



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้ก
Characterization of Physicochemical Properties of Glutinous Rice and Mixed Glutinous-Hom-mali Rice Flours and Theirs Utilization for Butter Cake

นามผู้วิจัย นางปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วิชัย หฤทัยธนาสันต์, ป.ร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ธงชัย สุวรรณสิขณณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุมาพร เกษมสำราญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับ
แป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้ก

Characterization of Physicochemical Properties of Glutinous Rice and Mixed Glutinous-
Hom-mali Rice Flours and Theirs Utilization for Butter Cake

โดย

นางปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2554

ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล 2554: การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าว
ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาวิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, Ph.D. 298 หน้า

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิบางส่วนในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์
เค้กเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มการใช้ประโยชน์แป้งข้าวเหนียว องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวไทย 9 พันธุ์มี
ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน เยื่อใย และโปรตีน 8.76-10.13, 0.22-0.41, 0.11-0.55, 1.42-2.63 และ 6.88-
9.53% โดยน้ำหนักแห้ง ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเหนียว มีค่าอยู่ในช่วง 8.72-11.96% ในขณะที่
ความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 9.99-4.22% ปริมาณอะมิโลสของข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลมี ค่าสูงสุด
(4.6%) และของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีค่าต่ำที่สุด (2.8%) คุณหมุมเปลี่ยนแปลงความหนืด ความหนืดต่ำสุด
ความหนืดสุดท้าย ความคงตัวของแป้ง คุณหมุมเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตไนซ์ (To), คุณหมุมสูงสุดในการเกิด
เจลลิตไนซ์ (Tp) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนซ์ (ΔH) ของแป้งข้าวผสม 4 ตัวอย่าง (แป้งข้าวเหนียวพันธุ์
กข 6 กับแป้งข้าวหอมมะลิอัตราส่วน 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80) มีค่าลดลงตามปริมาณแป้งข้าวเหนียวที่
เพิ่มขึ้น การประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตร สโคปี (NIRS) โดยใช้วิธี Partial least square (PLS)
สามารถทำนาย ค่า To, Tp, ΔH . คุณสมบัติด้านความหนืด ได้แก่ ค่าความหนืดสุดท้าย , ค่าความคงตัว และ
คุณหมุมเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลลิตไนซ์ของแป้งผสมเป็นที่เชื่อถือได้โดยมีค่า $R^2 = 0.82, 0.75, 0.739, 0.95,$
 0.97 และ 0.99 ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีปริมาตร, ปริมาตรจำเพาะและค่า
ความแข็งของบัตเตอร์เค้กมีค่าลดลง ผลการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเชิงพรรณนาผู้โดย
ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนพบว่าบัตเตอร์เค้กแป้งผสมสูตรลดปริมาณไข่แดงประกอบด้วย 39 คุณลักษณะ
ผู้บริโภคร 60% ยอมรับบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองที่ใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิได้ 60% และ
บัตเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดงที่ใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนได้ 40% ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกพบว่า
การขึ้นฟู ความนุ่ม และความชุ่มชื้นของเนื้อเค้กมีอิทธิพลต่อการยอมรับและการตัดสินใจซื้อบัตเตอร์เค้ก ของ
ผู้บริโภคร ผลการวิเคราะห์ความพอดีโดยวิธีวิเคราะห์โอกาสของบัตเตอร์เค้กแป้งผสมสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลด
ปริมาณไข่แดงที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวมากกว่า 60% พบว่า ควรปรับปรุงการขึ้นฟูให้มากขึ้น ส่วนบัตเตอร์เค้ก
แป้งผสมสูตรลดปริมาณไข่แดงที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวน้อยกว่า 40% ควรปรับปรุงความชุ่มชื้นของเนื้อเค้กให้
มากขึ้น

Piyaporn Chueamchaitrakun 2011: Characterization of Physicochemical Properties of Glutinous Rice and Mixed Glutinous – Hom-mali Rice Flours and Theirs Utilization for Butter Cake. Doctor of Philosophy (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Penkwan Chompreeda, Ph.D. 298 pages.

The aim of this research was to enhance the use of glutinous rice flour as a substitute to Hom-mali rice flour in order to reduce cost. Chemical composition of 9 Thai glutinous rice varieties were moisture content, ash, fat, fiber and protein in the range of 8.76-10.13, 0.22-0.41, 0.11-0.55, 1.42-2.63 and 6.88-9.53%, respectively. Swelling power and solubility of Thai glutinous rice flours were 8.72- 11.96 and 9.99- 4.22. The amylose content of RD6 was the lowest (2.8%) whereas Niew ubon was the highest (4.6%). The pasting temperature, trough, final viscosity, setback, onset temperature (T_o), peak temperature (T_p) and enthalpy (ΔH) of 4 mixed flours (glutinous rice flour (GRF): Hom-Mali rice flour (HMRF) = 80:20, 60:40, 40:60, and 20:80) were decreased as the content of GRF increased. The combination of NIRS technique and Partial Least Square (PLS) were able to formulate a reliable equation for the prediction of T_o , T_p , ΔH , pasting properties such as final viscosity, setback and pasting temperature of mixed flour samples ($R^2 = 0.82, 0.75, 0.739, 0.95, 0.97$ and 0.99 , respectively). Increasing the content of GRF resulted in a significant ($P < 0.05$) decrease in the specific volume, volume index and hardness value of the butter cake. Thirty-nine (39) lexicons of reduced egg yolk butter cakes prepared from mixed flour were identified by 7 trained panelists using generic descriptive analysis. Sixty percent (60%) of consumers accepted whole egg butter cakes prepared from 60% of GRF and reduced egg yolk butter cake prepared from 40% of GRF. The logistic regression analysis revealed that fluffiness, softness and moistness were critical attributes that influence overall acceptance and purchase intent for butter cake with whole and reduced egg yolk. The result of JAR and opportunity analysis of whole egg butter cake prepared from $>60\%$ of GRF should increase fluffiness. Reduced egg yolk butter cake prepared from $<40\%$ of GRF should increase moistness whereas one prepared from $>60\%$ of GRF should increase fluffiness.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ .ดร.เพ็ญขวัญ ชมปรีดา ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ รศ .ดร.วิชัย หฤทัยธนาสันต์ รศ .ดร.ธงชัย สุวรรณดิษชนน์ และ ดร .ศุมาพร เกษม
สำราญ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในระหว่างดำเนินการวิจัย
ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบ พระคุณ
ศ.ดร.วิฑูรย์ ปริญาวิวัฒน์กุล ที่ช่วยตรวจแก้และให้คำแนะนำสำหรับการเขียน Manuscript และ
ขอกราบขอบพระคุณ รศ .ดร.อรพิน ภูมิภมร ผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบ และ ผศ .ดร.วลัยรัตน์
จักรปานนท์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า
ขอขอบพระคุณสถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่
อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ตลอดงานวิจัย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน

ข้าพเจ้าขอระลึกถึงบุญคุณของบิดาข้าพเจ้าที่ได้ล่วงลับไปแล้ว ขอกราบขอบพระคุณ
มารดา สามีและทุกท่านในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในระหว่าง
การศึกษา รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอื้อนามไว้ ณ ที่นี้ สำหรับความรัก ความห่วงใย ความ
เข้าใจ และกำลังใจที่มีให้มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอมอบส่วนที่ดีของ
วิทยานิพนธ์นี้ให้แก่ ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้า
ขอน้อมรับไว้แต่ผู้เดียว

ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล

สิงหาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	76
อุปกรณ์	76
วิธีการ	80
ผลและวิจารณ์	103
สรุป	251
ข้อเสนอแนะ	255
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	256
ภาคผนวก	270
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี	271
ภาคผนวก ข อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	282
ภาคผนวก ค แบบสอบถามความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค	286
ภาคผนวก ง แบบสอบถามการทดสอบเชิงพรรณนา	290
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	298

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทย	7
2	คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ	10
3	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว	11
4	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาลี	14
5	คุณสมบัติด้านความเหนียวของแป้งข้าวเหนียว	32
6	คุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเหนียว	33
7	คุณสมบัติด้านความเหนียวของแป้งข้าวหอมมะลิ	34
8	คุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวหอมมะลิ	35
9	คุณสมบัติของแป้งสาลี	36
10	การแบ่งคลื่นในช่วงย่านอินฟราเรด	49
11	การใช้ประโยชน์เทคนิค NIR ในประเทศไทย	54
12	แนวทางการแปลความหมายค่าสหสัมพันธ์ (R)	60
13	แหล่งที่มาของพันธุ์ข้าวสายพันธุ์ต่างๆ	76
14	แบตเตอรี่เค้กสูตรไขไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	86
15	อัตราส่วนผสมของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว พันธุ์ต่างๆ	97
16	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ในเรื่องปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย และปริมาณโปรตีนเทียบกับต่อ ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง	104
17	ปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์เทียบกับร้อยละปริมาณสตาร์ช	106
18	ค่าความขาวของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ค่าร้อยละของการละลายและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์	108
20	ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)	110
21	สมบัติความหนืดของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer	113
22	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านกระบวนการไม่แห้ง	118
23	คุณภาพด้านเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ	120
24	ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินไนซ์ของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้ง ข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ	121
25	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ	123
26	คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กโดยใช้ไข่ไก่ทั้งฟอง	129
27	ค่าสีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กโดยใช้ไข่ไก่ทั้งฟอง	132
28	คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง	134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
29	ค่าสีของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง	137
30	ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กโดยใช้ไข่ไก่ทั้งฟอง	140
31	ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง	143
32	ค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กในเชิงการค้า	144
33	น้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว และแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	145
34	น้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว และแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง	147
35	น้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว และแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรลดไข่แดง	148
36	การจัดกลุ่มแบตเตอรี่เค้กแป้งสาลี แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง และแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า	150

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
37	การจัดกลุ่มแบตเตอรี่เค้กแบ่งสาลี แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวผสมระหว่างแบ่งข้าวเหนียวกับแบ่งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง และแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า	152
38	การจัดกลุ่มแบตเตอรี่เค้กแบ่งสาลี แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวผสมระหว่างแบ่งข้าวเหนียวกับแบ่งข้าวหอมมะลิสูตรลดไข่แดง และแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า	154
39	ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่สูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	156
40	ค่า Water activity ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	157
41	ค่าปริมาณความชื้นของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	158
42	ค่าดัชนีปริมาตร (Volume index) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	159
43	ค่าปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	160
44	ค่าความหนาแน่น (Density) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	161
45	ค่าความแข็ง (Hardness) ที่วัดได้จากเครื่อง Texture analyzer ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
46	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	165
47	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	166
48	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	168
49	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	170
50	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านความรู้สึกภายในปากของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	170
51	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านความรู้สึกตกค้างภายในปากของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	171
52	คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก	172
53	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจำนวน 10 ตัวอย่าง	174
54	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจำนวน 10 ตัวอย่าง	175
55	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจำนวน 10 ตัวอย่าง	176

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
56	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านรสชาติ ความรู้สึกภายในปาก และสิ่งตกค้างของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก จำนวน 10 ตัวอย่าง	177
57	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง	178
58	ค่าน้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านลักษณะทางประสาท สัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง ของ องค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2	182
59	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของบัตเตอร์ เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	189
60	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	190
61	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	191
62	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	192
63	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปากของบัตเตอร์ เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	193

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
64	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกลังกลิ่นของแบตเตอรี่เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	194
65	สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของแบตเตอรี่เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis	195
66	คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง	197
67	การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (%)	198
68	เปอร์เซ็นต์การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองโดยแบ่งแยกการยอมรับ/การตัดสินใจซื้อออกเป็น 3 กลุ่ม	199
69	ค่าทางสถิติ, ความน่าจะเป็น และ odds ratio สำหรับการทำนายค่าการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาคะแนนความพอดี (JAR score) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรไข่ทั้งฟอง	201
70	ร้อยละของสเกลความพอดีของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวและแป้งสาลีสูตรไข่ทั้งฟอง	202
71	ค่า Mean drop และค่า Total penalty สูตรไข่ทั้งฟอง	203
72	ค่า Signal to noise ratio (SNR) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง	205
73	การวิเคราะห์ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟอง	209

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
74	คุณลักษณะที่ควรปรับปรุงในผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง	214
75	การวิเคราะห์ Binomial test สำหรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง	215
76	แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งชนิดต่างๆ โดยใช้สูตรไข่ไก่ทั้งฟอง	217
77	คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง	219
78	การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง (%)	220
79	เปอร์เซ็นต์การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดงโดยแบ่งแยกการยอมรับ/การตัดสินใจซื้อออกเป็น 3 กลุ่ม	221
80	ค่าทางสถิติ, ความน่าจะเป็น และ odds ratio สำหรับการทำนายค่าการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแป้งข้าวสูตรลดปริมาณไข่แดง	223
81	ร้อยละของสเกลความพอดีของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวและแป้งสาลีสูตรลดปริมาณไข่แดง	224
82	ค่า Mean drop และค่า Total penalty ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวและแป้งสาลีสูตรลดปริมาณไข่แดง	225
83	ค่า Signal to noise ratio (SNR) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง	226

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
84	การวิเคราะห์ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง	230
85	คุณลักษณะที่ควรปรับปรุงในผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง	234
86	การวิเคราะห์ Binomial test สำหรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง	235
87	แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งชนิดต่างๆ โดยใช้สูตรลดปริมาณไข่แดง	237
88	ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ของค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินซ์ของตัวอย่างแป้งข้าว	241
89	ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ของค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างแป้งข้าว	243
90	สมการทำนายค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินซ์ของตัวอย่างแป้งข้าวที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Partial least square (PLS) Regression	247
91	สมการทำนายค่าของคุณสมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างแป้งข้าวที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Partial least square (PLS) Regression	250

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรรมวิธีการผลิตแป้ง 3 วิธี	18
2	โครงสร้างอะมิโลส	20
3	โครงสร้างอะมิโลเพกติน	23
4	ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วน อสัณฐาน	24
5	ระยะในการเกิดเจลาตินไนซ์ของเม็ดแป้ง	27
6	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer	31
7	องค์ประกอบของ NIR Spectrometer	51
8	ขอบเขตการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้ง ข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก	75
9	กรรมวิธีการเตรียมแป้งข้าวด้วยกรรมวิธีการไม่แห้ง	80
10	กรรมวิธีการผลิตแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ	83
11	กรรมวิธีการผลิตบัตเตอร์เค้ก	87
12	ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายค่าคุณภาพโดยหา ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างการวัดค่าด้วยเครื่อง NIR กับการ วิเคราะห์ทางเคมี และการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ได้	101
13	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของฟลาวข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	Bi-plot ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก เชิงการค้า แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับ แป้งข้าวหอมมะลิ และแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาธิตสูตรไข่ ทั้งฟอง และสูตรลดปริมาณไข่แดง กับค่าเค้กโครง เนื้อสัมผัสระหว่างแกน PC1 และ PC2	151
15	Bi-plot ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก เชิงการค้า แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าว ผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งสาธิตสูตรไข่ทั้งฟอง กับเค้กโครงเนื้อสัมผัสระหว่างแกน PC1 และ PC2	153
16	Bi-plot ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก เชิงการค้า แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้ง ข้าวหอมมะลิ และ แบตเตอรี่เค้ก แป้งสาธิตสูตรลดปริมาณไข่แดง กับเค้กโครง เนื้อสัมผัสระหว่าง แกน PC1 และ PC2	155
17	คะแนนความเข้มข้นด้านลักษณะปรากฏของแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดงจากแป้งชนิดต่างๆและแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า	179
18	คะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นของแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดงจากแป้งชนิดต่างๆและแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า	179
19	คะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นรสของแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดงจากแป้งชนิดต่างๆและแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า	180

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	คะแนนความเข้มเฉลี่ยด้านรสชาติและความรู้สึกหลังกลืนของแบตเตอรี่ เค็กสูตรลดไข่แดงจากแป้งชนิดต่างๆและแบตเตอรี่เค็กเชิงการค้า	180
21	คะแนนความเข้มเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสของแบตเตอรี่เค็กสูตรลดไข่แดงจาก แป้งชนิดต่างๆและแบตเตอรี่เค็กเชิงการค้า	181
22	Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ของตัวอย่างแบตเตอรี่เค็กสูตรลด ไข่แดงจากแป้งชนิดต ่างๆและแบตเตอรี่เค็ก เชิงการค้า จำนวน 10 ตัวอย่าง (A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทาง ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (B) Factor score plot ของตัวอย่างบัต เตอรี่เค็ก 10 ตัวอย่าง	186
23	การจัดแบ่งกลุ่มแบตเตอรี่เค็ก 10 ชนิด ด้วยวิธีการจัดกลุ่มตัวแปร (Cluster Analysis) โดยใช้ค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัส จำนวน 39 คุณลักษณะ	187
24	การจัดแบ่งกลุ่มแบตเตอรี่เค็ก 10 ตัวอย่างด้วยลักษณะทางประสาท สัมผัส ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal component analysis; PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ขององค์ประกอบที่ 1 (PC1) และองค์ประกอบที่ 2 (PC2)	188

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	SNR ของการขึ้นฟูและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของ ผลิตภัณฑ์เบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (A = เบัตเตอร์เค้กแบ่งสาเลี, B = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ: แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าว เหนียว = 60:40, E = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว)	206
26	SNR ของความนุ่มและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของ ผลิตภัณฑ์เบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (A = เบัตเตอร์เค้กแบ่งสาเลี, B = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ: แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าว เหนียว = 60:40, E = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว)	207
27	SNR ของความชุ่มชื้นและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของ ผลิตภัณฑ์เบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (A = เบัตเตอร์เค้กแบ่งสาเลี, B = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ: แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าว เหนียว = 60:40, E = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = เบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว)	208

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งสาธิตสูตรไข่ทั้งฟอง	210
29	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก แป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง	210
30	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 80:20) สูตรไข่ทั้งฟอง	211
31	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 60:40) สูตรไข่ทั้งฟอง	211
32	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 40:60) สูตรไข่ทั้งฟอง	212
33	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 20:80) สูตรไข่ทั้งฟอง	212
34	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียวสูตรไข่ทั้งฟอง	213

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	เนื้อหา	หน้า
35	<p>SNR ของการขึ้นฟูและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง (A = เบตเตอร์เค้กแบ่งสาาลี, B = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 60:40, E = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว)</p>	227
36	<p>SNR ของความนุ่มและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง (A = เบตเตอร์เค้กแบ่งสาาลี, B = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 60:40, E = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว)</p>	228
37	<p>SNR ของความชุ่มชื้นและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง (A = เบตเตอร์เค้กแบ่งสาาลี, B = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 60:40, E = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = เบตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว)</p>	229

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งสาลีสูตรลดปริมาณไข่แดง	230
39	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิสูตรลดปริมาณไข่แดง	231
40	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 80:20) สูตรลดปริมาณไข่แดง	231
41	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 60:40) สูตรลดปริมาณไข่แดง	232
42	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 40:60) สูตรลดปริมาณไข่แดง	232
43	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าว เหนียว = 20:80) สูตรลดปริมาณไข่แดง	233
44	ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของ ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียวสูตรลดปริมาณไข่แดง	233

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
45	Bi-plot ของบัตรเตอร์เค้ก 6 ตัวอย่างกับลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของบัตรเตอร์เค้ก สูตรลดไข่แดงระหว่างแกน PC1 และ PC2 ตัวอย่างบัตรเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดงจากแป้งข้าวหอมมะลิ (Hom-mali), แป้งข้าวเหนียว (Glutinous), แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ : แป้งข้าวเหนียว (HG) 4 ตัวอย่าง = HG80/20, HG60/40, HG40/60 และ HG20/80	238
46	แผนภาพความชอบของผลิตภัณฑ์บัตรเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวสูตรลดไข่แดง	239
47	ลักษณะสเปกตรัมของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม จำนวน 92 ตัวอย่าง ที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่อง NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร	245
ภาพผนวกที่		
ข1	เครื่องบดแป้งข้าวแบบไม่แห้ง	283
ข2	เครื่องผสมแป้งข้าวชนิดลูกเต๋า	284
ข3	เครื่อง Near Infrared Reflectance (NIR) Spectroscopy (BRAN+LUEBBE, InfraAlyzer 500, Norderstedt, Germany)	285

การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ บัตเตอร์เค้ก

Characterization of Physicochemical Properties of Glutinous Rice and Mixed
Glutinous-Hom-mali Rice Flours and Theirs Utilization for Butter Cake

คำนำ

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรหลักของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีการเพาะปลูก
เพื่อเป็นสินค้าส่งออก ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าว เป็นอันดับหนึ่งของโลก
ด้วยสัดส่วนการส่งออก ร้อยละ 36 รองลงมาคือ เวียดนาม ร้อยละ 20 อินเดีย ร้อยละ 18
สหรัฐอเมริกา ร้อยละ 14 ปากีสถาน ร้อยละ 12 ตามลำดับ (ผู้จัดการ, 2551)

ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่
เพาะปลูกโดยรวมมีประมาณ 18 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 31 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด ให้ผลผลิตใน
ฤดูนาปีประมาณ 6 ล้านตัน ส่วนฤดูนาปรังมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 2.6 แสนไร่ ให้ผลผลิต 1.2
แสนตัน รวมผลผลิตทั้งปีประมาณ 7 ล้านตัน ประชากรส่วนใหญ่นิยมปลูกข้าวเหนียวเพื่อการ
บริโภคภายในครัวเรือน ที่เหลือจึงส่งจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ โดยการส่งออกอยู่ในรูปของ
เมล็ดข้าวสารและในรูปของผลิตภัณฑ์รวมจำนวนทั้งสิ้นประมาณ 2 แสนตัน คิดเป็นมูลค่าการ
ส่งออกถึง 3 พันล้านบาท ในแต่ละปีมีแนวโน้มความต้องการของตลาดโลกสูงขึ้น (ลัดดาวัลย์,
2550) โดยเฉพาะในปี 2550 ประมาณการณ์ว่าปริมาณการส่งออกจะเพิ่มขึ้นถึง 6.35 ล้านตัน
(บีบีเอสไทย, 2549)

นอกจากนี้ยังได้มีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นเมือง, สาโท และนำ
ข้าวเหนียวมาผลิตเป็นแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว ข้อมูล จาก

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2549) ได้รายงานว่ แบ่งข้าวเหนียวส่วนใหญ่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในกระบวนการผลิตขนมอบกรอบ ในปี 2549 ปริมาณการส่งออกแบ่งข้าวเหนียวมีมูลค่า 1,510 ล้านบาท โดยมีมูลค่าสินค้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.8 ตลาดส่งออกที่สำคัญอันดับหนึ่งคือ ญี่ปุ่น คิดเป็นร้อยละ 38.8 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด รองลงมาได้แก่ มาเลเซีย ฮองกง จีน ไต้หวัน และฟิลิปปินส์

การแปรรูปข้าวเหนียวมีองค์ประกอบหลักที่ต้องพิจารณา 3 ประการ คือ วัตถุดิบ กระบวนการผลิต และความต้องการของผู้บริโภค โดยในส่วนของวัตถุดิบคือ ข้าว ซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักจะมีความหลากหลายทางพันธุกรรมมาก ข้าวที่มีพันธุกรรมต่างกันจะเป็นผลทำให้สตาร์ช ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีมีสมบัติบางประการที่ต่างกัน เช่น สมบัติด้านความร้อน สมบัติด้านความเหนียว ฯลฯ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปข้าว การมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติต่างๆ ของสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบในข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางเคมีกายภาพ นับว่าเป็นเครื่องมือที่จำเป็นและเป็นการสร้างฐานความรู้ที่สำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปและการพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจากข้าวเหนียวอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2536 คณะนักวิจัยหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปข้าว สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ศึกษาการ ใช้ประโยชน์จากปลายข้าวหอมมะลิ โดยนำมาบดเป็น แบ่งข้าวหอมมะลิและนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังและขนมอบ พบว่า สามารถใช้ แบ่งข้าวหอมมะลิในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น เค้กเนย คุกกี้ บราวนี่ โดนัทเค้ก ได้ 100% และใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังได้ไม่เกิน 40% ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณการใช้แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ แต่พบข้อเสียคือ ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจากแบ่งข้าวหอมมะลิเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งและร่วน

ในปี 2550 ประเทศไทยประสบกับปัญหาราคาข้าวหอมมะลิมียราคาสูงขึ้น ในขณะที่ ราคาข้าวเหนียวตกต่ำ ซึ่งถ้าหากมีการวิจัยหา แนวทางที่จะนำแบ่งข้าวเหนียวมาทดแทนแบ่งข้าวหอม

มะลิได้ ก็จะ ช่วยลดต้นทุนการผลิตขนมอบจากแป้งข้าวหอมมะลิได้ นอกจากนี้ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่นุ่ม ดังนั้นถ้าหากมีการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจากแป้งข้าวหอมมะลิ ก็จะ ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

จากเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว จากนั้นนำแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวผสมและแป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม) มาผลิตบัตเตอร์เค้ก เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของบัตเตอร์เค้ก รวมถึงศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเชิงพรรณนาของบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวผสมและแป้งสาลี และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ ทราบคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียว และ แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว เพื่อใช้เป็นฐานความรู้ที่ใช้สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีกายภาพและค่าเค้านิเวศของแป้งข้าวเหนียวที่ผลิตจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิโดยใช้ไข่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง
4. เพื่อศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเชิงพรรณนาของแป้งข้าวเหนียวที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ สูตรลดปริมาณไข่แดง และแป้งข้าวเหนียวเชิงการค้า
5. เพื่อเปรียบเทียบการยอมรับของผู้บริโภคต่อแป้งข้าวเหนียวที่ผลิตจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิโดยใช้ไข่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง
6. เพื่อสร้างสมการทำนายค่าสมบัติด้านเทอร์โมไดนามิกส์ และคุณภาพด้านความเหนียวของแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

การตรวจเอกสาร

1. ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางภายในประเทศ และเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ นอกจากนี้ยังนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นเมือง และยังมีการผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว

ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ 1) ข้าวนาสวน 2) ข้าวขึ้นน้ำ และ 3) ข้าวไร่ ซึ่งข้าวนาสวนเป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกกันเป็นอย่างมากในประเทศไทย

ข้าวนาสวน เป็น ข้าวที่ปลูกในนาที่มีน้ำขังหรือกักเก็บน้ำได้ ระดับน้ำลึกตั้งแต่ 1 เซนติเมตรถึงไม่เกิน 50 เซนติเมตร ข้าวนาสวนมีปลูกทุกภาคของประเทศไทย ข้าวที่ปลูกเป็นส่วนใหญ่จะปลูกโดยวิธีปักดำ รองลงมาได้แก่ วิธีหว่านนาตม และวิธีหยอด (กรมการข้าว, 2550)

1.1 การแบ่งประเภทของข้าวนาสวน

1.1.1 ข้าวไวต่อช่วงแสง

เป็นข้าวที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้น ปกติเราถือว่ากลางวันมีความยาว 12 ชั่วโมง และกลางคืนมีความยาว 12 ชั่วโมง ฉะนั้นกลางวันที่มีความยาวน้อยกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันสั้น และกลางคืนที่มีความยาวมากกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันยาว และพบว่าข้าวไวต่อช่วงแสงในประเทศไทยมักจะออกดอกในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือสั้นกว่านี้ ดังนั้นข้าวที่ออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวัน 11 ชั่วโมง 40-50 นาที จึงได้ชื่อว่าเป็นข้าวที่มีความไวน้อยกว่าช่วงแสง (Less Sensitive to Photoperiod) และพันธุ์ที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวกลางวันประมาณ 11

ชั่วโมง 10-20 นาที ก็ได้ชื่อว่าเป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง (Strongly Sensitive to Photoperiod) เนื่องจากในเดือนที่มีกลางวันยาวมันก็จะมีความยาวคืนสั้น และนักวิชาการได้พบว่า ความยาวของกลางวันมีอิทธิพลต่อการออกดอกมากกว่าความยาวของกลางคืน และเขาได้เรียกข้าวว่าเป็นพืชวันสั้นหรือ Short-day Plant พันธุ์ข้าวในประเทศไทยที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง

พันธุ์ข้าวนาสวนไวต่อช่วงแสงจะเป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกได้เฉพาะนาปี จากการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวของสถาบันวิจัยข้าวได้พันธุ์ข้าวนาสวนที่ไวต่อช่วงแสง และออกแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรใช้เป็นพันธุ์ข้าวปลูกอยู่จำนวน 32 พันธุ์ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวเจ้า 24 พันธุ์ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวเหนียว 8 พันธุ์ เช่น กข 6 , กข 8 , เหนียวสันป่าตอง และกำผาย 15 เป็นต้น

1.1.2 ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง

การออกดอกของข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อต้นข้าวมีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบกำหนดต้นข้าวก็จะออกดอกทันทีไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว พันธุ์ กข 1 เป็นพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง เมื่อมีอายุการเจริญเติบโตครบ 100 วัน ต้นข้าวก็จะออกดอก ฉะนั้นพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงจึงใช้ปลูกได้ดีทั้งในฤดูนาปรังและนาปี

พันธุ์ข้าวนาสวนพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงจะเป็นพันธุ์ที่ปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง สามารถปลูกได้ทั้งสภาพนาน้ำฝนและสภาพนาชลประทาน แต่เหมาะที่จะปลูกในที่ควบคุมน้ำได้ จากการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวของสถาบันวิจัยข้าวได้พันธุ์ข้าวนาสวนไม่ไวต่อช่วงแสงที่ออกแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรใช้เป็นพันธุ์ข้าวปลูกอยู่จำนวน 26 พันธุ์ พันธุ์ข้าวเจ้า 20 พันธุ์ พันธุ์ข้าวเหนียว 6 พันธุ์ ได้แก่ กข 2 , กข 4 , กข 10 , แพร่ 1 และสกลนคร เป็นต้น

1.2 พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทย

พื้นที่ปลูกข้าวเหนียวในประเทศไทย สามารถปลูกได้ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมปลูกแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์ข้าวเหนียว	ลักษณะประจำพันธุ์
1. กข 2	<ul style="list-style-type: none"> - อายุ 120-130 วัน สูง 115 ซม. ผลผลิต 765 กก./ไร่ ออกปี 2512 - ข้าวกล้อง สีเปลือก ฟาง ยาว 7.4 มม. ค่อนข้างป้อมนุ่ม ปานกลาง - ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว ปานกลาง
2. กข 4	<ul style="list-style-type: none"> - อายุ 115-120 วัน สูง 120 ซม. ผลผลิต 650 กก./ไร่ ออกปี 2516 - ข้าวกล้อง สีน้ำตาลเข้ม ฟาง ยาว 7.3 มม. เรียว แข็ง - ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล แมลงบัว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว แนะนำปลูกในพื้นที่มีแมลงบัวระบาด
3. กข 6	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 21 พ.ย. สูง 150 ซม. ผลผลิต 670 กก./ไร่ ออกปี 2520 - ข้าวกล้อง สีน้ำตาล ยาว 7.2 มม. เรียว นุ่ม-หอม - ทนแล้ง มีคุณภาพการหุงต้มดี มีกลิ่นหอม - ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล โรคไหม้
4. กข 8	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 23 พ.ย. สูง 150 ซม. ผลผลิต 585 กก./ไร่ ออกปี 2521 - ข้าวกล้อง สีน้ำตาล ยาว 7.1 มม. ค่อนข้างป้อม นุ่ม คุณภาพการหุงต้มและรสชาติดี - ทนแล้ง ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง แมลงบัว และเพลี้ยกระโดด
5. กข 10	<ul style="list-style-type: none"> - อายุ 130-135 วัน สูง 120 ซม. ผลผลิต 660 กก./ไร่ ออกปี 2524 - ข้าวกล้อง สีฟาง ยาว 7.6 มม. เรียว นุ่มเหนียว - ต้านทานโรคไหม้ปานกลาง ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง
6. เหมยนอง 62 เอ็ม	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 20 พ.ย. สูง 150 ซม. ผลผลิต 540 กก./ไร่ ออกปี 2502 - ข้าวกล้อง สีฟางกระน้ำตาล ยาว 6.7 มม. ค่อนข้างป้อม นุ่ม - ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล และแมลงบัว ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดด
7. นางฉลอง	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 30 พ.ย. สูงขึ้นอยู่กบระดับน้ำ ผลผลิต 395 กก./ไร่ - ข้าวกล้อง สีฟาง ยาว 7.4 มม. ค่อนข้างป้อม นุ่ม - เหมาะสำหรับพื้นที่ลุ่มภาคกลางที่มีระดับน้ำไม่เกิน 1.5 เมตร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์ข้าวเหนียว	ลักษณะประจำพันธุ์
8. เหนียวสันป่าตอง	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 26 พ.ย. สูง 150 ซม. ผลผลิต 530 กก./ไร่ ออกปี 2505 - ข้าวกล้อง สีน้ำตาล ยาว 7.2 มม. เรียว นุ่ม - ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล โรคไหม้ ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และแมลงบัว ทนดินเค็มและนวดง่าย
9. หางยี 71 ข้าวไร่	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 4 พ.ย. สูง 150 ซม. ผลผลิต 510 กก./ไร่ ออกปี 2511 - ข้าวกล้อง สีน้ำตาลเข้ม ยาว 7.3 มม. เรียว นุ่ม - ทนแล้ง ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล โรคไหม้ ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง พืชกระโดดสีน้ำตาล และแมลงบัว
10. ชิวแม่จัน	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 15 ต.ค. สูง 110-150 ซม. ผลผลิต 460 กก./ไร่ ออกปี 2522 - ข้าวกล้อง สีฟางก้นจุด ยาว 7.4 มม. เรียว นุ่ม - ปลูกได้ทั้งสภาพไร่ และนาดำ เหมาะเป็นข้าวไร่ภาคเหนือ - ต้านทานโรคไหม้ ในสภาพธรรมชาติ ไม่ต้านทานโรคเน่าคอรวง
11. เหนียวอุบล 1	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 15 พ.ย. สูง 145 ซม. ผลผลิต 660 กก./ไร่ ออกปี 2526 - ข้าวกล้อง สีฟาง ยาว 7.2 มม. เรียว นุ่ม - ต้านทานโรคใบสีส้มในสภาพธรรมชาติ ไม่ต้านทานโรคเน่าคอรวง
12. ข้าวโป่งไคร้	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 20 ต.ค. สูง 130 ซม. ผลผลิต 250 กก./ไร่ ออกปี 2530 - ข้าวกล้อง สีฟาง ยาว 8.3 มม. ป้อมใหญ่ ค่อนข้างแข็งหอม - ปลูกในที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 800-1,250 เมตร - ต้านทานโรคไหม้ ต้านทานโรคขอบใบแห้งปานกลาง
13. เหนียวแพร่ 1	<ul style="list-style-type: none"> - อายุ 120-130 วัน สูง 120 ซม. ผลผลิต 600-700 กก./ไร่ - ข้าวกล้อง สีน้ำตาล ยาว 7.4 มม. เรียว นุ่มเหนียว - ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคไหม้ โรคใบขอบใบแห้ง และโรคใบหงิก

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์ข้าวเหนียว	ลักษณะประจำพันธุ์
14. เหนียวอุบล 2	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 15 พ.ย. สูง 118 ซม. ผลผลิต 585 กก./ไร่ ออกปี 2541 - ข้าวกล้อง สีน้ำตาล ยาว 7.2 มม. เรียว นุ่ม - เหมาะปลูกในสภาพนาดอน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ - ต้านทานโรคไหม้ และทนทานต่อดินเค็ม
15. อาร์ 258 (ดอสามเดือน)	<ul style="list-style-type: none"> - ออกดอก 25 ก.ย. – 19 ต.ค. สูง 110-140 ซม. ผลผลิต 250 กก./ไร่ ออกปี 2530 - ข้าวกล้อง สีฟาง ยาว 7.1 มม. ค่อนข้างป้อม นุ่มหอม - ปลูกได้ทั้งสภาพไร่ เหมาะเป็นข้าวไร่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ - ต้านทานโรคไหม้ ปานกลาง ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง

ที่มา: กรมการข้าว (2550)

1.3 คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ

คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	% อะมิโลส	Alkali (เท่า)	Swelling power	กรัม/100 กรัม
				% Soluble amylose
กข 6	5-6	7.0	11.63	0.54
กข 10	6.0-6.5	7.0	11.72	0.45
กำผาย 15	5.9	7.0	16.76	0.38
ขาวโป่งไคร้	4.2	6.0	20.38	0.30
ชีวแม่จัน	4.6	6.0	17.77	0.36
ปิ่นนอบู	4.6	6.0	18.13	0.31
สกลนคร	4.9	6.0	14.70	0.37
สันป่าตอง 1	5.6	7.0	12.39	0.90
หอมนางฟ้า 63	4.9	6.0	19.90	0.42
หางยี 71	4.5	6.0	20.02	0.39
เหนียวแพร่	5.7	7.0	10.99	0.69
เหนียวสันป่าตอง	5.5-6.5	7.0	11.65	0.74
เหนียวอุบล 2	5.4	7.0	12.01	0.63
อาร์ 258	4.22	6.0	16.08	0.38

ที่มา: กรมการข้าว (2550)

2. ข้าวเจ้าและข้าวหอมมะลิ

ข้าวถือเป็นอาหารหลักของคนไทย มีคุณค่าทางโภชนาการ สูง โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก และวิตามินต่างๆ ข้าวที่นิยมบริโภคมีอยู่ 2 สายพันธุ์ด้วยกัน คือ *Oryza glaberrima* เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกได้เฉพาะในเขตร้อนของแอฟริกา

เท่านั้น และสายพันธุ์ *Oryza sativa* เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกได้ทั่วไป รวมถึงประเทศไทยด้วย องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบ	กรัม
โปรตีน	6.3-7.1
ไขมัน	0.3-0.5
เส้นใย	0.2-0.5
เถ้า	0.3-0.8
คาร์โบไฮเดรต	77-89
เส้นใยอาหาร	0.7-2.3

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ในข้าวพบว่าอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินที่แตกต่างกันในข้าวจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวทำให้จุดประสงค์ในการนำข้าวไปใช้ประโยชน์ต่างกัน โดยได้มีการจำแนกข้าวที่ผ่านการขัดสีตามปริมาณของอะมิโลสที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการเกิดสีกับไอโอดีน (Juliano, 1985) ดังนี้

1) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมาก (waxy) พบว่ามีปริมาณอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 0-2 นิยมนำไปใช้ในการทำขนมหวานและน้ำสลัด นอกจากนี้ยังใช้เป็นอาหารหลักของประเทศลาวและทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งเตรียมโดยการนำมาแช่น้ำและนึ่ง

2) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ พบว่ามีปริมาณอะมิโลสเป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 9-20 ของน้ำหนักแห้ง นิยมนำมาใช้ในอาหารเด็ก อาหารเช้าและขนมปังที่ใช้เชื้อยีสต์เพื่อทำให้ขึ้นฟู

3) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง พบว่ามีปริมาณอะมิโลสเป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 20-25 ของน้ำหนักแห้ง ในประเทศฟิลิปปินส์จะนำไปใช้ในการทำเค้กที่จะต้องมีการหมัก (ferment rice cake) และซูประป็อง

4) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง พบว่ามีปริมาณอะมิโลสเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 25 ของน้ำหนักแห้ง ใช้ในการทำก๋วยเตี๋ยว

ข้าวหอมมะลิ (Hom-mali rice หรือ Jasmine rice) (กัมปนาท, 2533) เป็นข้าวหอมที่มีคุณภาพดีเป็นที่นิยมของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของข้าวหอมมะลิ ได้แก่ ความหอม รสชาติอร่อย พันธุ์ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูกทั่วไปมี 2 พันธุ์ได้แก่

1) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปลูกได้เฉพาะนาปี เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง ต้นสูง มีลักษณะพิเศษ คือ เมล็ดข้าวใส ยาวเรียวยาว และมีกลิ่นหอม เป็นที่นิยมบริโภคทั่วไป นอกจากนี้มีคุณสมบัติเด่นอีก ได้แก่ ทนดินเปรี้ยว และทนดินเค็ม พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เหมาะที่จะปลูกในที่นาดอนมากกว่านาลุ่ม

2) ข้าวพันธุ์ กข 15 เป็นข้าวที่ได้จากการนำเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาอาบรังสีแกมมา ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์นี้ได้แก่ ทนแล้งได้ดีกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อหุงแล้วจะมีกลิ่นหอม

ในปัจจุบันข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีคุณภาพดี เนื่องจากเมื่อหุงแล้วเนื้อข้าวจะบาน อ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอมที่เกิดจากสาร 2-Acetyl-1-Pyrolin ซึ่งเป็น

คุณสมบัติเฉพาะ ของข้าวไทยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ประมาณร้อยละ 10-20 ดังนั้นการนำมาพัฒนาเป็น แป้งข้าวหอมมะลิจะ ได้แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ จัดเป็นแป้งที่ค่อนข้างนุ่ม มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี มีความสามารถในการบานและพองตัวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสใกล้เคียงกับแป้งสาลี แต่มีโครงสร้างโปรตีนของแป้งทั้งสองต่างกัน โดยโปรตีนในแป้งข้าวหอมมะลิไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ การยืดหยุ่น และไม่เกิดโครงร่างตาข่ายจึงไม่สามารถกักเก็บก๊าซได้ โปรตีนที่มีในแป้งสาลีที่เรียกว่ากลูเตนมีคุณสมบัติช่วยให้เกิดความยืดหยุ่น และสามารถกักเก็บอากาศได้ดี

3. ข้าวสาลี และแป้งข้าวสาลี

ข้าวสาลี มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Triticum spp.* ข้าวสาลีที่นิยมปลูก ได้แก่ สายพันธุ์ *T. aestivum* ซึ่งมีปลูกอยู่ทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 92 ของผลผลิตทั้งหมด (อรอนงค์, 2547) เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตแป้งเพื่อทำขนมปัง สายพันธุ์ *T. durum* เป็นข้าวสาลีที่มีเนื้อในเมล็ดสีเหลือง เมล็ดแข็ง เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตแป้งเพื่อทำมัคกะโรนี และสายพันธุ์ *T. compactum* เป็นข้าวสาลีสายพันธุ์ที่มีเนื้อในเมล็ดสีขาว อ่อนนุ่ม เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตแป้งเพื่อทำเค้ก (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550) แป้งสาลีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้เป็นสารประกอบในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำแป้งสาลีมาใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการเป็นเจลที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เค้ก เป็นต้น

ข้าวสาลี เป็นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าธัญพืชชนิดอื่นๆ โดยมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวและข้าวโพด ซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 9 และ 11 ตามลำดับ (ละม้ายมาศ, 2544) องค์ประกอบของสารอาหารต่างๆ ในข้าวสาลีแสดงดังตาราง 4

แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากมีโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ กลูเตนิน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) ในสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำแป้งสาลีผสมกับน้ำจะ

เกิดการรวมตัวกันของน้ำและโปรตีนทั้งสองชนิด เกิดเป็นโปรตีนที่เรียกว่า “กลูเตน” มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ดี ซึ่งกลูเตนนี้จะเกิดเป็นโครงร่างของผลิตภัณฑ์เมื่อได้รับความร้อนจากผู้อบ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาลี

สารอาหาร	ส่วนของเมล็ด		
	รำ (15 กรัม/เมล็ด 100 กรัม)	เอนโดสเปอรัม (82 กรัม/เมล็ด 100 กรัม)	คัพภะ (3 กรัม/เมล็ด 100 กรัม)
แป้ง	0	100	8
โปรตีน	20	72	8
เส้นใย	70	27	3
กาก	93	4	3
ไขมัน	30	50	20
แร่ธาตุ	67	23	10

ที่มา: ละม้ายมาศ (2544)

ข้าวสาลีที่นำมาใช้ผลิตเป็นแป้งสาลีสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามความแข็งและสีของเมล็ด ดังนี้ (จิตรธนา และอรอนงค์, 2546)

1. ข้าวสาลีชนิดแข็ง (Hard Wheat) ข้าวสาลีชนิดนี้มีหลายสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ Hard Wheat Spring หรือสายพันธุ์ Hard Wheat Winter เป็นต้น เมื่อนำมาไม่จะได้แป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนสูง เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทขนมปัง โปรตีนจากแป้งชนิดนี้เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี สามารถนวดผสมให้ได้ก้อนโดที่มีความยืดหยุ่น ทนต่อสภาวะการผสม การหมัก อุณหภูมิของห้อง และเครื่องผสม มีคุณสมบัติในการกักเก็บก๊าซได้ดี นอกจากนี้ก้อนโดจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตร มีรูพรุน และมีเนื้อสัมผัสที่ดี

2. ข้าวสาลีชนิดอ่อน (Soft Wheat) ข้าวสาลีชนิดนี้มีหลายสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ Soft Red Wheat เป็นต้น เมื่อนำมาไม่จะได้แป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ มีความทนทานต่อการผสมและการหมักได้น้อยกว่าแป้งสาลีชนิดแข็ง เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเค้ก และคุกกี้

จากข้าวสาลีสายพันธุ์ต่างๆ สามารถนำมาผลิตเป็นแป้งสาลีได้ โดยสามารถแบ่งประเภทของแป้งสาลีตามปริมาณและคุณภาพของโปรตีนได้ 3 ชนิด คือ แป้งขนมปัง แป้งเอนกประสงค์ และแป้งเค้ก ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติ รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

1. แป้งขนมปัง เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูง ประมาณ 12-14% ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งประเภท Hard Wheat Spring หรือ Hard Wheat Winter ใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมปัง และผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะของแป้งชนิดนี้ คือ เม็ดหยาบ มีสีครีม เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะไม่เกาะตัวกัน แป้งชนิดนี้จะใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู

2. แป้งเอนกประสงค์ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนปานกลาง ประมาณ 10-11% ผลิตได้จากการผสมข้าวสาลีชนิดแข็งและชนิดอ่อนเข้าด้วยกัน ในสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารหลายๆ ชนิด เช่น ขนมปังจืดและหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ เป็นต้น ใช้เวลาในการนวดแป้งน้อยกว่าแป้งขนมปัง แป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน ในการทำให้ขึ้นฟู แป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู

3. แป้งเค้ก เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ประมาณ 7-9% ไม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อนประเภท Soft Wheat และ Soft Red Wheat ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์เค้ก คุกกี้ ลักษณะของแป้งจะมีเม็ดอ่อนนุ่ม เนื้อเนียนละเอียด มีสีขาวกว่าแป้ง 2 ชนิดข้างต้น เมื่อกดนิ้วลงไปบนเนื้อแป้ง แป้งจะเกาะรวมกันเป็นก้อนและคงรอยนิ้วมือไว้ แป้งชนิดนี้ในการทำให้ขึ้นฟู จะต้องใช้สารเคมีช่วยเท่านั้น ไม่ใช้ยีสต์ ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ผงฟู เบกิ้งโซดา เป็นต้น

4. กระบวนการผลิตแป้ง

กระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร จะได้ผลพลอยได้จากการแปรรูปคือ ข้าวหัก, ปลายข้าว, รำข้าว และแกลบ

ข้าวหัก คือ ส่วนของข้าวที่หักซึ่งคัดแยกได้จากเครื่องคัดขนาด มีขนาดของส่วนข้าว 2.5-4.9 ส่วนจาก 10 ส่วน และปลายข้าวคือ ส่วนของเมล็ดข้าวที่เล็กกว่า 2.5 ส่วน ผลพลอยได้ทั้ง 2 ชนิดนี้นิยมนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปด้วยการบดให้เป็นแป้งข้าว แล้วจึงนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ (อรอนงค์, 2547)

การผลิตแป้งข้าวนั้นมี 3 วิธี แสดงดังภาพที่ 1 ได้แก่ การไม่เปียก การไม่ผสม และการไม่แห้ง

1. การไม่เปียก

เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่ เริ่มจากการล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน แช่วข้าวหักจนนิ่ม ทำการโม่ด้วยเครื่องโม่แบบหินจาน โม่ข้าวหักพร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ได้แป้งที่ละเอียดและสม่ำเสมอ จากนั้นผ่านน้ำแป้งเข้าเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง จะได้ก้อนแป้งที่มีความชื้นประมาณ 40% ทำการตีปนก้อนแป้งให้เป็นผงก่อนจึงผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง นำผ่านเข้าเครื่องบดและร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยทั่วไปประมาณ 180 ไมโครเมตร มีความชื้นไม่เกิน 13%

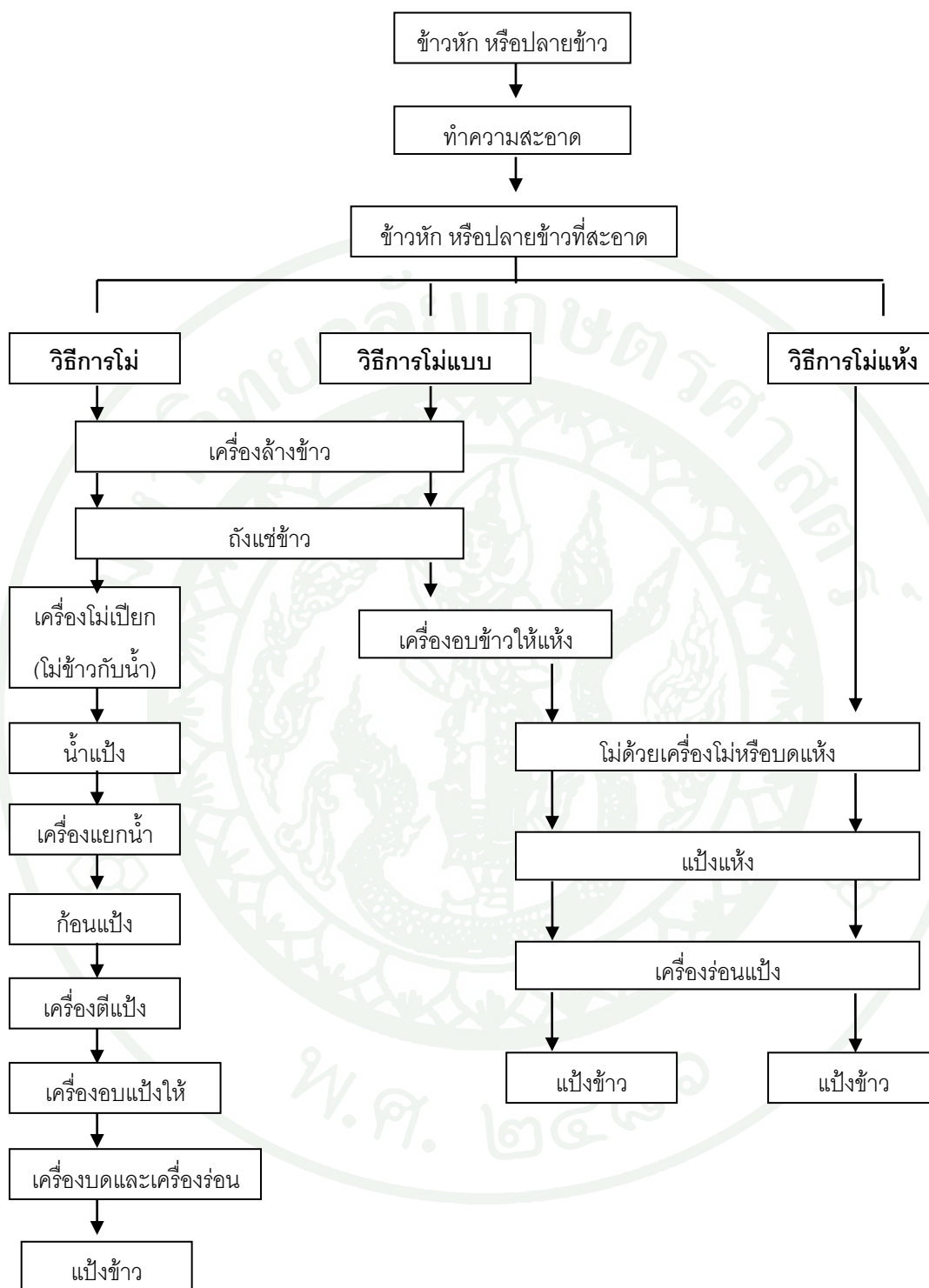
2. การไม่แบบผสม

การไม่แบบผสมมีขั้นตอนคล้ายกับการไม่เปียก เริ่มจากการล้างข้าว และแช่วข้าวจนนิ่ม นำข้าวหักขึ้นจากน้ำแช่ ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำข้าวไปอบแห้ง (ความชื้นเหลือประมาณ 15-17%) นำข้าวหักไปบดหรือโม่แห้ง นำไปร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาด 180 ไมโครเมตร (งามชื่น, 2539)

3. การไม่แห้ง

นำข้าวหักที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแบบแห้งแล้ว เข้าสู่เครื่องบดแห้งเป็นแป้ง
ผง ร่อนผ่านเครื่องร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาด 180 เมช





ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตแป้ง 3 วิธี

ที่มา: อรอนงค์ (2547) ; งามชื่น (2539)

แป้งข้าวที่ผลิตได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. ฟลาวัวร์ (Flour) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากเมล็ด หรือส่วนอื่นที่ใช้บริโภคได้ ผลิตได้จากข้าวหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาสี โม่ บด หรือตีเป็นผงละเอียด แล้วร่อน ดังนั้นฟลาวัวร์ จึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุต่างๆ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550)
2. สตาร์ช (Starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่เป็นโพลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง พบมากในพืช และเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เป็นแป้งที่ไม่มีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แร่ธาตุปะปนอยู่ด้วย

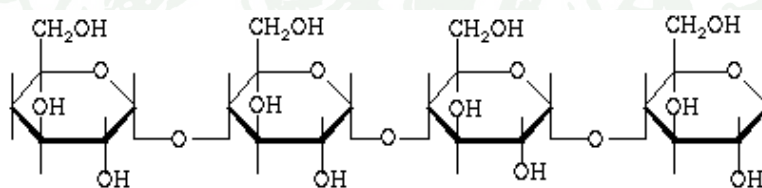
5. องค์ประกอบภายในเม็ดแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่ประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายโพลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วย โพลิเมอร์ ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่ โพลิเมอร์เชิงเส้นคืออะ มิโลส (amylose) และโพลิเมอร์เชิงกิ่ง คืออะไมโลเพคติน (amylopectin) วางตัวในแนวรัศมี โดยแป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะ มิโลส และอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

5.1 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4- glucosidic linkage (ภาพที่ 2) แป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุล และมี Degree of polymerization (DP) ของอะมิโลสต่างกัน โดยแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุล

มากกว่าแป้งสาลี และมี DP ของอะไมโลสระหว่าง 1,000-6,000 สูงกว่าแป้งสาลี ที่มี DP ของอะไมโลสระหว่าง 200-1,200 ซึ่งแป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชันลดลง (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543) อะไมโลสเป็นโมเลกุลที่มีความยืดหยุ่น และสามารถเคลื่อนที่ได้ (French, 1979) เนื่องจากอะไมโลสประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้สามารถจับกับโมเลกุลแป้งชนิดอื่นได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยอะไมโลสจับกับโมเลกุลของแป้งชนิดอื่นด้วยพันธะเกลียวคู่ (double helices) และจับกับโมเลกุลชนิดอื่นด้วยพันธะเกลียวเดี่ยว (single helices) สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน และสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น การจะทำลายพันธะนี้ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส (Bower, 1992)



ภาพที่ 2 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา: Ford *et al.* (2004)

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1) การทำให้เกิดสี (Colorimetric Method) ได้มีการเริ่มทำการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสโดย Williams *et al.* (1958) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวสารโดยเริ่มจากการสกัดไขมันออกบางส่วนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1N และทำการปรับให้สารละลายเกิดสภาวะเป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริก นำสารละลายที่ได้ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนและวัดความเข้มของสีที่ได้ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิธีนี้สามารถลดข้อผิดพลาดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสเพกทินกับไอโอดีนได้ (amylopectin-iodine complex) แต่จะมีข้อเสียจากการที่สารละลายไอโอดีนไม่คงตัวในสารละลายต่าง จากนั้น Juliano (1971) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์

ปริมาณอะมิโลสด้วยวิธีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลอะมิโลสกับสารละลาย ไอโอดีนเกิดเป็นสีน้ำเงินขึ้น ทำการวัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ การวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลสวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน มีการสร้างกราฟมาตรฐานก่อนทำการวิเคราะห์ และอาจเกิดการรบกวนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโมเลกุลอะมิโลสจาก อะมิโลเพกทินที่รวมตัวกับสารละลายไอโอดีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วงแดง ทำให้ปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้จากวิธีนี้สูงกว่าปกติ (งามชื่น, 2544; Megazyme, 1998)

2) การใช้ Differential Scanning Calorimetry (DSC) สามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณอะมิโลสได้จากค่าพลังงานที่ใช้ในการละลายสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมันจะเกิดขึ้น เมื่อสารละลายน้ำแบ่งถูกให้ความร้อนในสภาพที่มีไขมันมากเพื่อให้อะมิโลสในแบ่งจับตัวกับไขมัน ซึ่งปริมาณอะมิโลสสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีความสะดวกและรวดเร็ว แต่ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณอะมิโลสสูงเท่านั้น (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

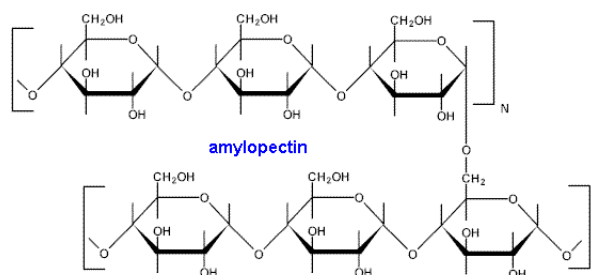
3) การใช้ High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC) สามารถวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสจากความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางกับน้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่าง สำหรับโมเลกุลที่มีขนาดต่างกันเมื่อเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุที่มีรูพรุนจะมีความสามารถในการแพร่กระจายต่างกัน โมเลกุลที่มีขนาดเล็กสามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนและถูกกักไว้ทำให้ออกมาช้าที่สุด ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดปานกลางจะแพร่ได้เฉพาะบางส่วนเท่านั้น แต่ถ้าเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะไม่สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้ จึงทำให้ถูกชะออกมาเป็นอันดับแรก สามารถคำนวณปริมาณอะมิโลสจากพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างที่ทำการทดสอบกับพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานแตรีกแตรอน (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

4) วิธีการตกตะกอนอะมิโลเพกทินด้วย Concanavalin A (Con A) การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างใช้อีกวิธีหนึ่งที่มีความจำเพาะสูงและสามารถ

หลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการรบกวนของโมเลกุลอะมิโลเพกตินดังที่กล่าวมาข้างต้น ได้ คือวิธีการตกตะกอนอะมิโลเพกตินด้วย Concanavalin A (Con A) ซึ่งสารตัวนี้มีหน้าที่ในการตกตะกอนสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ อะมิโลเพกตินที่ละลายอยู่ ด้วยการจับกับปลาย non reducing ของ α -D glucopyranosyl หรือ α -D mannopyranosyl หรือ β -D fructofuranosyl โพลีแซคคาไรด์ที่มีกิ่งก้านเหล่านี้จะจับกับ Con A และตกตะกอน จากนั้นจึงทำการแยกส่วนสายที่มีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบและวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในรูปของกลูโคสทั้งหมดด้วยวิธีเอนไซม์ที่มีความจำเพาะสูง

5.2 อะมิโลเพกติน

อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic (ภาพที่ 3) อะมิโลเพกตินถือว่ามีผลสำคัญมากกว่าอะมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ เพราะอะมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ (เกื้อกุล และกล้าณรงค์, 2543) โมเลกุลอะมิโลเพกติน ประกอบขึ้นจากสายโซ่หลักหนึ่งสายเรียกว่า C chain ซึ่งจะมีหมู่ reducing end หนึ่งหมู่ และสายกิ่งที่มาต่อมากมาย เรียกสายกิ่งเหล่านี้ว่า B chain และที่สายกิ่งนี้จะมีสาย A chain เข้ามาจับ โดยโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของอะมิโลเพกตินจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแป้ง (Whistland Be Miller, 1999)

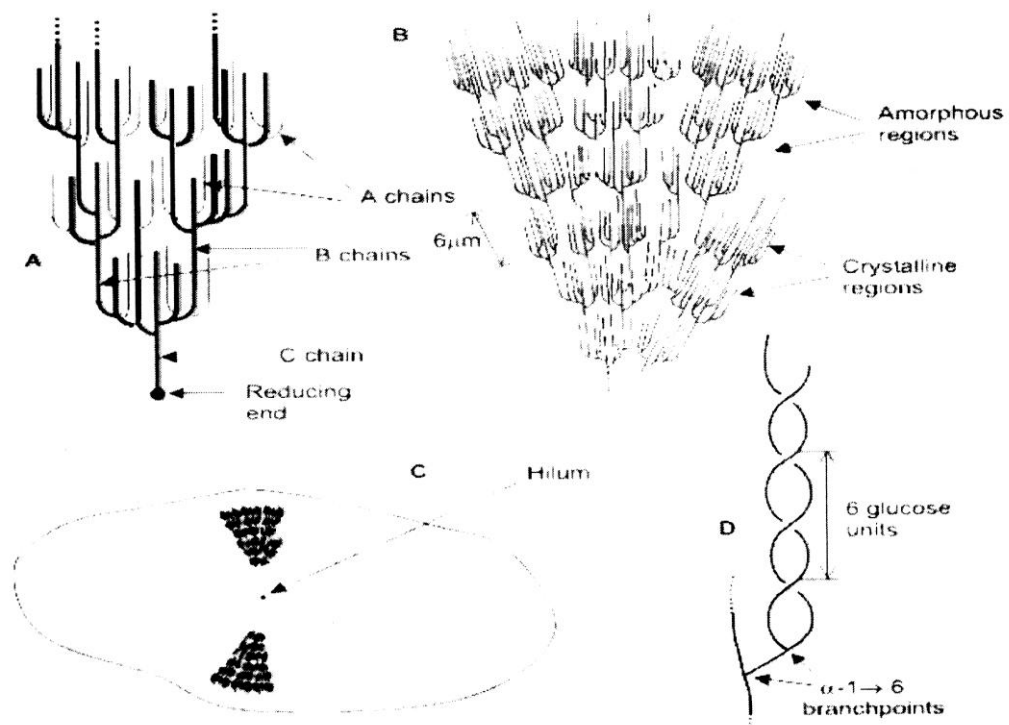


ภาพที่ 3 โครงสร้างอะมิโลเพกติน

ที่มา: Ford *et al.* (2004)

