การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

น.ส.สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Product design and development of ice cream stick from raw banana powder

Miss Sippothai Srininrat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ
โดย	น.ส.สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกศึก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์ : การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ. (Product design and development of ice cream stick from raw banana powder) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช

งานวิจัยนี้ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง เพื่อเป็นทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าของกล้วยให้กับเกษตรกร และเป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบกิจการในการลดขยะที่เกิดจากการทิ้งไม้ไอศกรีมแบบเดิม โดยไม้ไอศกรีมที่ผลิตได้ต้องมีคุณภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งเริ่มจากทำการศึกษาวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผง ด้วยการค้นคว้างานวิจัยและทดลองเบื้องต้น โดยพบว่าแป้งสาลีมีคุณสมบัติของตัวประสานที่ดีที่สุด และวิธีการผลิตอ้างอิงจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบในอุตสาหกรรม จากนั้นทำการศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเอนกประสงค์ ปริมาณน้ำตาล และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งทำการทดสอบคุณภาพทางกายภาพด้านความแข็ง ความเปราะ และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้ คือ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเอนกประสงค์ตั้งแต่ร้อยละ 50:50 จนถึง 80:20 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบ 40 นาที ซึ่งมีผลของค่าความแข็งเฉลี่ยใกล้เคียงกับไม้ไอศกรีมจากไม้มากที่สุดอยู่ในช่วง 31.49 ± 2.19 นิวตัน ถึง 38.53 ± 4.86 นิวตัน และผลการทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 0.050 ± 0.002 ถึง 0.112 ± 0.062 นอกจากนี้ ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบยังสามารถรับประทานได้ ซึ่งได้ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการทำแบบสอบถาม และผลทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในคุณลักษณะด้านต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมพบว่าอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก โดยผลิตภัณฑ์ที่มีเงื่อนไขสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเอนกประสงค์ร้อยละ 50:50 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง และ เวลาที่ใช้ในการอบ 40 นาที มีระดับความชอบโดยรวมมากที่สุด และจากการประเมินต้นทุนในการผลิตไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายโดยประมาณอยู่ที่ชิ้นละ 1.57 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270290521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: raw banana powder, randomized complete block experimental design, edible ice-cream sticks, eco-product development

Sippothai Srininrat : Product design and development of ice cream stick from raw banana powder . Advisor: Assoc. Prof. JITTRA RUKIJKANPANICH, Ph.D.

This research aims to develop edible ice cream sticks from raw banana powder based on the principle of experimental design as an alternative to increase the value of bananas for agriculturist and also as a guideline for entrepreneurs to reduce the waste arising from wooden ice cream stick disposal which practical use and accepted by consumers. Started with finding methods for forming powder products by studying on other researches and preliminary experiments. It was found that wheat flour had the best binder properties based on the industrial process of bakery products. The proportion of raw banana powder per all-purpose wheat flour, sugar content and baking time are three factors were studied with randomized complete block experimental design and properties of interest were hardness, fracturability and water activity. The most desirable results of ice cream sticks from raw banana powder production at significant level of 0.05 are obtained with a range of 50:50 to 80:20 of raw banana powder ratio, with 40% of sugar added and 40 minutes of baking time which hardness value was closest to that of wooden ice cream sticks at range of 31.49 ± 2.19 N to 38.53 ± 4.86 N and the water activity test result was in the range of 0.050 ± 0.002 to 0.112 ± 0.062 that did not cause microbial growth during storage. In addition, raw banana powder ice cream sticks are also edible which consumer acceptance of raw banana powder ice cream sticks was studied from the sensory quality assessment survey. The results of the acceptance test of raw banana powder ice cream sticks in terms of color, smell, taste, texture and overall acceptance score were moderate to high where the ice cream sticks from raw banana powder with 50:50 of raw banana powder ratio, with 40% of sugar added and 40 minutes of baking time had the highest score of overall acceptance. Further, it was found that the cost of ice cream sticks from raw banana powder production was 1.57 baht per piece from the economic cost evaluation.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Industrial Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ชี้แนะแนวทางและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี และขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์ กรรมการ และ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก กรรมการภายนอก ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณบุษบา วงศ์ลา ผู้จัดการคุณภาพ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คุณนิพร เดชสุข ผู้วิเคราะห์ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้สละเวลาให้การช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวัดผลการทดสอบคุณภาพทางอาหารได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่และอาจารย์ทุกท่านที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่า ทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณ พี่วรฐนนท์ ศิริมาก เพื่อนนิสิต ที่สละเวลาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยทางอาหาร และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ พี่ น้อง เพื่อนนิสิต และท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางเลือกจากผลผลิตทางการเกษตรต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 14

