหักและค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปมากกว่าเมล็ดขนุนที่นำไปต้ม โดยเมล็ดขนุนที่มีค่าความแข็งมากจะมีค่าระยะทางแตกหักและค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปมากตามไปด้วย

ตารางที่ 30 ค่าคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

ระยะเวลาในการต้ม (นาที)	คุณภาพทางกายภาพ				
	การขยายตัว * (ร้อยละ)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	ค่าเนื้อสัมผัส **		
			ความแข็ง (นิวตัน)	ระยะทางแตกหัก (มม.)	งานทั้งหมด (มิลลิจูล)
0	0.00 ± 0.00 ^{d}	0.46 ± 0.00 ^{c}	16.83 ± 3.36 ^{a}	1.25 ± 0.36 ^{a}	3.92 ± 0.00 ^{a}
10	0.39 ± 1.42 ^{d}	0.46 ± 0.00 ^{c}	13.59 ± 5.08 ^{b}	0.98 ± 0.31 ^{ab}	3.32 ± 0.00 ^{ab}
20	7.33 ± 0.42 ^{c}	0.48 ± 0.00 ^{b}	13.18 ± 3.13 ^{bc}	0.84 ± 0.29 ^{bc}	3.50 ± 0.00 ^{ab}
30	9.88 ± 0.63 ^{b}	0.49 ± 0.00 ^{b}	11.23 ± 3.10 ^{bc}	0.64 ± 0.07 ^{c}	3.04 ± 0.00 ^{ab}
40	14.36 ± 0.93 ^{a}	0.53 ± 0.00 ^{a}	10.24 ± 3.57 ^{c}	0.66 ± 0.23 ^{c}	2.73 ± 0.00 ^{b}

หมายเหตุ $^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* การขยายตัว = (ความหนาผลิตภัณฑ์หลังทอด / ความหนาผลิตภัณฑ์ก่อนทอด) x 100

** ค่าเนื้อสัมผัส วิเคราะห์จากการใช้แรงกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกหัก

ค. ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกันทั้ง 5 สิ่งทดลอง ต่อคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็งและความชอบรวม พบว่า คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็งและความชอบรวม ของสิ่งทดลองทั้ง 5 สิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกัน

(N = 30)

ระยะเวลาในการต้ม (นาที)	คุณลักษณะ			
	ลักษณะปรากฏ	ความกรอบ	ความแข็ง	ความชอบรวม
0	4.5 ± 0.99^{c}	3.5 ± 1.13^{c}	3.7 ± 0.59^{c}	4.0 ± 0.65^{d}
10	6.5 ± 1.06^{b}	5.3 ± 1.67^{b}	5.7 ± 1.44^{b}	5.6 ± 1.59^{c}
20	6.4 ± 1.12^{b}	6.6 ± 1.12^{a}	6.7 ± 1.10^{a}	6.0 ± 0.76^{bc}
30	7.5 ± 0.83^{a}	6.7 ± 1.67^{a}	7.1 ± 1.22^{a}	7.0 ± 1.25^{a}
40	6.9 ± 0.88^{ab}	6.1 ± 1.30^{ab}	6.6 ± 1.45^{ab}	6.5 ± 1.36^{ab}

หมายเหตุ $^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลาในการต้มต่างกันมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าระยะเวลาในการต้มมีผลต่อคะแนนความชอบเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 31 สิ่งทดลองที่มีระยะเวลาในการต้ม 20, 30 และ 40 นาที มีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ และความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่มีระยะเวลาในการต้ม 30 และ 40 นาที มีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความชอบรวมมากที่สุดและแตกต่างกันจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองพบว่า การต้มเมล็ดขนุนก่อนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระยะเวลา 30 และ 40 นาที ทำให้เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสมากกว่าการต้มที่ระยะเวลาอื่น แต่เนื่องจากการต้มที่ระยะเวลา 30 นาที ใช้ระยะในการต้มที่น้อยกว่าการต้มที่ระยะเวลา 40 นาที โดยที่สิ่งทดลองทั้งคู่มีคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าระยะเวลาในการต้มที่ต่างกันที่ระยะเวลาในการต้ม 30 นาที จะช่วยในการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับการต้ม

ที่ระยะเวลา 40 นาที ดังนั้นจึงได้กำหนดระยะเวลาในการต้มที่ 30 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเมล็ดขนุนก่อนการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

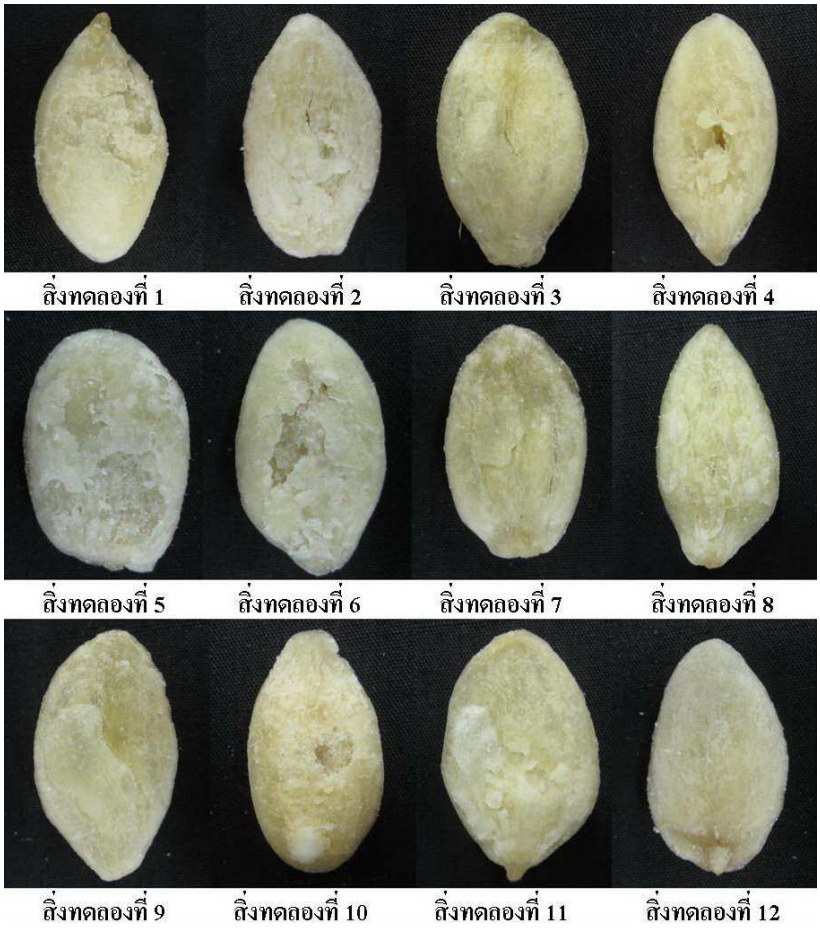
จากผลการทดลองวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน พบว่า ระยะเวลาในการต้มมีผลต่อคุณภาพของแป้งเมล็ด โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น การพองตัวของแป้งเมล็ดขนุนและเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การต้มเมล็ดขนุนจะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ซึ่งมีผลให้แป้งเกิดการสุก และเมื่อนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้แป้งสุกมากขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการต้มเมล็ดขนุนก่อนการทอดจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อนำไปทอดมีคุณภาพที่ดีกว่าเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้ม และเมื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ผ่านการต้มจะมีคะแนนความชอบในด้านคุณลักษณะปรากฏ ความกรอบและความแข็งมากกว่าเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ต้ม และจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเมล็ดขนุนคือ 30 นาที ก่อนนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวจึงได้กำหนดระยะเวลาในการต้มดังกล่าว เป็นระยะที่เหมาะสมในการต้มเมล็ดขนุน โดยในขั้นถัดไปจะทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3.3 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การศึกษาระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 3.2 จากผลการทดลองดังกล่าวจะได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเมล็ดขนุนก่อนนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากการศึกษานอกจากนี้พบว่า ยังมีปัจจัยอื่นหลังจากการต้มเมล็ดขนุนที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นในขั้นนี้จึงได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อที่จะได้กรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมนศึกษาปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัย คือ ความหนาของตัวอย่าง ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ความดันสุญญากาศ เวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมันและความดันในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน โดยการศึกษาระดับ

ของปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ได้สิ่งทดลองจำนวน 12 สิ่งทดลอง (แสดงสภาวะของการทดลองดังตารางที่ 11) นำสิ่งทดลองมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแสดงดังตารางที่ 32 และลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะในการทอดแตกต่างกันจำนวน 12 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 12 สิ่งทดลอง จากการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน

หมายเหตุ สิ่งทดลองทั้ง 12 สิ่งทดลองแสดงสภาวะในการทอดที่แตกต่างกันดังตารางที่ 11

ตารางที่ 32 ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน

สิ่งทดลอง *	คุณภาพทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)		คุณภาพทางกายภาพ						
			ค่าสีในระบบ CIELAB			ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	ค่าเนื้อสัมผัส **		
	ปริมาณความชื้น	ปริมาณไขมัน	L*	a*	b*		ความแข็ง (นิวตัน)	ระยะทางแตกหัก (มม.)	งานทั้งหมด (มิลลิจูล)
1	6.65 ± 0.04	23.96 ± 0.27	69.83 ± 2.80	0.40 ± 0.56	19.04 ± 2.10	0.41 ± 0.00	13.13 ± 2.95	1.70 ± 0.28	3.96 ± 0.00
2	2.02 ± 0.15	22.88 ± 0.27	64.42 ± 3.81	0.19 ± 0.68	18.94 ± 1.65	0.10 ± 0.00	6.20 ± 2.78	0.78 ± 0.07	1.47 ± 0.00
3	1.60 ± 0.17	27.24 ± 0.51	65.72 ± 2.88	0.16 ± 0.89	18.96 ± 3.67	0.15 ± 0.01	6.48 ± 2.14	1.06 ± 0.31	1.68 ± 0.00
4	3.59 ± 0.14	25.57 ± 0.15	70.51 ± 2.06	0.45 ± 0.93	20.19 ± 1.42	0.56 ± 0.00	5.32 ± 1.91	0.84 ± 0.46	2.06 ± 0.00
5	11.35 ± 0.09	25.06 ± 0.66	75.54 ± 2.52	-0.01 ± 0.64	25.02 ± 1.07	0.86 ± 0.00	1.53 ± 0.19	0.98 ± 0.21	0.85 ± 0.00
6	12.91 ± 0.34	22.40 ± 0.25	75.14 ± 3.17	-1.12 ± 0.54	21.66 ± 1.72	0.88 ±0.00	6.75 ± 1.65	0.64 ± 0.29	3.10 ± 0.00
7	3.01 ± 0.13	25.56 ± 0.55	69.54 ± 2.74	-0.56 ± 0.52	19.44 ± 3.54	0.31 ± 0.02	10.29 ± 2.47	1.50 ± 0.36	2.95 ± 0.00
8	6.14 ± 0.26	24.50 ± 0.35	70.65 ± 2.94	-0.10 ± 0.59	19.88 ± 2.38	0.44 ± 0.00	4.13 ± 1.97	1.07 ± 0.21	1.56 ± 0.00
9	3.82 ± 0.11	23.88 ± 1.03	68.50 ± 4.25	-1.51 ± 0.63	19.82 ± 2.10	0.36 ± 0.03	9.68 ± 1.60	1.25 ± 0.14	4.89 ± 0.00
10	2.13 ± 0.09	26.00 ± 0.18	67.52 ± 1.14	-0.34 ± 0.38	19.36 ± 0.49	0.13 ± 0.02	5.80 ± 3.05	0.75 ± 0.20	1.12 ± 0.00
11	4.04 ± 0.10	24.84 ± 0.59	70.46 ± 2.64	-0.74 ± 0.37	19.52 ± 1.34	0.30 ± 0.02	6.47 ± 3.01	0.70 ± 0.15	2.20 ± 0.00
12	11.18 ± 0.11	25.23 ± 0.40	77.00 ± 3.29	0.67 ± 0.80	20.96 ± 1.87	0.82 ± 0.00	2.92 ± 1.99	0.66 ± 0.15	2.52 ± 0.00

หมายเหตุ * สิ่งทดลองทั้ง 12 สิ่งทดลองแสดงสภาวะในการทอดที่แตกต่างกันดังตารางที่ 11

** ค่าเนื้อสัมผัส วิเคราะห์จากการใช้แรงกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกหัก

นำค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวน 12 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยเพื่อคำนวณอิทธิของปัจจัยต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ และคำนวณค่า p-value เพื่อคำนวณความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละปัจจัย ได้ผลการทดลองดังนี้

3.3.1 ค่าคุณภาพทางเคมี

ก. ปริมาณความชื้น

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 33 พบว่า ความหนาของตัวอย่างและความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีอิทธิพลต่อค่าปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) อุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดมีอิทธิพลต่อค่าปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข. ปริมาณไขมัน

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 33 พบว่า เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีอิทธิพลต่อค่าปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) ระยะเวลาในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อค่าปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และความหนาของตัวอย่าง อุณหภูมิในการทอดและความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อค่าปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัย	คุณภาพทางเคมี			
	ปริมาณความชื้น		ปริมาณไขมัน	
	อิทธิพลของปัจจัย	p-value	อิทธิพลของปัจจัย	p-value
ความหนาของตัวอย่าง	1.758	0.197*	-1.250	0.024***
ระยะเวลาในการอบแห้ง	-1.057	0.331	-0.663	0.058**
อุณหภูมิในการทอด	-4.900	0.007***	0.823	0.031***
เวลาในการทอด	-4.997	0.006***	0.320	0.273
ความดันสุญญากาศ	0.453	0.660	-2.033	0.001***
เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	-0.300	0.769	-0.453	0.147*
ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	-5.671	0.175*	-20.694	0.703

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$),
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.10$)
*** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3.2 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

สำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นสามารถอธิบายการผลการทดลองได้ดังนี้

ก. ค่าสี

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 34 พบว่า ความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) และอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดมีอิทธิพลต่อค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อค่า a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) และความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีอิทธิพลต่อ

ค่า a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ในขณะที่อุณหภูมิในการทอดมีอิทธิพลต่อค่า b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) และเวลาในการทอดมีอิทธิพลต่อค่า b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$)

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพด้านค่าสีในระบบ CIELAB ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัย	ค่าสีในระบบ CIELAB					
	L*		a*		b*	
	อิทธิพลของปัจจัย	p-value	อิทธิพลของปัจจัย	p-value	อิทธิพลของปัจจัย	p-value
ความหนาของตัวอย่าง	0.345	0.790	0.080	0.443	1.015	0.315
ระยะเวลาในการอบแห้ง	-0.618	0.387	0.002	0.996	0.385	0.662
อุณหภูมิในการทอด	-4.378	0.002***	0.292	0.418	-1.515	0.138*
เวลาในการทอด	-5.628	0.001***	-0.135	0.698	-1.945	0.076**
ความดันสุญญากาศ	-1.138	0.149*	-0.542	0.169*	-0.845	0.360
เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	0.375	0.588	-0.032	0.927	0.288	0.742
ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	-58.814	0.717	-0.324	0.057**	-17.134	0.597

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$)
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$)
*** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 35 พบว่าความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และความหนาของตัวอย่าง อุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดมีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัย	คุณภาพทางกายภาพ							
	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้		ค่าเนื้อสัมผัส [1]					
			ความแข็ง		ระยะทางแตกหัก		งานทั้งหมด	
	อิทธิพลของปัจจัย	p-value	อิทธิพลของปัจจัย	p-value	อิทธิพลของปัจจัย	p-value	อิทธิพลของปัจจัย	p-value
ความหนาของตัวอย่าง	0.132	0.044***	0.440	0.895	0.000	0.620	-0.008	0.260
ระยะเวลาในการอบแห้ง	-0.007	0.821	1.087	0.500	0.000	0.335	0.188	0.301
อุณหภูมิในการทอด	-0.327	0.001***	-1.650	0.325	-0.001	0.215	-0.255	0.030***
เวลาในการทอด	-0.400	0.000***	4.077	0.050***	0.001	0.106*	0.358	0.203
ความดันสุญญากาศ	-0.057	0.160*	2.337	0.188*	0.001	0.747	0.058	0.073**
เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	-0.070	0.099**	0.667	0.675	-0.001	0.228	0.245	0.279
ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	-0.393	0.297	-4.501	0.324	-0.002	0.602	-0.884	0.160*

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$)

*** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[1] ค่าเนื้อสัมผัส วิเคราะห์จากการใช้แรงกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกหัก

ค. ค่าเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 35 พบว่า ความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.20$) และเวลาในการทอดมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สำหรับเวลาในการทอดมีอิทธิพลต่อค่าระยะทางแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.20$) ในขณะที่ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีอิทธิพลต่อค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.20$) ความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.10$) และอุณหภูมิในการทอดมีอิทธิพลต่อค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ด้วยการวางแผนการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมนทำให้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แต่จากข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถอธิบายว่าปัจจัยดังกล่าวนั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านใด ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงนำค่าอิทธิพลของปัจจัยที่ได้จากการคำนวณมาอธิบายผลของปัจจัยต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 36 โดยปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย คือ ความหนาของตัวอย่าง ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ความดันสุญญากาศ เวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมันและความดันในการเหวี่ยงสลัดน้ำมัน มีผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1) ความหนาของตัวอย่าง พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.20$) โดยความหนาของตัวอย่างมีผลในทางบวกต่อปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์และมีผลในทางลบต่อปริมาณไขมัน

2) ระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.10$) โดยระยะเวลาในการอบแห้งมีผลในทางลบต่อปริมาณไขมัน

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัยหลัก	คุณภาพ	ผลที่ได้จากการทดลอง		ระดับนัยสำคัญทางสถิติ
		ผลทางบวก (+)	ผลทางลบ (-)	
ความหนาของตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น	+		* ร้อยละ 80
	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	+		*** ร้อยละ 95
	ปริมาณไขมัน		-	*** ร้อยละ 95
ระยะเวลาในการอบแห้ง	ปริมาณไขมัน		-	** ร้อยละ 90
อุณหภูมิในการทอด	ปริมาณไขมัน	+		*** ร้อยละ 95
	ปริมาณความชื้น		-	*** ร้อยละ 95
	ค่า L*		-	*** ร้อยละ 95
	ค่า b*		-	* ร้อยละ 80
	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้		-	*** ร้อยละ 95
	งานทั้งหมด		-	*** ร้อยละ 95
เวลาในการทอด	ความแข็ง	+		*** ร้อยละ 95
	ระยะทางแตกหัก	+		* ร้อยละ 80
	ปริมาณความชื้น		-	*** ร้อยละ 95
	ค่า L*		-	*** ร้อยละ 95
	ค่า b*		-	** ร้อยละ 90
	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้		-	*** ร้อยละ 95
ความดันสุญญากาศ	ความแข็ง	+		* ร้อยละ 80
	งานทั้งหมด	+		** ร้อยละ 90
	ปริมาณไขมัน		-	*** ร้อยละ 95
	ค่า L*		-	* ร้อยละ 80
	ค่า a*		-	* ร้อยละ 80
	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้		-	* ร้อยละ 80
เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้		-	** ร้อยละ 90
	ปริมาณไขมัน		-	* ร้อยละ 80
ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน	ค่า a*		-	** ร้อยละ 90
	ปริมาณความชื้น		-	* ร้อยละ 80
	งานทั้งหมด		-	* ร้อยละ 80

3) อุณหภูมิในการทอด พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่า L* และค่างานทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่า b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) โดยพบว่า อุณหภูมิในการทอดมีผลในทางบวกต่อปริมาณไขมัน และมีผลในทางลบต่อปริมาณความชื้น ค่างานทั้งหมด ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่า L* และค่า b*

4) เวลาในการทอด พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าความแข็ง และค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และค่าระยะทางแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) โดยพบว่า เวลาในการทอดมีผลในทางบวกต่อค่าความแข็งและระยะทางแตกหัก และมีผลในทางลบต่อปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่า L* และค่า b*

5) ความดันสุญญากาศ พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่างานทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าความแข็ง ค่า L* และค่า a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) โดยพบว่า ความดันสุญญากาศมีผลในทางบวกต่อค่าความแข็งและค่างานทั้งหมด และมีผลในทางลบต่อปริมาณไขมัน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่า L* และค่า a*

6) เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน พบว่า มีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) โดยพบว่า เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีผลในทางลบต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และปริมาณไขมัน

7) ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน พบว่า มีอิทธิพลต่อค่า a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และปริมาณความชื้นและค่างานทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) โดยพบว่า ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมันมีผลในทางลบต่อค่า a* ปริมาณความชื้นและงานทั้งหมด

จากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ความหนาของตัวอย่าง ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด ความดันสุญญากาศ เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน และความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน ล้วนมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มาศึกษาในขั้นต่อไป คือ ความหนาของตัวอย่าง อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด และความดันสุญญากาศ แต่จากการศึกษาความหนาของตัวอย่างของเมล็ดขนุนพบว่า ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปนั้น ควรมีขนาดความหนาประมาณ 2.0 เซนติเมตร ทำให้เมื่อทอดออกมาแล้วจะให้แป้งที่สุกสม่ำเสมอ ในขณะที่ความหนาประมาณ 4.0 เซนติเมตร เมื่อทอดออกมาแล้วจะมีแป้งบางส่วนที่ไม่สุก (ดังภาพที่ 15) ดังนั้นปัจจัยด้านความหนาของตัวอย่างจึงทำการกำหนดให้มีค่าคงที่ (ความหนาตัวอย่างเท่ากับ 2.0 เซนติเมตร) และคัดเลือกปัจจัยอีก 3 ด้าน คือ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศ มาศึกษาต่อในขั้นต่อไป เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในปัจจัยด้านอื่นๆ นั้นได้แก่ ระยะเวลาในการอบแห้ง เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมันและความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน ได้กำหนดระดับของปัจจัย (ระดับสูงและระดับต่ำ) ของแต่ละปัจจัย โดยไม่ได้นำไปศึกษาต่อในขั้นต่อไป เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 และร้อยละ 90 สำหรับการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยนั้น กำหนดจากระดับของปัจจัย (ระดับสูงและระดับต่ำ) ที่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่า (ค่าคุณภาพน้อยกว่าหรือมากกว่า) ดังนี้

1) ระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันในอาหาร (ตารางที่ 36) โดยเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารก่อนการทอดลดลง ทำให้น้ำมันที่ถูกดูดซึมเข้ามามีปริมาณน้อยไปด้วย ดังนั้นจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงได้กำหนดระยะเวลาในการอบแห้งที่เวลา 30 นาที (ระดับสูง) เนื่องจากจะทำให้อาหารที่ได้ปริมาณความชื้นและน้ำมันน้อยกว่าเวลาในการอบแห้งที่ 0 นาที (ระดับต่ำ)

2) เวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมัน พบว่า มีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และปริมาณไขมัน (ตารางที่ 36) โดยเมื่อระยะเวลาในการเหวี่ยงสลัดน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และปริมาณไขมันในอาหารลดลง ดังนั้นจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงได้กำหนดเวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมันที่เวลา 10 นาที (ระดับสูง) เนื่องจากจะทำให้อาหารที่ได้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และปริมาณไขมันน้อยกว่าเวลาเหวี่ยงสลัดน้ำมันที่เวลา 5 นาที (ระดับต่ำ)

3) ความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมัน พบว่า มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้น ค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปและค่าสี (ตารางที่ 36) โดยเมื่อมีการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้มีการเหวี่ยงสลัดน้ำและน้ำมันมากขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันลดลง ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและค่าสีของอาหาร ดังนั้นจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงได้กำหนดความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมันที่ระดับ 700 มิลลิเมตรปรอท (ระดับสูง) เนื่องจากจะทำให้อาหารที่ได้มีปริมาณความชื้นค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปและการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้อยกว่าความดันเหวี่ยงสลัดน้ำมันที่ระดับ 600 มิลลิเมตรปรอท (ระดับต่ำ)

3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในข้อ 3.3 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศ นำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการวางแผนการออกแบบส่วนประสมกลางกำหนดปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัยๆ ละ 3 ระดับคือ ต่ำ (-1), ปานกลาง (0) และสูง (+1) (ดังตารางที่ 37) ได้แก่ อุณหภูมิในการทอด (X_1) เท่ากับ 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด (X_2) เท่ากับ 9, 12 และ 15 นาที และความดันสุญญากาศ (X_3) เท่ากับ 600, 650 และ700 มม.ปรอท ทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 3 ซ้ำ จะได้สิ่งทดลอง 15 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 38

ตารางที่ 37 ตัวแปรเข้ารหัสของปัจจัยในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ปัจจัย*	ตัวแปรเข้ารหัส		
	-1	0	+1
X_1 (องศาเซลเซียส)	100	120	140
X_2 (นาที)	9	12	15
X_3 (มม.ปรอท)	600	650	700

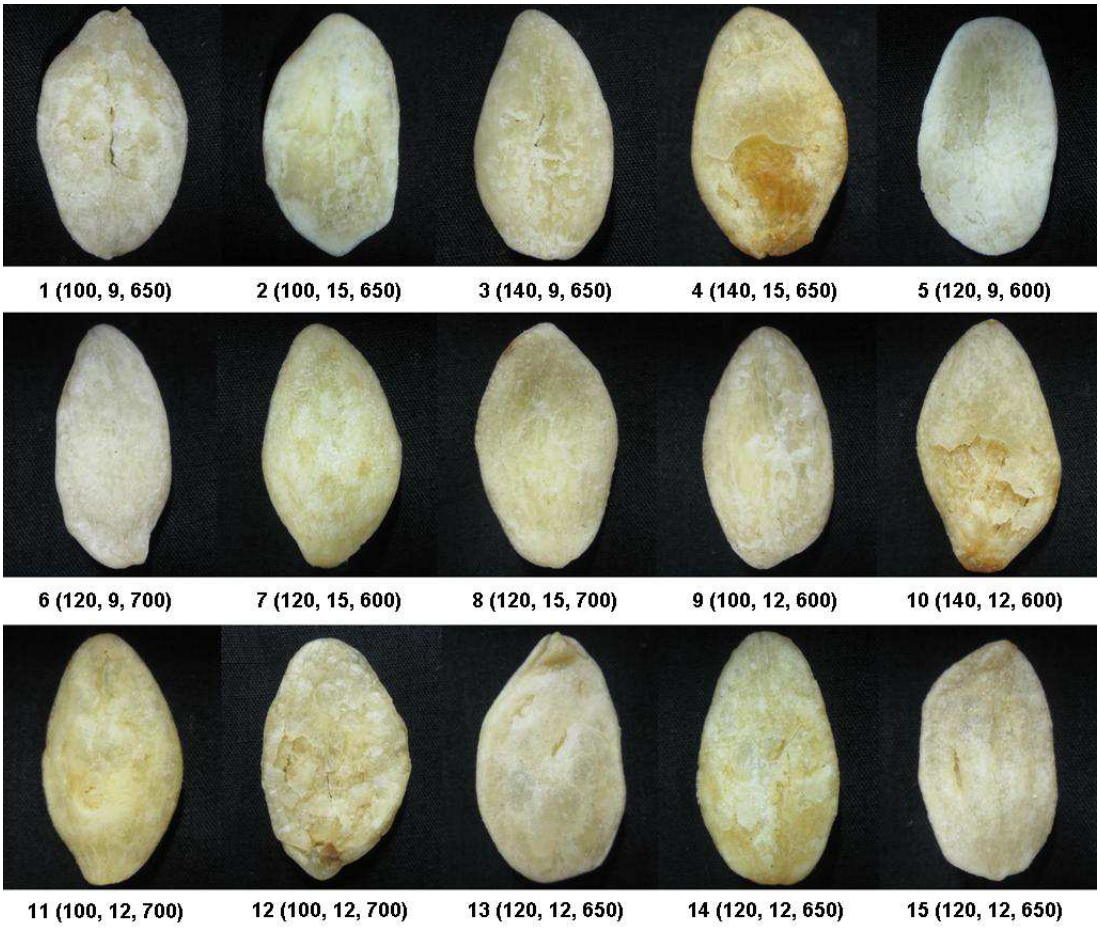
หมายเหตุ * X_1 คือ อุณหภูมิในการทอด X_2 คือ เวลาในการทอด และ X_3 คือ ความดันสุญญากาศ

ตารางที่ 38 แผนผังการออกแบบส่วนประสมกลางในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	ตัวแปรเข้ารหัส *			อุณหภูมิ	เวลา	ความดัน
	X_1	X_2	X_3	(องศาเซลเซียส)	(นาที)	(มม.ปรอท)
1	-1	-1	0	100	9	650
2	-1	1	0	100	15	650
3	1	-1	0	140	9	650
4	1	1	0	140	15	650
5	0	-1	-1	120	9	600
6	0	-1	1	120	9	700
7	0	1	-1	120	15	600
8	0	1	1	120	15	700
9	-1	0	-1	100	12	600
10	1	0	-1	140	12	600
11	-1	0	1	100	12	700
12	1	0	1	140	12	700
13	0	0	0	120	12	650
14	0	0	0	120	12	650
15	0	0	0	120	12	650

หมายเหตุ * X_1 คือ อุณหภูมิในการทอด X_2 คือ เวลาในการทอด และ X_3 คือ ความดันสุญญากาศ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่า อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศ มีผลต่อค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และแสดงลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่มีสภาวะในการทอดที่แตกต่างกันทั้ง 15 สิ่งทดลอง ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ลักษณะของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 15 สิ่งทดลองที่มีสภาวะในการทอดคือ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศแตกต่างกัน

หมายเหตุ กำหนดตัวเลขใต้รูปเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ
สิ่งทดลองที่ (อุณหภูมิในการทอด (องศาเซลเซียส), เวลาในการ (นาที),
ความดันสุญญากาศ (มม.ปรอท))

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัส ได้ดังนี้

3.4.1 ค่าคุณภาพทางเคมี

ก. ปริมาณความชื้น

จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 39 โดยค่า X_1, X_2, X_3 และ X_3^2 ($p \leq 0.001$) ค่า X_1^2 ($p \leq 0.01$) และค่า X_2^2 ($p \leq 0.05$) มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 40 โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทอดจาก 100 เป็น 120 และ 140 องศาเซลเซียส และเพิ่มเวลาในการทอดจาก 9 เป็น 12 และ 15 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงเนื่องจากเมื่อนำอาหารไปทอด ความร้อนจะเกิดการถ่ายโอนจากน้ำมันไปสู่ผิวของชิ้นอาหารทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วจะถ่ายโอนความร้อนจากชิ้นอาหารไปสู่น้ำในอาหารจนน้ำในอาหารมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดของน้ำและน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแพร่ออกสู่ภายนอกอาหารทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลง ซึ่ง Mittelman *et al.* (1984) กล่าวว่าอุณหภูมิและเวลาในการทอดเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการถ่ายเทมวลความร้อนในการทอด และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Mariscal and Bouchon (2008) ที่กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดแอปเปิ้ลภายใต้สภาวะสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นที่ลดลงจะคล้ายกับการลดลงของอัตราการอบแห้ง (falling rate period of drying)

สำหรับการลดความดันสุญญากาศจาก 700 เป็น 650 และ 600 มิลลิเมตรปรอท จะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลงเนื่องจากการทอดอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนสถานะของน้ำกลายเป็นไอภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงสามารถเกิดได้รวดเร็วกว่าและมีช่วงเวลาที่สั้นกว่า ทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลง (Garayo and Moreira, 2002)

ข. ปริมาณไขมัน

จากการทดลองพบว่า ปริมาณไขมันของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 39 โดยค่า X_1, X_2 ($p \leq 0.001$) และค่า X_3 ($p \leq 0.05$) มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 40 โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทอดจาก 100 เป็น 120 และ 140 องศาเซลเซียส และเพิ่มเวลาในการทอดจาก 9 เป็น 12 และ 15 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อนำอาหารไปทอดน้ำจะระเหยออกจากรูพรุนในอาหารอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันและเมื่อทอดต่อไปจะทำให้ผิวหน้าของอาหารสูญเสียคุณสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ทำให้น้ำมันที่ผิวหน้าถูกดูดซึมเข้าไปในอาหารได้มากขึ้น (Shyu and Hwang, 2000)

การลดความดันสุญญากาศจาก 700 เป็น 650 และ 600 มิลลิเมตรปรอท จะทำให้ปริมาณไขมันในอาหารลดลงเนื่องจากเมื่อนำอาหารไปทอด น้ำในอาหารที่เป็นน้ำอิสระจะระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว เมื่ออาหารถูกยกออกจากเครื่องทอด แรงดันของรูพรุนในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้น้ำในสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารได้แต่เนื่องจากอากาศสามารถแพร่เข้าไปแทนที่รูพรุนในอาหารได้เร็วกว่าน้ำมันที่เกาะอยู่ที่ผิวของอาหารส่งผลให้น้ำมันสามารถเข้าสู่อาหารได้น้อยลงและเมื่อเข้าสู่ช่วงสุดท้าย คือ ช่วงของการเย็นตัวจะมีน้ำมันเหลืออยู่ที่ผิวของอาหารเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้การดูดซึมน้ำมันเข้าสู่อาหารในช่วงนี้เกิดขึ้นได้น้อย (Garayo and Moreira, 2002) และจากการศึกษาของ Tran *et al.* (2007) พบว่า ปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันที่ถูกดูดซึมเข้ามาในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

ตารางที่ 39 ค่าคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความดัน (มม.ปรอท)	คุณภาพทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
				ปริมาณความชื้น	ปริมาณไขมัน
1	100	9	650	9.49 ± 0.35^{ab}	28.91 ± 1.30^{cde}
2	100	15	650	4.44 ± 0.07^{d}	22.67 ± 1.09^{g}
3	140	9	650	4.46 ± 0.22^{d}	19.42 ± 0.33^{h}
4	140	15	650	0.77 ± 0.22^{h}	22.93 ± 1.22^{g}
5	120	9	600	5.97 ± 0.22^{c}	30.70 ± 0.83^{bcd}
6	120	9	700	9.17 ± 0.01^{b}	28.10 ± 0.48^{de}
7	120	15	600	1.02 ± 0.25^{h}	24.86 ± 1.72^{fg}
8	120	15	700	3.63 ± 0.16^{e}	30.07 ± 4.14^{bcd}
9	100	12	600	6.08 ± 0.19^{c}	27.17 ± 1.44^{ef}
10	140	12	600	2.09 ± 0.10^{g}	31.57 ± 1.01^{bc}
11	100	12	700	9.59 ± 0.35^{a}	32.83 ± 1.05^{b}
12	140	12	700	4.12 ± 0.01^{d}	36.81 ± 1.27^{a}
13	120	12	650	3.27 ± 0.08^{f}	32.42 ± 0.30^{b}
14	120	12	650	3.12 ± 0.38^{f}	35.73 ± 0.20^{a}
15	120	12	650	3.22 ± 0.14^{f}	30.70 ± 0.64^{bcd}

หมายเหตุ $^{a-h}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำข้อมูลคุณภาพทางเคมี (ตารางที่ 39) ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มาวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่าสามารถใช้สมการถดถอยของค่าปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน อธิบายความสัมพันธ์เพื่อทำนายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ได้ โดยทุกสมการมีระดับความ

เชื่อมั่นมากกกว่าร้อยละ 95 และมีค่า R^2 ตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป สมการถดถอยของค่าคุณภาพทางเคมีและค่า R^2 แสดงดังตารางที่ 40

ตารางที่ 40 สมการถดถอยและสัดส่วนความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ค่า [1]	คุณภาพทางเคมี	
	ปริมาณความชื้น	ปริมาณไขมัน
p-value	0.000***	0.001**
R^2	0.996	0.978
Intercept	3.204***	29.026***
X_1	-2.270***	4.499***
X_2	-2.404***	4.107***
X_3	1.418***	1.484*
X_1^2	1.053**	-0.168
X_2^2	0.530*	0.766
X_3^2	1.211***	-0.662
X_1X_2	0.339	-1.509
X_1X_3	-0.370	-0.445
X_2X_3	-0.144	0.196

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

*** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.001$)

[1] X_1 อุณหภูมิในการทอด (องศาเซลเซียส) X_2 เวลาในการทอด (นาที)

X_3 ความดันสุญญากาศ (มม.ปรอท)

3.4.2 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

ก. ค่าสี

จากการทดลองพบว่า ค่าสีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 41 โดยค่า X_1 ($p \leq 0.001$), ค่า X_2 ($p \leq 0.01$), ค่า X_1^2 และค่า X_2^2 ($p \leq 0.05$) มีอิทธิพลต่อค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่า X_1 ($p \leq 0.001$), ค่า X_2 และค่า X_1^2 ($p \leq 0.01$) มีอิทธิพลต่อค่า a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่า X_1 และ X_2 ($p \leq 0.001$), ค่า X_1^2 ($p \leq 0.01$) และค่า X_2^2 ($p \leq 0.05$) มีอิทธิพลต่อค่า b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 43 โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทอดจาก 100 เป็น 120 และ 140 องศาเซลเซียส และการเพิ่มเวลาในการทอดจาก 9 เป็น 12 และ 15 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง มีสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากค่า L* ที่ลดลง และค่าสี a* และ b* ที่เพิ่มขึ้น โดยความร้อนจากน้ำมันจะทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ชิงในเมล็ดขนุนกับกรดอะมิโนหรือกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีนและเปบไทด์ ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (Mariscal and Bouchon, 2008) จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Ngadi *et al.* (2007) ในผลิตภัณฑ์นักเก็ตที่พบว่า ค่าความสว่าง (L*) จะลดลง ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่างจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ

ตารางที่ 41 ค่าสีในระบบ CIELAB ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความดัน (มม.ปรอท)	ค่าสีในระบบ CIELAB		
				L*	a*	b*
1	100	9	650	70.32 ± 1.62^{ab}	0.70 ± 0.42^{g}	20.98 ± 2.75^{f}
2	100	15	650	67.93 ± 1.19^{bc}	5.01 ± 0.31^{d}	26.97 ± 1.90^{d}
3	140	9	650	64.83 ± 0.51^{de}	5.60 ± 0.94^{d}	34.19 ± 2.04^{a}
4	140	15	650	58.28 ± 3.25^{g}	10.95 ± 0.78^{a}	39.64 ± 2.92^{a}
5	120	9	600	67.61 ± 2.25^{bc}	0.91 ± 0.54^{g}	22.60 ± 2.72^{ef}
6	120	9	700	65.53 ± 2.54^{cd}	3.00 ± 0.50^{ef}	23.86 ± 1.89^{e}
7	120	15	600	62.92 ± 0.32^{def}	5.33 ± 0.85^{d}	29.59 ± 2.46^{c}
8	120	15	700	63.66 ± 0.26^{de}	7.17 ± 1.69^{c}	34.24 ± 2.35^{b}
9	100	12	600	68.52 ± 2.37^{b}	0.74 ± 0.46^{g}	21.58 ± 0.82^{f}
10	140	12	600	60.48 ± 0.40^{fg}	8.85 ± 0.76^{b}	35.38 ± 3.04^{b}
11	100	12	700	71.73 ± 0.89^{a}	2.13 ± 0.65^{f}	23.76 ± 1.13^{e}
12	140	12	700	59.19 ± 0.64^{g}	8.66 ± 1.69^{b}	34.87 ± 1.62^{b}
13	120	12	650	61.99 ± 1.29^{ef}	3.22 ± 1.34^{e}	24.50 ± 1.50^{e}
14	120	12	650	62.17 ± 3.11^{ef}	3.19 ± 1.30^{e}	24.26 ± 2.28^{e}
15	120	12	650	62.14 ± 2.73^{ef}	3.06 ± 0.37^{ef}	24.11 ± 1.41^{e}

หมายเหตุ $^{a-i}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

จากการทดลองพบว่า ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 42 โดยค่า X_2 ($p\leq0.01$) และค่า X_1^2 ($p\leq0.05$) มีอิทธิพลต่อค่าแอคติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 43 โดยเมื่อเพิ่มเวลาจาก 9 เป็น 12 และ 15 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลงเนื่องจากค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นในอาหาร โดยเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำในอาหารเพิ่มสูงขึ้นและลดลงจนคงที่ในที่สุด ซึ่งมีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลงตามไปด้วย จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Tan and Mittal (2007) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทอดโดนัทภายใต้สภาวะสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นลดลง

ค. ค่าเนื้อสัมผัส

จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็ง และค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 42 โดยค่า X_2 ($p\leq0.001$), ค่า X_1 และค่า X_3 ($p\leq0.01$) และค่า X_2^2,ค่า X_3^2 และ X_2^2 ($p\leq0.05$) มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่า X_1 และค่า X_2 ($p\leq0.05$) มีอิทธิพลต่อค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 43 โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทอดจาก 100 เป็น 120 และ 140 องศาเซลเซียส การเพิ่มเวลาในการทอดจาก 9 เป็น 12 และ 15 นาที และเมื่อความดันสุญญากาศเพิ่มจาก 600 เป็น 650 และ 700 มิลลิเมตรปรอท จะทำให้ค่าความแข็งและค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อนำอาหารไปทอดความร้อนจากน้ำมันจะถ่ายเทไปยังน้ำในอาหาร ทำให้น้ำในอาหารถึงจุดเดือดระเหยออกไป ทำให้อาหารเกิดรูพรุนขึ้นภายในซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารสังเกตได้จากค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทอดซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งจะลดลง ในช่วงแรกของการทอดและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นก็จะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในช่วงแรกของการทอดเป็นการหดตัวของชิ้นตัวอย่าง เนื่องมาจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความแข็งลดลงและเมื่อให้ความร้อนต่อไปผนังของชิ้นตัวอย่างเริ่มเกิดเป็นชั้นแข็งและเกิดการขยายตัว ทำให้ค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อยๆลดลงจนค่อนข้างคงที่ในที่สุด (ราม และ ถาวร, 2548) โดยสิ่งทดลอง

ที่มีค่าความแข็งมากจะมีค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปมากด้วย (รองรัตน์, 2546) ในขณะที่การทอดอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศ ค่าเนื้อสัมผัสของอาหารในช่วงเริ่มทอดจะมีความเหนียวและในช่วงต่อมาอาหารจะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบขึ้น (Garayo and Moreira, 2002) เนื่องจากการทอดอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นจะทำให้น้ำสามารถระเหยออกไปได้เร็วขึ้นที่จุดเดือดที่ต่ำกว่าซึ่งจะใช้เวลาในการทอดสั้นที่สั้นลง ทำให้เปลือกของอาหารเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความแข็งอาหารนั้นลดลงเมื่อความดันสุญญากาศต่ำลง

จากการทดลองพบว่า ระยะทางแตกหักของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 42 โดยค่า X_1 ($p\leq0.001$) ค่า X_2 และค่า X_1^2 ($p\leq0.05$) มีอิทธิพลต่อค่าระยะทางแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 43 ค่าระยะทางแตกหักบอกถึงค่าความแตกเปราะของอาหาร ถ้าค่าระยะทางแตกหักมากแสดงว่าตัวอย่างมีความแตกเปราะน้อย จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 100 เป็น 120 และ 140 องศาเซลเซียส และการเพิ่มเวลาในการทอดจาก 9 เป็น 12 และ 15 นาที จะทำให้ค่าระยะทางแตกหักลดลง ซึ่งแสดงว่าอาหารมีความแตกเปราะมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทอดจะทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปได้มากขึ้นทำให้เกิดรูพรุนในอาหารเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของอาหารจึงเกิดการหดตัว ความหนาแน่นจึงลดลงและเมื่อให้ความร้อนแก่อาหารต่อไป น้ำในอาหารที่ยังคงติดอยู่ภายในเนื่องจากการแพร่ของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อจะทำให้อาหารเกิดการขยายตัวและทำให้รูพรุนในอาหารใหญ่ขึ้น (Taiwo and Bail, 2007) จนกระทั่งชิ้นของอาหารเริ่มเกิดชั้นแข็ง ทำให้น้ำในชิ้นอาหารระเหยออกมาได้ยาก จึงดันเปลือกแข็งออกมา ทำให้อาหารมีการขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งน้ำในอาหารเหลือน้อย การขยายตัวจึงหยุดทำให้อาหารที่ได้มีรูพรุนภายในมากและมีความหนาแน่นน้อยจึงเกิดการแตกเปราะได้มาก จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ ราม และ ถาวร (2548) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้วยในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยพบว่า ความหนาของชิ้นตัวอย่างอาหารจะหดตัวลงในช่วงแรกของการทอดและจะขยายตัวออกเมื่อเวลาในการทอดผ่านไป และเมื่อน้ำในตัวอย่างระเหยออกจนเกือบหมด ชิ้นตัวอย่างจะหดตัวลงอีกครั้งซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงรูพรุนของอาหารในระหว่างการทอด ที่ช่วงแรกจะเกิดการหดตัวและจะขยายตัวเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอาหารเริ่มการเกิดแข็งตัว