Hizukuri (1986) แสดงแบบจำลองลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพกติน ดังภาพที่ 4 โดยโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกตินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด คือ

- 1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว และไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายโซ่ชนิดนี้ (unbranched structure)
- 2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า
- 3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในโมเลกุลอะมิโลเพกติน แต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสาย C เพียงหนึ่งสายเท่านั้น



ภาพที่ 4 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน

ที่มา: Hizukuri (1986)

6. คุณสมบัติของแป้ง

6.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแป้ง

6.1.1 การดูดซับน้ำ (Water absorption) : เมื่อเติมน้ำลงในแป้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจนเกิดสมดุล ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งดิบไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก เนื่องจากเม็ดแป้งจัดเรียงตัวในลักษณะของร่างแห micelles ดังนั้นขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำ และ

สามารถพองตัวได้เล็กน้อย เมื่อทำให้แห้งจะสามารถผันกลับเป็นเม็ดแป้งแห้งได้เหมือนเดิม (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

6.1.2 กำลังการพองตัวและสมบัติการละลาย (Swelling power and Solubility) :

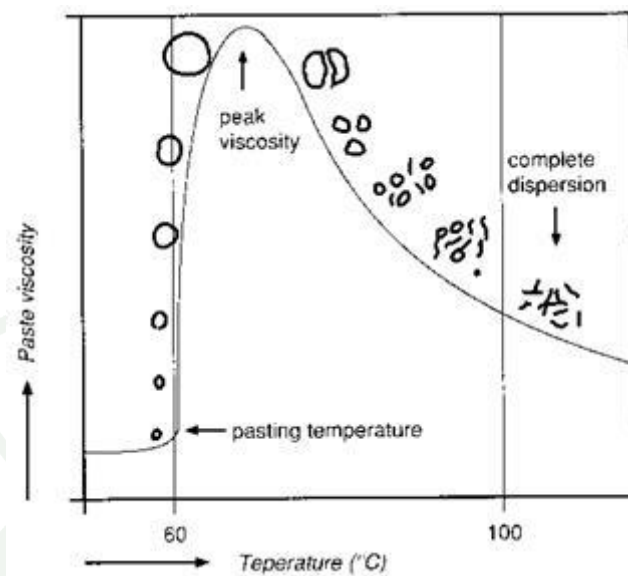
เมื่อสารแขวนลอยของเม็ดแป้งในน้ำได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะอ่อนตัวลง บริเวณ amorphous จะมีโมเลกุลของน้ำมาเกาะ (hydration) มากขึ้นและเริ่มมีการพองตัวเกิดขึ้น ในที่สุดลักษณะร่างแหจะเริ่มขยายออก พันธะไฮโดรเจนที่บริเวณผลึกจะเริ่มถูกทำลาย โครงสร้างร่างแหมีลักษณะที่ช่วยให้เม็ดแป้งพองตัวแล้วมีความหนืดสูงขึ้น แล้วอยู่ในลักษณะขั้นเป็นแป้งเปียก กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วนความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (Leach *et al.*, 1959) แป้งมันสำปะหลังจะมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำซึ่งแสดงว่าพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน ลักษณะการพองตัวเป็นลักษณะการพองตัวแบบขั้นเดียว (single-state swelling) ส่วนแป้งจากธัญพืชมีลักษณะพองตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าแป้งจากพืชหัวและราก และการพองตัวจะขยายขึ้นอย่างช้าๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกการพองตัวจะเกิดขึ้นเร็ว ซึ่งเป็นลักษณะการพองตัวแบบสองขั้น (two-state swelling) ที่เกิดเช่นนี้เป็นเพราะว่าแป้งจากธัญพืชมีปริมาณอะมิโลสสูง ทำให้เม็ดแป้งแข็งแรงขึ้นจึงพองตัวได้ต่ำ (Leach *et al.*, 1959)

6.1.3 การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization):

เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่ง จะทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัวอย่างรวดเร็วและไม่สามารถผันกลับได้ทำให้ส่วนผสมนั้นมีความหนืดและใสขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสุกหรือการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้ง สำหรับอุณหภูมิของเม็ดแป้งที่เริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า pasting temperature เม็ดแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสูญเสียสมบัติ birefringence (สมบัติของเม็ดแป้งในการเบี่ยงเบนระนาบแสงโพลาไรซ์โดยทำให้มองเห็นเป็นลักษณะกากบาท) โดยเม็ดแป้งจะมีการพองตัวสูงขึ้นทำให้ความหนืดของเม็ดแป้งสูงขึ้นโดยทั่วไปเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งจะแตกต่างกันไปในแป้งแต่ละชนิด

ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ เช่นสัดส่วนปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกติน ปริมาณไขมัน รวมทั้งการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดแป้ง (Wurzburg, 1986)

การเกิดปฏิกิริยากับน้ำของเม็ดแป้งสามารถแบ่งได้ 3 ระยะ (ดังภาพที่ 5) คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ (Reversible swelling) เนื่องจากร่างแหระหว่างไอเซลล์ (micells) ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างที่เป็นระเบียบและความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ (birefringence) เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิวิกฤตจุดหนึ่งประมาณ 65 องศาเซลเซียส (ทั้งนี้ อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและสภาวะในการเกิดปฏิกิริยา) เม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนเข้าสู่ระยะที่ 2 คือ เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible swelling) เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและเริ่มสูญเสียโครงสร้างที่เป็นระเบียบและความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและนำส่วนใสไปทดสอบการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน จะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของอะมิโลสที่กระจายตัวอยู่ในส่วนออสซิลลูแลนที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า จะถูกชะออกมาจากเม็ดแป้งก่อนโมเลกุลอะมิโลเพกติน เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีก เม็ดแป้งจะเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงระยะที่ 3 คือรูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจะเกิดการเจลาตินในเซชันอย่างสมบูรณ์ การเกิด เจลาตินเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่างๆได้ดีขึ้น



ภาพที่ 5 ระยะเวลาในการเกิดเจลาติโนซ์ของเม็ดแป้ง

ที่มา: Sanders (1996)

ช่วงอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลาติโนซ์ของเม็ดแป้ง สามารถตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยอาศัยหลักการที่ว่าทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็น ในอัตราที่กำหนดไว้ค่าหนึ่ง ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบไม่ว่าที่ตัวอย่างหรือสารอ้างอิง เพื่อที่จะพยายามรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เท่ากัน ($T_s - T_r = 0$) ปริมาณความร้อนดังกล่าวนี้จะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ โดยมีขดลวดความร้อนเป็นแหล่งพลังงานเพียงชนิดเดียวของพลังงานความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิง (ระหว่างวงจรการให้ความร้อน) เพื่อรักษาอุณหภูมิระหว่างตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัมบูรณ์ ที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลังซึ่งป้อนให้กับตัวความร้อนทั้งสองจะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ และจะวิเคราะห์อุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องได้ เครื่อง DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ ที่มีลักษณะการใช้งานที่ต้องการความระมัดระวังเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าคงที่ของเครื่องมือ (K)

นอกจากนี้ปริมาณของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีผลต่อข้อมูลที่ต้องการด้วย สำหรับกราฟที่มีความคมชัดให้ผลที่ถูกต้อง พื้นผิวสัมผัสระหว่างภาชนะบรรจุ (pan) และตัวอย่างที่สัมผัสกันควรมีค่ามากที่สุด ซึ่งกระทำได้โดยการให้ตัวอย่างเป็นฟิล์มบางๆ หรือผงที่ละเอียดมาก ถ้าตัวอย่างมีน้ำถาดจะต้องมีการปิดผนึกให้แน่นเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ทั้งนี้ค่าเอนทัลปี (Enthalpy) หรือพลังงานของการระเหยของน้ำมีค่ามาก

ค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะของสารเรียกว่า ค่าเอนทัลปี (ΔH) ทั้งในกรณีที่เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic) หรือคายความร้อน (Exothermic) จะสามารถวิเคราะห์หาค่าเอนทัลปีของกระบวนการจากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ การหาเส้น baseline ที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับการหาพื้นที่ใต้กราฟมีความสำคัญมาก เนื่องจากเส้น baseline มักมีความแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่ศึกษา ส่วนพื้นที่ใต้กราฟสามารถคำนวณได้ 3 วิธี คือ cut and weigh, planimeter และ integrator ในกรณีของแป้งนั้นอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันสามารถแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างและความแข็งแรงภายในโมเลกุลของแป้งได้ แป้งที่มีความแข็งแรงภายในโมเลกุลมากจะมีค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติโนเซชันสูงและแป้งที่มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบมากจะมีค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันมาก เนื่องจากต้องใช้ปริมาณความร้อนจำนวนมากในการทำให้เม็ดแป้งทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนสถานะ

6.1.4 การเกิดรีโทรเกรดชัน (retrogradation): เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นสายตรงและจะกระจัดกระจายออกมาจากเม็ดแป้งก่อน เมื่อปล่อยให้สารละลายแป้งเย็นตัวลง จะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น โดยโมเลกุลของอะมิโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวใกล้ๆกันและเกาะเกี่ยวกันเอง เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของอะมิโลส ทำให้ได้ลักษณะโครงร่างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่ละลายน้ำอีก จึงทำให้สารละลายกลับมีความข้นหนืดขึ้นอีก ปรากฏการณ์นี้คือการเกิดรีโทรเกรดชัน (การคืนตัวของแป้ง) กรณีที่ส่วนผสมมีความเข้มข้นของแป้งสูงจะมีลักษณะเป็นเจล แต่

ถ้าส่วนผสมมีความเข้มข้นของแป้งต่ำมากการคืนตัวของแป้งจะเกิดอย่างช้าๆ เป็นการตกตะกอน (precipitate) โดยแป้งมาจับกันมีลักษณะเหมือนผลึก ปัจจัยที่มีผลต่อการคืนตัว ได้แก่ ความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างของระบบ ปริมาณและขนาดของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง (Swinkels, 1985)

การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของแป้งอาจจะประมาณได้จากค่าการคืนตัว (setback) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) หรือค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด (setback from trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ Rapid visco analyzer นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่อง DSC โดยนำแป้งดิบไปหาค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (เอนทัลปีของแป้งที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชัน, $\Delta H_{\text{gelatinization}}$) แล้วนำแป้งที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันนี้ไปบ่มไว้ในสภาวะที่กำหนดเพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันโดยใช้อุณหภูมิต่างๆกัน เช่น -20, 4, 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลาต่างกัน (ตั้งแต่ 1 ถึง 21 วัน) (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543) แล้วนำแป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันแล้วไปตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะด้วยเครื่อง DCS อีกครั้ง บันทึกค่าพลังงานที่ใช้ (เอนทัลปีของแป้งที่ผ่านการเกิดรีโทรเกรเดชัน, $\Delta H_{\text{retrogradation}}$) ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันสามารถหาได้จากอัตราส่วนของเอนทัลปีของแป้งที่ผ่านการเกิดรีโทรเกรเดชันต่อเอนทัลปีของแป้งที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชัน คือ

$$\% \text{ Retrogradation} = \frac{\Delta H_{\text{retrogradation}}}{\Delta H_{\text{gelatinization}}} \times 100$$

นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำจากเจล (syneresis) ซึ่งจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็ง (freeze – thaw stability) ของแป้ง โดยแป้งที่มีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีมีแนวโน้มที่จะมีค่าความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งต่ำคือเกิด syneresis มาก ในขณะที่แป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันต่ำจะมีค่าความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูงคือเกิด

syneresis ต่ำ ดังนั้นการวัดความคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งจึงสามารถใช้ประเมินความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งได้โดยทางอ้อม

6.1.5 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติด้านทานการไหลของเหลว ซึ่งในกรณีของแป้งนั้น ถ้า นำแป้งดิบผสมกับน้ำ โครงสร้างที่เป็นระเบียบของเม็ดแป้งในธรรมชาติจะทำให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัด แต่เมื่อให้ความร้อน เม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างทำให้พองตัว วมมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาตรของเม็ดแป้งในของเหลวเพิ่มมากขึ้น พร้อมกับบางส่วนของโมเลกุลแป้งหลุดออกมาจากเม็ดแป้ง จึงทำให้น้ำแป้งมีความต้านทานการไหลมากขึ้น กล่าวคือมีความหนืดมากขึ้น ซึ่งความหนืดที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการเกิดเจลลาติไนเซชัน

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งสามารถตรวจวัดได้หลายวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีหลักการทำงานและการอ่านค่าความหนืดที่ต่างกัน เช่น เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) เครื่องบราเบนเดอร์อะมิโลกราฟ (Brabender amylograph) เครื่องแคปิลลารี วิสโคมิเตอร์ (Capillary viscometer) และเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นต้น โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินความหนืดของตัวอย่างขณะที่ให้ความร้อนและขณะที่ทำให้เย็น คุณสมบัติพิเศษคือมีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีและใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer แสดงดังภาพที่ 6

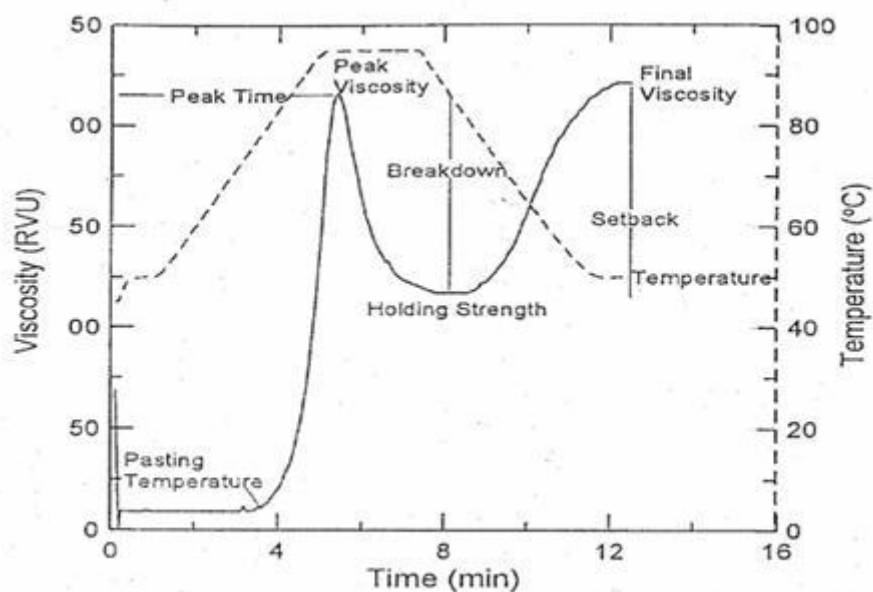
ในการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้ดังนี้

1. Peak time : เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
2. Pasting temperature : อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

3. Peak temperature : อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
4. Peak viscosity : ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
5. Trough : ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU
6. Breakdown : ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น

RVU

7. Final viscosity : ความหนืดสูงสุดเมื่อแป้งเย็นตัวลง มีหน่วยเป็น RVU
8. Setback from peak : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็น RVU
9. Setback from trough : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU



ภาพที่ 6 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

ที่มา: Newport Scientific (1995)

6.2 คุณสมบัติของแป้งชนิดต่างๆ

การนำแป้งชนิดต่างๆ มาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร จำเป็นต้องเข้าใจคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจนำแป้งไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด จากการรวบรวมเอกสารพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของแป้งชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

6.2.1 แป้งข้าวเหนียว

ประเทศไทยมีพันธุ์ข้าวเหนียวมากมาย แต่พันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมนำมาบริโภคและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้แก่ พันธุ์ กข 6 เนื่องจากเป็นข้าวเหนียวที่มีความหอม เม็ดข้าวมีความเรียวยาว ข้าวหุงสุกจะมีความใส เลื่อมมัน ให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ (กรมการข้าว, 2550)

รุ่งทิวา (2543) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ได้แก่ คุณสมบัติด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านความร้อนของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 พันธุ์ และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	พันธุ์ กข 6	พันธุ์เหนียวสันป่าตอง
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Peak temperature: °c)	67.7	65.6
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity: RVU)	189	223
ความหนืดต่ำสุด (Trough: RVU)	60	66

ตารางที่ 5 (ต่อ)

คุณสมบัติ	พันธุ์ กข 6	พันธุ์เหนียวสันป่าตอง
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity: RVU)	98	101
ความแตกต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับต่ำสุด (Breakdown: RVU)	130	157
ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความ หนืดต่ำสุด (Setback from trough: RVU)	38	35
ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความ หนืดสูงสุด (Setback from peak: RVU)	-91	-122

ที่มา: รุ่งทิวา (2543)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	พันธุ์ กข 6	พันธุ์เหนียวสันป่าตอง
อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (To: °C)	65.84	66.94
อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (To: °C)	72.80	72.90
อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (To: °C)	83.81	83.81
ค่าพลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (ΔH : J/g)	12.17	15.07

ที่มา: รุ่งทิวา (2543)

6.2.2 แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวหอมมะลิ

คุณสมบัติด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านความร้อนของข้าวหอมมะลิ 105 แสดงดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ

คุณสมบัติ	ข้าวหอมมะลิ
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Peak temperature: °c)	67.2
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity: RVU)	306
ความหนืดต่ำสุด (Trough: RVU)	56
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity: RVU)	125
ความแตกต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับต่ำสุด (Breakdown: RVU)	250
ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด (Setback from trough: RVU)	68
ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดสูงสุด (Setback from peak: RVU)	-181

ที่มา: รุ่งทิภา (2543)

ตารางที่ 8 คุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวหอมมะลิ

คุณสมบัติ	ข้าวหอมมะลิ
อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตไนซ์ (To: °C)	66.53
อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตไนซ์ (To: °C)	73.03
อุณหภูมิต่ำสุดท้ายในการเกิดเจลลิตไนซ์ (To: °C)	87.02
ค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตไนซ์ (ΔH : J/g)	13.24

ที่มา: รุ่งทิวา (2543)

6.2.3 แป้งสาลี

คุณลักษณะของแป้งสาลีที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ แป้งสาลีควรมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

- สีของแป้งมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ แป้งที่ดีควรมีสีขาว แต่อาจมีสีอื่นปน เช่น สีเหลืองอ่อนของแซนโทฟิลล์ จะส่งผลให้ขนมปังมีเนื้อใน (Crumb) เป็นสีนั้นๆ ดังนั้นหากต้องการให้เนื้อขนมปังมีสีขาว แป้งที่จะนำมาผลิตควรผ่านการฟอกสีก่อน

- ความยืดหยุ่นหรือความสามารถของแป้งที่สามารถอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก แป้งที่ดีควรมีความยืดหยุ่นมาก เพื่อให้สามารถกักเก็บอากาศไว้ในโครงสร้างได้มาก จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นฟูได้ดีและมีปริมาณมาก

- ความทนต่อสภาพต่างๆ หมายถึง ความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการผสมนาน การรีด และกระบวนการอื่นๆ โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาด ความทนต่อสภาวะต่างๆ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกลูเตน ถ้ากลูเตนมีความแข็งแรง จะทำให้มีความทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ดี และจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณที่ดี

- ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งมีผลต่อปริมาตรและลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้ก การที่แป้งดูดซึมน้ำได้มาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มี ปริมาตรมากขึ้น เนื้อเค้กไม่แห้งและกระด้าง

- ความสม่ำเสมอของแป้ง หมายถึง ความสม่ำเสมอทางด้านของสีและขนาดของแป้ง ซึ่งมีผลต่อการควบคุมคุณภาพการผลิต

นอกจากคุณสมบัติของแป้งสาลีที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการเลือกแป้งสาลีให้เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบแล้ว แป้งสาลียังมีลักษณะอื่นๆ ที่แสดงให้เห็นว่าเป็นแป้งที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของแป้งสาลี

คุณสมบัติ	แป้งสาลี
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	1 - 40
ปริมาณอะมิโลส (%)	24 - 27
ขนาดอะมิโลส (Degree of polymerization)	800 - 1600
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, °C)	77
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	65
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	270
ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU)	60
อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาทีไนซ์ (Onset temperature, T_o , °C)	48 - 50
อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาทีไนซ์ (Peak temperature, T_p , °C)	59 - 62

ที่มา: กัล้านรงค์ และเกื้อกุล (2550)

7. เค้ก

เค้ก เป็นขนมที่มีกระบวนการทำให้สุกโดยการอบ ที่มีส่วนผสม คือ แป้งสาลี ผงฟู เกลือ ไขมัน น้ำตาล ไข่ นม และกลิ่นรส โดยต้องมียeast ประกอบเป็นตัวเค้ก ให้มีความสมดุลต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของเค้ก (จิตธนาและอรอนงค์, 2546)

7.1 การแบ่งประเภทของเค้ก

เค้กแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) เค้กเนย (Butter-type cakes) เป็นเค้กที่มีร้อยละไขมันสูง การขึ้นฟูของเค้กประเภทนี้ ได้จากการตีเนย โดยเมื่อดไขมันจะเก็บเอาอากาศไว้ซึ่งขยายตัวในระหว่างการอบ
- 2) เค้กไข่ (Foam-type cakes) เป็นเค้กที่ไม่มีไขมันเป็นส่วนผสม เนื้อเค้ก และปริมาตรของเค้ก ขึ้นกับการขยายตัวของไข่ขาวที่นำมาตีจนเป็นฟองซึ่งจะเก็บอากาศเอาไว้ในระหว่างการตีไข่ และทำให้เค้กขยายตัวหรือขึ้นฟูในระหว่างการอบ
- 3) ชิฟฟอนเค้ก (Chiffon-type cake) เป็นเค้กที่มีลักษณะรวมของเค้กเนย และเค้กไข่ คือ มีโครงสร้างที่ละเอียดของเค้กไข่ และมีเนื้อเค้กที่มันเงาของเค้กเนย ต่างจากเค้กเนยตรงที่ชิฟฟอนเค้กใช้น้ำมันพืชผสมแทนเนยหรือมาการีนในเค้กเนย และวิธีการผสม

7.2 ส่วนผสมและหน้าที่ของส่วนผสม

จิตธนาและอรอนงค์ (2546) ได้อธิบายว่า ส่วนผสมหลักของเค้กแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ส่วนผสมที่ช่วยให้โครงร่างแก่เค้ก ได้แก่ แป้ง ไข่ และนม 2) ส่วนที่ให้ความนุ่มแก่

เค้ก ได้แก่ น้ำตาล ไข่ มัน และผงฟู นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นที่ช่วยในการปรุงแต่งสี และรสชาติให้กับเค้ก เช่น สารให้กลิ่นรสต่างๆ สีผสมอาหาร ผลไม้ ถั่ว โกโก้ และช็อกโกแลต เป็นต้น

1) แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นแป้งที่เหมาะสมในการทำเบเกอรี่ทุกชนิด ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีนสองชนิดรวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนินและไกลอะดีน (Glutenin & Gliadin) ซึ่งเมื่อนำแป้งสาลีมาผสมรวมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า “กลูเตน” มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้เกิดจากโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่สามารถกักเก็บก๊าซที่ผลิตขึ้นไว้ได้ โดยอาศัยกลไกการทำงานของกลูเตนินช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับกลูเตน ส่วนไกลอะดีนซึ่งเป็นสารที่อ่อนและเหนียวจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมทำให้กลูเตนมีคุณสมบัติในการยืดตัวและยืดหยุ่นได้ โครงสร้างของกลูเตนที่มีสมบัติในการกักเก็บก๊าซไว้ได้นี้ มีผลต่อความยืดหยุ่นของเค้กอย่างมาก นอกจากนี้ในแป้งสาลียังมีเอนไซม์ที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการหมักของยีสต์ที่ทำให้เกิดฟองอากาศ ได้แก่ ปีตา- อะมิเลส (β -amylase) และแอลฟา-อะมิเลส (α -amylase) ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยสลายสตาร์ชและเดกซ์ทริน (dextrin) ให้เป็นน้ำตาลมอลโทสเพื่อเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหมักของยีสต์ต่อไป

คุณภาพของแป้งสาลีที่นำไปใช้ทำเค้กแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งที่ใช้ทำเค้กควรมีปริมาณโปรตีนต่ำประมาณร้อยละ 7-9 มีลักษณะของเนื้อแป้งมีสีขาวละเอียด อ่อนนุ่ม เมื่อผสมน้ำแป้งจะได้ลักษณะของกลูเตนที่นุ่ม ไม่ให้ความเหนียวและแข็งแก่เนื้อเค้ก แต่มีความคงตัวเป็นโครงร่างชั้นฟู มีรูพรุน และเนื้อนิ่ม ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของแป้งชนิดนี้ นอกจากนี้แป้งควรมีคุณลักษณะทางด้านต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น สีของแป้ง (Color) กำลังของแป้ง (Strength) ความทนต่อสภาพต่างๆ ของแป้ง (Tolerance) ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งสูง (High water absorption) และความสม่ำเสมอเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของแป้ง (Uniformity)

2) ไข่

ไข่มีความสำคัญในการทำผลิตภัณฑ์จำพวกเบเกอรี่ ประกอบไปด้วยไข่แดง และไข่ขาว โดยแต่ละส่วนมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป ไข่แดงจะมีไขมันเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะมีไขมันเลซีทีนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟด์ช่วยในการจับตัวกันระหว่างน้ำกับไขมัน และมีน้ำถึงร้อยละ 50 จึงช่วยเพิ่มปริมาตรของเค้กให้สูงขึ้น ส่วนไข่ขาวมีโปรตีนมิวซินที่ทำให้ไข่มีลักษณะเป็นเจล และโปรตีนโอวัลบูมินที่ช่วยปรับปรุงโครงสร้างโดยมีหน้าที่เป็นตัวทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู โดยเฉพาะเมื่อตีไข่ขาวจนเกิดฟองอากาศเล็กๆ ซึ่งแต่ละฟองก็จะถูกล้อมรอบด้วยแผ่นโปรตีนจากไข่ จึงทำให้โครงสร้างของเค้กสามารถกักเก็บอากาศได้ดี มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไข่ ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพทางด้านสี กลิ่นรส และเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์ ในไข่จะมีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กสูง รวมถึงโปรตีนที่จะให้กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ และวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายได้แก่ วิตามิน เอ ดี ไทอะมิน แล ะไรโบฟลาวิน

3) นม

นมเป็นส่วนหนึ่งของโครงร่างเค้ก เพราะมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 87 จึงนำมาใช้แทนส่วนผสมของน้ำในสูตรได้ ช่วยรวมส่วนผสมอื่นๆ เข้าด้วยกัน ช่วยทำให้แป้งเกิดเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เมื่อรวมกับของเหลว และมีส่วนช่วยปรับปรุงลักษณะทางเนื้อสัมผัสให้อ่อนนุ่มขึ้น และในน้ำนมยังมีน้ำตาลแลคโทส เคซีน และโปรตีนอื่นๆ ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองทอง ปรับปรุงกลิ่นรสให้ดียิ่งขึ้น และช่วยเป็นตัวเก็บความชื้นที่สำคัญจึงทำให้ได้เค้กที่มีความอ่อนนุ่ม

4) ไขมัน

หน้าที่ของไขมันในส่วนผสมของเค้ก คือ ช่วยเก็บอากาศในขณะที่ยีสต์ส่วนผสมทำให้ขึ้นฟู ช่วยในการแทรกตัวระหว่างโปรตีนและสตาร์ช ทำให้เนื้อเนียนลื่น ซึ่งมีผลต่อความนุ่มของเค้ก และถ้าไขมันที่ใช้มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ก็จะช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของเหลว

เข้ากับส่วนผสมอื่นได้ดี จึงทำให้เนื้อเค้กมีความชุ่มฉ่ำ และอ่อนนุ่มตัวดี เนื่องจากมีฟองอากาศในเนื้อเค้กขนาดเล็กและสม่ำเสมอ

5) สารที่ช่วยให้ขนมขึ้นฟู

ลักษณะของขนมอบที่ฟองฟูตัวขึ้น เนื่องจากสารที่ช่วยให้ขึ้นฟู 3 ชนิดหลัก คือ อากาศที่แทรกตัวอยู่ในส่วนผสมจากการตี หรือผสมส่วนผสมต่างๆ ให้เข้ากัน เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีในส่วนผสม โดยการใส่ยีสต์หรือผงฟูเข้าไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาในขณะผสมได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทรกตัวอยู่ และการขึ้นฟูเนื่องจากน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำในระหว่างการอบ

6) น้ำตาล

น้ำตาลเป็นส่วนผสมสำคัญของเค้ก เพื่อให้ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยในการตีครีม และตีไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีที่ดี และเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์

7) เกลือ

เกลือทำให้อาหารมีรสชาติและช่วยเน้นกลิ่นรสของส่วนผสมอื่นๆ รวมทั้งทำให้เกิดสีของเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และช่วยให้กลูเตนของโดมิกำลังในการยึดตัว

8) สารช่วยให้เนื้อสัมผัสของขนมอบ

สารนี้ช่วยให้เนื้อสัมผัสของขนมอบดีขึ้น คือทำให้นุ่มและเก็บได้นาน ทำให้ได้ปริมาณมากขึ้น เช่น EC25K เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยในการเสริมคุณภาพที่ดีของเค้กที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลักทุกชนิด มีลักษณะเป็นครีมสีขาวออกเหลือง ช่วยทำให้เกิดการรวมตัวที่ดีของไขมัน

และของเหลวในส่วนผสมของเด็ก ไม่เกิดการแยกตัว มีปริมาณมากขึ้น เนื้อฟู เบา ละเอียดและนุ่ม ควรใช้ประมาณร้อยละ 12-15 ของน้ำหนักไขมันในสูตร ตีผสมกับเนย

7.3 กรรมวิธีการผลิต

จิตธนาและอรอนงค์ (2546) ได้กล่าวไว้ว่า ขั้นตอนการทำเค้กประกอบด้วย การผสม ไล่ฟิมพ์ และเข้าอบ จุดประสงค์ของการผสมคือ ทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีการเก็บอากาศไว้ภายในส่วนผสมให้มากที่สุด และให้เนื้อแป้งกลายเป็นกลูเตนน้อยที่สุด เพื่อให้ส่วนผสมเหนียวและเนื้อแน่นหลังจากการอบ ดังนั้นวิธีการผสมจึงมีส่วนสัมพันธ์กับชนิดเค้ก ซึ่งมีส่วนผสมต่างกัน เวลาที่ใช้ในการผสม ความเร็วของเครื่องผสม อุณหภูมิของส่วนผสม รวมทั้งลำดับการใส่ส่วนผสมแต่ละชนิดในการผสม

วิธีการผสมที่ใช้ในปัจจุบันในระบบอุตสาหกรรม สำหรับการทำเค้กประเภทส่วนผสมชั้น เช่น เค้กเนยมี 3 วิธี ดังนี้

1. การตีครีม (Creaming method) ทำโดยการตีเนยกับน้ำตาลให้เป็นครีมด้วยการใช้พายที่มีความเร็วปานกลาง แล้วจึงเติมไข่ในขณะตีครีมต่อไป ในที่สุดเติมน้ำตาลและแป้งสลับกันจนหมด ใช้เวลาผสมประมาณ 15-20 นาที

2. การคนส่วนผสม (Blending method) นำเนยขาวและแป้ง มาผสมรวมกันให้เป็นครีมขึ้นฟูแยกไว้ส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งนั้นตีไข่กับน้ำตาลให้เป็นฟองกึ่งแข็ง แล้วนำส่วนไข่กับน้ำตาลที่เป็นฟองไปผสมรวมกันกับส่วนเนยขาวและแป้ง แล้วจึงเติมนมลงไปทีละน้อย จะได้เนื้อเค้กที่ละเอียดมาก

3. การผสมครั้งเดียว (Single-stage method) ใส่ส่วนผสมหลักทั้งหมดลงไปพร้อมกัน และผสมด้วยความเร็วต่ำ 1-2 นาที เพิ่มความเร็วปานกลาง 3-5 นาที และในที่สุดใช้ความเร็วต่ำ อีก 2 นาที พร้อมกับใส่ผงฟู ในช่วงนี้รวมเวลาในการผสมประมาณ 8-10 นาที

7.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบ

7.4.1 ในระหว่างการอบเค้กจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของตัวอบ ความชื้น และเวลาที่ใช้ในการอบ

7.4.2 การขึ้นฟูของเค้ก ขึ้นอยู่กับ ไขมัน ไข่ และผงฟู เมื่อตีไขมันอากาศจะเข้าไปรวมในไขมันและเก็บไว้ในนั้นโดยมีไข่คอยทำหน้าที่อีกทาง เมื่อนำเค้กเข้าเตาอบเค้กนั้นจะขยายตัวขึ้นฟู เมื่อได้รับความร้อนเข้าไป น้ำที่มีอยู่ในส่วนผสมจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำซึ่งมีความดันอยู่ด้วย สำหรับผงฟูเมื่อได้รับความร้อนและความชื้นจากน้ำจะทำปฏิกิริยาให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้เค้กขยายตัวฟูขึ้นและให้ความดันไวด้วย คุณสมบัติในตัวอบที่สูงขึ้นจะกระจาย เข้าไปในเค้ก หลังจากนั้นผิวนอกของเค้กจะเกิดขึ้นที่ด้านบน และเมื่อความชื้นค่อยๆระเหยออกไป ผิวนอกของเค้กจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ให้เวลาในการขยายตัวของเค้กสูงสุด

7.4.3 ความชื้นในตัวอบควรมีปริมาณเพียงพอ เพราะถ้าตัวอบแห้งจะดึงความชื้นจากผิวหน้าเค้กออกไป ผิวนอกจะแห้ง แข็งและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การขยายตัวที่เกิดขึ้นภายในเค้กดันออกผ่านทางด้านบนของเค้กได้ ทำให้เกิดเป็นลักษณะไม่เรียบ และตรงกลาง ส่วนบนของเค้กจะมีรูเป็นรูยาวกลวงในเนื้อเค้ก ถ้าตัวอบมีความชื้นพอดี การขยายตัวจะเกิดขึ้นเต็มที่เมื่อมีความร้อนกระจายเข้าไปในตรงกลางของเค้ก ซึ่งทำให้ได้เค้กที่มีปริมาตรดีและมีรูปร่างดี

7.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำเค้ก

7.5.1 รอยริ้ว (streaks) ยาวๆ ในเนื้อเค้ก เกิดจากสาเหตุ

7.5.1.1 ผสมส่วนผสมไม่เพียงพอ

7.5.1.2 กวาดส่วนผสมที่ติดอยู่ข้างๆ ซามส่วนผสมไม่ทั่วถึงในขณะที่ผสม

7.5.1.3 ผงฟูที่ใช้มีกำลังการผลิตก๊าซต่ำ

7.5.1.4 ใช้แป้งที่มีกำลังต่ำมากกว่าปกติ ซึ่งไม่สามารถอุ้มส่วนผสมอื่นๆ

ได้และแป้งที่มีกำลังสูงเกินไปก็จะเกิดปัญหานี้เช่นกัน

7.5.2 เค้กหน้าแตก (Cauliflower tops) มีสาเหตุดังนี้

7.5.2.1 แป้งแข็งเกินไป

7.5.2.2 ผสมนานเกินไปทำให้กลูเตนขึ้น

7.5.2.3 ตู้อบร้อนเกินไป ทำให้เกิดเปลือกนอกอย่างรวดเร็วในขณะที่

ภายในเริ่มขยายตัวดันขึ้นข้างบน ทำให้หน้าแตก

7.5.3 รอยแบ่งดิบในเค้ก และรอยเส้นวงแหวน (Patches and seams) มักจะเกิดที่ใต้ตรงกลางผิวหน้าของเค้ก เกิดขึ้นจาก

7.5.3.1 ระยะเวลาในการอบเค้กน้อยเกินไป ซึ่งตรงกลางของเค้กนั้นเป็นส่วนสุดท้ายที่จะสุก และรอยแบ่งดิบเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบไม่เพียงพอ

7.5.3.2 ลักษณะของตะเข็บวงแหวนที่เกิดขึ้นในโครงร่างของเนื้อเค้กชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการอบ เป็นผลให้บางส่วนของเนื้อในเค้กที่ยังไม่สุกเต็มที่ลึกลงได้

7.5.4 แฉกเป็นโพรง (Holes) เกิดขึ้นจาก

7.5.4.1 สูตรไม่สมดุลเพราะกำลังและโครงร่างของวัตถุขีบมีอยู่ในอัตราส่วนที่สูงเกินไป

7.5.4.2 ใช้แป้งชนิดแข็ง

7.5.4.3 ผสมนานเกินไป ทำให้กลูเตนขึ้น โดได้ เมื่อโครงร่างของแฉกแข็งเกินไป จะทำให้เกิดแรงต้านต่อการขยายตัวขึ้นภายในแฉก เป็นผลให้เกิดการทำลายโครงร่างของแฉกในทิศทางด้านบนของแฉกทำให้รูมีลักษณะเป็นโพรง

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวและการประยุกต์ใช้แป้งข้าวในขนมอบ ขนมปัง และขนมไทย

จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ต่าง เช่น

8.1 การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าว

บุญทิวา (2548) ศึกษาสมบัติเคมีฟิสิกส์ของฟลาวและสตาร์ซ์ข้าวจากข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย จากการศึกษารายข้าวไทยจำนวน 29 พันธุ์ โดยพิจารณาจากปริมาณอะมิโลสได้จำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่ง คือข้าวที่มีอะมิโลสต่ำซึ่งมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 0.77-3.81 กลุ่มที่สอง กลุ่มที่มีอะมิโลสปานกลางมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 10.01-18.00 และกลุ่มที่สาม กลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูง มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 20.31-26.68

ดวงพรและเต็มศักดิ์(ม.ป.ป.) ศึกษาความหนืดและการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งข้าวเจ้า, แป้งข้าวเหนียว และแป้งอเนกประสงค์ ผลการศึกษาพบว่า แป้งข้าวเจ้า, แป้งข้าวเหนียว และแป้ง สาลีอเนกประสงค์ มีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยร้อยละ 6.59, 1.34 และ 5.12 ตามลำดับ และจากการวัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่องบรูคฟิลด์ พบว่า น้ำแป้งข้าวเหนียวมีความ

หนืดสูงสุด รองลงมาคือน้ำแป้งข้าวเจ้าและน้ำแป้งอเนกประสงค์ ตามลำดับ เมื่อ อุดมหมูน้ำแป้งลดลง พบว่า น้ำแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดสูงชันมากกว่าน้ำแป้งข้าวเหนียว ส่วนน้ำแป้ง สาลี อเนกประสงค์จะมีความหนืดต่ำที่สุด

8.2 การประยุกต์ใช้แป้งข้าวในผลิตภัณฑ์ขนมไทย

งานวิจัยของสุพัทธาและคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติแป้งข้าวสำหรับทำผลิตภัณฑ์ขนมไทยประเภทแป้งและต้ม พบว่าผลิตภัณฑ์ประเภทแป้งที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบ เช่น ขนมแป้งจี๊ และขนมจาก ได้รับการยอมรับมากที่สุด เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสนุ่มเหนียวพอดี ส่วนขนมจาก สามารถใช้ได้ทั้งแป้ง กข 6 และ กข10 ส่วนขนมไทยประเภทต้มพบว่า ขนมต้ม และขนมบัวลอย ซึ่งใช้แป้งข้าวเหนียว สามารถใช้ได้ทั้งแป้ง กข 6 และกข10

8.3 การประยุกต์ใช้แป้งข้าวในผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ

จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการนำแป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ได้แก่

พรวิไล (2544) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ พบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้น ขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะลดลง และมีค่าความแข็งของเนื้อในเพิ่มขึ้น สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจะใช้แป้งข้าวหอมมะลิไทยทดแทนแป้งสาลีได้ถึงร้อยละ 30 มีค่าความแข็งของเนื้อในขนมปัง 6.92 นิวตัน ปริมาตรจำเพาะ 3.30 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งผสมสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ 3 วัน

ศรีเวียง (2544) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าว พบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวเพิ่มขึ้น จะทำให้หมั่นโถวมีปริมาตรจำเพาะลดลง และมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น สูตรที่

เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่พัฒนาจะใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีได้ถึงร้อยละ 35 มีค่าความแข็ง 3.97 นิวตัน ปริมาตรจำเพาะ 3.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีสีขาวโดยมีค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 83.64 -0.84 และ 10.08 ตามลำดับ

อุศมา (2545) พัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากข้าวหอมมะลิ พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิตดแทนแป้งสาลีใน สูตรได้ 100 % ผลการทดสอบผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ในระดับปานกลาง และยอมรับผลิตภัณฑ์ 94%

พจนีย์ (2546) พัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาท่องโก๋จากแป้งข้าวหอมมะลิไทยผสมแป้งสาลี พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิไทยทดแทนแป้งสาลีได้ร้อยละ 35 ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภค จำนวน 50 คน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับปานกลาง ผู้ทดสอบร้อยละ 88.5 ยอมรับผลิตภัณฑ์

นันทพร (2546) พัฒนาผลิตภัณฑ์โดนัทแป้งข้าวหอมมะลิตดแทนแป้งสาลีหน้าพิชซ่าแซ่เยือกแข็ง พบว่า ใช้แป้งข้าวหอมมะลิตดแทนแป้งสาลีได้ร้อยละ 40 เลือกกรรมวิธีการอบแทนการทอดสามารถลดปริมาณไขมันได้ร้อยละ 28.5 การเพิ่มน้ำตาลร้อยละ 30 และเนยขาวร้อยละ 10 จะทำให้โดนัทอบมีความนุ่มมาก และมีการเพิ่ม ซีเอ็มซี และเอสพี ร้อยละ 0.4 และ 5 ตามลำดับ ทำให้โดนัทแป้งผสมหน้าพิชซ่าทนต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งด้วยไมโครเวฟได้ 3 รอบ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์โดนัทหน้าพิชซ่าแซ่แข็งร้อยละ 86.5

ชลิตาและคณะ (2549) การพัฒนาสูตรชิฟฟอนเค้กลดคอเลสเตอรอลและน้ำตาลจากแป้งข้าวหอมมะลิพบว่า สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิตดแทนแป้งสาลีใน สูตรได้ 100 % ผู้บริโภคเป้าหมายให้คะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อย (6.3) ยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 90 ผลิตภัณฑ์นี้บรรจุในกล่องพลาสติกใสที่สภาวะบรรยากาศปกติสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ 3 วัน

ณัชกร (2549) พัฒนาแบตเตอรี่เค็กลดพลังงานและลดน้ำตาลจากแป้งข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีใน สูตรได้ 100 % ผลิตรัณฑ์ที่ได้มีค่าพลังงาน 317 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม โคลเลสเตอรอล 49 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในระดับปานกลาง (7.6) และร้อยละ 99 ยอมรับผลิตรัณฑ์ ผลิตรัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 3 วัน

Sae-Eaw *et al.* (2007) ศึกษาการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคอเมริกันต่อผลิตรัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจากแป้งข้าวหอมมะลิ ผลการศึกษาพบว่าผู้ทดสอบอเมริกันจำนวน 400 คน ให้การยอมรับผลิตรัณฑ์อย่างน้อย 80% และตัดสินใจซื้อผลิตรัณฑ์อย่างน้อย 40% ในขณะที่ Sae-Eaw (2007) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและการตัดสินใจซื้อผลิตรัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจากแป้งข้าวหอมมะลิ ผลการศึกษาพบว่าผู้ทดสอบคนไทยจำนวน 700 คน ให้การยอมรับผลิตรัณฑ์ 71% และตัดสินใจที่จะซื้อผลิตรัณฑ์ 56%

สุวรรณี (2551) พัฒนาขนมปังที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลิและฟลาวมันสำปะหลังพบว่าสามารถใช้ แป้งข้าวกล้องหอมมะลิผสมกับฟลาวมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1.6:1 ทดแทนแป้งสาลีในสูตรได้ 100% ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อขนมปังในระดับชอบปานกลาง ขนมปังที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนแบบปิดสนิททั้ง 4 ด้านสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นได้นาน 6 วัน

อภิมนต์ (2551) พัฒนาขนมหนึ่งลดพลังงานจากแป้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีใน สูตรได้ 100 % ผู้บริโภคชอบผลิตรัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง ผู้บริโภคที่มีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานให้การยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตรัณฑ์ร้อยละ 96.8 และร้อยละ 80.6 ตามลำดับ กลุ่มผู้ บริโภคที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐานให้การยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตรัณฑ์ร้อยละ 94.3 และร้อยละ 80

Ittipat *et al.* (2008) พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งผสมสำเร็จรูปสำหรับทำพุดดิ้งเค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิตดแทนแป้งสาลีใน สูตรได้ 100 % ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในระดับปานกลาง (7.6) และร้อยละ 99 ยอมรับผลิตภัณฑ์

Piyaporn *et al.* (2008) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กพลังงานต่ำจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ การศึกษาดังกล่าวได้ใช้สารทดแทนความหวาน 4 ชนิดในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก ได้แก่ อะซีซัลเฟม เค, ซูคราโลส, แอสพาแทม, นีโอเทม ผลการทดสอบพบว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ในระดับปานกลาง

Somsanit *et al.* (2008) ผลจากการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีและเนย พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์พื้นเมืองทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิและใช้น้ำมันพืชแทนเนยสดได้ทั้งหมด แต่ต้องปรับเนื้อสัมผัสให้มีความนุ่มมากขึ้น เด็กนักเรียนในจังหวัดบ่อแก้ว ให้คะแนนความชอบในระดับชอบปานกลาง โดยเด็กนักเรียนชายให้คะแนนความชอบมากกว่าเด็กนักเรียนหญิง และเด็กนักเรียนยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 88

9. หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Principles of Near Infrared Spectroscopy; NIRs)

เทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy เป็นการศึกษาด้านการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งสสารที่โมเลกุลประกอบไปด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) ซึ่งอะตอม X ได้แก่ C, O, N, S ฯลฯ ดูดกลืนเข้าไปหรือเปล่งออกมา ในย่านของความยาวคลื่นตั้งแต่ 800-2500 นาโนเมตร (Near Infrared Spectroscopy, NIRs) ซึ่งจะมีผลต่อการสั่นของพันธะต่างๆ ในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีของสสารที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะปรากฏในสเปกตรัมเพื่อนำไปประมวลผลในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพต่อไป

การดูดกลืนแสงย่านเนียร์อินฟราเรดของโมเลกุลสสารสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง

ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยมีรายละเอียดของแต่ละช่วงคลื่นดังต่อไปนี้

(1) ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared หรือ Overtone region) มีความยาวคลื่นในช่วง 800 – 2500 นาโนเมตร แถบการดูดกลืนคลื่นแสงเกิดจากการเกิดโอเวอร์โทนของโมเลกุล มีค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ค่อนข้างต่ำ สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันและศึกษาโครงสร้างโมเลกุล

(2) ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle Infrared หรือ Fundamental region) มีความยาวคลื่นในช่วง 2500 – 50,000 นาโนเมตร สเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะโครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้วใช้ในการวิเคราะห์พวกกลุ่มฟังก์ชัน

(3) ช่วงไกลอินฟราเรด (Far Infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 50,000 – 1,000,000 นาโนเมตร ช่วงคลื่นนี้ไม่ค่อยใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุล แต่สามารถให้ข้อมูลการทรานสิชันที่เกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล

ตารางที่ 10 การแบ่งช่วงคลื่นในย่านอินฟราเรด

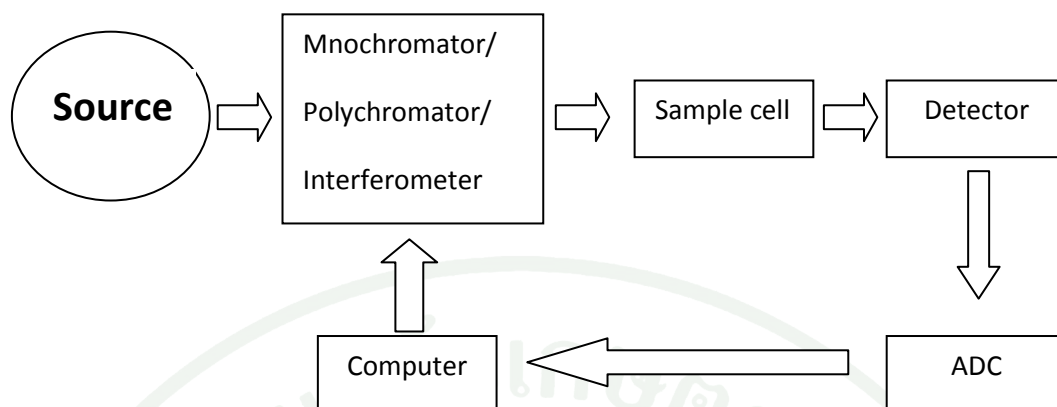
ช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	เลขคลื่น (cm^{-1})
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared, NIR)	800-2,500	12,800-4,000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid Infrared, MIR)	2,500-50,000	4,000-200
อินฟราเรดย่านไกล (Far Infrared, FIR)	50,000-1,000,000	200-10

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

ปกติโมเลกุลของสสารซึ่งประกอบไปด้วยอะตอมซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยการสร้างพันธะเคมี พันธะของโมเลกุลจะเกิดการสั่นอยู่ตลอดเวลา เรียกการสั่นชนิดนี้ว่าการสั่นในสถานะพื้น (vibrational ground state) ด้วยความถี่เฉพาะค่า (quantized frequency) เมื่อรังสีอินฟราเรดย่าน ไกล์เดินทางผ่านเข้าไปยังสสาร จะเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของสสารนั้น รังสีบางส่วนจะถูก ดูดกลืน (absorption) บางส่วนจะผ่านออกมา (transmission) และบางส่วนเกิดการสะท้อน (reflection) จนทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นในสถานะกระตุ้น (vibrational excited state) อย่างไรก็ตาม โมเลกุลไม่สามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นได้จึงต้องคายพลังงานออกมาในรูปความร้อนเพื่อให้ กลับคืนสู่การสั่นในสถานะพื้นตามเดิม เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิด ทรานซิชัน (transition) พลังงานหรือความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีใน ตัวอย่างนั้น (Osborne *et al.*, 1993; Bokobza, 2002)

9.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง NIR

การทำงานของเครื่อง NIR spectrometer อาศัยการดูดกลืนพลังงานแสงในแต่ละ ช่วงความยาวคลื่นของสารแต่ละชนิดมีไม่เท่ากัน ดังนั้นเครื่อง NIR spectrometers ส่วนใหญ่ จำเป็นที่จะต้องมีความสามารถในการแยกค่าแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นได้ เพื่อที่จะใช้แสง ความยาวนั้นส่องไปยังตัวอย่างและวัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาเปรียบเทียบกับแสงที่ สะท้อนเข้าไป หรือวัดความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่อง เข้าไป ทำแบบนี้ทีละความยาวคลื่นและนำค่าความเข้มแสงที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นมาเขียน กราฟโดยให้แกนนอนเป็นค่าความยาวคลื่น แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง องค์ประกอบของ เครื่อง NIR spectrometer ประกอบด้วยต้นกำเนิดแสง Light source อุปกรณ์แยกแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น (Monochromator) ช่องใส่ตัวอย่าง (Sample cell) ตัวรับแสง (Detector or sensor) และคอมพิวเตอร์ (คิวลักซ์ และ อนุพันธ์, 2552) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 องค์ประกอบของ NIR Spectrometer

ที่มา: ศิวลักษณ์และอนุพันธ์ (2552)

9.2 ข้อดีของการใช้เทคนิค NIRs

- 1) เป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย
- 2) เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา เชื่อถือได้ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช โปรตีน ไขมัน และความชื้น ของข้าวพันธุ์สุกโกโด สามารถให้ผลการตรวจสอบในเวลา 30 นาที และใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์เพียง 5 กรัม (Arai *et al.*, 1989)
- 3) เป็นวิธีการที่สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ในระยะยาว จึงสามารถลดต้นทุนการผลิต
- 4) ในการวัดสเปกตรัมแต่ละครั้งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายค่าต่างๆ ได้หลายค่าในเวลาเดียวกัน

5) ได้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำแน่นอนขึ้น กับสมการที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทำนายค่าคุณภาพ รวมทั้งสามารถควบคุมการผลิตได้อย่างใกล้ชิด เริ่มตั้งแต่วัตถุดิบขณะทำการผลิต รวมถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ออกมามีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

6) ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี

9.3 ข้อจำกัดของการวัดค่าด้วยเครื่อง NIR

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ถึงแม้มีประโยชน์และข้อดีอยู่หลายประการ แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงควรทำการตรวจสอบอย่างระมัดระวังเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำ (ศุมาพร, 2545) ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ เช่น

1) ข้อมูลการสะท้อนกลับของแสงขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง รูปร่าง การบรรจุ และความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง เนื่องจากถ้าตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะแตกต่างกันส่งผลให้ความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ค่าต่ำลง รวมทั้งการสุ่มตัวอย่างที่ไม่ครอบคลุมและความชื้นที่สูญเสียไประหว่างการเตรียมตัวอย่างก็มีผลต่อความแม่นยำที่ได้เช่นกัน (Stermer *et al.*, 1977)

2) การรบกวนอันเนื่องมาจากกลุ่มไฮดรอกซิล (O-H) หรือมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นภายในตัวอย่าง ดังนั้นในการตรวจสอบต้องมีการควบคุมความชื้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่าง เช่น ตัวอย่างที่มีคุณสมบัติไม่ดูดความชื้น หรือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นยาก การควบคุมความชื้นจึงไม่จำเป็น แต่ถ้าเป็นตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูง ต้องหาภาชนะที่ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเมื่อความชื้นในตัวอย่างเปลี่ยนจะมีผลทำให้สเปกตรัมที่ได้แตกต่างไปจากเดิมด้วย (Gunasekaran, 2001)

3) การตรวจสอบขึ้นกับคุณสมบัติในการวิเคราะห์ ถึงแม้ว่าเป็นตัวอย่างเดียวกันแต่ทำการวัดที่อุณหภูมิต่างกันก็อาจทำให้ได้สเปกตรัมที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบที่ได้จะเกิดการเบี่ยงเบน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์เนื่องจากสเปกตรัมย่านใกล้อินฟราเรดของน้ำค่อนข้างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตัวอย่างที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจึงต้องควบคุมอุณหภูมิเป็นพิเศษ รวมทั้งต้องคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ขณะทำการวัดตัวอย่างจริง เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อความแม่นยำ ของข้อมูลที่ได้ (Psothka, 1999)

4) ค่าใช้จ่ายของเครื่องสเปกโตรสโกปีมีราคาแพง ทั้งตัวเครื่อง NIR และอุปกรณ์ประกอบ เนื่องจากเครื่องมือมีการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับงานแต่ละประเภท การปรับแต่งเพื่อใช้กับงานที่นอกเหนือจากที่ออกแบบไว้จึงทำได้ยาก เครื่องมือที่สามารถวัดได้หลายรูปแบบจึงมีราคาสูง (อนุพันธ์, 2545)

9.4 การประยุกต์ใช้ NIR ในอุตสาหกรรมเกษตร

จากการสำรวจ (วารุณี, 2552) พบว่า การใช้ประโยชน์ของเทคนิค NIR ในประเทศไทย เริ่มมีความต้องการมากขึ้น เป็นผลมาจากความต้องการของอุตสาหกรรมที่ต้องการประหยัดเวลา ลดการใช้สารเคมี และลดต้นทุนระยะยาว ในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์ขั้นต่อนสุดท้าย ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล การใช้เทคนิค NIR ในอุตสาหกรรมเกษตรในประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การใช้ประโยชน์เทคนิค NIR ในประเทศไทย

ชนิดอุตสาหกรรม	ชนิดของวัตถุดิบและ ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบทางเคมีที่ วิเคราะห์
มันสำปะหลัง	มันแผ่นและมันอัดเม็ด	ความชื้น, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, เส้นใย, เถ้า
อาหารสัตว์และสัตว์น้ำ	วัตถุดิบ (ข้าวโพด, ข้าวสาลี, ปลาป่น, กระดูกป่น, ถั่ว เหลืองป่น, ปลาขี้ขาวและ ผลิตภัณฑ์สำเร็จ)	ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เส้น ใย, เถ้า
แป้ง(ข้าวสาลีและอื่นๆ)	วัตถุดิบ (สินค้านำเข้าและ ผลิตภัณฑ์สำเร็จ)	ความชื้น, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, เส้นใย, เถ้า, กลูเตน
นมและผลิตภัณฑ์นม	นํ้านมดิบ, นมผง, นมหวาน	ความชื้น, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมัน
น้ำมันพืช	วัตถุดิบ (ถั่วเหลือง, รำข้าว)	ความชื้น, โปรตีน, น้ำมัน, กรดไขมันอิสระ

ที่มา: วารุณี (2552)

9.5 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่อง NIR

การตรวจสอบคุณภาพด้วยเทคนิค NIR มีขั้นตอนในการตรวจสอบแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนายค่าคุณภาพด้วยตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ (Calibration step) และขั้นตอนการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้นด้วยตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Validation step) การตรวจสอบคุณภาพด้วยเทคนิค NIR จะเริ่มจากขั้นตอนการสร้างสมการโดยการนำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงย่านใกล้อินฟราเรดที่มี

ความยาวคลื่นในช่วง 800 – 2500 นาโนเมตร ตัวอย่างที่ผ่านการวัดค่าสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR จะนำมาวิเคราะห์หาค่าคุณภาพที่ต้องการศึกษาด้วยวิธีทางเคมี (Reference method) เช่น วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method จากนั้นจะนำ ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง (กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม) และข้อมูลทางเคมี (กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ) มาหาความสัมพันธ์ ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อสร้างสมการถดถอย (Regression) ที่ใช้ในการทำนายค่าทางเคมีที่ ทำการศึกษา สมการที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมหรือไม่ สามารถทำการพิจารณาได้จากค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; R) และค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย ตัวอย่างกลุ่มสร้างสมการ (Standard Error of Calibration; SEC)

สมการทำนายที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการสร้างสมการจะนำมาตรวจสอบความถูกต้องด้วย ข้อมูลในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง การตรวจสอบความถูกต้องจะมีขั้นตอนคล้ายกับขั้นตอนใน ขั้นตอนการสร้างสมการ จะเริ่มจากการนำ ตัวอย่างกลุ่ม ตรวจสอบความถูกต้องมาวัดค่าการ ดูดกลืนแสงและค่าคุณภาพที่ต้องการศึกษาด้วยวิธีทางเคมี (Reference measured หรือ Actual measured) ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นำมาแทนค่าในสมการที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากเครื่อง NIR กับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริงว่ามีความแตกต่างกัน หรือไม่ ทำการพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายด้วยตัวอย่างกลุ่ม ตรวจสอบ ความถูกต้อง (Standard Error of Prediction; SEP) และค่าความแตกต่าง (Bias) ระหว่างค่าที่ทำ นายได้จากสมการที่สร้างขึ้นกับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง วิธีการคำนวณค่า SEP และ Bias

9.5.1 ขั้นตอนการสร้างสมการทำนาย

เป็นขั้นตอนการสร้างสมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าทางเคมีที่ ต้องการทราบและเรียกสมการที่สร้างขึ้นว่า สมการทำนาย โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดตัวแปร 2) การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ และ 3) การสร้างสมการทำนาย

1) การกำหนดตัวแปร ประกอบด้วย

1.1 ตัวแปรอิสระ (independent variables) หรือตัวแปร x คือ ค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด (NIR data) เช่น ค่าการดูดกลืนแสง ($\log(1/R)$)

1.2 ตัวแปรตาม (dependent variables) หรือ ตัวแปร Y คือค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (standard methods) เช่น ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเมล็ดที่วิเคราะห์โดยวิธีการสกัดด้วยสารเคมี (soxhlet extraction)

2) การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์

สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดเกิดจากการรวมกันของโอเวอร์ทोन และคอมบิเนชันของกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ ทำให้สเปกตรัมมีความซับซ้อนมาก (อนุพันธ์, 2545) และบางครั้งข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มีความแปรปรวนมาก อันเนื่องมาจากมีสิ่งรบกวนอื่นๆที่จะบิดเบือนข้อมูลขององค์ประกอบทางเคมีที่สนใจ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก่อนการวิเคราะห์ เพื่อกำจัดความแปรปรวนดังกล่าว (ธงชัย, 2545) โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.1 อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (first derivative)

เป็นการคำนวณหาความชันของสเปกตรัม ช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น (การเลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแกน Y) (อนุพันธ์, 2545)

2.2 อนุพันธ์ลำดับที่สอง (second derivative)

เป็นวิธีการคำนวณผลลบระหว่างสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของ segment ที่อยู่ติดกัน และมีช่วงเท่ากันจะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น (original spectrum)

2.3 Multiplicative scatter correction (MSC)

สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรด แบบการสะท้อนแสง และแบบการส่องผ่านมักจะเกิดการกระเจิงแสง (scattered light) จึงได้มีการเสนอแนวทาง โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น การกระเจิงแสงจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น ถ้าสเปกตรัมเป็นเส้นตรงก็เหมือนกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้มน นรอบจุดที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (multiplicative effect) ทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความชันต่างไปจากเดิม หรือทำให้ผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งเรียกว่า additive effect ในทางปฏิบัติ MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจาก multiplicative effect แต่ก็สามารถลดผลจาก additive effect ได้ (อนุพันธ์, 2545)

3) การสร้างสมการทำนาย

การสร้างสมการทำนาย เป็นการหาตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ คือ ความยาวคลื่น) ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตาม (ตัวแปร Y ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ คือ ค่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพด) ที่ต้องการทำนาย ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่

3.1 วิธีการคัดเลือกความยาวคลื่น (wavelength selection methods)

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเฉพาะความยาวคลื่นที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยอาจคัดเลือกจากเอกสารอ้างอิง หรือใช้เทคนิคทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) หรือการสร้าง correlogram หลังจากนั้นสร้างสมการทำนาย โดยอาศัยหลักและวิธีการทางสถิติ เช่น การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression ; MLR) เป็นต้น แต่การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมดอาจเกิดข้อผิดพลาด ทำให้ได้สมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนายต่ำ เนื่องจากในการคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมดมาสร้างสมการอาจได้ข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมมากพอทำให้ค่าที่ทำนายได้จากวิธีนี้มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่แท้จริง หรือเกิดจาก

จำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างสมการน้อยเกินไป ทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไป ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้น่าเชื่อถือ (ธงชัย และปิติพร, 2552)

3.2 วิธีการใช้ความยาวคลื่นตลอดช่วง (full spectrum methods) เป็นวิธีการคัดเลือกหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (selective wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัม หรือความยาวคลื่นตลอดช่วงทั้งหมด (full spectrum) มาใช้ในการสร้างสมการทำนายโดยใช้วิธีการทางสถิติในการจัดกลุ่มตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่มีความเกี่ยวข้องกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือทำการสร้างตัวแปรใหม่จากตัวแปรเดิม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการเกิด multicollinearity วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ ได้แก่ การถดถอยโดยใช้องค์ประกอบหลัก (principal components regression : PCR) และการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression ; PLSR) (ธงชัย และปิติพร, 2552)

3.2.1) การถดถอยโดยใช้องค์ประกอบหลัก (principal components regression ; PCR)

การทำ PCR จะเริ่มจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis ; PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระ (X_i) ที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัม เพื่อลดจำนวนตัวแปรเดิมลงโดยสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่ ที่เรียกว่า องค์ประกอบหลัก (principal component ; PC) หรือแฟกเตอร์ (factor) ก่อนแล้วจึงนำค่าของตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Y) ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (reference method) เพื่อสร้างสมการโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) (ธงชัย และปิติพร, 2552)

3.2.2) การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression ; PLSR)

PLSR เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (multivariate analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่งเช่นเดียวกับวิธี PCR แต่ PLSR เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม โดยการนำข้อมูลตัวแปรตาม (Y) เข้ามาร่วมในการสร้างตัวแปรใหม่ หรือกล่าวได้ว่าการจัดกลุ่มของตัวแปรอิสระจะแปรผันตามค่าตัวแปรตาม ซึ่ง Kasemsumran (2005) กล่าวว่า PLSR เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร โดยการสร้างแฟกเตอร์แบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำแฟกเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอย โดยแฟกเตอร์ที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน วัตถุประสงค์ของ PLSR คือต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับค่าทางเคมีเท่านั้นที่ถูกนำมาใช้ในการทำนายค่าทางเคมี เพื่อสามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

ประสิทธิภาพของสมการทำนายที่สร้างขึ้นควรพิจารณาจากระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) โดยวัดจากค่าสหสัมพันธ์ (correlation; R) ซึ่งมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งแนวทางการแปลความหมายค่า R แสดงดังตารางที่ 12 และพิจารณาความน่าเชื่อถือของการประมาณค่าของสมการจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจากการทำนายด้วยตัวอย่างกลุ่มสร้างสมการ (root mean square error of calibration; RMSEC) ซึ่งจะต้องมีค่าต่ำๆ โดยวิธีการคำนวณหาค่า R และ RMSEC แสดงดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$R = \frac{\text{cov}(x, y)}{S_x S_y} \quad (1)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

โดยที่

$$\text{cov}(x,y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

เมื่อ S_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

$\text{Cov}(x,y)$ คือ ความแปรปรวนร่วมของ x และ y

X คือ ค่าที่ได้จากการทำนาย

Y คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

n คือ จำนวนตัวอย่าง

$$RMSEC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

เมื่อ Y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

\bar{Y}_i คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ

n คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 12 แนวทางการแปลความหมายค่าสหสัมพันธ์ (R)

ค่า R	ความหมาย
± 0.5	ไม่ควรนำมาใช้ในการทำนาย (not usable)
±0.51-0.70	ไม่ดี ไม่สามารถใช้เป็นสมการทำนายได้ (poor correlation)
±0.71-0.80	สามารถใช้ในการคัดเลือกเบื้องต้นได้ (rough screening)
±0.81-0.90	สามารถใช้ในการคัดเลือก หรือตรวจคุณภาพบางอย่างได้ (screening)

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ค่า R	ความหมาย
$\pm 0.91-0.95$	สามารถใช้ได้ในงานหลายประเภท รวมทั้งงานวิจัย แต่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง
$\pm 0.96-0.98$	สามารถใช้ได้ในงานหลายประเภท รวมทั้งงานประกันคุณภาพ (quality assurance)
± 0.99 ขึ้นไป	สามารถใช้ได้ดีมากในงานทุกประเภท (any application)

ที่มา: Williams (2007)

9.6 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (validation)

Hruschka (1990) ได้อธิบายว่า การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างด้วยกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการทำนายค่าคุณภาพ ได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยวิธีการตรวจสอบความถูกต้องที่นิยมใช้ในเทคนิค NIR spectroscopy มี 2 วิธี ได้แก่

1) วิธี cross validation เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น โดยเป็นวิธีการตรวจสอบภายใน (internal validation) ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ในการตรวจสอบต้องเป็นตัวอย่างชุดเดียวกับตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ วัดผลจากการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย และค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่สร้างขึ้นกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี ถ้าข้อมูลที่ได้จากวิธีทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันแสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง การตรวจสอบความแม่นยำด้วยวิธีนี้มักใช้กับการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ PLSR ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการ

$$RMSECV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{cv,i})^2} \quad (3)$$

ตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นโดยพิจารณาจาก ค่า RMSECV (root mean square error of cross validation) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$RMSECV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (3)$$

เมื่อ	Y_i	คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน
	$\bar{Y}_{cv,i}$	คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ
	n	คือ จำนวนตัวอย่าง

2) วิธี prediction testing เป็นวิธีการทดสอบ โดยนำกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้อง (test set) มาประเมินค่าของสมการทำนายที่สร้างขึ้น โดยกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมสภาวะในการทดลอง รวมถึงวิธีการแปลงข้อมูลสเปกตรัมเหมือนกับชุดข้อมูลของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการและที่สำคัญกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องจะต้องมีค่าคุณภาพที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วงของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ การตรวจสอบความแม่นยำในลักษณะนี้เรียกว่า การทดสอบแบบภายนอก (external validation) ซึ่งการพิจารณาค่าที่ทำนายได้จาก NIR spectroscopy กับค่าที่วิเคราะห์ได้จริงจากวิธีมาตรฐาน ถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายต่ำแสดงว่าสมการทำนายที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น เพื่อให้ในการทำนายค่าคุณภาพมีรายละเอียดของขั้นตอนดังนี้

1) นำกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการมาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการทางสถิติ

2) คัดเลือกสมการทำนายที่เหมาะสม และมีความถูกต้องในการทำนายโดยพิจารณาประสิทธิภาพของสมการที่สร้างขึ้นด้วยค่าทางสถิติได้แก่ ค่า SEP (standard error of prediction) หรือ RMSEP (root mean square error of prediction) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้นกับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง (bias) ซึ่งผลของค่าที่ทำนายได้

จากสมการมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้จริง คือ ค่า SEP, RMSEP และ bias ต้องมีค่าต่ำๆ (Hruschka, 1990 ; Cozzolino et al., 2005) ซึ่งหมายถึงสมการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง สามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าคุณภาพตัวอย่างอื่นๆได้ วิธีการคำนวณค่า SEP, RMSEP และ bias สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4), (5), และ (6) ตามลำดับ

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (5)$$

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i) \quad (6)$$

เมื่อ	Y_i	คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน
	\bar{Y}_i	คือ ค่าทำนายที่ได้จากสมการ
	n	คือ จำนวนตัวอย่าง

9.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค Near Infrared Spectroscopy กับตัวอย่างข้าว

Bao *et al.* (2007a) ศึกษาคุณสมบัติด้านความร้อนและการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ชข้าวโดยใช้เทคนิค NIRs การศึกษาดังกล่าวนี้ได้สร้างแบบจำลองในการวัดคุณสมบัติด้านความร้อนและการเกิดรีโทรเกรดชันจากแป้งข้าวและเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ในงานคัดเลือกลายพันธุ์ข้าวต่อไป

Bao *et al.* (2007b) ศึกษาปริมาณอะมิโลส, คุณสมบัติด้านความหนืด และเนื้อสัมผัสของเจลข้าวโดยใช้เทคนิค NIRs โดยใช้ตัวอย่างข้าวสำหรับการศึกษา 516 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างข้าวแบบ waxy rice และ non-waxy rice จากการศึกษาพบว่าสมการทำนายของแป้งข้าวสามารถทำนายได้ดีกว่าสมการของข้าวเต็มเมล็ด ค่าคุณภาพที่สร้างสมการทำนายได้ดีสำหรับตัวอย่างแป้งข้าว ได้แก่ ปริมาณอะมิโลส, ค่าความคงตัว (set back), อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature), ความแข็ง (hardness), การเกาะรวมตัวกัน (ohesiveness) ในขณะที่ค่าคุณภาพที่สร้างสมการทำนายได้ดีสำหรับตัวอย่างข้าวเต็มเมล็ด ได้แก่ ปริมาณอะมิโลสและอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature)

Bao *et al.* (2001) ทำการศึกษาการทำนายคุณภาพของแป้งข้าวในเรื่องค่าการสลายตัวในน้ำและอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาติไนซ์ที่ได้จากเครื่อง DSC ด้วยเครื่อง NIR ที่ความยาวคลื่น 400 - 2500 นาโนเมตร จำนวน 100 หน่วยตัวอย่าง ซึ่งค่าคุณภาพทั้งสองมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ของข้าว เมื่อนำค่าคุณภาพทั้งสองมาสร้างสมการเพื่อใช้ทำนายค่าคุณภาพ พบว่า สมการที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทำนายค่าการสลายตัวในน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.80 และสมการที่ใช้ทำนายอุณหภูมิสูงสุดมีค่า R^2 เท่ากับ

0.90 เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองสมการพบว่า สมการทำนายที่สร้างขึ้นด้วยข้อมูลจากเครื่อง DSC จะให้ผลการทำนายที่แม่นยำ มากกว่า

Miryeong *et al.*(2004) ศึกษาการใช้เทคนิค Near-Infrared Spectroscopy สำหรับการกำหนดปริมาณโปรตีนและแอมิโนสในแป้งข้าวโดยใช้อินพุทอันดับหนึ่งและอันดับสองในการปรับแต่งสเปกตรัม เพื่อให้ได้รูปแบบจำลองที่ใช้สำหรับการทำนายที่เหมาะสมที่สุด

10. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

10.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

การทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive test) หมายถึง การวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการจำแนก การอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (เพ็ญขวัญ, 2550)

การทดสอบเชิงพรรณนา ประกอบด้วยแนวทางการวิเคราะห์ 4 ด้าน คือ

1. การวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพ (Quality characteristics analysis) หมายถึง การวิเคราะห์รายละเอียดของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยประสาทการรับรู้ของมนุษย์ (Human sense) ลักษณะคุณภาพต่างๆ ได้แก่

1.1 ลักษณะปรากฏ (Appearance) เป็นลักษณะทั่วไปที่มองเห็นได้ เช่น สี ลักษณะเนื้อสัมผัส ขนาด และรูปร่าง เป็นต้น

1.2 กลิ่น (Odor / Aroma) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้ทางจมูก

1.3 กลิ่นรส (Flavor) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้ภายในปาก ทางด้านกลิ่น และรสชาติ และความรู้สึกอื่นๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ร้อน เผ็ด เย็น เป็นต้น

1.4 เนื้อสัมผัส (Texture) เป็นความรู้สึกทางด้านแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวตัวอย่าง และลักษณะทางด้านรูปร่าง รูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสัมผัสด้วยมือ หรือการสัมผัสภายในปาก เหงือก ลิ้น เพดานปาก

1.5 สิ่งตกค้าง (Aftertaste) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้ภายหลังจากกลืนตัวอย่างไปแล้ว เช่น รสชาติตกค้างในปาก หรือลักษณะเนื้อสัมผัสที่ตกค้าง เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ความเข้มของลักษณะคุณภาพ (Intensity of quality characteristic analysis) เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ จะวิเคราะห์ต่อจากรายละเอียดลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ได้ เป็นขั้นตอนการประเมินความเข้มของลักษณะต่างๆ โดยใช้สเกลต่างๆ เช่น สเกลบอกระดับขั้น (Category scale) สเกลบอกระดับคะแนน (Line scale) หรือสเกลประมาณค่า (Magnitude estimation) เป็นต้น

3. การจัดลำดับความรู้สึก (Order of perception) การจัดลำดับความรู้สึกต่อชนิด และระดับของลักษณะคุณภาพเป็นวิธีการที่เกี่ยวข้องกับเวลา การรับรู้ของประสาทสัมผัสแต่ละชนิดมีความไวแตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์นี้เป็นการจัดลำดับก่อนและหลังของความรู้สึกที่รับรู้ได้ตั้งแต่เริ่มชิม ชิม และหลังจากการชิมตัวอย่างแล้ว

4. ความรู้สึกรวม (Overall impression) เป็นการวิเคราะห์ความรู้สึกจากการรับรู้ทุกด้านอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าในบางครั้งความรู้สึกในแต่ละรายละเอียด เช่น รสชาติ เนื้อสัมผัส อาจจะน้อยเกินไป แต่เมื่อหลายลักษณะมารวมกันจะได้ความรู้สึกรวมที่ดีได้ เช่นความเข้มของรสชาติ โดยรวม ความกลมกล่อม เป็นต้น (ปราณี, 2551)

ในการทดสอบเชิงพรรณนา ต้องอาศัยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี ขั้นตอนการทดสอบจะเริ่มจากให้ผู้ทดสอบประเมิน และบันทึกความรู้สึกเกี่ยวกับลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ที่ๆ ได้จากผลิตภัณฑ์ กำหนดคำศัพท์ และคำจำกัดความที่ใช้อธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้ กำหนดตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้เปรียบเทียบ จัดลำดับความสำคัญ และการรับรู้ของ

แต่ละลักษณะ พร้อมกำหนดสเกลคะแนน และฝึกฝนให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับตัวอย่างอ้างอิง จากนั้นจึงเริ่มทดสอบตัวอย่าง

10.2 วิธีการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์

เพ็ญขวัญ (2550) กล่าวว่า การประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์เป็นวิธีการที่ใช้ตัวแทนผู้บริโภคเป้าหมายเป็นผู้ประเมิน การประเมินการยอมรับผลิตภัณฑ์มีความสำคัญมากสำหรับกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และถูกนำมาใช้ในหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การสร้างแนวความคิดผลิตภัณฑ์ การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากสินค้าในตลาด การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้ตรงตามแนวความคิดหรือให้คล้ายกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่เลือกมาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบสุดท้ายที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

10.2.1 วัตถุประสงค์ของการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์

- 1) เพื่อประเมินความชอบโดยรวมของผู้ประเมินที่มีต่อผลิตภัณฑ์
- 2) เพื่อประเมินความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์
- 3) เพื่ออนุมานการตอบสนองของผู้ประเมินโดยสร้างความสัมพันธ์กับฐานข้อมูลค่าของแผนภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัสและ /หรือฐานข้อมูลค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์

10.2.2 วิธีการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์

10.2.2.1 วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่เพื่อหาความชอบ วิธีการนี้จะสามารถวัดความชอบได้โดยตรง ผู้ประเมินจะได้รับตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง จะต้องเลือกว่าชอบตัวอย่างใดมากกว่า วิธีนี้จะวัดได้เฉพาะว่าผู้ประเมินชอบผลิตภัณฑ์หนึ่งมากกว่าอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถบอกได้ว่า ผู้ประเมินชอบผลิตภัณฑ์นั้นๆ มากน้อยแค่ไหน วิธีการนี้จะต้องให้ผู้ประเมินอย่างน้อย 30 คน

10.2.2.2 วิธีการเรียงลำดับความชอบ การนำวิธี การเรียงลำดับ

ความชอบมาใช้ในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ประเมินเรียงลำดับความชอบที่มีต่อตัวอย่างตั้งแต่ 3 ตัวอย่างขึ้นไป โดยการเรียงลำดับความชอบจากชอบน้อยไปชอบมาก วิธีการนี้จึงควรใช้ตัวอย่างประมาณ 4-6 ตัวอย่าง เพื่อคัดเลือกตัวอย่างที่ผู้ประเมินชอบมาก 1-2 ตัวอย่าง เพื่อนำไปใช้ทดสอบการยอมรับต่อไปกับผู้จำนวนมากขึ้น เช่น 100-400 คน มากกว่า วิธีนี้ไม่สามารถบอกได้ว่าผู้ประเมินชอบหรือไม่ชอบตัวอย่างมากน้อยแค่ไหน และต้องใช้ผู้ประเมินอย่างน้อย 30 คน

10.2.2.3 วิธีการประเมินการยอมรับ วิธีการประเมินการยอมรับเป็นวิธีที่

ได้รับความนิยมมากกว่าวิธีการประเมินความชอบ เนื่องจากสามารถประเมินเพียง 1 ตัวอย่างหรือมากกว่าได้ ข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบว่าผู้ประเมินชอบผลิตภัณฑ์มากน้อยแค่ไหน นอกจากนั้นยังสามารถถามผู้ประเมินเรื่องความถี่ในการใช้หรือซื้อผลิตภัณฑ์ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในการประเมินผู้บริโภคเป้าหมายที่มีจำนวนมากๆ วิธีการประเมินการยอมรับที่นิยมใช้ได้แก่

10.2.2.3.1) วิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Scaling)

วิธีการให้คะแนนความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน การวิเคราะห์ผลการประเมินความชอบอาจทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบ หากมีผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป จะสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการต่างๆ เช่น Duncan's New Multiple Range Test หรือ LSD หรือ Tukey เป็นต้น วิธีการนี้จะต้องใช้ผู้ประเมินอย่างน้อย 30 คน

10.2.2.3.2) วิธีการวัดความถี่ในการบริโภค (Food Action

Rating Scale, FACT) วิธีการนี้เป็นวิธีที่ผู้ประเมินบอกถึงความถี่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับวิธีการให้คะแนนความชอบ หรืออาจใช้วิธีการวัดความถี่

ในการบริโภคร่วมกับการให้คะแนนความชอบเพื่อตรวจสอบว่าความชอบหรือการยอมรับ
ผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์จริง

10.2.2.3.3) วิธีการวัดความพอดี (Just About Right, Scale-JAR) การวัดความพอดีหรือความพอใจของผู้บริโภคเป็นวิธีการทั่วไปในการทดสอบตลาด การนำวิธีการนี้มาปรับใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จะช่วยในการตัดสินใจว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพัฒนาแล้วมีความเหมาะสมที่จะทดสอบตลาดหรือไม่ สามารถวัดความพอใจในภาพรวมของผลิตภัณฑ์หรือลักษณะเฉพาะที่กำหนด การวิเคราะห์ ผลการประเมินความพอดีหรือพอใจทำได้โดยการนับความถี่แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ (Witoon, 2009)

วัตถุประสงค์ของการวัดความพอดี (Just-About-Right)

1. เพื่อระบุว่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับใด (น้อยเกินไป, พอดี, มากเกินไป)
2. เพื่อวัดระดับความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ว่าห่างจากระดับความพอดีไปเท่าไร
3. เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างความเข้าใจพื้นฐานของการวัดความชอบหรือการยอมรับ โดยให้ข้อมูลทิศทางสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

ประโยชน์ของการวัดความพอดี

1. ให้ข้อมูลที่บอกทิศทางสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์
2. แบ่งกลุ่มผู้บริโภคโดยอาศัยข้อมูลระดับของผลิตภัณฑ์
3. ง่ายต่อความเข้าใจ
4. การคำนวณทางสถิติสามารถใช้ได้ตั้งแต่ง่ายไปยาก

การวิเคราะห์ข้อมูลความพอดี

การวิเคราะห์ข้อมูลความพอดีสามารถแบ่งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่
ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาเฉพาะข้อมูลความพอดี (JAR score) เพียงอย่างเดียว นำข้อมูล JAR คำนวณค่าความถี่หรือร้อยละ เพื่อดูแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์
2. พิจารณาข้อมูลคะแนนความชอบร่วมกับคะแนนความพอดี

2.1 Signal-to-noise ratio (SNR) เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความชอบกับคะแนนความพอดี (JAR-Score) โดยค่า SNR คำนวณจากสูตร (7)

$$SNR = 1^n \sum_{ni=1} [-10 \times \log ((X_i - m)^2 + k)] \quad (7)$$

- i = ผู้ทดสอบชิม = 1, 2, 3,n
 X_i = คะแนนจากสเกลความพอดีที่ผู้ทดสอบแต่ละคนให้คะแนน
 m = ค่าคะแนน midpoint ของสเกลความพอดี
 k = ค่าคงที่มีค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 โดยส่วนใหญ่จะใช้ 0.25

2.2 Mean drop เป็นการวิเคราะห์ว่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ที่ระดับความพอดีมีความแตกต่างจากคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ที่ระดับความไม่พอดี โดยระดับความไม่พอดีที่มีค่ามากกว่า 20% จะนำมาคำนวณค่า mean drop ตามสูตรดังต่อไปนี้

Mean drop = คะแนนความชอบเฉลี่ยของสเกลความพอดี – คะแนนความชอบเฉลี่ยของสเกลความไม่พอดี

ผลที่ได้จากการคำนวณค่า mean drop สามารถสรุป ความสำคัญ ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

0.0 ถึง 0.99	ให้ความสำคัญในการปรับปรุงน้อยมาก
1.0 ถึง 1.49	ให้ความสำคัญในการปรับปรุงน้อย
1.5 ถึง 1.99	ให้ความสำคัญในการปรับปรุงปานกลาง
≥ 2.0	ให้ความสำคัญในการปรับปรุงมาก

2.3 Total penalty เป็นการวิเคราะห์โดยรวมว่าคุณลักษณะใดที่ต้องปรับปรุง คำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Total penalty} = \text{Mean drop} \times \% \text{ คะแนนความชอบเฉลี่ยของสเกลความไม่พอใจ}$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณสามารถแปลความหมายของค่า Total penalty ได้ดังนี้

- >|0.50| มีอิทธิพลสูงมาก ต้องให้ความสำคัญในการปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว
- >|0.25| มีอิทธิพลเล็กน้อย

2.4 การวิเคราะห์โอกาส (Opportunity analysis) เป็นการวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่จะนำไปปรับปรุงต่อไป โดยสูตรการคำนวณ Opportunity analysis แสดงดังต่อไปนี้

$$\text{กลุ่มเสี่ยง (Risk)} = [B / (A+B)] \times 100\%$$

$$\text{กลุ่มโอกาส (Opportunity)} = [D / (C+D)] \times 100\%$$

- โดย
- A = ชอบผลิตภัณฑ์/ไม่ชอบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์
 - B = ชอบผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ [Risk (กลุ่มเสี่ยง)]
 - C = ไม่ชอบผลิตภัณฑ์/ชอบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์
 - D = ไม่ชอบผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ [Opportunity (กลุ่มโอกาส)]

11. สถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

11.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principle Component Analysis) อนุวัตร (2549) กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเป็นวิธีการทางสถิติที่คัดเลือกหรือเอาโครงสร้างหรือสิ่งที่เหมือนกันออกจากเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม (Variance-covariance matrix) หรือเมทริกซ์ของความสัมพันธ์ (Correlation matrix) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของข้อมูลเดิมโดยอธิบายความแปรปรวนได้สูงสุดและให้มีการสูญเสีย

ข้อมูลน้อยที่สุด การแสดงข้อมูลแสดงได้ทั้งในรูปตารางความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่ (component) ที่สร้างจากตัวแปรเดิมหรือแสดงในรูปของแผนภาพ

11.2 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster analysis) การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster analysis เป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกหรือแบ่ง case (คน สัตว์ หรือสิ่งของ) หรือแบ่งกลุ่ม ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดย case ที่อยู่กลุ่มเดียวกันมีลักษณะที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ส่วน case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กัน มากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่ม การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อยได้ดังนี้

11.2.1 เทคนิค Hierarchical Cluster Analysis เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการแบ่งกลุ่ม โดยผลลัพธ์ของเทคนิค cluster ไม่ได้ให้ค่าทางสถิติหรือผลการทดสอบสมมุติฐาน เพื่อให้ตัดสินใจหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม การวิเคราะห์จะต้องพิจารณาความเหมาะสมเอง โดยอาจใช้ระยะห่างหรือความคล้ายโดยใช้แผนภาพเดนโดแกรม ซึ่งผู้วิเคราะห์จะสามารถพิจารณาจำนวนกลุ่มจากแผนภาพเดนโดแกรม โดยกำหนดตัวเลขระยะห่างหรือความคล้ายเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ซึ่งการใช้ Hierarchical Cluster Analysis มีเงื่อนไขในการใช้ดังนี้

- ก. กรณีที่ใช้ในการแบ่ง case นั้น จำนวน case และจำนวนตัวแปรต้องไม่มากนัก โดย case ควรต่ำกว่า 200
- ข. ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน
- ค. ไม่จำเป็นต้องทราบว่าตัวแปรใดหรือ case ใดอยู่กลุ่มใดก่อน
- ง. การวิเคราะห์ข้อมูลไม่จำเป็นต้อง Standardized ข้อมูล

11.2.2 เทคนิค K-Means Clustering เป็นเทคนิคการจำแนก Case ออกเป็นกลุ่มย่อย ใช้เมื่อมี case จำนวนมาก โดยจะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มหรือจำนวน cluster ที่ต้องการ ตัวแปรที่ใช้จะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ คือ เป็นสเกลอัตราภาคหรือสเกลอัตราส่วน โดยไม่สามารถใช้

กับข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่หรือ Binary เหมือนเทคนิค Hierarchical โดยเทคนิค K-Means มีเงื่อนไขการใช้ดังนี้

- ก. ใช้เมื่อมีจำนวน case หรือจำนวนข้อมูลมาก โดยนิยมใช้ case มากกว่า 200
- ข. ต้องมีการกำหนดจำนวนกลุ่มที่แน่นอนไว้ล่วงหน้า
- ค. การวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้อง standardized ข้อมูลก่อน
- ง. วิธีนี้จะเป็นการหาระยะห่างโดยวิธี Euclidean distance

11.3 การสร้างผังความรู้สึกรู้สึก (Preference mapping)

ผังความชอบของผู้บริโภค (Preference mapping) คือ วิธีการนำเสนอข้อมูลเชิงลึกในรูปแบบภาพ เพื่ออธิบายความชอบผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค โดยการเก็บข้อมูลความชอบของผู้บริโภคหลังจากทดสอบชิมตัวอย่างอาหารโดยใช้สเกลการยอมรับโดยรวม การจัดลำดับความชอบหรืออื่นๆ ที่เป็นการวัดความต้องการผลิตภัณฑ์ จากนั้นค่าคะแนนความชอบจากผู้บริโภคจะถูกนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกันเพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลทั้งหมดที่ได้โดยใช้เทคนิค Multivariate รวมไปถึงการวิเคราะห์ความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างอาหาร (Greenhoff and Macfie, 1994)

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการไม่แห้ง ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 จากนั้นนำแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวผสมและแป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม) มาผลิตบัตเตอร์เค้กเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของบัตเตอร์เค้ก รวมถึงศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเชิงพรรณนา และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวผสมและแป้งสาลี นอกจากนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR) มาใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติด้านเทอร์โมไดนามิกส์และคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวผสม ขอบเขตการศึกษาแสดงดังภาพที่ 8

นิยาม

1. แป้งข้าวเหนียว หมายถึง แป้งที่ได้จากการเตรียมโดยกระบวนการไม่แห้ง โดยนำเมล็ดข้าวเหนียวที่ผ่านการล้างทำความสะอาด อบแห้ง แล้วนำเข้าเครื่องไม่แห้งเพื่ออบให้เป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดอนุภาค 120 ไมครอน (123 ไมโครเมตร) ซึ่งแป้งข้าวเหนียวมีองค์ประกอบต่างๆ ใกล้เคียงกับเมล็ดข้าวเหนียว
2. แป้งข้าวหอมมะลิ หมายถึง แป้งที่ได้จากการเตรียมโดยกระบวนการไม่แห้ง โดยนำ ปลายข้าวหอมมะลิที่ผ่านการล้างทำความสะอาด อบแห้ง แล้วนำเข้าเครื่องไม่แห้งเพื่ออบให้เป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดอนุภาค 120 ไมครอน (123 ไมโครเมตร) โดยยังมีโปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุต่างๆ อยู่ในแป้งข้าวหอมมะลิ
3. แป้งข้าวผสม หมายถึง แป้งข้าวผสมที่ได้จากการผสมแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว โดยใช้เครื่องผสมแป้งแบบลูกเต๋าเป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 8 ขอบเขตการศึกษาศสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

1.1 ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในเชิงการค้า ในประเทศไทย จำนวน 9 พันธุ์ ดังตารางที่

13

ตารางที่ 13 แหล่งที่มาของพันธุ์ข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

	พันธุ์ข้าว	ศูนย์วิจัยข้าวจังหวัด
กข 6		จ.แพร่
กข 10		จ.แพร่
เหนียวสันป่าตอง		จ.เชียงใหม่
สันป่าตอง 1		จ.เชียงใหม่
เหนียวแพร่ 1		จ.แพร่
สกลนคร		จ.สกลนคร
กข 8		จ.อุบลราชธานี
เหนียวอุบล 2		จ.อุบลราชธานี
หางยี 71		จ.สกลนคร

1.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตเค้ก

1.2.1 แป้งสาลี ตราราวัว บริษัท ยูเอฟเอ็มฟู๊ด จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.2 เนยสดชนิดเค็ม ตรา ออรัคิต บริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.3 อิมัลซิไฟเออร์ ตรา EC 25 บริษัท อเมริกันเบเกอร์ จำกัด

1.2.4 กัวยักษ์ บริษัท เบอเลียคเกอร์ จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.5 น้ำตาลทรายละเอียด ตรา ไดเนสตี บริษัท ไดนาสตี แปซิฟิก จำกัด

1.2.6 ไข่ไก่

1.2.7 สารทดแทนไขมัน Maltodextrin บริษัท เบอเลียคเกอร์ จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.8 เกลือ ตราปรุททิพย์ บริษัท สหพัฒนพิบูล จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.9 ผงฟู ตราเบสท์ฟู๊ดส์ บริษัท ยูนิลีเวอร์ เบสท์ฟู๊ดส์ จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.10 นมสด ตราคาร์เนชั่น บริษัท เนสท์เล่ จำกัด (ประเทศไทย)

1.2.11 กลิ่นเนย ตราวินเนอร์ ห้างหุ้นส่วน เกรทฮิลล์ จำกัด (ประเทศไทย)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิ

2.1 เครื่องบดแป้ง (Turbo mill) ผลิตในประเทศไทย

2.2 ตู้อบแห้งแบบใบใช้ลมร้อน (Tray Dryer) ของ B.W.S. Trading Ltd., Thailand

3. อุปกรณ์ในการผลิตเค้ก

3.1 เครื่องผสม (Kitchen Aid St. L Joseph USA) รุ่น K 5 SS

3.2 เครื่องชั่ง บริษัท Scientific promotion Co., Ltd. Thailand

3.3 อุปกรณ์เครื่องครัว

3.4 เตารอบไฟฟ้า TEBA Series No.11510 รุ่น TFL 10-31

4. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพ

4.1 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- 4.1.1 เครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA 4D, Newport Scientific, Australia)
- 4.1.2 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC7 PERKIN ELMER, USA)
- 4.1.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyzer (รุ่น TA500, Lloyd Instrument, USA)
- 4.1.4 ชุดวิเคราะห์กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้ง
- 4.1.5 อ่างน้ำไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิ
- 4.1.6 เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์
- 4.1.7 เครื่อง Near Infrared Reflectance (NIR) Spectroscopy (BRAN+LUEBBE, InfraAlyzer 500, Norderstedt, Germany)

4.2 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

- 4.2.1 ชุดวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ
- 4.2.2 ชุดวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Con A, Megazyme Kits)

4.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- 4.3.1 อุปกรณ์ทดสอบประเมินค่าทางประสาทสัมผัส
- 4.3.2 แบบสอบถาม

5. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผล

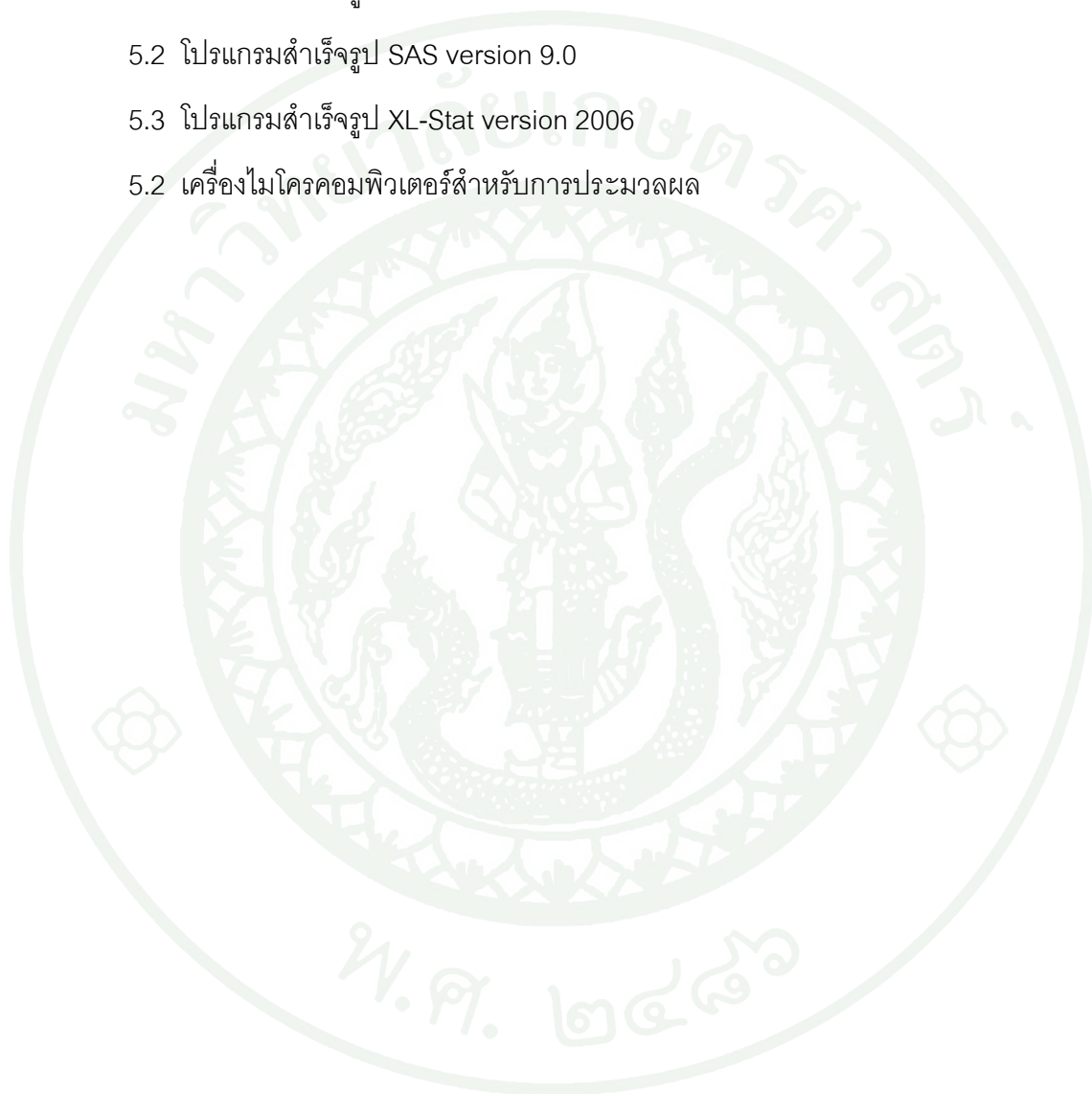
5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16.0

5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป Unscrambler Version 9.8

5.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SAS version 9.0

5.3 โปรแกรมสำเร็จรูป XL-Stat version 2006

5.2 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล

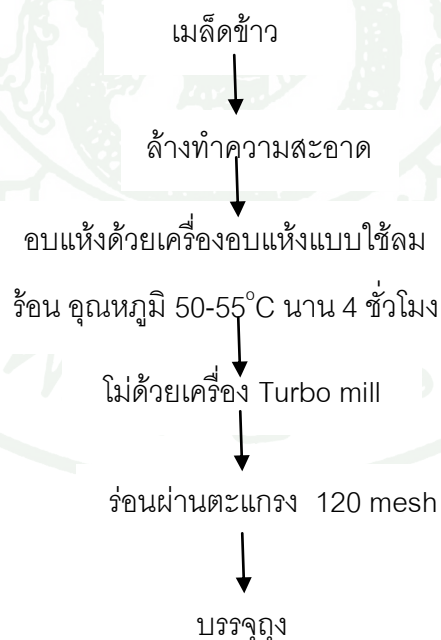


วิธีการ

1. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวจากข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย

1.1 การเตรียมแป้งข้าวเหนียวโดยวิธีการไม่แห้ง

ทำการเตรียมแป้งข้าวเหนียวโดยวิธีการไม่แห้ง โดยนำข้าวเหนียวมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นละออง และสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ต้องการ สะเด็ดน้ำ นำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-55°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่อง Turbo mill และร่อนผ่านตะแกรงความละเอียด 120 mesh ด้วยเครื่องร่อน นำ ฟลาวที่ผลิตได้บรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส กรรมวิธีการผลิตแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กรรมวิธีการเตรียมแป้งข้าวเหนียวด้วยกรรมวิธีการไม่แห้ง

1.2 การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียว

1.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

1.2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งข้าวเหนียว ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1.2.1.2 ปริมาณอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ด้วยชุดตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสหลังจากการทำการตกตะกอนอะมิโลเพกตินด้วย Concanavalin-A ตามวิธีการของ Megazyme (1998) แสดงดังภาคผนวก ก

1.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

1.2.2.1 ค่าความขาวของแป้งข้าวเหนียว โดยใช้เครื่อง KETT Digital Whiteness Meter Model C-100

1.2.2.2 ค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของฟลาว ดัดแปลงตามวิธีการของ Schoch (1964) (ดังภาคผนวก ก)

1.2.2.3 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวกับการเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้งข้าวเหนียว ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ตามวิธีการของ Bao *et al.* (2007) วิเคราะห์การเกิดเจลลิตีไนซ์เซชันของน้ำแป้งของตัวอย่างฟลาวข้าว ความเข้มข้นร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักแห้ง) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter ที่ช่วงอุณหภูมิ 30-110 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature, T_p) และอุณหภูมิที่

จุดสิ้นสุด (conclusion temperature, Tc) ของการเกิดเจลตีโนเซชัน (หน่วยเป็นองศาเซลเซียส) และพลังงานทั้งหมดของปฏิกิริยา (หน่วยเป็นจูลต่อกรัม)

1.2.2.4 คุณสมบัติด้านความหนืด (Pasting profile)

นำตัวอย่างแป้งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA-4) บริษัท New port Scientific 20227311 ตามวิธีการของ Newport scientific (1995) ใช้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้ง 11% โดยใช้ตัวอย่างแป้งข้าว 3 กรัม (ความชื้นร้อยละ 14) ผสมกับน้ำ 25 กรัม น้ำแป้งถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร็ว 12.2 องศาเซลเซียสต่อนาที รักษาให้อุณหภูมิคงที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 2.7 นาที กวนด้วยอัตราเร็ว 160 รอบต่อนาที ต่อจากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 12.2 องศาเซลเซียสต่อนาที นาน 2.1 นาที บันทึกค่าต่างๆ ดังนี้

- (1) Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัว หรือเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดเจลตีโนเซชัน
- (2) Peak viscosity คือ ค่าความหนืดสูงสุด
- (3) Trough คือ ค่าความหนืดต่ำสุด
- (4) Break down คือ ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด
(Breakdown = Peak viscosity – Trough viscosity)
- (5) Final viscosity คือ ค่าความหนืดสุดท้าย
- (6) Set back from trough หรือ ค่าความคงตัว คือ ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด (Setback from trough = Final viscosity – Trough viscosity)
- (7) Peak time คือ เวลาที่เกิดค่าความหนืดสูงสุด

1.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของ แป้งข้าวเหนียว ทั้ง 9 ตัวอย่าง โดยนำข้อมูลทางกายภาพและทางเคมี มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance : ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

2. การศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิ

2.1 การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวหอมมะลิ

เตรียมแป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 ด้วยวิธีการไม่แห้ง ตามภาพที่ 9

2.2 การเตรียมแป้งข้าวผสม

ในการทดลองนี้ได้เตรียมตัวอย่างแป้งข้าวผสม 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม จากแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และแป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 โดยผสมตามอัตราส่วนดังนี้ 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 โดยผสมตัวอย่างดังภาพที่ 10

ซึ่งแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิตามอัตราส่วนที่กำหนด



ผสมโดยใช้เครื่องผสมเป็นเวลานาน 15 นาที



บรรจุถุงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาพที่ 10 กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

2.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิ

นำตัวอย่างแป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพดังต่อไปนี้

2.3.1 คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิ

1) ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีการข้อ 1.2.1.2

2) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ดังภาคผนวก ก

2.3.2 คุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

1) สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาติไนซ์ ตามวิธีการข้อ 1.2.2.3

2) พฤติกรรมด้านความหนืด ตามวิธีการข้อ 1.2.2.4

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม 4 ตัวอย่าง โดยนำข้อมูลทางกายภาพและทางเคมี มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance : ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

3. การศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพของแบตเตอรี่เค็กที่ผลิตจากแป้งสาลี, แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิโดยใช้ไข่ไก่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง

3.1 การผลิตแบตเตอรี่เค็ก

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้นำแป้งผสมที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 มาผลิตแบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง (ตารางที่ 14) กรรมวิธีการผลิตดังภาพที่ 11

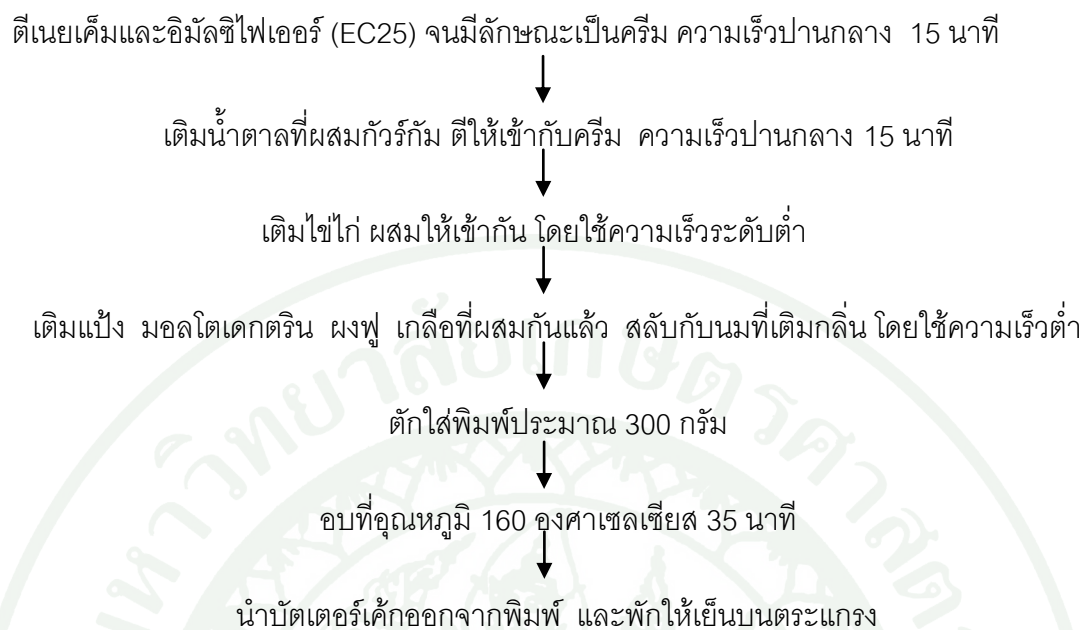
ผลิตภัณฑ์ขนมอบส่วนใหญ่มีไข่แดงเป็นส่วนผสมหลักซึ่งไข่จะทำหน้าที่ช่วยให้เค้กขึ้นฟูและเกิดโครงร่าง เป็นที่ทราบกันดีว่า ไข่แดงเป็นแหล่งของคอเลสเตอรอล ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ ปัจจุบันจำนวนผู้ป่วยที่ป่วยด้วยโรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจเป็นจำนวนมากขึ้น ดังนั้นถ้าหากมีการลดปริมาณไข่แดงในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่สนใจในเรื่องสุขภาพ ซึ่งแบตเตอรี่เค็กสูตรลดปริมาณไข่แดงได้มาจากการศึกษาของ ณัชนก (2549) ซึ่งใช้สูตรสำหรับการผลิตแบตเตอรี่เค็กสูตรลดพลังงานจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ

ตารางที่ 14 บัตเตอร์เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ส่วนผสม	ไข่ไก่ทั้งฟอง (%)	ลดปริมาณไข่แดง (%)
แป้ง*	17.8	17.8
เนยสดชนิดเค็ม	16	16
EC 25	4	4
น้ำตาลป่น	17.40	17.40
กัวร์กัม	0.60	0.60
มอลโตเดกตริน	8.60	8.60
ผงฟู	0.60	0.60
เกลือ	0.20	0.20
นมสดจืด	6.40	6.40
กลีเซอรีน	0.40	0.40
ไข่ไก่ทั้งฟอง	28.00	-
ไข่แดง	-	3.4
ไข่ขาว	-	24.6

หมายเหตุ: * หมายถึง แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ หรือแป้งข้าวเหนียว หรือแป้งสาลีระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

ที่มา: วัชนก (2549)



ภาพที่ 11 กรรมวิธีการผลิตแบตเตอรี่เค้ก

ที่มา: วัชชนก (2549)

3.2 การวัดค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแบตเตอรี่และแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

วัดค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแบตเตอรี่และแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ สูตรไข่ไก่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง ดังต่อไปนี้

3.2.1 แบตเตอรี่ (Batter)

3.2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

วัดค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง โดยเท แบตเตอร์ลงปึกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิเมตรให้เต็ม แล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่ได้ จากนั้นเท น้ำลงในปึกเกอร์ใบเดิมให้เต็ม นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่ได้ นำมาคำนวณค่าความ ถ่วงจำเพาะดังสมการ (Turabi *et al.*, 2008)

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของแบตเตอรี่}}{\text{น้ำหนักน้ำในปริมาตรเดียวกัน}}$$

3.2.2 ผลិតภัณฑ์เค็ก

3.2.2.1 สมบัติทางเคมี

3.2.2.1.1 ค่า Water activity (a_w)

วัดค่า Water activity ของตัวอย่างด้วยเครื่อง Water activity (Novasiana MS1-Aw, Switzerland) โดยบดตัวอย่างแบตเตอรี่เค็กให้ละเอียด ใส่ในตลับ วัดค่า ประมาณ $\frac{3}{4}$ ของตลับซึ่งมีซีตบอกระดับการใส่ตัวอย่าง และปิดฝาพับไว้ ทำการปรับ มาตรฐานของเครื่องทุกครั้งก่อนใช้งานโดยใช้เกลืออิ่มตัวมาตรฐานให้ครอบคลุมช่วงที่ทำการวัด เมื่อจะทำการวัด ใส่ตลับตัวอย่างในช่องที่วัดค่า Water Activity ทำการวัดค่า และบันทึกข้อมูล

3.2.2.1.2 ปริมาณความชื้น (moisture content)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีการ AOAC (2000)

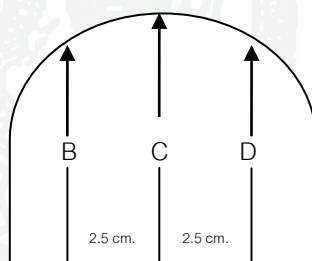
รายละเอียดการตรวจวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

3.2.2.2 คุณภาพทางกายภาพของแบตเตอรี่เค้ก

3.2.2.2.1 น้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักของตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กหลังอบด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยชั่งน้ำหนักแบตเตอรี่เค้กทั้งก้อน (Loaf) ที่พักจนเย็นแล้ว บันทึกน้ำหนักของแบตเตอรี่เค้กในหน่วยกรัม (g)

3.2.2.2.2 ดัชนีปริมาตร (Volume index) คำนวณค่าดัชนีปริมาตรของตัวอย่างตามวิธีการ AACC (2000) โดยตัดแบตเตอรี่เค้กออกเป็นแผ่นที่มีความหนา 1.5 เซนติเมตร วัดความสูงของแบตเตอรี่เค้ก 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง B, C และ D โดยตำแหน่ง C คือ ความสูง ณ จุดกึ่งกลางของแผ่น และจุด B และ D คือ ความสูง ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลาง 2.5 เซนติเมตรไปทางด้านซ้าย และขวาตามลำดับ จากนั้นคำนวณดัชนีปริมาตรได้ดังสมการ

$$\text{ดัชนีปริมาตร (ซม.)} = B + C + D$$



3.2.2.2.3 ปริมาตร (volume) ของเค้ก โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงาขาว ดัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) โดยเริ่มจากการวัดปริมาตรของภาชนะที่จะใช้วัดปริมาตรของแบตเตอรี่เค้ก (ภาชนะที่ใช้สามารถบรรจุแบตเตอรี่เค้กที่ต้องการวัดปริมาตรได้ทั้งก้อน) โดยใส่เมล็ดงาขาวให้เต็มภาชนะ แล้วปาดผิวด้านบนให้เรียบ วัดปริมาตรของเมล็ดงาขาวที่เหลืออยู่โดยใช้กระบอกตวง บันทึกปริมาตรเมล็ดงาขาวที่เหลืออยู่เป็นค่าปริมาตรของแบตเตอรี่เค้ก ในหน่วยของลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) โดยเทียบจากปริมาตร 1 มิลลิลิตร (ml) มีค่าเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) คำนวณค่าปริมาตรของเค้กตามสูตรดังต่อไปนี้

ปริมาตร (cm³) = ปริมาตรงาเริ่มต้น – ปริมาตรงาหลังแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์

3.2.2.2.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ของเค้ก
คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะของตัวอย่างบัตเตอร์ในหน่วยของลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (cm³/g)
ดังสมการ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (cm}^3\text{/g)} = \frac{\text{ปริมาตรของเค้ก (cm}^3\text{)}}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (g)}}$$

3.2.2.2.5 ความหนาแน่น (Density) คำนวณค่าความหนาแน่น
ของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กในหน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) ดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของบัตเตอร์เค้ก (g)}}{\text{ปริมาตรของบัตเตอร์เค้ก (cm}^3\text{)}}$$

3.2.2.2.6 ค่าสี วัดค่าสีในระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง
Automatic Reflectance Colorimeter Model RT 100 แหล่งกำเนิดแสง D65 ค่าที่วัดได้แก่ L*
(ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีดำ, 100 หมายถึง วัตถุที่มีความ
สว่างสีขาว), a* (+ หมายถึง วัตถุที่มีสีออกแดง, - หมายถึง วัตถุที่มีสีออกเขียว) และ b* (+
หมายถึง วัตถุที่มีสีออกเหลือง, - หมายถึง วัตถุที่มีสีออกน้ำเงิน) เตรียมตัวอย่างโดยหั่นบัตเตอร์
เค้กให้เป็นแผ่นแต่ละแผ่นหนา 1.5 เซนติเมตร วางบัตเตอร์เค้กลงบนแผ่นกระดาษสีขาว จากนั้นนำ
หัววัดวางแนบลงบนผิวบัตเตอร์เค้ก วัดค่าสีซ้ำ 3 จุด/ชิ้น วัดจำนวน 3 ชิ้น

3.3 การวัดค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี
(ตัวอย่างเชิงการค้า) บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้ก
แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

วัดค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี (ตัวอย่างเชิงการค้า 4 ตัวอย่าง ได้แก่ S&P, Gateaux, Lerpang และ Foodland) บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสุตรลดปริมาณไข่แดง โดยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส (Lloyd Instrument) Model TA 500 ใช้หัว Cylinder Probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทาง 9 มิลลิเมตร (60% deformation) เตรียมตัวอย่างโดยหั่นตัวอย่างให้มีขนาด 15 x 15 x 15 มิลลิเมตร บันทึกค่าความแข็ง (Hardness), ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness), ความยืดหยุ่น (Springiness), ความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness), ความสามารถในการเกาะติด (Adhesiveness) และ ความเหนียว (Gumminess) ทำการวัดค่า 10 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.4.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของ บัตเตอร์เค้กจาก แป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม และบัตเตอร์เค้กแป้งสาลี 4 ตัวอย่าง โดยนำข้อมูลทางเคมี ทางกายภาพและค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance : ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

3.4.2 นำข้อมูลด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก จากแป้งสาลี (ตัวอย่างเชิงการค้า 4 ตัวอย่าง) บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวผสม ระหว่าง แป้งข้าวเหนียว กับแป้งข้าวหอมมะลิ สุตรลดปริมาณไข่แดง มาจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี Cluster Analysis แบบ Hierarchical Cluster Analysis ร่วมกับการวิเคราะห์เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA)

3.4.3 นำข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอร์ ค่า Water activity ปริมาณความชื้น ดัชนีปริมาตร ปริมาตรจำเพาะ ค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งของบัตเตอร์เค้กสุตร

ไข่ไก่ทั้งฟองเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง โดยการ เปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 ตัวอย่าง (t-test)

4. ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิ ตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว กับแป้งข้าวหอมมะลิ สูตรลดปริมาณไข่แดง และตัวอย่างบัตเตอร์เค้กเชิงการค้า

4.1 ตัวอย่างบัตเตอร์เค้กที่ใช้ทดสอบ

4.1.1 บัตเตอร์เค้กที่ผลิตในห้องปฏิบัติการ

บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง จำนวน 6 ตัวอย่าง ได้แก่ บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวเหนียว , บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวหอมมะลิ และบัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวผสม ระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิที่อัตราส่วน 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80

4.1.2 บัตเตอร์เค้กเชิงการค้า

บัตเตอร์เค้กที่จำหน่ายใน เชิงการค้า ที่ผลิตจากแป้งสาลีจำนวน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ยี่ห้อเอสแอนด์พี (S&P), ยี่ห้อกาโตว (gateaux), ยี่ห้อเลอแปง (Lerpang) และ ยี่ห้อฟู๊ดส์แลนด์ (Foodland)

4.2 การทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive test)

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส สเชิงพรรณนา (Generic Descriptive Analysis) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 7 คน จากหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Sensory and Consumer Research Unit- KUSCR) เตรียมตัวอย่างบัตเตอร์เค้กโดยนำบัตเตอร์เค้กมาหั่นเป็นแผ่นมีความหนา 1.5 เซนติเมตร จากนั้นนำมาตัดขอบทุกด้านออก แล้วหั่นเนื้อบัต

เตอร์เค้กให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 1.5x1.5x1.5 เซนติเมตร ตัวอย่างที่หั่นแล้วจะเก็บไว้ในกล่องพลาสติกมีฝาปิด และปราศจากกลิ่น กำกับริสให้กั บตัวอย่างโดยใช้เลขสุ่ม 3 หลัก ขึ้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็นช่วงต่างๆ ดังนี้

4.2.1 การพัฒนาคำศัพท์ คำจำกัดความ วิธีการประเมินและตัวอย่างอ้างอิง

ผู้ทดสอบจะเริ่มพัฒนาคำศัพท์จากตัวอย่างบัตเตอร์เค้กที่ได้รับแล้วบันทึกลักษณะของตัวอย่างตามความรู้สึกโดยครอบคลุมถึงลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ความรู้สึกภายในปาก ความรู้สึกตักค้างภายในปาก และ เนื้อสัมผัส รวบรวมผลของลักษณะทั้งหมดที่พบ ตัดคำซ้ำหรือคำที่มีความหมายเหมือนกันออกรวมทั้งตัดลักษณะที่มีผู้พบเพียงคนเดียวออกและสรุปลักษณะเพื่อใช้ต่อไป จากนั้นให้คานิยามคำศัพท์หรือความหมายคำศัพท์ของลักษณะเหล่านั้น วิธีการประเมินและกำหนดตัวอย่างอ้างอิงและสเกลของตัวอย่างอ้างอิงที่เป็นตัวแทนของคำศัพท์นั้นๆ กำหนดทิศทางของสเกลเช่น น้อยไปมากหรืออ่อนไปเข้ม ใช้สเกลการให้คะแนนแบบตัวเลข 0-15 ซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงๆ ช่วงละ 0.5 คะแนน

4.2.2 การฝึกฝนผู้ทดสอบ

ฝึกฝนผู้ทดสอบเกี่ยวกับลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆที่ได้พัฒนาขึ้นทีละลักษณะ โดยใช้ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก 10 ตัวอย่าง ฝึกฝนให้ผู้ทดสอบเกิดความคุ้นเคยและทำความเข้าใจร่วมกันเกี่ยวกับคำศัพท์ที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งฝึกการให้คะแนนระดับความเข้มของแต่ละลักษณะ โดยให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่าง และแต่ละคนให้คะแนนระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ลงใน แบบทดสอบ จากนั้นชานคะแนนร่วมกันแล้วหาข้อสรุปสำหรับระดับความเข้มของแต่ละลักษณะ หากผู้ทดสอบคนใดให้คะแนนแตกต่างออกจากรู่ม ให้ทดสอบตัวอย่างนั้นเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงใหม่ แล้วปรับระดับการให้คะแนนให้ใกล้เคียงกับคะแนนของทั้งกรู่มมากขึ้น ทำการฝึกฝนต่อจนกระทั่งผู้ทดสอบทั้ง 7 คน มีการให้คะแนนในแต่ละลักษณะใกล้เคียงกัน และเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.2.3 การทดสอบตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก

นำตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก 10 ตัวอย่าง มาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดยนำเสนอตัวอย่างโดยสุ่มเลขรหัส 3 หลัก ผู้ทดสอบจะได้รับทีละตัวอย่าง และทำการประเมินตัวอย่างความเข้มตามลำดับการเกิดโดยเริ่มจาก ประเมินลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ความรู้สึกภายในปาก ความรู้สึกตักค้างภายในปาก และ เนื้อสัมผัส โดยทดสอบตัวอย่าง อย่างน้อย 1/2 ซึ้น เมื่อเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ผู้ทดสอบจะต้องดื่มน้ำ และพักระหว่างตัวอย่าง 15 นาที ทำการทดสอบตัวอย่างละ 2 ซึ้น

4.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) โดยใช้

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) สำหรับข้อมูลที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัส และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างยี่ห้อด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

4.3.2 นำข้อมูลด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กมาจัด

กลุ่มตัวแปรด้วยวิธี Cluster Analysis แบบ Hierarchical Cluster Analysis ร่วมกับการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA)

5. ศึกษาความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสุตรลดปริมาณไข่แดง

5.1 การวางแผนการทดสอบความชอบ

ทำการทดสอบความชอบแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองและสุตรลดปริมาณไข่

แดง โดยวิธีการทดสอบแบบ Central location test บัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟองทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 240 คน และบัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดงทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 240 คน ณ โรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วางแผนการทดสอบ ความชอบจากผู้บริโภคแบบ Balance incomplete block design augmented with a control ($t+1 = 7$, $k+1 = 4$, $r = 5$, $b = 10$) (Gacula *et al.*, 2008) ผู้บริโภคจะได้รับตัวอย่างบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวคนละ 3 ตัวอย่าง และบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี 1 ตัวอย่าง (ตัวอย่างควบคุม) ตัวอย่างบัตเตอร์เค้กถูกตัดให้มีขนาด $1.5 \times 3 \times 5$ cm ผู้บริโภคประเมินตัวอย่างในคุณลักษณะด้านการขึ้นฟู ความนุ่ม ความชุ่มชื้น และความชอบรวม โดยใช้สเกล 9-point hedonic scale (1-ไม่ชอบมากที่สุด, 9-ชอบมากที่สุด) นอกจากนี้ผู้บริโภครับประเมินความพอดี (Just About Right) ของตัวอย่างในคุณลักษณะด้านการขึ้นฟู ความนุ่ม และความชุ่มชื้น และผู้บริโภครับจะถูกถามในเรื่องการยอมรับผลิตภัณฑ์ (ยอมรับ/ไม่ยอมรับ) และการตัดสินใจซื้อ (ซื้อ/ไม่ซื้อ) ผลิตภัณฑ์โดยใช้สเกล Binomial

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.2.1 นำข้อมูลคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่างๆ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างยี่ห้อมด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

5.2.2 Logistic regression นำมาใช้วิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสว่าคุณลักษณะใดที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและตัดสินใจซื้อ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

5.2.3 Mean drop และ Total penalty เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่ต้องปรับปรุงของผลิตภัณฑ์

5.2.4 Signal-to-noise ratio (SNR) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนน ความชอบ กับคะแนนความพอดี (JAR-Score)

5.2.5 การวิเคราะห์โอกาส (Opportunity analysis) เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่มีโอกาสนำไปปรับปรุงจากนั้นนำคุณลักษณะดังกล่าวไปวิเคราะห์ทิศทางปรับปรุงโดยใช้ Binomial test

5.2.6 การวิเคราะห์ผังความชอบ (preference mapping)

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (ผลการทดลองข้อ 4) และ ผลการทดสอบความชอบ (ผลการทดลองข้อ 5) ของตัวอย่างบัวเตอรืเค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว แป้ง ข้าว ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลีสู่ตรลด ปริมาณไข่แดง โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ความถดถอย แบบที่ 1 (Partial Least Square ; PLS-1) ข้อมูลที่ได้จะแสดงผลการวิเคราะห์โดยแผนภาพความชอบ (Preference mapping) ซึ่ง plot ระหว่างความชอบโดยรวมกับ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส การหาความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าวเป็นการหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของการสร้างแผนภาพความชอบภายนอก (External preference mapping)

6. การสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความหนืด และสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

6.1 การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวผสม

เตรียมตัวอย่างแป้งข้าวผสมตามขั้นตอนดังภาพที่ 9 โดยเตรียมตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม ตัวอย่างแป้งข้าวผสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่

ชุดที่ 1 คือ ชุดสร้างสมการ ประกอบด้วย แป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร และ แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กัน (ตารางที่ 14) รวมตัวอย่างแป้งข้าวที่ใช้ในชุดสร้างสมการทั้งหมด 61 ตัวอย่าง