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 14

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 21

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย 21

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 22

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย 22

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกล้วย 23

2.2 ตัวประสาน 25

2.3 แป้งสาลี 26

2.4 ผลิตภัณฑ์ขนมอบ 27

2.5 น้ำตาล 27

2.6 โด 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 ปริมาณน้ำ 29
2.8 การอบ 29
2.9 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) 31
2.10 รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) 31
2.11 ความแข็งแรงและความแข็งของวัสดุ 32
2.12 คุณภาพอาหาร 32
2.13 เนื้อสัมผัสอาหาร 33
2.14 วอเตอร์แอกทิวิตี้ 36
2.15 คุณสมบัติของไม้ไอศกรีมจากไม้ 38
2.16 การออกแบบการทดลอง 38
2.17 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 54
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 54
3.2 วิธีดำเนินการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ 56
3.3 การออกแบบการทดลอง 57
3.4 การประเมินความคุ้มค่าเบื้องต้น 67
บทที่ 4 ผลการวิจัย 69
4.1 ลักษณะทางกายภาพของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยน้ำว้าดิบ 69
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 79
4.2.1 ผลการศึกษาค่าความแข็ง (Hardness) 79
4.2.2 ผลการศึกษาค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) 87
4.3 การคัดเลือกตัวอย่าง 93
4.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 94
4.5 การศึกษาอายุการใช้งานของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 ผลการประเมินความคุ้มค่าเบื้องต้น 97
4.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ 97
4.6.2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ 102
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 105
5.1 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ 105
5.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ 105
5.3 ข้อเสนอแนะ 106
ภาคผนวก 109
บรรณานุกรม 119
ประวัติผู้เขียน 125

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 รายงานสถานการณ์การเพาะปลูกไม้ผลปีเพาะปลูก พ.ศ. 2561 เรียงลำดับเนื้อที่เพาะปลูกจากมากไปน้อย 5 อันดับแรก 14

ตารางที่ 1.2 ผลลัพธ์คะแนนสำหรับแผนภาพกงล้อกลยุทธ์การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ 20

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้า 24

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบผง 25

ตารางที่ 2.3 สเกลมาตรฐานสำหรับ ความแข็ง (Hardness) 34

ตารางที่ 2.4 สเกลมาตรฐานสำหรับ ความแตกเปราะ (Fracturability) 35

ตารางที่ 2.5 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำในอาหารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร 36

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำและการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารชนิดต่างๆ 37

ตารางที่ 2.7 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน 49

ตารางที่ 2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two-Factor Fixed Effect Model 51

ตารางที่ 3.1 ระดับปัจจัยและสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยในการทดลอง 61

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) 65

ตารางที่ 3.3 เมตริกการออกแบบ 66

ตารางที่ 3.4 ลำดับการทดลองบล็อกที่ 1 66

ตารางที่ 3.5 ลำดับการทดลองบล็อกที่ 2 67

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดสอบค่าความแข็ง 80

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความแข็ง 83

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ..... 86

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดสอบค่าวิเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)..... 88

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)..... 90

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ 91

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการยอมรับไม้ไอศกรีมจากผู้บริโภค 95

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมเมื่อบรรจุลงบรรจุภัณฑ์คู่กับไอศกรีม 96

ตารางที่ 4.10 สรุปประมาณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ 97

ตารางที่ 4.11 สรุปประมาณค่าวัตถุดิบขั้นต่ำในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ..... 98

ตารางที่ 4.12 สรุปประมาณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการผลิตไม้ไอศกรีมจากไม้..... 100

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลปริมาณ ค่า Emission Factor และผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีของกิจกรรมการบริโภคและการกำจัดซากหลังการใช้งานไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ.. 103

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลปริมาณ ค่า Emission Factor และผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีของกิจกรรมการบริโภคและการกำจัดซากหลังการใช้งานไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ.. 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 มูลค่าตลาดไอศกรีมในประเทศไทยปีพ.ศ. 2559-2562 ที่มา: (Euromonitor International, 2020) 17

รูปที่ 1.2 Eco Design Strategy Wheel 19

รูปที่ 1.3 ผลลัพธ์แผนภาพกงล้อกลยุทธ์การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ 19

รูปที่ 2.1 อัตราการอบแห้งภายใต้ภาวการณ์อบแห้งคงที่ 30

รูปที่ 2.2 อิทธิพลที่ไม่มีผล และอิทธิพลที่มีผลต่อปัจจัยต่อค่า Score ในการตีกอล์ฟ 39

รูปที่ 2.3 ปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ 40

รูปที่ 2.4 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล 45

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 55

รูปที่ 3.2 แผ่นพลาสติกสำหรับรีดโดความหนา 3 ระดับ (2, 3 และ 4 มม.) และลูกกลิ้งไม้ 56

รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์ Stainless steel แบบไดคัท 56

รูปที่ 3.4 แผนภาพวิธีดำเนินการทดลอง 57

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20 70

รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40 71

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที 71

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20 72

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที 74

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20 75

รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40 75

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที 76

รูปที่ 4.10 ลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสัดส่วนต่างๆ ที่ระดับปัจจัยน้ำตาลร้อยละ 0 เวลาที่ใช้ในการอบ 40 นาที 77

รูปที่ 4.11 ลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสัดส่วนต่างๆ ที่ระดับปัจจัยน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบ 45 นาที 77

รูปที่ 4.12 ลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสัดส่วนต่างๆ ที่ระดับปัจจัยน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบ 50 นาที 77

รูปที่ 4.13 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 และปัจจัยปริมาณน้ำตาลระดับต่างๆ 78

รูปที่ 4.14 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 และปัจจัยปริมาณน้ำตาลระดับต่างๆ 78

รูปที่ 4.15 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 และปัจจัยปริมาณน้ำตาลระดับต่างๆ 79

รูปที่ 4.16 ผลการกระจายของข้อมูลการทดสอบค่าความแข็ง 80

รูปที่ 4.17 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล 84

รูปที่ 4.18 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ 86

รูปที่ 4.19 ผลการกระจายของข้อมูลการทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.20 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของไม้ไอศกรีม..... 92