ตารางที่ 42 ค่าคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความดัน (มม.ปรอท)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	ค่าเนื้อสัมผัส [1]		
					ความแข็ง (นิวตัน)	ระยะทางแตกหัก (มม.)	งานทั้งหมด (มิลลิจูล)
1	100	9	650	0.31 ± 0.00^{a}	4.63 ± 2.27^{c}	1.50 ± 0.46^{b}	1.21 ± 0.00^{c}
2	100	15	650	0.12 ± 0.00^{h}	8.25 ± 1.44^{b}	1.17 ± 0.15^{cd}	2.54 ± 0.00^{bc}
3	140	9	650	0.19 ± 0.00^{de}	5.77 ± 2.45^{bc}	0.98 ± 0.31^{ef}	2.06 ± 0.00^{bc}
4	140	15	650	0.12 ± 0.01^{i}	13.04 ± 0.06^{a}	0.63 ± 0.20^{h}	4.26 ± 0.00^{a}
5	120	9	600	0.27 ± 0.00^{b}	5.75 ± 1.35^{bc}	1.07 ± 0.15^{de}	1.87 ± 0.00^{bc}
6	120	9	700	0.27 ± 0.00^{b}	7.26 ± 1.30^{bc}	1.06 ± 0.24^{de}	2.25 ± 0.00^{bc}
7	120	15	600	0.19 ± 0.00^{e}	6.34 ± 1.15^{bc}	0.83 ± 0.17^{a}	2.09 ± 0.00^{bc}
8	120	15	700	0.19 ± 0.00^{de}	12.49 ± 0.59^{a}	0.84 ± 0.29^{fg}	3.05 ± 0.00^{bc}
9	100	12	600	0.14 ± 0.00^{g}	5.43 ± 0.09^{bc}	1.25 ± 0.36^{fg}	1.32 ± 0.00^{c}
10	140	12	600	0.13 ± 0.00^{h}	7.21 ± 1.61^{bc}	0.66 ± 0.23^{h}	2.22 ± 0.00^{bc}
11	100	12	700	0.15 ± 0.00^{f}	7.59 ± 1.49^{bc}	1.70 ± 0.21^{a}	2.50 ± 0.00^{bc}
12	140	12	700	0.16 ± 0.01^{f}	11.55 ± 0.64^{a}	0.64 ± 0.07^{h}	2.68 ± 0.00^{bc}
13	120	12	650	0.24 ± 0.00^{c}	5.47 ± 1.10^{bc}	0.70 ± 0.21^{gh}	1.84 ± 0.00^{bc}
14	120	12	650	0.20 ± 0.01^{d}	5.40 ± 2.15^{bc}	0.78 ± 0.28^{gh}	1.69 ± 0.00^{bc}
15	120	12	650	0.24 ± 0.00^{c}	5.31 ± 2.26^{bc}	0.75 ± 0.19^{gh}	1.56 ± 0.00^{bc}

หมายเหตุ $^{a-i}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[1] ค่าเนื้อสัมผัส วิเคราะห์จากการใช้แรงกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกหัก

เมื่อนำข้อมูลคุณภาพทางกายภาพ (ตารางที่ 41 และ 42) ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มาวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางกายภาพได้แก่ ค่าสีในระบบ CIELAB ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ความแข็ง ระยะทางแตกหักและงานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่าสามารถใช้สมการถดถอยของ ค่าสีในระบบ CIELAB ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ความแข็ง ระยะทางแตกหักและงานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป อธิบายความสัมพันธ์เพื่อทำนายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้ โดยทุกสมการมีระดับความเชื่อมั่นมากกกว่าร้อยละ 95 และมีค่า R^2 ตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป สมการถดถอยของค่าคุณภาพทางกายภาพและค่า R^2 แสดงดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 สมการถดถอยและสัดส่วนความแปรปรวนของคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ค่า [1]	ค่าสีในระบบ CIELAB			ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	ค่าเนื้อสัมผัส [2]		
	L*	a*	b*		ความแข็ง	ระยะทางแตกหัก	งานทั้งหมด
p-value	0.002**	0.001**	0.000***	0.034*	0.003**	0.010**	0.090
R^2	0.975	0.980	0.987	0.912	0.970	0.948	0.863
Intercept	62.098***	3.153***	24.289***	0.224***	5.393***	0.743***	0.002**
X_1	-4.467***	3.186***	6.350***	-0.017	1.526**	-0.338***	0.000*
X_2	-1.939**	2.283**	3.602***	-0.053**	2.091***	-0.144*	0.001*
X_3	0.074	0.640	0.948	0.005	1.837**	0.054	0.000
X_1^2	1.646*	1.701**	3.740**	-0.060*	1.191*	0.218*	0.000
X_2^2	1.594*	0.711	2.418*	0.021	1.340*	0.109	0.000
X_3^2	1.235	0.240	0.867	-0.018	1.223*	0.099	0.000
X_1X_2	-1.040	0.257	-0.136	0.026	0.913	-0.006	0.000
X_1X_3	-1.124	-0.394	-0.670	0.004	0.418	-0.116	0.000
X_2X_3	0.706	-0.061	0.845	0.001	1.159*	0.005	0.000

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$), *** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.001$)

[1] X_1 อุณหภูมิในการทอด (องศาเซลเซียส) X_2 เวลาในการทอด (นาที) X_2 ความดันสุญญากาศ (มม.ปรอท)

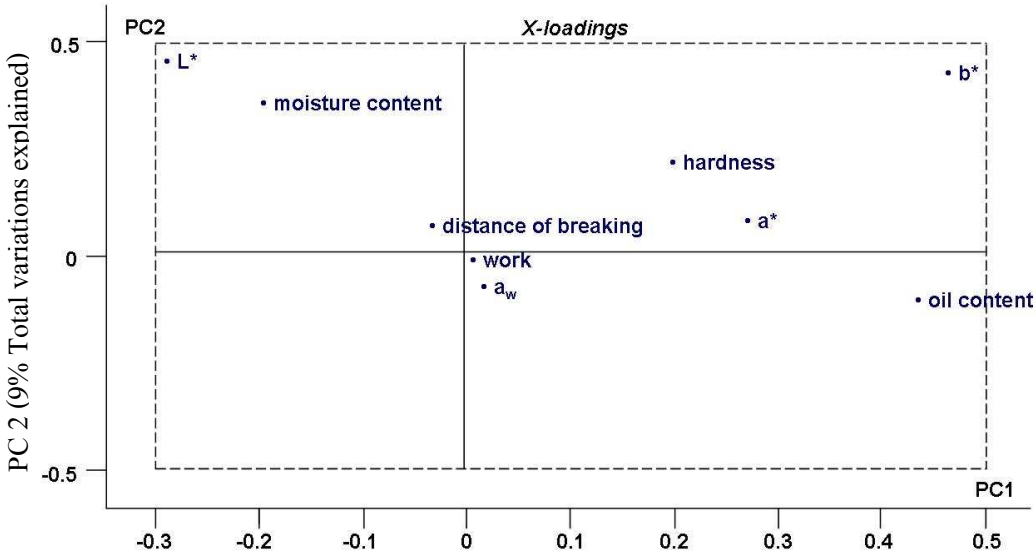
[2] ค่าเนื้อสัมผัส วิเคราะห์จากการใช้แรงกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกหัก

3.4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับสิ่งทดลอง

จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 15 สิ่งทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพทั้ง 9 คุณลักษณะ นำค่าเฉลี่ยของปัจจัยคุณภาพทางเคมีและกายภาพมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ ทำการจัดตัวแปรใหม่ได้โดยพิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัย แสดงดังตารางที่ 44 พบว่า สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ร้อยละ 92 โดยใช้ principal 1 และ 2 (PC1 และ PC2) ดังภาพที่ 17 พบว่า PC1 (แกนนอน) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 83 มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับค่าสีแดง (a*), ค่าสีเหลือง (b*), ค่าความแข็ง (hardness) และค่าปริมาณไขมัน (fat content) และมีความสัมพันธ์ในด้านลบกับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพดังกล่าวบนแกน PC1 พบว่ามีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าสีเหลืองและความแข็งของสิ่งทดลองจึงเรียกแกน PC1 ว่าสีและเนื้อสัมผัส (color and texture) เมื่อพิจารณาแกน PC2 (แกนตั้ง) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 9 มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับค่าความสว่าง (L*), ค่าปริมาณความชื้น (moisture content), ค่าระยะทางแตกหัก (distance of breaking) และค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป (work) เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพดังกล่าวบนแกน PC2 พบว่า มีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าความสว่างและปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองจึงเรียกแกน PC2 ว่าความสว่างและปริมาณความชื้น (lightness and moisture content)

ตารางที่ 44 น้ำหนักของปัจจัยทางด้านคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

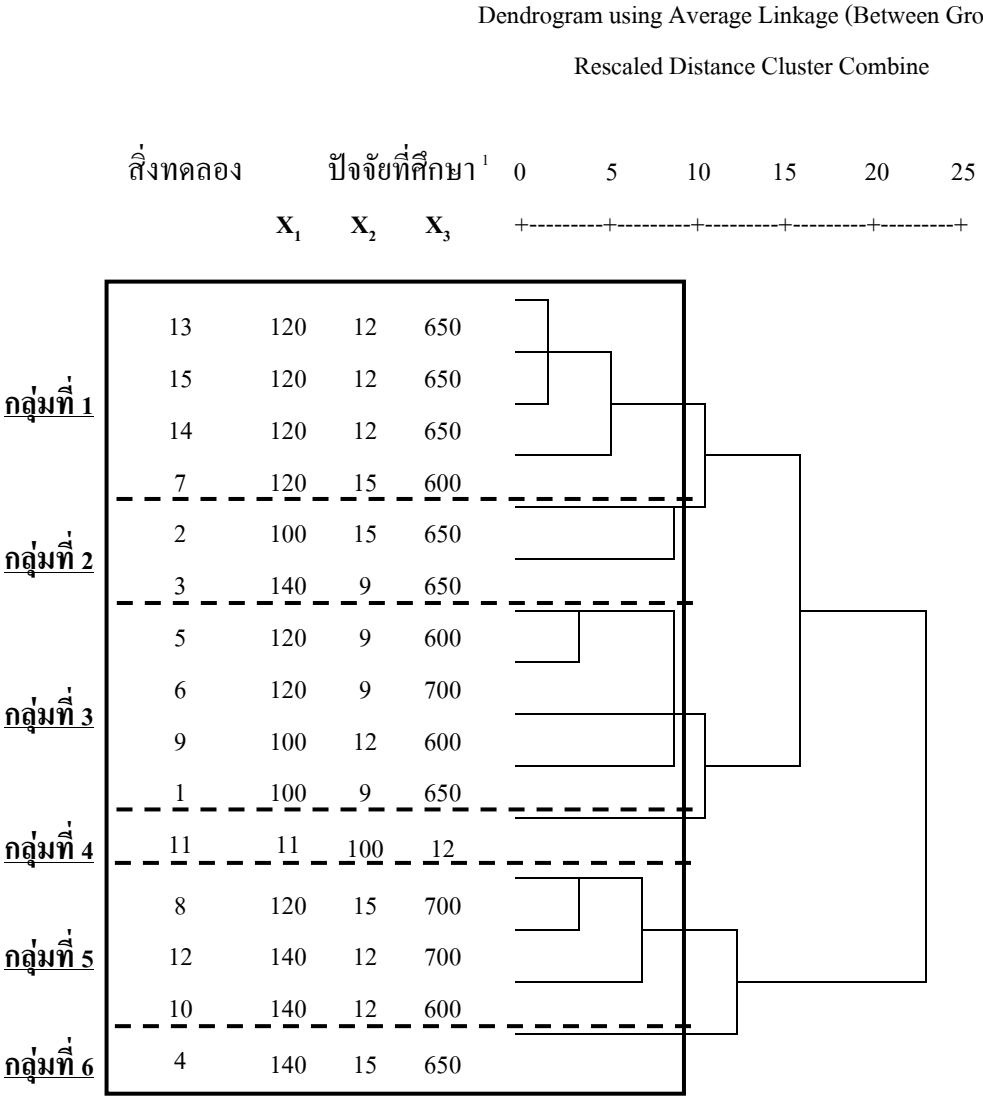
คุณลักษณะ	น้ำหนักของปัจจัย	
	องค์ประกอบที่ 1 (PC 1)	องค์ประกอบที่ 2 (PC 2)
ค่าสีเหลือง (b*)	0.533	0.438
ปริมาณไขมัน (fat content)	0.433	-0.120
ค่าสีแดง (a*)	0.285	0.104
ค่าความแข็ง (hardness)	0.195	0.194
ค่าความสว่าง (L*)	-0.306	0.481
ปริมาณความชื้น (moisture content)	-0.201	0.359
ค่าระยะทางแตกหัก (distance of breaking)	0.023	0.047
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	0.003	0.003
ค่างานทั้งหมด (work)	0.001	0.001
ความแปรปรวนรวม (ร้อยละ)	83.00	9.00



ภาพที่ 17 Principal Component Analysis ของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศของแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ 2 (PC2)

จากการวัดค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของสิ่งทดลองทั้ง 15 สิ่งทดลอง นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูลแบบ Hierarchical ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อจัดกลุ่มสิ่งทดลองที่มีค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกันไว้ในกลุ่มเดียว โดยพิจารณาจากระยะห่างของการรวมกลุ่มถ้าระยะห่างน้อยที่สุดหมายถึง สิ่งทดลองนั้นจะอยู่กลุ่มเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 18 พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มออกได้ดังนี้

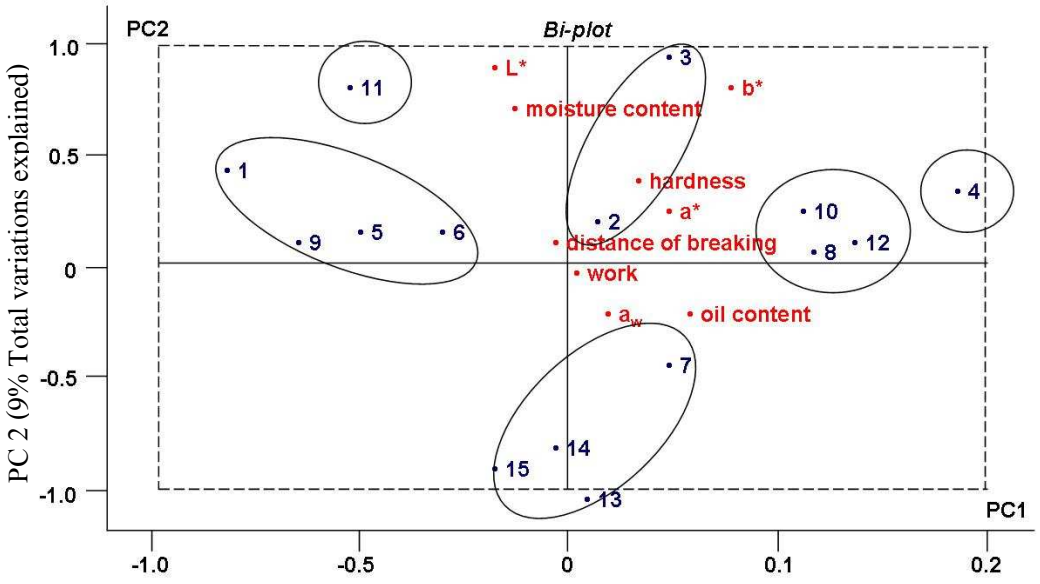
กลุ่มที่ 1 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 13, 15, 14 และ 7
กลุ่มที่ 2 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 2 และ 3
กลุ่มที่ 3 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 5, 6, 9 และ 1
กลุ่มที่ 4 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 11
กลุ่มที่ 5 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 8, 12 และ 10
กลุ่มที่ 6 ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 4



ภาพที่ 18 แผนภาพเดนโดแกรมการจำแนกกลุ่มสิ่งทดลองของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสภาวะในการทดลองแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลองตามค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพด้วยวิธีการจำแนกกลุ่มแบบ Hierarchical เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล

หมายเหตุ [1] X_1 อุณหภูมิในการทอด (องศาเซลเซียส) X_2 เวลาในการทอด (นาที)
X_3 ความดันสุญญากาศ (มม.ปรอท)

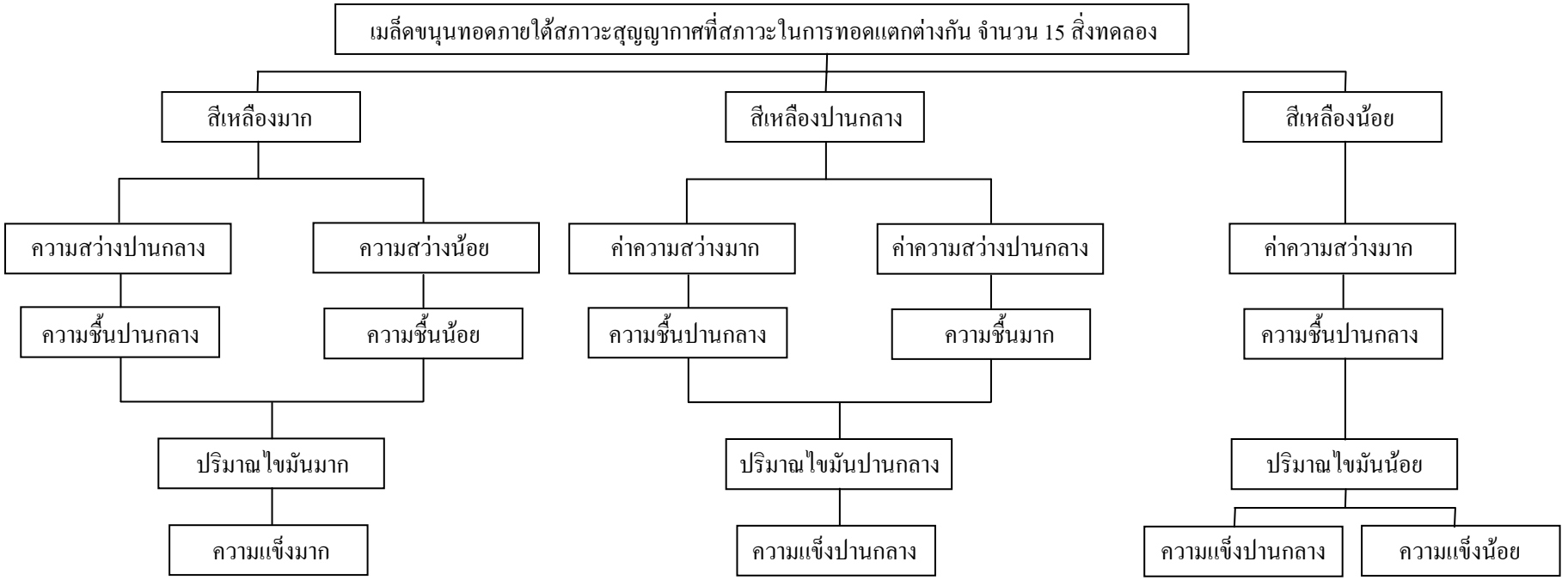
ขั้นตอนต่อมาจะนำค่าเฉลี่ยปัจจัยคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รวม 9 คุณลักษณะ มาปรับค่า (standardize) เพื่อหาความสัมพันธ์กับสิ่งทดลองทั้ง 15 สิ่งทดลอง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับการสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับสิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 44 และภาพที่ 19 ที่มีความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพและสิ่งทดลองดังนี้



ภาพที่ 19 กราฟ bi-plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสภาวะในการทดลองแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง

หมายเหตุ วงกลมแสดงการจัดกลุ่มเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 15 สิ่งทดลอง จำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล

เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้ง 2 องค์ประกอบของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสภาวะในการทอดลองแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง ร่วมกับการจำแนกกลุ่มสิ่งทดลองด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล โดยแสดงแผนภาพ bi-plot สามารถจำแนกความแตกต่างของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศออกได้เป็น 6 กลุ่มดังแสดงในภาพที่ 20



กลุ่มที่ 5

TRT	X_1	X_2	X_3
8	120	15	700
10	140	12	600
12	140	12	700

กลุ่มที่ 6

TRT	X_1	X_2	X_3
4	140	15	650

กลุ่มที่ 2

TRT	X_1	X_2	X_3
2	100	15	650
3	140	9	650

กลุ่มที่ 1

TRT	X_1	X_2	X_3
7	120	15	600
13	120	12	650
14	120	12	650
15	120	12	650

กลุ่มที่ 4

TRT	X_1	X_2	X_3
11	100	12	700

กลุ่มที่ 3

TRT	X_1	X_2	X_3
1	100	9	650
5	120	9	600
6	120	9	700
9	100	12	600

ภาพที่ 20 การจัดแบ่งกลุ่มเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 15 สิ่งทดลองด้วยค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบขององค์ประกอบที่ 1 และ 2 ร่วมกับการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล

3.4.4 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีอุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศ ที่แตกต่างกันมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบ 9 ระดับ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 175 คน พบว่าอุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศมีผลต่อคะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 45

ก. ความชอบด้านลักษณะปรากฏ

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 4.7-6.8 โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยใกล้เคียงกันและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสิ่งทดลองที่ 1 มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 6.8

ข. ความชอบด้านกลิ่นโดยรวม

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโดยรวมของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่นโดยรวมอยู่ในช่วง 4.9-6.5 โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยใกล้เคียงกันและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสิ่งทดลองที่ 2 มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 6.5

ค. ความชอบด้านรสชาติ

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านรสชาติอยู่ในช่วง 4.6-6.5 โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยใกล้เคียงกันและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่าง ($p \leq 0.05$) ซึ่งสิ่งทดลองที่ 10 มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 6.5

ง. ความชอบด้านความกรอบ

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความกรอบอยู่ในช่วง 4.6-7.2 โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสิ่งทดลองที่ 3 มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 7.2

จ. ความชอบด้านความแข็ง

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความแข็งของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความแข็งอยู่ในช่วง 4.7-7.2 โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสิ่งทดลองที่ 3 มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 7.2