ชุดที่ 2 คือ ชุดตรวจสอบความถูกต้อง ประกอบด้วยแป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร และ แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กัน (ตารางที่ 15) รวมตัวอย่างแป้งข้าวผสมที่ใช้ในชุดตรวจสอบความถูกต้อง 31 ตัวอย่าง

ตารางที่ 15 อัตราส่วนผสมของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 กับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่างแป้งข้าวผสม	ชุดสร้างสมการ (Calibration)	ชุดตรวจสอบความถูกต้อง (Prediction)
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว (พันธุ์ กข 6)	95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30, 65:35, 60:40, 55:45, 50:50, 45:55, 40:60, 35:65, 30:70, 25:75, 20:80, 15:85, 10:90, 5:95	90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว (พันธุ์สกลนคร)	95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30, 65:35, 60:40, 55:45, 50:50, 45:55, 40:60, 35:65, 30:70, 25:75, 20:80, 15:85, 10:90, 5:95	90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ตัวอย่างแป้งข้าวผสม	ชุดสร้างสมการ (Calibration)	ชุดตรวจสอบความถูกต้อง (Prediction)
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว (พันธุ์เหนียวอุบล)	95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30, 65:35, 60:40, 55:45, 50:50, 45:55, 40:60, 35:65, 30:70, 25:75, 20:80, 15:85, 10:90, 5:95	90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90

6.2 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของแป้งข้าวผสม

นำตัวอย่างแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล และแป้งข้าวผสมที่เตรียมได้จากข้อ 6.1 วัดคุณภาพดังต่อไปนี้

6.2.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาติไนซ์ ตามวิธีการข้อ 1.2.2.3

6.2.2 คุณสมบัติด้านความหนืด ตามวิธีการข้อ 1.2.2.4

6.3 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของแป้งข้าวด้วยเครื่อง Near infrared spectrometer

นำตัวอย่างแป้งข้าวชุดสร้างสมการจำนวน 61 ตัวอย่างและตัวอย่างแป้งข้าวชุดทำนายจำนวน 31 ตัวอย่าง ที่เตรียมได้จากข้อ 6.1 มาวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยบรรจุตัวอย่างลงในที่ใส่ตัวอย่าง Standard closed cup สำหรับตัวอย่างชนิดผง ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR (InfraAlyzer 500) ทำการวัดด้วยหลักการสะท้อนของแสง (Reflectance) ทดสอบตัวอย่าง 2 ซ้ำ ทำการบันทึกค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยที่ได้ในช่วงคลื่นอินฟราเรด 1100 – 2500 นา

โนเมตร ทำการบันทึกค่าการดูดแสงห่างช่วงละ 2 นาโนเมตร ของแต่ละหน่วยตัวอย่าง ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จำนวน 701 ค่า จะบันทึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SESAME® รุ่น 3.1

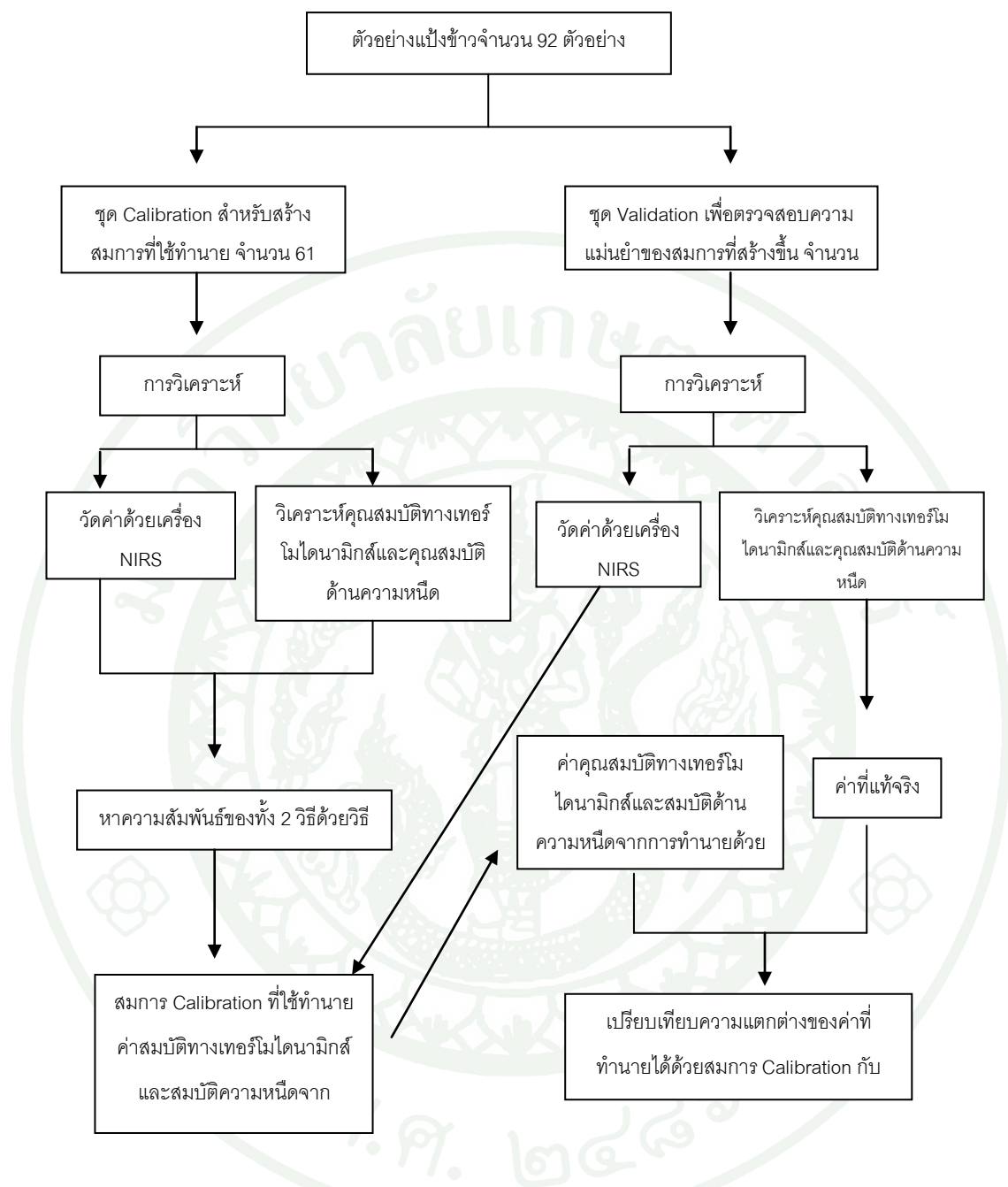
6.4 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพที่ทำการศึกษา

การสร้างสมการทำนายค่าสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และสมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวเหนียว จำนวน 61 ตัวอย่าง โดยนำข้อมูลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่อง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ทำการบันทึกค่าการดูดกลืนแสงห่างช่วงละ 2 นาโนเมตร จำนวนทั้งสิ้น 701 ค่า จากข้อ 6.3 (กลุ่มตัวแปรอิสระ) กับข้อมูลเฉลี่ยของค่าคุณภาพในด้านคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และสมบัติด้านความหนืดของแป้งในข้อ 6.2.1 และ 6.2.2 (ตัวแปรตาม) นำข้อมูลกลุ่มตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติ โดย การสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้วยวิธีทางสถิติ Partial Least Squares (PLS) Regression โดยใช้โปรแกรม Unscrambler 9.8

6.5 การตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น

จากผลการสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพ (ข้อ 6.4) ต้องมีการทวนสอบว่าสมการที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำมาทำนายค่าคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และคุณสมบัติด้านความหนืดของข้อมูลชุดอื่นได้หรือไม่ การตรวจสอบความแม่นยำของ สมการที่สร้างขึ้นของคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และสมบัติด้านความหนืด ของตัวอย่าง แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวเหนียว (จากผลการทดลองข้อ 6.4) ตัวอย่างแป้งชุดตรวจสอบความถูกต้องจำนวน 31 ตัวอย่างนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และ

คุณสมบัติด้านความหนืด ทำการเปรียบเทียบค่าคุณภาพที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่สร้างขึ้น จากสเปคตรัม NIRS (predicted value) กับค่าสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และสมบัติด้านความหนืดที่วิเคราะห์ได้จริง การตรวจสอบความแม่นยำของสมการจะพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Standard Error of Prediction; SEP) และค่าความแตกต่าง (Bias) ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการกับค่าสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่วิเคราะห์ได้จริง สมการที่สร้างขึ้นที่มีความแม่นยำมากควรมีค่า SEP และค่า Bias ต่ำ (Hruschka,1990) ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายค่าคุณภาพและการตรวจสอบความแม่นยำของสมการ แสดงดังแผนภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการ สร้างสมการที่ใช้ในการทำนายค่าคุณภาพโดยหาความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างการวัดค่าด้วยเครื่อง NIRS กับการวิเคราะห์ คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ และคุณสมบัติด้านความหนืด และการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ได้

6.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมที่วัดได้จากเครื่อง NIRS กับคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และคุณสมบัติด้านความหนืด โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ความถดถอย แบบที่ 1 (Partial Least Square ; PLS-1)

8. สถานที่ทำวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวจากข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ ได้แก่ ปริมาณ ความชื้นโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์ พบว่า มีความแตกต่างกัน ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟลาวข้าวมีความชื้นร้อยละ 8.76 - 10.13 เถ้า 0.22 - 0.41 โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.11 - 0.55 โดยน้ำหนักแห้ง เส้นใยร้อยละ 1.44 - 2.63 โดยน้ำหนักแห้ง และ ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.88 - 9.53 โดยน้ำหนักแห้ง (ดังตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ ในเรื่องปริมาณความชื้น ปริมาณ
 เถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย และปริมาณโปรตีนเทียบต่อร้อยละของน้ำหนัก
 ตัวอย่างแห้ง

ตัวอย่างฟลาว ข้าวพันธุ์	องค์ประกอบทางเคมี (เทียบต่อร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)				
	ความชื้น	เถ้า	ไขมัน	เส้นใย	โปรตีน
กข 6	8.76 ± 0.01 ^e	0.41 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.05 ^a	2.63 ± 0.43 ^a	7.99 ± 0.21 ^{cd}
กข 10	8.91 ± 0.02 ^{de}	0.32 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.09 ^c	2.29 ± 0.69 ^{ab}	6.88 ± 0.08 ^f
เหนียวแพร์ 1	9.69 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.03 ^{ef}	0.11 ± 0.03 ^d	2.13 ± 0.33 ^{abc}	7.14 ± 0.13 ^{ef}
เหนียวสันป่า ตอง	9.08 ± 0.01 ^{cd}	0.22 ± 0.01 ^f	0.36 ± 0.01 ^{bc}	2.07 ± 0.26 ^{abcd}	8.28 ± 0.14 ^c
สกลนคร	10.07 ± 0.38 ^a	0.38 ± 0.02 ^{ab}	0.13 ± 0.03 ^d	1.51 ± 0.19 ^{cd}	8.91 ± 0.30 ^b
หางยี 71	9.27 ± 0.02 ^c	0.31 ± 0.01 ^{cd}	0.37 ± 0.11 ^{bc}	1.42 ± 0.24 ^d	9.53 ± 0.71 ^a
สันป่าตอง 1	10.13 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.02 ^{def}	0.42 ± 0.06 ^b	1.44 ± 0.04 ^{cd}	7.59 ± 0.55 ^{de}
กข 8	9.09 ± 0.02 ^{cd}	0.34 ± 0.05 ^{bc}	0.29 ± 0.01 ^c	1.48 ± 0.13 ^{cd}	7.43 ± 0.04 ^{def}
เหนียวอุบล 2	9.07 ± 0.02 ^{cd}	0.29 ± 0.05 ^{cde}	0.44 ± 0.01 ^b	1.80 ± 0.42 ^{bcd}	7.51 ± 0.33 ^{def}

หมายเหตุ: a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธี Concanavalin A (Con A) อาศัยสมบัติความแตกต่างของขนาดโมเลกุลระหว่างอะมิโลส และอะมิโลเพกติน โดย Con A จะมีความสามารถในการจับกับสารที่มีโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ อะมิโลเพกติน ทำให้โมเลกุลของอะมิโลเพกติน ตกตะกอนและสามารถแยกออกจากอะมิโลสได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสแสดง ดัง

ตารางที่ 17 จากปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Con A นี้ พบว่าแบ่งข้าวเหนียว 9 พันธุ์มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วง ร้อยละ 2.80 – 4.60 โดยน้ำหนักแห้ง แบ่งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำสุด คือ แบ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (ร้อยละ 2.80 โดยน้ำหนักแห้ง) และมากขึ้นตามลำดับ คือ กข 10, เหนียวแพร่ 1, เหนียวสันป่าตอง, สกลนคร, หางยี 71, สันป่าตอง 1, กข 8 และเหนียวอุบล ซึ่งเป็นแบ่งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสมากที่สุด (ร้อยละ 4.60 โดยน้ำหนักแห้ง) โดยแบ่งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์สามารถจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ซึ่งข้าวในกลุ่มนี้มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 0 -5 โดยน้ำหนักแห้ง (Juliano, 1993) โดยข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะให้เนื้อสัมผัสของข้าวที่นุ่มและเหนียวกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง นอกจากนี้ปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้จากกรรมกรข้าว (2550) ซึ่งใช้วิธีการเกิดสีกับไอโอดีน เนื่องจากวิธีการ Concanavalin A (Con A) จะให้ค่าต่ำกว่าการเกิดสีกับไอโอดีน เนื่องจากวิธีการ Con A อาศัยคุณสมบัติความแตกต่างของขนาดโมเลกุลระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพกติน โดยอะมิโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลสสามารถตกตะกอนและแยกออกมาจากอะมิโลสได้ด้วยสาร Concanavalin A (Con A) แล้วจึงวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยวิธีเอนไซม์ ในขณะที่วิธีการเกิดสีกับไอโอดีนให้ค่ามากกว่าการใช้ Con A เนื่องจากองค์ประกอบของอะมิโลเพกตินที่มีขนาดสายโซ่บางส่วนยาวและสามารถจับกับไอโอดีนได้เช่นเดียวกับอะมิโลส จึงทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าค่าที่ควรจะเป็น

ตารางที่ 17 ปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์เทียบต่อร้อยละปริมาณสตาร์ช

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวพันธุ์	ปริมาณอะมิโลส (เทียบต่อร้อยละปริมาณสตาร์ช)
กข 6	2.80 ± 0.14 ^a
กข10	3.15 ± 0.07 ^{ab}
เหนียวแพร่ 1	3.20 ± 0.14 ^{ab}
เหนียวสันป่าตอง	3.35 ± 0.07 ^{ab}
สกลนคร	3.90 ± 0.14 ^c
หางยี 71	4.05 ± 0.07 ^{cd}
สันป่าตอง 1	4.30 ± 0.14 ^{cde}
กข 8	4.40 ± 0.14 ^{de}
เหนียวอุบล 2	4.60 ± 0.14 ^e

หมายเหตุ: a-e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

1.3 ค่าความขาว

วิเคราะห์ค่าความขาวแป้งข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง KETT Digital Whiteness Meter Model C-100 ซึ่งอาศัยหลักการการสะท้อนแสงกลับ (reflective index) ของพื้นผิวตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าความขาวของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวพันธุ์	ค่าความขาว
กข 6	88.90 ± 0.08 ^d
กข 10	88.10 ± 0.00 ^e
เหนียวแพร่ 1	90.90 ± 0.08 ^a
เหนียวสันป่าตอง	90.38 ± 0.10 ^c
สกลนคร	85.20 ± 0.15 ^h
หางยี 71	87.00 ± 0.00 ^g
สันป่าตอง 1	87.68 ± 0.10 ^f
กข 8	88.95 ± 0.06 ^d
เหนียวอุบล 2	90.65 ± 0.06 ^b

หมายเหตุ: a-h หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ค่าความขาวของแป้งข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความขาวของแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 87.00 – 90.90 โดยค่าความขาวยิ่งสูงแสดงว่าฟลาวอยด์มีความขาวมาก ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเหนียวค่อนข้างมีความขาว

1.4 ค่าร้อยละการละลายและค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเหนียว

ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการละลายและค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์ ที่อุณหภูมิ 85°C แสดงผลดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าร้อยละของการละลายและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวพันธุ์	ร้อยละการละลาย	ร้อยละกำลังการพองตัว
กข 6	9.99 ± 0.16 ^a	11.96 ± 0.10 ^a
กข 10	8.71 ± 0.89 ^b	11.32 ± 0.41 ^a
เหนียวแพร่ 1	7.32 ± 0.29 ^c	11.46 ± 0.17 ^a
เหนียวสันป่าตอง	7.35 ± 0.23 ^c	11.49 ± 0.29 ^a
สกลนคร	6.38 ± 0.31 ^d	10.28 ± 0.12 ^b
หางยี 71	4.71 ± 0.50 ^e	10.07 ± 0.27 ^{bc}
สันป่าตอง 1	4.99 ± 0.08 ^e	9.80 ± 0.35 ^{bc}
กข 8	4.58 ± 0.22 ^e	9.39 ± 0.94 ^{cd}
เหนียวอุบล 2	4.22 ± 0.16 ^e	8.72 ± 0.46 ^d

หมายเหตุ: a-e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อให้ความร้อนแก่เม็ดแป้ง ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน โมเลกุลของน้ำสามารถเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งจึงเกิดการพองตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และของแข็งบางส่วนของสตาร์ชจะละลายออกมา กำลังการพองตัวจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของสารที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (กล้านรงค์และเกื้อกุล, 2543) โดยสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน เมื่อ

พิจารณาค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์ พบว่าค่ากำลังการพองตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีค่ากำลังการพองตัวและการละลายสูงสุด ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล 2 มีค่าต่ำที่สุด ค่ากำลังการพองตัวจะลดลงเมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะมิโลสจะยับยั้งการพองตัวของสตาร์ช (Tester and Morrison, 1990) หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ซึ่งอะมิโลเพกตินมีหมู่ไฮดรอกซิล จำนวนมากสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี ทำให้แป้งสามารถพองตัวได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณอะมิโลสต่ำสุด ทำให้มีค่ากำลังการพองตัวสูงสุด (ยุพินทรา, 2550 และ พัชรา, 2547) ซึ่งนอกจากนี้ถ้าในสตาร์ชมีไขมันอยู่สูง ค่ากำลังการพองตัวจะมีแนวโน้มสูงขึ้น (ตารางที่ 19) ซึ่งอะมิโลสสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส เป็น amylose-lipid complex เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้ง ซึ่งจะยับยั้งและชะลอการพองตัวของเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์, 2543)

1.5 สมบัติการเกิดเจลลาคีโนซีเซชัน

จากการวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลลาคีโนซีเซชันโดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter โดยวัดช่วงอุณหภูมิและปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้แป้งข้าวเหนียวเปลี่ยนสถานะในสภาพที่มีน้ำมากเกินพอ บันทึกค่าอุณหภูมิ 3 ค่าคือ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาคีโนซีเซชัน (Onset temperature, T_o), อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีโนซีเซชันสูงสุด (Peak temperature, T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาคีโนซีเซชัน และค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาคีโนซีเซชัน (Enthalpy, ΔH) ซึ่งกระบวนการเกิดเจลลาคีโนซีเซชันของฟลาวแป้งข้าวเหนียวเป็นกระบวนการดูดความร้อน (endothermic enthalpy) แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวพันธุ์	ค่าเทอร์โมไดนามิกส์			
	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C) ^{ns}	ΔH (J/g) ^{ns}
กข 6	60.96±0.99 ^c	67.72±0.74 ^{ab}	75.22±0.36	9.44±0.13
กข10	61.98 ±0.01 ^{ab}	68.37±0.02 ^{ab}	74.55±0.03	9.73±0.86
เหนียวแพร่ 1	61.75±0.17 ^{ab}	68.94±0.11 ^a	75.43±0.52	9.80±0.03
เหนียวสันป่าตอง	61.79±0.11 ^{ab}	67.62±0.34 ^{ab}	74.21±0.62	9.64±0.16
สกลนคร	62.70±1.27 ^a	67.44±1.47 ^b	73.95±0.13	10.03±0.99
หางยี 71	62.70±0.28 ^a	66.23±0.18 ^c	73.33±0.25	10.11±0.32
สันป่าตอง 1	59.81±0.24 ^c	67.68±0.25 ^{ab}	74.56±1.74	10.16±0.27
กข 8	61.30±0.06 ^b	67.23±0.16 ^b	73.35±0.28	10.17±0.81
เหนียวอุบล 2	61.61±0.18 ^{ab}	67.84±0.01 ^{ab}	73.76±0.01	11.46±0.04

หมายเหตุ: a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

To (°C) หมายถึง อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (Onset Temperature)

Tp (°C) หมายถึง อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (Peak Temperature)

Tc (°C) หมายถึง อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (Conclusion Temperature)

ΔH (จูล/กรัม) หมายถึง พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาตินไนซ์

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งข้าวเหนียว พบว่าพีคที่หนึ่งจะเป็นพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะหรือเจลลาตินไนซ์เซชันของฟลาว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างที่เป็นระเบียบที่พบในส่วนผลึกของโมเลกุลอะมิโลเพกติน โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งข้าวเหนียวจะเกิดขึ้นช่วงอุณหภูมิ 59.81-62.70 °C อุณหภูมิสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 73.33 – 75.43°C นอกจากนี้จะมี โลสที่มีอยู่ในโครงสร้างของเม็ดแป้ง สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมันได้ ทำให้เม็ดแป้ง มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงทำให้เกิดเจลลาตินไนซ์เซชันที่อุณหภูมิสูง

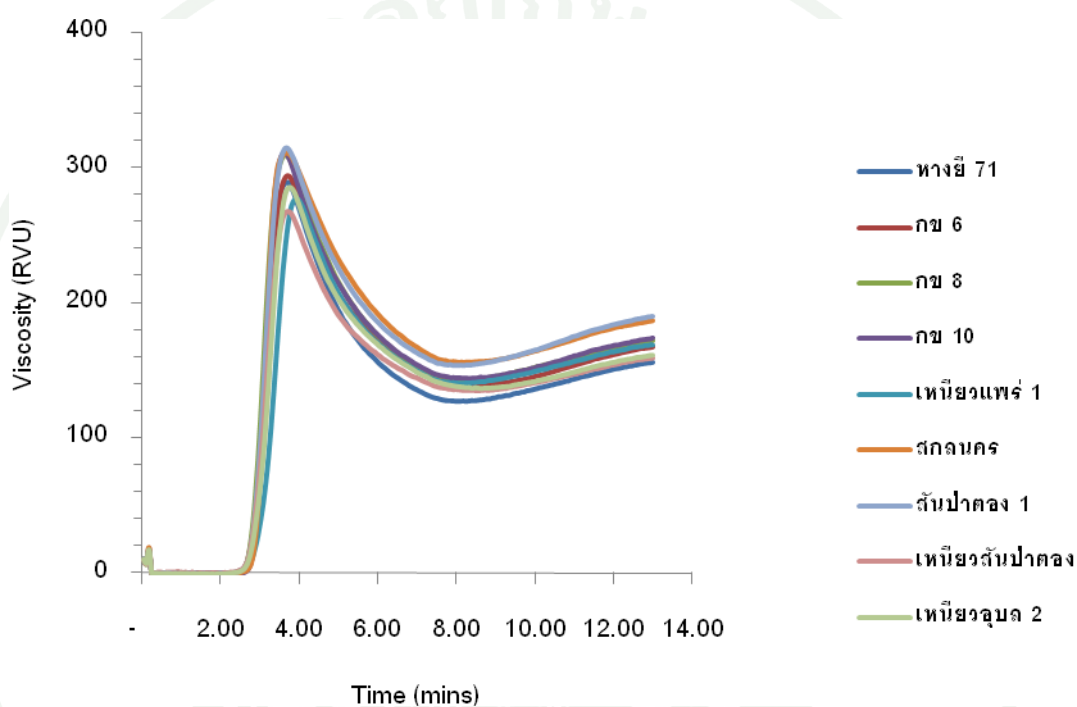
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวพบว่า อยู่ในช่วง 66.23 – 68.94 °C อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง จะมีแนวโน้มสูงกว่า แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ สำหรับพลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งข้าวเหนียวพบว่า แป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีแนวโน้มในการใช้พลังงานสูงกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ

พลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (ΔH) บอกถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งเกิดการแตกแยก (Zobel, 1988) หรือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายโครงสร้างผลึกในสภาวะที่เกิดเจลลาตินไนซ์ พลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) พลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพบว่า อยู่ในช่วง 9.44-11.46 จูล/กรัม โดยแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ใช้พลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์ต่ำสุด ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวอุบล 2 ใช้พลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์สูงสุด

1.6 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียว

ความหนืดจัดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งในสภาวะที่มีน้ำและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยการให้ความร้อนและการทำให้เย็น การวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความหนืดเป็นกราฟและแสดงค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting

temperature) ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown) ความหนืดสูงสุดเมื่อแป้งเย็นตัวลง (Final viscosity) การคงตัวของแป้ง (Setback from trough) และเวลาที่เกิดค่าความหนืดสูงสุด (Peak time) ผลของความหนืดแป้งข้าวเหนียวแสดงผลดังภาพที่ 13 ตารางที่ 21



ภาพที่ 13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

ตารางที่ 21 สมบัติความหนืดของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว พันธุ์	คุณสมบัติ					Peaktime (mins)	Pasting temperature (°C)
	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback from trough (RVU)		
กข 6	294.36±5.81 ^b	138.81±2.77 ^{de}	155.56±3.18 ^{bc}	167.28±3.42 ^c	28.47±1.68 ^b	3.73±0.07 ^{bc}	68.77±0.46 ^c
กข 10	311.36±3.13 ^a	144.30±0.46 ^b	167.33±3.11 ^a	174.00±2.82 ^b	29.97±2.85 ^b	3.62±0.04 ^d	69.90±0.52 ^{ab}
เหนียวแพร่ 1	276.81±1.52 ^{cd}	149.92±1.17 ^{cd}	136.87±1.93 ^d	168.33±2.24 ^c	28.42±1.08 ^b	3.96±0.04 ^a	70.15±0.90 ^a
เหนียวสันป่าตอง	315.06±9.55 ^a	153.39±1.65 ^d	161.67±7.95 ^{ab}	189.92±3.23 ^a	36.53±1.72 ^a	3.69±0.04 ^{cd}	68.80±0.43 ^c
สกลนคร	311.14±1.86 ^a	115.58±2.33 ^a	155.56±2.27 ^{bc}	186.83±0.42 ^a	31.25±2.02 ^b	3.67±0.00 ^{cd}	70.43±0.49 ^a
หางยี 71	289.33±3.47 ^b	127.81±0.97 ^d	162.53±2.58 ^{ab}	155.83±2.91 ^e	29.03±2.13 ^b	3.71±0.04 ^{bc}	68.80±0.44 ^c
สันป่าตอง 1	267.03±7.63 ^d	134.39±2.28 ^f	132.64±6.04 ^d	158.61±3.04 ^{de}	24.22±1.07 ^c	3.73±0.00 ^{bc}	68.73±0.49 ^c
กข 8	308.81±1.92 ^b	142.42±0.33 ^{bc}	166.39±1.64 ^a	171.75±0.88 ^{bc}	29.33±0.55 ^b	3.67±0.00 ^{cd}	68.50±0.75 ^c
เหนียวอุบล 2	285.03±9.18 ^{bc}	136.31±2.24 ^{ef}	148.72±7.38 ^c	160.97±4.30 ^d	24.67±2.27 ^c	3.78±0.04 ^b	69.07±0.49 ^{bc}

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(p≤0.05)

(1) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature)

อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด หรืออุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องใช้ในการทำให้แป้งสุก (Newport Scientific, 1995) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความหนืดอยู่ในช่วง $68.50 - 70.43$ °C ฟลาวข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืดจะสูงกว่าฟลาวข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากกว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับช่วงอุณหภูมิที่เกิดการเจลาติไนซ์เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (ตารางที่ 20)

กระบวนการเกิดเจลาติไนซ์เป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยเริ่มจาก ส่วนออสซิลลูแลนจะเริ่มดูดน้ำและพองตัวขึ้นเมื่อได้รับความร้อน การพองตัวหรือขยายตัวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งที่มีค่ากำลังการพองตัวสูงและพองตัวได้เร็วจะส่งผลให้โครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย และน้ำแป้งจะเริ่มมีความข้นหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งที่มีกำลังการพองตัวต่ำ (Svensson and Eliasson, 1995)

(2) ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

ค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมอาหาร (Newport Scientific, 1995) จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วง $267.03 - 315.06$ RVU

ฟลาวข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงมีแนวโน้มที่จะมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่า แป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ เนื่องจากอะมิโลสสามารถรวมตัวกับไขมัน ในเม็ดแป้ง เป็น amylose-lipid complex เกิดเป็นโครงสร้างอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง จึงเกิดการยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งแตกตัวได้ยาก

(3) ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity)

ค่าความหนืดต่ำสุดจะบอกถึงค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งที่เกิดจากการให้ความร้อน (Newport Scientific, 1995) จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 127.81 – 153.39 RVU Svensson and Eliasson (1995) กล่าวไว้ว่า เม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยจะให้ค่าความหนืดต่ำสุดน้อย เนื่องจากโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งถูกทำลายน้อย จึงมีความคงทนต่อแรงกวนมากกว่าแป้งชนิดอื่น

(4) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด

(Breakdown)

ความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดจะบอกถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิ จากผลการทดลองพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 132.64 – 167.33 RVU มีค่า breakdown ค่อนข้างสูง ทำให้ทนต่ออุณหภูมิและแรงกวนได้ดี ในกรณีที่ฟลาวที่มีค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดสูง หรือมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูง (ค่า breakdown ต่ำ) เนื่องจากเม็ดแป้งพองตัวไม่เต็มที่ ทำให้อะมิโลสไหลออกมาจากเม็ดแป้งได้ยาก ทำให้อะมิโลสรวมตัวกับไขมัน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับอะมิโลส ทำให้เม็ดแป้งสามารถทนต่อแรงกวนได้และเม็ดแป้งยังคงอุ้มน้ำได้บ้าง (Chen *et al.*, 1998) และถ้าในเม็ดแป้งมีปริมาณโปรตีนสูงจะช่วยให้เกิดการอุ้มน้ำได้ดีเพราะโปรตีนมีหมู่โพลาร์ซึ่งสามารถจับตัวกับน้ำได้ (รุ่งทิพา, 2543)

(5) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

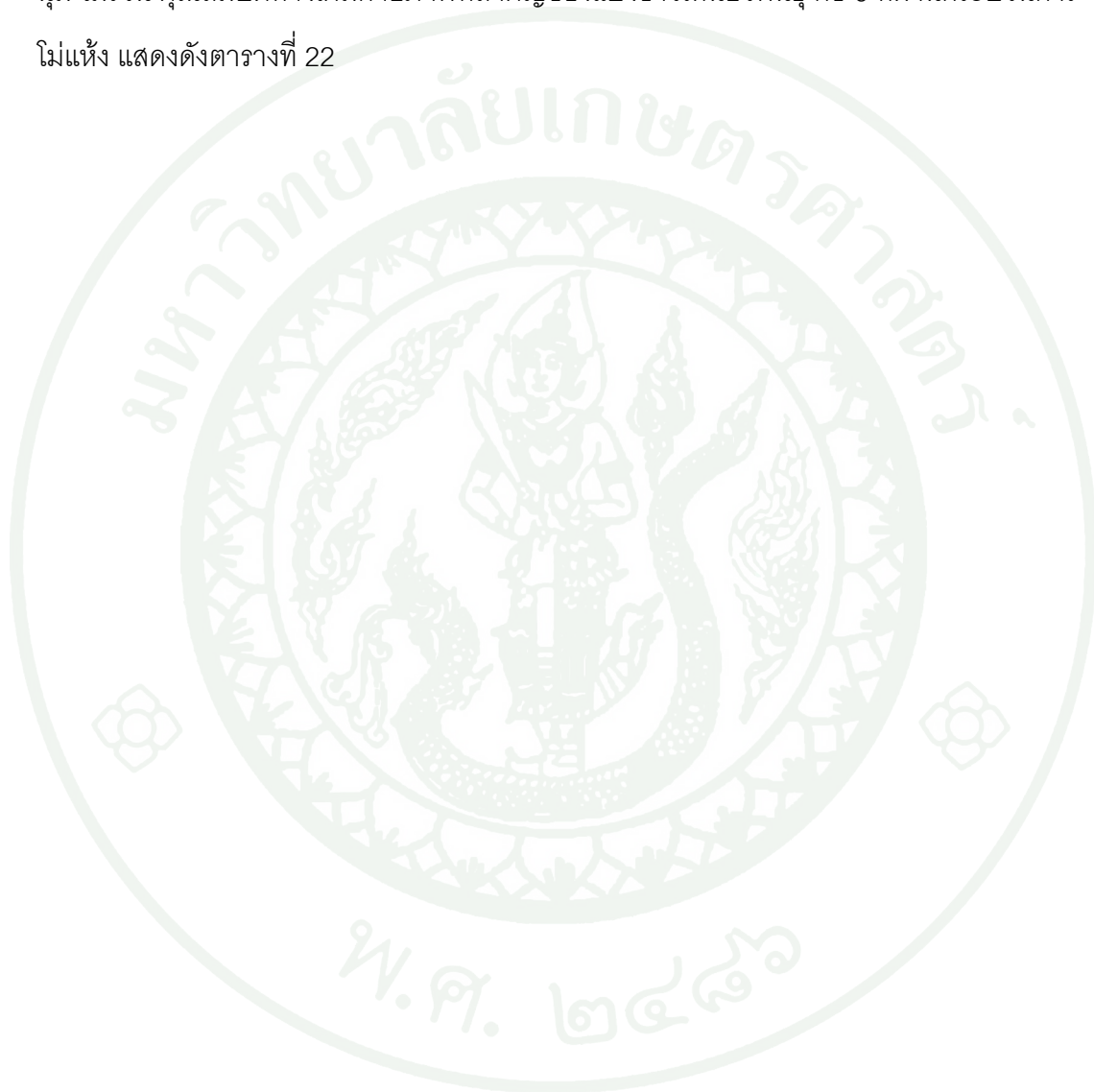
ค่าความหนืดสุดท้ายเป็นค่าที่บอกถึงคุณภาพของแป้งและบ่งชี้ลักษณะของแป้งว่ามีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนหรือทำให้เย็น (Newport Scientific, 1995) เมื่อสารละลายน้ำแป้งเย็นตัวลงจะมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 155.83 – 174.00 RVU แป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าแป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ (Retrogradation) ของอะมิโลสหลังจากที่เม็ดแป้งแตกออก จะเกิดขึ้นได้ในอัตราเร็วกว่าอะมิโลเพกติน (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

(6) ค่าการคืนตัว (Setback)

ค่าการคืนตัว สามารถวิเคราะห์ได้จากผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด (Setback from trough) หรือ ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback from peak) ซึ่งค่าการคืนตัวนี้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Newport Scientific, 1995) โดยถ้ามีค่าการคืนตัวมากหรือมีค่าบวกจะมีลักษณะการเกิดริโทเกรเดชันได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะแข็ง ร่วน นอกจากนี้ค่าการคืนตัวของแป้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลส โดยแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสมากจะมีแนวโน้มการคืนตัวได้ดี (Chen *et al.*, 1998) จากการทดลองพบว่าค่าการคืนตัวของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าการคืนตัวของแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 24.22 – 36.53 RVU โดยค่าการคืนตัวของ แป้งข้าวเหนียวมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงว่า แป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มการคืนตัวได้ช้า ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะที่นุ่ม ไม่ร่วน และยังสามารถรักษาความชื้นได้ในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวจากข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกัน ปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเหนียวอยู่ในช่วงร้อยละ 2.8-4.6 โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุด นอกจากนี้คุณภาพด้านกายภาพของแป้งข้าวเหนียวก็มีความแตกต่างกัน

อีกด้วย จากผลการศึกษาดังกล่าวนี้ จึงเลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 สำหรับการศึกษานี้ในขั้นตอนต่อไปเนื่องจากว่า ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นพันธุ์ที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ดังกล่าวยังมีปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุด เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่ม ไม่ร่วน คุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านกระบวนการไม่แห้ง แสดงดังตารางที่ 22



ตารางที่ 22 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านกระบวนการไม่แห้ง

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
1. องค์ประกอบทางเคมี (เทียบต่อร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)	
ปริมาณความชื้น	8.76
ปริมาณเถ้า	0.41
ปริมาณไขมัน	0.55
ปริมาณเส้นใย	2.63
ปริมาณโปรตีน	7.99
2. ปริมาณอะมิโลส (เทียบต่อร้อยละปริมาณสตาร์ช)	2.80
3. ค่าความขาว	88.90
4. การละลาย (ร้อยละ)	9.99
5. กำลังการพองตัว (ร้อยละ)	11.96
6. คุณสมบัติด้านความหนืด	
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Peak temperature: °C)	
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity: RVU)	294
ความหนืดต่ำสุด (Trough: RVU)	138.81
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity: RVU)	167.28
ความแตกต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับต่ำสุด (Breakdown: RVU)	155.56
ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด (Setback from trough: RVU)	28.47
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature: °C)	68.77
7. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลิตีไนซ์	
อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีไนซ์ (To: °C)	60.96
อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตีไนซ์ (To: °C)	67.72
อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตีไนซ์ (To: °C)	75.22
ค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตีไนซ์ (ΔH : J/g)	9.44

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

2.1 คุณภาพด้านเคมี

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ จากการทดลองในข้อที่ 1 พบว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุด มีค่าการคืนตัว (setback) ต่ำที่สุด ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้เมื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่แข็ง นอกจากนี้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นพันธุ์ที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด เพาะปลูกได้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนนี้จึงได้เลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มาใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กับแป้งข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่อไป

คุณภาพด้านเคมีของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ ได้แก่ ปริมาณอะมิโลส และปริมาณความชื้น แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 คุณภาพด้านเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

ตัวอย่างแป้งข้าว	ปริมาณอะมิโลส (เทียบต่อร้อยละปริมาณสตาร์ช)	ปริมาณความชื้น (%โดยน้ำหนักแห้ง)
แป้งข้าวหอมมะลิ	15.70	9.13 ± 0.09 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20	13.10	8.98 ± 0.04 ^{ab}
60:40	10.50	8.90 ± 0.14 ^b
40:60	7.90	8.03 ± 0.04 ^c
20:80	5.40	7.81 ± 0.01 ^d
แป้งข้าวเหนียว	2.80	7.38 ± 0.03 ^e

หมายเหตุ: a-e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 15.7 และแป้งข้าวเหนียวร้อยละ 2.8 เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวผสมเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อพิจารณาความชื้นของแป้งข้าวพบว่าแป้งข้าวหอมมะลิมีความชื้นสูงสุด (9.13%) ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวมีความชื้นต่ำที่สุด (7.38%)

2.2 คุณสมบัติด้านการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าว

ผสม

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาติไนซ์ของ แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งสาลีระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

ตัวอย่างแป้งข้าว	ค่าเทอร์โมไดนามิกส์			$\Delta H(\text{J/g})^{\text{ns}}$
	T_o (°C) ^{o ns}	T_p (°C) ^{o ns}	T_c (°C) ^{o ns}	
แป้งข้าวหอมมะลิ	62.37 ± 0.21	69.20 ± 0.72	74.88 ± 1.20	9.98 ± 1.55
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว				
80:20	60.99 ± 0.95	69.05 ± 0.25	74.96 ± 1.07	9.85 ± 2.22
60:40	60.91 ± 0.58	68.76 ± 0.36	74.76 ± 0.35	9.06 ± 1.36
40:60	60.65 ± 0.74	67.77 ± 0.35	75.03 ± 0.75	8.91 ± 2.08
20:80	60.53 ± 0.54	67.69 ± 0.70	74.96 ± 0.59	7.80 ± 0.93
แป้งข้าวเหนียว	60.96 ± 0.99	67.72 ± 0.74	75.22 ± 0.36	6.33 ± 0.90

หมายเหตุ: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

($p > 0.05$)

T_o (°C) หมายถึง อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนซ์ (Onset Temperature)

T_p (°C) หมายถึง อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์สูงสุด (Peak Temperature)

T_c (°C) หมายถึง อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาติไนซ์ (Conclusion Temperature)

ΔH (จูล/กรัม) หมายถึง พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนซ์

จากผลการทดลองตารางที่ 24 คุณหนุมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตไนซ์ของแป้งข้าวหอมมะลิ มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวมีค่าคุณหนุมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตไนซ์ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาแป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียว จะส่งผลให้ค่าคุณหนุมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตไนซ์ลดต่ำลง ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะสอดคล้องกับค่าคุณหนุมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) (ตารางที่ 25)

เมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนซ์ (ΔH) ซึ่งบอกถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งแตกออก หรือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายโครงสร้างผลึกในสภาวะการเกิดเจลลิตไนซ์ (Zobel, 1988) จากผลการทดลองพบว่าแป้งข้าวหอมมะลิมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนซ์สูงสุด แป้งข้าวเหนียวมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนซ์ต่ำสุด เนื่องจาก แป้งข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีโครงสร้างภายในเม็ดแป้งที่แข็งแรงกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานสูงในการสลายพันธะไฮโดรเจน เพื่อให้เม็ดแป้งคูดน้ำแล้วเกิดการพองตัว เมื่อพิจารณาแป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวจะทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนซ์ต่ำลง

2.3 คุณสมบัติด้านความหนืด

คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวผสม ได้แก่ค่าคุณหนุมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature), ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity), ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough), ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity), ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (Breakdown) และค่าความคงตัว (Setback) แสดงผลดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งสาลีระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ

ตัวอย่างแป้งข้าว	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Final viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback from trough (RVU)	Pasting temperature (°C)
แป้งข้าวหอมมะลิ	237 ± 2.99 ^e	172 ± 3.83 ^a	288 ± 2.03 ^a	64±0.23 ^d	116 ± 1.80 ^a	75.6 ± 0.60 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว						
80:20	244 ± 5.75 ^d	170 ± 4.73 ^a	272 ± 4.45 ^b	67±0.73 ^d	101 ± 0.28 ^b	72.8 ± 0.00 ^b
60:40	253 ± 1.75 ^c	161 ± 2.08 ^b	246 ± 1.01 ^c	69±1.69 ^d	85 ± 3.10 ^c	71.2 ± 0.04 ^c
40:60	263 ± 1.69 ^b	153 ± 1.30 ^c	219 ± 1.97 ^d	77±5.47 ^c	66 ± 0.68 ^d	70.5 ± 0.11 ^{cd}
20:80	265 ± 1.69 ^b	141 ± 3.77 ^d	189 ± 2.37 ^e	94±0.51 ^b	43 ± 1.41 ^e	69.9 ± 0.60 ^d
แป้งข้าวเหนียว	276 ± 1.52 ^a	133 ± 1.41 ^e	162 ± 2.82 ^f	124±4.23 ^a	29 ± 1.41 ^f	69.7 ± 0.14 ^d

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ
เชื่อมั่นร้อยละ 95 (p≤0.05)

(1) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature)

อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องใช้ในการทำให้แป้งสุก อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดขึ้นกับปริมาณอะมิโลสในเมล็ดแป้ง, การพองตัวและขนาดของเมล็ดแป้ง ซึ่งแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง จะส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวต่ำ ดังนั้นจะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ำ จากผลการทดลอง (ตารางที่ 25) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีค่าอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสสูง ส่งผลให้กำลังการพองตัว ต่ำ ดังนั้นการจะทำให้เมล็ดแป้งเริ่มเกิดเจลาตินในซีจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแป้งชนิดอื่น (Pomeranze, 1991) ในขณะที่อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวจะต่ำที่สุด เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุด

(2) ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

ค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร (Newport Scientific, 1995) จากตารางที่ 25 ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งข้าวเหนียวมีค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุด ในขณะที่ แป้งข้าวหอมมะลิมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำสุด เมื่อพิจารณาว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวหอมมะลิสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสกับไขมัน เป็น amylose lipid complex เกิดเป็นโครงสร้างอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เมล็ดแป้ง จึงยับยั้งการพองตัวของเมล็ดแป้ง ทำให้โครงสร้างของเมล็ดแป้งถูกทำลายน้อย

(3) ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity)

ค่าความหนืดต่ำสุดจะบอกถึงค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งที่เกิดจากการให้ความร้อน และแรงที่ใช้กวนหรือผสม (Newport Scientific, 1995) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำ แป้งหรือใช้แรงกวนในการทำให้เม็ดแป้งแตกออกและสารละลายมีความหนืดลดลง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543) จากผลการทดลอง ตารางที่ 25 พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิมีค่าความหนืดต่ำสุด สูงที่สุด เนื่องจาก แป้งข้าวหอมมะลิกำลังการพองตัวต่ำ ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งถูกทำลาย น้อย จึงมีความทนต่อแรงกวนมากกว่าแป้งชนิดอื่น Whistler and BeMiller (1999) กล่าวว่า ค่าความหนืดต่ำสุดนี้มีความสอดคล้องกับการไหลของอะมิโลส เพราะเมื่อเกิดการไหลของอะมิโลส ออกมาค่าความหนืดจะลดลง หมายความว่า แป้งที่มีการไหลของอะมิโลสออกมาได้ง่ายจะมีค่าความหนืดต่ำสุดต่ำกว่าแป้งที่มีการไหลของอะมิโลสออกมาได้ยาก

(4) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

ค่าความหนืดสุดท้ายจะบ่งบอกถึงลักษณะของแป้งหรือผลิตภัณฑ์ว่ามีลักษณะ เป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็น (Newport Scientific, 1995) จากผลการทดลอง ตารางที่ 25 พบว่า ค่าความหนืดสุดท้ายของ แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และ แป้งข้าวผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แป้งข้าวหอมมะลิมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด เนื่องจาก แป้งข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสสูงที่สุด กล้าณรงค์ (2543) กล่าวว่า ถ้าแป้งมีปริมาณอะมิโลสมากจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายสูง เนื่องจากเจลแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีผลทำให้น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อมีปริมาณอะมิโลสสูง (นิตติ, 2543) ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเหนียวมีค่าต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาตัวอย่าง แป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายลดลง

(5) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด

(Breakdown)

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด บ่งบอกถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิ จากผลการทดลอง ตารางที่ 25 พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดน้อยที่สุด หมายความว่าแป้งข้าวหอมมะลิมีความคงทนต่ออุณหภูมิมากที่สุด เนื่องจาก แป้งข้าวหอมมะลิพองตัวได้ไม่เต็มที่ ทำให้อะมิโลสไหลออกมาจากเม็ดแป้งได้ยากเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับอะมิโลส ทำให้สามารถทนต่อแรงกวนและเม็ดแป้งยังคงอูมน้ำได้อยู่ (Chen *et al.*, 1998) ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวมีค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดสูงที่สุด นั้นแสดงว่า แป้งข้าวเหนียวมีความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนต่ำที่สุด เมื่อพิจารณา แป้งข้าวผสมพบว่าค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น นั้นหมายความว่าความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนลดลงตามลำดับ

(6) ค่าการคืนตัว (Setback viscosity)

ค่าการคืนตัววิเคราะห์ได้จากผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด (Setback from trough) โดยถ้ามีค่าการคืนตัวมากหรือมีค่าเป็นบวกจะมีลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี และมีแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีลักษณะแข็ง (Bata and Corke, 2001) จากผลการทดลอง ตารางที่ 25 พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิมีระดับการคืนตัวสูงที่สุด ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวมีระดับการคืนตัวต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาแป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวให้สูงขึ้น ระดับการคืนตัวก็จะลดลง ซึ่งระดับการคืนตัวของแป้งข้าวมีความสอดคล้องกับปริมาณอะมิโลสที่มีอยู่ในเม็ดแป้ง โดยเม็ดแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสอยู่ต่ำจะมีระดับการคืนตัวมีแนวโน้มลดลง

จากผลการศึกษาในการขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดได้แก่ อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature), ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity), ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

และค่าการคืนตัว (Setback viscosity) ลดลงขึ้น ในขณะที่ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) และค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด (Breakdown) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นลง นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณ แป้งข้าวเหนียวส่งผลต่อคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนซ์ของฟลาวข้าว (T_0), อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์สูงสุดของฟลาวข้าว (T_p) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนซ์ของฟลาวข้าว (ΔH) ลดลง ซึ่งค่าดังกล่าวที่วัดได้นี้ จะส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ใช้ปริมาณความร้อนน้อยลงสำหรับทำให้แป้งสุก นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะมีลักษณะ นุ่มและเหนียว

3. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและค่าค่าโครงเนื้อสัมผัสของแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี, แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตไรโซ่ไก่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง

3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี, แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตไรโซ่ไก่ทั้งฟอง

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี, แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตไรโซ่ไก่ทั้งฟอง แสดงผลดังตารางที่ 26 โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้

3.1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่

ค่าความถ่วงจำเพาะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกักเก็บอากาศของส่วนผสมเค้ก จากผลการทดลอง ตารางที่ 26 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และข้าวผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งสาลีมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด แป้งข้าวเหนียวมีค่าความถ่วงจำเพาะมากที่สุด เมื่อพิจารณาแป้งสาลีพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวจะส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มมากขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะที่มากขึ้นหมายถึง ส่วนผสมเค้กมีความสามารถในการกักเก็บอากาศลดลง อุทัยวรรณ (2552) กล่าวว่า เมื่อส่วนผสมเค้กมีค่าความถ่วงจำเพาะมากขึ้น ความสามารถในการเก็บอากาศลดลง ส่วนผสมของเค้กมีความชื้นหนืดลดน้อยลง ทำให้ฟองอากาศที่อยู่ภายในส่วนผสมเคลื่อนที่ออกจากส่วนผสมได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้แบตเตอรี่เค้กหลังอบมีปริมาตรลดลง

ตารางที่ 26 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กโดยใช้ไข่ไก่ทั้งฟอง

ค่าคุณภาพ	แป้งสาลี	แป้งข้าวหอมมะลิ	แป้งข้าวหอมมะลิ : แป้งข้าวเหนียว				แป้งข้าวเหนียว
			80:20	60:40	40:60	20:80	
ความถ่วงจำเพาะของ บัตเตอร์ (g/cm ³)	0.59 ± 0.01 ^e	0.61 ± 0.01 ^{de}	0.64 ± 0.03 ^{cde}	0.66 ± 0.03 ^{cd}	0.69 ± 0.01 ^{bc}	0.73 ± 0.01 ^{ab}	0.76 ± 0.03 ^a
ค่า Water activity (a _w) ^{ns}	0.865 ± 0.003	0.860 ± 0.008	0.864 ± 0.001	0.866 ± 0.001	0.868 ± 0.003	0.868 ± 0.001	0.873 ± 0.004
ปริมาณความชื้น (%db)	41.75 ± 0.06 ^c	44.17 ± 0.07 ^{ab}	45.01 ± 0.17 ^{ab}	45.44 ± 0.01 ^{ab}	45.65 ± 1.68 ^{ab}	46.20 ± 1.68 ^a	46.52 ± 0.41 ^a
น้ำหนัก (g)	280.17 ± 0.33	285.49 ± 0.01	290.51 ± 0.86	289.34 ± 1.21	290.66 ± 3.54	286.62 ± 1.49	289.92 ± 0.60
ปริมาตร (ml)	700 ± 14.14	690 ± 28.28	645 ± 7.07	615 ± 7.07	605 ± 7.07	580 ± 28.28	525 ± 7.07
ความสูง ณ ตำแหน่งต่างๆ							
B (cm)	6.5 ± 0.14	5.8 ± 0.14	5.7 ± 0.14	5.7 ± 0.07	5.5 ± 0.14	5.6 ± 0.07	5.5 ± 0.07
C (cm)	8.2 ± 0.14	7.0 ± 0.57	6.8 ± 0.85	6.2 ± 0.07	6.6 ± 0.35	6.7 ± 0.07	6.4 ± 0.07
D (cm)	6.4 ± 0.01	5.9 ± 0.35	5.6 ± 0.28	5.5 ± 0.49	5.3 ± 0.07	5.4 ± 0.07	5.3 ± 0.57
ดัชนีปริมาตร (cm)	21.05 ± 0.35 ^a	18.65 ± 0.78 ^b	18.10 ± 1.27 ^b	17.25 ± 0.49 ^b	17.30 ± 0.14 ^b	17.55 ± 0.21 ^b	17.10 ± 0.57 ^b
ปริมาตรจำเพาะ (g/cm ³)	2.50 ± 0.05 ^a	2.42 ± 0.10 ^a	2.22 ± 0.03 ^b	2.13 ± 0.03 ^{bc}	2.08 ± 0.00 ^{bc}	2.02 ± 0.09 ^c	1.81 ± 0.03 ^d
ความหนาแน่น (g/ml)	0.40 ± 0.01 ^d	0.41 ± 0.02 ^d	0.45 ± 0.01 ^c	0.47 ± 0.01 ^{bc}	0.48 ± 0.00 ^b	0.49 ± 0.02 ^b	0.55 ± 0.01 ^a

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p≤0.05)

3.1.2 ค่า Water activity (a_w) และปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้ก

จากผลการทดลองตารางที่ 26 ค่า Water activity ของบัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่า Water activity ของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะมีค่า Water activity สูงที่สุดในขณะที่แป้งสาลีมีปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุด เมื่อพิจารณา แป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวจะส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มสูงขึ้น

ปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด แป้งสาลี มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ซึ่งค่าปริมาณความชื้นมีผลสอดคล้องกับค่า Water activity

3.1.3 ปริมาตร ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของบัตเตอร์เค้ก

ปริมาตร ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของบัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ 26) โดยบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลีมีค่าปริมาตรและดัชนีปริมาตรสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ บัตเตอร์เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวผสม และบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าปริมาตรและดัชนีปริมาตรต่ำสุด ผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงขึ้น การใช้แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมทดแทนแป้งสาลี เป็นการลดปริมาณโปรตีนกลูเตนในส่วนผสมเค้ก ทำให้ส่วนผสมเค้กมีความสามารถในการกักเก็บอากาศลดลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาตรต่ำกว่า ตัวอย่างบัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งสาลี ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของอุศมา (2545) โดยพบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้บัตเตอร์เค้กมีปริมาตรลดลง และจากการศึกษาของอุทัยวรรณ (2552) ศึกษาการใช้แป้งข้าวสาลีทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก พบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวสาลีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาตรลดลงเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความสูงของแบตเตอรี่เค้ก (ค่า B, C และ D) พบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม แบตเตอรี่เค้กที่ได้จะมีการยุบตัวของผิวหน้าเค้ก โดยแบตเตอรี่เค้กจะมีการยุบตัวมากขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มสูงขึ้น

3.1.4 ความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้ก

ความหนาแน่นของตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม (ตารางที่ 26) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลีมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด ค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กของแป้งข้าวเหนียวมีค่าสูงที่สุด ค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวสูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเนื้อเค้กที่ได้มีการอัดตัวแน่น

3.1.5 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของแบตเตอรี่เค้ก

ค่าสีของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมแสดงดังตารางที่ 27 เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียว จะทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ของแบตเตอรี่เค้กมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 27 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กโดยใช้ไข่ไก่ทั้งฟอง

ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก	ค่าสีระบบ CIE		
	L*	a*	b*
แป้งสาลี	62.71 ± 1.65 ^a	0.86 ± 0.12 ^c	12.11 ± 0.49 ^d
แป้งข้าวหอมมะลิ	63.11 ± 1.06 ^a	1.34 ± 0.25 ^a	13.34 ± 0.34 ^c
แป้งข้าวหอมมะลิ : แป้งข้าวเหนียว			
80:20	61.92 ± 1.17 ^a	1.35 ± 0.34 ^a	13.44 ± 0.19 ^{bc}
60:40	61.67 ± 2.18 ^a	1.32 ± 0.14 ^a	13.78 ± 0.50 ^b
40:60	59.29 ± 1.47 ^b	1.26 ± 0.10 ^{ab}	13.80 ± 0.50 ^b
20:80	57.46 ± 2.33 ^c	1.11 ± 0.19 ^b	13.83 ± 0.23 ^{ab}
แป้งข้าวเหนียว	57.78 ± 1.61 ^{bc}	1.09 ± 0.11 ^b	14.24 ± 0.64 ^a

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

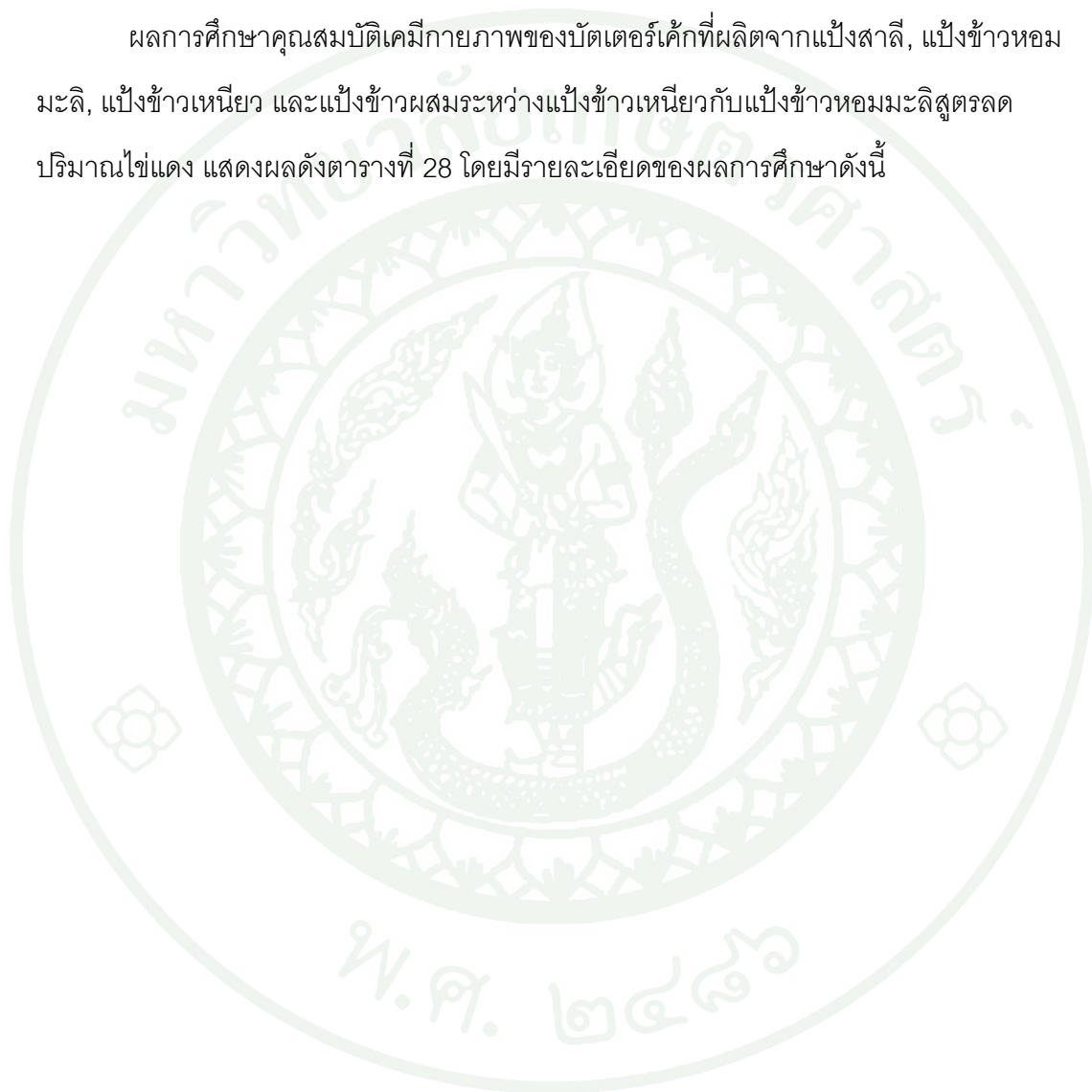
L* หมายถึง ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีดำ, 100 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีขาว

a* + หมายถึง วัตถุที่มีสีออกแดง - หมายถึง วัตถุที่มีสีออกเขียว

b* + หมายถึง วัตถุที่มีสีออกเหลือง - หมายถึง วัตถุที่มีสีออกน้ำเงิน

**3.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแบตเตอรี่เค็กที่ผลิตจากแป้ง
สาลี, แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้ง
ข้าวหอมมะลีสูตรลดปริมาณไข่แดง**

ผลการศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพของแบตเตอรี่เค็กที่ผลิตจากแป้งสาลี, แป้งข้าวหอม
มะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลีสูตรลด
ปริมาณไข่แดง แสดงผลดังตารางที่ 28 โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้