รูปที่ 4.21 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ..... 94

รูปที่ 4.22 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 และปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ..... 94

รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลการทดสอบการยอมรับไม้ไอศกรีมจากผู้บริโภค 96

รูปที่ 4.24 ขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบและไม้ 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยขึ้นชื่อได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม เนื่องด้วยทรัพยากรธรรมชาติและสภาพอากาศที่เอื้ออำนวย ดังนั้นการพัฒนาการเกษตรจึงถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญเป็นอย่างมากซึ่งจะสามารถทำให้เกษตรกรที่มีอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศไทยมีรายได้ที่ดีขึ้น โดยในปัจจุบันประเทศไทยมีเกษตรกรทั้งสิ้น 8,099,920 ครัวเรือน 9,110,819 ราย ซึ่ง 4,713,578 ราย เป็นเกษตรกรที่หาเลี้ยงชีพด้วยการปลูกพืชเป็นหลัก และ 2,105,408 รายเป็นเกษตรกรผู้ปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ คิดเป็นร้อยละ 51.74 และ 31.77 ตามลำดับ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563) และจากการสำรวจเกษตรกรไทยส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อย มีพื้นที่ในการปลูกพืชผลทำกินซึ่งสร้างรายได้เพียงเล็กน้อย

กล้วย จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ เนื่องจากเพาะปลูกง่าย ทนต่อโรคและแมลง ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี พบได้ทุกภาคของประเทศและนิยมปลูกเพื่อบริโภคกันเองภายในครัวเรือน โดยกล้วยไทยที่ได้รับความนิยมในการบริโภคได้แก่ กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า จากการรายงานข้อมูลภาวการณ์ผลิตพืชในปี พ.ศ. 2561 พบว่า กล้วยน้ำว้าเป็นไม้ผลที่มีการกระจายการปลูกสูงสุดอยู่ที่ 75 จังหวัด และ มีเนื้อที่การปลูกมากที่สุดอยู่ใน 5 อันดับแรกดังแสดงในตารางที่ 1.1 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกรมส่งเสริมการเกษตร, 2562a)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.1 รายงานสถานการณ์การเพาะปลูกไม้ผลปีเพาะปลูก พ.ศ. 2561 เรียงลำดับเนื้อที่เพาะปลูกจากมากไปน้อย 5 อันดับแรก

ที่	ชนิดพืช	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่		ราคาขายเฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)
				เนื้อที่ให้ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (กิโลกรัม/ไร่)	
1	ลำไย	577,941	827,162,468	774	1,431	25.33
2	ทุเรียน	374,696	619,829,877	946	1,654	83.30
3	มะม่วง	330,409	620,422,646	1,020	1,878	22.30
4	มังคุด	300,618	169,746,596	384	565	51.47
5	กล้วยน้ำว้า	183,997	745,163,991	2,787	4,050	8.53

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ราคาขายเฉลี่ยต่อกิโลกรัมของกล้วยน้ำว้าต่ำกว่าผลไม้ชนิดอื่นอยู่ค่อนข้างมาก เนื่องด้วยกล้วยมีต้นทุนเฉลี่ยในการผลิตต่ำ รวมถึงอายุค่อนข้างสั้นหลังจากทำการเก็บเกี่ยวแล้ว ในบางฤดูกาลมีปริมาณผลผลิตกล้วยมากเกินความต้องการ และ กล้วยเป็นผลไม้ที่มีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 72-77 (ก่อนอบแห้ง) จึงมีอายุการเก็บสั้นเพียง 5-7 วันก่อนเน่าเสีย (จุฑามาศ พีรพัชระ, 2554) จำเป็นจะต้องจำหน่ายให้รวดเร็วหลังจากทำการเก็บเกี่ยวแล้ว รวมถึงการเกิดโรคพืชจากเชื้อราและแบคทีเรียขณะขนส่ง เช่น โรคขั้วหวีเน่า (คมจันทร์ สรงจันทร์, 2559) ทำให้การจัดจำหน่ายทำได้เพียงเฉพาะในประเทศไม่สามารถส่งออกต่างประเทศได้มากนัก หรือนิยมส่งออกเพียงบางชนิดเท่านั้น กล้วยที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานด้วยข้อจำกัดต่างๆ จะถูกนำมาวางขายในตลาดภายในประเทศในราคาที่ถูกลงและมีข้อจำกัดทางด้านเวลาการจำหน่ายจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กล้วยมีราคาค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ผู้ประกอบการประสบ ต้องสูญเสียโอกาสและรายได้จำนวนมาก