ฉ. ความชอบด้านความชอบรวม

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความชอบรวมอยู่ในช่วง 4.8-7.1 โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสิ่งทดลองที่ 3 มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 7.1

เมื่อนำคะแนนความชอบเฉลี่ยของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความแตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลอง ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 45 มาวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม พบว่า สามารถใช้สมการถดถอยของคะแนนความชอบด้านความกรอบอธิบายความสัมพันธ์เพื่อทำนายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยสมการมีระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 และมีค่า R^2 มากกว่า 0.65 ขึ้นไป

ตารางที่ 45 คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอดและความดันสุญญากาศที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความดัน (มม.ปรอท)	คุณลักษณะ					
				ลักษณะปรากฏ	กลิ่นโดยรวม	รสชาติ	ความกรอบ	ความแข็ง	ความชอบรวม
1	100	9	650	6.8 ± 0.89^{a}	5.7 ± 1.13^{bcde}	4.6 ± 1.56^{g}	4.6 ± 1.56^{g}	4.9 ± 1.59^{ef}	5.0 ± 1.39^{fg}
2	100	15	650	6.1 ± 1.14^{abcd}	6.5 ± 0.92^{ab}	6.1 ± 1.39^{abc}	6.3 ± 1.35^{bc}	6.3 ± 1.07^{bc}	6.5 ± 1.15^{ab}
3	140	9	650	6.4 ± 1.29^{abc}	6.3 ± 1.30^{a}	6.3 ± 1.64^{ab}	7.2 ± 1.07^{a}	7.2 ± 0.97^{a}	7.1 ± 1.14^{a}
4	140	15	650	5.5 ± 1.36^{de}	5.9 ± 1.32^{bcde}	5.6 ± 1.56^{cde}	6.2 ± 1.50^{bcd}	6.4 ± 1.42^{bc}	5.9 ± 1.27^{bcde}
5	120	9	600	6.5 ± 1.29^{ab}	6.1 ± 1.22^{abc}	5.8 ± 1.53^{abcd}	6.5 ± 1.36^{bc}	6.4 ± 1.38^{bc}	6.4 ± 1.06^{abcd}
6	120	9	700	6.1 ± 1.92^{bcd}	6.2 ± 1.37^{ab}	5.9 ± 1.44^{abcd}	6.5 ± 1.40^{ab}	6.5 ± 1.29^{bc}	6.5 ± 1.09^{abc}
7	120	15	600	5.8 ± 1.56^{bcd}	5.8 ± 1.34^{bcde}	5.9 ± 1.30^{abcd}	6.2 ± 1.62^{bcd}	6.1 ± 1.44^{bcd}	6.1 ± 1.05^{bcde}
8	120	15	700	5.7 ± 1.60^{cd}	5.5 ± 1.31^{cde}	5.5 ± 1.50^{cde}	6.3 ± 1.12^{bcd}	6.3 ± 1.06^{bc}	5.8 ± 1.28^{de}
9	100	12	600	6.2 ± 1.64^{abc}	5.5 ± 1.20^{cde}	5.3 ± 1.43^{def}	5.5 ± 1.75^{def}	5.5 ± 1.63^{de}	5.6 ± 1.52^{ef}
10	140	12	600	6.3 ± 1.51^{abcd}	6.0 ± 1.59^{abcd}	6.5 ± 1.48^{a}	6.8 ± 0.95^{ab}	6.6 ± 1.14^{ab}	6.5 ± 1.36^{ab}
11	100	12	700	6.1 ± 1.54^{bcd}	5.4 ± 1.60^{def}	5.4 ± 1.74^{cdef}	5.7 ± 1.56^{cde}	5.5 ± 1.69^{de}	5.6 ± 1.77^{ef}
12	140	12	700	6.1 ± 1.49^{abcd}	5.9 ± 1.34^{abcd}	5.8 ± 1.48^{abcd}	6.6 ± 1.33^{ab}	6.6 ± 0.88^{b}	6.1 ± 1.30^{bcde}
13	120	12	650	6.3 ± 1.25^{abc}	5.9 ± 1.09^{abcde}	5.7 ± 1.76^{bcd}	5.7 ± 1.70^{cde}	5.9 ± 1.59^{cd}	5.8 ± 1.56^{cde}
14	120	12	650	4.7 ± 1.93^{f}	4.9 ± 1.75^{f}	4.8 ± 1.85^{fg}	5.1 ± 1.98^{efg}	5.1 ± 2.01^{ef}	4.8 ± 1.91^{g}
15	120	12	650	5.1 ± 1.86^{ef}	5.3 ± 1.83^{ef}	4.9 ± 1.92^{efg}	5.0 ± 1.92^{fg}	4.7 ± 1.92^{f}	4.9 ± 1.85^{g}

หมายเหตุ $^{a-g}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 46 สมการถดถอยและสัดส่วนความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ค่า [1]	คุณลักษณะ					
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นโดยรวม	รสชาติ	ความกรอบ	ความแข็ง	ความชอบรวม
p-value	0.578	0.506	0.096	0.024*	0.062	0.101
R^2	0.620	0.654	0.859	0.924	0.885	0.856
Intercept	5.371	5.371***	5.143***	5.295***	5.210***	5.191***
X_1	-0.114	0.121	0.357*	0.575**	0.575*	0.357
X_2	-0.336	-0.068	0.043	0.029	0.011	-0.075
X_3	-0.114	-0.039	-0.086	0.011	0.036	-0.089
X_1^2	0.500	0.286	0.229	0.295	0.342	0.340
X_2^2	0.343	0.464	0.271	0.488*	0.642*	0.590*
X_3^2	0.314	0.079	0.386	0.581*	0.506	0.419
X_1X_2	-0.071	-0.321	-0.557*	-0.664**	-0.564*	-0.664*
X_1X_3	-0.029	0.021	-0.200	-0.114	-0.014	-0.121
X_2X_3	0.086	-0.100	-0.129	-0.007	0.014	-0.100

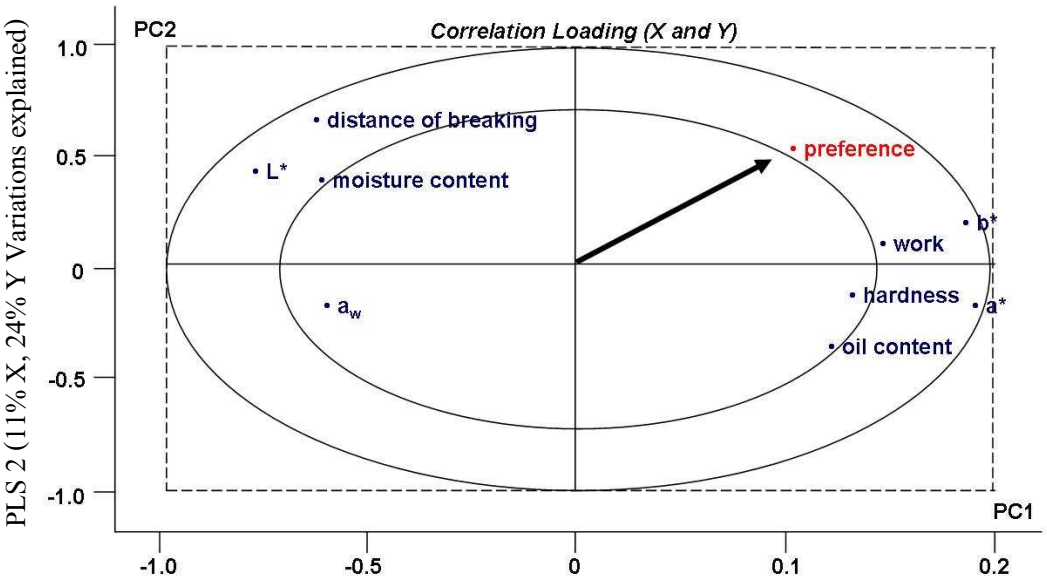
หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$), *** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.001$)

[1] X_1 อุณหภูมิในการทอด (องศาเซลเซียส) X_2 เวลาในการทอด (นาที) X_2 ความดันสุญญากาศ (มม.ปรอท)

3.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบรวมกับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพ

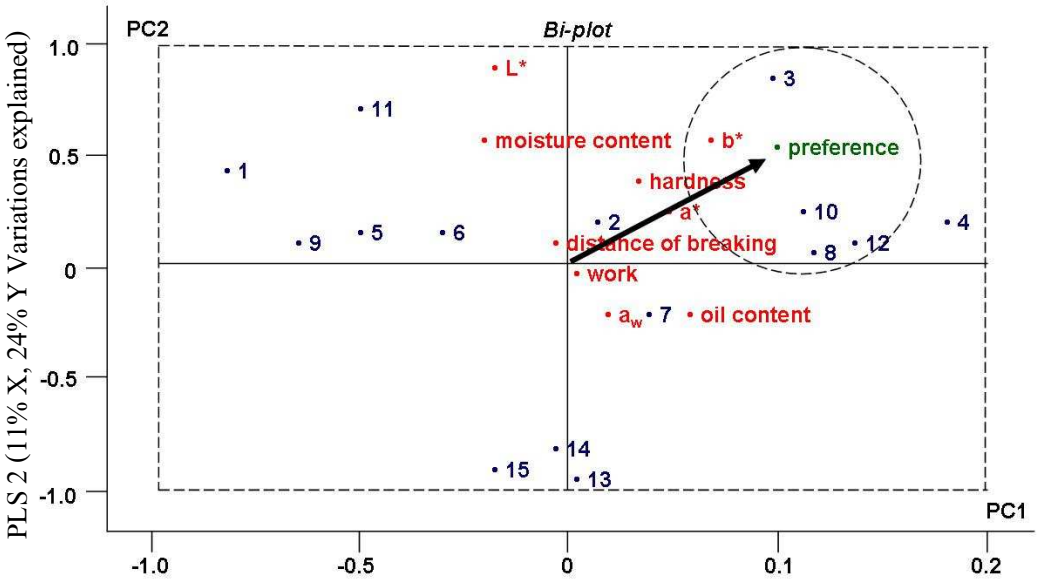
การอธิบายความสัมพันธ์ของความชอบรวมของผู้บริโภคต่อเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวน 15 สิ่งทดลอง โดยนำมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์วิธี Partial Least Square แสดงแผนผังความชอบระหว่างความชอบรวมกับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพทำให้เห็นภาพรวมของความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวม (preference) กับคุณลักษณะต่างๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบรวมของผู้บริโภคกับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพด้วยวิธี Partial Least Square ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวน 15 สิ่งทดลอง ซึ่งแสดงถึงคะแนนความชอบรวมมากน้อยของสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน ดังแผนภาพความชอบกับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพดังแสดงในภาพที่ 21 และ 22



ภาพที่ 21 แผนผังความชอบของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (X) เพื่ออธิบายความชอบรวม (preference) (Y) ของผู้บริโภค โดยการวิเคราะห์ด้วย PLS1

หมายเหตุ วงรีแสดงถึงคุณลักษณะมีความสัมพันธ์กับค่าความชอบรวมสูง
ค่า correlation -1 มีความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้าม 1 มีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน



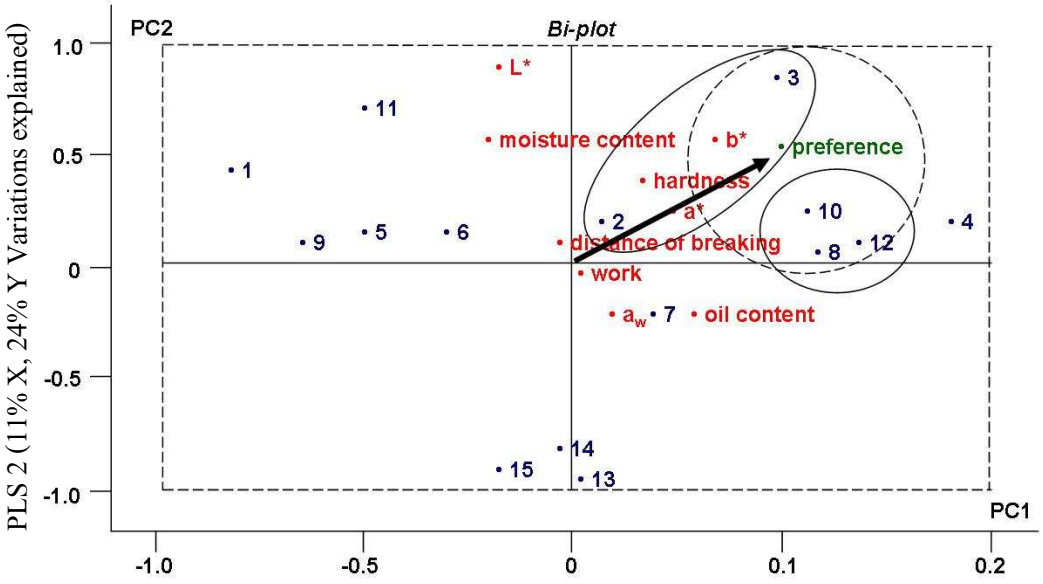
ภาพที่ 22 กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะในการทอดแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง (1-15) กับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (X) เพื่ออธิบายความชอบรวม (preference) (Y) ของผู้บริโภคโดยการวิเคราะห์ด้วย PLS1

แผนผังความชอบ (preference mapping) ของค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีความสัมพันธ์กับความชอบรวม (preference) ของผู้บริโภคแสดงดังภาพที่ 21 พบว่า ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพที่มีความสัมพันธ์กับความชอบรวมในทิศทางเดียวกัน ได้แก่ ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ปริมาณไขมัน (fat content) ค่าความแข็ง (hardness) และค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป (work) และค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพที่มีความสัมพันธ์กับความชอบรวมในทิศทางตรงข้าม ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ปริมาณความชื้น (moisture content) และระยะทางแตกหัก (distance of breaking) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสีเหลืองเข้ม มีค่าความแข็งและปริมาณไขมันมากจะทำให้ผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าผลิตภัณฑ์มีความสว่างและความกรอบน้อย ในขณะที่ปริมาณความชื้นมากจะทำให้ผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์ลดลง

จากแผนภาพความชอบทำให้ทราบถึงคุณลักษณะที่สอดคล้องกับความชอบผู้บริโภคคือ มีสีเหลืองเข้ม มีค่าความแข็งและปริมาณไขมันมากจะทำให้ผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าผลิตภัณฑ์มีความสว่างและความกรอบน้อย ในขณะที่ปริมาณความชื้นมาก จะทำให้ผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์ลดลง และเมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคและการพัฒนาแนวความคิดผลิตภัณฑ์พบว่า คุณลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการคือ ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนมีสีเหลือง กรอบ และข้อมูลจากการสำรวจความต้องการของผู้บริโภค พบว่า คุณลักษณะที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุดจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านกลิ่นรสและความสะอาด (จากผลการศึกษาในหัวข้อ 2.2.4 ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ) ซึ่งได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน ผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน ความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ รสชาติ กลิ่น และความกรอบ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า การวิเคราะห์แผนภาพความชอบ การอภิปรายกลุ่มตัวแทนผู้บริโภค การพัฒนาแนวความคิดผลิตภัณฑ์และข้อมูลจากการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคจะมีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการสอดคล้องกัน แต่ทั้งนี้จะพบว่า ความชอบของผู้บริโภคในแผนภาพความชอบจะสัมพันธ์กับปริมาณไขมัน แต่ในการวิเคราะห์ด้านอื่นๆ นั้น ผู้บริโภคไม่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันหรือมีกลิ่นหืนของน้ำมัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าปริมาณไขมันที่พบในผลิตภัณฑ์นั้นจะมีปริมาณในช่วงแคบๆ (ร้อยละ 19.42-36.81) ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะไม่มีผลต่อคุณภาพในด้านการอมน้ำมันหรือการหืนของน้ำมัน แต่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีกลิ่นรสที่ผู้บริโภคต้องการ

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับความชอบรวมของผู้บริโภคด้วยเทคนิค Partial Least Square พบว่า ความชอบรวมของผู้บริโภคจะสัมพันธ์กับพื้นที่ในบริเวณ Quadrant ที่ 1 ดังภาพที่ 23 และการวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูลร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่า พื้นที่ในบริเวณดังกล่าวจะตรงกับกลุ่มตัวอย่างที่ 2 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์การจัดจำแนกกลุ่ม (ในภาพที่ 19) ซึ่งสิ่งทดลองในบริเวณดังกล่าวจะมีคุณลักษณะคือ สีเหลือง ความสว่าง ปริมาณไขมันและความแข็งปานกลางถึงมาก และค่าปริมาณความชื้นปานกลาง โดยสิ่งทดลองดังกล่าวในกลุ่มที่ 2 และ 5 ทั้ง 2 กลุ่ม จะมีสภาวะในการทอดคือ อุณหภูมิในการทอด 100-140 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 600-700 มิลลิเมตรปรอท และเวลาในการทอด 9-15 นาที จากการทดลองพบว่า สภาวะในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ทำผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะที่ผู้บริโภคชอบ คือ มีสีเหลือง ปริมาณไขมัน และค่าความแข็งมาก จะอยู่ในช่วงของสภาวะในการทอดดังกล่าว ดังนั้นสภาวะ

ที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ อุณหภูมิ 100-140 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 600-700 มิลลิเมตรปรอท และเวลาในการทอด 9-15 นาที

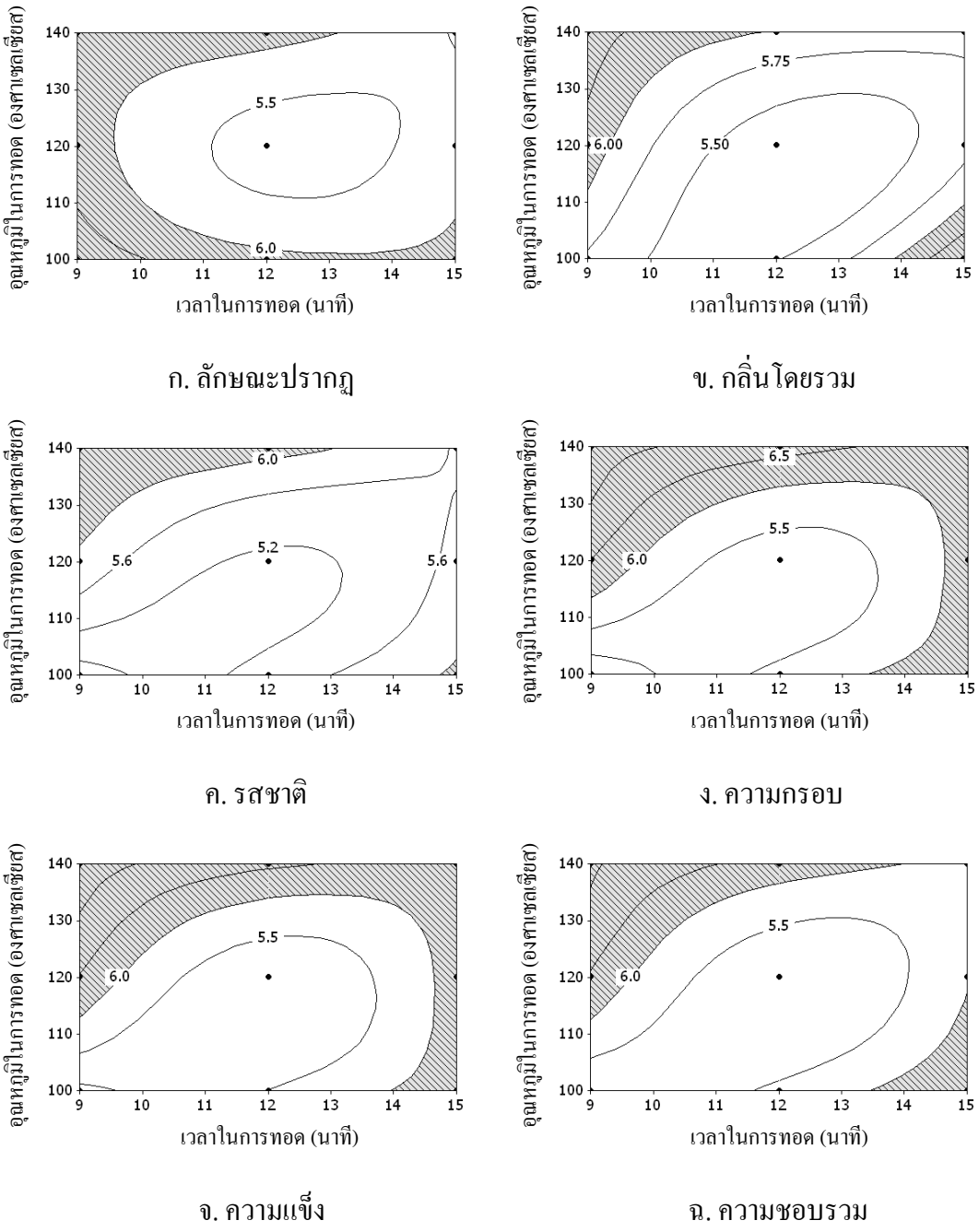


ภาพที่ 23 กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะในการทอดแตกต่างกันจำนวน 15 สิ่งทดลอง (1-15) กับค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (X) เพื่ออธิบายความชอบรวม (preference) (Y) ของผู้บริโภคโดยการวิเคราะห์ด้วย PLS1 ร่วมกับจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล

3.4.6 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

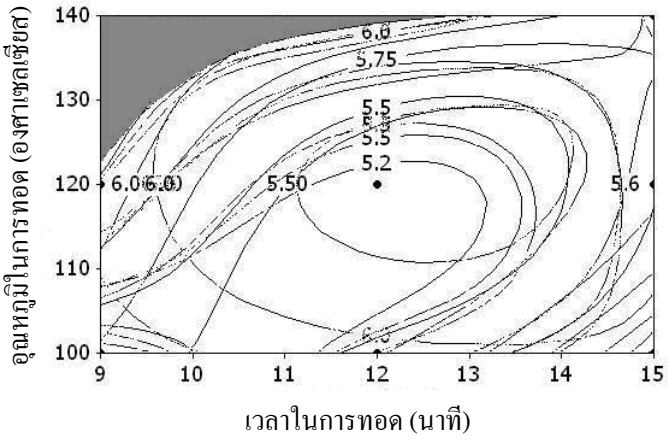
จากการวิเคราะห์สมการถดถอยของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนความชอบของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ อุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอด ในขณะที่ปัจจัยด้านความดันสุญญากาศไม่มีผลต่อคะแนนความของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังแสดงในตารางที่ 46 ดังนั้นการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการซ้อนทับกันของกราฟคอนทัวร์ของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาท

สัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็งและความชอบรวมจะศึกษาเฉพาะกราฟคอนทัวร์ของอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดที่มีผลต่อคะแนนความชอบของคุณลักษณะในด้านต่างๆ ของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเท่านั้น สำหรับปัจจัยด้านความดันสุญญากาศนั้น ในการวิเคราะห์แผนภาพความชอบระหว่างค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของผู้บริโภคพบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมมากที่สุด โดยสิ่งทดลองที่ 3 มีสภาวะในการทอดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 650 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 9 นาที ดังนั้นจึงได้กำหนดความดันสุญญากาศที่ 650 มิลลิเมตรปรอท เป็นสภาวะความดันสุญญากาศในขั้นตอนการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ สำหรับกราฟคอนทัวร์ของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีคะแนนความชอบตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไป แสดงดังภาพที่ 24



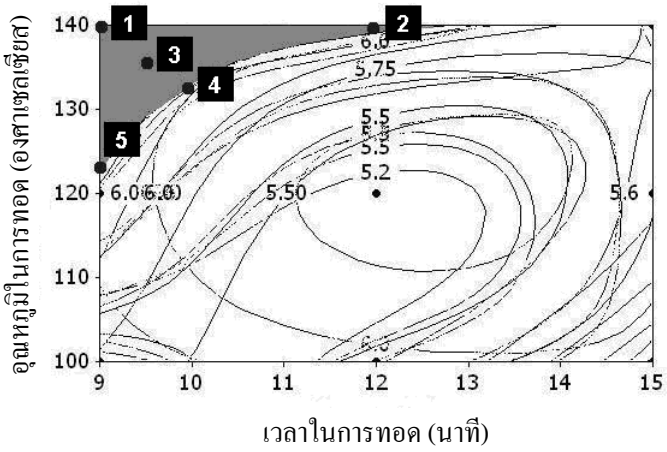
ภาพที่ 24 กราฟคอนทัวร์ที่แรเงาพื้นที่ที่มีคะแนนความชอบมากกว่า 6 ของคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ (ก), กลิ่นโดยรวม (ข), รสชาติ (ค), ความกรอบ (ง), ความแข็ง (จ.) และความชอบรวม (ฉ)

จากกราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากอิทธิพลของอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอด (ภาพที่ 24 ก-ฉ) เมื่อนำพื้นที่ที่มีแนวโน้มของคะแนนความชอบมากกว่า 6.0 คะแนน ในแต่ละคุณลักษณะมาพิจารณาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการนำกราฟคอนทัวร์ของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ มาซ้อนทับกัน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกรรมวิธีการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 25 ในพื้นที่ที่แรเงาซึ่งเป็นขอบเขตของกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นจึงนำพื้นที่ในขอบเขตดังกล่าวไปคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในขั้นต่อไป



ภาพที่ 25 พื้นที่ที่เกิดจากการซ้อนทับกราฟคอนทัวร์ของค่าคะแนนความชอบทางประสาทด้านด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่นโดยรวม, รสชาติ, ความกรอบ, ความแข็ง และความชอบรวมที่มีคะแนนความชอบตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไป

การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมภายในขอบเขตพื้นที่ซ้อนทับกราฟคอนทัวร์ดังภาพที่ 25 กำหนดจุดทำการศึกษา 5 สิ่งทดลอง (ดังภาพที่ 26) โดยกำหนดสภาวะที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 47 ซึ่งจะนำไปทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบ 9 ระดับ ร่วมกับการทดสอบความพอดี ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความแข็ง ความกรอบและความชอบรวม ทดสอบกับผู้บริโภค ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 50 คน เพื่อทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ



ภาพที่ 26 ตำแหน่งสิ่งทดลองที่ทำการศึกษาอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

หมายเหตุ ตัวเลขใน □ แสดงถึงสิ่งทดลองจากการซ้อนทับกราฟคอนทัวร์

ตารางที่ 47 อุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดของสิ่งทดลองทั้ง 5 สิ่งทดลองที่ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	สภาวะที่ทำการศึกษา	
	อุณหภูมิในการทอด (องศาเซลเซียส)	เวลาในการทอด (นาที)
1	140	9.0
2	140	12.0
3	135	9.5
4	130	10.0
5	123	9.0

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 5 สิ่งทดลอง ต่อคุณลักษณะด้านความแข็ง ความกรอบและความชอบรวม พบว่าคุณลักษณะด้านความแข็ง ความกรอบ และความชอบรวม ของสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกคุณลักษณะยกเว้นสิ่งทดลองที่ 3 ดังตารางที่ 48

ตารางที่ 48 คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	คุณลักษณะ		
			ความแข็ง	ความกรอบ	ความชอบรวม
1	140	9.0	6.2 ± 1.64^{ab}	6.4 ± 1.79^{ab}	6.3 ± 1.52^{ab}
2	140	12.0	6.7 ± 1.22^{a}	6.7 ± 1.23^{a}	6.7 ± 1.22^{a}
3	135	9.5	5.6 ± 1.39^{b}	5.5 ± 1.32^{b}	5.7 ± 1.42^{b}
4	130	10.0	5.9 ± 1.09^{ab}	5.9 ± 1.39^{ab}	6.1 ± 0.97^{ab}
5	123	9.0	6.3 ± 1.52^{ab}	6.5 ± 1.23^{ab}	6.2 ± 1.20^{ab}

หมายเหตุ $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยการทดสอบความชอบกับผู้บริโภคพบว่า สิ่งทดลองทั้ง 5 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นสิ่งทดลองที่ 3 แสดงว่าสามารถพิจารณาเลือกพื้นที่ดังกล่าวมาใช้ในการผลิตได้ ดังนั้นในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ จึงนำคะแนนการทดสอบความพอดีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคมาใช้ในการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อไป จากการทดสอบความพอดีต่อคุณลักษณะความแข็งและความกรอบของผู้บริโภคพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 (อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 9 นาที) และสิ่งทดลองที่ 2 (อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 12 นาที) มีคะแนนความพอใจต่อคุณลักษณะทั้ง 2 ด้าน ในระดับไม่ต้องปรับปรุง (พอดี) ในคุณลักษณะด้านความแข็ง (ตารางที่ 49) และคุณลักษณะด้านความกรอบ (ตารางที่ 50) นั่นแสดงว่าสภาวะการทดลองทั้ง 2 สภาวะ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สุญญากาศ แต่เนื่องจากสิ่งทดลองที่ 1 (เวลา 9 นาที) ใช้เวลาในการทอดน้อยว่าสิ่งทดลองที่ 2 (เวลา 12 นาที) ที่อุณหภูมิในการทอดเดียวกัน (อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส) ซึ่งระยะเวลาในการทอดที่น้อยกว่าจะช่วยในการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นจึงคัดเลือกสภาวะในการทอดเมล็ดขนุนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 9 นาที ความดันสุญญากาศ 650 มิลลิเมตรปรอท เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 49 ผลคะแนนการทดสอบความพอดีต่อคุณลักษณะความแข็งของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความพอดี				
			น้อยที่สุด	น้อยปานกลาง	ไม่ต้องปรับปรุง	มากปานกลาง	มากที่สุด
1	140	9.0	4.0	14.0	66.0	10.0	6.0
2	140	12.0	4.0	16.0	68.0	12.0	-
3	135	9.5	16.0	26.0	34.0	20.0	4.0
4	130	10.0	-	30.0	42.0	28.0	-
5	123	9.0	6.0	28.0	54.0	6.0	6.0

ตารางที่ 50 ผลคะแนนการทดสอบความพอดีต่อคุณลักษณะความกรอบของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความพอดี				
			น้อยที่สุด	น้อยปานกลาง	ไม่ต้องปรับปรุง	มากปานกลาง	มากที่สุด
1	140	9.0	10.0	28.0	56.0	-	6.0
2	140	12.0	4.0	22.0	74.0	-	-
3	135	9.5	22.0	38.0	34.0	6.0	-
4	130	10.0	-	34.0	50.0	16.0	-
5	123	9.0	6.0	28.0	42.0	24.0	-

จากผลการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อนำไปพัฒนาสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในขั้นถัดไป คือ สภาวะในการผลิตที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 650 มิลลิเมตรปรอท เวลา 12 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

4. การศึกษาสารปรุงแต่งกลิ่นรสและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากผลการอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภคและการสำรวจผู้บริโภคในข้อ 1.2 โดยให้ผู้บริโภคเรียงลำดับสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรส จากข้อมูลพบว่า สารปรุงแต่งกลิ่นรสที่ผู้บริโภคต้องการให้มีการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมี 5 กลิ่นรส คือ กลิ่นรสเกลือ กลิ่นรสบาร์บีคิว กลิ่นรสสาหร่าย กลิ่นรสเนย และกลิ่นรสครองแครง ดังนั้นจึงได้พัฒนาสูตรที่เหมาะสมของกลิ่นรสทั้ง 5 กลิ่นรส เพื่อนำมาปรุงแต่งในผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยได้คัดเลือกกลิ่นรสทั้ง 5 กลิ่นรส ดังนี้ กลิ่นรสเกลือ กลิ่นรสบาร์บีคิว และกลิ่นรสสาหร่าย (ปริมาณร้อยละ 1.5 ต่อน้ำหนักทั้งหมด) สำหรับกรรมวิธีในการปรุงแต่งกลิ่นรสเกลือ กลิ่นรสบาร์บิคิวและกลิ่นรสสาหร่ายแสดงในภาพที่ 27 สำหรับสูตรกลิ่นรสเนย (แม่อ้อม, 2551) และกลิ่นรสครองแครง (อุจิตชญา และ สีวลี, 2551) แสดงดังตารางที่ 51 และ 52 ตามลำดับ และกรรมวิธีในการเคลือบปรุงแต่งกลิ่นรสเนยและครองแครงแสดงในภาพที่ 28

ภาพที่ 27 กรรมวิธีการปรุงแต่งกลิ่นรสเกลือ กลิ่นรสบาร์บิคิวและกลิ่นรสสาหร่าย

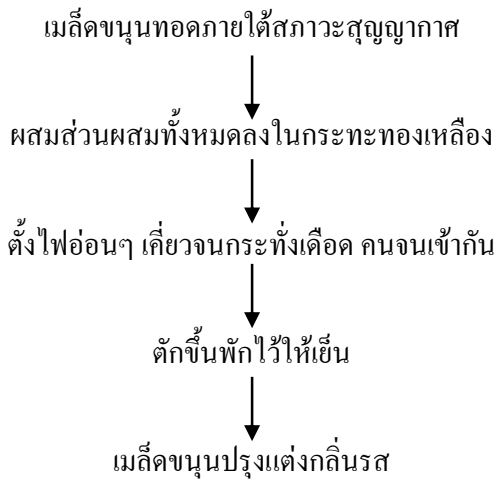
ตารางที่ 51 ส่วนผสมกลิ่นรสเนยในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำตาลปี๊บ	54.15
เนย	36.10
นมสด	9.03
เกลือ	0.72

ที่มา: แม่อ้อม (2551)

ตารางที่ 52 ส่วนผสมกลิ่นรสครองแครงในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำตาลปี๊บ	82.78
น้ำ	8.28
แบะแซ	4.97
รากผักชี	1.32
กระเทียม	1.32
พริกไทย	1.32



ภาพที่ 28 กรรมวิธีการปรุงแต่งกลิ่นรสเนยและกลิ่นรสครองแครง

คัดเลือกกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยนำตัวอย่างทั้ง 5 สิ่งทดลองที่ได้ปรุงแต่งกลิ่นรสแล้วไปคัดเลือกกลิ่นรสที่เหมาะสม โดยการทดสอบให้เรียงลำดับความชอบในด้านรสชาติ (1 คือ ชอบน้อยที่สุด 5 คือ ชอบมากที่สุด) โดยทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 50 คน นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบ Multiple ranking ด้วยวิธี Friedman's man test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี LSD เพื่อคัดเลือกกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

4.1 การคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศได้ทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 50 คน ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการให้ผู้บริโภคทดสอบเรียงลำดับความชอบกลิ่นรส 5 กลิ่นรสคือ กลิ่นรสเกลือ กลิ่นรสบาร์บีคิว กลิ่นรสสาหร่าย กลิ่นรสเนย และกลิ่นรสครองแครง โดยกำหนดระดับคะแนนให้ 5 คือ ชอบมากที่สุด และ 1 คือ ชอบน้อยที่สุด จากผลการทดสอบผู้บริโภคได้คะแนนรวมของกลิ่นรสทั้ง 5 กลิ่นรส นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์แบบ Multiple Ranking ด้วยวิธี Friedman's man test และทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Analog of Fisher' LSD ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ผลคำนวณแสดงในภาคผนวก ข3) ดังตารางที่ 53

ตารางที่ 53 ผลรวมคะแนนลำดับความชอบและค่าเฉลี่ยคะแนนลำดับความชอบความชอบกลิ่นรส 5 กลิ่นรสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

(N = 50)

กลิ่นรส	คะแนนรวมลำดับความชอบ	ค่าเฉลี่ยคะแนนลำดับความชอบ
เกลือ	157	3.14 [b]
บาร์บีคิว	167	3.34 [b]
สาหร่าย	207	4.14 [a]
เนย	114	2.28 [c]
ครองแครง	105	2.10 [c]

หมายเหตุ [a - c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองตารางที่ 53 พบว่า ตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยกลิ่นรสสาหร่ายมีคะแนนอันดับความชอบมากที่สุดคือ 4.14 และแตกต่างจากกลิ่นรสอื่น โดยกลิ่นรสที่มีคะแนนรองลงมาคือ กลิ่นรสบาร์บีคิว 3.34 กลิ่นรสเกลือ 3.14 กลิ่นรสเนย 2.28 และกลิ่นรสครองแครง 2.10 ตามลำดับ ดังนั้นกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ กลิ่นรสสาหร่าย จากผลการทดลองที่ได้จะนำไปศึกษาในขั้นต่อไป โดยการศึกษาปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

4.2 การศึกษาปริมาณสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการศึกษาการคัดเลือกสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า กลิ่นรสที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุดคือ กลิ่นรสสาหร่าย นำกลิ่นรสที่ได้มาทำการพัฒนาสูตรที่เหมาะสม โดยการศึกษาปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายในการปรุงแต่งกลิ่นรสผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำการศึกษาปริมาณกลิ่นรสสาหร่าย 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนน

ความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม ปริมาณกลิ่นรสสาหร่าย รสชาติ ความกรอบ ความแข็งและความชอบรวม จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างทั้ง 4 สิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 54

ตารางที่ 54 คะแนนความชอบและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่ปริมาณสาหร่ายต่างกัน

(N = 50)

ปริมาณกลิ่นรสสาหร่าย (ร้อยละ)	คุณลักษณะ				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นโดยรวม	ปริมาณกลิ่นรสสาหร่าย	รสชาติ	ความชอบรวม
1.0	6.4 ± 1.35^{b}	6.2 ± 1.09^{b}	5.8 ± 1.27^{b}	5.8 ± 1.09^{c}	5.8 ± 1.05^{c}
1.5	7.2 ± 0.78^{a}	6.7 ± 0.87^{ab}	6.8 ± 1.03^{a}	6.6 ± 1.18^{b}	6.6 ± 1.16^{b}
2.0	6.5 ± 1.62^{b}	6.8 ± 1.21^{a}	6.9 ± 1.50^{a}	7.2 ± 1.23^{a}	7.1 ± 1.12^{a}
2.5	6.9 ± 1.07^{b}	6.7 ± 0.81^{ab}	6.9 ± 1.12^{a}	6.6 ± 1.18^{b}	6.4 ± 1.05^{b}

หมายเหตุ $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองดังตารางที่ 54 พบว่า คะแนนความชอบของตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่มีปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายร้อยละ 1.0 จะมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่น และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบของตัวอย่างที่มีปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายร้อยละ 1.5, 2.0 และ 2.5 จะมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นโดยรวมและปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านรสชาติและความชอบรวม พบว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายร้อยละ 2.0 จะมีคะแนนความชอบมากกว่าตัวอย่างอื่น และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจากการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสพบว่าปริมาณกลิ่นรสสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศคือ ร้อยละ 2.0

5. การศึกษาคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ได้จากการพัฒนาในข้อ 3-4 (กรรมวิธีการผลิตสภาวะในการทอดและกลิ่นรสที่เหมาะสม) แสดงกรรมวิธีการผลิตดังภาพที่ 29 ได้ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 30

เมล็ดขนุนล้างทำความสะอาด

↓

ต้มในน้ำ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

↓

ปอกเปลือก หั่นบางขนาด 2 มิลลิเมตร

↓

นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

↓

ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ
ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน 650 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 9 นาที

↓

ปรุงแต่งกลิ่นรสสาหร่ายร้อยละ 2

↓

เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ภาพที่ 29 กรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ภาพที่ 30 ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ผลิตได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แสดงดังภาพที่ 29 นำมาตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่า จะมีค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมี แสดงดังตารางที่ 55

ตารางที่ 55 ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

คุณภาพ		เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ
คุณภาพทางกายภาพ	ค่าความสว่าง; L*	78.90 ± 2.83
	ค่าสีแดง; a*	7.09 ± 5.85
	ค่าสีเหลือง; b*	26.80 ± 3.23
	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.23 ± 0.00
	ความแข็ง (นิวตัน)	5.85 ± 2.55
	ค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป (มิลลิจูล)	0.72 ± 0.23
	ค่าระยะทางแตกหัก (มิลลิเมตร)	2.00 ± 0.00
คุณภาพทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	ความชื้น	4.42 ± 0.13
	โปรตีน	6.20 ± 0.25
	ไขมัน	25.38 ± 0.33
	เถ้า	1.31 ± 0.07
	เส้นใยหยาบ	2.34 ± 0.05
	คาร์โบไฮเดรต[1]	60.35

หมายเหตุ [1] ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) =100 - ร้อยละของ (โปรตีน+ไขมัน+เส้นใยหยาบ+เถ้า)

6. การคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ คำนวณจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศและราคาภาชนะบรรจุ ได้แก่ เมล็ดขนุน กลิ่นรสสาหร่าย นั้นปาล์มและถุงอลูมีเนียมฟอยล์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐมีราคากิโลกรัมละ 7 บาท (ราคาในช่วงเดือนสิงหาคม 2551 - มีนาคม 2552) เมล็ดขนุน 1 กิโลกรัม สามารถนำมาผลิตเป็นเมล็ดขนุนแผ่นได้ 0.5 กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนในการผลิตเมล็ดขนุนแผ่นคือ 3.50 บาท ต่อกิโลกรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีราคากิโลกรัมละ 38 บาท (ราคาในช่วงเดือนสิงหาคม 2551 - มีนาคม 2552) น้ำมันปาล์ม 1 กิโลกรัม สามารถนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้ 1 กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการผลิตคือ 38 บาท ต่อเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 1 กิโลกรัม (คิดเป็น 1.9 บาท ต่อ 50 กรัม)

6.2 ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการคำนวณเป็นต้นทุนต่อ 1 ซอง มีน้ำหนักรวม 50 กรัม ใช้ข้อมูลด้านราคาต่อปริมาณของวัตถุดิบโดยคำนวณจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ พบว่า ต้นทุนในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ คือ 2.84 บาท แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 56

ตารางที่ 56 ต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ 1 ถุง (50 กรัม)

วัตถุดิบ	ราคาต่อหน่วย	ปริมาณที่ใช้	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท)
เมล็ดขนุนทอด	3.50 บาท/กก.	50 กรัม	0.18
น้ำมันปาล์ม	38 บาท/กก.	50 กรัม	1.90
กลิ่นรสสาหร่าย	180 บาท/กก.	1 กรัม	0.18
ซองอะลูมิเนียมฟอยล์	0.58 บาท/ซอง	1 ซอง	0.58
ต้นทุนรวมของวัตถุดิบ			2.84

7. การศึกษาความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยการเสนอตัวอย่างและแบบสอบถามแสดงดังภาคผนวกที่ จ5 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคแสดงในตารางที่ 57 กลุ่มผู้บริโภคเป็นเพศหญิงร้อยละ 57.0 และเพศชายร้อยละ 43.0 มีช่วงอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 33.5 ระดับการศึกษาส่วนใหญ่ คือ ปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 66.5 อาชีพส่วนใหญ่ คือ นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 42.5 รายได้ต่อเดือน ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 5,001-10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 27.0

ตารางที่ 57 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

(N =200)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		จำนวน (คน)	จำนวน (ร้อยละ)
เพศ	ชาย	84	43.0
	หญิง	114	57.0
อายุ	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ปี	67	33.5
	26 - 35 ปี	55	27.5
	36- 45 ปี	42	21.0
	มากกว่าหรือเท่ากับ 46 ปี	36	18.0
ระดับการศึกษา	มัธยมศึกษา	11	5.5
	อนุปริญญา	31	15.5
	ปริญญาตรี	133	66.5
	สูงกว่าปริญญาตรี	25	15.0
อาชีพ	นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	85	42.5
	พนักงานบริษัทเอกชน	47	23.5
	รับจ้าง	26	13.0
	รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	21	10.5
	ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	21	10.5
	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท	38	19.0
รายได้ต่อเดือน	5,001 - 10,000 บาท	54	27.0
	10,001 - 15,000 บาท	36	18.0
	15,001 - 20,000 บาท	21	10.5
	20,001 - 25,000 บาท	28	14.0
	มากกว่า 25,000 บาท	23	11.5

7.2 การทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏอยู่ในระดับชอบปานกลางคือ 6.45 คะแนนความชอบด้านกลิ่นโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางคือ 6.37 คะแนนความชอบด้านรสชาติอยู่ในระดับชอบปานกลางคือ 6.70 คะแนนความชอบด้านความกรอบอยู่ในระดับชอบปานกลางคือ 6.47 คะแนนความชอบด้านความแข็งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยคือ 6.21 และคะแนนความชอบด้านความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางคือ 6.56 ดังตารางที่ 58

ตารางที่ 58 คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

(N = 200)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ
ลักษณะปรากฏ	6.45
กลิ่นโดยรวม	6.37
รสชาติ	6.70
ความกรอบ	6.47
ความแข็ง	6.21
ความชอบรวม	6.56

จากการศึกษาคะแนนความชอบคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายดังตารางที่ 57 ได้แก่ เพศ อายุ และระดับรายได้ สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับระดับการศึกษาและอาชีพของผู้บริโภคไม่ได้นำมาศึกษาเนื่องจากมีจำนวนในการกระจายตัวของประชากรที่แตกต่างกันมาก ถ้าหากนำมาวิเคราะห์จะทำให้ผลที่ได้อธิบายได้ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะฉะนั้นจึงศึกษาเพียงอิทธิพลเพศ อายุ และระดับรายได้ ที่มีต่อคะแนนความชอบคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในคุณลักษณะด้านต่างๆ กับข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายพบว่า คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แยกตามเพศไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 59

ตารางที่ 59 คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแยกตามเพศ

(N = 200)

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบแยกตามเพศ		p-value
	ชาย (N = 86)	หญิง (N = 114)	
ลักษณะปรากฏ^{ns}	6.40	6.49	0.595
กลิ่นโดยรวม^{ns}	6.55	6.81	0.255
รสชาติ^{ns}	6.51	6.43	0.722
ความกรอบ^{ns}	5.98	6.38	0.123
ความแข็ง^{ns}	6.51	6.60	0.661
ความชอบรวม^{ns}	6.45	6.30	0.439

หมายเหตุ ^{ns} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในคุณลักษณะด้านต่างๆ กับข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายพบว่า คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านกลิ่นโดยรวมและความแข็งของผลิตภัณฑ์แยกตามอายุไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ ความกรอบและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังตารางที่ 60

ตารางที่ 60 คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศแยกตามอายุ

(N = 200)

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบแยกตามอายุ (ปี)				p-value
	≤ 25 (N = 67)	26 - 35 (N = 55)	36- 45 (N = 42)	≥ 46 (N = 36)	
ลักษณะปรากฏ	6.76 [a]	6.13 [b]	6.40 [ab]	6.42 [ab]	0.049
กลิ่นโดยรวม[ns]	6.69	6.40	6.12	6.00	0.062
รสชาติ	7.07 [a]	6.75 [ab]	6.48 [ab]	6.17 [b]	0.024
ความกรอบ	6.76 [a]	6.07 [b]	6.83 [a]	6.08 [b]	0.019
ความแข็ง[ns]	6.57	6.18	6.02	5.78	0.136
ความชอบรวม	6.99 [a]	6.53 [ab]	6.26 [b]	6.17 [b]	0.004

หมายเหตุ [a - b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในคุณลักษณะด้านต่างๆ กับข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายพบว่า คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แยกตามระดับรายได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 61

ตารางที่ 61 คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แยกตามระดับรายได้

(N = 200)

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบแยกตามระดับรายได้ (บาท)						p-value
	≤ 5,000 (N = 38)	5,001 - 10,000 (N = 54)	10,001 - 15,000 (N = 36)	15,001 - 20,000 (N = 21)	20,001 - 25000 (N = 28)	> 25,000 (N = 23)	
ลักษณะปรากฏ	7.03 ^{a}	6.80 ^{ab}	6.53 ^{ab}	6.48 ^{ab}	5.07 ^{c}	6.22 ^{b}	0.000
กลิ่นโดยรวม	6.87 ^{a}	6.52 ^{ab}	6.39 ^{ab}	6.57 ^{ab}	5.43 ^{c}	6.09 ^{bc}	0.001
รสชาติ	7.32 ^{a}	7.19 ^{a}	6.25 ^{b}	7.29 ^{a}	5.25 ^{c}	6.43 ^{b}	0.000
ความกรอบ	6.63 ^{ab}	6.94 ^{a}	6.06 ^{b}	6.57 ^{ab}	5.18 ^{c}	7.17 ^{a}	0.000
ความแข็ง	6.37 ^{ab}	6.81 ^{a}	5.81 ^{bc}	6.62 ^{ab}	5.14 ^{c}	6.04 ^{ab}	0.001
ความชอบรวม	7.08 ^{a}	6.98 ^{a}	6.31 ^{b}	6.95 ^{a}	5.46 ^{c}	6.09 ^{b}	0.000

หมายเหตุ $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

7.3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากการสอบถามการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ร้อยละ 89.0 และตัดสินใจจะซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 63.5 ถ้ามีผลิตภัณฑ์ออกมาจำหน่าย และผู้บริโภคร้อยละ 75.5 ตัดสินใจจะซื้อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 50 กรัม ราคา 10 บาท ดังแสดงตารางที่ 62

เมื่อพิจารณาจากผลการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดขนุน ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดี ขนาดพอดีคำและสะดวกในการรับประทาน ในขณะที่ผู้ที่ไม่ยอมรับเนื่องจากการไม่เคยรับประทานเมล็ดขนุน และผลิตภัณฑ์ควรมีรสชาติที่หลากหลายและเนื้อสัมผัสที่ดี สำหรับการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อเนื่องจากรสชาติที่ดี และสามารถรับประทานเป็นของว่างเช่นเดียวกันกับขนมขบเคี้ยว และการไม่แน่ใจและไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคจะเกี่ยวข้องกับการเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ในท้องตลาด ทำให้เกิดความไม่แน่ใจหรือไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ และเมื่อมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 50 กรัม ราคา 10 บาท พบว่า การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคมองเห็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการพัฒนา (แสดงในแบบสอบถามการทดสอบความคิดเห็นของผู้บริโภคในภาคผนวก ง) มีลักษณะที่ดึงดูดผู้บริโภคทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจผลิตภัณฑ์มากขึ้น อีกทั้งราคาและปริมาณมีความเหมาะสม ในขณะที่ผู้บริโภคอีกส่วนไม่สนใจผลิตภัณฑ์เนื่องจากควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติที่หลากหลาย

ตารางที่ 62 การยอมรับและตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

(N = 200)

ปัจจัย	ความถี่	ร้อยละ
การยอมรับผลิตภัณฑ์		
ยอมรับ	178	89.0
ไม่ยอมรับ	22	11.0
การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ		
ซื้อ	127	63.5
ไม่แน่ใจ	61	30.5
ไม่ซื้อ	12	6.0
การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 50 กรัม ราคา 10 บาท		
ซื้อ	151	75.5
ไม่แน่ใจ	37	18.5
ไม่ซื้อ	12	7.0

7.4 การสร้างแบบจำลองทำนายการยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การสร้างแบบจำลองทำนายการยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยใช้ข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ข้อ 7.2 การทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ) สร้างแบบจำลองโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติคเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามได้แก่ การยอมรับผลิตภัณฑ์และตัวแปรอิสระได้แก่ คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปประมาณหรือพยากรณ์การยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม ของผลิตภัณฑ์

พบว่า คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) แสดงดังตารางที่ 63

ตารางที่ 63 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คุณลักษณะ	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นโดยรวม	รสชาติ	ความกรอบ	ความแข็ง	ความชอบรวม
ลักษณะปรากฏ	1.000	0.539*	0.620*	0.542*	0.600*	0.717*
กลิ่นโดยรวม	0.539*	1.000	0.675*	0.545**	0.532*	0.729*
รสชาติ	0.620*	0.675*	1.000	0.658*	0.787*	0.875*
ความกรอบ	0.542*	0.545*	0.658*	1.000	0.794*	0.686*
ความแข็ง	0.600*	0.532*	0.787*	0.794*	1.000	0.823*
ความชอบรวม	0.717*	0.729*	0.875*	0.686*	0.823*	1.000

หมายเหตุ * หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.01$

จากการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นโดยรวม รสชาติ ความกรอบ ความแข็ง และความชอบรวม ของผลิตภัณฑ์ พบว่า คุณลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจึงแก้ปัญหาตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน (multicollinearity) โดยการวิเคราะห์ปัจจัย เพื่อจัดกลุ่มตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน และจากการวิเคราะห์ปัจจัยพบว่า สามารถจัดกลุ่มของตัวแปรอิสระได้เพียง 1 ปัจจัย เท่านั้น ดังนั้นจึงได้นำตัวแปรอิสระทุกตัวไปวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคเพื่อทำนายการยอมรับ

เมื่อนำคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งเป็นตัวแปรอิสระมาวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคเพื่อทำนายการยอมรับ (การยอมรับมีค่า 0 - 1) จากการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติคพบว่า ได้สมการหรือแบบจำลองทำนายการยอมรับของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีค่า Nagelkerke $R^2 = 0.591$ และมีสมการแสดงดังนี้

การยอมรับผลิตภัณฑ์ = 4.785 - 0.869 (รสชาติ)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีขั้นตอนการดำเนินงานคือ การสำรวจข้อมูลทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ การศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดขนุน การศึกษาระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนและเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ และศึกษาการปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลการสำรวจข้อมูลทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบพบว่า ตลาดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบในปัจจุบันมีโอกาสในการเติบโตในท้องตลาดเช่นเดียวกับตลาดขนมขบเคี้ยวเนื่องจากตลาดขนมขบเคี้ยวเริ่มอิ่มตัวและผู้บริโภคได้หันมาให้ความสนใจกับตลาดอาหารเพื่อสุขภาพทำให้การนำผักหรือผลไม้มาแปรรูปด้วยการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร ดังนั้นจึงเห็นว่าการแปรรูปผักหรือผลไม้ด้วยเทคโนโลยีการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเป็นการเพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์

2. ผลการสำรวจทัศนคติ พฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 92 มีความสนใจหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์คือ รสชาติ ความกรอบและความไม่อมน้ำมัน โดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการคือ เป็นเมล็ดขนุนแผ่นบาง ทอดกรอบ มีการปรุงรสชาติเพิ่มลงไปในผลิตภัณฑ์ โดยบรรจุในอลูมิเนียมฟอยล์สะดวกในการบริโภค และจากแนวความคิดดังกล่าวหากมีการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 72 มีความตั้งใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

3. จากการศึกษากรรมวิธีการที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ เริ่มจากการนำเมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐมาล้างทำความสะอาด ต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที นำมาปอกเปลือก หั่นบางขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 30 นาที ก่อนนำไปทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน 650 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 9 นาที

4. การศึกษาชนิดของสารปรุงแต่งกลิ่นรสและปริมาณที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า กลิ่นรสสาหร่ายที่ปริมาณร้อยละ 2.0 เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสที่เหมาะสมในการปรุงแต่งกลิ่นรสเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศปรุงแต่งกลิ่นรสสาหร่ายบรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 50 กรัม ราคา 2.84 บาท

5. เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีค่าคุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้ คุณภาพทางกาย ได้แก่ ค่าสีในระบบ CIELAB ค่า L*, a*, b* เท่ากับ 78.90, 7.09, 26.80 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ เท่ากับ 0.23 ค่าความแข็งเท่ากับ 5.85 นิวตัน ค่างานทั้งหมดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปเท่ากับ 0.72 มิลลิจูล และค่าระยะทางแตกหักเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.42 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.20 ปริมาณไขมันร้อยละ 25.38 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.31 ปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 2.34 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 60.35 (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

6. การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในระดับชอบปานกลางคือ 6.56 และจากการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 89.0 และตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 63.5

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดขนุนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร อย่างไรก็ตามสามารถที่จะนำเมล็ดขนุนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีกหลายชนิด แต่ทั้งนี้ก็ต้องมีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเมล็ดขนุนเพิ่มเติม ซึ่งการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเมล็ดขนุนให้กว้างยิ่งขึ้น อันจะนำไปสู่แนวทางในการนำเมล็ดขนุนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคตต่อไป

2. ในงานวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศยังเป็นเพียงการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นควรมีการขยายขนาดการผลิตเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยเริ่มตั้งแต่กรรมวิธีก่อนการทอด กระบวนการทอด การปรุงแต่งกลิ่นรสและเทคโนโลยีการบรรจุผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอและมีศักยภาพในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

3. จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศพบว่า ปัจจัยที่ผู้บริโภคใช้ตัดสินใจในการยอมรับผลิตภัณฑ์คือ รสชาติ ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไปควรมีการศึกษาการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสชนิดอื่น และศึกษาสูตรที่เหมาะสมของสารปรุงแต่งกลิ่นรสนั้นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสนองตอบความต้องการของผู้บริโภคให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

4. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศในสภาวะและบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษา รวมทั้งการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เช่น ผลิตภัณฑ์ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย และการตลาดถึงความเป็นไปได้หากมีการวางจำหน่ายจริง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้ผลิต

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. **รายงานภาวการณ์ผลิตการเกษตรเปรียบเทียบรายปี พืชขนุนหนัง ปีเพาะปลูก ปีพ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2552 ทั้งประเทศช่วงเวลาอ้างอิงการเพาะปลูก ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม.** ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. แหล่งที่มา : http://production.doae.go.th/estimate/reportP5/reportP5_display.php, 10 เมษายน 2552.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2545. **ผักหรือผลไม้แผ่นกรอบ.** โครงการศึกษาและจัดทำแบบอย่างการลงทุนเพื่อเผยแพร่ผ่านเครือข่าย Internet. แหล่งที่มา : http://library.dip.go.th/multim1/edoc/10587.pdf. 6 พฤษภาคม 2550.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง**. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2544. **การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows**, พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เจน สาระคุณ, ธนาพงษ์ ยอดจันทร์ และ สุทธิชัย ศิริสุวรรณ. 2544. **การแปรรูปเมล็ดขนุนเป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว.** (ไฟล์ข้อมูล). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ฉันทนา อารมณ์ดี, วัชรี คุณกิตติ, ผดุงขวัญ จิตโรภาส และ สุวรรณา วรรัตน์. 2547. **แป้งเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุนแปรสภาพและการประยุกต์ใช้ในทางเภสัชกรรม.** (ไฟล์ข้อมูล). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ณัฏชา เปี่ยมคล้า. 2547**. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดทุเรียนสุกแช่แข็งด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐพงษ์ มณีพันธุ์, สุขุมาภรณ์ จั่นทอง และ เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์. 2549. **คุณภาพน้ำมันที่ใช้ในการทอดกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ.** เกษตรศาสตร์/ชีววิทยาการทดสอบ. แหล่งที่มา: http://www.irpus.org/project_file/2548_2006-06-02_I4803012.pdf, 16 มกราคม 2550.

ธงชัย สุวรรณสิชณน์, ปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์ และ สุมนรัตน์ ชื่นพุฒิ. 2549. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดของผู้บริโภค, น. 98-105. *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธิวาริ โอภิธากร. 2547. **การดูดซึมน้ำมันในการทอดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาภายใต้สภาวะสุญญากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นฤมล มานิพพาน. 2548. **การเพราะปลูกและขยายพันธุ์ขนุน.** สำนักพิมพ์ส่งเสริมอาชีพธุรกิจ เพชรกะรัต, กรุงเทพฯ.

นุช ผลนาค. 2545. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวจากกระบวนการทอด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิติ เติมเวชศยานนท์. 2543. **การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี Ball-Mill และศึกษาสมบัติของแป้งดัดแปร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปานนท์. 2539. **เคมีอาหาร.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิลุบล สัพโส และ อนุกูล วัฒนสุข. 2549. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมเจียวสุญญากาศด้วยเทคนิคพื้นผิวสะท้อน. *ใน* **การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวะกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**. สมาคมวิศวะกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, มหาสารคาม.

บริษัท โปรเทรด คอมเมอร์เชียล จำกัด. 2549. **การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีสุญญากาศ.** เทคโนโลยีสุญญากาศ. แหล่งที่มา: http://www.protradecommercial.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=194906&Ntype=1, 26 พฤศจิกายน 2549.

ปิติพร ฤทธิเรืองเดช. 2546. **คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งเท้ายายม่อมและการนำไปใช้ประโยชน์ในขนมชั้น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เปรมปรี ณ สงขลา. 2543. **รวมกลยุทธ์ขนุน.** เจริญรัฐการพิมพ์, กรุงเทพฯ

พจนีย์ พงศ์พงัน. 2546. **การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาท่องโก๋จากแป้งข้าวหอมมะลิไทยผสมแป้งสาลี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรดารา เขตต์ทองคำ. 2544. **ขนมเบื้องไทยจากแป้งเมล็ดขนุน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. **หลักการทางเทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

แม่อ้อม. 2551. **กล้วยอบเนย.** เมนูคู่ครัว. แหล่งที่มา: http://www.geocities.com/momzone2002/desserts29.html, 12 มกราคม 2552.

รองรัตน์ รัตนาธรรมวัฒน์. 2546. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราม แย้มแสงสังข์และ ถาวร อริยภูชัย. 2548. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผักและผลไม้ที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ. ใน **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4 8-9 ธันวาคม 2548.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วรัญญา ภัทรสุข. 2545. **ระเบียบวิธีวิจัยทางสังคมศาสตร์**. ศูนย์บริการเอกสารวิชาการ คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิจิตร ครูปัญญามาตย์. 2537. **การศึกษาสภาวะที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ผักทอดกรอบโดยเครื่องทอดสุญญากาศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิทยาลัยการจัดการ. 2548. **ธุรกิจเบเกอรี่**. แหล่งที่มา: http://intranet.dip.go.th, 6 มิถุนายน 2551.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2545. **การปลูกขนุน.** พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์เกษตรสาสน์, นนทบุรี.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2551. **ขนมขบเคี้ยว'51.** อุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: http://www.kasikornresearch.com/portal/site/KResearch/rsh_d/?id=15269&cid=5, 6 มิถุนายน 2551.

สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์ และ ลัดดาวัลย์ รอดมณี. 2527. **เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวแปรสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์,** กรุงเทพฯ.

สุภิญยาฐ์ ชินชัย. 2535. **การใช้ซังขนุนแห้งเพื่อเพิ่มใยอาหารในขนมทองม้วน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนิสา สุทธิวงศ์. 2547. **ปัญหาพิเศษ การใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในเค้กม้วน.** คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

อนุวัตร แจ้งชัด. 2549. **สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. 2544. **การสกัดและศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน.** รายงานวิจัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล่าพระนครเหนือ, นนทบุรี.

อุจิตชญา จิตรวิมล และ สีวลี ไทยถาวร. 2551. **เม็ดขนุน.** ข่าวคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์. แหล่งที่มา: http://www.het.rmutt.ac.th/index.php?option=com_frontpage&Itemid=46, 16 มิถุนายน 2550.

อิทธิพัทธ์ สุยะ. 2551. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งผสมสำเร็จรูปสำหรับทำพุ้ดดิ้งเค้ก จากแป้งข้าวหอมมะลิ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

A.O.A.C. 2000. Official method of analysis. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemistry, Arlington, Virginia.

Apple and Snack Co.,LTD. 2009. **Comparative tables for main ingredients.** Vacuum frying technology. Available Source: http://www.net24.ne.jp./~applesnack/e/Lowfat/lowfat2.htm, 15 April 2008.

Axten, L.G., J.P. Dufour and C.M. Delahunty. 2009. **Descriptive sensory analysis of the odour character of hop essential oils.** Available Source: http://www.ibdasiapac.com.au/asia-pacific-activities/convention-proceedings/2008/Posters/Axten%20L.pdf, 4 January 2009.

Baumann, B. and F. Escher. 1995. Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices - I. Rate of drying and oil uptake. **LWT.** 28(4): 395-403.

Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as related to sorhum starch properties. **Cereal Chem**. 78(4): 417-420.

Betterpack Co.,LTD. 2008. **"VAC-TECH" Vacuum Fryer Model : ZYZ-16-A.** Food processing system. Available Source: http://www.betterpack.co.th/food4_6Vacuum_Fryer.html, 12 June 2008.

Blumenthal, M. M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep fat frying. **Food Tech.** 45 (2): 68-71.

BMA Nederland BV. 2008. **BMA Vacuum Frying Systems**. Frying. Available Source: http://www.bma-nl.com/Vacuum_frying.1241.0.html, 12 June 2008.

CAMO Software Inc. 2009. **Multivariate preference mapping (flavoured water).** CAMO. Available Source: http://www.camo.com/downloads/resources/application_notes/multivariate_preference_mapping-flavoured_water.pdf, 4 January 2009.

Charles, F. 1969. Extruded starch-based snacks. **Cereal Sci Today**. 14(1): 212-214.

Chen, Y.Y., A.E. McPherson, M. Radosavljevic, V. Lee, K.S. Wong and J. Jane. 1998. Effects of starch chemical structures on gelatinization and pasting properties. **Supl.** 4(17): 63-70.

Costa, R.M. and F.A.R. Oliveira. 1999. Modeling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model. **J. Food Eng.** 41: 177-185.

Cooper, C.R. and P.S. Schindler. 1998. **Business Research Methods**. 6th ed., Irwin McGraw-Hill, Singapore.

Fan, L.P., M. Zhang and A.S. Mujumdar. 2005a. Vacuum frying of carrot chips. **Int. J. Drying Tech.** 23(3): 645-656.

_____, _____, G.N. Xiao, J.C. Sun and Q. Tao. 2005b. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. **Int. J. Food Sci. and Tech**. 40: 911-919.

Franco, P., P. Moyano, N. Santis and R. Pedreschi. 2007. Physical properties of pre-treated potato chips. **J. Food Eng.** 79: 1474-1482

Gamble, H.M. and P. Rice. 1987. Effect of pre-frying drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. **J. Sci Tech.** 22: 535-548.

_____, _____. 1988. The effect of slice thickness on potato crisp yield and composition. **J. Food Eng**. 8: 31-46.

Garayo, J. and R.G. Moreira. 2002. Vacuum frying of potato chips. **J. Food Eng**. 55: 181-191.

Greenday Co.,LTD. 2008. **Process flow for the production of vacuum fried chips.** Vacuum Frying. Available Source: http://www.simply-thai.com/thai-market-twin-trees-about-vacuum-frying.htm, 12 June 2008.

Gutierrez, G. R. and M. C. Dobarganes. 1988. Analytical procedure for the evaluation of used frying fats, pp. 141-154. *In* A.G. Varela, E. Bender and I. D. Morton, eds **Frying of Food, Principle, Changes, New Approaches.** Ellis Horwood Ltd, Chichester.

Kawas, M. L. and R.G. Moreira. 2001. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. **J. Food Eng.** 47: 97-107.

Keijbets, M.J.H. 2001. The manufacture of pre-fried potato products, pp 197-214. *In* J.B. Rossell, ed. **Frying improving quality.** Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Krokida, M. K., V. Oreopoulou, and Z.B. Maroulis. 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. **J. Food Eng.** 44: 39-46.