ตารางที่ 28 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

ค่าคุณภาพ	แป้งสาลี	แป้งข้าวหอมมะลิ	แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว				แป้งข้าวเหนียว
			80:20	60:40	40:60	20:80	
ความถ่วงจำเพาะของ เบตเตอร์ (g/cm ³)	0.62 ± 0.03 ^e	0.63 ± 0.01 ^e	0.66 ± 0.03 ^{de}	0.69 ± 0.01 ^{cd}	0.73 ± 0.01 ^{bc}	0.75 ± 0.01 ^{ab}	0.79 ± 0.01 ^a
ค่า Water activity (a _w) ^{ns}	0.85 ± 0.01 ^c	0.84 ± 0.00 ^{bc}	0.86 ± 0.00 ^b	0.87 ± 0.00 ^b	0.86 ± 0.01 ^b	0.86 ± 0.01 ^b	0.89 ± 0.01 ^a
ปริมาณความชื้น (%db)	40.97 ± 0.11 ^d	43.21 ± 0.05 ^c	43.56 ± 0.07 ^{bc}	43.94 ± 0.20 ^b	44.38 ± 0.28 ^a	44.50 ± 0.17 ^a	44.81 ± 0.50 ^a
น้ำหนัก (g)	283.84 ± 0.08	295.79 ± 1.35	290.16 ± 1.58	289.94 ± 2.98	275.00 ± 0.08	294.01 ± 1.06	292.87 ± 2.23
ปริมาตร (ml)	695 ± 7.07	655 ± 7.07	630 ± 4.14	590 ± 7.07	595 ± 7.07	592.5 ± 3.54	575 ± 7.07
ความสูง ณ ตำแหน่งต่างๆ							
B (cm)	6.3 ± 0.48	5.9 ± 0.17	5.4 ± 0.19	5.6 ± 0.26	5.2 ± 0.16	5.1 ± 0.20	5.1 ± 0.48
C (cm)	7.5 ± 0.20	6.9 ± 0.36	6.5 ± 0.29	6.5 ± 0.15	5.9 ± 0.39	5.5 ± 0.47	5.7 ± 0.47
D (cm)	6.1 ± 0.37	5.5 ± 0.18	5.4 ± 0.38	5.1 ± 0.20	5.1 ± 0.30	5.2 ± 0.34	5.2 ± 0.18
ดัชนีปริมาตร (cm)	18.85 ± 0.68 ^a	18.23 ± 0.52 ^b	17.25 ± 0.68 ^c	17.11 ± 0.27 ^c	16.20 ± 0.65 ^d	15.82 ± 0.47 ^d	15.92 ± 0.70 ^d
ปริมาตรจำเพาะ (g/cm ³)	2.37 ± 0.02 ^a	2.21 ± 0.03 ^b	2.17 ± 0.04 ^b	2.04 ± 0.07 ^c	2.02 ± 0.02 ^c	2.02 ± 0.01 ^c	1.96 ± 0.01 ^c
ความหนาแน่น (g/ml)	0.42 ± 0.00 ^c	0.45 ± 0.01 ^b	0.46 ± 0.01 ^b	0.49 ± 0.02 ^a	0.50 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.00 ^a	0.51 ± 0.00 ^a

หมายเหตุ: a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p≤0.05)

3.2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของแบคทีเรีย

ค่าความถ่วงจำเพาะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกักเก็บอากาศของส่วนผสมเค้ก จากผลการทดลองตารางที่ 28 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งสาลีมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด แป้งข้าวเหนียวมีค่าความถ่วงจำเพาะมากที่สุด เมื่อพิจารณา แป้งข้าวผสมพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวจะส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มมากขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะที่มากขึ้นหมายถึง ส่วนผสมเค้กมีความสามารถในการกักเก็บอากาศลดลง อุทัยวรรณ (2552) กล่าวว่า เมื่อส่วนผสมเค้กมีค่าความถ่วงจำเพาะมากขึ้น ความสามารถในการเก็บอากาศลดลง ส่วนผสมของเค้กมีความชื้นหนึ่ลดลงน้อยลง ทำให้ฟองอากาศที่อยู่ภายในส่วนผสมเคลื่อนที่ออกจากส่วนผสมได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้บัตเตอร์เค้กหลังอบมีปริมาตรลดลง

3.2.2 ค่า Water activity (a_w) และปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้ก

จากผลการทดลองตารางที่ 28 ค่า Water activity ของบัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดไข่แดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่า Water activity ของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะมีค่า Water activity สูงที่สุดในขณะที่แป้งสาลีมี ค่า Water activity ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณา แป้งข้าวพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวจะส่งผลให้ค่า Water activity เพิ่มสูงขึ้น

ปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดไข่แดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด แป้งสาลีมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ซึ่งค่าปริมาณความชื้นมีผลสอดคล้องกับค่า Water activity

3.2.3 ปริมาตร ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้ก

ปริมาตร ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้กที่ใช้แป้งสาาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดปริมาณไข่แดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาาลีมีค่าปริมาตรและดัชนีปริมาตรสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวผสมและแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าปริมาตรและดัชนีปริมาตรต่ำสุด ผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงขึ้น การใช้ แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมทดแทนแป้งสาาลี เป็นการลดปริมาณโปรตีนกลูเตนในส่วนผสมเค้ก ทำให้ส่วนผสมเค้กมีความสามารถในการกักเก็บอากาศลดลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาตรต่ำกว่าตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กที่ใช้แป้งสาาลี

3.2.4 ความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้ก

ความหนาแน่นของตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดปริมาณไข่แดง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาาลีมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด ค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กของแป้งข้าวเหนียวมีค่าสูงที่สุด ค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวสูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเนื้อเค้กที่ได้มีการอัดตัวแน่น

3.2.5 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของแบตเตอรี่เค้ก

ค่าสีของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งสาาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดไข่แดง แสดงดังตารางที่ 29 เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียว จะทำให้ค่าความสว่าง (L^*)ของแบตเตอรี่เค้กมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 29 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก	ค่าสีระบบ CIE		
	L*	a*	b*
แป้งสาลี	62.71 ± 1.65 ^a	0.86 ± 0.12 ^c	12.11 ± 0.49 ^d
แป้งข้าวหอมมะลิ	63.11 ± 1.06 ^a	1.34 ± 0.25 ^a	13.34 ± 0.34 ^c
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	61.92 ± 1.17 ^a	1.35 ± 0.34 ^a	13.44 ± 0.19 ^{bc}
60:40	61.67 ± 2.18 ^a	1.32 ± 0.14 ^a	13.78 ± 0.50 ^b
40:60	59.29 ± 1.47 ^b	1.26 ± 0.10 ^{ab}	13.80 ± 0.50 ^b
20:80	57.46 ± 2.33 ^c	1.11 ± 0.19 ^b	13.83 ± 0.23 ^{ab}
แป้งข้าวเหนียว	57.78 ± 1.61 ^{bc}	1.09 ± 0.11 ^b	14.24 ± 0.64 ^a

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

L* หมายถึง ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีดำ, 100 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีขาว

a* + หมายถึง วัตถุที่มีสีออกแดง - หมายถึง วัตถุที่มีสีออกเขียว

b* + หมายถึง วัตถุที่มีสีออกเหลือง - หมายถึง วัตถุที่มีสีออกน้ำเงิน

3.3 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้ก (Texture profile)

3.3.1 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง

จากผลการทดลองตารางที่ 30 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง (Hardness) ของบัตเตอร์เค้ก พบว่า บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าความแข็งต่ำที่สุด แสดงว่าบัตเตอร์เค้กดังกล่าวมีความนุ่มมากที่สุด ในขณะที่บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิมีความแข็งมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากการแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ซึ่งจะช่วยให้เนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กนุ่มมากขึ้น

ค่าการเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีค่ามากกว่าบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวผสม และแป้งสาลี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นค่าความยืดหยุ่นจะลดลง เนื่องจากบัตเตอร์เค้กมีความสามารถในการจับอากาศลดลง ทำให้หลังปริมาณหลังอบน้อยลง ความแน่นมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองตารางที่ 26 และงานวิจัยของ Nishita และ Bean (1979) พบว่า ขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวจะมีลักษณะยุบตัวและมีความเหนียวมากเมื่อใช้แป้งข้าวเหนียว 100%

ความทนทานในการเคี้ยวตัวอย่าง (Chewiness) พบว่า ตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ตัวอย่าง

เหล่านี้จะแตกต่างจากแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาดี โดย ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมจะเคี้ยวยากกว่าแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาดี

ความสามารถในการเกาะติด (Adhesiveness) พบว่า ค่าความยืดหยุ่น ของตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวผสม และแป้งสาดี มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยแบตเตอรี่เค้กที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวมากขึ้น ค่าความสามารถในการเกาะติดจะเพิ่มสูงขึ้น

ค่าความเหนียว (gumminess) ของตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น แต่มีค่าต่ำกว่าแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาดี

ตารางที่ 30 ค่าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟอง

พารามิเตอร์	แป้งสาลี	แป้งข้าวหอมมะลิ	แป้งข้าวหอมมะลิ : แป้งข้าวเหนียว				แป้งข้าวเหนียว
			80:20	60:40	40:60	20:80	
ความแข็ง(N)	1.50±0.70 ^{bc}	1.79±0.38 ^a	1.64±0.30 ^a	1.68±0.25 ^{ab}	1.42±0.19 ^c	1.27±0.21 ^c	1.26±0.19 ^c
ความสามารถในการเกาะตัว	0.36±0.02 ^c	0.36±0.04 ^c	0.38±0.03 ^{bc}	0.38±0.04 ^{bc}	0.38±0.03 ^{bc}	0.41±0.04 ^a	0.38±0.03 ^{bc}
ความยืดหยุ่น (mm)	6.45±0.28 ^{ab}	6.73±0.23 ^a	6.69±0.22 ^a	6.52±0.42 ^a	6.21±0.53 ^{ab}	6.57±0.45 ^a	6.49±0.45 ^{ab}
ความทนทานต่อการเคี้ยว (Nmm)	4.34±1.02 ^b	6.23±1.66 ^a	6.15±1.14 ^a	5.62±1.76 ^a	5.54±1.32 ^a	5.57±1.16 ^a	5.69±1.86 ^a
ความสามารถในการเกาะติด (Nmm)	-0.17±0.05 ^{bc}	-0.11±0.05 ^a	-0.11±0.04 ^a	-0.13±0.05 ^{ab}	-0.16±0.05 ^{bc}	-0.20±0.08 ^c	-0.20±0.08 ^c
ความเหนียว (N)	0.67±0.15 ^b	0.73±0.17 ^{ba}	0.79±0.18 ^{ba}	0.88±0.23 ^a	0.78±0.28 ^{ba}	0.89±0.20 ^a	0.88±0.31 ^a

หมายเหตุ: a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3.3.2 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

จากผลการทดลองตารางที่ 31 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดไข่แดง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง (Hardness) ของบัตเตอร์เค้ก พบว่า บัตเตอร์เค้กจาก แป้งข้าวเหนียวมีค่าความแข็งต่ำที่สุด แสดงว่าบัตเตอร์เค้กดังกล่าวมีความนุ่มมากที่สุด ในขณะที่บัตเตอร์เค้กจาก แป้งข้าวหอมมะลิมีความแข็งมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก แป้งข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสอยู่มาก ซึ่งอะมิโลสทำให้เนื้อสัมผัสของเค้กแข็งและรวน

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) พบว่าค่าความยืดหยุ่นของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นค่าความยืดหยุ่นจะลดลง

ค่าการเกาะรวมตัว (Cohesiveness) พบว่าค่าการเกาะรวมตัวของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีค่ามากกว่าบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี

ความทนทานในการเคี้ยวตัวอย่าง (Chewiness) พบว่าความทนทานในการเคี้ยวของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และ แป้งข้าวผสม จะเคี้ยวยากกว่าบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี

ความสามารถในการเกาะติด (Adhesiveness) พบว่า ค่าความสามารถในการเกาะติดของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้ง

ข้าวผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยบัตเตอร์เค้กที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวมากขึ้น ค่าความสามารถในการเกาะติดจะเพิ่มสูงขึ้น

ค่าความเหนียว (Gumminess) พบว่าความเหนียวของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความเหนียวของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น แต่มีค่าต่ำกว่าบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี

ตารางที่ 31 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

พารามิเตอร์	แป้งสาลี	แป้งข้าวหอมมะลิ	แป้งข้าวหอมมะลิ: แป้งข้าวเหนียว				แป้งข้าวเหนียว
			80:20	60:40	40:60	20:80	
ความแข็ง(N)	1.41±0.44 ^{cde}	1.82±0.41 ^a	1.71±0.34 ^{ab}	1.64±0.33 ^{abc}	1.52±0.52 ^{bcd}	1.31±0.33 ^{de}	1.30±0.24 ^{de}
ความสามารถใน การเกาะตัว	0.46±0.05 ^a	0.39±0.03 ^a	0.34±0.02 ^b	0.40±0.03 ^a	0.36±0.03 ^b	0.34±0.03 ^b	0.40±0.04 ^a
ความยืดหยุ่น (mm)	7.73±0.25 ^a	6.84±0.26 ^a	6.23±0.35 ^{cd}	6.74±0.76 ^{ab}	5.80±0.38 ^d	5.98±0.91 ^{bcd}	6.40±0.81 ^{abc}
ความทนทานต่อ การเคี้ยว (Nmm)	4.92±1.46 ^a	4.83±0.94 ^a	4.50±0.64 ^a	4.41±1.08 ^a	3.21±1.36 ^b	2.72±0.77 ^{bc}	3.33±0.99 ^b
ความสามารถใน การเกาะติด (Nmm)	-0.19±0.07 ^c	-0.17±0.06 ^{cd}	-0.078±0.08 ^a	-0.20±0.08 ^d	-0.16±0.12 ^{bcd}	-0.09±0.06 ^{ab}	-0.14±0.05 ^{abc}
ความเหนียว (N)	0.64±0.19 ^{abc}	0.45±0.12 ^{ef}	0.52±0.09 ^{de}	0.55±0.20 ^{cd}	0.59±0.14 ^{bcd}	0.65±0.14 ^{ab}	0.711±0.13 ^a

หมายเหตุ: a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3.3.3 ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กแป้งสาลี (ตัวอย่างเชิงการค้า)

ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กตัวอย่างในเชิงการค้า 4 ตัวอย่าง ได้แก่ S&P, Gateaux, Lerpang และ Foodland แสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กในเชิงการค้า

ตัวอย่าง	ความแข็ง(N)	ความสามารถในการรวมตัว	ความยืดหยุ่น (mm)	ความทนทานต่อการเคี้ยว (Nmm)	การเกาะติด (Nmm)
S&P	1.24±0.16 ^a	0.35±0.02 ^b	6.88 ±0.32 ^a	2.99±0.46 ^a	-0.19±0.05 ^b
Lerpang	0.83±0.18 ^b	0.14±0.04 ^d	4.27 ± 0.57 ^b	0.52±0.50 ^d	-0.09±0.13 ^a
Foodland	1.23±0.16 ^a	0.30±0.02 ^c	6.42 ± 0.69 ^a	2.40±0.21 ^b	-0.14±0.05 ^{ab}
Gateaux	0.69±0.17 ^b	0.41±0.02 ^a	4.59 ± 1.02 ^b	1.30±0.55 ^c	-0.11±0.15 ^b

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ย เค้าโครงเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก เชิงการค้า (ตารางที่ 32) และบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลีสู่กราฟไข่ทั้งฟองและสุตรลดปริมาณไข่แดง (ตารางที่ 30 และ 31) มาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) พบว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัย ขององค์ประกอบแรก (PC1-PC2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ทั้งหมดร้อยละ 78.33 โดยแต่ละองค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 63.00 และ 15.34 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 น้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กเชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองและสุตรลดปริมาณไข่แดง

ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัส	องค์ประกอบ	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
ความแข็ง	0.771	0.342
ความสามารถในการเกาะตัว	0.743	-0.259
ความยืดหยุ่น	0.890	-0.150
ความทนทานต่อการเคี้ยว	0.920	0.275
ความสามารถในการเกาะติด	-0.593	0.737
ความเหนียว	0.803	0.307
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	63.00	15.34
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	78.33	

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 63.00 ประกอบด้วย ความแข็ง (Hardness) ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) และความเหนียว (Gumminess) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ด้านบวก

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 2 (PC2) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 15.34 ประกอบด้วย ความสามารถในการเกาะติด (Adhesiveness) มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ด้านบวก

เมื่อแยกพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) ของค่าค่าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กเชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง พบว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัย ขององค์ประกอบแรก (PC1-PC2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ทั้งหมดร้อยละ 85.26 โดยแต่ละองค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 68.16 และ 17.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 34)

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 68.16 ประกอบด้วย ความแข็ง (Hardness) ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) และความเหนียว (Gumminess) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ด้านบวก

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 2 (PC2) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 17.10 ประกอบด้วย ความสามารถในการเกาะติด (Adhesiveness) มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ด้านบวก

ตารางที่ 34 น้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กเชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง

ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัส	องค์ประกอบ	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
ความแข็ง	0.828	0.502
ความสามารถในการเกาะตัว	0.729	-0.310
ความยืดหยุ่น	0.900	-0.033
ความทนทานต่อการเคี้ยว	0.949	0.218
ความสามารถในการเกาะติด	-0.520	0.792
ความเหนียว	0.944	0.048
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	68.16	17.10
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	85.26	

เมื่อแยกพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) ของค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กเชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรลดปริมาณไข่แดง พบว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัย ขององค์ประกอบแรก (PC1-PC2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ทั้งหมดร้อยละ 85.63 โดยแต่ละองค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 72.65 และ 12.98 ตามลำดับ (ตารางที่ 35)

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 72.65 ประกอบด้วย ความแข็ง (Hardness) ความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) และความ

ยืดหยุ่น (Springiness) ความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) และความเหนียว (Chewiness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ด้านบวก ความสามารถในการเกาะติด (Adhesiveness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ด้านลบ

ตารางที่ 35 น้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านค่าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กเชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสู่ตลาดไขแดง

ค่าค่าโครงเนื้อสัมผัส	องค์ประกอบ	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
ความแข็ง	0.857	-0.278
ความสามารถในการเกาะตัว	0.742	0.525
ความยืดหยุ่น	0.923	-0.166
ความทนทานต่อการเคี้ยว	0.973	-0.083
ความสามารถในการเกาะติด	-0.826	0.369
ความเหนียว	0.769	0.505
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	72.65	12.98
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	85.63	

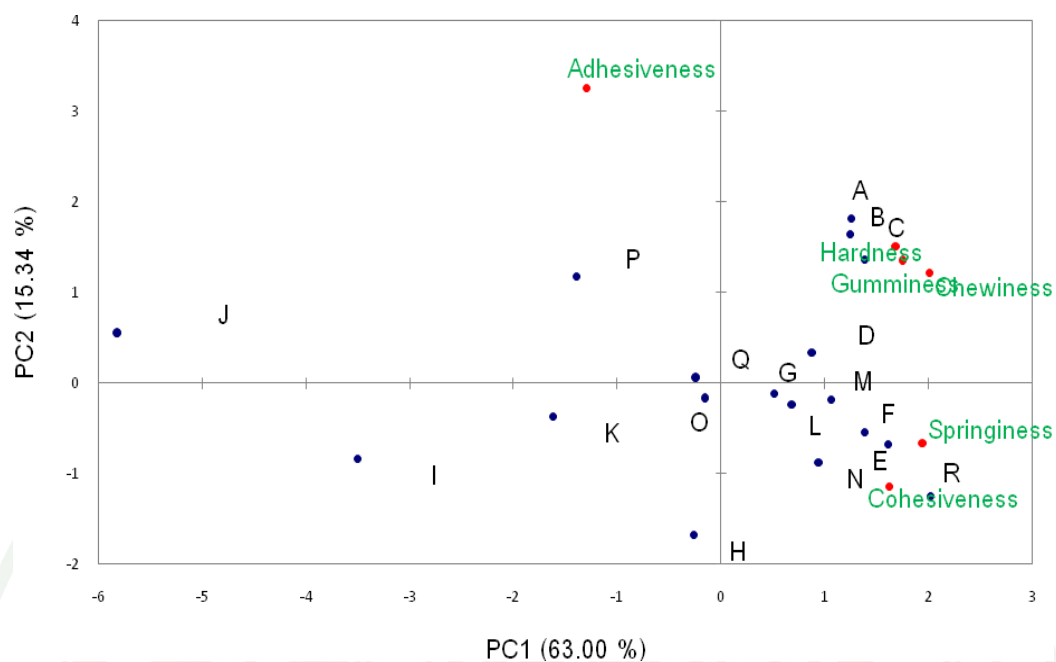
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี Cluster Analysis ของค่าค่าโครงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอม

มะลิสูตรไข่มุกทั้งฟองและลดปริมาณไข่มุก และแบตเตอรี่เชิงการค้า พบว่าสามารถจัดกลุ่มแบตเตอรี่
เค็กได้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 36-38 และภาพที่ 14-16



ตารางที่ 36 การจัดกลุ่มแบตเตอรี่เค็กแป้งสาลี แป้งเค้กแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งเค้กแป้งข้าวเหนียว แป้งเค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองและลดปริมาณไข่แดง และแป้งเค้กเชิงการค้า

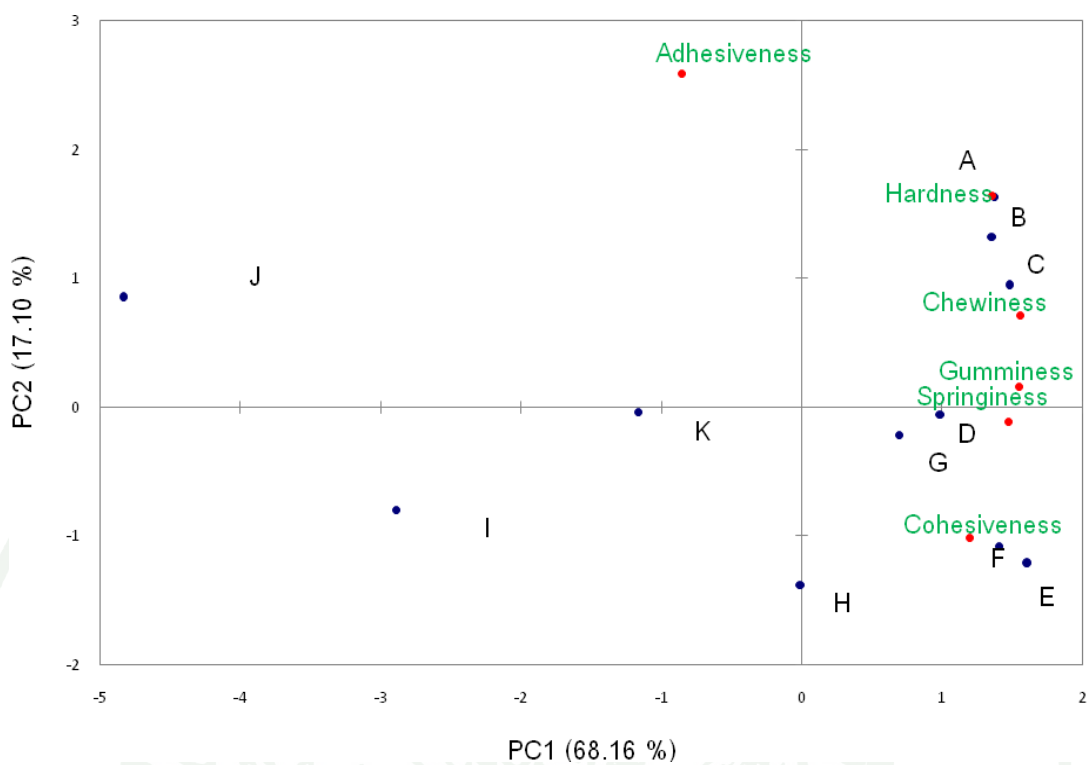
กลุ่มที่	แบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ทั้งฟอง	แบตเตอรี่เค็กสูตรลดปริมาณไข่แดง	แป้งเค้กเชิงการค้า
1	-แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60 (D) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80 (E) -แป้งข้าวเหนียว (F)	-แป้งสาลี (R) -แป้งข้าวหอมมะลิ (L) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20 (M) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40 (N)	-
2	แป้งสาลี (G)	-แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60 (O) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80 (P) -แป้งข้าวเหนียว (Q)	S&P (H) Foodland (K)
3	-แป้งข้าวหอมมะลิ (A) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20 (B) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40 (C)	-	-
4	-	-	Gateaux (I)
5	-	-	Lerpang (J)



ภาพที่ 14 Bi-plot ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก เชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ และบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลีสูตรไข่ ทั้งฟอง และสูตรลดปริมาณไข่แดง กับค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสระหว่างแกน PC1 และ PC2

ตารางที่ 37 การจัดกลุ่มแบตเตอรี่เค้กแบ่งสาลี แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวผสมระหว่างแบ่งข้าวเหนียวกับแบ่งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง และแบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า

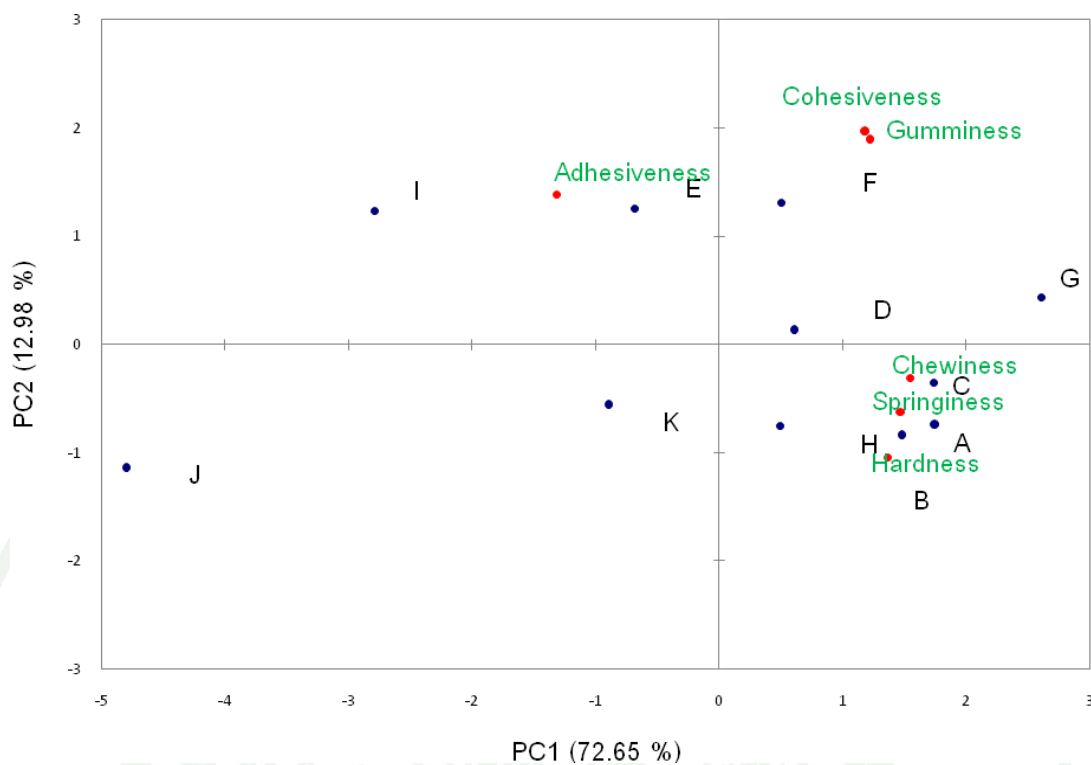
กลุ่มที่	แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง	แบตเตอรี่เค้กเชิงการค้า
1	-แบ่งข้าวหอมมะลิ (A) -แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 80:20 (B) -แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 60:40 (C)	-
2	-แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60 (D) -แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80 (E) -แบ่งข้าวเหนียว (F) -แบ่งสาลี (G)	-
3	-	S&P (H) Foodland (K)
4	-	Gateaux (I)
5	-	Lerpang (J)



ภาพที่ 15 Bi-plot ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก เชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว กับแป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งสาลีสูตรไข่ทั้งฟอง กับเค้กโครงเนื้อสัมผัสระหว่างแกน PC1 และ PC2

ตารางที่ 38 การจัดกลุ่มแบตเตอรี่เค็กแป้งสาลี แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิสูตรลดไข่แดง และแบตเตอรี่เค็กเชิงการค้า

กลุ่มที่	แบตเตอรี่เค็กสูตรลดไข่แดง	แบตเตอรี่เค็กเชิงการค้า
1	-แป้งสาลี (G) -แป้งข้าวหอมมะลิ (A) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว 80:20 = (B) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว 60:40 = (C)	-
2	-แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60 (D) -แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80 (E) -แป้งข้าวเหนียว (F)	S&P (H) Foodland (K)
3	-	Gateaux (I)
4	-	Lerpang (J)



ภาพที่ 16 Bi-plot ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก เชิงการค้า บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว กับแป้งข้าวหอมมะลิ และบัตเตอร์เค้ก แป้งสาลี สูตรลดปริมาณไข่แดง กับเค้าโครง เนื้อสัมผัสระหว่างแกน PC1 และ PC2

3.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองกับ สูตรลดปริมาณไข่แดง

3.4.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ (Specific gravity)

ผลการเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่สูตรไข่ไก่ทั้งฟอง และสูตรลดปริมาณไข่แดง (ตารางที่ 39) พบว่า ความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่สูตรไข่ไก่ทั้งฟอง และสูตรลดปริมาณไข่แดงแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่สูตรไข่ไก่ทั้งฟองมีค่าต่ำกว่าแบตเตอรี่สูตรลดปริมาณไข่แดง แสดงว่าแบตเตอรี่สูตรไข่ไก่ทั้งฟองสามารถกักเก็บอากาศได้ดีกว่าแบตเตอรี่สูตรลดปริมาณไข่แดงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองหลังจากอบมีปริมาตรสูงกว่าแบตเตอรี่สูตรลดปริมาณไข่แดง

ตารางที่ 39 ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่สูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี	0.59 ± 0.01^b	0.62 ± 0.03^a
แป้งข้าวหอมมะลิ	0.61 ± 0.01^b	0.63 ± 0.01^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20	0.64 ± 0.03^b	0.66 ± 0.03^a
60:40	0.66 ± 0.03^b	0.69 ± 0.01^a
40:60	0.69 ± 0.01^b	0.73 ± 0.01^a
20:80	0.73 ± 0.01^b	0.75 ± 0.01^a
แป้งข้าวเหนียว	0.76 ± 0.03^b	0.79 ± 0.01^a

หมายเหตุ: a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3.4.2 ค่า Water activity และปริมาณความชื้น (Moisture content)

ผลการเปรียบเทียบค่า Water activity และปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟองกับบัตเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดง (ตารางที่ 40 และ 41) พบว่า ค่า Water activity และปริมาณความชื้นของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟองมีความชื้นสูงกว่าบัตเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 40 ค่า Water activity ของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี ^{ns}	0.87 ± 0.00	0.85 ± 0.01
แป้งข้าวหอมมะลิ ^{ns}	0.86 ± 0.01	0.84 ± 0.00
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20 ^{ns}	0.86 ± 0.01	0.86 ± 0.00
60:40 ^{ns}	0.87 ± 0.01	0.87 ± 0.00
40:60 ^{ns}	0.87 ± 0.03	0.86 ± 0.01
20:80 ^{ns}	0.87 ± 0.01	0.86 ± 0.01
แป้งข้าวเหนียว ^{ns}	0.87 ± 0.00	0.89 ± 0.01

หมายเหตุ: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p>0.05$)

ตารางที่ 41 ค่าปริมาณความชื้นของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี ^{ns}	41.75 ± 0.06	40.97 ± 0.11
แป้งข้าวหอมมะลิ ^{ns}	44.17 ± 0.07	43.21 ± 0.05
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20 ^{ns}	45.01 ± 0.17	43.56 ± 0.07
60:40 ^{ns}	45.44 ± 0.01	43.94 ± 0.20
40:60 ^{ns}	45.65 ± 1.68	44.38 ± 0.28
20:80 ^{ns}	46.20 ± 1.68	44.50 ± 0.17
แป้งข้าวเหนียว ^{ns}	46.52 ± 0.41	44.81 ± 0.50

หมายเหตุ: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น (p>0.05)

3.4.3 ค่าดัชนีปริมาตร (Volume index) และปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้ก (Specific volume)

ผลการเปรียบเทียบ ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้กที่ใช้แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งสาลีสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดไข่แดง (ตารางที่ 42 และ 43) พบว่า ดัชนีปริมาตรของแบตเตอรี่เค้กที่ใช้สูตรไข่ไก่ทั้งฟองไม่แตกต่างจากสูตรลดปริมาณไข่แดง (p>0.05) ปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้กที่ใช้สูตรไข่ไก่ทั้งฟองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) จากแบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง โดยพบว่า ปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้กที่ใช้สูตรไข่ไก่ทั้งฟองมีค่าสูงกว่าสูตรลดปริมาณไข่แดง เนื่องจาก ไข่แดงมีหน้าที่ในการสร้างโครงร่างให้กับเค้กจึงทำให้ปริมาตรของแบตเตอรี่เค้กสูงกว่าสูตรลดปริมาณไข่แดง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสูงของแบตเตอรี่เค้ก (ค่า B, C และ D) จากตารางที่ 26 และ 28 ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดไข่แดง พบว่า แบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง จะมีการยุบตัวของผิวหน้าเค้กมากกว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟอง โดยแบตเตอรี่เค้กจะมีการยุบตัวมากขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าความสูงของแบตเตอรี่เค้กจะมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาตรของแบตเตอรี่เค้ก

ตารางที่ 42 ค่าดัชนีปริมาตร (Volume index) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี ^{ns}	21.05 ± 0.35	18.85 ± 0.68
แป้งข้าวหอมมะลิ ^{ns}	18.65 ± 0.78	18.23 ± 0.52
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20 ^{ns}	18.10 ± 1.27	17.25 ± 0.68
60:40 ^{ns}	17.25 ± 0.49	17.11 ± 0.27
40:60 ^{ns}	17.30 ± 0.14	16.20 ± 0.65
20:80 ^{ns}	17.55 ± 0.21	15.82 ± 0.47
แป้งข้าวเหนียว ^{ns}	17.10 ± 0.57	15.92 ± 0.70

หมายเหตุ: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p > 0.05$)

ตารางที่ 43 ค่าปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลด ปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี	2.50 ± 0.05^a	2.37 ± 0.02^b
แป้งข้าวหอมมะลิ	2.42 ± 0.10^a	2.21 ± 0.03^b
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20	2.22 ± 0.03^a	2.17 ± 0.04^b
60:40	2.13 ± 0.03^a	2.04 ± 0.07^b
40:60	2.08 ± 0.00^a	2.02 ± 0.02^b
20:80 ^{ns}	2.02 ± 0.09	2.02 ± 0.01
แป้งข้าวเหนียว	1.81 ± 0.03^b	1.96 ± 0.01^a

หมายเหตุ: a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p > 0.05$)

3.4.4 ค่าความหนาแน่น (Density)

ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดไข่แดง แสดงดัง ตารางที่ 44 จากผลการทดลองพบว่า ค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากแบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง ค่าความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองมีค่าน้อยกว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง เนื่องจากไข่แดงช่วยสร้างโครงร่างให้กับเนื้อเค้ก จึงทำให้แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองมีลักษณะที่ขึ้นฟู กว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง

ตารางที่ 44 ค่าความหนาแน่น (Density) ของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี	0.40 ± 0.01^b	0.42 ± 0.00^a
แป้งข้าวหอมมะลิ	0.41 ± 0.02^b	0.45 ± 0.01^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20	0.45 ± 0.01^b	0.46 ± 0.01^a
60:40	0.47 ± 0.01^b	0.49 ± 0.02^a
40:60	0.48 ± 0.00^b	0.50 ± 0.01^a
20:80	0.49 ± 0.02^b	0.50 ± 0.00^a
แป้งข้าวเหนียว	0.55 ± 0.01^a	0.51 ± 0.00^b

หมายเหตุ: a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3.4.5 ค่าความแข็ง (Hardness)

ผลการเปรียบเทียบค่าความแข็งของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดไข่แดง แสดงผลดังตารางที่ 45 ค่าความแข็งของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดไข่แดง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความแข็งของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองมีค่าน้อยกว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง หรืออาจกล่าวได้ว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองนุ่มกว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดง

ตารางที่ 45 ค่าความแข็ง (Hardness) ที่วัดได้จากเครื่อง Texture analyzer ของแบตเตอรี่เค้กสูตร ไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	สูตรไข่ทั้งฟอง	สูตรลดปริมาณไข่แดง
แป้งสาลี ^{ns}	1.50 ± 0.70	1.41 ± 0.44
แป้งข้าวหอมมะลิ	1.79 ± 0.38	1.82 ± 0.41
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20 ^{ns}	1.64 ± 0.30	1.71 ± 0.34
60:40 ^{ns}	1.68 ± 0.25	1.64 ± 0.33
40:60 ^{ns}	1.42 ± 0.91	1.52 ± 0.52
20:80 ^{ns}	1.27 ± 0.21	1.31 ± 0.33
แป้งข้าวเหนียว ^{ns}	1.26 ± 0.19	1.30 ± 0.24

หมายเหตุ: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น (p>0.05)

จากผลการเปรียบเทียบการใช้ไข่ไก่ทั้งฟองกับสูตรลดปริมาณไข่แดงพบว่า มีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ ปริมาตรจำเพาะ ความหนาแน่น ในขณะที่ไม่ส่งผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และความแข็งของแบตเตอรี่เค้ก

จากผลการศึกษาในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ แป้งข้าวเหนียว ในสูตรแบตเตอรี่เค้กไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ , ค่า Water activity, ปริมาณความชื้น และความหนาแน่นของ แบตเตอรี่เค้กมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ดัชนีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของแบตเตอรี่เค้กมีแนวโน้มลดลง ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดงพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ แป้งข้าวเหนียว

ส่งผลให้ค่าความแข็ง , ความยืดหยุ่น และความทนทาน ต่อการเคี้ยวลดลง ในขณะที่ค่าความเหนียวเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของแบตเตอรี่เคี้ยวสุตรไซโกทั้งฟองและสุตรลดปริมาณไซแดง พบว่า ไซแดงมีผลต่อค่า ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ , ความหนาแน่นของแบตเตอรี่เคี้ยว และความแข็งของแบตเตอรี่เคี้ยว โดยค่าดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าแบตเตอรี่เคี้ยวสุตรลดปริมาณไซแดง ในขณะที่ปริมาณความชื้น , ค่า Water activity, ดัชนีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะมีค่าสูงกว่าสุตรลดปริมาณไซแดง

4. ผลการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้จาก แป้งข้าวหอมมะลิ, แบตเตอรี่เค้แป้งข้าวเหนียว, และแบตเตอรี่เค้แป้งผสม ระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวสูตรลดปริมาณไข่แดงและแบตเตอรี่เค้เชิงการค้า

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive test) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้จากแป้งข้าวหอมมะลิ, แบตเตอรี่เค้แป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้แป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวสูตรลดปริมาณไข่แดง และแบตเตอรี่เค้เชิงการค้า โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 7 คน

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้แป้งข้าวหอมมะลิ, แบตเตอรี่เค้แป้งข้าวเหนียว แบตเตอรี่เค้แป้งข้าวผสม และแบตเตอรี่เค้เชิงการค้า พบว่ามีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่รวบรวมได้ทั้งหมด 39 คุณลักษณะ สามารถแบ่งได้เป็น ลักษณะปรากฏ (appearance) 5 ลักษณะ กลิ่น (odor) 8 ลักษณะ กลิ่นรส (flavor) 8 ลักษณะ รส (taste) 2 ลักษณะ ความรู้สึกตกค้าง (after taste) 6 ลักษณะ เนื้อสัมผัส (texture) 10 ลักษณะ คำศัพท์คำนิยาม วิธีการประเมินและตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิงแสดงดังตารางที่ 46-52 และระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของตัวอย่างแบตเตอรี่เค้แสดงดังตารางที่ 53-57 และภาพที่ 17-21

ตารางที่ 46 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1. สีเหลือง	นิยาม: สีของตัวอย่างที่ปรากฏตั้งแต่สีเหลืองอ่อนจนถึงเหลืองเข้ม	แบตเตอรี่เค็ก S&P	4
	วิธีการ: ประเมินสีเหลืองที่ปรากฏบริเวณผิวด้านบนของตัวอย่าง โดยมองตัวอย่างทำมุม 45° ระยะห่างจากสายตาประมาณ 1 ฟุต (อ่อน-เข้ม)	แบตเตอรี่เค็กแบ่งข้าว 50:50	11
2. ขนาดของไฟรองอากาศ	นิยาม: ขนาดของไฟรองอากาศที่ปรากฏในเนื้อตัวอย่างโดยรวม (เล็ก-ใหญ่)	แบตเตอรี่เค็ก S&P	5
	วิธีการ: มองตัวอย่างทำมุม 45° ระยะห่างจากสายตาประมาณ 1 ฟุต (เล็ก-ใหญ่)	แบตเตอรี่เค็กเบเกอร์ แลนด์	9
3. ความสม่ำเสมอของไฟรองอากาศ	นิยาม: ความสม่ำเสมอของขนาดไฟรองอากาศที่ปรากฏในเนื้อตัวอย่าง(เล็ก-ใหญ่)	ขนมปังฟาร์มเฮาส์	4
	วิธีการ: มองตัวอย่างทำมุม 45° ระยะห่างจากสายตาประมาณ 1 ฟุต (เล็ก-ใหญ่)	แบตเตอรี่เค็ก S&P	12
4. ความขุ่นขึ้น	นิยาม: ระดับความขุ่นขึ้นของตัวอย่างที่มองเห็นด้วยตาเปล่า	แบตเตอรี่เค็กเบเกอร์ แลนด์	7
5. การขึ้นฟู	นิยาม: ระดับการขึ้นฟูของเนื้อเค็ก	แบตเตอรี่เค็กแบ่งข้าว	10
	วิธีการ: เปรียบเทียบลักษณะปรากฏของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง	90:10	

ตารางที่ 47 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1. กลิ่นหวาน โดยรวม	นิยาม: กลิ่นหวานที่ประเมินได้จากการดมตัวอย่าง วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	สารละลายวานิลลา 10 หยด/น้ำ 20 cc	7
2. กลิ่นเนย	นิยาม: กลิ่นเฉพาะตัวของเนยสด ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นนม ไขมัน กลิ่นเค็ม กลิ่นหวาน วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	เนยละลาย	7
3. กลิ่นไข่	นิยาม: กลิ่นเฉพาะตัวของไข่สุก ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นคาว กลิ่นซัลเฟอร์ อ่อนๆ วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	ขนมไข่กรอบ ½ ชิ้น ขนมไข่กรอบ ¼ ชิ้น	6
4. กลิ่นแป้งสุก	นิยาม: กลิ่นแป้งที่ผ่านความร้อนโดยการอบ ซึ่งประกอบไปด้วยกลิ่นธัญพืช กลิ่นแห้ง กลิ่น Brown วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	แป้งสาลีผสมแป้งข้าว อัตราส่วน 50:50 คั่วเป็นเวลา 90 วินาที	4
5. กลิ่นหืน	นิยาม: กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของน้ำมันที่เสื่อมคุณภาพ (น้อย-มาก) วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	มาการีนเก่า ยี่ห้อเค้กท็อปส์	5

ตารางที่ 47 (ต่อ)

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
6.กลิ่นCitrus	นิยาม: กลิ่นของผลไม้ตระกูลส้มซึ่งประกอบด้วยกลิ่น เปรี้ยว หวาน สดชื่น (น้อย-มาก) วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	กลิ่นส้ม 1 หยดละลายน้ำ 40 cc	6
7.กลิ่นสารเคมี	นิยาม: กลิ่นแปลกปลอมที่มีกลิ่นขม, กลิ่นคล้ายยาง, ยา (น้อย-มาก) วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	ยายี่ห้อ NIDA SINUZING 5 mg	7
8.กลิ่นใบเตย	นิยาม: กลิ่นใบเตยซึ่งประกอบด้วยกลิ่น หวาน, กลิ่นเขียว(น้อย-มาก) วิธีการ: ดมตัวอย่าง และประเมินระดับความเข้มของกลิ่นที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	สารละลายกลิ่นใบเตย	8

ตารางที่ 48 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1.กลิ่นรสหวาน โดยรวม	นิยาม: กลิ่นรสหวานที่ประเมินได้ จากการชิมตัวอย่าง วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ชิ้น และประเมินความเข้มของกลิ่น รสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	สารละลายวานิลลา 10 หยด/น้ำ 20 cc	6
2.กลิ่นรสเนย	นิยาม: กลิ่นรสเฉพาะตัวของเนยสด ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นรสนม ไขมัน กลิ่นเค็ม กลิ่นรสหวาน วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ชิ้น และประเมินความเข้มของกลิ่น รสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	เนยละลาย	11
3.กลิ่นรสไข่	นิยาม: กลิ่นรสเฉพาะตัวของไข่สุก ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นคาว กลิ่น ซัลเฟอร์อ่อนๆ วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ชิ้น และประเมินความเข้มของกลิ่น รสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	ขนมไข่กรอบ 1/2 ชิ้น ขนมไข่กรอบ 1/4 ชิ้น	8
4.กลิ่นรสแป้งสุก	นิยาม: กลิ่นรสแป้งที่ผ่านความร้อน โดยการอบ ซึ่งประกอบไปด้วยกลิ่น ธัญพืช กลิ่นแห้ง กลิ่น Brown วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ชิ้น และประเมินความเข้มของกลิ่น รสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	แป้งสาลีผสมแป้งข้าว อัตรารสส่วน 50:50 คั่วเป็นเวลา 90 วินาที	6

ตารางที่ 48 (ต่อ)

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
5. กลิ่นรสหืน	นิยาม: กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของน้ำมันหรือไขมันที่เสื่อมคุณภาพ (น้อย-มาก) วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ซึ้น และประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	มาการีนเก่า ยี่ห้อเค็กทือปส์	8
6. กลิ่นรสCitrus	นิยาม: กลิ่นรสของผลไม้ตระกูลส้มซึ่งประกอบด้วยกลิ่น เปรี้ยว หวาน สดชื่น (น้อย-มาก) วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ซึ้น และประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	กลิ่นส้ม 1 หยดละลายน้ำ 40 cc	6
7. กลิ่นรสสารเคมี	นิยาม: กลิ่นรสแปลกปลอมที่มีกลิ่นขม, กลิ่นคล้ายยาง, ยา (น้อย-มาก) วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ซึ้น และประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	ยายี่ห้อ NIDA SINUZING 5 mg	7
8. กลิ่นรสไบเตย	นิยาม: กลิ่นรสไบเตยซึ่งประกอบด้วยกลิ่นหวาน, กลิ่นเขียว(น้อย-มาก) วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ซึ้น และประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	สารละลายกลิ่นไบเตย	8

ตารางที่ 49 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1.รสหวาน	นิยาม: การรับรสพื้นฐานของลิ้นเมื่อถูก	ชูโครส 2%	2
	กระตุ้นด้วยน้ำตาล หรือสารให้ความหวาน	ชูโครส 5%	5
	วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน และ ประเมินความเข้มของรสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)	ชูโครส 10%	10
2.รสเค็ม	นิยาม: การรับรสพื้นฐานของลิ้นเมื่อถูก	NaCl 0.2%	2.5
	กระตุ้นด้วยเกลือ หรือสารให้ความเค็ม	NaCl 0.35%	5
	วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน และ ประเมินความเข้มของรสที่เกิดขึ้น (น้อย-มาก)		

ตารางที่ 50 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านความรู้สึกภายในปากของผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1.คอแห้ง(หลังกลืนทันที)	นิยาม: ความรู้สึกแห้งในลำคอ ทำให้ กระหายน้ำ	แครกเกอร์โรซี่ ½ ช้อน	5
	วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน และประเมินความรู้สึกคอแห้งที่เกิดขึ้น หลังกลืนตัวอย่าง (น้อย-มาก)		
2.ความมันเคลือบปาก	นิยาม: ความรู้สึกเคลือบภายในปาก ซึ่ง เกิดจากแป้งและไขมัน	แครกเกอร์โรซี่ ½ ช้อน	5
	วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน ประเมินความรู้สึกมันเคลือบภายในปาก ซึ่งเกิดจากไขมัน (น้อย-มาก)		

ตารางที่ 51 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านความรู้สึกตกค้างภายในปากของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1.รสหวานตกค้าง	นิยาม: ความรู้สึกตกค้างภายในปากหลังจาก	ชูโครส 2%	2
	กลืนหรือบ้วนตัวอย่าง	ชูโครส 5%	5
	วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน เคี้ยว ตัวอย่างและกลืน จากนั้นจึงประเมินความเข้ม ของรสหลังกลืน 30 วินาที (น้อย-มาก)	ชูโครส 10%	10
2.กลิ่นรสเนยตกค้าง	นิยาม: ความรู้สึกตกค้างภายในปากหลังจาก	เนยละลาย	11
	กลืนหรือบ้วนตัวอย่าง วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน เคี้ยว ตัวอย่างและกลืน จากนั้นจึงประเมินความเข้ม ของรสหลังกลืน 30 วินาที (น้อย-มาก)		
3.รสเค็มตกค้าง	นิยาม: ความรู้สึกตกค้างภายในปากหลังจาก	NaCl 0.2%	2.5
	กลืนหรือบ้วนตัวอย่าง	NaCl 0.35%	5
	วิธีการ: ชิมตัวอย่างอย่างน้อย 1/2 ช้อน เคี้ยว ตัวอย่างและกลืน จากนั้นจึงประเมินความเข้ม ของรสหลังกลืน 30 วินาที (น้อย-มาก)		
4.กลิ่นรสแป้ง ตกค้าง	นิยาม: ความรู้สึกตกค้างภายในปากหลังจาก กลืนหรือบ้วนตัวอย่าง วิธีการ: ชิมตัวอย่าง อย่างน้อย 1/2 ช้อน เคี้ยวตัวอย่างและกลืน จากนั้นจึงประเมินความเข้มหลังกลืน 30 วินาที (น้อย-มาก)	แป้งสาลีผสมแป้ง ข้าว อัตราส่วน 50:50 คั่วเป็นเวลา 90 วินาที	6

ตารางที่ 52 คำศัพท์ คำนิยาม วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่าง
อ้างอิง ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
1 Finger perception			
1.ความมัน (Oily)	นิยาม: ความรู้สึกมันหลังจากใช้มือสัมผัสตัวอย่าง วิธีการ: ประเมินความรู้สึกมันหลังใช้นิ้วชี้และหัวแม่มือสัมผัสตัวอย่าง (น้อย-มาก)	แครกเกอร์โรซี่	7
2.ความยืดหยุ่น (Springiness)	นิยาม: ระดับการคืนสู่รูปร่างเดิมของตัวอย่างจากแรงกดโดยใช้นิ้วมือกด วิธีการ: ประเมินความเร็วของการคืนกลับสู่รูปร่างเดิมของตัวอย่างโดยใช้นิ้วชี้กดตัวอย่าง (น้อย-มาก)	บัตเตอร์เค้ก S&P ขนาด 1 x 1 cm	6
2 First bite			
3.ความนุ่ม (softness)	นิยาม: ระดับความแน่นเนื้อของตัวอย่างเมื่อกัดครั้งแรก วิธีการ: กัดตัวอย่างด้วยฟันกราม แล้วประเมินความแน่นเนื้อ (น้อย-มาก)	บัตเตอร์เค้ก S&P ขนาด 1 x 1 cm	3
4.การเกาะตัวของตัวอย่าง (Cohesiveness)	นิยาม: ระดับการเกาะรวมตัวของตัวอย่างเมื่อกัดครั้งแรก วิธีการ: กัดตัวอย่างด้วยฟันกราม แล้วประเมินการเกาะรวมตัว (น้อย-มาก)	บัตเตอร์เค้ก S&P ขนาด 1 x 1 cm	10
3 Masticatory phase			
5.ความชุ่มฉ่ำ (moistness)	นิยาม: ปริมาณน้ำในตัวอย่างที่รู้สึกได้ระหว่างเคี้ยว วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 5 ครั้ง แล้วประเมินปริมาณน้ำในตัวอย่าง (น้อย-มาก)	บัตเตอร์เค้ก S&P ขนาด 1 x 1 cm	7

ตารางที่ 52 (ต่อ)

คำศัพท์	นิยามและวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง	ความเข้ม
6.ความหยาบของ ตัวอย่าง (Roughness)	นิยาม: ระดับการเสียดสีของพื้นผิวของ ตัวอย่างในระหว่างการเคี้ยว วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่างปริมาณ 1/2 ช้อน ด้วยฟัน กราม 5 ครั้ง จากนั้นใช้ปลายลิ้นดันกับเพดาน ปากประเมินความเรียบ/หยาบของผิวตัวอย่าง (น้อย-มาก)	แบตเตอรี่เค้ก S&P ขนาด 1 x 1 cm	3
7.การรวมตัวของ ตัวอย่าง (Cohesiveness of mass)	นิยาม: ระดับการเกาะรวมตัวของตัวอย่างที่ รู้สึกได้ระหว่างเคี้ยว วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 10 ครั้ง แล้วประเมินระดับการรวมตัว (น้อย-มาก)	ขนมปังยี่ห้อฟาร์ม เฮาส์	10
8.จำนวนครั้งในการ เคี้ยว (Chew count)	นิยาม: จำนวนครั้งในการเคี้ยวตัวอย่างจน พร้อมที่จะกลืน วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ (1 ครั้ง ต่อ 1 วินาที) ด้วยฟันกรามข้างเดียวจน ตัวอย่างพร้อมกลืน (น้อย-มาก)	แบตเตอรี่เค้ก S&P ขนาด 1 x 1 cm	6
9.ความเป็นผงแป้ง (Powdery)	นิยาม: ความรู้สึกเป็นผงละเอียด วิธีการ: ประเมินตัวอย่างระหว่างเคี้ยวคำที่ 5- 10 (น้อย-มาก)	แบตเตอรี่เค้กฟูดส์ แลนด์ ขนาด 1 x 1 cm	7
10.ความทนทานต่อการ เคี้ยว (Chewiness)	นิยาม: ความเหนียวของตัวอย่างขณะเคี้ยว วิธีการ: ประเมินตัวอย่างระหว่างเคี้ยวคำที่ 5- 10 (น้อย-มาก)	ขนมปังยี่ห้อฟาร์ม เฮาส์	6

ตารางที่ 53 ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก	ลักษณะปรากฏ				
	สีเหลือง	ขนาดโพรงอากาศ	ความสม่ำเสมอโพรงอากาศ	ความชุ่มชื้น	การขึ้นฟู
แป้งข้าวหอมมะลิ	8.61±0.56 ^c	6.89±0.46 ^c	8.96±0.97 ^{de}	5.86±0.49 ^c	13.64±0.41 ^b
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว					
80:20	7.82±0.25 ^d	6.93±0.70 ^c	8.46±0.97 ^{ef}	5.82±0.58 ^c	13.64±0.54 ^b
60:40	8.08±0.47 ^d	6.85±0.63 ^c	7.19±0.69 ^g	5.85±0.42 ^c	12.54±0.46 ^c
40:60	9.50±0.55 ^a	5.25±0.98 ^e	7.89±0.86 ^{fg}	7.57±0.73 ^a	5.14±0.97 ^d
20:80	9.04±0.54 ^b	6.32±0.99 ^{cd}	7.50±0.94 ^g	7.29±0.91 ^a	5.14±0.79 ^d
แป้งข้าวเหนียว	9.75±0.47 ^a	5.75±0.91 ^{de}	6.43±0.96 ^h	7.68±0.99 ^a	5.43±0.85 ^d
S&P	4.04±0.24 ^f	5.39±0.92 ^e	10.96±0.97 ^a	6.07±0.65 ^{bc}	14.82±0.37 ^a
Gateaux	4.71±0.67 ^e	7.86±0.77 ^b	9.54±0.93 ^{cd}	6.29±0.43 ^{bc}	14.46±0.57 ^a
Lerpang	3.75±0.55 ^f	8.50±0.68 ^a	10.14±0.93 ^{bc}	6.29±0.47 ^{bc}	14.71±0.32 ^a
Foodland	4.86±0.49 ^e	6.36±0.97 ^{cd}	10.71±0.75 ^{ab}	6.43±0.33 ^{ab}	14.71±0.38 ^a

หมายเหตุ: a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 54 ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง แบตเตอรี่เค้ก	กลิ่น							
	หวาน	เนย	ไข่	แป้งสุก	หืน	Citrus	सारเคมี	ไบเตย
แป้งข้าวหอมมะลิ	6.82±0.75 ^{ab}	3.00±0.83 ^b	2.79±0.73 ^a	2.32±0.46 ^a	0.25±0.26 ^{bc}	0.71±0.18 ^d	0.21±0.26 ^{de}	2.75±0.64 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว								
80:20	7.04±0.97 ^a	2.93±0.83 ^b	2.54±0.60 ^{ab}	2.39±0.35 ^a	0.25±0.33 ^{bc}	0±0 ^d	0.36±0.41 ^{cde}	2.96±0.77 ^a
60:40	7.00±0.85 ^a	3.12±0.94 ^b	2.46±0.60 ^{ab}	2.27±0.37 ^a	0.19±0.24 ^{bc}	0±0 ^d	0.23±0.25 ^{de}	2.77±0.64 ^a
40:60	6.93±0.68 ^{ab}	2.86±0.77 ^b	2.36±0.66 ^{ab}	2.43±0.27 ^a	0.21±0.26 ^{bc}	0.36±0.13 ^d	0.46±0.79 ^{cd}	2.79±0.78 ^a
20:80	6.50±0.59 ^{abc}	2.82±0.89 ^b	2.46±0.82 ^{ab}	2.39±0.49 ^a	0.32±0.32 ^{ab}	0±0 ^d	0.25±0.38 ^{de}	2.57±0.87 ^a
แป้งข้าวเหนียว	6.71±0.89 ^{abc}	2.82±0.75 ^b	2.36±0.66 ^{ab}	2.29±0.47 ^a	0.32±0.32 ^{ab}	0±0 ^d	0.18±0.25 ^{de}	2.64±0.66 ^a
S&P	7.07±0.87 ^a	5.04±0.84 ^a	1.82±0.58 ^c	1.50±0.34 ^b	0±0 ^{bc}	0.21±0.38 ^d	0.07±0.18 ^e	0.21±0.43 ^b
Gateaux	6.29±0.87 ^{bc}	3.32±0.61 ^b	2.29±0.54 ^{abc}	1.75±0.47 ^b	0.54±0.41 ^a	1.00±0.68 ^b	1.57±0.58 ^a	0.43±0.89 ^b
Lerpang	6.25±0.61 ^{bc}	3.11±0.68 ^b	2.14±0.46 ^{bc}	1.61±0.35 ^b	0.25±0.33 ^{bc}	1.86±0.63 ^a	0.89±0.40 ^b	0.21±0.54 ^b
Foodland	6.10±0.92 ^c	3.50±0.44 ^b	2.21±0.32 ^{bc}	1.61±0.29 ^b	0.43±0.51 ^{ab}	0.61±0.53 ^c	0.64±0.60 ^{bc}	0.57±0.99 ^b

หมายเหตุ: a-e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 55 ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง เบเกอรี่เค้ก	กลิ่นรส							
	หวาน	เนย	ไข่ ^{ns}	แป้งสุก	หืน	Citrus	สารเคมี	ไบเตย
แป้งข้าวหอมมะลิ	5.96±0.66 ^{abc}	3.39±0.76 ^b	2.86±0.69	3.11±0.59 ^a	0.36±0.36 ^a	0.11±0.29 ^d	0.25±0.33 ^{cd}	2.75±0.55 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว								
80:20	6.38±0.96 ^a	3.29±0.75 ^b	2.46±0.57	2.79±0.70 ^a	0.29±0.26 ^{ab}	0.14±0.53 ^d	0.46±0.46 ^{bcd}	2.75±0.83 ^a
60:40	6.15±0.57 ^{ab}	3.19±0.69 ^b	2.58±0.51	2.77±0.61 ^a	0.23±0.25 ^{ab}	0±0 ^d	0.27±0.25 ^{cd}	2.77±0.46 ^a
40:60	5.89±0.88 ^{abc}	2.86±0.84 ^b	2.36±0.60	2.96±0.75 ^a	0.25±0.26 ^{ab}	0±0 ^d	0.43±0.58 ^{bcd}	2.79±0.85 ^a
20:80	5.75±0.85 ^{abc}	2.71±0.85 ^b	2.36±0.41	3.04±0.79 ^a	0.32±0.32 ^a	0.04±0.13 ^d	0.39±0.59 ^{cd}	2.71±0.75 ^a
แป้งข้าวเหนียว	5.89±0.94 ^{abc}	3.04±0.91 ^b	2.32±0.67	3.07±0.68 ^a	0.19±0.25 ^{ab}	0±0 ^d	0.29±0.38 ^{cd}	2.68±0.82 ^a
S&P	6.46±0.69 ^a	5.89±0.96 ^a	2.18±0.61	1.89±0.56 ^b	0.04±0.13 ^b	0.29±0.47 ^c	0.07±0.18 ^d	0.46±0.91 ^b
Gateaux	5.50±0.78 ^{bc}	3.36±0.82 ^b	2.71±0.67	2.18±0.69 ^b	0.43±0.43 ^a	1.29±0.89 ^a	1.54±0.75 ^a	0.39±0.81 ^b
Lerpang	6.00±0.98 ^{abc}	3.14±0.91 ^b	2.39±0.53	2.00±0.62 ^b	0.21±0.26 ^{ab}	2.04±0.69 ^a	0.82±0.37 ^b	0.21±0.58 ^b
Foodland	5.43±0.78 ^c	3.29±0.69 ^b	2.36±0.49	2.18±0.54 ^b	0.46±0.49 ^a	0.57±0.62 ^c	0.61±0.68 ^{bc}	0.54±0.89 ^b

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 56 ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านรสชาติ ความรู้สึกภายในปาก และสิ่งตกค้างของบัตเตอร์เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง

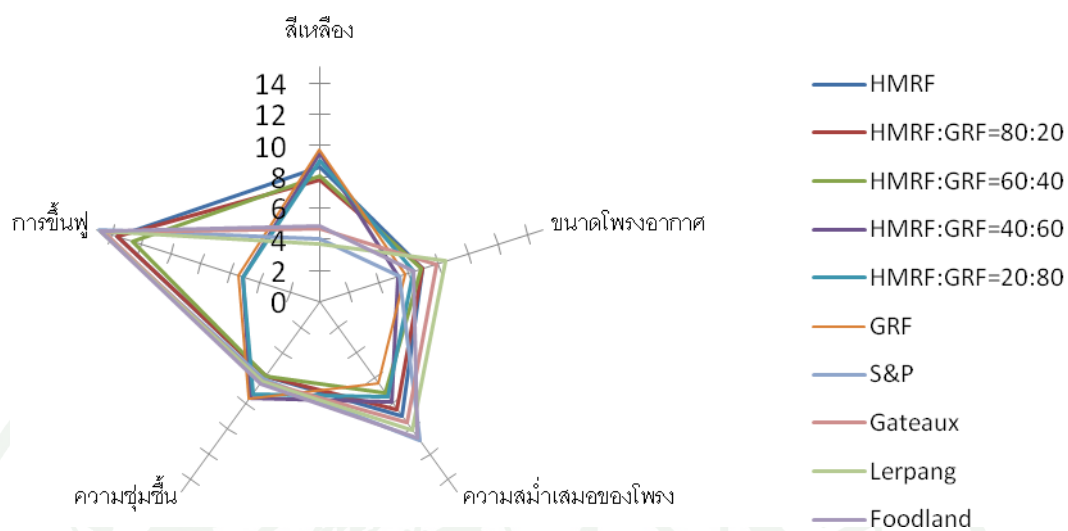
ตัวอย่าง บัตเตอร์เค้ก	รสชาติ		ความรู้สึกภายในปาก				สิ่งตกค้าง	
	หวาน	เค็ม ^{ns}	คอแห้ง	ความมันเคลือบปาก ^{ns}	รสหวาน	รสเค็ม ^{ns}	กลิ่นรสเนย	กลิ่นรสแป้งสูง ^{ns}
แป้งข้าวหอมมะลิ	7.21±0.87 ^{bc}	2.96±0.41	2.79±0.67 ^{bc}	2.71±0.91	1.82±0.64 ^b	1.07±0.53	1.14±0.38 ^b	0.89±0.35
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว								
80:20	7.14±0.69 ^c	3.10±0.35	2.93±0.8 ^{abc}	2.71±0.85	1.89±0.63 ^{ab}	1.07±0.45	1.11±0.33 ^b	1.11±0.35
60:40	7.50±0.52 ^{bc}	3.08±0.27	2.96±0.66 ^{abc}	2.81±0.82	2.00±0.48 ^{ab}	0.96±0.53	1.15±0.31 ^b	1.00±0.34
40:60	7.21±0.83 ^{bc}	3.00±0.48	3.00±0.65 ^{abc}	3.04±0.82	1.71±0.69 ^b	1.04±0.59	1.11±0.66 ^b	1.21±0.43
20:80	7.36±0.86 ^{bc}	3.07±0.43	2.57±0.81 ^c	3.07±0.89	1.89±0.71 ^{ab}	1.00±0.78	1.21±0.39 ^b	1.07±0.43
แป้งข้าวเหนียว	7.86±0.57 ^b	3.21±0.32	2.79±0.96 ^{bc}	3.21±0.97	2.11±0.53 ^{ab}	1.07±0.61	1.32±0.39 ^b	1.11±0.40
S&P	9.18±0.46 ^a	3.25±0.58	3.04±0.89 ^{abc}	3.18±0.75	2.39±0.35 ^a	1.18±0.42	1.82±0.54 ^a	1.00±0.44
Gateaux	7.57±0.76 ^{bc}	2.82±0.72	2.71±0.84 ^{bc}	2.86±0.84	1.79±0.75 ^b	0.96±0.64	1.29±0.63 ^b	0.89±0.35
Lerpang	9.21±0.89 ^a	3.21±0.64	3.29±0.75 ^{ab}	3.39±0.96	2.21±0.51 ^{ab}	1.14±0.61	1.25±0.60 ^b	0.89±0.29
Foodland	7.79±0.89 ^{bc}	2.61±0.88	3.46±0.54 ^a	3.18±0.91	1.93±0.62 ^{ab}	0.82±0.61	1.32±0.50 ^b	1.07±0.33

หมายเหตุ: a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

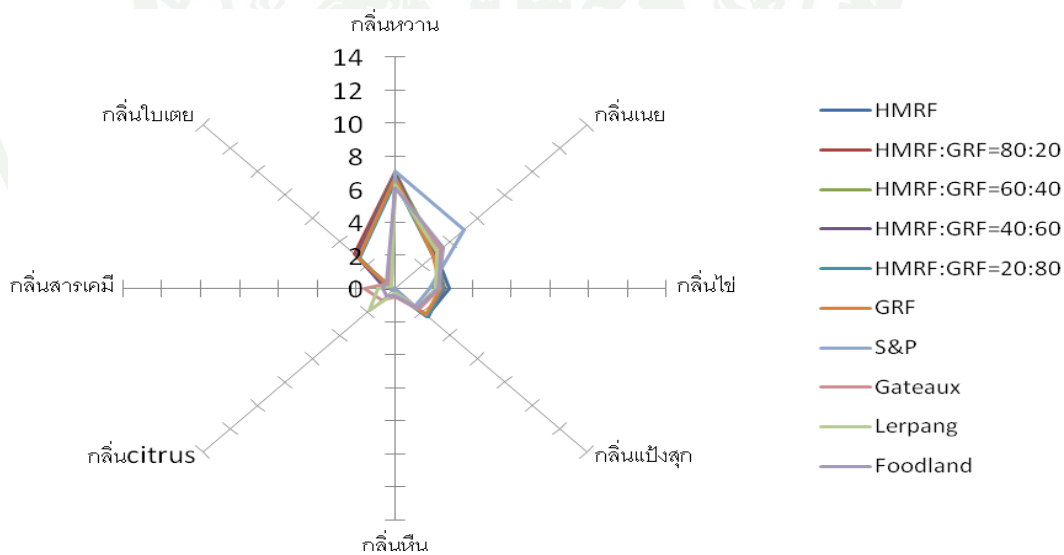
ตารางที่ 57 ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่างเบเกอรี่เค้ก	ความมัน	ความยืดหยุ่น	ความนุ่ม	การเกาะตัวของตัวอย่าง	ความชุ่มชื้น	ความหยาบ	การรวมตัวของตัวอย่าง	จำนวนครั้งในการเคี้ยว	ความเป็นผงแป้ง	ความทนทานต่อการเคี้ยว
แป้งข้าวหอมมะลิ	5.18±0.87 ^c	6.75±0.78 ^a	3.64±0.86 ^{bc}	10.54±0.89 ^{bc}	6.75±0.94 ^{cd}	3.93±0.68 ^{ab}	8.21±0.47 ^a	6.68±0.69 ^c	1.93±0.62 ^c	1.71±0.32 ^b
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว										
80:20	5.43±0.65 ^{de}	6.75±0.64 ^a	3.57±0.65 ^{cd}	10.61±0.96 ^b	7.00±0.89 ^{bc}	3.96±0.41 ^{ab}	8.29±0.91 ^a	6.71±0.43 ^c	2.00±0.65 ^c	1.68±0.61 ^b
60:40	5.50±0.71 ^{de}	6.62±0.59 ^a	3.77±0.72 ^{abc}	10.88±0.81 ^b	7.19±0.91 ^{bc}	4.04±0.49 ^{ab}	8.15±0.57 ^a	6.85±0.49 ^{bc}	1.88±0.74 ^c	1.77±0.61 ^b
40:60	6.57±0.83 ^{ab}	5.96±0.91 ^{bc}	4.25±0.67 ^a	11.64±0.84 ^a	8.07±0.94 ^a	4.29±0.67 ^a	8.14±0.84 ^a	7.29±0.51 ^{ab}	1.89±0.86 ^c	2.25±0.43 ^a
20:80	6.57±0.70 ^{ab}	6.04±0.91 ^b	4.14±0.72 ^{ab}	11.64±0.91 ^a	8.04±0.82 ^a	4.07±0.65 ^{ab}	8.25±0.78 ^a	7.29±0.67 ^{ab}	1.57±0.70 ^c	2.36±0.23 ^a
แป้งข้าวเหนียว	6.86±0.77 ^a	5.43±0.76 ^c	4.14±0.74 ^{ab}	12.00±0.85 ^a	7.71±0.99 ^{ab}	4.14±0.60 ^{ab}	8.18±0.79 ^a	7.36±0.53 ^a	1.43±0.81 ^c	2.29±0.51 ^a
S&P	6.14±0.60 ^{bc}	5.86±0.23 ^{bc}	3.07±0.18 ^d	9.75±0.33 ^d	6.93±0.58 ^c	3.07±0.27 ^d	7.68±0.69 ^a	6.04±0.46 ^d	1.93±0.98 ^c	0.96±0.46 ^c
Gateaux	6.54±0.75 ^{ab}	5.54±0.79 ^{bc}	2.11±0.49 ^e	9.89±0.96 ^{cd}	7.07±0.85 ^{bc}	3.46±0.49 ^c	7.68±0.95 ^a	5.89±0.53 ^d	1.86±0.79 ^c	0.96±0.54 ^c
Lerpang	5.57±0.94 ^{cde}	4.21±0.64 ^d	2.32±0.75 ^e	6.07±0.87 ^e	6.21±0.97 ^{de}	3.71±0.38 ^{bc}	6.89±0.76 ^b	5.75±0.75 ^d	2.86±0.91 ^b	0.71±0.54 ^c
Foodland	5.92±0.85 ^{bcd}	5.57±0.58 ^{bc}	2.50±0.71 ^e	6.64±0.96 ^e	5.57±0.87 ^e	4.11±0.29 ^{ab}	7.00±0.96 ^b	6.07±0.89 ^d	6.50±0.44 ^a	0.89±0.56 ^c

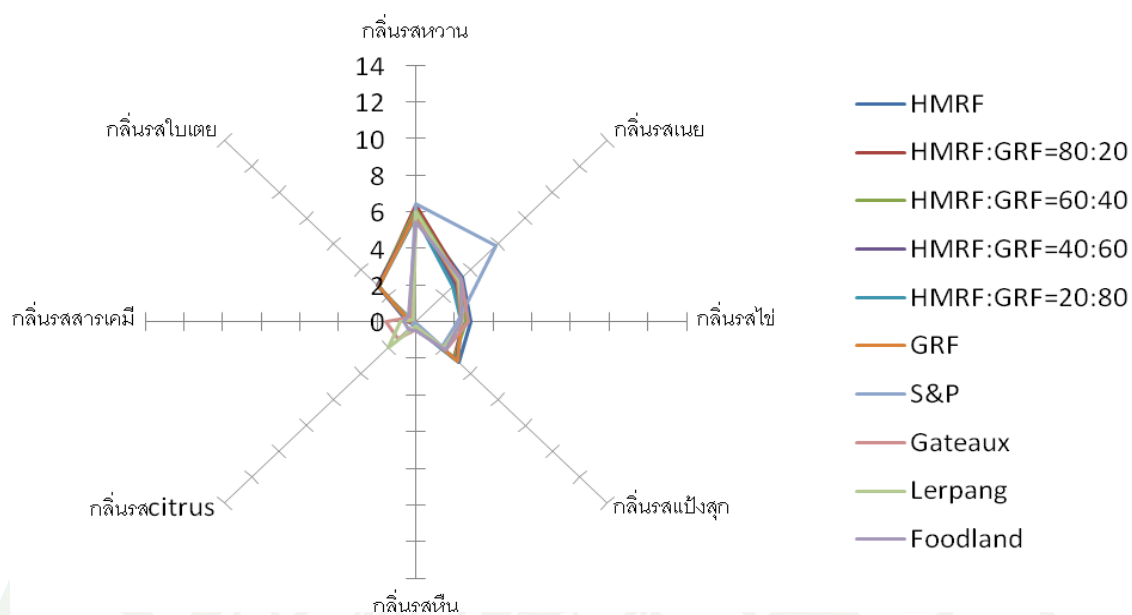
หมายเหตุ: a-e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



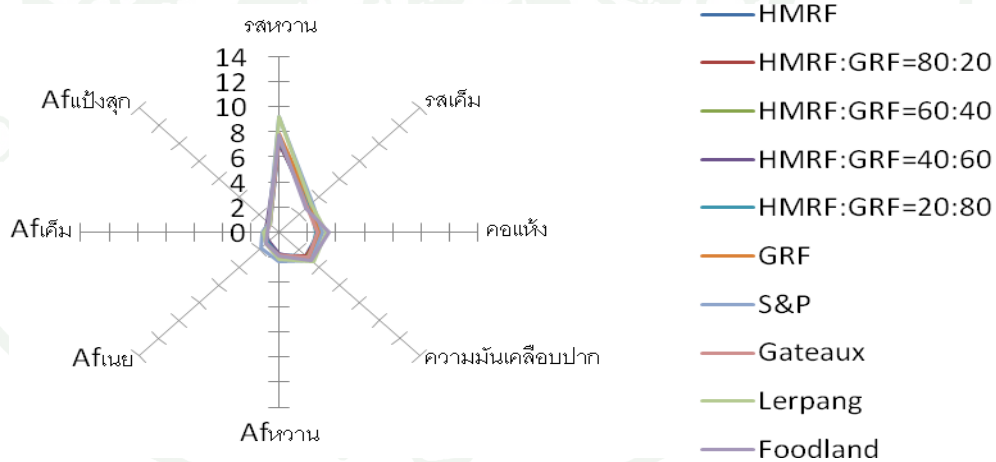
ภาพที่ 17 คะแนนความเข้มข้นด้านลักษณะปรากฏของบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันแดงจากแป้งชนิดต่างๆและบัตเตอร์เค้กเชิงการค้า



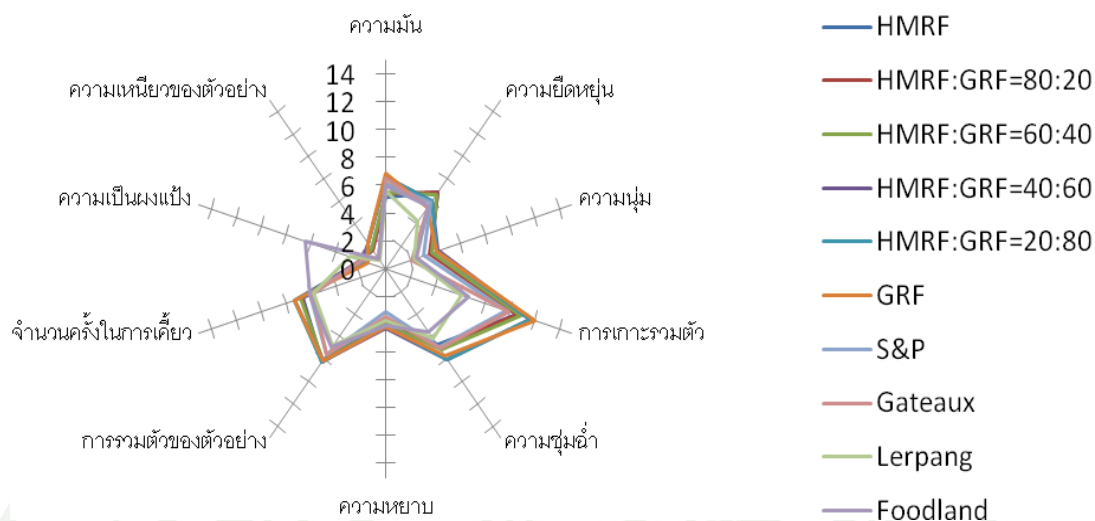
ภาพที่ 18 คะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นของบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันแดงจากแป้งชนิดต่างๆและบัตเตอร์เค้กเชิงการค้า



ภาพที่ 19 คะแนนความเข้มข้นด้านกลิ่นรสของบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันจากแป้งชนิดต่างๆ และบัตเตอร์เค้กเชิงการค้า



ภาพที่ 20 คะแนนความเข้มข้นด้านรสชาติและความรู้สึกหลังกลืนของบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันจากแป้งชนิดต่างๆ และบัตเตอร์เค้กเชิงการค้า



ภาพที่ 21 คะแนนความเข้มข้นด้านเนื้อสัมผัสของбатเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดงจากแป้งชนิดต่างๆ และбатเตอร์เค้กเชิงการค้า

เมื่อนำค่าระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างбатเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดงจากแป้ง ข้าวจำนวน 6 ตัวอย่าง และбатเตอร์เค้ก เชิงการค้า จำนวน 4 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 2 องค์ประกอบหลัก ใช้อธิบายความแปรปรวนได้ทั้งหมดร้อยละ 68.48 แสดงดังตารางที่ 58 แผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัส 39 คุณลักษณะ และตัวอย่างбатเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดงจาก แป้งข้าวจำนวน 6 ตัวอย่าง และбатเตอร์เค้กเชิงการค้าจำนวน 4 ตัวอย่าง จำนวน 10 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 22

ตารางที่ 58 ค่าน้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสของบัตเตอร์เค้กจำนวน 10 ตัวอย่าง ขององค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
ลักษณะปรากฏ		
สีเหลือง	0.983	0.069
ขนาดโพรงอากาศ	-0.489	0.510
ความสม่ำเสมอของโพรงอากาศ	-0.876	-0.082
ความชุ่มชื้น	0.430	0.019
การขึ้นฟู	-0.752	0.040
กลิ่น		
กลิ่นหวาน	0.562	-0.650
กลิ่นเนย	-0.576	-0.653
กลิ่นไข่	0.681	0.526
กลิ่นแป้งสุก	0.976	0.141
กลิ่นหืน	-0.102	0.893
กลิ่น Citrus	-0.824	0.272
กลิ่นสารเคมี	-0.545	0.637
กลิ่นใบเตย	0.963	0.063
กลิ่นรส		
กลิ่นรสหวาน	0.143	-0.797
กลิ่นรสเนย	-0.447	-0.758
กลิ่นรสไข่	0.125	0.593

ตารางที่ 58 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
กลิ่นรสแป้งสุก	<u>0.956</u>	0.173
กลิ่นรสหืน	-0.030	<u>0.945</u>
กลิ่นรส citrus	<u>-0.817</u>	0.274
กลิ่นรสสารเคมี	-0.468	<u>0.669</u>
กลิ่นรสไบเตย	<u>0.976</u>	0.004
รสชาติ		
รสหวาน	<u>-0.748</u>	-0.559
รสเค็ม	0.186	<u>-0.756</u>
ความรู้สึกหลังกลืน		
คอแห้ง	<u>-0.626</u>	-0.009
ความมันเคลือบปาก	<u>-0.474</u>	-0.282
รสหวาน	-0.488	<u>-0.760</u>
กลิ่นรสเนย	-0.521	<u>-0.699</u>
รสเค็ม	-0.024	<u>-0.721</u>
กลิ่นรสแป้งสุก	<u>0.579</u>	-0.151
Finger perception		
ความมัน	<u>0.184</u>	-0.051
ความยืดหยุ่น	<u>0.650</u>	-0.042
First bite		
ความนุ่ม	<u>0.939</u>	-0.278
การเกาะตัวของตัวอย่าง	<u>0.883</u>	-0.200

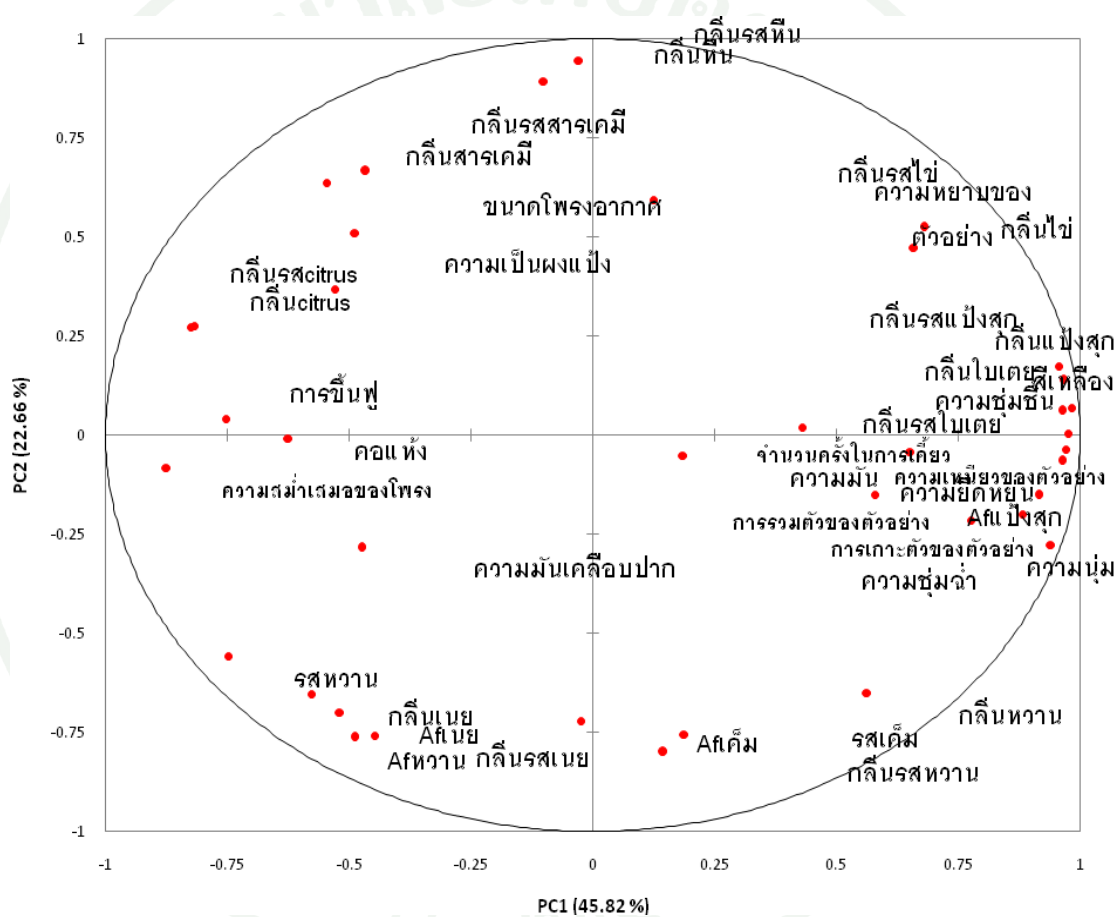
ตารางที่ 58 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
<i>Masticatory phase</i>		
ความชุ่มฉ่ำ	-0.777	-0.216
ความหยาบของตัวอย่าง	0.658	0.473
การรวมตัวของตัวอย่าง	0.916	-0.150
จำนวนครั้งในการเคี้ยว	0.963	-0.063
การเป็นผงแป้ง	-0.528	0.366
ความเหนียวของตัวอย่าง	0.971	-0.036
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	45.82	22.66
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	68.48	

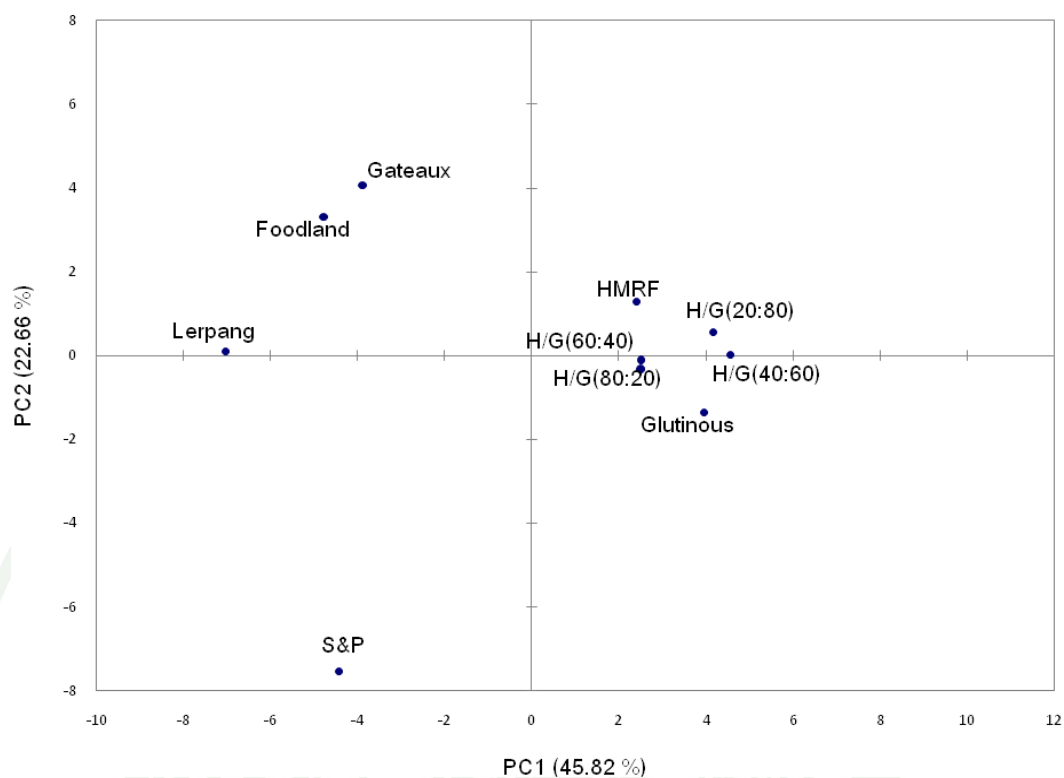
หมายเหตุ: ตัวเลขขีดเส้นใต้หมายถึงค่าน้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ที่จัดอยู่ในตัวแปรใหม่ใน PC1- PC2

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 45.82 ประกอบด้วย สีเหลือง ความชุ่มชื้น กลิ่นไข่ กลิ่นแป้งสุก กลิ่นไบเตย กลิ่นรสแป้งสุก กลิ่นรสไบเตย กลิ่นรสแป้งสุก (after taste) ความมัน ความยืดหยุ่น แรงกด ความนุ่ม การเกาะตัวกันของตัวอย่าง ความหยาบของตัวอย่าง การรวมตัวของตัวอย่าง จำนวนครั้งในการเคี้ยว และความเหนียวของตัวอย่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ องค์ประกอบที่ 1 (PC1) ด้านบวก ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความสม่ำเสมอของโพรงอากาศ การขึ้นฟู กลิ่น Citrus รสหวาน คอแห้ง ความมันเคลือบปาก ความชุ่มฉ่ำ และการเป็นผงแป้ง สัมพันธ์ทางด้านลบกับองค์ประกอบที่ 1 (PC1)

กลุ่มตัวแปรองค์ประกอบที่ 2 (PC2) ประกอบด้วยขนาดโพรงอากาศ กลิ่นหืน กลิ่นสารเคมี กลิ่นรสไข่ กลิ่นรสหืน กลิ่นรสสารเคมี ซึ่งสัมพันธ์กับ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ทางด้านบวก กลิ่นหวาน กลิ่นเนย กลิ่นรสหวาน กลิ่นรสเนย รสเค็ม รสหวาน (after taste) กลิ่นรสเนย (after taste) มีความสัมพันธ์กับ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ทางด้านลบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 22.66



(A)

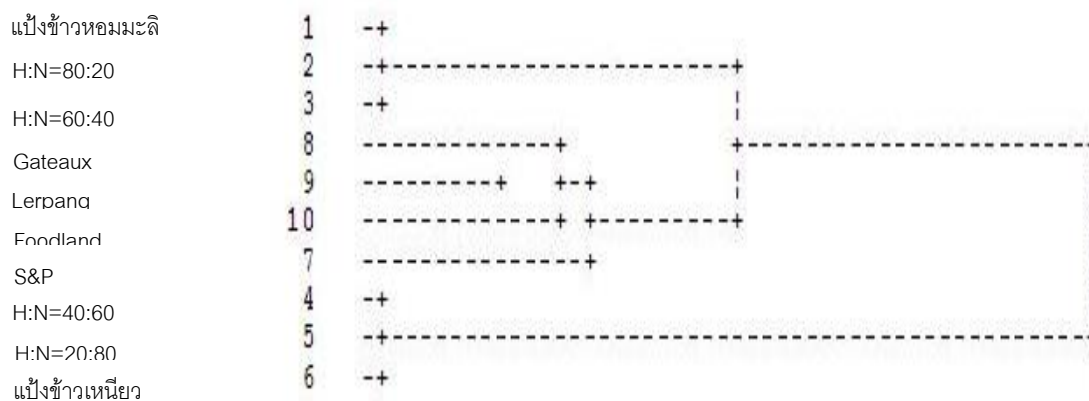


(B)

ภาพที่ 22 Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ของตัวอย่างบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันจากแป้งชนิดต่างๆ และบัตเตอร์เค้กเชิงการค้าจำนวน 10 ตัวอย่าง (A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (B) Factor score plot ของตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก 10 ตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และตัวอย่างบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันจากแป้งจำนวน 6 ตัวอย่าง และบัตเตอร์เค้กเชิงการค้าจำนวน 4 ตัวอย่าง (ภาพที่ 23) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยรวมทั้ง 2 องค์ประกอบของลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้ง 39 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กด้วยเทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal component analysis: PCA) ร่วมกับ Cluster Analysis พบว่าสามารถแยกกลุ่มตัวอย่างได้ทั้งหมด 5 กลุ่มตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

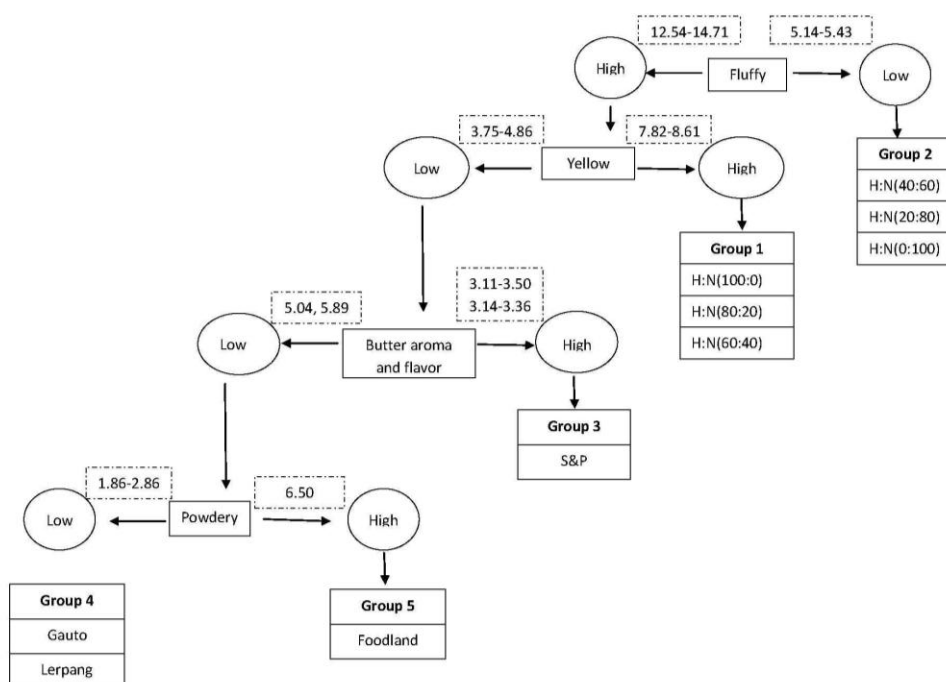
- กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวผสมระหว่างแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว (80:20 และ 60:40)
- กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวผสมระหว่างแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)
- กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P
- กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang
- กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland



ภาพที่ 23 การจัดตัวอย่างบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันจากแบ่งข้าวจำนวน 6 ตัวอย่าง และบัตเตอร์เค้กเชิงการค้าจำนวน 4 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการจัดกลุ่มตัวแปร (Cluster Analysis) โดยใช้ค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสจำนวน 39 คุณลักษณะ

หมายเหตุ: HN หมายถึง แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยรวมทั้ง 2 องค์ประกอบของลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้ง 39 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กด้วยเทคนิค วิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal component analysis; PCA) ร่วมกับ Cluster Analysis พบว่าสามารถแยกกลุ่มตัวอย่างได้ทั้งหมด 5 กลุ่มตัวอย่างดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น สามารถสรุปลักษณะเด่นของแต่ละกลุ่มตัวอย่างได้ดังภาพที่ 24 และ ตารางที่ 59-65



ภาพที่ 24 การจัดแบ่งกลุ่มบัตเตอร์เค้ก 10 ตัวอย่างด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัส ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal component analysis; PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ขององค์ประกอบที่ 1 (PC1) และองค์ประกอบที่ 2 (PC2)

หมายเหตุ: H:N หมายถึง แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม (ตารางที่ 59) พบว่า ความเข้มข้นสีเหลืองของบัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 1 และ 2 มีความเข้มสูงกว่า กลุ่ม 3, 4 และ 5 ความสม่ำเสมอของโพรงอากาศ บัตเตอร์เค้กกลุ่ม 3, 4 และ 5 มีค่าสูงกว่า กลุ่มที่ 1 และ 2 คุณลักษณะด้านการขึ้นฟู พบว่าบัตเตอร์เค้กกลุ่ม 2 ซึ่งเป็นบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวผสมที่มีปริมาณ แป้งข้าวเหนียวมากกว่า 60% ขึ้นไป มีการขึ้นฟูของเนื้อเค้กน้อยกว่าบัตเตอร์เค้กในกลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 59 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
สีเหลือง	7.82-8.60	9.04-9.75	4.04	4.71-4.86	3.75
ขนาดโพรง	6.85-6.93	5.25-6.32	5.39	6.36-7.86	8.5
อากาศ					
ความสม่ำเสมอ					
ความชุ่มชื้น	5.82-5.86	7.29-7.68	6.07	6.29-6.43	6.29
การขึ้นฟู	12.54-13.64	5.14-5.43	14.82	14.46-14.71	14.71

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวระหว่างแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว(80:20 และ 60:40)

กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวระหว่างแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)

กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P

กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang

กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและกลิ่นรสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม (ตารางที่ 60 และ 61) พบว่า บัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 3 มีกลิ่นเนยสูงที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาจากส่วนประกอบในสูตร พบว่า บัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 3 ใช้ปริมาณเนยมากกว่ากลุ่มอื่นๆ นอกจากนี้บัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 3 มีกลิ่นไข่และกลิ่นแป้งสุกต่ำที่สุด บัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจาก แบ่งข้าวหอมมะลิ และแบ่งข้าว

เหนียวพบว่ามีความเหนียวสูงกว่าบัตเตอร์เค้กในกลุ่มที่ผลิต จากแป้งสาลี (กลุ่มที่ 3, 4 และ 5) ซึ่งความเหนียวนี้จะมีเฉพาะบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวเท่านั้น

ตารางที่ 60 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
กลิ่นหวาน	6.82-7.00	6.50-6.71	7.07	6.11-6.29	6.25
กลิ่นเนย	2.93-3.11	2.82-2.86	5.04	3.32-3.5	3.11
กลิ่นไข่	2.46-2.79	2.36-2.46	1.82	2.21-2.29	2.14
กลิ่นแป้งสุก	2.27-2.39	2.29-2.43	1.50	1.61-1.75	1.61
กลิ่นหืน	0.19-0.25	0.21-0.32	0.00	0.43-0.54	0.25
กลิ่น Citrus	0.00-0.07	0-0.04	0.21	0.61-1.00	1.86
กลิ่นสารเคมี	0.21-0.36	0.18-0.46	0.07	0.64-1.57	0.89
กลิ่นเฝื่อน	2.75-2.96	2.57-2.79	0.21	0.43-0.57	0.21

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(80:20 และ 60:40)

กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)

กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P

กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang

กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland

ตารางที่ 61 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
กลิ่นรสหวาน	5.96-6.38	5.75-5.89	6.46	5.43-5.50	6.00
กลิ่นรสเนย	3.19-3.39	2.71-3.04	5.89	3.29-3.36	3.14
กลิ่นรสไข่	2.46-2.86	2.32-2.36	2.18	2.36-2.71	2.39
กลิ่นรสแป้งสุก	2.77-3.11	2.96-3.07	1.89	2.18	2.00
กลิ่นรสหืน	0.23-0.36	0.18-0.32	0.04	0.43-0.46	0.21
กลิ่นรส Citrus	0.00-0.14	0-0.04	0.29	0.57-1.29	2.04
กลิ่นรส	0.25-0.46	0.29-0.43	0.07	0.61-1.54	0.82
สารเคมี					
กลิ่นรสไบเตย	2.75-2.77	2.68-2.79	0.46	0.54-0.39	0.21

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(80:20 และ 60:40)

กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)

กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P

กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang

กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม (ตารางที่ 62) พบว่าบัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 3 และ 5 มีความเข้มของรสนหวานสูงกว่าบัตเตอร์เค้กในกลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 62 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
รสนหวาน	7.14-7.50	7.21-7.86	9.18	7.57-7.79	9.21
รสนเค็ม	2.96-3.11	3.00-3.21	3.25	2.61-2.82	3.21

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(80:20 และ 60:40)
 กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)
 กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P
 กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang
 กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกภายในปากของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม (ตารางที่ 63) พบว่าบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี (กลุ่มที่ 3, 4 และ 5) เมื่อทานแล้วจะรู้สึกคอแห้งมากกว่าบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าว (กลุ่มที่ 1 และ 2) คุณลักษณะด้านความมันเคลือบปากบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจาก

แป้งข้าวผสมที่มีปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิมากกว่า 60% ขึ้นไป มีความมันเคลือบปากน้อยกว่าบัตเตอร์เค้กในกลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 63 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกในปากของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
คอแห้ง	2.79-2.96	2.57-3.00	3.04	2.71-3.46	3.29
ความมันเคลือบปาก	2.71-2.81	3.04-3.21	3.18	2.86-3.18	3.39

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(80:20 และ 60:40)

กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)

กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P

กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang

กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกหลังกลืนของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม (ตารางที่ 64) พบว่า บัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ 3 มีรสหวาน รสเค็ม และกลิ่นรสเนยตกค้างสูงกว่าตัวอย่างบัตเตอร์เค้กในกลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 64 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกหลังกลืนของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
หวาน	1.82-2.00	1.71-2.11	2.39	1.79-1.93	2.21
เนย	1.11-1.15	1.11-1.32	1.82	1.29-1.32	1.25
เค็ม	0.96-1.07	1.00-1.07	1.18	0.82-0.96	1.14
แป้งสุก	0.89-1.11	1.07-1.21	1.00	0.89	1.07

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(80:20 และ 60:40)
 กลุ่มที่ 2 บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว(40:60 และ 20:80)
 กลุ่มที่ 3 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ S&P
 กลุ่มที่ 4 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Gateaux และ Lerpang
 กลุ่มที่ 5 บัตเตอร์เค้กยี่ห้อ Foodland

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis ของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่ม (ตารางที่ 65) พบว่า ความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การเกาะรวมตัวกันของเนื้อเค้ก (Cohesiveness) และ ความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) ของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว(กลุ่มที่ 1 และ 2) มีค่าสูงกว่าบัตเตอร์เค้กกลุ่มที่ผลิตจากแป้งสาลี (กลุ่มที่ 3, 4 และ 5)

ตารางที่ 65 สรุปผลลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้ก 5 กลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ร่วมกับ Cluster analysis

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	กลุ่ม				
	1	2	3	4	5
Hand feel					
ความมัน	5.18-5.50	6.57-6.86	6.14	5.57-6.54	5.93
ความยืดหยุ่น	6.62-6.75	5.43-6.04	5.86	4.21-5.54	5.57
First bite					
ความนุ่ม	3.57-3.77	4.14-4.25	3.07	2.11-2.32	2.50
การรวมตัวของตัวอย่าง	10.54-10.88	11.64-12.00	9.75	6.07-9.89	6.64
Masticatory phase					
ความชุ่มฉ่ำ	6.75-7.19	6.93-8.04	6.93	6.21-7.07	5.57
ความหยาบของตัวอย่าง	3.93-4.04	4.07-4.29	3.07	3.46-3.71	4.11
การรวมตัวของตัวอย่าง	8.15-8.29	8.14-8.25	7.68	6.89-7.68	7.00
จำนวนครั้งในการเคี้ยว	6.68-6.85	7.28-7.36	6.04	5.75-5.89	6.07
การเป็นผงแป้ง	1.88-2.00	1.43-1.89	1.93	1.86-2.86	6.50
ความทนทานต่อการเคี้ยว	1.68-1.97	2.25-2.36	0.96	0.71-0.96	0.89

5. ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิ สูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง

5.1 ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบความชอบ

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง คะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 66 ผลการทดสอบพบว่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวหอมมะลิและแป้งสาลี ด้านการขึ้นฟูและความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่คุณลักษณะด้านความนุ่มและความชุ่มชื้นมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมและแป้งข้าวเหนียวมีความแตกต่างจากแบตเตอรี่เค้กแป้งสาลีและแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าคะแนนความชอบของแบตเตอรี่เค้กแป้งสาลีมีค่าสูงที่สุดในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าคะแนนความชอบต่ำที่สุด ค่าคะแนนความชอบของแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวแบตเตอรี่เค้กจะมีเนื้อแน่นและชุ่มชื้นมากเกินไป

ตารางที่ 66 คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง

N=240

ตัวอย่าง แบตเตอรี่เค้ก	คะแนนความชอบเฉลี่ย			
	การขึ้นฟู	ความนุ่ม	ความชุ่มชื้น	ความชอบรวม
แป้งสาลี	6.5 ± 1.6 ^a	6.7 ± 1.6 ^a	6.6 ± 1.5 ^a	6.8 ± 1.5 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ	6.2 ± 1.3 ^{ab}	6.2 ± 1.3 ^b	6.1 ± 1.2 ^b	6.4 ± 1.1 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว				
80:20	6.1 ± 1.5 ^{ab}	6.1 ± 1.4 ^b	5.9 ± 1.4 ^{bc}	5.8 ± 1.4 ^b
60:40	6.0 ± 1.6 ^b	5.9 ± 1.9 ^{bc}	5.7 ± 2.0 ^{bcd}	5.8 ± 1.9 ^b
40:60	5.5 ± 1.8 ^c	5.6 ± 1.9 ^{cd}	5.4 ± 1.6 ^d	5.7 ± 1.5 ^b
20:80	5.4 ± 1.8 ^c	5.5 ± 1.8 ^d	5.6 ± 1.6 ^{cd}	5.7 ± 1.8 ^b
แป้งข้าวเหนียว	5.3 ± 1.8 ^c	5.4 ± 1.9 ^d	5.6 ± 1.9 ^{cd}	5.6 ± 1.9 ^b

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

5.1.2 ผลการทดสอบการยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

การยอมรับผลิตภัณฑ์โดยรวม (ร้อยละ) ของแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟองและการตัดสินใจซื้อแสดงดังตารางที่ 67 จากผลการทดสอบพบว่า ผู้บริโภคมากกว่าร้อยละ 80 ยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ ผู้บริโภคร้อยละ 55-77% ยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว) แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวผู้บริโภคให้การยอมรับต่ำที่สุด (ร้อยละ 45) ร้อยละการยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าว (แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม) พบว่าการยอมรับผลิตภัณฑ์ต่ำ

กว่าผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี จากการสังเกตตัวอย่างพบว่าแบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวเหนียวมีความชื้นมากเกินไปและมีเนื้อแน่นมากเกินไปจึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับลดลง

ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อ พบว่าผู้บริโภคอย่างน้อยร้อยละ 70 จะซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมที่อัตราส่วน แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว 80:20 และ 60:40 ผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 60-65 ในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมที่อัตราส่วน แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว 40:60 และ 20:80 และแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 50

ตารางที่ 67 การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (%)

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	การยอมรับ (%)	การตัดสินใจ (%)
แป้งสาลี	89.2	75.4
แป้งข้าวหอมมะลิ	83.3	71.7
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20	77.5	65.8
60:40	63.3	60.8
40:60	60.8	48.3
20:80	55.8	46.7
แป้งข้าวเหนียว	45.8	45.8

เมื่อพิจารณากลุ่มผู้บริโภคที่ยอมรับผลิตภัณฑ์และตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไปจะยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและ แป้งข้าวหอมมะลิ แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมที่อัตราส่วน แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว 80:20 และ 60:40 ในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมที่อัตราส่วน แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว

40:60 และ 20:80 และแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวผู้บริโภคจะตัดสินใจยอมรับและซื้อผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 (ตารางที่ 68)

ตารางที่ 68 เปรียบเทียบการยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองโดยแบ่งแยกการยอมรับ/การตัดสินใจซื้อออกเป็น 3 กลุ่ม

ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก	ยอมรับ-ซื้อ	ยอมรับ-ไม่ซื้อ	ไม่ยอมรับ-ไม่ซื้อ
แป้งสาลี	75.4	13.8	10.8
แป้งข้าวหอมมะลิ	71.7	11.7	16.7
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	65.8	11.7	22.5
60:40	60.8	3.4	35.8
40:60	48.3	12.5	39.2
20:80	46.7	9.2	44.1
แป้งข้าวเหนียว	45.8	0	54.2

5.1.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (Logistic regression) เพื่อทำนายค่าการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis: LRA) นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและการตัดสินใจซื้อ ผลการวิเคราะห์ LRA ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง แสดงผลดังตารางที่ 69 ผลการวิเคราะห์พบว่าความนุ่ม, ความชอบรวม, ความพอดีในด้านการขึ้นฟู (น้อยเกินไปเทียบกับความพอดี) เป็นคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก 7 ตัวอย่าง (บัตเตอร์เค้กแบ่งสาเล่และบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าว) โดยค่า odds ratio ของความพอดีในด้านการขึ้นฟูมีค่า 1.573 หมายความว่า ถ้าผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากความไม่พอดีมาเป็นพอดี โอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะถูกยอมรับเพิ่มขึ้น 1.573 เท่า สำหรับตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก 6 ตัวอย่าง (เฉพาะบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าว) พบว่าความนุ่ม, ความชอบรวม และความพอดีด้านความชุ่มชื้น เป็นคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยค่า odds ratio ของความพอดีด้านความชุ่มชื้นมีค่า 1.704 หมายความว่า ถ้าผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากความไม่พอดีมาเป็นพอดี โอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะถูกยอมรับเพิ่มขึ้น 1.704 เท่า

สำหรับการตัดสินใจซื้อสำหรับตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก 7 ตัวอย่าง และ 6 ตัวอย่าง พบว่าความชุ่มชื้น, ความชอบรวม, ความพอดีในการขึ้นฟู และความพอดีด้านความนุ่มเป็นคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ โดยความพอดีด้านความนุ่มมีค่า odds ratio สูงที่สุด โดยค่า odds ratio ของบัตเตอร์เค้ก 7 ตัวอย่าง และ 6 ตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 2.592 และ 3.056 ตามลำดับ หมายความว่า ถ้าผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากความไม่พอดีมาเป็นพอดี โอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะถูกยอมรับเพิ่มขึ้น 2.592 และ 3.056 เท่าตามลำดับ

ตารางที่ 69 ค่าทางสถิติ, ความน่าจะเป็น และ odds ratio สำหรับการทำนายค่าการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาคะแนนความพอดี (JAR score) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรไข่ทั้งฟอง

ตัวแปร	7 ตัวอย่าง			6 ตัวอย่าง			
	Estimate	Pr > χ^2	Odds ratio	Estimate	Pr > χ^2	Odds ratio	
การยอมรับ	การขึ้นฟู	0.0520	0.4489	1.053	0.0096	0.8954	1.010
	ความนุ่ม	0.3097	0.0001	1.363	0.3152	0.0001	1.371
	ความชุ่มชื้น	0.0024	0.9791	1.002	-0.0369	0.7002	1.038
	ความชอบรวม	0.4577	<0.0001	1.580	0.4364	<0.0001	1.547
	ความพอดีด้านการขึ้นฟู	-0.4531	0.0316	1.573	-0.3370	0.1351	1.401
	ความพอดีด้านความนุ่ม	-0.4375	0.0636	1.549	-0.4821	0.0568	1.619
	ความพอดีด้านความชุ่มชื้น	-0.4344	0.0697	1.544	-0.5330	0.0494	1.704
	การตัดสินใจซื้อ	การขึ้นฟู	0.1237	0.0431	1.132	0.1267	0.0540
ความนุ่ม		-0.0371	0.6280	1.038	-0.0597	0.4616	1.062
ความชุ่มชื้น		0.2142	0.0116	1.239	0.1801	0.0454	1.197
ความชอบรวม		0.4041	<0.0001	1.498	0.3330	0.0004	1.395
ความพอดีด้านการขึ้นฟู		-0.5618	0.0053	1.754	-0.4608	0.0339	1.585
ความพอดีด้านความนุ่ม		-0.9526	<0.0001	2.592	-1.1171	<0.0001	3.056
ความพอดีด้านความชุ่มชื้น		-0.2102	0.3584	1.234	-0.2002	0.4549	1.222

หมายเหตุ: ความพอดีด้านการขึ้นฟู = การขึ้นฟูไม่เพียงพอเปรียบเทียบกับความพอดี, ความพอดีด้านความนุ่ม = ความนุ่มไม่เพียงพอเปรียบเทียบกับความพอดี, ความพอดีด้านความชุ่มชื้น = ความชุ่มชื้นไม่เพียงพอเปรียบเทียบกับความพอดี
 แบตเตอรี่เค็ก 7 ตัวอย่าง ประกอบด้วย แบตเตอรี่เค็กแป้งสาลี 1 ตัวอย่าง (ตัวอย่างควบคุม) และแบตเตอรี่เค็กแป้งข้าว 6 ตัวอย่าง
 แบตเตอรี่เค็ก 6 ตัวอย่าง ประกอบด้วย แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าว 6 ตัวอย่าง)

5.1.4 การวิเคราะห์ Penalty และ SNR Analysis

การวิเคราะห์หรือร้อยละความพอดี ค่า mean drop และการวิเคราะห์ Total penalty ของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง เพื่อให้เข้าใจว่าคุณลักษณะใดของผลิตภัณฑ์ที่ควรจะปรับปรุง ตัวอย่างบัตเตอร์เค้กที่มีค่าคะแนนความไม่พอดี (non-JAR) มากกว่าร้อยละ 20 จะถูกนำมาคำนวณค่า mean drop (ASTM 2009) ผลร้อยละของความพอดี แสดงดังตารางที่ 70 ค่า mean drop และค่า Total penalty แสดงดังตารางที่ 71

ตารางที่ 70 ร้อยละของสเกลความพอดีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวและแป้งสาลีสูตรไข่ทั้งฟอง

ผลิตภัณฑ์	การขึ้นฟู (%)			ความนุ่ม (%)			ความชุ่มชื้น (%)		
	น้อย	พอดี	มาก	น้อย	พอดี	มาก	น้อย	พอดี	มาก
บัตเตอร์เค้ก	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป
แป้งสาลี	10.83	81.67	7.5	11.67	84.58	3.75	17.5	80	2.5
แป้งข้าวหอมมะลิ	16.67	80.00	3.33	16.67	80	3.33	18.33	77.5	4.17
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว									
80:20	18.33	80.00	1.67	17.5	75.00	7.5	15.00	78.33	6.67
60:40	19.17	79.17	1.66	19.17	70.83	10.00	13.33	67.50	19.17
40:60	35.83	60.84	3.33	14.17	63.33	22.50	11.67	61.67	26.66
20:80	38.33	58.33	3.34	13.33	59.17	27.5	14.17	54.16	31.67
แป้งข้าวเหนียว	39.17	58.33	2.5	21.67	48.33	30.00	5.00	44.17	50.83

ตารางที่ 71 ค่า Mean drop และค่า Total penalty สูตรไข้ทั้งฟอง

ผลิตภัณฑ์	การขึ้นฟู			ความนุ่ม			ความชุ่มชื้น		
	Mean drop (NE)	Mean drop (TM)	Total penalty	Mean drop (NE)	Mean drop (TM)	Total penalty	Mean drop (NE)	Mean drop (TM)	Total penalty
แป้งสาลี	1.15	0.91	0.85	2.15	0.57	0.66	1.34	0.49	0.99
แป้งข้าวหอมมะลิ	1.02	1.17	0.85	-0.05	-0.10	1.26	0.31	0.57	1.19
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว									
80:20	0.63	-0.28	1.17	0.72	0.09	1.35	0.64	0.15	1.14
60:40	1.47	0.84	0.84	2.58	0.49	1.00	0.35	0.35	1.39
40:60	1.27	0.94	1.46	1.64	1.64	0.93	0.98	0.98	1.24
20:80	0.99	0.77	1.67	1.43	1.43	0.95	1.5	1.50	1.42
แป้งข้าวเหนียว	1.41	1.17	1.36	1.77	1.77	1.13	2.41	2.41	0.98

ค่าคะแนน total penalty การขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์แป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข้ทั้งฟองอยู่ในช่วง 0.84-1.67 ค่า total penalty ด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์แป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข้ทั้งฟองอยู่ในช่วง 0.93-1.35 ค่า total penalty ด้านความชุ่มชื้นอยู่ในช่วง 0.98-1.42 ตัวอย่างที่มีค่า penalty สูงแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากในสเกลคะแนน hedonic ผลการคำนวณค่าคะแนน mean drop ของผลิตภัณฑ์แป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข้ทั้งฟอง พบว่า mean drop ของการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 0.99-1.47, ค่า mean drop ของความนุ่มอยู่ในช่วง 0.72-2.58 และ mean drop ของค่าความชุ่มชื้นอยู่ในช่วง 0.31-2.41 ตัวอย่างที่มีค่า mean drop สูงกว่า 2.0 นักวิจัยต้องให้ความสำคัญในการปรับปรุงคุณลักษณะนี้

การวิเคราะห์ The signal-to-noise-ratio (SNR) แสดงผลดังตารางที่ 72 ภาพที่ 25-27 ค่า SNR ที่มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับความพอดี จากผลการวิเคราะห์ SNR พบว่าแป้งสาลีมีค่า SNR (การขึ้นฟู, ความนุ่ม และความชุ่มชื้น) สูงที่สุด รองลงมา

ได้แก่บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80) มีค่า SNR ต่ำกว่าแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ ในขณะที่บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีค่า SNR ต่ำที่สุด

จากภาพที่ 25 ค่า SNR ของการขึ้นฟูของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง พบว่าค่า SNR ของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยค่า SNR ของบัตเตอร์เค้กแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20 และ 60:40) มีค่า SNR ของการขึ้นฟูใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่า SNR ของการขึ้นฟูของบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60 และ 20:80) และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียวมีค่า SNR ใกล้เคียงกัน และมีค่า SNR ต่ำกว่าค่า SNR ของบัตเตอร์เค้กแป้งสาลี บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20 และ 60:40) นั้นแสดงให้เห็นว่า ต้องมีการปรับปรุงคุณลักษณะด้านการขึ้นฟูของบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60 และ 20:80) และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว

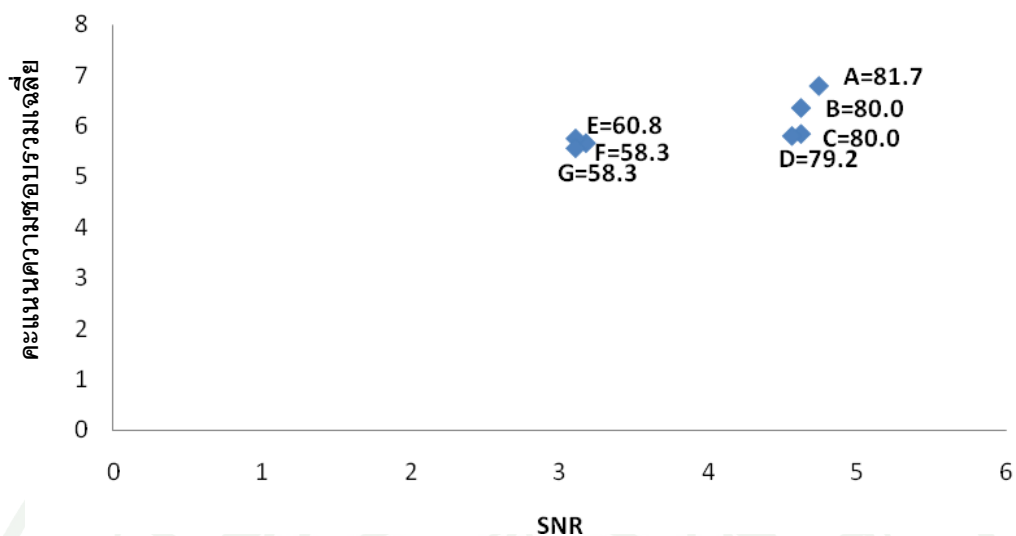
จากภาพที่ 26 ค่า SNR ของความนุ่มของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง พบว่าค่า SNR ของบัตเตอร์เค้กแป้งสาลีมีค่าสูงสุด (4.94) รองลงมาได้แก่ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียวมีค่า SNR ต่ำที่สุด (2.41)

จากภาพที่ 27 ค่า SNR ของความชุ่มชื้นของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง พบว่าค่า SNR ของบัตเตอร์เค้กแป้งสาลีมีค่าสูงสุด (4.62) รองลงมาได้แก่ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียวมีค่า SNR ต่ำที่สุด (2.12)

จากผลการวิเคราะห์หาค่า SNR สามารถสรุปได้ว่าคุณลักษณะด้านการขึ้นฟู, ความนุ่ม และ ความชุ่มชื้น เป็นคุณลักษณะที่ควรปรับปรุงสำหรับผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจาก แป้งสาลี

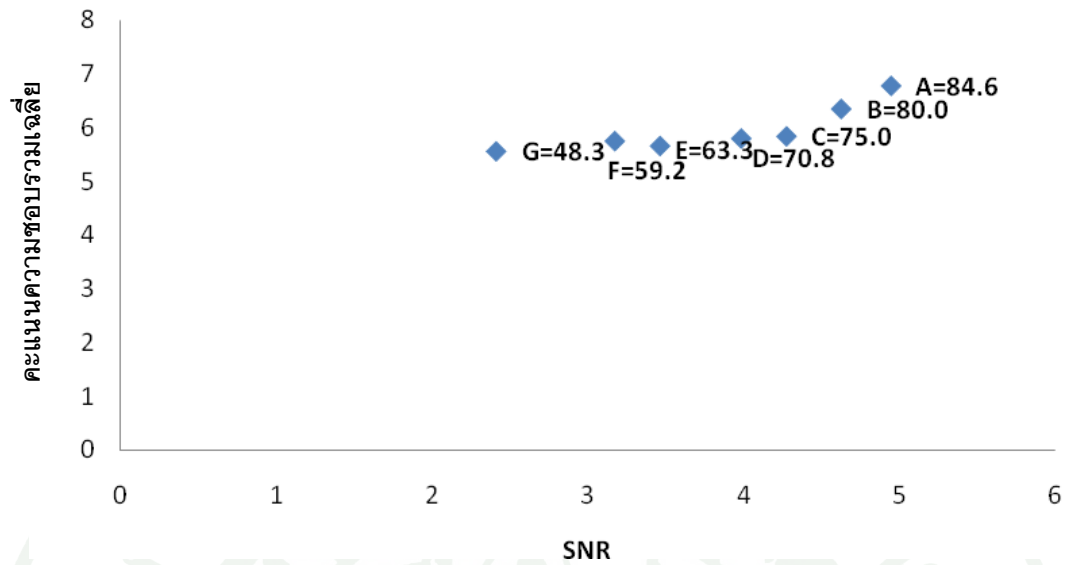
ตารางที่ 72 ค่า Signal to noise ratio (SNR) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	ค่า Signal to noise ratio (SNR)		
	การขึ้นฟู	ความนุ่ม	ความชุ่มชื้น
แป้งสาลี	4.74	4.94	4.62
แป้งข้าวหอมมะลิ	4.62	4.62	4.45
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	4.62	4.27	4.51
60:40	4.56	3.98	3.75
40:60	3.18	3.46	3.34
20:80	3.11	3.17	2.82
แป้งข้าวเหนียว	3.11	2.41	2.12



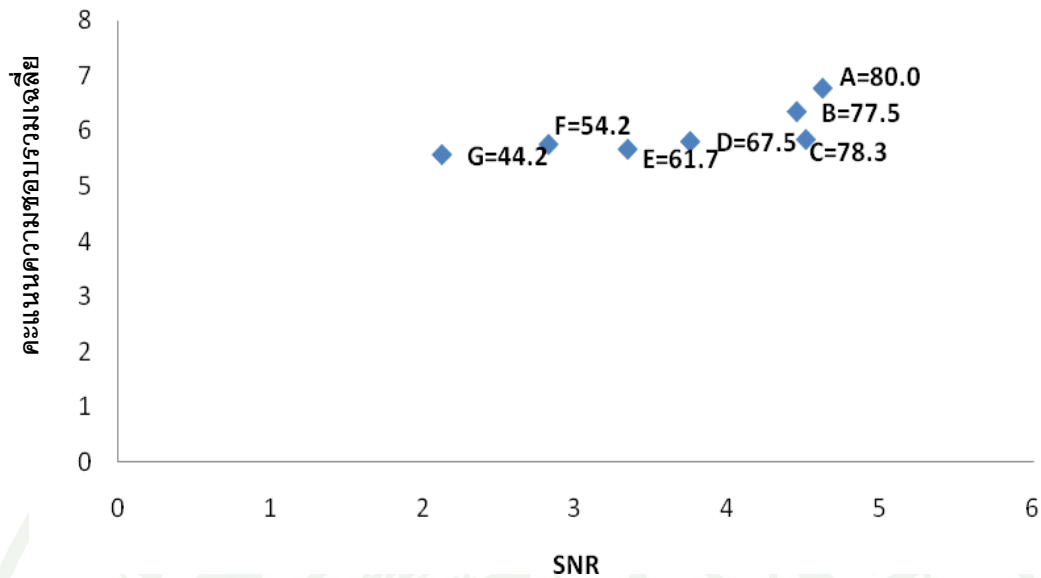
ภาพที่ 25 SNR ของการขึ้นฟูและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (A = แบตเตอรี่เค้กแป้งสาลี, B = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ, C = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, D = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40, E = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60, F = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80, G = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว)

หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย = หมายถึง ร้อยละความพอดีของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 26 SNR ของความนุ่มและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง (A = แบตเตอรี่เค้กแป้งสาลี, B = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ, C = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, D = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40, E = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60, F = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80, G = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว)

หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย = หมายถึง ร้อยละความพอดีของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 27 SNR ของความชุ่มชื้นและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ทั้งฟอง (A = แบตเตอรี่เค็กแป้งสาเลี, B = แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวหอมมะลิ, C = แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, D = แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40, E = แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60, F = แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80, G = แบตเตอรี่เค็กแป้งข้าวเหนียว)

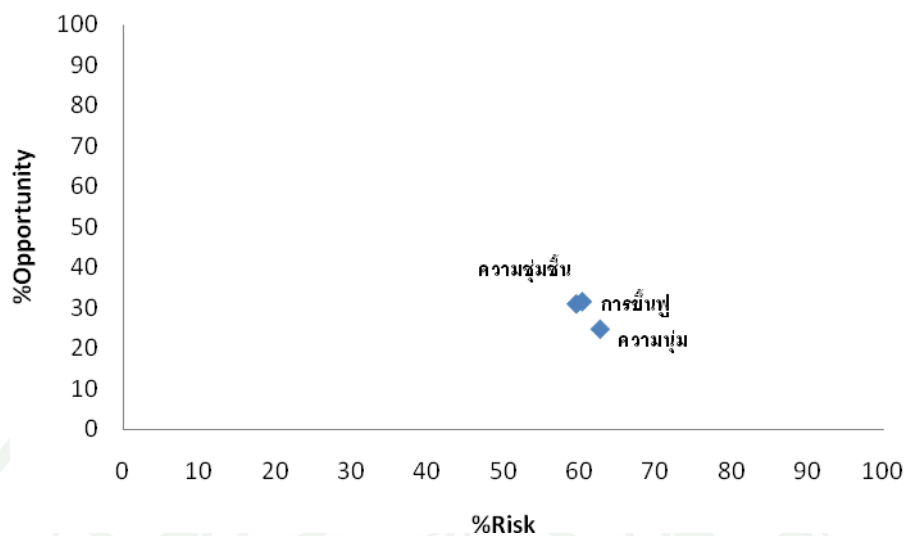
หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย = หมายถึง ร้อยละความพอดีของผลิตภัณฑ์