จากปัญหาข้างต้นจึงเกิดแนวคิดที่จะแปรรูปกล้วยสด เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิต ปัจจุบันการแปรรูปกล้วยเพื่อถนอมอาหารมีหลากหลายรูปแบบ เช่น ในกรณีกล้วยสุกสามารถแปรรูปอย่างง่ายด้วยการตากแห้ง เชื่อม ทอดกรอบ หรือ กวน เมื่อเปรียบเทียบกล้วยสุกกับกล้วยดิบนั้นจะมีรสชาติเนื้อ และส่วนประกอบที่ต่างกัน กล้วยสุกจะประกอบไปด้วยร้อยละของแป้งในปริมาณที่น้อยกว่ากล้วยดิบเทียบกับน้ำหนักแห้งเนื่องจากโมเลกุลแป้งที่เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเมื่อกล้วยเริ่มสุก ทำให้กล้วยสุกมีรสชาติหวาน รับประทานง่าย ซึ่งในปัจจุบันมีการแปรรูปกล้วยสุกเป็นจำนวนมาก และสามารถหาซื้อได้ทั่วไป ส่วนกล้วยดิบยังมีการแปรรูปอยู่ค่อนข้างน้อยเนื่องจากกล้วยดิบจะบริโภคได้มักจะต้องนำไปผ่านกระบวนการต้มหรือทอดก่อนเนื่องจากมีรสชาติฝาด และรับประทานยาก

การนำกล้วยดิบมาแปรรูปได้รับความสนใจมากขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยการนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปให้ได้ผลผลิตเป็นกล้วยผง และสามารถนำมาเป็นส่วนประกอบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น ผงกล้วยชงพร้อมดื่มเพื่อจุดประสงค์ในการบรรเทาอาการและรักษาโรคกระเพาะ และกรดไหลย้อน หรือใช้ทดแทนแป้งในการผลิตอาหารประเภทเบเกอรี่ได้บางส่วนเพื่อเพิ่มความหลากหลายในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งเทคนิคการทำกล้วยให้แห้งมีอยู่หลากหลายวิธี เช่น การใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด, เครื่องเป่าลมร้อน, เครื่องอบแห้งแบบถาดหลายชั้น, การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์, การอบด้วยไมโครเวฟ, การทำแห้งโดยการออสโมติก และการทำแห้งด้วยความเย็น กระบวนการทำให้แห้งเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยเฉพาะความเข้มข้นของสารอาหาร รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส เช่น รสชาติ ผิวสัมผัส และกลิ่น (Chauhan, 2016) โดยที่สามารถตรวจสอบจากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ เช่น ความชื้น, โปรตีน, เถ้า, คาร์โบไฮเดรต, แป้ง, แป้งทนการย่อย (Resistant starch, RS) และ ไฟเบอร์ (Bezerra et al., 2013) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปเพื่อให้มีความมั่นใจว่า สามารถ

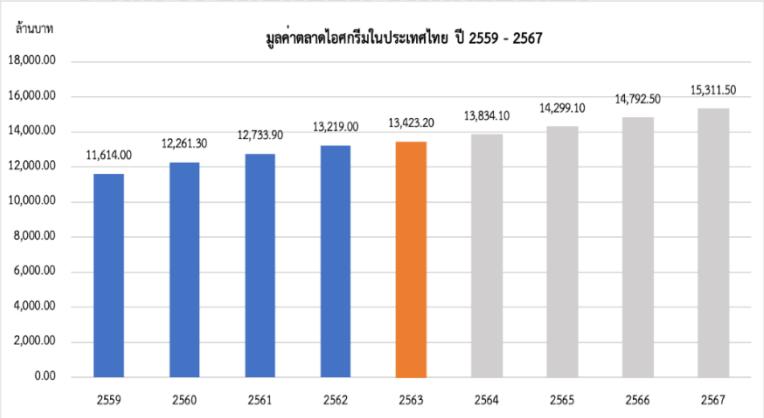
นำไปใช้ประโยชน์สำหรับจุดประสงค์ทางโภชนาการที่ต้องการได้ และเนื่องด้วยกล้วยดิบ มีสารฝาดสมานที่เรียกว่า แทนนิน ปัจจุบันมีการนำสารแทนนินมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารค่อนข้างหลากหลาย เนื่องจากเป็นสารช่วยยับยั้งแบคทีเรีย เป็นตัวเสริมรสชาติของอาหาร และทำให้รักษาอาหารได้นานขึ้นอีกด้วย(สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์ และ สุดใจ คงทอง, 2537) จะเห็นได้ว่ากล้วยดิบผงยังคงเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ยังไม่แพร่หลายและมักใช้รับประทานเพื่อรักษาสุขภาพในครัวเรือน ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่สามารถใช้กล้วยดิบผงเป็นวัตถุดิบหรือเป็นส่วนประกอบยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นการต่อยอดและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์กล้วยดิบผงนี้จึงมีความน่าสนใจ