_____, _____, _____ and D. Marinos-Kouris. 2001a. Colour changes during deep fat frying. **J. Food Eng.** 48: 219-225.

_____, _____, _____, _____. 2001b. Deep-fat frying of potato strips - quality issues. **Int. J. Drying Tech.** 19(5): 879-935.

_____, _____, _____, _____. 2001c. Viscoelastic behaviour of potato strips during deep-fat frying. **J. Food Eng.** 48: 213-218.

Kumar, S., A.B. Singh, A.B. Abidi, R.G. Upadhyay and A. Singh. 1988. Proximate composition of jackfruit seed. **Int. J. Food Sci. and Tech.** 25: 308-309.

Lawless, H.T. and H. Heymann. 1999. Qualitative consumer research methods, pp. 519-540. *In* H.T. Lawless and H. Heymann, eds. **Sensory Evaluation of Food:Principles and Practices.** Aspen Publication, Gaithersburg.

Li, Y. 2005. **Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation.** M.S. Thesis, McGill University.

Mariscal, M. and P. Bouchon. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. **J. Agric Food Chem.** 107: 1561–1569.

Mcgill, E.A. 1980. The chemistry of frying. **Bakers Digest.** 6(62): 38-42.

Medved, E. 1986. **Food Preparation and Theory.** Prentice Hall, New Jersey.

Miller, K.L. 1993. High-stability oils. **Cereal Foods World.** 38(7): 478-482.

Mittelman, N., S. Mizrahi, and Z. Berk. 1984. Heat and mass transfer in frying, pp. 109-16. *In* B.M. Mckenna, ed. **Engineering and Food.** Elsevier Applied Science Publishers, London.

Montgomery, D.C. 2005. **Design and Analysis of Experiments**, 6th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Moreira, R.G., M.E. Castell-Perez and M. A. Barrufet. 1999. **Deep Fat Frying: Fundamentals and Applications.** Aspen Publications, Inc., New York.

_____, X. Sun and C. Youhong. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. **J. Food Eng.** 31: 458-498.

Moyano, P.C. and F. Pedreschi. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. **LWT.** 39: 285-291.

Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyser**. Warriewood, New South.

Ngadi, M., Y. Li and S. Oluka. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenatation. **LWT.** 40(10): 1784-1791.

O'Brien, R. 1993. Foodservice use of fat and oils. **Inform.** 4(8): 913-921.

Pedreschi, F., J. Leon., D. Mery, P. Moyano, R. Pedreschi, K. Kaack and K. Granby. 2006. Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. **J. Food Eng.**

Podmore, J. 2002. Culinary fats: solid and liquid frying oils and speciality oils, pp. 332-359. *In* K. K. Rajah, ed. **Fats in Food Technology.** Sheffield Academic Press, Sheffield.

Pokorny, Jan. 1999. Changes of nutrients at frying temperatures, pp. 69-71. *In* D. Boskov and I. Elmadfa, eds. **Frying of food.** Technomic Publishing Company., Pennsylvania.

Pomeranz, Y. 1991. **Functional Properties of Food Component**. Academic Press, Inc., New York.

Rossell, J.B. 2001. **Frying improving quality.** Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Salunkhe, D.K., H.R. Bolin and N.R. Reddy. 1991. **Storage, processing and nutritional quality of fruits and vegetables.** 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.

Sangdehi, S.K. 2005. **Quality evaluation of frying oil and chicken nuggets using visible/nearinfared hyper-spectral analysis.** M.S. Thesis, McGill University.

Schoch, T.J. 1964. **Swelling power and solubility of granular starches**, pp.106-108. *In* R.L. Whistler, R.J. Smith and J.N. BeMiller, eds. Methods in Carbohydrates Chemistry, Vol. IV, Academic Press, New York.

Shyu, S.L. and L.S. Hwang. 2000. Effects of high temperature and short time vacuum frying on the quality of carrot chips. **Taiwan J. Agri. Food Chem.** 38(1): 36-41.

_____, _____. 2001. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. **Food Res. Int.** 34: 133-142.

Smith, R.J. 1979. **Food Carbohydrate**. The AVI Publishing Co.,LTD., Connecticut.

Spieces, R.D. and R.C. Hoseney. 1992. Effect of sugar on starch gelatinization. **Cereal Chem**. 59(2): 128-131.

Stockwell, A.C. 1988. Oil Choices. **Baking and Snack.** 20(2): 74-80.

Sukumar, D., K.K. Bhat and N.K. Rastogi. 2003. Effect of pre-drying on kinetic of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. **LWT.** 36: 91-98.

Taiwo, K.A. and O.D. Bail. 2007. Effects of pre-treatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. **LWT**. 40: 661–668.

Tan, K.J. and Mittal, G.S. 2007. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. **Int. J. Food Prop.** 9: 85-98.

Tran, T.T., X.D. Chen and C. Southern. 2007. Reducing oil content of fried potato crisps considerably using a 'sweet' pre-treatment technique. **J. Food Eng.** 80: 719–726.

Tulyathan, V., K. Tananuwonga, P. Songjinda and N. Jaiboonb. 2002. Some physicochemical properties of jackfruit (Artocarpus heterophyllus Lam) seed flour and starch. **ScienceAsia**. 28: 37-41

Williams, A. 2002. **Graybalance: A key element in color reproduction.** The International Journal of Newspaper Technology. Available Source: http://www.newsandtech.com/issues/2002/02-02/ifra/02-02_greybalance.htm, 12 June 2008.

Wurzburg, O.B. 1986. Starch in the food industry, pp.361-395. *In* T.E. Furia, ed. **Handbook of Food Additive**. Vol. 1. CRC Press, New York.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในกรุงเทพมหานคร
ในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551

ตารางผนวกที่ ก1 ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในกรุงเทพมหานครในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551

ตรายี่ห้อ	ชนิดของผักหรือผลไม้	กรรมวิธีการทอด	ส่วนประกอบ	บรรจุภัณฑ์	ราคาจำหน่าย : น้ำหนัก (บาท : กรัม)	ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย / สถานที่จำหน่าย
บานาน่า	กล้วยทอดกรอบรสลาบ กล้วยทอดกรอบรสปาปริก้า กล้วยทอดกรอบรสไก่ กล้วยทอดกรอบรสกุ้ง กล้วยทอดกรอบรสมะเขือเทศ กล้วยทอดกรอบรสพิซซ่า กล้วยทอดกรอบรสสาหร่าย กล้วยทอดกรอบรสชาเขียว	บรรยากาศ	-กล้วยน้ำว้า 89% -น้ำมันพืช 5% -เครื่องปรุงรส 5.5% -เกลือ 0.5%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	25 : 120	-กลุ่มสตรีพัฒนากล้วยน้ำว้าไทย 22 ม.3 บ้านทุ่งสมอ ต.ทุ่งสมอ อ.พนมทวน จ.กาญจนบุรี 71140
Greenday	ผลไม้รวมกรอบ ทุเรียนกรอบ ขนุนกรอบ กล้วยกรอบ สับปะรดกรอบ เผือกกรอบ กระเจี๊ยบกรอบ มันสำปะหลังกรอบ มันเทศกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	35 : 50	-เอเซียเวิลด์เทรดดอิ้ง88 บจก. 90/38 ม.20 ซ.บุญมีทรัพย์ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตรายี่ห้อ	ชนิดของผักหรือผลไม้	กรรมวิธีการทอด	ส่วนประกอบ	บรรจุภัณฑ์	ราคาจำหน่าย : น้ำหนัก (บาท : กรัม)	ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย / สถานที่จำหน่าย
ป้าแกลบ	ทุเรียนทอดกรอบเกรดเอ ทุเรียนทอดกรอบเกรดบี	บรรยากาศ	-ทุเรียน 94% -น้ำมันพืช 4% -เกลือ 1%	-ถุงพลาสติกใส	เกรดเอ : 300 เกรดเอ : 220 เกรดบี : 380 เกรดบี : 200 เกรดบี : 80	-บุญสวัสดิ์แสน็ค&สวีท บจก. 338/464 ถ.ลาดพร้าว 87 เขตวังทองหลาง จ.กรุงเทพ 10310
ทรงไทย	ทุเรียนกรอบ ขนุนกรอบ กล้วยกรอบ สับปะรดกรอบ มะม่วงกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	35 : 50	-Thai Food And Pickled Vegetables Limited Partnership 111-113 ถ.ศรีจารุสัมพันธ์ ต.พนัสนิคม อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี
เฮฮา	ทุเรียนกรอบ ขนุนกรอบ กล้วยกรอบ สับปะรดกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	25 : 28 35 : 50	-สไมล์ ฟรุ๊ต บจก. 26/1 ม.7 ต.ห้วยยาง อ.แกลง จ.ระยอง

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตรายี่ห้อ	ชนิดของผักหรือผลไม้	กรรมวิธีการทอด	ส่วนประกอบ	บรรจุภัณฑ์	ราคาจำหน่าย : น้ำหนัก (บาท : กรัม)	ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย / สถานที่จำหน่าย
D-fresh	ผักและผลไม้อบกรอบ ทุเรียนอบกรอบ ขนุนอบกรอบ กล้วยอบกรอบ สับปะรดอบกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 100%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ	45 : 50	-ฟรุ้ต เทค บจก. 29/2 ม.2 ถ.โคกขวางระเบาะไผ่ ต.หนองโพรง อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี 25140
เอโกะ	ขนุนกรอบ กล้วยกรอบ สับปะรดกรอบ ทุเรียนกรอบ มะม่วงกรอบ	บรรยากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ	50 : 100 100 : 200	-หจก.โชคอุดมทรัพย์ สระบุรี 49 ม.6 กม.81 ถ.พหลโยธิน ต.ไผ่ต่ำ อ.หนองแค จ.สระบุรี 18140
Aggie	มะม่วงกรอบ กล้วยหอมกรอบ ทุเรียนกรอบ ขนุนกรอบ กระเจี๊ยบกรอบ มะระกรอบ เงาะกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	40 : 50	-สยามฟรุตแอนด์เฮิร์บ บจก. 73 ม.1 ต.วังเย็น อ.บางแพ จ.ราชบุรี 70160

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตรายี่ห้อ	ชนิดของผักหรือผลไม้	กรรมวิธีการทอด	ส่วนประกอบ	บรรจุภัณฑ์	ราคาจำหน่าย : น้ำหนัก (บาท : กรัม)	ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย / สถานที่จำหน่าย
บีฟรุ๊ต	ผลไม้รวมกรอบ ทุเรียนกรอบ ขนุนกรอบ กล้วยกรอบ มะม่วงกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	44 : 65	-จันทบุรี ฟรุ๊ต โปรดักส์ บจก. 33/2 ถ.นิยมานุสรณ์ 4 ต.เขาวัว อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี 22120
บุญชัย	ทุเรียนกรอบ	บรรยากาศ	-ทุเรียน 90% -น้ำมันพืช 9% -เกลือ 1%	-กล่องพลาสติกใส	115 : 150	-บุญชัยทุเรียนโปรดักส์ บจก. 37 ม.2 ถ.หทัยราษฎร์ แขวงสามวาตะวันตก เขตสามวา จ.กรุงเทพ 10519
โชคดี	ฟักทองกรอบ เผือกกรอบ มันเทศกรอบ กล้วยกรอบ	บรรยากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงพลาสติกใส	39 : 110	-ร้านโชคดี 67/707 ม. 1 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ จ.กรุงเทพ 10210

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตรายี่ห้อ	ชนิดของผักหรือผลไม้	กรรมวิธีการทอด	ส่วนประกอบ	บรรจุภัณฑ์	ราคาจำหน่าย : น้ำหนัก (บาท : กรัม)	ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย / สถานที่จำหน่าย
Twin trees	ผลไม้รวมกรอบ กล้วยกรอบ มะละกอกรอบ สับปะรดกรอบ ทุเรียนกรอบ ขนุนกรอบ มะม่วงกรอบ มะระกรอบ แครอทกรอบ ฟักทองกรอบ กระเจี๊ยบกรอบ เผือกกรอบ มันเทศกรอบ มะเฟืองกรอบ	สุญญากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 2%	-ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ในกล่องกระดาษ	35 : 50	-กรีน ทวินทรี บจก. 295 อาคารฟิวเจอร์มาร์ท ถ.พระราม 3 แขวงบางคอแหลม เขตบางคอแหลม จ.กรุงเทพฯ 10120
ชายน้อย	ทุเรียนทอด	บรรยากาศ	-ผลไม้ 98% -น้ำมันพืช 1% -เกลือ 1%	-ถุงพลาสติกใส	35 : 80 64 : 150 105 : 250	-บ้านทุเรียนชายน้อย 19 ม.4 ต.ทะเลทรัพย์ อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าทางสถิติ

ภาคผนวก ข1

การคำนวณความสำคัญของคุณลักษณะต่างๆ ที่มีอิทธิผลต่อการตัดสินใจซื้อ

วิธีการคำนวณ

1. กำหนดระดับของคะแนน โดยกำหนดให้ 1 หมายถึง มีความสำคัญน้อยที่สุด และ 5 หมายถึง มีความสำคัญมากที่สุด

2. นำความถี่คูณด้วยระดับคะแนน และนำค่าที่คำนวณได้ในแต่ละระดับรวมกัน

3. นำค่าที่คำนวณได้หารด้วยจำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม (N = 200) จะได้เป็นค่าเฉลี่ยของความสำคัญของปัจจัยนั้นๆ

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

ผลรวมของความถี่ในการให้ความสำคัญของคุณลักษณะด้านผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน

= (8x1) + (1x2) + (4x3) + (36x4) + (151x5) = 921

ค่าเฉลี่ยของความถี่ในการให้ความสำคัญของคุณลักษณะด้านผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน

= 921 / 200 = 4.60

4. คำนวณช่วงกว้างคะแนนเฉลี่ยในแต่ละชั้นซึ่งสามารถคำนวณได้ คือ 0.8 โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้(Cooper and Schindler, 1998)

$$\text{ช่วงระดับคะแนนเฉลี่ย} = \frac{(\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด})}{\text{จำนวนชั้น}}$$

ซึ่งมีความหมายของแต่ละระดับชั้นดังนี้

คะแนนเฉลี่ยในช่วง	1.00 – 1.80	หมายถึง มีความสำคัญน้อยที่สุด
	1.81 – 2.60	หมายถึง มีความสำคัญน้อย
	2.61 – 3.40	หมายถึง มีความสำคัญปานกลาง
	3.41 – 4.20	หมายถึง มีความสำคัญมาก
	4.21 – 5.00	หมายถึง มีความสำคัญมากที่สุด

5. แปลผล : คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืนอยู่ในช่วงใด ซึ่งในที่นี้พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญด้านผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ = 4.60) มีระดับความสำคัญมากที่สุด

ภาคผนวก ข2
การทดสอบแบบสุ่มในบลอคไม่สมบูรณ์สมดุลย์

การทดสอบความชอบเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

แผนการทดลองที่เลือกใช้คือ การทดสอบแบบสุ่มในบล็อคไม่สมบูรณ์สมดุลย์ ประเภทที่ 1 สำหรับ 15 ตัวอย่าง จำนวนผู้ทดสอบต่อแผนการทดลองทดสอบมี 35 คนต่อแผนการทดลอง เพื่อให้ได้ผลการทดสอบครบตามจำนวนที่ต้องการ จึงต้องทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุด แต่ละชุดใช้ผู้ทดสอบ 35 คน รวมจำนวนผู้ทดสอบทั้งสิ้น 175 คน โดยที่

t = 15 หมายถึง ตัวอย่างที่จะทดสอบ 15 ตัวอย่าง

k = 3 หมายถึง เสิร์ฟตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อผู้ทดสอบ 1 คน

b = 35 หมายถึง จำนวนผู้ทดสอบต่อแผนการทดลองรวม 35 คน

λ = 1 หมายถึง จำนวนครั้งที่ตัวอย่างแต่ละคู่ปรากฏร่วมกันต่อผู้ทดสอบ

ตารางผนวกที่ ข2 แผนการจัดหน่วยการทดลองแบบสุ่มในบลอคไม่สมบูรณ์สมดุลย์

บลอค		ซ้ำที่ 1		บลอค		ซ้ำที่ 2		บลอค		ซ้ำที่ 3	
1	1	2	3	6	1	4	5	11	1	6	7
2	4	8	12	7	2	8	10	12	2	9	11
3	5	10	15	8	3	13	14	13	3	12	15
4	6	11	13	9	6	9	15	14	4	10	14
5	7	9	14	10	7	11	12	15	5	8	3
บลอค		ซ้ำที่ 4		บลอค		ซ้ำที่ 5		บลอค		ซ้ำที่ 6	
16	1	8	9	21	1	10	11	26	1	12	13
17	2	13	15	22	2	12	14	27	2	5	7
18	3	4	7	23	3	5	6	28	3	9	10
19	5	11	14	24	4	9	13	29	4	11	15
20	6	10	12	25	7	8	15	30	6	8	14
บลอค		ซ้ำที่ 7									
31	1	14	15								
32	2	4	6								
33	3	8	11								
34	5	9	12								
35	7	10	13								

ภาคผนวก ข3

การคำนวณ Multiple Ranking

ตารางผนวกที่ ข3 ผลรวมการให้อันดับคะแนนความชอบกลิ่นรส 5 กลิ่นรสของผู้บริโภค

Rank Sum	สาหร่าย	บาร์บีคิว	เกลือ	เนย	ครองแครง
	207	167	157	114	105
สาหร่าย	-	40	50	93	102
บาร์บีคิว	-	-	10	53	62
เกลือ	-	-	-	43	52
เนย	-	-	-	-	9
ครองแครง	-	-	-	-	-

การคำนวณ Friedman'test

จาก $Friedman's_test: \chi^2 = \frac{12}{bt(t+1)}\sum_{j=1}^{t}\left[x_{ij} - \frac{b(t+1)}{2}\right]^2$

โดยที่ b = จำนวนผู้ทดสอบ (50 คน)

t = จำนวนตัวอย่าง (4 ตัวอย่าง)

x_{ij} = ผลรวมของ Rank Sum

แทนค่าในสมการ χ2 table (11.10) < χ2 calculated (55.26) : sig

การคำนวณ Analog of Fisher's LSD

จาก $Ana\log_of_Fisher's_LSD = t_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{bt(t+1)}{6}}$

โดยที่ b = จำนวนผู้ทดสอบ (50 คน)

t = จำนวนตัวอย่าง (4 ตัวอย่าง)

แทนค่าในสมการ LSD calculated = 31.15 (LSD calculated < LSD table : sig)

กลิ่นรส	สาหร่าย	บาร์บีคิว	เกลือ	เนย	ครองแครง
ผลรวม	207	167	157	114	105
ค่าเฉลี่ย	4.14 [a]	3.34 [b]	3.14 [b]	2.28[c]	2.10[c]

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนและเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis)

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 6-8 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ (desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักให้แน่นอน ทำการอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่คำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{W_1 - W_p}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนการอบ (กรัม)

W_p คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (W) ที่อบไล่ความชื้นแล้ว ห่อด้วยกระดาษกรอง (Whatman No.4) แล้วใส่ลงในทิมเบิล (timble) เติมปิโตรเลียมอีเธอร์ 70 มิลลิลิตร ลงในถ้วยสกัด (cup) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (W_1) ติดตั้งทิมเบิลซึ่งมีตัวอย่างที่ห่อด้วยกระดาษกรองและถ้วยสกัดกับเครื่องสกัดไขมัน Soxtec รุ่น 2050 Auto System สกัดไขมันที่ตำแหน่ง boiling ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และที่ตำแหน่ง rinsing เป็นเวลา 40 นาที (เวลาในการสกัดขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง) ระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์อบถ้วยสกัดที่ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 1.5-2 ชั่วโมง) ทิ้งให้เย็นใน desiccators และชั่งน้ำหนัก (W_2)

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{100 \times (W_2 - W_1)}{W}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่อบไล่ความชื้น (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยสกัดที่อบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยสกัด+ไขมันหลังอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายผสมของ NaOH และ $Na_2S_2O_35H_2O$ โดยสารละลาย NaOH 60 กรัม และ $Na_2S_2O_35H_2O$ 5 กรัม ในน้ำ ปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม methyl red 0.2% ในแอลกอฮอล์ 2 ส่วน กับ methylene blue 0.2% ในแอลกอฮอล์ 1 ส่วน

การวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl flash เติมโปแตสเซียมซัลเฟต 1.5 กรัม เมอคูริออกไซด์ 0.040 กรัม กรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร นำไปย่อยจนได้สารละลายใสไม่มีสี กลั่นสารละลายที่ย่อยได้กับสารละลายในข้อ 1 ประมาณ 8-10 มิลลิลิตร รองรับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นลงในสารละลายอิ่มตัวของกรดบอริก 5 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด กลั่นจนได้สารละลาย 50 มิลลิลิตร นำมาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานของกรดเกลือ 0.02 N ทำ blank เปรียบเทียบ

$$\text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{ml HCl - ml blank}) \times \text{normality HCl} \times 14 \times 100}{\text{mg sample}}$$

$$\text{โปรตีน (ร้อยละ)} = \text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} \times 6.25$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) ที่เผาและชั่งน้ำหนักแน่นอนแล้วนำตัวอย่างไปเผาบน hot plate จนเปลวไฟหมดควัน หลังจากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่คำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{100 \times (W_2 - W)}{W_1 - W}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

5. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (W_0) ที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว ใส่ลงในครูซิเบิลแก้ว ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำครูซิเบิลต่อเข้าเครื่อง Hot Extraction Unit เติมสารละลายกรดซัลฟูริกปริมาตร 150 มิลลิลตร แล้วให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนจนกรองสารละลายหมด เติมสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนจนกรองสารละลายหมด อบครูซิเบิลแก้วที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ (W_1) จากนั้นเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ (W_2) คำนวณหาปริมาณเส้นใยหยาบ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)} = \frac{100 \times (W_1 - W_2)}{W_0}$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว (กรัม)
W_1 คือ น้ำหนักของครูซิเบิลก่อนการเผา (กรัม)
W_2 คือ น้ำหนักของครูซิเบิลหลังการเผา (กรัม)