5.1.5 การวิเคราะห์ Opportunity analysis

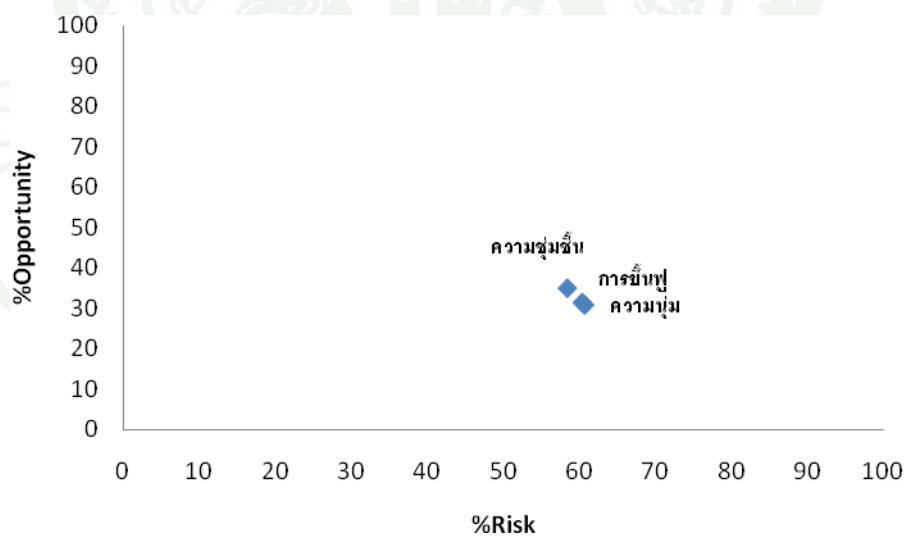
จากการวิเคราะห์ mean drop, Total penalty และ SNR พบว่าผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านการขึ้นฟู ความนุ่ม และความชุ่มชื้น ดังนั้นต้องทำการวิเคราะห์ Opportunity analysis เพื่อศึกษาว่าคุณลักษณะใดจะเป็นคุณลักษณะแรกที่ต้องทำการปรับปรุง ผลการวิเคราะห์ Opportunity แสดงดังตารางที่ 73 และภาพที่ 28-34

ตารางที่ 73 การวิเคราะห์ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของแบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ไก่ทั้งฟอง

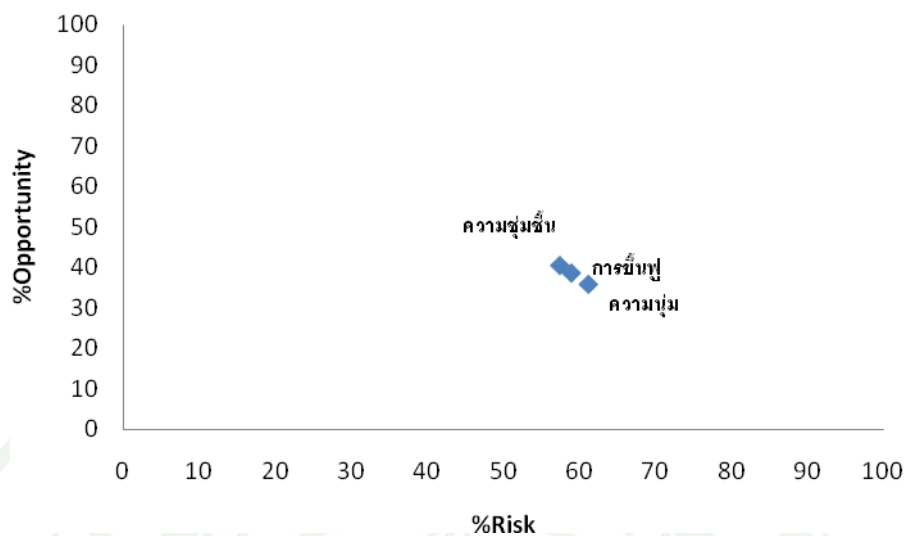
ตัวอย่าง	การขึ้นฟู		ความนุ่ม		ความชุ่มชื้น	
	%Risk	%Opportunity	%Risk	%Opportunity	%Risk	%Opportunity
แบตเตอรี่เค็ก						
แป้งสาลี	59.56	31.06	62.70	24.84	60.34	31.63
แป้งข้าว	58.44	34.88	60.71	30.81	60.39	31.40
หอมมะลิ						
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว						
80:20	57.46	40.57	61.19	35.85	58.96	38.68
60:40	56.92	41.82	56.92	41.82	52.69	46.82
40:60	50.85	49.18	52.54	47.54	48.31	51.64
20:80	50.00	50.00	49.41	50.44	52.38	47.37
แป้งข้าวเหนียว	48.40	51.74	50.80	49.13	52.40	47.39



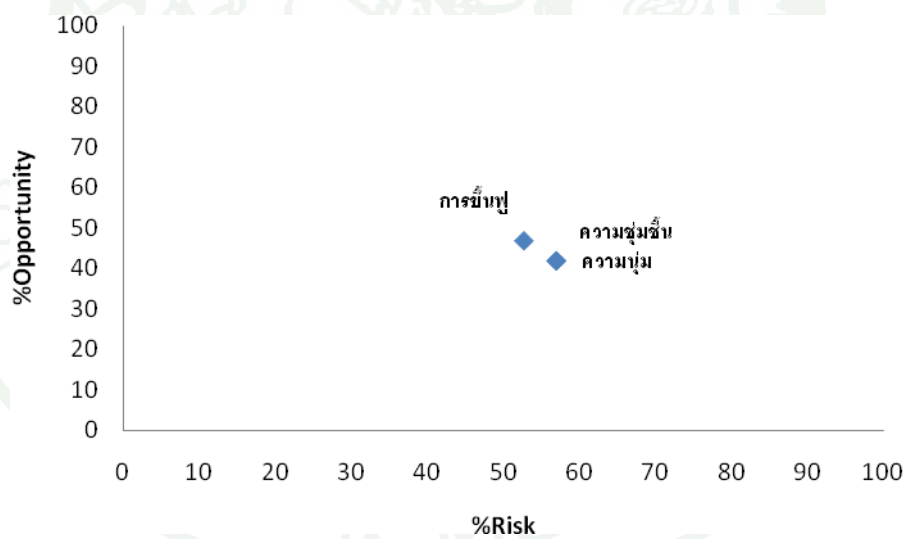
ภาพที่ 28 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตออร์เค็ก แป้งสาลีสูตรไข่ทั้งฟอง



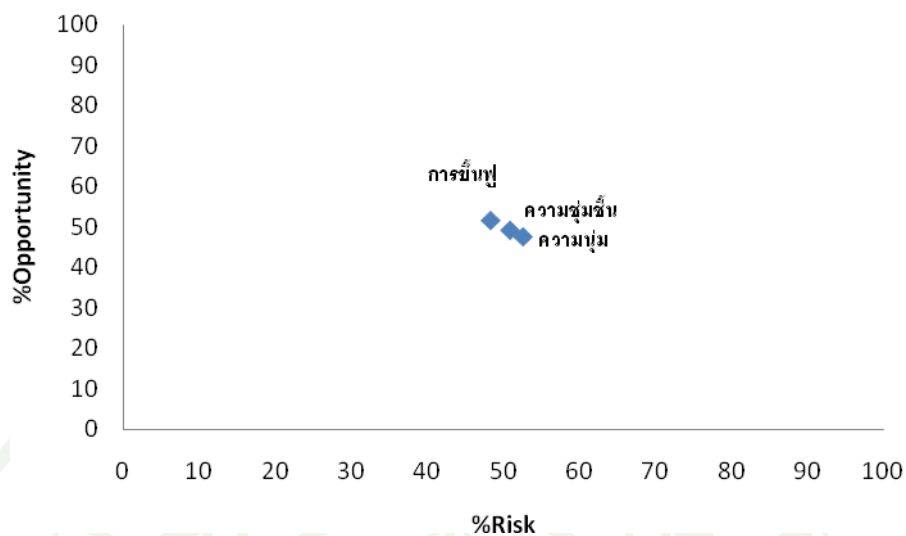
ภาพที่ 29 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตออร์เค็ก แป้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ทั้งฟอง



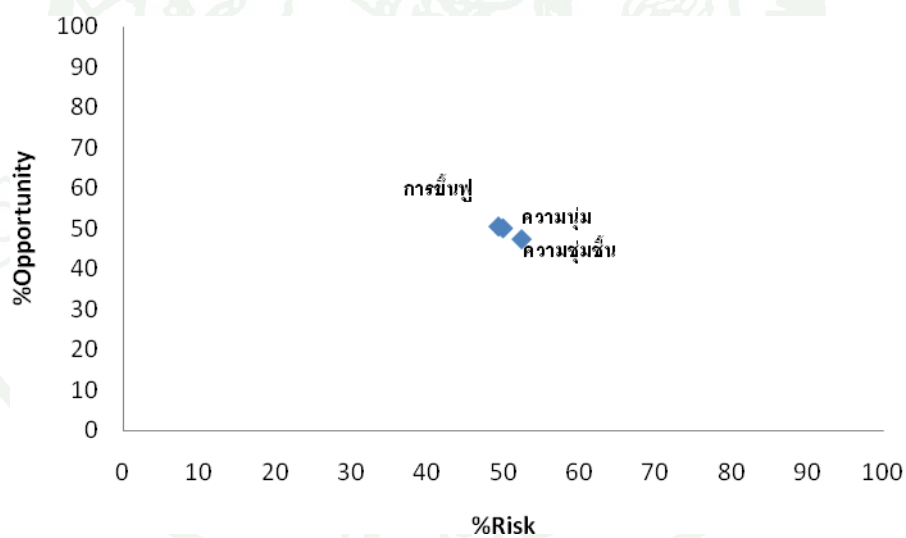
ภาพที่ 30 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตอริคั๊กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20) สูตรไข่ทั้งฟอง



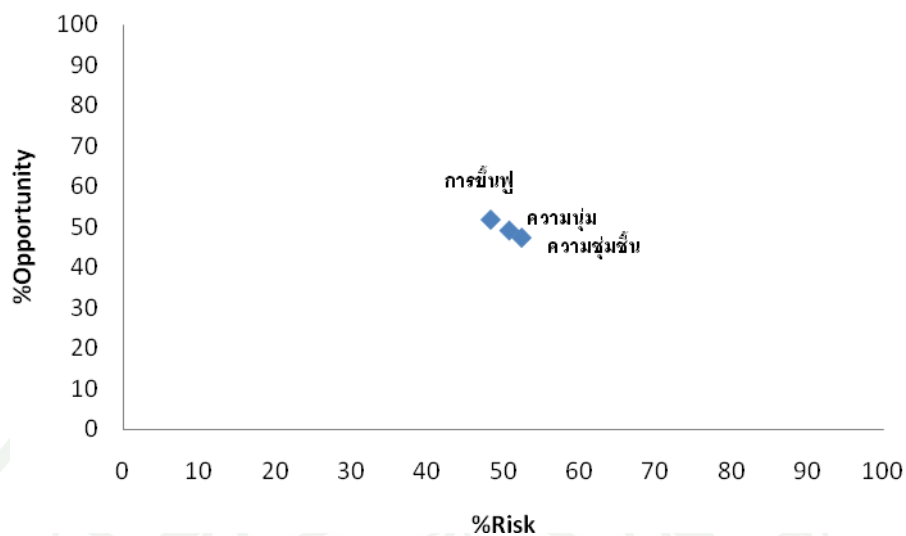
ภาพที่ 31 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตอริคั๊กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40) สูตรไข่ทั้งฟอง



ภาพที่ 32 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตอร์เค็กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60) สูตรไข่ทั้งฟอง



ภาพที่ 33 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตอร์เค็กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80) สูตรไข่ทั้งฟอง



ภาพที่ 34 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตออร์เค็กแป้งข้าวเหนียวสูตรไข่ทั้งฟอง

ผลจากการวิเคราะห์ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity) พบว่า คุณลักษณะที่มีค่า % Risk ต่ำ และ % Opportunity สูง จะเป็นคุณลักษณะที่ถูกนำไปปรับปรุงต่อไป จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งชนิดต่างๆ ต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 74

ตารางที่ 74 คุณลักษณะที่ควรปรับปรุงในผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ทั้งฟอง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค็ก	คุณลักษณะที่ควรปรับปรุง
แป้งสาลี	ความชุ่มชื้น
แป้งข้าวหอมมะลิ	ความชุ่มชื้น
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว	
80:20	ความชุ่มชื้น
60:40	การขึ้นฟู
40:60	การขึ้นฟู
20:80	การขึ้นฟู
แป้งข้าวเหนียว	การขึ้นฟู

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity ทำให้ทราบว่าคุณลักษณะไหนของผลิตภัณฑ์ที่ต้องปรับปรุง แต่ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวไม่ได้บอกว่าจะต้องทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ไปไหนทิศทางไหน ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ Binomial test เพื่อหาทิศทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จากผลการวิเคราะห์ Binomial test ของแบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ทั้งฟอง แสดงผลดังตารางที่ 75

ตารางที่ 75 การวิเคราะห์ Binomial test สำหรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ทั้งฟอง

ตัวอย่าง แบตเตอรี่เค็ก	การขึ้นฟู				ความนุ่ม				ความชุ่มชื้น			
	น้อย	มาก	พอดี	ความ	น้อย	มาก	พอดี	ความ	น้อย	มาก	พอดี	ความ
	เกินไป	เกินไป		พอดี ≥ 70	เกินไป	เกินไป		พอดี ≥ 70	เกินไป	เกินไป		พอดี ≥ 70
แป้งสาลี	10	8	82	พอดี	12	3	85	พอดี	17	3	80	พอดี
แป้งข้าว หอมมะลิ	17	3	80	พอดี	17	3	80	พอดี	18	4	78	พอดี
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว												
80:20	18	2	80	พอดี	18	7	75	พอดี	15	7	78	พอดี
60:40	19	2	79	พอดี	19	10	71	พอดี	13	19	68	ไม่พอดี
40:60	36	4	60	ไม่พอดี	14	23	63	ไม่พอดี	11	27	62	ไม่พอดี
20:80	38	4	58	ไม่พอดี	13	28	59	ไม่พอดี	14	32	54	ไม่พอดี
แป้งข้าว เหนียว	39	3	58	ไม่พอดี	22	30	48	ไม่พอดี	5	51	44	ไม่พอดี

จากผลการวิเคราะห์ Binomial test พบว่า ร้อยละของความพอดี (Just about right; JAR) ด้านการขึ้นฟู ความนุ่ม และความชุ่มชื้นของบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวผสม(แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20) มีค่ามากกว่า 70% แสดงว่าคุณลักษณะดังกล่าวไม่ต้องปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่า บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ: แป้งข้าวเหนียว = 60:40) ต้องปรับปรุงด้านการขึ้นฟู เมื่อมาพิจารณาผลการวิเคราะห์ Binomial test พบว่า ร้อยละของความพอดี (Just about right; JAR) ด้านการขึ้นฟู มีค่ามากกว่า 70% ดังนั้นบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสมดังกล่าวนี้จึงไม่ต้องปรับปรุงด้านการขึ้นฟู

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่า บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ: แป้งข้าวเหนียว = 40:60 และ 20:80) และบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียวต้องปรับปรุงด้านการขึ้นฟู เมื่อมาพิจารณาผลการวิเคราะห์ Binomial test พบว่า ร้อยละของความพอดี (Just about right; JAR) ด้านการขึ้นฟูมีค่าน้อยกว่า 70% ซึ่งแสดงว่าบัตเตอร์เค้กดังกล่าวการขึ้นฟูยังมีความไม่พอดี เมื่อพิจารณาร้อยละความไม่พอดี พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความเห็น ว่า ผลลัพธ์ดังกล่าวมีการขึ้นฟูที่น้อยเกินไป ดังนั้นจึงควรที่จะปรับปรุงคุณลักษณะด้านการขึ้นฟูให้มากขึ้น โดยใช้สารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์เข้ามาช่วยปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าวให้ดีขึ้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity analysis และ Binomial test สามารถสรุปแนวทาง สำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟอง ดังตารางที่ 76

ตารางที่ 76 แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งชนิดต่างๆ โดยใช้สูตรไข่ไก่ทั้งฟอง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	คุณลักษณะที่ต้องปรับปรุงที่ได้จากการวิเคราะห์ Opportunity	ผลการวิเคราะห์ Binomial test	แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์
แป้งสาลี	ความชุ่มชื้น	ไม่ต้องปรับปรุง	-
แป้งข้าวหอมมะลิ	ความชุ่มชื้น	ไม่ต้องปรับปรุง	-
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	ความชุ่มชื้น	ไม่ต้องปรับปรุง	-
60:40	การขึ้นฟู	ไม่ต้องปรับปรุง	-
40:60	การขึ้นฟู	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
20:80	การขึ้นฟู	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
แป้งข้าวเหนียว	การขึ้นฟู	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น

5.2 ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลีสูตรลดปริมาณโซเดียมมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.2.1 ผลการทดสอบความชอบ

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลีสูตรลดปริมาณโซเดียม คะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 77 ผลการทดสอบพบว่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวหอมมะลิและแป้งสาลี ทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมและแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตัวอย่างแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งสาลี ค่าคะแนนความชอบของแบตเตอรี่เค้กแป้งสาลีมีค่าสูงที่สุดในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าคะแนนความชอบต่ำที่สุด ค่าคะแนน ความชอบของแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก สูตรโซเดียมต่ำทั้งฟองกับแบตเตอรี่เค้กสูตรลดโซเดียมพบว่า ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรโซเดียมต่ำทั้งฟองมีค่าคะแนนความชอบสูงกว่าแบตเตอรี่เค้กสูตรลดโซเดียม

ตารางที่ 77 คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก สูตรลดปริมาณไข่แดง

N=240

ตัวอย่าง แบตเตอรี่เค้ก	คะแนนความชอบเฉลี่ย			
	การขึ้นฟู	ความนุ่ม	ความชุ่มชื้น	ความชอบรวม
แป้งสาลี	6.4±1.3 ^a	6.3±1.5 ^a	6.3±1.5 ^a	6.5±1.4 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ	6.3±1.6 ^a	6.3±1.7 ^a	6.3±1.7 ^a	6.4±1.7 ^a
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว				
80:20	5.7±1.7 ^b	5.7±1.9 ^b	5.7±1.9 ^b	5.8±1.8 ^b
60:40	5.7±1.6 ^b	5.8±1.8 ^b	5.6±1.8 ^b	5.7±1.7 ^b
40:60	5.2±1.9 ^{cd}	5.4±1.9 ^{bc}	5.5±1.9 ^{bc}	5.4±1.8 ^{bc}
20:80	5.6±1.7 ^{bc}	5.7±1.7 ^b	5.6±1.8 ^{bc}	5.7±1.7 ^b
แป้งข้าวเหนียว	5.1±1.9 ^d	5.1±1.9 ^c	5.2±2.0 ^c	5.2±1.9 ^c

หมายเหตุ: a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

5.2.2 ผลการทดสอบการยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

ร้อยละการยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวหอมมะลิสู่สูตรลดปริมาณไข่แดงโดยรวมและการตัดสินใจซื้อแสดงดังตารางที่ 78 จากผลการทดสอบพบว่า ผู้บริโภค ร้อยละ 80 ยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี ร้อยละการยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าว (แป้งข้าวหอมมะลิ, แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม) พบว่าการยอมรับผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลี ผู้บริโภค 70% ยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ ผู้บริโภคร้อยละ 50-60% ยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอม

มะลิ:แป้งข้าวเหนียว) ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวต่ำกว่าร้อยละ 50 จากการสังเกตตัวอย่างพบว่าแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีความชื้นมากเกินไปและมีเนื้อแน่น จึงส่งผลให้การยอมรับลดลง

ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อ พบว่าผู้บริโภคอย่างน้อยร้อยละ 50 จะซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ ในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 40

ตารางที่ 78 การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง(%)

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	การยอมรับโดยรวม (%)	การตัดสินใจซื้อ (%)
แป้งสาลี	80.0	58.0
แป้งข้าวหอมมะลิ	77.0	62.0
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว		
80:20	62.0	41.0
60:40	60.0	43.0
40:60	57.0	40.0
20:80	50.0	36.0
แป้งข้าวเหนียว	47.0	30.0

เมื่อพิจารณากลุ่มผู้บริโภคที่ยอมรับผลิตภัณฑ์และตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไปจะยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ ในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสมและแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวผู้บริโภคจะตัดสินใจยอมรับและซื้อผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 (ตารางที่ 79)

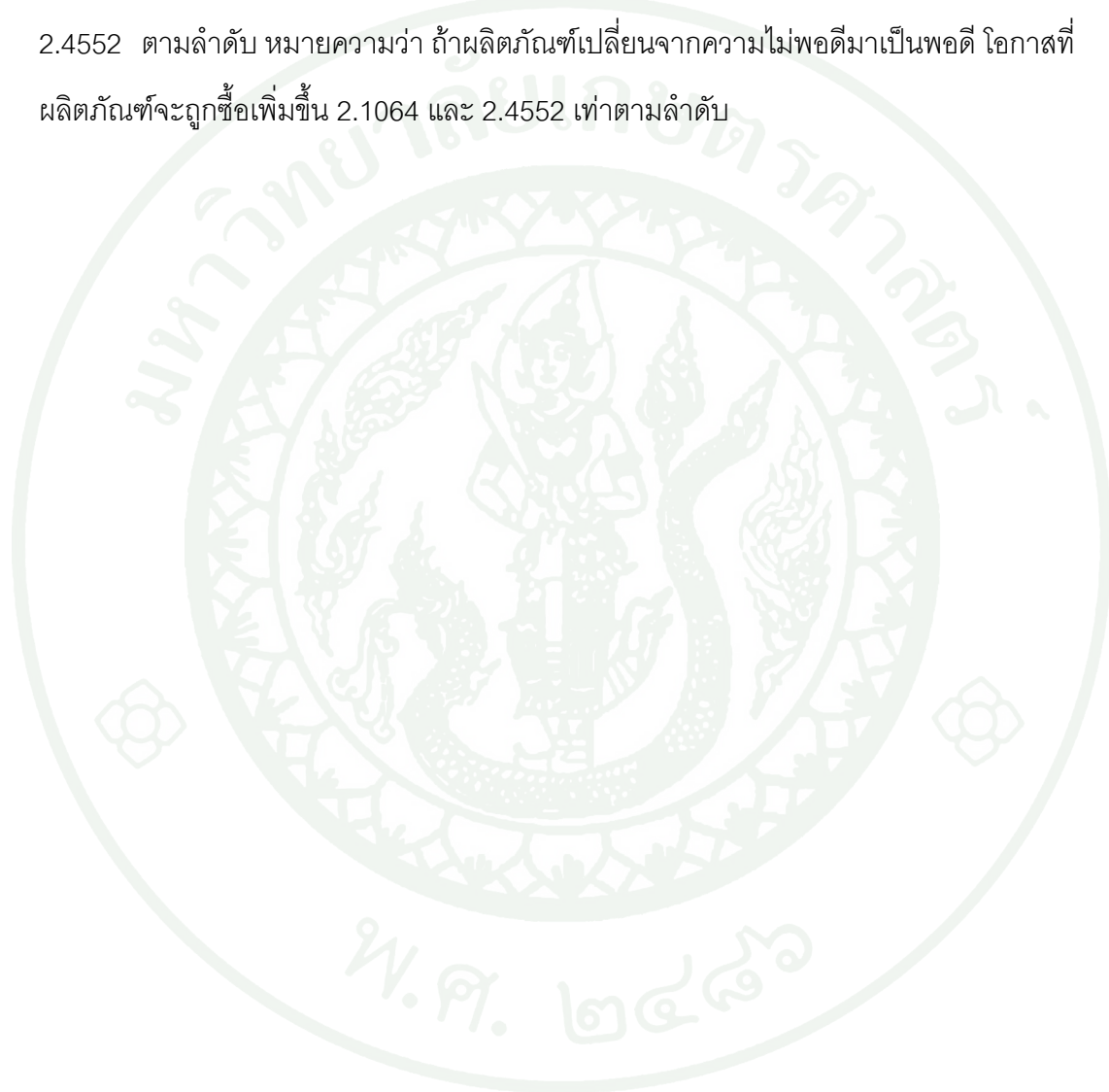
ตารางที่ 79 เปอร์เซนต์การยอมรับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดงโดยแบ่งแยกการยอมรับ/การตัดสินใจซื้อออกเป็น 3 กลุ่ม

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	ยอมรับ-ซื้อ	ยอมรับ-ไม่ซื้อ	ไม่ยอมรับ-ไม่ซื้อ
แป้งสาลี	57.9	22.1	20.0
แป้งข้าวหอมมะลิ	61.7	15.0	23.3
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	40.8	19.2	40.0
60:40	42.5	17.5	40.0
40:60	40.0	16.7	43.3
20:80	35.8	14.2	50.0
แป้งข้าวเหนียว	30.0	16.7	53.3

5.2.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (Logistic regression) เพื่อทำนายค่าการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

logistic regression analysis (LRA) นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและการตัดสินใจซื้อ ผลการวิเคราะห์ LRA แสดงผลดังตารางที่ 80 ผลการวิเคราะห์พบว่าคะแนนความชอบรวม, ความพอดีในด้านการขึ้นฟู (น้อยเกินไปเทียบกับความพอดี) และ ความพอดีในด้านการชุ่มชื้น (น้อยเกินไปเทียบกับความพอดี) เป็นคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก 7 ตัวอย่าง (แบตเตอรี่เค้กแป้งสาลีและแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าว) และตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก 6 ตัวอย่าง (เฉพาะแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าว) โดยค่า odds ratio ของความพอดีในด้านการขึ้นฟูมีค่าสูงที่สุด หมายความว่า ถ้าผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากความไม่พอดีมาเป็นพอดี โอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะถูกยอมรับเพิ่มขึ้น 2.7385 และ 3.1858 เท่าตามลำดับ

การตัดสินใจซื้อสำหรับตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไขแดง 7 ตัวอย่าง และ 6 ตัวอย่าง พบว่า ความนุ่ม , ความชอบรวม, ความพอดีในการขึ้นฟู และความพอดีด้านความชุ่มชื้นเป็น คุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ โดยความพอดีด้านความชุ่มชื้นมีค่า odds ratio สูงที่สุด โดยค่า odds ratio ของแบตเตอรี่เค้ก 7 ตัวอย่าง และ 6 ตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 2.1064 และ 2.4552 ตามลำดับ หมายความว่า ถ้าผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจากความไม่พอดีมาเป็นพอดี โอกาสที่ ผลิตภัณฑ์จะถูกซื้อเพิ่มขึ้น 2.1064 และ 2.4552 เท่าตามลำดับ



ตารางที่ 80 ค่าทางสถิติ, ความน่าจะเป็น และ odds ratio สำหรับการทำนายค่าการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแป้งข้าวสุตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวแปร	7 ตัวอย่าง			6 ตัวอย่าง			
	Estimate	Pr > χ^2	Odds ratio	Estimate	Pr > χ^2	Odds ratio	
การยอมรับ	การขึ้นฟู	0.0756	0.4549	1.0785	0.0698	0.5334	1.0723
	ความนุ่ม	0.1954	0.0714	1.2158	0.1798	0.1340	1.1970
	ความชุ่มชื้น	0.1405	0.1662	1.1508	0.1360	0.2288	1.1457
	ความชอบรวม	0.7040	<0.0001	2.0218	0.6912	<0.0001	1.9961
	ความพอดีด้านการขึ้นฟู	-1.0074	<0.0001	2.7385	-1.1587	<0.0001	3.1858
	ความพอดีด้านความนุ่ม	-0.0160	0.9447	1.0161	0.0656	0.8037	1.0678
	ความพอดีด้านความชุ่มชื้น	-0.6552	0.0063	1.9250	-0.6616	0.0168	1.9379
การตัดสินใจซื้อ	การขึ้นฟู	0.0261	0.7992	1.0264	0.0566	0.6300	1.0582
	ความนุ่ม	0.2740	0.0154	1.3152	0.2967	0.0243	1.3454
	ความชุ่มชื้น	0.1625	0.1284	1.1764	0.1878	0.1313	1.2066
	ความชอบรวม	0.7329	<0.0001	2.0811	0.6934	<0.0001	2.0005
	ความพอดีด้านการขึ้นฟู	-0.5583	0.0107	1.7477	-0.6907	0.0072	1.9951
	ความพอดีด้านความนุ่ม	0.1166	0.6206	1.1237	0.2819	0.3107	1.3256
	ความพอดีด้านความชุ่มชื้น	-0.7450	0.0021	2.1064	-0.8970	0.0020	2.4552

หมายเหตุ: ความพอดีด้านการขึ้นฟู = การขึ้นฟูไม่เพียงพอเปรียบเทียบกับความพอดี, ความพอดีด้านความนุ่ม = ความนุ่มไม่เพียงพอเปรียบเทียบกับความพอดี, ความพอดีด้านความชุ่มชื้น = ความชุ่มชื้นไม่เพียงพอเปรียบเทียบกับความพอดี
 แบตเตอรี่เค้ก 7 ตัวอย่าง ประกอบด้วย แบตเตอรี่เค้กแป้งสาลี 1 ตัวอย่าง (ตัวอย่างควบคุม) และ แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าว 6 ตัวอย่าง
 แบตเตอรี่เค้ก 6 ตัวอย่าง ประกอบด้วย แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าว 6 ตัวอย่าง

5.2.4 การวิเคราะห์ Penalty และ SNR Analysis

การวิเคราะห์ร้อยละความพอดี ค่า mean drop และการวิเคราะห์ Total penalty เพื่อให้เข้าใจว่าคุณลักษณะใดของผลิตภัณฑ์ที่ควรปรับปรุง ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ กที่มีค่าคะแนนความไม่พอดี (non-JAR) มากกว่าร้อยละ 20 จะถูกนำมาคำนวณค่า mean drop (ASTM 2009) ผลร้อยละของความพอดี แสดงดังตารางที่ 81 ค่า mean drop และค่า Total penalty แสดงดังตารางที่ 82

ตารางที่ 81 ร้อยละของสเกลความพอดีของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวและแป้งสาลีสูตรลดปริมาณไขมัน

ผลิตภัณฑ์	การขึ้นฟู (%)			ความนุ่ม (%)			ความชุ่มชื้น (%)		
	น้อย	พอดี	มาก	น้อย	พอดี	มาก	น้อย	พอดี	มาก
แบตเตอรี่เค้ก	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป	เกินไป
แป้งสาลี	22.5	67.5	10.0	25.4	70.4	4.2	26.7	66.3	7.0
แป้งข้าว	23.4	70.8	5.8	26.7	67.5	5.8	28.3	63.3	8.4
หอมมะลิ									
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว									
80:20	34.1	56.7	9.2	37.5	55.8	6.7	30.8	56.7	12.5
60:40	35	56.7	8.3	23.3	65.0	11.7	25.8	50.8	23.4
40:60	40.8	53.3	5.9	30.0	56.7	13.3	31.7	50.8	17.5
20:80	37.5	49.2	13.3	26.7	50.8	22.5	26.7	44.2	29.1
แป้งข้าวเหนียว	57.5	36.7	5.8	33.3	35.0	31.7	26.7	32.5	40.8

ตารางที่ 82 ค่า Mean drop และค่า Total penalty ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวและแป้งสาลีสูตรลดปริมาณไขมัน

ตัวอย่าง แบตเตอรี่ เค้ก	การขึ้นฟู			ความนุ่ม			ความชุ่มชื้น		
	Mean drop (NE)	Mean drop (TM)	Total penalty	Mean drop (NE)	Mean drop (TM)	Total penalty	Mean drop (NE)	Mean drop (TM)	Total penalty
แป้งสาลี	0.86	0.58	1.71	1.49	0.54	1.39	1.42	0.99	1.46
แป้งข้าว หอมมะลิ	1.61	0.93	1.24	1.92	0.86	1.33	1.56	2.11	1.19
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว									
80:20	1.67	1.77	1.33	1.64	0.87	1.70	1.84	0.98	1.54
60:40	1.26	1.48	1.53	1.84	1.52	1.06	1.41	1.73	1.61
40:60	1.35	1.16	1.64	1.80	1.60	1.20	1.45	1.40	1.63
20:80	1.15	1.00	2.11	1.54	1.05	1.86	1.66	0.62	2.22
แป้งข้าว เหนียว	1.50	1.11	2.22	2.62	1.07	1.70	2.50	1.39	1.70

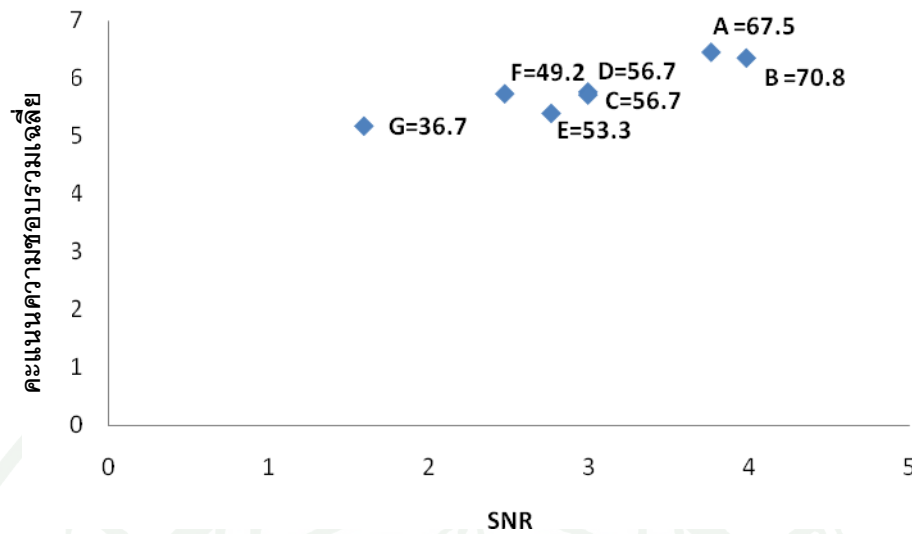
ค่าคะแนน total penalty ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กอยู่ในช่วง 1.06-2.22 โดยตัวอย่างแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียว และแบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80) มีค่า penalty ของการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 2.22-2.11, ความนุ่ม 1.70-1.86 และ ความชุ่มชื้น 1.70-2.22 ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ตัวอย่างที่มีค่า penalty สูงแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงมากในสเกลคะแนน hedonic ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าคะแนน mean drop ของการขึ้นฟูไม่พอดี = 1.50 , ความนุ่มไม่พอ = 2.62 และความชุ่มชื้นไม่พอ = 2.50 ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีค่า mean drop สูงกว่า 2.0 นักวิจัยต้องให้ความสำคัญในการปรับปรุงคุณลักษณะนี้ เมื่อพิจารณาความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียว พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความไม่พอดีด้านความชุ่มชื้น

ร้อยละ 26.7 และ คะแนนความชุ่มชื้นมากเกินไปร้อยละ 40.8 (ตารางที่ 81) ค่า mean drop ของความไม่พอดีด้านความชุ่มชื้นมีค่าเท่ากับ 2.50 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า mean drop ของความชุ่มชื้นมากเกินไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.39 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความชื้นไม่พอ ผลิตภัณฑ์จะมีโอกาสได้คะแนนความชอบต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นมากเกินไป

การวิเคราะห์ The signal-to-noise-ratio (SNR) แสดงผลดังตารางที่ 83 ภาพที่ 35-37 ค่า SNR ที่มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับความพอดี จากผลการวิเคราะห์ SNR พบว่าแบตเตอรี่เค้กจากแป้งสาลีและแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ มีค่า SNR (การขึ้นฟู, ความนุ่ม และความชุ่มชื้น) สูงที่สุด แบตเตอรี่เค้กจาก แป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80) มีค่า SNR ต่ำกว่าแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ ในขณะที่แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียวมีค่า SNR ต่ำที่สุด จากแผนภาพดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (การขึ้นฟู, ความนุ่ม และ ความชุ่มชื้น) เป็นคุณลักษณะที่ควรปรับปรุงสำหรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวผสม

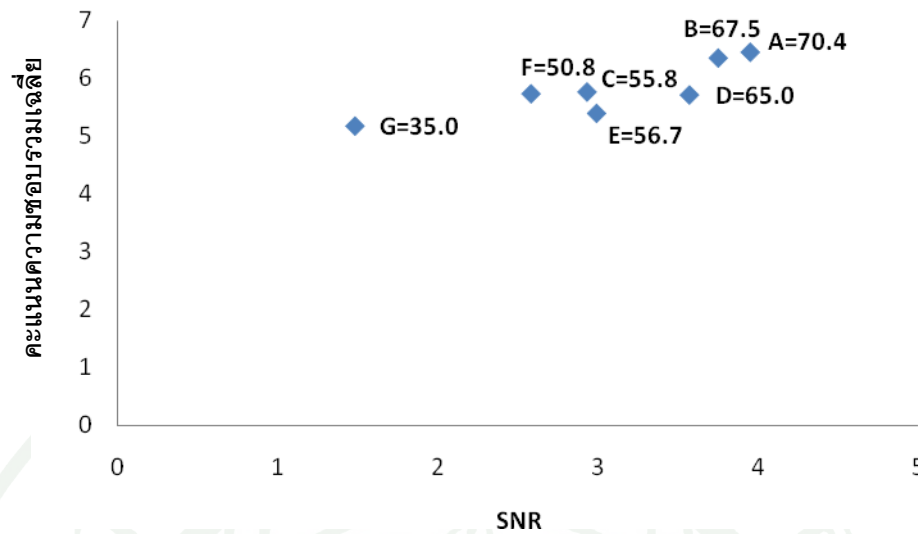
ตารางที่ 83 ค่า Signal to noise ratio (SNR) ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	ค่า Signal to noise ratio (SNR)		
	การขึ้นฟู	ความนุ่ม	ความชุ่มชื้น
แป้งสาลี	3.76	3.95	3.66
แป้งข้าวหอมมะลิ	3.98	3.75	3.46
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	2.99	2.93	2.99
60:40	2.99	3.57	2.58
40:60	2.76	2.99	2.58
20:80	2.47	2.58	2.11
แป้งข้าวเหนียว	1.59	1.48	1.30



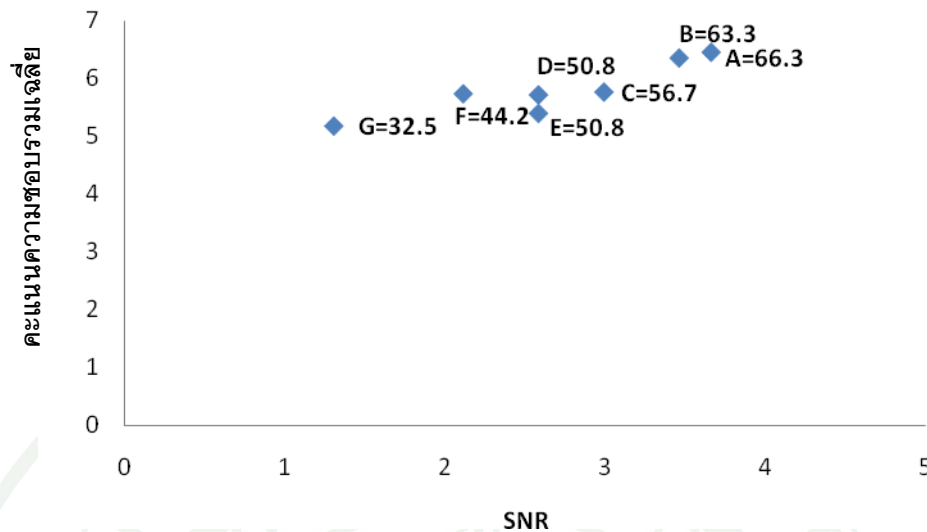
ภาพที่ 35 SNR ของการขึ้นฟูและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง (A = บัตเตอร์เค้กแป้งสาลี, B = บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ, C = บัตเตอร์เค้ก แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, D = บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40, E = บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60, F = บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80, G = บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียว)

หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย หมายถึง ร้อยละความพอดีของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 36 SNR ของความนุ่มและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง (A = แบตเตอรี่เค้กแป้งสาลี, B = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ, C = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20, D = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 60:40, E = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 40:60, F = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80, G = แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวเหนียว)

หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย หมายถึง ร้อยละความพอดีของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 37 SNR ของความชุ่มชื้นและค่าคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก สูตรลดปริมาณไข่แดง (A = แบตเตอรี่เค้กแบ่งสาาลี, B = แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ, C = แบตเตอรี่เค้ก แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 80:20, D = แบตเตอรี่เค้กแบ่ง ข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 60:40, E = แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60, F = แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 20:80, G = แบตเตอรี่เค้กแบ่งข้าวเหนียว)

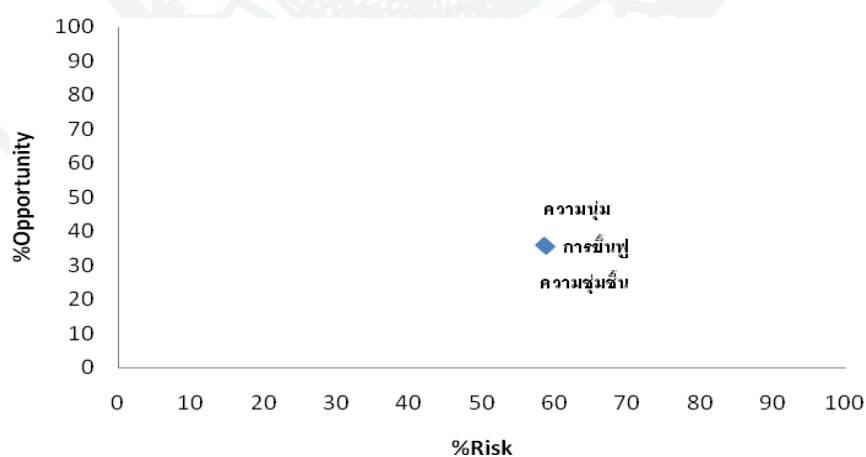
หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย หมายถึง ร้อยละความพอดีของผลิตภัณฑ์

5.2.5 การวิเคราะห์ Opportunity analysis

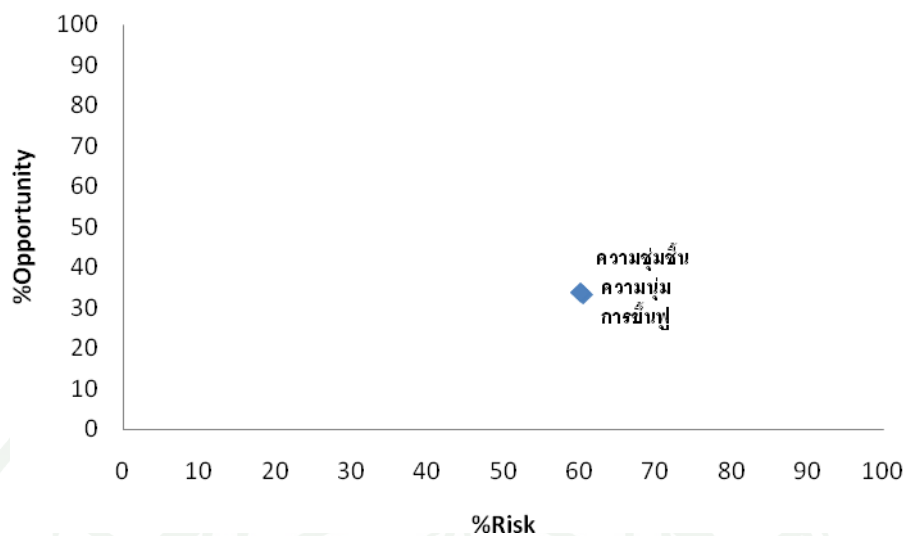
จากการวิเคราะห์ mean drop, Total penalty และ SNR พบว่าผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก ต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านการขึ้นฟู ความนุ่ม และความชุ่มชื้น ดังนั้นต้องทำการวิเคราะห์ Opportunity analysis เพื่อศึกษาว่าคุณลักษณะใดจะเป็นคุณลักษณะแรกที่ต้องทำการปรับปรุง ผลการวิเคราะห์ ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity)ของแบตเตอรี่เค้ก สูตรลดปริมาณไข่แดง แสดงดังตารางที่ 84 และภาพที่ 38-44

ตารางที่ 84 การวิเคราะห์ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของบัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

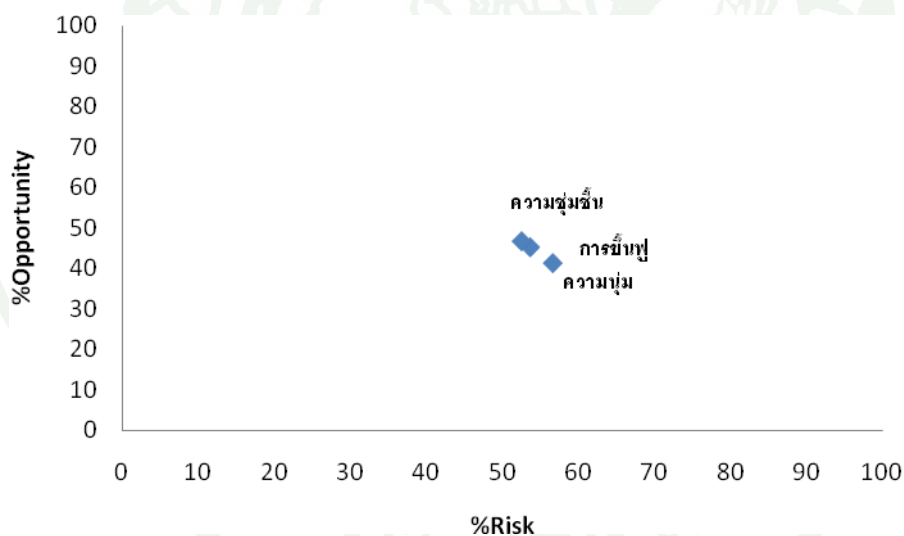
ตัวอย่าง	การขึ้นฟู		ความนุ่ม		ความชุ่มชื้น	
	%Risk	%Opportunity	%Risk	%Opportunity	%Risk	%Opportunity
บัตเตอร์เค้ก						
แป้งสาลี	58.89	35.44	58.56	35.99	58.92	35.71
แป้งข้าวหอมมะลิ	60.54	33.33	60.20	33.87	60.20	33.87
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว						
80:20	53.68	45.19	56.62	41.35	52.57	46.63
60:40	53.52	45.98	54.94	45.09	50.00	50.00
40:60	48.31	51.64	50.42	49.59	50.00	50.00
20:80	51.94	47.75	53.49	45.95	54.26	45.05
แป้งข้าวเหนียว	47.90	52.07	50.42	49.59	48.32	51.65



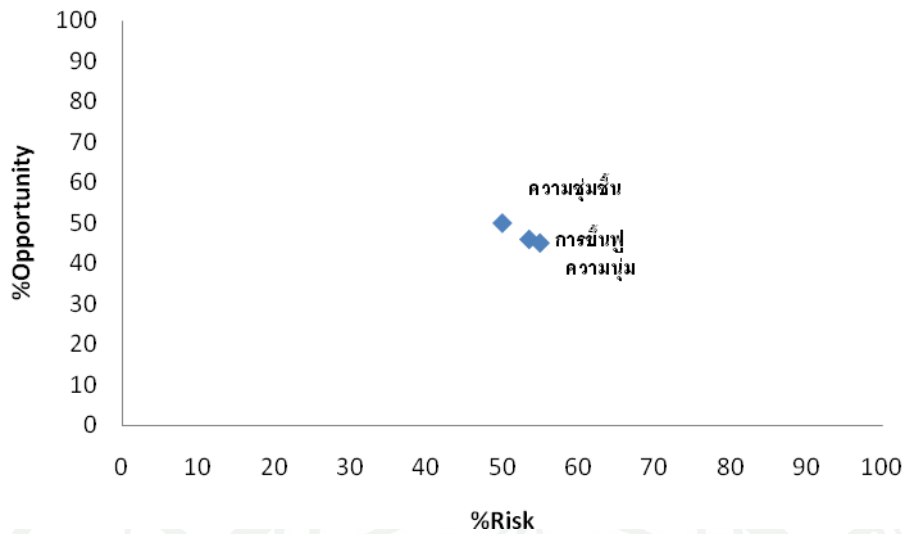
ภาพที่ 38 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กแป้งสาลีสูตรลดปริมาณไข่แดง



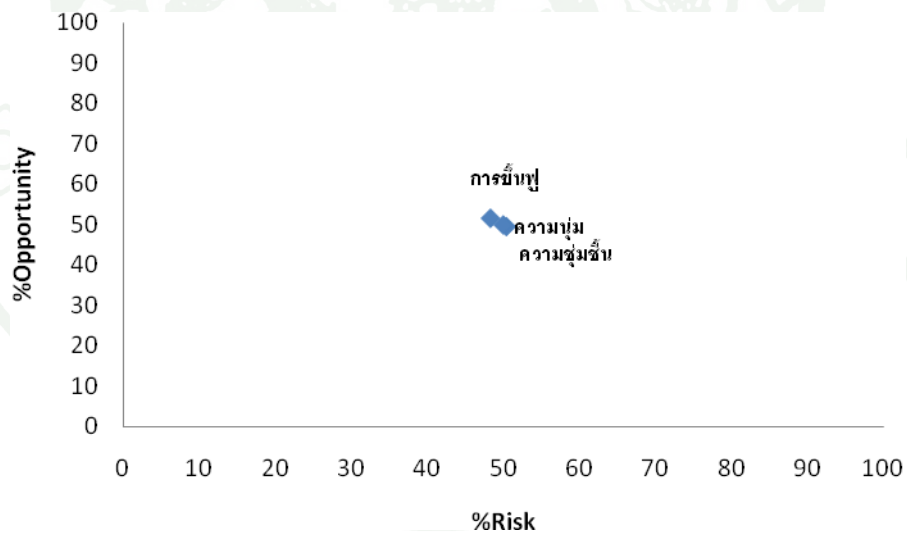
ภาพที่ 39 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตอร์เค็กแป้งข้าวหอมมะลิสูตรลดปริมาณไข่แดง



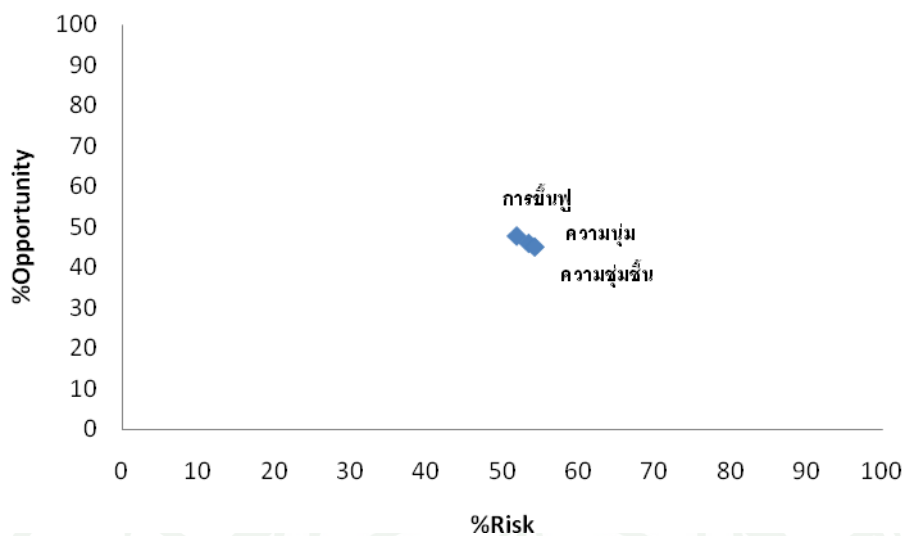
ภาพที่ 40 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตอร์เค็กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 80:20) สูตรลดปริมาณไข่
แดง



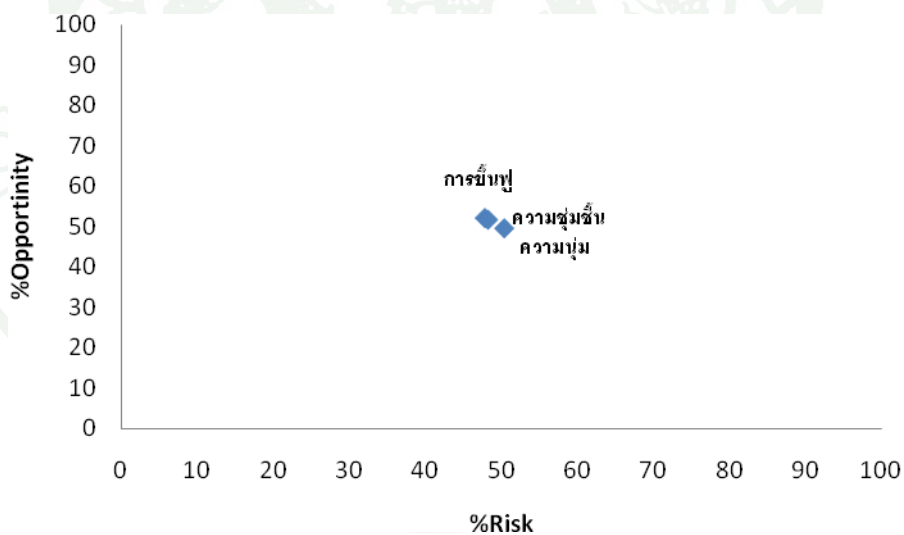
ภาพที่ 41 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตออร์คั๊กแบ่งข้าวผสม (แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 60:40) สูตรลดปริมาณไน้
แดง



ภาพที่ 42 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บำบัด
เตออร์คั๊กแบ่งข้าวผสม (แบ่งข้าวหอมมะลิ:แบ่งข้าวเหนียว = 40:60) สูตรลดปริมาณไน้
แดง



ภาพที่ 43 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวผสม (แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว = 20:80) สูตรลดปริมาณไข่แดง



ภาพที่ 44 ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และ ร้อยละโอกาส (%Opportunity) ของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวเหนียวสูตรลดปริมาณไข่แดง

ผลจากการวิเคราะห์ร้อยละความเสี่ยง (%Risk) และร้อยละโอกาส (%Opportunity) พบว่า คุณลักษณะที่มีค่า % Risk ต่ำ และ % Opportunity สูง จะเป็นคุณลักษณะที่ถู กนำไปปรับปรุงต่อไป จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่าบัตเตอร์เค้กจากแป้งชนิดต่างๆ ต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านต่างๆ ของบัตเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดง แสดงดังตารางที่ 85

ตารางที่ 85 คุณลักษณะที่ควรปรับปรุงในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดไข่แดง

ตัวอย่างบัตเตอร์เค้ก	คุณลักษณะที่ควรปรับปรุง
แป้งสาลี	ความนุ่ม
แป้งข้าวหอมมะลิ	ความนุ่ม
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว	
80:20	ความชุ่มชื้น
60:40	ความชุ่มชื้น
40:60	การขึ้นฟู
20:80	การขึ้นฟู
แป้งข้าวเหนียว	การขึ้นฟู

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity ทำให้ทราบว่าคุณลักษณะไหนของผลิตภัณฑ์ที่ต้องปรับปรุง แต่ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวไม่ได้บอกว่าจะต้องทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ไปไหนทิศทางไหน ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ Binomial test เพื่อหาทิศทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จากผลการวิเคราะห์ Binomial test ของบัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง แสดงผลดังตารางที่ 86

ตาราง 86 การวิเคราะห์ Binomial test สำหรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

ตัวอย่าง	การขึ้นฟู				ความนุ่ม				ความชุ่มชื้น			
	น้อย เกินไป	มาก เกินไป	พอดี	ความ พอดี ≥ 70	น้อย เกินไป	มาก เกินไป	พอดี	ความ พอดี ≥ 70	น้อย เกินไป	มากเกินไป	พอดี	ความ พอดี ≥ 70
แป้งสาลี	22	10	68	ไม่พอดี	26	4	70	พอดี	27	7	66	ไม่พอดี
แป้งข้าว หอมมะลิ	23	6	71	พอดี	27	6	67	ไม่พอดี	28	9	63	ไม่พอดี
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว 80:20	34	9	57	ไม่พอดี	37	7	56	ไม่พอดี	31	12	57	ไม่พอดี
60:40	35	8	57	ไม่พอดี	23	12	65	ไม่พอดี	26	23	51	ไม่พอดี
40:60	41	6	53	ไม่พอดี	30	13	57	ไม่พอดี	32	17	51	ไม่พอดี
20:80	38	13	49	ไม่พอดี	27	22	51	ไม่พอดี	27	29	44	ไม่พอดี
แป้งข้าว เหนียว	57	6	37	ไม่พอดี	33	32	35	ไม่พอดี	27	41	32	ไม่พอดี

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่า บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิ ต้องปรับปรุงด้านความนุ่ม เมื่อมาพิจารณาผลการวิเคราะห์ Binomial test พบว่า ร้อยละของความพอดี (Just about right; JAR) ด้านการขึ้นฟู มีค่าน้อยกว่า 70% โดยบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวหอมมะลิต้องปรับปรุงด้านความนุ่มน้อยเกินไป ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้มีความนุ่มเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับเพิ่มมากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่า บัตเตอร์เค้ก แบ่งข้าวผสม (แบ่งข้าวหอมมะลิ: แบ่งข้าวเหนียว = 80:20 และ 60:40) ต้องปรับปรุงด้านความชุ่มชื้น เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ Binomial test พบว่า ร้อยละของความพอดี (Just about right; JAR) ด้านความชุ่มชื้นมีค่าน้อยกว่า 70% ซึ่งแสดงว่าบัตเตอร์เค้กดังกล่าวความชุ่มชื้นยังมีความไม่พอดี เมื่อพิจารณาร้อยละความไม่พอดี พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความชุ่มชื้นน้อยเกินไป ดังนั้นจึงควรที่จะปรับคุณลักษณะความชุ่มชื้นให้มากขึ้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ Opportunity พบว่า บัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวผสม (แบ่งข้าวหอมมะลิ: แบ่งข้าวเหนียว = 40:60 และ 20:80) และบัตเตอร์เค้กแบ่งข้าวเหนียวต้องปรับปรุงด้านการขึ้นฟู เมื่อมาพิจารณาผลการวิเคราะห์ Binomial test พบว่า ร้อยละของความพอดี (Just about right; JAR) ด้านการขึ้นฟูมีค่าน้อยกว่า 70% ซึ่งแสดงว่าบัตเตอร์เค้กดังกล่าวการขึ้นฟูยังมีความไม่พอดี เมื่อพิจารณาร้อยละความไม่พอดี พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีการขึ้นฟูที่น้อยเกินไป ดังนั้นจึงควรที่จะปรับคุณลักษณะด้านการขึ้นฟูให้มากขึ้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

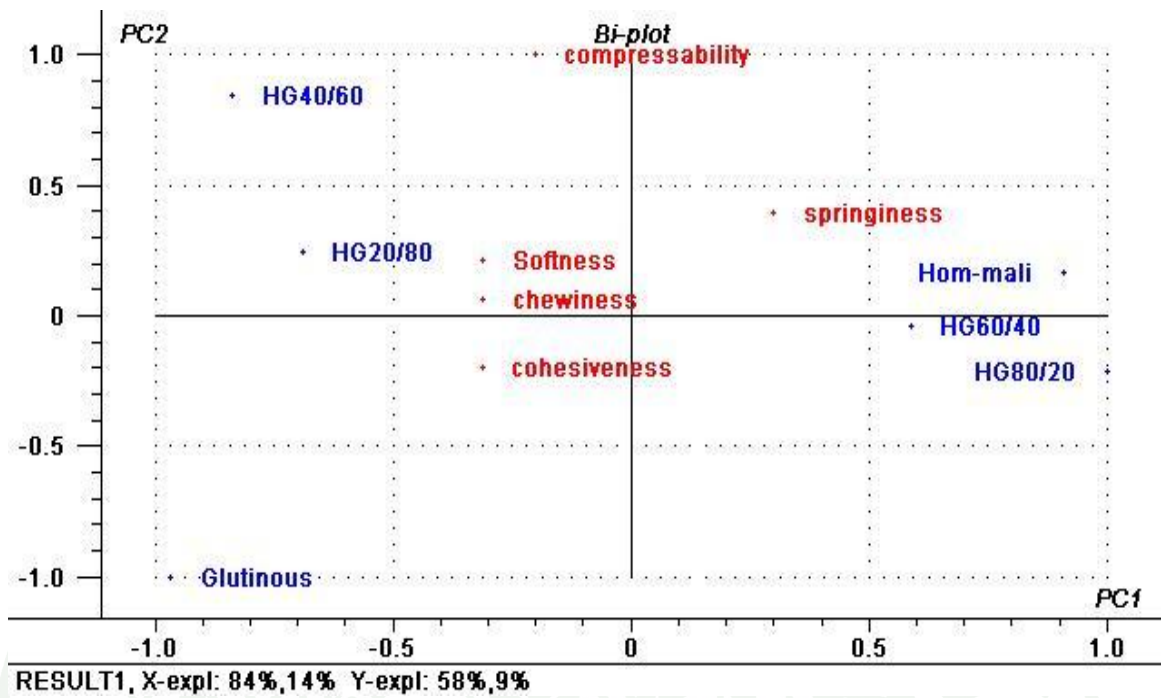
จากผลการวิเคราะห์ Opportunity analysis และ Binomial test สามารถสรุปแนวทางสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง ดังตารางที่ 87

ตารางที่ 87 แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งชนิดต่างๆ โดยใช้สูตรลดปริมาณ
ไข่แดง