ในขณะเดียวกันปัจจุบันมีการนำพืชผลทางการเกษตรไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการบริโภคอย่างหลากหลาย เนื่องจากโดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์ชั่วคราวซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกจะถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งไป ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองและเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง จึงเกิดการคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ที่ส่วนใหญ่ผลิตขึ้นจากวัตถุดิบทางการเกษตร (สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงโตเกียว, 2562) หรือ ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุทางธรรมชาติด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งมักจะเป็นบรรจุภัณฑ์ที่หุ้มห่อสินค้า เช่น ถุงไบโอพลาสติก หรือ กล่องบรรจุภัณฑ์แบบกระดาษ เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งอย่าง ไม้ไอศกรีม หรือตะเกียบ ยังมีผู้ทำการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย เนื่องด้วยทำมาจากไม้ และ วัตถุดิบไม้เป็นวัสดุธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าไม้จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปรีไซเคิลได้ในหมวดหมู่ของวัสดุที่ย่อยสลายได้ (Biodegradable) แต่การนำไปรีไซเคิลนั้นมีน้อยและทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากขยะอุปกรณ์การบริโภคจากไม้เหล่านี้มักจะถูกโยนทิ้งลงถังขยะอย่างกระจัดกระจายหลังจากการผ่านการใช้งานเพียงครั้งเดียว โดยที่สุดท้ายแล้วขยะเหล่านี้จะกลายเป็นขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปฝังกลบหรือเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแทน จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2561 ที่ผ่านมาประเทศไทยระบุว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศมีประมาณ 27.93 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.05 จาก พ.ศ. 2560 ที่มีประมาณ 27.37 ล้านตัน เนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมืองและการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตจากสังคมเกษตรกรรมสู่สังคมเมืองในหลายพื้นที่ รวมถึงการท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) อย่างไรก็ตามขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนของส่วนประกอบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ได้ในอัตราที่สูงกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด แต่ปัจจุบันการนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่มีเพียงร้อยละ 22 เนื่องจากขยะมูลฝอยประเภททั่วไป หรือขยะประเภทอื่นๆที่นอกเหนือจากขยะย่อยสลาย ขยะรีไซเคิล ขยะอันตรายแล้ว มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งได้แก่ขยะประเภทบรรจุภัณฑ์ที่

ปนเปื้อนเศษอาหารประเภทต่างๆ รวมถึง ไม้ตะเกียบ และ ไม้ (สำนักงานจัดการกากของเสียและอันตราย, 2551)

ไม้ไอศกรีม เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีลักษณะการใช้แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ซึ่งส่วนใหญ่ที่พบได้ทั่วไปมักทำจากไม้เนื่องจากไม้มีราคาถูก และ ยังถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม้ไอศกรีมที่ใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันนิยมนำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้ไม้จากต้นเบิร์ช (birch) หรือ บีช (beech) ซึ่งเป็นพรรณไม้เมืองหนาว ลำต้นผอม สูง และประหยัดพื้นที่ในการปลูกมากกว่า ทำให้การผลิตไม้ไอศกรีมภายในประเทศมีอยู่ค่อนข้างน้อย และต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ จากข้อมูลทางสถิติในปี พ.ศ. 2562 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าสินค้าประเภท Wood & Article ซึ่งเป็นสินค้าไม้ประเภทด้ามจับขนม ด้ามไม้ไอศกรีม และ ช้อนตักไอศกรีมจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าประมาณ 95 ล้านบาท ซึ่งเติบโตขึ้นร้อยละ 1.88 เทียบกับปี พ.ศ. 2561 ที่มีมูลค่า 91.5 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2563) สอดคล้องกับแนวโน้มการบริโภคไอศกรีมในประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2562 ที่ผ่านมาตลาดผลิตภัณฑ์ไอศกรีมในประเทศไทยมีมูลค่าอยู่ที่ประมาณ 13,219 ล้านบาท ซึ่งเติบโตขึ้นร้อยละ 1.87 จากปีก่อนหน้า โดยมีปัจจัยสนับสนุนจากผู้บริโภคคนไทยที่นิยมรับประทานไอศกรีมเพื่อดับร้อนเนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนเกือบตลอดทั้งปี จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ตลาดไอศกรีมในไทยสามารถเติบโตได้อย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคตดังแสดงในรูปที่ 1.1 และจากการสำรวจปริมาณไอศกรีมประเภทแท่งจากบริษัทที่มีส่วนแบ่งการตลาดสินค้าประเภทไอศกรีมและขนมแช่แข็งมากที่สุด 5 ลำดับแรก (Euromonitor International, 2020) พบว่าสัดส่วนไอศกรีมประเภทแท่งอยู่ที่ร้อยละ 37 จากปริมาณไอศกรีมทั้งหมดโดยประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 มูลค่าตลาดไอศกรีมในประเทศไทยปีพ.ศ. 2559-2562

ที่มา: (Euromonitor International, 2020)

นอกจากนี้จากข้อมูลการนำเข้าผลิตภัณฑ์ไม้เพื่อการผลิตไอศรีมแบบแท่งและมูลค่าตลาดไอศกรีมที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ในปีที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงสภาพปัญหาที่ต้องมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ไม้จากต่างประเทศเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมไอศกรีมอยู่เป็นจำนวนมาก รวมถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมข้างต้น ดังนั้น จึงมีความน่าสนใจที่จะนำผงกล้วยดิบ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรมาพัฒนาผลิตเป็นด้ามไม้ไอศกรีมแท่งที่รับประทานได้และกลายเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วยดิบโดยไม่ปล่อยให้สุกและเน่าเสีย รวมถึงยังสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดจากกล้วยและไม้ไอศกรีมที่มีการใช้แบบครั้งเดียวทิ้งได้โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ซึ่งเป็นการดำเนินการทดลองอย่างเป็นระบบและมีการควบคุม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการผลิตที่เหมาะสม โดยพิจารณาว่าวัตถุดิบขาเข้า (Input) หรืออิทธิพลระหว่างกันของวัตถุดิบ (Interaction) มีความสัมพันธ์ต่อผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต (Output) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่และผลไปศึกษาค่าที่เหมาะสมในการผลิตต่อไป ประโยชน์ของหลักการออกแบบการทดลอง คือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ในขณะที่ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือสูง สามารถนำไปใช้ในการปรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิผล (Montgomery, 2017)