วิธีวิเคราะห์กำลังการพองตัว (Schoch, 1964)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที คนตลอดเวลา แล้วนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ใช้ปิเปตดูดสารละลายส่วนใสใส่ในภาชนะที่ทราบน้ำหนักคงที่ นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแป้งที่ผ่านการอบจนแห้งจากส่วนใสที่ดูดออก (W_{sb}) เพื่อหาปริมาณแป้งที่ละลายน้ำและชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอนจะได้น้ำหนักของแป้งที่พองตัว (W_{sp}) นำมาคำนวณร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว

ร้อยละการละลาย (WSI)

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักปริมาณแป้งที่ละลายน้ำ } (W_{sb}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (db)}}$$

ร้อยละกำลังการพองตัว (WSP)

$$\text{WSP (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแป้งที่พองตัว } (W_{sp}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (db)} \times (100 - \%\text{WSI})}$$

วัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA รุ่น 4D

(Newport Scientific Pty, Ltd., 1995)

เครื่องมือ

เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) รุ่น 4D พร้อมแคนและพาย

เครื่องแฮมเมอร์มิลล์

ตะแกรงละเอียดขนาด 0.8 มิลลิเมตร

วิธีวิเคราะห์

(1) กรณีที่ตัวอย่างแป้งมีค่าความชื้นร้อยละ 14 ให้ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00±0.05 มิลลิลิตร ใส่ลงในแคนของเครื่อง RVA

(2) ชั่งตัวอย่างแป้งมาจำนวนหนึ่งใส่ลงในแคนที่มีน้ำอยู่ โดยจำนวนของตัวอย่างแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง (หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ละเอียด ให้บดตัวอย่างด้วยเครื่อง แฮมเมอร์มิลล์ แล้วร่อนด้วยตะแกรงละเอียดขนาด 0.8 มิลลิลิตร)

(3) ใส่พาย (paddle) ลงในแคน หมุนย้ายไปมาแรงๆ และดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่พาย

(4) นำแคนที่ใส่พายเข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน

(5) จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาทำการบรรทุกค่าดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรือเรียกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดเจลาติไนซ์ (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าผลต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down) และค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough)

ภาคผนวก ง

การอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค

การอภิปรายกลุ่มของตัวแทนผู้บริโภค (FOCUS GROUP)

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการอภิปรายแบบ Focus group

ความเป็นมาของโครงการนี้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ โดยการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตร และเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่มีอยู่ในท้องตลาด เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคในการรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

วัตถุประสงค์ในวันนี้ทางกลุ่มเชิญท่านมาทำการอภิปรายร่วมกันเพื่อศึกษาทัศนคติและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ และให้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ถึงลักษณะที่กลุ่มตัวแทนผู้บริโภคต้องการในปัจจัยด้านต่างๆ ทั้งชนิดของผลิตภัณฑ์ รูปแบบของผลิตภัณฑ์ ลักษณะทางประสาทสัมผัส และบรรจุภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ

คำถาม : ทั่วไป

คำถามที่ 1 คุณชอบรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบหรือไม่ เพราะอะไร

คำถามที่ 2 ชนิดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่คุณเคยรับประทาน

คำถามที่ 3 คุณนิยมรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบหรือไม่ และโอกาสในการรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

คำถามที่ 4 คุณใช้ปัจจัยใดในการซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบมารับประทาน

คำถามที่ 5 คุณซื้อผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้จากสถานที่ใด ปริมาณและราคาในการซื้อรับประทานแต่ละครั้ง

คำถามที่ 6 ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่คุณรับประทานเป็นอย่างไร

คำถามที่ 7 ปัญหาที่คุณพบในการรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

คำถาม : การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นการนำเมล็ดขนุนมาหั่นเป็นแผ่นขนาดพอดีคำ แล้วนำไปทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดมีสีเหลืองสวยงาม รสชาติมัน เค็ม กรอบน่ารับประทาน บรรจุในภาชนะที่สะดวกในการรับประทาน ทั้งนี้เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตรสามารถใช้เป็นของทานเล่นแบบไทยๆ และยังมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าขนมขบเคี้ยวในท้องตลาด

คำถามที่ 8 คุณรู้จักผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือไม่ และมีความคิดเห็นอย่างไรกับผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

คำถามที่ 9 คุณเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือไม่ และเคยรับประทานผลิตภัณฑ์อะไรบ้าง

คำถามที่ 10 ถ้ามีผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศคุณจะสนใจหรือไม่ เพราะเหตุใด

คำถามที่ 11 คุณต้องการให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีรูปแบบลักษณะอย่างไร

คำถามที่ 12 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สำคัญที่คุณต้องการคือ

คำถามที่ 13 คุณต้องการให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีรสชาติอย่างไร

คำถามที่ 14 คุณต้องการให้ภาชนะบรรจุมาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นอย่างไร

คำถามที่ 15 คุณต้องการให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศราคาต่อหน่วยเท่าไร่

บทสรุป

1. มีผู้ร่วมอภิปรายท่านใดมีความคิดเห็น ข้อเสนอแนะหรือคำถามอะไรที่สงสัยก่อนจบการอภิปรายครั้งนี้หรือไม่

2. ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือและความตั้งใจของคุณ

ภาคผนวก จ

แบบสอบถามและแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก จ1

แบบสอบถามการสำรวจความคิดเห็น และความต้องการของผู้บริโภค

ต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิต่อการตัดสินใจซื้อผักหรือผลไม้ทอดกรอบและความต้องการผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศของผู้บริโภค

คำชี้แจง : แบบสอบถามชุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นายปรย เสาวลักษณ์ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งทำการวิจัยในหัวเรื่อง “การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ” จึงใคร่ขอความกรุณาจากท่านช่วยตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ซึ่งข้อมูลที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณที่ท่านให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

คำอธิบาย : การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Frying) เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารและมีการลดความดันภายใต้ระบบปิด สามารถลดจุดเดือดของน้ำที่อยู่ภายในอาหารให้ระเหยออกอย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการทอดสั้นลง ทำให้สามารถรักษาคุณค่าทางอาหารและลักษณะปรากฏ มีสีสันสวยงาม และกลิ่นหอมตามธรรมชาติ อีกทั้งยังช่วยให้อาหารที่ได้มีรสชาติที่น่ารับประทาน

ขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ผู้ดำเนินงานวิจัย

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงใน ( ) หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) ต่ำกว่า 15 ปี ( ) 15 - 25 ปี
( ) 26 - 35 ปี ( ) 36 - 45 ปี
( ) 46 - 55 ปี ( ) สูงกว่า 55 ปี

3. ระดับการศึกษา

( ) ประถมศึกษา ( ) มัธยมศึกษา
( ) อนุปริญญา ( ) ปริญญาตรี
( ) สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

( ) นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ( ) รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ
( ) พนักงานบริษัทเอกชน ( ) ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย
( ) รับจ้าง ( ) แม่บ้าน
( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

5. ระดับรายได้

( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท ( ) 10,001 - 15,000 บาท
( ) 15,001 - 20,000 บาท ( ) มากกว่า 20,000 บาท

<u>ส่วนที่ 2</u> ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมและทัศนคติของผู้บริโภค

6. ท่านเคยรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบหรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย

7. ชนิดของผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่ท่านเคยรับประทาน **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

<u>ผลไม้</u>

( ) ทุเรียน ( ) ขนุน ( ) กล้วย
( ) มะม่วง ( ) สับปะรด ( ) แอปเปิ้ล
( ) มะละกอ ( ) มะพร้าว ( ) พุทรา
( ) ลูกพีช ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

<u>ผัก</u>

( ) มันฝรั่ง ( ) เผือก ( ) ฟักทอง
( ) แครอท ( ) กระเจี๊ยบ ( ) เห็ด
( ) มะเฟือง ( ) มันทอด ( ) ถั่ว
( ) กระเทียม ( ) รากบัว ( ) หอมหัวใหญ่
( ) มะระ ( ) หอมแดง ( ) ถั่วฝักยาว
( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

8. ท่านรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบบ่อยเพียงใด

( ) 1 - 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ( ) 3 - 4 ครั้งต่อสัปดาห์
( ) 1 - 2 ครั้งต่อเดือน ( ) 3 - 4 ครั้งต่อเดือน
( ) 2 - 3 เดือนต่อครั้ง ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

9. กิจกรรมที่ท่านทำระหว่างรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบ **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ดูโทรทัศน์ ( ) ฟังเพลง/วิทยุ
( ) ชมภาพยนตร์ที่บ้าน ( ) ชมภาพยนตร์ที่โรงภาพยนตร์
( ) เล่นคอมพิวเตอร์ ( ) อ่านหนังสือ
( ) เล่นเกมส์ ( ) ทำงาน
( ) สังสรรค์กับเพื่อนฝูง/ครอบครัว ( ) ขณะรอคอย
( ) ระหว่างการเดินทาง ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

10. บรรจุภัณฑ์ผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่ท่านซื้อรับประทานเป็นแบบใด **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ถาดโฟม ( ) ถุงกระดาษ
( ) ถุงพลาสติกใส ( ) ถุงอลูมิเนียมฟอยล์
( ) ถุงอลูมิเนียมในกล่องกระดาษ ( ) ถุงพลาสติกในกล่องกระดาษ
( ) กล่องพลาสติก ( ) ขวดพลาสติก
( ) กระป๋อง ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

11. ปริมาณผักหรือผลไม้ทอดกรอบที่ท่านซื้อรับประมาณในแต่ละครั้งเป็นปริมาณเท่าใด

( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กรัม ( ) 50 - 100 กรัม
( ) 101 - 250 กรัม ( ) 251-500 กรัม
( ) 501 - 1,000 กรัม ( ) มากกว่า 1,000 กรัม

12. ค่าใช้จ่ายในการซื้อผักหรือผลไม้ทอดกรอบในแต่ละครั้งเป็นจำนวนเงินเท่าใด

( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาท ( ) 20 - 50 บาท
( ) 51 - 100 บาท ( ) 101-150 บาท
( ) 151 - 200 บาท ( ) มากกว่า 200 บาท

13. ท่านซื้อผักหรือผลไม้ทอดกรอบจากสถานที่ใด **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ตลาดสด ( ) ร้านขายของฝาก
( ) ร้านสะดวกซื้อ ( ) ซุปเปอร์มาร์เก็ต (เช่น ท็อปส์,บิ๊กซี,โลตัส)
( ) สถานที่จัดแสดงสินค้า ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

14. เหตุผลที่ท่านใช้ในการเลือกซื้อผักหรือผลไม้ทอดกรอบมารับประทานคือ **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ชอบรับประทาน ( ) ความหิว
( ) รสชาติ ( ) รับประทานสะดวก
( ) รับประทานยามว่าง ( ) คุณค่าทางโภชนาการ
( ) ทดแทนผักหรือผลไม้สด ( ) ทดแทนขนมขบเคี้ยวต่างๆ
( ) เป็นผลิตภัณฑ์แปลกใหม่ ( ) เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ
( ) สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ( ) เป็นของฝาก
( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

15. ท่านพบปัญหาหรือไม่ในการรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบ

( ) ไม่พบปัญหา **(ให้ข้ามไปทำข้อ 16)**

( ) พบปัญหา **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) ผลิตภัณฑ์มีสีไม่น่ารับประทาน ( ) ผลิตภัณฑ์ไม่กรอบ

( ) ผลิตภัณฑ์อมน้ำมัน ( ) ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเหม็นหืน

( ) ผลิตภัณฑ์ไม่สะอาด ( ) ผลิตภัณฑ์ไม่ระบุฉลากโภชนาการ

( ) ผลิตภัณฑ์ไม่ระบุวันหมดอายุ ( ) บรรจุภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน

( ) ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ไม่สะดวกในการรับประทาน

( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

16. ท่านให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆ ในการรับประทานผักหรือผลไม้ทอดกรอบมากน้อยเพียงใด กรุณาทำเครื่องหมาย √ ในช่องระดับความสำคัญที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ข้อที่	ปัจจัยในการตัดสินใจซื้อ	ระดับความสำคัญ				
		น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
1	สี					
2	ขนาด รูปร่าง					
3	กลิ่น					
4	รสชาติ					
5	ความกรอบ					
6	ขนาดพอดีคำในการรับประทาน					
7	ผลิตภัณฑ์ไม่อมน้ำมัน					
8	ผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหืน					
9	ความสะอาดของผลิตภัณฑ์					
10	ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อบรรจุภัณฑ์					
11	ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์					
12	ความสวยงามของบรรจุภัณฑ์					
13	ตรายี่ห้อ					
14	ฉลาก					
15	คุณค่าทางโภชนาการ					
16	ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย					
17	ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพ					
18	ราคาเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ					
19	ผลิตภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน					
20	บรรจุภัณฑ์มีความสะดวกในการรับประทาน					
21	การมีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ เช่น อย.					
22	ความปลอดภัยในการบริโภค					
23	ไม่มีวัตถุกันเสียหรือวัตถุกันหืน					
24	อายุการเก็บรักษา					
25	ความสะดวกในการหาซื้อจากร้านค้า					
26	ชื่อเสียงของร้านจำหน่ายสินค้า					

<u>ส่วนที่ 3</u> ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นการนำเมล็ดขนุนมาหั่นเป็นแผ่นขนาดพอดีคำแล้วนำไปทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดมีสีเหลืองสวยงาม รสชาติมัน เค็ม กรอบน่ารับประทาน บรรจุในภาชนะที่สะดวกในการรับประทาน ทั้งนี้เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร สามารถใช้เป็นของทานเล่นแบบไทยๆ และยังมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าขนมขบเคี้ยวในท้องตลาด

17. ถ้าหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศท่านสนใจผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

( ) สนใจ ( ) ไม่สนใจ

18. ท่านใช้เหตุผลใดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) สี ( ) รูปร่างและขนาด ( ) กลิ่น
( ) รสชาติ ( ) ความกรอบ ( ) ความไม่อมน้ำมัน
( ) ไม่มีกลิ่นหืน ( ) บรรจุภัณฑ์ ( ) ปริมาณผลิตภัณฑ์
( ) ราคา ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

19. รูปแบบของผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ท่านต้องการรับประทาน

( ) เป็นแผ่นบาง ( ) เป็นแว่นกลม
( ) เมล็ดผ่าครึ่ง ( ) ทั้งเมล็ด

20. ท่านต้องการให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมีการปรุงรสหรือไม่

( ) ไม่ต้องการ **(ให้ข้ามไปทำข้อ 22)**
( ) ต้องการ **(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)**

( ) เกลือ ( ) น้ำตาล ( ) กระเทียม
( ) ปาปริก้า ( ) ซาวครีมและหัวหอม ( ) พริกไทย
( ) บาร์บีคิว ( ) คาราเมล ( ) ชีส
( ) ซินนามอน ( ) สาหร่าย

21. บรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ท่านต้องการคือ

( ) ถาดโฟม ( ) ถุงกระดาษ
( ) ถุงพลาสติกใส ( ) ถุงอลูมิเนียมฟอยล์
( ) ถุงอลูมิเนียมในกล่องกระดาษ ( ) ถุงพลาสติกในกล่องกระดาษ
( ) กล่องพลาสติก ( ) ขวดพลาสติก
( ) กระป๋อง ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

22. ปริมาณผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อหนึ่งหน่วยบรรจุที่ท่านต้องการคือ

( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กรัม ( ) 50 - 100 กรัม

( ) 101 - 250 กรัม ( ) 251 - 500 กรัม

23. ราคาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดต่อหนึ่งหน่วยบรรจุที่ท่านต้องการคือ

( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาท ( ) 21 - 50 บาท

( ) 51 - 100 บาท ( ) 101-150 บาท

( ) 151 - 200 บาท ( ) มากกว่า 200 บาท

24. สถานที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ท่านต้องการคือ

(ตอบได้มากกกว่า 1 ข้อ)

( ) ตลาดสด ( ) ร้านขายของฝาก

( ) ร้านสะดวกซื้อ ( ) ซุปเปอร์มาร์เก็ต (เช่น ท็อปส์,บิ๊กซี,โลตัส)

( ) สถานที่จัดแสดงสินค้า ( ) อื่นๆ โปรดระบุ…….

25. ถ้าหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 50 กรัม ราคา 20 บาท ท่านจะซื้อบริโภคหรือไม่

( ) ซื้อ เพราะ……..

( ) ไม่แน่ใจ เพราะ……..

( ) ไม่ซื้อ เพราะ …….

- ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ -

ภาคผนวก จ2

การทดสอบความชอบเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ชื่อผู้ทดสอบ..... **วันที่**..... **รหัส**.....

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่าง [ ] ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านเกี่ยวกับตัวอย่างมากที่สุด

1. **ความชอบโดยรวม** : ท่านชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดสุญญากาศมากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

2. **ความชอบด้านลักษณะปรากฏ** : ท่านชอบลักษณะปรากฏ (สี รูปร่าง ขนาด) ของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

3. **ความชอบด้านกลิ่นโดยรวม** : ท่านชอบกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

4. **ความชอบด้านรสชาติ** : ท่านชอบรสชาติของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

5. **ความชอบด้านความกรอบ** : ท่านชอบความกรอบของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6. **ความชอบด้านความแข็ง** : ท่านชอบความแข็งของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ข้อเสนอแนะ……..……..…….....

ภาคผนวก จ3

การทดสอบความชอบเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ชื่อผู้ทดสอบ..... **วันที่**..... **รหัส**.....

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่าง [ ] ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านเกี่ยวกับตัวอย่างมากที่สุด

1. **ความชอบโดยรวม:** ท่านชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดสุญญากาศมากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

2. **ความชอบด้านลักษณะปรากฏ:** ท่านชอบลักษณะปรากฏ (สี รูปร่าง ขนาด) ของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

3. **ความชอบด้านความกรอบ:** ท่านชอบความกรอบของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ความพอดีด้านความกรอบ

น้อยที่สุด	น้อยปานกลาง	พอดี	มากปานกลาง	มากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

4. **ความชอบด้านความแข็ง:** ท่านชอบความแข็งของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ความพอดีด้านความแข็ง

น้อยที่สุด	น้อยปานกลาง	พอดี	มากปานกลาง	มากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก จ4

การทดสอบความชอบเมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ชื่อผู้ทดสอบ..... **วันที่**..... **รหัส**.....

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่าง [ ] ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านเกี่ยวกับตัวอย่างมากที่สุด

1. **ความชอบโดยรวม:** ท่านชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

2. **ความชอบด้านลักษณะปรากฏ**: ท่านชอบลักษณะปรากฏ (สี รูปร่าง ขนาด) ของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

3. **ความชอบด้านกลิ่นโดยรวม:** ท่านชอบกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

4. **ความชอบด้านปริมาณสาหร่าย:** ท่านชอบ**ปริมาณสาหร่าย**ของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

5. **ความชอบด้านรสชาติ:** ท่านชอบรสชาติของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6. **ความชอบด้านความกรอบ:** ท่านชอบความกรอบของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

7. **ความชอบด้านความแข็ง:** ท่านชอบความแข็งของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก จ5

การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

คำชี้แจง : แบบสอบถามนี้เป็นการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของนายปรย เสาวลักษณ์ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งทำวิจัยในเรื่อง "การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ" ดังนั้นจึงใคร่ของความร่วมมือจากท่าน กรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ และไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือตอบแบบสอบถามครั้งนี้

คำอธิบาย : การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Frying) เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารและมีการลดความดันภายใต้ระบบปิด สามารถลดจุดเดือดของน้ำที่อยู่ภายในอาหารให้ระเหยออกอย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการทอดสั้นลง ทำให้สามารถรักษาคุณค่าทางอาหารและลักษณะปรากฏ มีสีสันสวยงาม และกลิ่นหอมตามธรรมชาติ อีกทั้งยังช่วยให้อาหารที่ได้มีรสชาติที่น่ารับประทาน

ขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ผู้ดำเนินงานวิจัย

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงใน ( ) หน้าคำตอบที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) ต่ำกว่า 15 ปี ( ) 15 - 25 ปี
( ) 26 – 35 ปี ( ) 36 – 45 ปี
( ) 46 - 55 ปี ( ) สูงกว่า 55 ปี

3. ระดับการศึกษา

( ) ประถมศึกษา ( ) มัธยมศึกษา
( ) อนุปริญญา ( ) ปริญญาตรี
( ) สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

( ) นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ( ) รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ
( ) พนักงานบริษัทเอกชน ( ) ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย
( ) รับจ้าง ( ) แม่บ้าน
( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

5. ระดับรายได้

( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5,000 บาท ( ) 5,001 - 10,000 บาท
( ) 10,001 - 15,000 บาท ( ) 15,001 – 20,000 บาท
( ) 20,001 - 25,000 บาท ( ) มากกกว่า 25,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

6. กรุณาชิมตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบ โดย ขีด √ ลงในช่องตามความรู้สึกของท่าน

6.1 <u>ความชอบด้านลักษณะปรากฏ</u>: ท่านชอบลักษณะปรากฏ (สี รูปร่าง ขนาด) ของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6.2 <u>ความชอบด้านกลิ่นโดยรวม</u>: ท่านชอบกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6.3 <u>ความชอบด้านรสชาติ</u>: ท่านชอบรสชาติของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6.4 <u>ความชอบด้านความกรอบ</u>: ท่านชอบความกรอบของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6.5 <u>ความชอบด้านความแข็ง</u>: ท่านชอบความแข็งของผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

6.6 <u>ความชอบโดยรวม</u>: ท่านชอบผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศมากน้อยเพียงใด

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

7. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนี้หรือไม่

( ) ยอมรับ .....

( ) ไม่ยอมรับ .....

8. ถ้าหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

( ) ซื้อ เพราะ……..

( ) ไม่แน่ใจ เพราะ……..

( ) ไม่ซื้อ เพราะ ……..…….

8. ถ้าหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดขนุนทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 50 กรัม ราคา 10 บาท ท่านจะซื้อบริโภคหรือไม่

( ) ซื้อ เพราะ……..

( ) ไม่แน่ใจ เพราะ……..

( ) ไม่ซื้อ เพราะ ……..…….

9. ข้อเสนอแนะ

……

……

********** ขอขอบคุณในความร่วมมือ **********

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายปรย เสาวลักษณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 กรกฎาคม พ.ศ.2526
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) เกียรตินิยมอันดับสองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2548)
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	- ผลของกรรมวิธีก่อนการทอดต่อคุณภาพของเห็ดนางฟ้าทอดสุญญากาศ - การศึกษากระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเมล็ดขนุนภายใต้สภาวะสุญญากาศ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยประเภทวิทยานิพนธ์ ประจำปี 2551