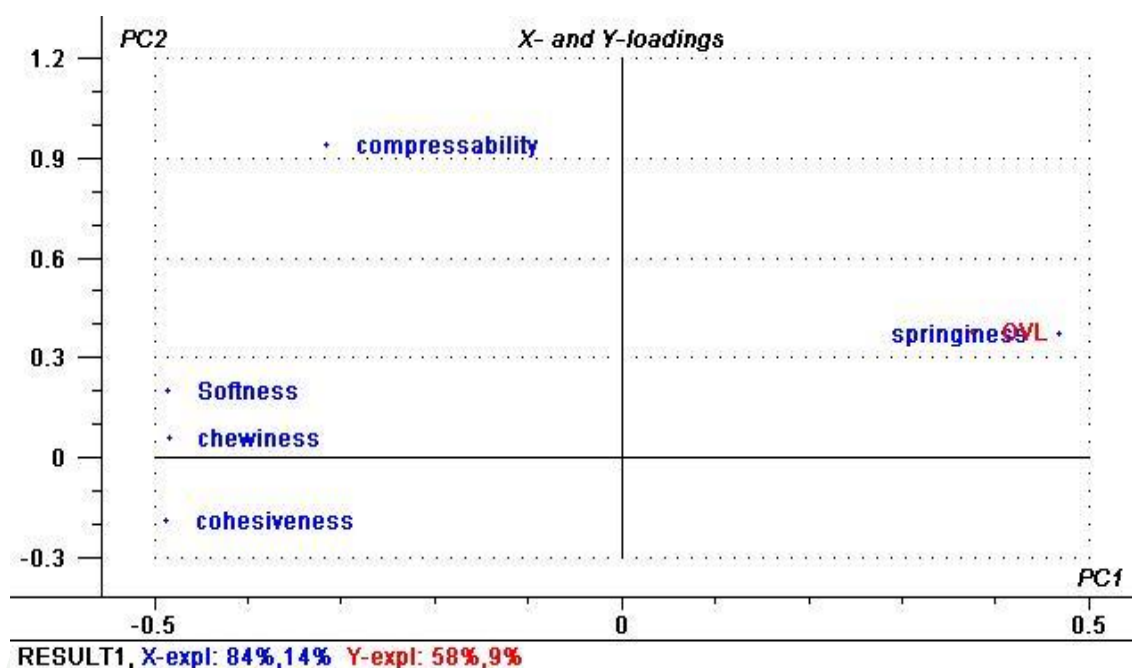
ตัวอย่างแบตเตอรี่เค้ก	คุณลักษณะที่ต้อง ปรับปรุงที่ได้จากการ วิเคราะห์ Opportunity	ผลการวิเคราะห์ Binomial test	แนวทางการปรับปรุง ผลิตภัณฑ์
แป้งสาลี	ความนุ่ม	ไม่ต้องปรับปรุง	-
แป้งข้าวหอมมะลิ	ความนุ่ม	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
แป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียว			
80:20	ความชุ่มชื้น	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
60:40	การชุ่มชื้น	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
40:60	การขึ้นฟู	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
20:80	การขึ้นฟู	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
แป้งข้าวเหนียว	การขึ้นฟู	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น

5.2.6 การวิเคราะห์ผังความชอบของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กกลุ่มแป้งข้าวสูตรลด ปริมาณไข่แดง

จากข้อมูลผลการศึกษาคูณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสโดยวิธีเชิงพรรณนา
ของแบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวสูตรลดไข่แดง (ผลการทดลองตารางที่ 57) นำข้อมูลดังกล่าวมาหา
ความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความชอบรวม (ผลการทดลองตารางที่ 77) โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ความ
ถดถอย แบบที่ 1 (Partial Least Square; PLS-1) แสดงผลดังภาพที่ 45 และ 46



ภาพที่ 45 Bi-plot ของบัตเตอร์เค้ก 6 ตัวอย่างกับลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันระหว่างแกน PC1 และ PC2 ตัวอย่างบัตเตอร์เค้กสูตรลดไขมันได้จากแป้งข้าวหอมมะลิ (Hom-mali), แป้งข้าวเหนียว (Glutinous), แป้งข้าวผสมระหว่าง แป้งข้าวหอมมะลิ : แป้งข้าวเหนียว (HG) 4 ตัวอย่าง = HG80/20, HG60/40, HG40/60 และ HG20/80



ภาพที่ 46 แผนภาพความชอบของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวสูตรลดไข่แดง

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคชอบ คือ ความยืดหยุ่น (springiness) โดยบัตเตอร์เค้กควรมีความยืดหยุ่นสูง ในขณะที่บัตเตอร์เค้กควรมีความง่ายต่อการเคี้ยว การเกาะรวมตัวของเนื้อต่ำ และการใช้แรงกดต่ำ

จากผลการศึกษาในข้อที่ 5 สามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้ คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยของบัตเตอร์เค้กที่ทำจากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิจากสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดงไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวผสมและแป้งข้าวเหนียวสูตรไข่ไก่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดงแตกต่างจากบัตเตอร์เค้กแป้งสาลีและบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ คุณลักษณะที่มีผลต่อการยอมรับและการตัดสินใจซื้อ ได้แก่ การขึ้นฟู, ความนุ่ม และความชุ่มชื้น นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของบัตเตอร์เค้กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองมีค่ามากกว่าบัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นว่าถ้าหากจะมีการใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทน

แป้งข้าวหอมมะลิในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก โดยผู้บริโภคให้การยอมรับมากกว่าร้อยละ 60
 แนวโน้มที่จะใช้แป้งข้าวเหนียวในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กสูตรไข่ทั้งฟองจะใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 60
 โดยจะต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านการขึ้นฟูให้สูงขึ้น ในขณะที่บัตเตอร์เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง
 จะใช้แป้งข้าวเหนียวได้ไม่เกินร้อยละ 40 โดยจะต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านการขึ้นฟูให้สูงขึ้น
 เช่นเดียวกัน

6. ผลการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพด้านความหนืด และสมบัติทางเทอร์โม ไดนามิกส์ ของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าว เหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

6.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าว
 เหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิด้วยวิธีมาตรฐาน

6.1.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้ง
 ข้าว

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งผสม ด้วยเครื่อง
 Differential Scanning Calorimeter (DSC) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ของค่าคุณสมบัติ ทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของตัวอย่างแป้งข้าว
 แสดงดังตารางที่ 88

ตารางที่ 88 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ของค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินไนซ์ของตัวอย่างแป้งข้าว

ค่าเทอร์โมไดนามิกส์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
T_o ($^{\circ}\text{C}$)				
ชุดสร้างสมการ	59.95	62.77	61.33	0.79
ชุดทำนาย	60.04	62.60	62.00	0.66
T_p ($^{\circ}\text{C}$)				
ชุดสร้างสมการ	67.04	69.57	68.24	0.61
ชุดทำนาย	68.01	69.71	68.74	0.53
T_c ($^{\circ}\text{C}$)				
ชุดสร้างสมการ	73.98	76.96	75.16	0.65
ชุดทำนาย	73.83	76.91	75.10	0.74
ΔH (J/g)				
ชุดสร้างสมการ	3.46	13.81	9.15	1.94
ชุดทำนาย	5.62	12.44	8.54	1.62

หมายเหตุ: T_o ($^{\circ}\text{C}$) คือ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (Onset Temperature)

T_p ($^{\circ}\text{C}$) คือ อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินไนซ์สูงสุด (Peak Temperature)

T_c ($^{\circ}\text{C}$) คือ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาตินไนซ์ (Conclusion Temperature)

ΔH (จูล/กรัม) คือ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาตินไนซ์

เมื่อพิจารณาค่าคุณสมบัติในชุดสร้างสมการ (Calibration) พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์อยู่ในช่วง $59.95 - 62.77^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินไนซ์สูงสุดอยู่

ในช่วง 67.04 - 69.57 °C อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันอยู่ในช่วง 73.98 – 76.96 °C และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันอยู่ในช่วง 3.46 – 13.81 จูล/กรัม ค่าในชุดทำนายสมการ (Prediction) พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันอยู่ในช่วง 60.04 – 62.60 °C อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันสูงสุดอยู่ในช่วง 68.01 – 69.71 °C อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันอยู่ในช่วง 73.83 – 76.91 °C และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันอยู่ในช่วง 5.62 – 12.44 จูล/กรัม ซึ่งค่าที่ใช้ทำนายสมการอยู่ในช่วงของค่าที่ใช้สำหรับสร้างสมการ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวัดค่านี้สามารถนำมาสร้างสมการทำนายค่าคุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งผสมเทียบกับวิธีมาตรฐานได้

ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินไนซ์ (To-Tc) มากที่สุดสอดคล้องกับค่าร้อยละปริมาณอะมิโลส กล่าวคือ ถ้าแป้งข้าวมีปริมาณอะมิโลส มาก จะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันมาก ระดับของช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานจะมีความสัมพันธ์กับส่วนผลึก (Crystalline regions) ของเม็ดแป้ง ถ้าเม็ดแป้งมีส่วนผลึกมากจะทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานมีค่าสูงขึ้น (Osman, 1967; Eliasson and Gudmundsson, 1996) สำหรับโมเลกุลที่มีปริมาณอะมิโลสหรือบริเวณที่เป็นผลึกมาก จะทำให้เม็ดแป้งมีความคงตัวของโครงสร้างและความต้านทานต่อการเกิดเจลาตินไนซ์ (Zeleznaк and Hoseneу, 1987) เป็นผลเนื่องมาจากอะมิโลสแต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหสามมิติด้วยพันธะไฮโดรเจน

เมื่อพิจารณาพลังงานในการเกิดเจลาตินไนซ์ (ΔH) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งถูกทำลาย หรือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำละลายโครงสร้างผลึกในระหว่างการเกิดเจลาตินไนซ์เซชัน (Zobel, 1988) จากการทดลองพบว่าปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาตินไนซ์ของตัวอย่างแป้งข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสมากมีแนวโน้มที่จะใช้พลังงานในการเกิดเจลาตินไนซ์สูง ซึ่งจะสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินไนซ์ (To-Tc) กล่าวคือ ตัวอย่างแป้งที่มีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินไนซ์มาก จะมีพลังงานในการเกิดเจลาตินไนซ์ (ΔH) มากเช่นกัน

6.1.2 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าว

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งข้าว ด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ของค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของ ตัวอย่างแป้งข้าวแสดงดังตารางที่ 89

ตารางที่ 89 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างแป้งข้าว

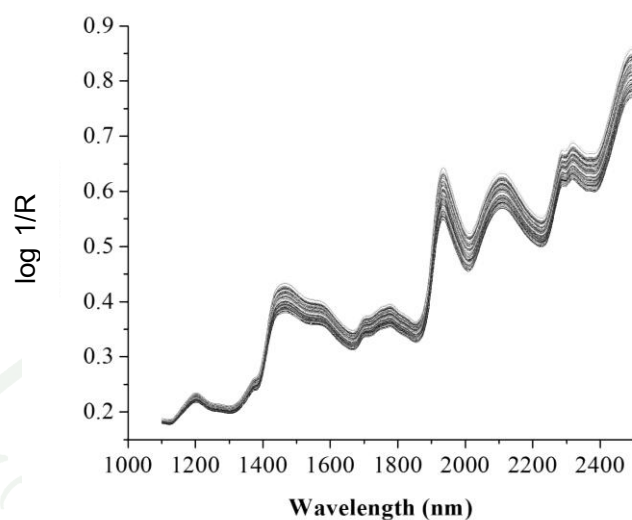
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity : RVU)				
ชุดสร้างสมการ	210.80	311.24	252.41	23.83
ชุดทำนาย	217.69	300.44	255.51	23.12
ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough : RVU)				
ชุดสร้างสมการ	131.08	185.82	155.64	13.93
ชุดทำนาย	132.63	179.40	159.55	14.41
ค่าผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (Breakdown : RVU)				
ชุดสร้างสมการ	59.72	173.28	96.77	28.02
ชุดทำนาย	63.07	161.55	95.96	27.13
ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity : RVU)				
ชุดสร้างสมการ	162.15	298.91	229.63	39.78
ชุดทำนาย	162.15	290.60	233.90	41.91
Set back from peak (RVU)				
ชุดสร้างสมการ	-134.06	23.03	-22.22	44.97
ชุดทำนาย	-134.06	21.04	-21.61	48.18

ตารางที่ 89 (ต่อ)

	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Peak time (mins)				
ชุดสร้างสมการ	3.80	6.27	5.10	0.96
ชุดทำนาย	3.80	6.30	5.11	0.99
Pasting temperature (°C)				
ชุดสร้างสมการ	67.98	75.63	70.79	1.97
ชุดทำนาย	69.55	79.08	71.55	1.92
ความชื้น (%)				
ชุดสร้างสมการ	6.87	9.74	8.61	0.72
ชุดทำนาย	6.87	9.61	8.49	0.74

6.1.3 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแป้งข้าวด้วยเครื่องNIRS

ลักษณะสเปกตรัมและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่อง NIRS ของแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน แสดงในภาพที่ 47 จากผลการทดลอง พบว่า ลักษณะรูปแบบของสเปกตรัมที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่อง NIRS มีการดูดกลืนแสงหรือค่า $\log 1/R$ มากขึ้น เมื่อความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นจาก 1100 – 2500 นาโนเมตร แป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง



ภาพที่ 47 ลักษณะสเปกตรัมของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสม จำนวน 92 ตัวอย่าง ที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่อง NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร

6.2 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพที่ทำการศึกษาและการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น

6.2.1 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งข้าวและการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างฟลาวข้าวจำนวน 61 ตัวอย่าง ของกลุ่มสร้างสมการ (Calibration) ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร ทำการบันทึกค่าห่างช่วงละ 2 นาโนเมตร ได้ข้อมูลการค่าการดูดกลืนแสงจำนวน 701 ค่า โดยค่าดังกล่าวจะกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ ตัวอย่าง แป้งข้าวหลังจากที่ผ่านการวัดค่าสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการเกิดเจลลิตีในซึ่ของแป้งข้าว ข้อมูลค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม นำข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาหา

ความสัมพันธ์ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติการเกิดเจลลาตินไนซ์ของแป้งข้าว วิธีทางสถิติที่นำมาใช้สร้างสมการทำนายค่าได้แก่วิธี Partial least square (PLS) Regression

สมการทำนายค่าที่เหมาะสมควรมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 และค่า SEC ต่ำๆ จากผลการวิเคราะห์ตารางที่ 90 พบว่า ค่าของคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่สามารถนำมาสร้างสมการที่เหมาะสมด้วยเทคนิค NIR ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์ เซชัน (T_0), อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชัน (T_p) และ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชัน (ΔH) มีค่า R^2 0.82, 0.75 และ 0.73 ตามลำดับ ค่า SEC มีค่า 0.34°C , 0.33°C และ 0.00 J/g ตามลำดับ เนื่องจากมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 และค่า SEC ต่ำ

ทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการทำนายที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายค่าคุณสมบัติด้านเทอร์โมไดนามิกส์ ด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องจำนวน 31 ตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงดังตาราง 90 ที่ จากการผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า SEP ของอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชัน (T_0), อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชัน (T_p) และ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชัน (ΔH) มีค่าเท่ากับ 0.58°C , 0.74°C และ 0.67 J/g ตามลำดับ

ตารางที่ 90 สมการทำนายค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาตินในซีของตัวอย่าง
แป้งข้าวที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Partial least square (PLS) Regression

ค่าเทอร์โม ไดนามิกส์	Calibration			Validation		Prediction	
	Factor	R ²	SEC	SEV	Bias	SEP	Bias
To (°C)	7	0.82	0.34	0.45	0.00	0.58	-0.01
Tp (°C)	2	0.75	0.33	0.35	-0.00	0.74	-0.15
Tc (°C)	1	0.06	1.03	1.06	0.00	0.75	0.27
ΔH (J/g)	1	0.73	0.00	0.79	-0.00	0.67	-0.40

หมายเหตุ: To (°C) คือ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาตินในซีเซชัน (Onset Temperature)
 Tp (°C) คือ อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินในซีเซชันสูงสุด (Peak Temperature)
 Tc (°C) คือ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาตินในซีเซชัน (Conclusion Temperature)
 ΔH (จูล/กรัม) คือ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาตินในซีเซชัน
 R² (coefficient of determination) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 SEC (Standard error of calibration) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่ใช้ทำนายคุณสมบัติด้านความร้อนด้วยตัวอย่างกลุ่มสมการ (Calibration)
 SEP (Standard error of prediction) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่ใช้ทำนายคุณสมบัติด้านความร้อนด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Validation)
 Bias หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้นกับค่าที่วิเคราะห์ได้

การศึกษาดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bao et al. (2001) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับคุณสมบัติด้านความร้อนของข้าวทั้งเมล็ดและแป้งข้าว ผลจากการศึกษาพบว่า สเปกตรัม NIRS มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0), อุณหภูมิสูงสุด (T_p), อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และพลังงานในการเกิดเจลลิตไนซ์ (ΔH) โดยอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) ของแป้งข้าวมียาค่าสูงกว่าข้าวทั้งเมล็ด ค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตไนซ์ (ΔH) มีความสัมพันธ์กับตัวอย่างแป้งข้าวเท่านั้น

6.2.2 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวและการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวจำนวน 61 ตัวอย่าง ของกลุ่มสร้างสมการ (Calibration) ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร ทำการบันทึกค่าห่างช่วงละ 2 นาโนเมตร ได้ข้อมูลการค่าการดูดกลืนแสงจำนวน 701 ค่า ตัวอย่างแป้งข้าวหลังจากที่ผ่านการวัดค่าสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืดของ แป้งข้าว ข้อมูลค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์กำหนดให้เป็นตัวแปรตาม นำข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าว วิธีทางสถิติที่นำมาใช้สร้างสมการทำนายค่าได้แก่ วิธี Partial least square (PLS) Regression

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมและคุณสมบัติด้านความหนืด แสดงดังตารางที่ 91 พบว่า ค่าของคุณสมบัติด้านความหนืดที่สามารถนำมาสร้างสมการที่เหมาะสมด้วยเทคนิค NIRS ระดับดีมาก ได้แก่ ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity), ค่าความคงตัว (Setback) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลลิตไนซ์ (Pasting temperature) โดยมีค่า R^2 0.95, 0.97 และ 0.99 ตามลำดับ ค่า SEC มีค่า 9.06°C , 7.86°C และ 0.05 J/g ตามลำดับ

Williams (2007) กล่าวไว้ว่า ค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.95 ขึ้นไปแสดงว่า สามารถนำไปใช้ในการประกันคุณภาพได้ นอกจากนี้ ค่าความหนืดต่ำสุด (Trough) และผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (Break down) ยังสามารถนำมาสร้างสมการที่เหมาะสมได้ในระดับปานกลางเนื่องจากมีค่า R^2 ต่ำกว่า ค่าความหนืดสุดท้าย, ค่าความคงตัว และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ โดยค่าความหนืดต่ำสุด (Trough), ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (Break down) มีค่า R^2 0.80 และ 0.80 และมีค่า SEC เท่ากับ 6.15 RVU และ 12.43 RVU ตามลำดับ จากผลการศึกษาดังกล่าวนี้ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Bao และคณะ (2007a) พบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดที่สามารถนำมาสร้างสมการที่เหมาะสมได้แก่ ค่าความคงตัว (Setback) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ (Pasting temperature) ในขณะที่การศึกษาของ Delwiche *et al.* (1996) พบว่า สเปกตรัม NIRS ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของตัวอย่างข้าว ซึ่งผลการทดลองที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายๆ อย่าง ได้แก่ การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ พันธุ์ของตัวอย่าง (genetic varieties) และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ (reference data)

ทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการทำนายที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายค่าคุณสมบัติด้านความหนืด ด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องจำนวน 31 ตัวอย่าง ผลการทดลองแสดง ดังตารางที่ 91 จากการผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า SEP ของความหนืดสุดท้าย (Final viscosity), ค่าความคงตัว (Setback) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ (Pasting temperature) มีค่าเท่ากับ 13.20, 22.23 RVU และ 1.97°C ตามลำดับ และ ค่า SEP ของค่าความหนืดต่ำสุด (Trough) และผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (Break down) มีค่าเท่ากับ 7.37 RVU และ 21.47 RVU ตามลำดับ

ตารางที่ 91 สมการทำนายค่าของคุณสมบัติด้านความหนืดของตัวอย่าง แป้งข้าวที่สร้างขึ้นด้วย
วิธี Partial least square (PLS) Regression

พารามิเตอร์	Calibration			Validation		Prediction	
	Factor	R ²	SEC	SEV	Bias	SEP	Bias
Peak viscosity(RVU)	8	0.74	11.94	21.04	0.87	20.99	-47.30
Trough (RVU)	3	0.80	6.15	6.64	0.06	7.37	-5.66
Break down (RVU)	8	0.80	12.43	21.51	0.59	21.47	-23.29
Final viscosity (RVU)	3	0.95	9.06	9.86	0.09	13.20	-10.86
Setback (RVU)	10	0.97	7.86	21.65	0.31	22.23	35.87
Peak time (mins)	2	0.79	0.00	0.46	0.01	0.51	-0.18
Pasting temp (°C)	16	0.99	0.05	1.27	0.03	1.97	4.90

หมายเหตุ: Peak viscosity คือ ค่าความหนืดสูงสุด

Trough คือ ค่าความหนืดต่ำสุด

Break down คือ ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด

Final viscosity คือ ค่าความหนืดสุดท้าย

Setback คือ ค่าความคงตัว

Peak time คือ เวลาที่เกิดค่าความหนืดสูงสุด

Pasting temperature คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลาติไนซ์

R² (coefficient of determination) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

SEC (Standard error of calibration) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่ใช้

ทำนายคุณสมบัติด้านความร้อนด้วยตัวอย่างกลุ่มสมการ (Calibration)

SEP (Standard error of prediction) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่ใช้ทำนาย

คุณสมบัติด้านความร้อนด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Validation)

Bias หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้นกับค่าที่

วิเคราะห์ได้

สรุป

การศึกษาคูณสมบัติเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับแป้งข้าวหอมมะลิและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้ คือ การศึกษาคูณภาพทางเคมีและกายภาพของ แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ การศึกษาคูณภาพทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว การศึกษาคูณลักษณะทางเคมีกายภาพของบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง การศึกษาคูณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบัตเตอร์เค้กโดยวิธีพรรณนา และการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ต่อผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรไข่ทั้งฟองและสูตรลดปริมาณไข่แดง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากผลการศึกษาคูณภาพทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว 9 พันธุ์ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.76 - 10.13 เถ้า 0.22 - 0.41 โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.11 - 0.55 โดยน้ำหนักแห้ง เส้นใยร้อยละ 1.44 - 2.63 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.88 - 9.53 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วง ร้อยละ 2.80 - 4.60 โดยน้ำหนักแห้ง พันธุ์ข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำสุด คือ พันธุ์ กข 6 (ร้อยละ 2.80 โดยน้ำหนักแห้ง) และเหนียวอุบล เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสมากที่สุด (ร้อยละ 4.60 โดยน้ำหนักแห้ง)

2. การศึกษาคูณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวผสมพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ แป้งข้าวหอมมะลิจะส่งผลให้ อุณหภูมิในการเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนซ์, ความหนืดต่ำสุด, ความหนืดสุดท้าย, ความคงตัว อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนซ์, อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาติไนซ์ และค่าพลังงานในการเกิดเจลลาติไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า ความหนืดสูงสุด และค่าผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด มีค่าลดลง

3. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ไก่ทั้งฟองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิจะส่งผลให้ ค่าความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมเค็ก ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง ในขณะที่ ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น และความยากง่ายในการเคี้ยว มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเหนียวมีค่าลดลง

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแบตเตอรี่เค็กสูตรลดปริมาณไข่แดงพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิจะส่งผลให้ ค่าความถ่วง จำเพาะของส่วนผสมเค็ก ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง ในขณะที่ ดัชนีปริมาตร และปริมาตรจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น และความยากง่ายในการเคี้ยว มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเหนียวมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบแบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ทั้งฟองกับแบตเตอรี่เค็กสูตรลดไข่แดงพบว่า แบตเตอรี่เค็กสูตรไข่ไก่ทั้งฟอง มี ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ ความหนาแน่นของแบตเตอรี่เค็ก ความแข็งของแบตเตอรี่เค็กต่ำกว่าแบตเตอรี่เค็กสูตรลดปริมาณไข่แดง ในขณะที่ ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ดัชนีปริมาตร และความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่เค็กมีค่าสูงกว่า

4. การศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีพรรณนาโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 7 คน สามารถพัฒนาคำศัพท์ได้ทั้งหมด 39 คุณลักษณะ ประกอบไปด้วยกลุ่มลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (5) กลิ่น (8) กลิ่นรส (8) รสชาติ (2) ความรู้สึกภายในปาก (2) ความรู้สึกหลังกลืน (4) เนื้อสัมผัส (10)

5. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กจาก แป้งสาลี แป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรไข่ทั้งฟอง พบว่า พบว่า คะแนนความชอบรวมของแบตเตอรี่เค็กแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิที่ทำจากไข่ทั้งฟองไม่แตกต่างกัน แบตเตอรี่เค็ก แป้งข้าวผสมที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียวแตกต่างกันมีผลให้คะแนนความชอบโดยรวม

แตกต่างกัน ผู้บริโภคอย่างน้อยร้อยละ 60 ยอมรับแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟองที่ใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิได้ร้อยละ 60 โดยแบตเตอรี่เค้กดังกล่าวควรปรับปรุงด้านการขึ้นฟูเพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก การขึ้นฟู ความชุ่มฉ่ำของเนื้อเค้ก และความนุ่ม เป็นคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับโดยรวมและการตัดสินใจซื้อแบตเตอรี่เค้กสูตรไข่ทั้งฟอง

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมสูตรลดไข่แดง พบว่า คะแนน ความชอบรวมของแบตเตอรี่เค้กแป้งสาลี และแป้งข้าวหอมมะลิที่ทำจากไข่ทั้งฟองไม่มีความแตกต่างกัน แบตเตอรี่เค้กแป้งข้าวผสมที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวหอมมะลิ:แป้งข้าวเหนียวแตกต่างกันมีผลให้คะแนนความชอบโดยรวมแตกต่างกัน ผู้บริโภคอย่างน้อยร้อยละ 60 ยอมรับแบตเตอรี่เค้กสูตรลดไข่แดงที่ใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิได้ร้อยละ 40 โดยแบตเตอรี่เค้กดังกล่าวควรปรับปรุงด้านการขึ้นฟูเพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก การขึ้นฟู ความชุ่มฉ่ำของเนื้อเค้ก และความนุ่ม เป็นคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับโดยรวมและการตัดสินใจซื้อแบตเตอรี่เค้กสูตรลดปริมาณไข่แดง

6. จากการศึกษาเพื่อสร้างสมการทำนายคุณสมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิ แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียวด้วยเทคนิค NIRS พบว่า ค่าคุณสมบัติด้านเทอร์โมไดนามิกส์ที่สามารถทำนายด้วยเทคนิค NIRS ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนซ์ (To), อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาติไนซ์ (Tp), และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนซ์ (ΔH) มีค่า R^2 0.82, 0.75 และ 0.73 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายคุณภาพด้วยตัวอย่างกลุ่มสร้างสมการ (Standard Error of Calibration; SEC) มีค่า 0.34°C , 0.33°C และ 0.00 J/g ตามลำดับ เมื่อทำการตรวจสอบด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องพบว่ามีความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (Standard Error of Prediction; SEP) ของอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนซ์

การเกิดเจลาตินไนซ์เซชัน (T_0), อุณหภูมิสูงสุดในการเกิด เจลาตินไนซ์เซชัน (T_p) และ พลังงานที่ใช้ ในการเกิดเจลาตินไนซ์เซชัน (ΔH) มีค่าเท่ากับ 0.58°C , 0.74°C และ 0.67 J/g ตามลำดับ

ค่าคุณสมบัติความหนืดที่สามารถทำนายด้วยเทคนิค NIRS ได้แก่ ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity), ค่าความคงตัว (Setback) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลาตินไนซ์ (Pasting temperature) โดยมีค่า R^2 0.95, 0.97 และ 0.99 ตามลำดับ ค่า SEC มีค่า 9.06 RVU, 7.86 RVU และ 0.05°C ตามลำดับ ค่า SEP ของความหนืดสุดท้าย, ค่าความคงตัว และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเจลาตินไนซ์ มีค่าเท่ากับ 13.20 RVU, 22.23 RVU และ 1.97°C ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กจากแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว เป็นแนวทางที่นำข้าวเหนียวมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ผลจากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า สามารถนำ แป้งข้าวเหนียวมาผสมกับแป้งข้าวหอมมะลิใช้ในการทำผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กได้ แต่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะ ด้านการขึ้นฟู ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ มาช่วยในการปรับปรุงด้านการขึ้นฟูของแบตเตอรี่เค้ก เช่น สารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจาก แป้งข้าวระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิกับแป้งข้าวเหนียว เปรียบเทียบกับแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมมะลิ เพื่อดูอิทธิพลว่าเมื่อใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิ จะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้กในระหว่างการเก็บรักษาอย่างไร

3. ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเปคตรัมที่ได้จากเครื่อง NIRS กับค่าคุณภาพของแบตเตอรี่เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวผสม เช่น ค่าทางด้านเนื้อสัมผัสของแบตเตอรี่เค้ก เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการข้าว. 2550. **ข้าวเหนียว: อนาคต การผลิต และการค้า**. สำนักงานผลิตภัณฑข้าว
กรมการข้าว. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมการข้าว. 2550. พันธุ์ข้าวเหนียว. แหล่งที่มา:<http://www.ricethailand.go.th>, 2 ตุลาคม 2550

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 2.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 4.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กัมปนาท มุขดี. 2533. **การวิจัยและพัฒนาข้าวในเขตพื้นที่ความรับผิดชอบของศูนย์วิจัย
ข้าวปทุมธานี**. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2539. **คุณภาพข้าวและผลิตภัณฑ**. ใน **การสัมมนาทางวิชาการครบรอบ 80 ปี
ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2544. **ปัจจัยคุณภาพข้าวสารและข้าวสวย**. การฝึกอบรมหลักสูตรการ
วิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรม
วิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. **เบเกอร์เทคโนโลยีเบื้องต้น**. ภาควิชา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชลิตดา ยอดกันสี, วิชัย หฤทัยธนาสันดี และเพ็ญขวัญ ชมปรีดา 2549. **การพัฒนาชิฟฟอนเค้ก**

จากแป้งข้าวหอมมะลิ ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการของ

มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ณัชนก นุกิจ. 2549. **การพัฒนาบัตเตอร์เค้กลดพลังงานและลดน้ำตาลจากแป้งข้าวก่ำอง**

พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

คณะอุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์.

ดวงพร อุดมสิน และ เต็มศักดิ์ ส่งวัฒนา. ม.ป.ป. **การศึกษาความหนืดและการวิเคราะห์**

ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวเหนียว และแป้งอเนกประสงค์. วารสาร

วิทยาศาสตร์บูรพา. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1. หน้า 59-72.

ธงชัย สุวรรณสิขณณ์. 2545. **การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ**, น. 99-

129. ใน **การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค near**

infrared spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ธงชัย สุวรรณสิขณณ์ และ ปิติพร ฤทธิเรืองเดช. 2552. **การวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ**. บทที่

6 น.1-33 ใน **เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร**. สถาบันค้นคว้า

และพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- นันทพร สมัครรัตน์. 2546. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดนัทแป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีหน้าพิซซ่าแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์.
- นิติ เต็มเวชศยานนท์. 2543. **การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี Ball-Mill และศึกษาคุณสมบัติของแป้งดัดแปร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์. 2545. หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโคปี. น. 39-61. ใน วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์เทอดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิขณณ์, ผู้รวบรวม. **การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บิสิเนสไทย. 2549. ข้าวเหนียวและผลิตภัณฑ์ “ส่งออก-นำเข้า” ไม่สมดุล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thaiorc.com> , [27 พฤศจิกายน]
- บุญทิศา นิลจันทร์. 2548. **การศึกษาสมบัติเคมีฟิสิกส์ของฟลาวและสตาร์ชข้าวจากข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปราณี อานเป็รื่อง. 2551. **หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- ผู้จัดการ. 2551. **เผยส่งออกข้าวไทยปี 50 ทะลุ 9.5 ล้านตัน** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.gotomanager.com> , [7 มกราคม]

- พจนีย์ พงศ์พงษ์. 2546. **การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาท่องโก๋จากแป้งข้าวหอมมะลิไทยผสมแป้งสาลี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์.
- พรวิเนส ปั้นหยง. 2544. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์.
- พัชรา วีระพงศ์. 2547. **ผลของปริมาณอะไมโลสและสภาวะการเก็บของข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อสมบัติทางด้านเคมีฟิสิกส์ของเอกซ์ทรูเดต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2550. **การประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์, น. 127-140. ใน** กาญจนา หงษ์หยก, บรรณาธิการ. **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ยุพินทรา ชันติวัฒนกุล. 2550. **ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุ่งทิภา วันสุขศรี. 2543. **การสกัดโปรตีนในปลายข้าวหอมมะลิเพื่อทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ละม้ายมาศ ชาวไชยมหา. 2544. **ตำรับอาหารข้าวสาลีไทย**. โรงพิมพ์การศาสนา. กรุงเทพฯ.
- ลัดดาวัลย์ กรรณนุช. 2550. **เกษตรกรกระหิ้มข้าวไทยแชมป์ ปริมาณเวียตนามสายพันธุ์น้อย หมดทางเบียดอันดับ 1 ส่งออก [ออนไลน์]**. แหล่งที่มา: <http://www.phtnet.org>, [29 พฤศจิกายน].

วารุณี ธนะแพสย์. 2552. สถานการณ์การใช้ประโยชน์เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในประเทศไทย. บทที่ 1 น.1-7. ใน **เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และอนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2552. เครื่องมือและอุปกรณ์สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. บทที่ 3 น.1-19. ใน **เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในทางเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด. น.131-151. ใน วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณดิชฌนน, ผู้รวบรวม. **การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2550. หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. น.32-46. ใน **โครงการสัมมนาวิชาการ เรื่องการควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลาย เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2549. ข้าวเหนียวและผลิตภัณฑ์: ส่งออกเพิ่ม ต้นราคาพุ่ง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.gotomanager.com>, [9 พฤศจิกายน].

ศรีเวียง ทิพกานนท์. 2544. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าว.**

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร,
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์.

สุพัตรา สุวรรณธาดา, สอวาง ไชยรินทร์, จิตติชัย อนาวงษ์, สุมาลี สุททาศ, สุภาณี จงดี, กฤษณา
สุตตะสาร, ราณี เคนเหลื่อม และสุนันทา วงศ์ปิยชน. 2550. **ผลงานวิจัยและพัฒนาการ
แปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าว ระหว่าง พ.ศ. 2540-2550.** สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการ
ข้าว.

สุวรรณี ปานเจริญ. 2551. **การพัฒนาขนมปังที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากแป้งข้าวกล้อง
หอมมะลิและ ฟลาวมันส์** ภายหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อธิมนต์ แก้วประเสริฐศิลป์. 2551. **การพัฒนาขนมปังลดพลังงานจากแป้งข้าวหอมมะลิ 105.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุศมา สุนทรนฤงส์. 2545. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากข้าวหอมมะลิ.** วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์. 2552. **การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสาลีในผลิตภัณฑ์เค้ก.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. น.67-98. ใน วารุณี ฐานะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิขินันท์, ผู้รวบรวม. **การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนุวัตร แจ่มชัด. 2549. วิธีการทางสถิติและการประยุกต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ใน รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

American Association of Cereal Chemists. 2000. **Approved methods of AACC**. 10th ed. Method 0-25, Method 61-02. AACC. St. Paul, MN.

Arai, T., O. Inatsu and T. Miura. 1989. Application of NIR to Rice Breeding: Improvement of the Eating Quality of Hokkaido Rice. **Proceeding of the 2nd International NIRS Conference**. Tsukuba, Japan.

Association of Analytical Chemists. 1995. **Official Methods of Analysis**, 24th ed. AOAC. Arlington, VA.

Association of Analytical Chemists. 2000. **Official Methods of Analysis**, 24th ed. AOAC. Arlington, VA.

Bao, J., Y. Shen and L. Jin. 2007a. **Determination of thermal and retrogradation properties of rice starch using near-infrared spectroscopy**. Journal of cereal science 46, 75-81.

- Bao, J., Y. Wang and Y. Shen. 2007b. Determination of apparent amylose content, pasting properties and gel texture of rice starch by near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2040-2948.
- Bao, J.S., Y.Z. Cai and H. Corke. 2001. Prediction of rice starch quality parameters by near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Food Science* 66, 936-939.
- Bata, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as related to sorghum starch properties. *Cereal Chem.* 78(4): 417-420.
- Bokobza, L. 2002. Origin of Near-Infrared Absorption bands. pp. 11-41. *In* H.W. Siesler, Y. Ozaki, S. Kawata, eds. **Near-Infrared Spectroscopy. Principles, Instruments, Applications.** WILEY-VCH, Germany.
- Bower, J. 1992. **Food Theory and Applications.** Macmillian Publishing Company.
- Chen, Y.-Y., A. E. McPherson, M. Radosavijevic, V. Lee, K-S. Wong and J. Jane. 1998. Effects of starch chemical structures on gelatinization and pasting properties. *Supl. 4(17)* : 63-70.
- Cozzolino, D., I. Murray, A. Chree and J.R. Scaife. 2005. Multivariate determination of free fatty acid and moisture in fish oils by partial least-squares regression and near infrared spectroscopy. *J. LWT* 38: 821-828

Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: Physicochemical and Functional Aspects. Pp. 431-503. *In* A.C. Eliasson. Ed. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Ford, C., D. Myers, and M. Love. 2004. **Food and the Consumer: Carbohydrate Introduction**. Department of Food Science and Human Nutrition, Iowa State University. Source: <http://www.public.iastate.edu>, March 1, 2004

French, D. 1979. **Fine structure of starch and its relation to the organization of starch granule**. *Denpun Kagaku*. 19: 8

Gacula, M. J., J. Singh, J. Bi and S. Altan. 2008. **Statistical Methods in Food and consumer Research**. 2nd edition. Elsevier. USA.

Greenhoff, K. and Macfie, M. J. H. 1994. **Preference Mapping in Practice**. *In* MacFie, H. J. H. and Thomson, D. M. H., eds. **Measurement of Food Preference**, Blackie Academic & Professional, London.

Gunasekaran, S. 2001. **Nondestructive Food Evaluation: Techniques to Analyze Properties and Quality Food Science and Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Hizukuri, S. 1986. **Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance**. *Carbohydrates Res*. 147: 342.

- Hruschka, W. R. 1990. Data analysis: wavelength selection methods, pp. 35-55. In P. Williams and K. Norris, eds. **Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Ittipat Suya, Thongchai Suwonsichon and Penkwan Chompreeda. 2008. **The Optimization of Formulation for Pudding Cake Made from Jasmine Rice Flour**. Proceedings of the 46th Kasetsart University Annual Conference on January 29-February 1, 2008, Kasetsart University, Thailand.
- Juliano, B.O. 1971. A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose. **Cereal Science Today**. 16: 334-338, 340, 360.
- Juliano, B.O. 1985. **Rice: Chemistry and Technology 2nd ed.** The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Juliano, B.O. 1993. **Rice in Human Nutrition**. FAO Food and Nutrition Series, No 26. The International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos, Laguna (Philippines), and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Kasemsumran, S. 2005. **Nondestructive Quantitative Analysis of Biomedical Sample by Near-Infrared Spectroscopy with Chemometrics and Development of Novel Chemometric Method for Quantitative Analysis**. Ph.D. Thesis, Kwansei Gakuin University, Japan.

Leach, H. W., L. D. MacCowan and T. J. Schoch. 1959. **Structure of the starch Granule**
I. Swelling Power and Solubility Pattern of Various Starches. Cereal Chem. 36:
534-544.

Megazyme. 1998. **Amylose/Amylopectin assay kit for the measurement of the amylose
and amylopectin contents of starch.** Megazyme international Ireland, Ltd.,
Ireland.

Miryeong, S., Franklin E. Barton, II, Anna M. McClung, and Elaine T. Champagne. 2004.
**Near-Infrared Spectroscopy for Determination of Protein and Amylose in Rice
Flour Through Use of Derivatives.** Cereal Chemistry 81, 341-344.

Nishita, K.D. and M.M Bean. 1979. **Physicochemical properties of rice in relation to rice
bread.** Cereal Chem 56: 185-189.

Newport Scientific. 1995. **Operating manual for the series 4 rapid visco analyzer.**
Warriewood. New South Wales.

Osborne, B. G., T. Fearn and P. H. Hindle. 1993. **Practical NIR Spectroscopy with
Application in Food and Beverage Analysis.** Longman Scientific & Technical.

Osman, E.M. 1967. Starch in the Food Industry, pp. 163-215. In R.L. Whistler and E.F.
Paschall, eds. **Starch: Chemistry and Technology.** Vol 2. Academic Press., Inc,
New York.

Piyaporn Chaumchaitrakun, Penkwan Chompreeda, Thongchai Suwonsichon, Vichai Haruthaithanasan and Porndarun Junlakun. **Consumer Acceptance of Low Calories Butter Cake from Thai Hom Mali Brown Rice Flour**. .Abstract in Proceeding of 14th World Congress of Food Science and Technology on October 19-23, 2008 Shanghai, China.

Pomeranz, Y., 1991. **Functional Properties of Food Component**. Academic Press, Inc. New York. P 25-62

Psootka, J. 1999. What? Another Article About Near-Infrared (NIR) Spectroscopy. **Cereal Foods World**. 44(6): 428 - 429.

Sae-Eaw, A., Chompreeda, P., Prinyawiwatkul, W., Haruthaithanasan, V., Suwansichon, T., Saidu, J. E. P., and Xu, Z. 2007. **Acceptance and Purchase Intent of the US Consumers for the Non-Wheat Rice Butter Cake**. *Journal of Food Science* 72(2):S92-97.

Sanders, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. In Advance Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan 22-26 & Feb 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok.

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.

- Somsanith Onechanh, Vichai Haruthaithanasan and Penkwan Chompreeda. 2008. **The Optimized Formulation for Cake Making from Bokaew Local Rice Flour.** Proceedings of the 9th National Grad Researcher Conference March 14-15 2008 Burapha University, Bangsaen, Chonburi Thailand.
- Stermer, R. A., Y. Pomeranz and R. J. McGinty. 1977. **Infrared Reflectance Spectroscopy for Estimation of Moisture of Whole Grain.** Cereal Chem. 54(2): 345-351.
- Svensson, E. and A. C. Eliasson. 1995. **Crytalline changes in native wheat and potato starches at intermediate water levels during gelatinization.** Carbohydr. Polym. 26: 171-176.
- Swinkels, J.J.M. 1985. Sources of starch, its chemistry and physics, pp. 15-46. *In* G.M.A. Van Beynum and J.R. Roles (eds.). **Starch Conversion Technology.** Marcel Dekler, Inc., New York.
- Tester, R. and W. R. Morrison. 1990. **Swelling and gelatinization of cereal starches I. Effect of amylopectin, amylose and lipids.** Cereal Chem. 67: 551-557.
- Turabi, E., Summu, G., and Sahin, S. 2008. **Rheological properties and quality of rice cakes formulates with different gums and an emulsifier blend.** Food Hydrocolloids. 22: 305-312.
- Whistler, R.L. and J.N. Bemiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists.** American Assosiation of Cereal Chemist.

Williams, V.R., W.T. Wu, H. Y. Tsai and H.G. Bates. 1958. **Varietal Differences in Amylose Content of Rice Starch.** J. Agric. Food Chem. 6: 47-48.

Williams, P. 2007. **Near-Infrared technology-getting the best put of light.** PDK Grain, Canada.

Witoon Prinyawiwatkul. 2009. **Analysis of Just-About-Right Sensory data.** Department of Product Development, Kasetsart University Bangkok, Thailand.

Wurzburg, O. B. 1986. **Modified Starches: Properties and Uses.** CRC Press, Inc., Florida.

ZeleznaK, K. J. and R. C. HoseneY. 1987. **The glass Transition in starch.** Cereal Chem. 64(2): 121-124.

Zobel, H. F. 1988. **Starch Crystal Transformations and their Industrial Importance.** Starch/Stärke. 40: 1.





1. การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสเทียบต่อปริมาณสตาร์ชและปริมาณสตาร์ชเทียบต่อ น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (Megazyme, 1998)

เครื่องมือ

หลอดทดลองพร้อมฝาปิด

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

เครื่องชั่งละเอียด 0.0001 กรัม

เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)

เครื่องปั่นผสม (vortex mixer)

วิธีวิเคราะห์

A: การเตรียมตัวอย่างฟลาวข้าวสำ สำหรับการวิเคราะห์

(1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างฟลาวประมาณ 20 – 25 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด

(2) เติม DMSO จำนวน 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง และทำการผสมด้วยเครื่อง vortex โดยใช้ความเร็วต่ำ จากนั้นให้ความร้อนใน water bath ที่อุณหภูมิ 100°C นาน 15 นาที ระหว่างการให้ความร้อนมีการผสมตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง

(3) วางหลอดทดลองที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที หลังจากนั้นเติม 6 มิลลิลิตร ของ 95% ethanol และตั้งหลอดทดลองไว้นาน 15 นาที

(4) นำหลอดทดลองที่ตั้งไว้มาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2000g นาน 5 นาที นำส่วนที่ตกตะกอนมาใช้ในขั้นต่อไป

(5) เติม DMSO จำนวน 1 มิลลิลิตร และทำการผสมด้วยเครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วต่ำ

(6) นำหลอดทดลองวางใน water bath ที่อุณหภูมิ 100°C นาน 15 นาที จากนั้นเติม

Con A Solvent 2 ml

(7) นำสารละลายที่ได้ในหลอดทดลองใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 ml และทำการปรับปริมาตรด้วย Con A Solvent ได้เป็นสารละลาย 1

B: การตกตะกอนอะมิโลเพกตินและการตรวจสอบปริมาณอะมิโลสเทียบต่อปริมาณสตาร์ช

(1) นำสารละลาย 1 จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม Con A solution จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ปิดฝา ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง

(2) ทำการปั่นเหวี่ยงสารละลายที่เตรียมไว้ด้วยความเร็ว 20,000g นาน 10 นาที

(3) นำส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 100 mM sodium acetate buffer จำนวน 3 มิลลิลิตร ปิดฝา และวางใน water bath นาน 5 นาที

(4) เมื่อครบ 5 นาที นำ หลอดทดลองมาวางใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C นาน 5 นาที จากนั้นเติมสารผสมระหว่าง amyloglucosidase + α -amylase enzyme จำนวน 0.1 มิลลิลิตร และบ่มที่ 40°C นาน 30 นาที

(5) ทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2,000g นาน 5 นาที นำส่วนใสที่ได้ 1 ml ใส่ในหลอดทดลอง เติม GOPOD reagent จำนวน 4 มิลลิลิตร และบ่มที่ 40 °C นาน 20 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 nm (A)

C: การตรวจสอบปริมาณสตาร์ช

(1) นำสารละลาย 1 จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 100 mM sodium acetate buffer จำนวน 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

(2) เติมสารผสมระหว่าง amyloglucosidase + α -amylase enzyme จำนวน 0.1 มิลลิลิตร และบ่มที่ 40°C นาน 10 นาที

(3) นำสารละลายที่ได้ 1 ml ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติม GOPOD reagent จำนวน 4 มิลลิลิตร และบ่มที่ 40 °C นาน 20 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 nm (B)

การคำนวณผล

$$1. \text{ปริมาณอะมิโลสเทียบต่อปริมาณสตาร์ช} = \frac{(A) \times 6.15 \times 100}{(B) \quad 9.20}$$

$$2. \text{ ปริมาณสตาร์ชต่อน้ำหนักเปียก} = \frac{(B) \times 100 \times 325 \times 1 \times 100 \times 162}{1000 \quad W \quad 180}$$

$$\text{ปริมาณสตาร์ชต่อน้ำหนักแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณสตาร์ชต่อน้ำหนักเปียก} \times 100}{100 - \text{ร้อยละปริมาณความชื้น}}$$

2. การวิเคราะห์ความชื้นโดยวิธีอบแห้ง (AOAC, 2000)

เครื่องมือ

ตู้อบไฟฟ้าชนิดควบคุมอุณหภูมิได้

ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด

วิธีวิเคราะห์

(1) อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ $130 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 30 นาที ให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

(2) ชั่งตัวอย่างที่มีน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2.000 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำ ไปอบในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ $130 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยเปิดฝาอะลูมิเนียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปิดฝาอะลูมิเนียม แล้วนำ ออกใส่เดสิคเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนักไว้

การคำนวณผล

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

เครื่องมือ

หลอดสำหรับย่อยโปรตีน (Digestion tube)

เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นหาไนโตรเจน

วิธีวิเคราะห์

- (1) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1.000 กรัม บันทึกรหัสที่แน่นอน ใส่ลงในหลอดย่อย
- (2) เติมคตะลิสต์ 10 กรัม ที่ผสมระหว่าง CuSO_4 กับ K_2SO_4 ในอัตราส่วน 0.5:10 พร้อมทั้ง H_2SO_4 จำนวน 20 มิลลิลิตร
- (3) ตั้งหลอดย่อยบนเครื่องย่อย (digestor) ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้สารละลายใส
- (4) ทำการกลั่นตัวอย่างที่ได้จากการย่อยด้วยน้ำกลั่นจำนวน 50 มิลลิลิตร, 32%NaOH จำนวน 70 มิลลิลิตร และ 4%กรดบอริกจำนวน 30 มิลลิลิตร
- (5) สารละลายที่ได้จากการกลั่นนำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.1N H_2SO_4 จนได้เป็นสีชมพูอ่อน

การคำนวณผล

$$\% \text{Nitrogen} = \frac{14 \times (V_1 - V_2) \times \text{ความเข้มข้นของ } \text{H}_2\text{SO}_4 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

$$\% \text{Protein} = \% \text{N} \times 5.95$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ไทเทรตตัวอย่าง

V_2 = ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ไทเทรต blank

4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)เครื่องมือ

เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT2 ; 1045 Extraction และ 1046 Service unit)

เครื่องทำความเย็น (CTL 911)

ถ้วยอะลูมิเนียม (Extraction cups)

คีมสำหรับจับถ้วยอะลูมิเนียม

ทิมเบิล (Thimble)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

อะซิโตน

วิธีวิเคราะห์

ซึ่งตัวอย่างประมาณ 2.5 กรัม (W) บนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด จากนั้นนำมาใส่ลงในทิมเบล นำทิมเบลใส่ใน 1045 extraction units ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service units โดยใช้ adapter แล้วนำ extractor caps ไปอบและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_1) เติมตัวทำละลายประมาณ 45 มิลลิลิตร นำ Extraction cups เข้าไปใน Soxtec System HT2 1045 Extraction unit

พร้อมทั้งเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง boiling และสกดเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rising ทำการ rising เป็นเวลา 45 นาที นำ Extraction cups ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ทิ้ง Extraction cups ให้เย็นในเดลิคเตเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (W_2) แล้วคำนวณร้อยละไขมัน

วิธีการคำนวณ

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

เมื่อ W = น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของ extraction cups เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของ extraction cups และตัวอย่างหลังการอบให้แห้ง เป็น

กรัม

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC)

นำตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ประมาณ 5 กรัม ซึ่งในจานกระเบื้องเคลือบ ที่เผาและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆจนหมดควัน แล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ

600 ± 20 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เข้าสู่ขาวหรือสีเทา นำออกมาใส่ในเดสิคเคเตอร์ ที่ตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่ง เปรียบตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ถือเป็นน้ำหนักของจานกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่

วิธีคำนวณ

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

เมื่อ W = น้ำหนักของจานกระเบื้องเคลือบ (กรัม)
 W_1 = น้ำหนักของจานกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักของจานกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)

6. การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย (AOAC)

เครื่องมือ

บีกเกอร์ (beaker) ชนิดไม่มีปากขนาด 600 มิลลิลิตร

เครื่องย่อย (digestion apparatus) ที่มีคอนเดนเซอร์ (condenser) สำหรับควบคุมปริมาตรของสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาการย่อย

กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 42

กุชครูซิเบิล (Gooch crucible) หรืออลันดัมครูซิเบิล ชนิดอาร์ -98 (alundum crucible R-98)

ตู้อบไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้

เตาเผาไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้

เดสิคเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น

สารเคมีและสารละลาย

กรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 0.255 นอร์มัล (สารละลาย 100 มิลลิลิตร มีกรด 1.25 กรัม)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.313 นอร์มัล (สารละลาย 100 มิลลิลิตร มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 กรัม)

แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95

วิธีวิเคราะห์

ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 2.5 กรัม (W) ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริก 0.255 นอร์มัล ซึ่งต้มเดือดลงไป 200 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องย่อย และต้มเดือดต่อไปอีกนาน 30 นาทีพอดี กรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (ใช้ suction) ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด (ประมาณ 200 มิลลิลิตร) ตรวจสอบด้วยกระดาษลิตมัส ถ่ายกากบนกระดาษกรองลงในบีกเกอร์ เติมจนหมด จากนั้นย่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอร์มัล ซึ่งต้มเดือดจำนวน 200 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องย่อยทันที และต้มให้เดือดต่อไปอีกนาน 30 นาทีพอดีเช่นเดียวกับครั้งแรก กรองทันทีผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (ใช้ suction) ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง (ประมาณ 200 มิลลิลิตร) ตรวจสอบด้วยกระดาษลิตมัส ล้างกากที่เหลือด้วยแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำกระดาษกรองใส่ครุชชีเบลล์แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105-107 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้องนำไปชั่ง อบตัวอย่างนี้ซ้ำ นานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดถือเป็นน้ำหนักของครุชชีเบลล์และกากหลังจากอบแห้งแล้ว (W_1) นำครุชชีเบลล์พร้อมด้วยกากที่อบแห้ง ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 ± 20 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที (จนขาว) แล้วนำออกมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง นำไปชั่ง แล้วเผาซ้ำ นานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดถือเป็นน้ำหนักของครุชชีเบลล์และเถ้าหลังจากเผาแล้ว (W_2) ผลแตกต่างระหว่างการชั่งน้ำหนักทั้งสองครั้ง คือน้ำหนักของเส้นใย

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใย (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{100 \times (W_1 - W_2)}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของครุฑิเบิลและกากหลังจากอบแห้งแล้ว เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของครุฑิเบิลและเถ้าหลังจากเผาแล้วลบด้วยน้ำหนักกระดาษกรอง เป็นกรัม

7. กำลังการพองตัวการละลายและการละลาย (Swelling Power and Solubility)

เครื่องมือ

1. หลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร
2. อ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้
3. เครื่องเหวี่ยง
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแบ่ง 0.5000 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิเมตร
3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส กวนตลอดเป็นเวลานาน 30 นาที
4. นำไปเหวี่ยงในเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
5. ดูดน้ำตอนบนใส่ภาชนะที่ทราบน้ำหนัก ให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ และนำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
6. ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกในหลอดนำ มาชั่งเป็นน้ำหนักแบ่งที่พองตัวแล้ว เพื่อนำมาคำนวณกำลังการพองตัว

วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลาย} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

8. วัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA (Newport Scientific Pty, Ltd., 1995)

เครื่องมือ

เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) รุ่น 4D พร้อมแคนและพาย

เครื่องแฮมเมอร์มิลล์

ตะแกรงละเอียดขนาด 0.8 มิลลิเมตร

วิธีวิเคราะห์

- (1) กรณีที่ตัวอย่างแป้งมีค่าความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ให้ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 + 0.05 มิลลิลิตร ใส่ลงในแคนของเครื่อง RVA
- (2) ชั่งตัวอย่างแป้งมาจำนวนหนึ่งใส่ลงในแคนที่มีน้ำอยู่ โดยจำนวนของตัวอย่างแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง (หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ละเอียด ให้บดตัวอย่างด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิลล์ แล้วร่อนด้วยตะแกรงละเอียดขนาด 0.8 มิลลิลิตร)
- (3) ใส่พาย (paddle) ลงในแคน หมุนพายไปมาแรงๆ และตั้งขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวหน้าหรือติดอยู่ที่พาย
- (4) นำแคนที่ใส่พายเข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน
- (5) จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ได้ เราสามารถหาค่าของ pasting temperature (อุณหภูมิที่เปลี่ยนเป็นเพสต์), peak viscosity (ความหนืดสูงสุด), setback และ final viscosity (ความหนืดสุดท้าย)

ข้อสังเกต

ในการชั่งตัวอย่างและตวงวัดปริมาณน้ำ เพื่อให้จะได้ผลถูกต้องควรนำค่าความชื้น

(moisture content) ของตัวอย่างมาคิดด้วย ซึ่งจะทำให้เมื่อคิดน้ำหนักของตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วมีจำนวนเท่ากัน ปกติค่าความชื้นจะอยู่ที่ 14 เปอร์เซ็นต์ และมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับความชื้นที่ 14 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M2 = \frac{(100 - 14) \times M1}{(100 - M1)}$$

$$W2 = 25.0 + M1 - M2$$

เมื่อ $M1$ = น้ำหนักตัวอย่างตามที่แนะนำ ไว้ในคู่มือ

$M2$ = น้ำหนักที่ถูกต้อง

$W2$ = ปริมาณน้ำที่ถูกต้อง





ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องบดแป้งข้าวแบบไม่แห้ง



ภาพผนวกที่ ข2 เครื่องผสมแป้งข้าวชนิดลูกเต๋า



ภาพผนวกที่ ข3 เครื่อง Near Infrared Reflectance (NIR) Spectroscopy (BRAN+LUEBBE, InfraAlyzer 500, Norderstedt, Germany)



ภาคผนวก ค

แบบทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

แบบทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค้ก

รหัสตัวอย่าง.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

1. เพศ () ชาย () หญิง
2. อายุ
- () ต่ำกว่า 21 ปี () 21-30 ปี () 31-40 ปี () 41-50 ปี
- () มากกว่า 50 ปีขึ้นไป

คำอธิบาย

กรุณาทดสอบตัวอย่างที่นำเสนอและให้ **คะแนนความชอบ** ในแต่ละคุณลักษณะที่กำหนดให้ โดยขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องระดับความชอบ และให้ **ระดับความรู้สึก** ตามที่ท่านรู้สึก โดยขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องระดับความรู้สึก

3. ท่านชอบ **ความฟู** ของแบตเตอรี่เค้กเมื่อมองด้วยสายตาระดับเท่าใด

ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบมาก	ชอบมาก ที่สุด
1	2	3	4	5	6	7	8	9

4. ท่านรู้สึกว่าคุณภาพของแบตเตอรี่เค้กเป็นอย่างไร

พุน้อยเกินไป	พุดอดี	พุมากเกินไป

5. ท่านชอบความนุ่มของแบตเตอรี่เค้กในขณะเคี้ยวระดับเท่าใด

ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบมาก	ชอบมาก ที่สุด
1	2	3	4	5	6	7	8	9

6. ท่านรู้สึกว่าคุณภาพนุ่มของแบตเตอรี่เค้กเป็นอย่างไร

นุ่มน้อยเกินไป	นุ่มพอดี	นุ่มมากเกินไป

7. ท่านชอบความชุ่มชื้นของเนื้อแบตเตอรี่เค้กขณะเคี้ยวระดับเท่าใด

ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบมาก	ชอบมาก ที่สุด
1	2	3	4	5	6	7	8	9

8. ท่านรู้สึกว่าคุณสมบัติของแบตเตอรี่เค็กเป็นอย่างไร

ชุ่มชื้นน้อยเกินไป	ชุ่มชื้นพอดี	ชุ่มชื้นมากเกินไป

9. ท่านชอบผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กโดยรวมระดับเท่าใด

ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ มาก	ชอบมาก ที่สุด
1	2	3	4	5	6	7	8	9

10. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กนี้หรือไม่

ยอมรับ

ไม่ยอมรับ

11. ถ้ามีผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็กนี้จำหน่าย ท่านจะซื้อหรือไม่

ซื้อ

ไม่ซื้อ

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ



ภาคผนวก ง
แบบสอบถามการทดสอบเชิงพรรณนา

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่

รหัสตัวอย่าง.....

คะแนนการทดสอบ QDA ผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่เค็ก

ลักษณะปรากฏ

1. สีเหลือง

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

2. ขนาดของโพรงอากาศ

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

3. ความสม่ำเสมอของโพรงอากาศ

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

4. ความชุ่มชื้น

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

5. การขึ้นฟู

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

กลิ่น

6.กลิ่นหวานโดยรวม

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

7.กลิ่นเนย

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

8.กลิ่นไข่

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

9.กลิ่นแป้งสุก

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

10.กลิ่นหืน

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

11.กลิ่น Citrus

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

12. กลิ่นสารเคมี

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

13. กลิ่นใบเตย

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

กลิ่นรส

14. กลิ่นรสหวานโดยรวม

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

15. กลิ่นรสเนย

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

16. กลิ่นรสไข่

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

17. กลิ่นรสแป้งสุก

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

18.กลิ่นรสหีน

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

19.กลิ่นรส Citrus

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

20.กลิ่นรสสารเคมี

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

21.กลิ่นรสใบเตย

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

รสชาติ

22.รสหวาน

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

23.รสเค็ม

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

ความรู้สึกภายในปาก

24.คอแห้ง

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

25.ความมันเคลือบปาก

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

ความรู้สึกตกค้างภายในปาก

26.รสหวานตกค้าง

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

27.กลิ่นรสเนยตกค้าง

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

28.รสเค็มตกค้าง

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

29.กลิ่นรสแป้งสุกตกค้าง

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

Finger perception

30.ความมัน (Oily)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

31.ความยืดหยุ่น (Springiness)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

First bite

32.ความนุ่ม (Softness)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

33.การเกาะตัวของตัวอย่าง (Cohesiveness)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

Masticatory phase

34.ความชุ่มฉ่ำ (Moistness)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

35.ความหยาบของตัวอย่าง (Roughness)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

36.การรวมตัวของตัวอย่าง (Cohesiveness of mass)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

37.จำนวนครั้งในการเคี้ยว (Chew count)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

38.ความเป็นผงแป้ง (Powdery)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

39.ความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness)

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5 15.0

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล
เกิดวันที่	25 ตุลาคม 2519
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนโครงการเครือข่ายเชิงกลยุทธ์เพื่อการผลิตและพัฒนาอาจารย์ใน สถาบันอุดมศึกษา ประจำปี 2551 สำนักงานคณะกรรมการการ อุดมศึกษา