เมื่อมองในแง่ของการสร้างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาคุณสมบัติของกล้วยดิบผงแล้วสามารถที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อทดแทนการใช้ไม้ โดยออกแบบการทดลองเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน คือ เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้บริโภคที่มีคุณภาพและยังสามารถรับประทานได้จริงไปพร้อมๆ พร้อมทั้งยังนำหลักกลยุทธ์การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ (Eco Design Strategy) มาใช้พิจารณาร่วมและเป็นปัจจัยสนับสนุนการออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ แสดงได้ด้วยกงล้อกลยุทธ์เพื่อการออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ (Eco design strategy wheel) (Brezet, 1997) ดังรูปที่ 1.2 โดยนำเสนอทั้งหมด 8 ประการ ได้แก่

@การพัฒนาแนวคิดใหม่ (New concept development)

1.การเลือกวัสดุที่ส่งผลกระทบต่ำ (Selection of Low impact materials)

2.การลดการใช้วัสดุ (Reduction of material usage)

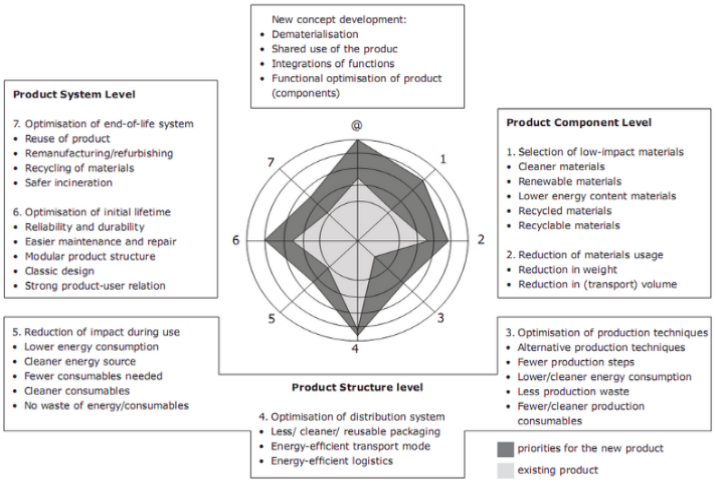
3.การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต (Optimization of production techniques)

4.การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการขนส่ง (Optimization of distribution system)

5.การปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ (Reduction of impact during use)

6.การปรับปรุงอายุของผลิตภัณฑ์ (Optimization of initial lifetime)

7.การปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและทำลายหลังใช้งาน (Optimization of end-of-life system)

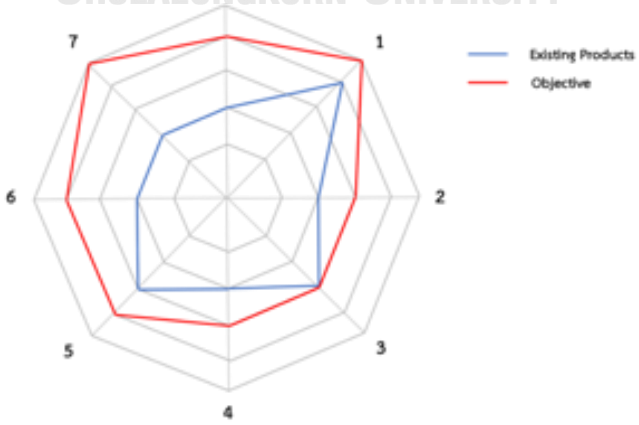


รูปที่ 1.2 Eco Design Strategy Wheel

ที่มา: (Brezet, 1997)

ในกงล้อกลยุทธ์เพื่อการออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจจะมีการให้คะแนนแต่ละหมวดและนำมาเสนอในรูปแบบแผนภูมิโดยจะเปรียบเทียบระหว่างกราฟของผลิตภัณฑ์ปัจจุบันกับผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์ใหม่สื่อถึงการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ทางด้านสิ่งแวดล้อม การสร้างแผนภูมินี้มุ่งหมายเพื่อแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือนี้สามารถนำไปสู่การปรับปรุงผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมแม้ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดย บริษัทขนาดเล็กและขนาดกลาง โดยเน้นที่ความเรียบง่ายและความสามารถในการใช้งานเป็นหลัก ซึ่งผลลัพธ์ของแผนภาพกงล้อกลยุทธ์การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ แสดงไว้ดังรูปที่ 1.3 และแสดงผลคะแนนที่คาดหมายไว้ในตารางที่ 1.2

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1.3 ผลลัพธ์แผนภาพกงล้อกลยุทธ์การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ

ตารางที่ 1.2 ผลลัพธ์คะแนนสำหรับแผนภาพกงล้อกลยุทธ์การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ

Eco Design strategy wheel item	Existing Product	Objective
@ การพัฒนาแนวคิดใหม่	2	4
1. การเลือกวัสดุที่ส่งผลกระทบต่ำ	4	5
2. การลดการใช้วัสดุ	2	3
3. การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต	3	3
4. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการขนส่ง	2	3
5. การปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์	3	4
6. การปรับปรุงอายุของผลิตภัณฑ์	2	4
7. การปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและการทำลายผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน	2	5

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจประเมินด้วยการคำนวณความสามารถในการชดเชยการนำเข้าของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากต่างประเทศที่มีมูลค่านำเข้าผลิตภัณฑ์ประเภท Wood & Article เมื่อปี พ.ศ. 2561 กว่า 91.5 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2563) ซึ่งประมาณเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด 1,100,317 กิโลกรัม โดยการสำรวจราคาขายเฉลี่ยต่อหน่วยจากผู้ผลิตในต่างประเทศจำนวน 30 ราย เทียบกับปริมาณไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงที่คาดว่าจะผลิตได้อยู่ในช่วง 1,744,947 ถึง 34,898,952 กิโลกรัม ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมชนิดแท่ง จากการประมาณการใช้วัตถุดิบอยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึง 20 ของปริมาณสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งถูกนำไปแปรรูป หรือเน่าเสียก่อนถึงมือผู้บริโภคที่มีอยู่ร้อยละ 51 ของผลผลิตกล้วยทั้งหมดโดยประมาณ (คมจันทร์ สรงจันทร์, 2559) โดยใช้ข้อมูลปริมาณผลผลิตกล้วยในประเทศ 3 สายพันธุ์ซึ่งเป็นที่นิยม ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม และกล้วยไข่ ที่เก็บเกี่ยวได้จำนวน 1,092,683,931 กิโลกรัม (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกรมส่งเสริมการเกษตร, 2562b) และข้อมูลปริมาณการส่งออกกล้วยในปีเดียวกันจำนวน 38,998,865 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) จะสามารถคำนวณได้ปริมาณกล้วยที่จำหน่ายภายในประเทศคิดเป็น 1,053,685,066 กิโลกรัม และในส่วนของกล้วยที่จำหน่ายภายในประเทศสามารถจำแนกออกได้เป็นปริมาณการจำหน่ายกล้วยสด และปริมาณสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังอาจนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนอื่นๆ ที่เหมาะสมได้ ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผงจำเป็นต้องมีกาวหรือตัวประสาน (Binder) เพื่อเชื่อมผงกล้วยดิบให้ติดกัน โดยตัวประสานประเภทแป้งเป็นที่นิยมใช้เนื่องจากเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัยต่อร่างกายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแป้งแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เนื่องด้วยคุณสมบัติของแป้งสาลีที่มีโปรตีนกลูเตนินต่างจากแป้งชนิดอื่นๆ เมื่อผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ส่วนผสมเกิดความเหนียว ยืดหยุ่น และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูป หนาแน่น และเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหเมื่อผสมกับน้ำและนวด รวมถึงมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว (พีศัลย์ จั่นมุกดา, 2545) เมื่อนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เย็นลงจะทำให้เกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือมีการคืนตัวของโมเลกุลมากโดยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งที่ถูกจัดเรียงใหม่ให้มีการเรียงตัวที่หนาแน่นและแข็งแรงยิ่งขึ้น ดูดซับน้ำหรือความชื้นได้เล็กน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่อยู่ตัว ค่อนข้างแข็งและกรอบ (ธนาภร รติธรรมธร, 2559) และ ผลกล้วยดิบเองมีปริมาณแป้งสูงสุดในช่วงหลังจากการเก็บเกี่ยววันแรกอยู่ที่ร้อยละ 27 โดยเฉลี่ย (Cordenunsi & Lajolo, 1995) นอกจากนี้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์อุปกรณ์การบริโภค ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนั้นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่นี้จำเป็นต้องคำนึงถึงความแข็ง (Hardness) และความเปราะ (Fracturability) ของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เพื่อไม่ให้แตกหักง่ายภายในบรรจุภัณฑ์ หรือระหว่างการถือรับประทาน โดยคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีอุณภูมิต่ำ และต้องให้อยู่ในเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค รวมถึงเกณฑ์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) สำหรับอาหารที่ไม่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษากระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการที่นำเสนอ คือใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เพื่อหาแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ โดยใช้แป้งสาลีเป็นตัวประสาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1) วิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับการผลิตด้ามไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบขนาดมาตรฐาน ความยาว*ความกว้าง เป็น 93 * 10 มิลลิเมตรก่อนอบ

2) เลือกศึกษากล้วยน้ำว้าดิบผงแบบผสมเปลือกตลอดการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เกษตรกรสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์กล้วย

2) ใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการนำเข้าสินค้าไม้ไอศกรีมจากต่างประเทศ และสนับสนุนผลิตภัณฑ์จากเกษตรกรภายในประเทศ

3) ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายในการจัดทำโครงการผลิตภัณฑ์ปลอดขยะ (Zero Waste)

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) ขั้นตอนรวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับสภาพปัญหา

1.1) ศึกษาข้อมูลและปัญหาที่เกี่ยวกับผลผลิตกล้วยในประเทศไทย รวมถึงข้อมูลการแปรรูปและแนวทางเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วย

1.2) ศึกษาข้อมูลและปัญหาเกี่ยวกับการทิ้งขยะไม้ไอศกรีมจากการบริโภคไอศกรีมประเภทแท่ง

1.3) รวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตไม้ไอศกรีมโดยแบ่งตามการผลิตภายในประเทศและต่างประเทศ ได้แก่ ข้อมูลด้านวัตถุดิบรวมถึงกระบวนการผลิต ข้อมูลด้านการตลาด และข้อมูลทางสถิติที่แสดงการนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นต้น

1.4) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผง เพื่อหาแนวทางในใช้กล้วยดิบผงทดแทนไม้ในการผลิตไม้ไอศกรีม

2) ขั้นตอนการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และการวิเคราะห์ผลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผง

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการออกแบบการทดลองเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงโดยใช้หลักการออกแบบทดลอง (Design of Experiment) หลักการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ

4)ขั้นตอนการอภิปรายผลการวิเคราะห์

4.1) อภิปรายผลการวิเคราะห์การทดลองด้วยหลักการวิเคราะห์เชิงสถิติ

5)ขั้นตอนการสรุปผลการวิจัย จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอผลงาน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกล้วย

กล้วยเป็นพืชที่จัดอยู่ใน Family Musaceae, Order Zingiberales และ Genus Musa ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 สปีชี่ส์ คือ Eumunsa, Australimusa, Calimusa และ Rhodochlamys โดย Emusa เป็น สปีชี่ส์ของกล้วยทั้งหมดที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งสายพันธุ์มาจากพันธุ์ป่า 2 พันธุ์ คือ Musa acuminate และ Musa balbisiana ซึ่งกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถผสมข้ามต้นได้จึงทำให้เกิดลูกผสมมากมายในธรรมชาติ และสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มโดยดูจากจำนวนชุดของยีโนมเป็นสำคัญ ได้แก่กลุ่ม AA, AAA, AAAA, AB, AAB, ABBB, BB และ BBB โดยพันธุ์กล้วยปลูกที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ กล้วยน้ำว้า

ผลของกล้วยประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนเนื้อ และส่วนเปลือก โดยที่เปลือกกล้วยถือเป็นผลพลอยได้หลักของกล้วย คิดเป็นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของกล้วยทั้งผล ซึ่งในอดีตมักถูกทิ้งเป็นขยะไปเนื่องจากไม่มีประโยชน์ในการใช้งาน ทำให้ต้องมีการกำจัดขยะอินทรีย์จำนวนมหาศาล แต่ในปัจจุบันนักวิจัยเริ่มให้ความสำคัญกับการศึกษาองค์ประกอบของเปลือกกล้วยมากขึ้น พบว่ามีการใช้งานที่เป็นไปได้หลายด้านและมีความแพร่หลายมากขึ้นกว่าในอดีต เนื่องจากเปลือกกล้วยมีส่วนประกอบของเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) อยู่เป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของเนื้อกล้วยที่มีองค์ประกอบของแป้งเป็นหลัก (ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2543)

2.1.1 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า (Cultivated banana, Namwa) หรือ ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Musa sapientum Linn. ABB ซึ่งอยู่ในวงศ์ Musaceae เป็นพืชล้มลุก ลำต้นใต้ดินอวบน้ำ สูงประมาณ 2-5 เมตร ผลดิบมีสีเขียวนวล เมื่อผลสุกมีสีเหลือง เนื้อผลแน่น มีสีขาวนวล โดยทั่วไปแล้วระดับความสุกของผลสามารถแบ่งได้ตามลักษณะสีของเปลือก (ขั้นที่ 1 สีเขียวทั่วทั้งผล, ขั้นที่ 2 สีเขียวที่มีร่องรอยของสีเหลือง, ขั้นที่ 3 สีเขียวมากกว่าสีเหลือง, ขั้นที่ 4 สีเหลืองมากกว่าสีเขียว, ขั้นที่ 5 สีเหลืองที่มีร่องรอยของสีเขียว, ขั้นที่ 6 สีเหลืองทั่วทั้งผล และ ขั้นที่ 7 เปลือกสีเหลืองที่ปรากฏจุดสีน้ำตาล) (Barooah et al., 2018) ในส่วนของกล้วยน้ำว้าดิบมีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปของแป้งสูง สามารถช่วยเรื่องการย่อยอาหารให้ดีขึ้น รวมไปถึงอาการปวดหัว คลื่นไส้ และเมื่อยล้า ช่วยในการผลิตฮีโมโกลบิน นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมน้ำตาลในเลือด (จุฑามาศ พีรพัชระ, 2554) เพราะอุดมไปด้วยใยอาหาร วิตามิน เช่น วิตามิน C, B6 และโปรวิตามิน A, แร่ธาตุ เช่น โพแทสเซียม, ฟอสฟอรัส,

แมกนีเซียม และ สังกะสี, สารประกอบไบโอแอคทีฟ เช่น สารประกอบฟีโนลิค และ แป้งทนการย่อย (Resistant starch, RS)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้า

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยน้ำว้า (ร้อยละ)
ความชื้น	63.92
โปรตีน	0.63
ไขมัน	0.78
เส้นใย	0.40
เถ้า	1.92
ความเป็นกรด ด่าง	6.46
น้ำตาลรีดิวซ์	0.36

ที่มา : (ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2543)

2.1.2 กล้วยดิบผง

กล้วยดิบผง คือ กล้วยที่นำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง และบดเป็นผง ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการอบแห้งหลายวิธีที่แตกต่างกัน เช่น การใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด, เครื่องเป่าลมร้อน, เครื่องอบแห้งแบบถาดหลายชั้น, การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์, การอบด้วยไมโครเวฟ, การทำแห้งโดยการออสโมติก และการทำแห้งด้วยความเย็น กระบวนการทำให้แห้งเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยเฉพาะความเข้มข้นของสารอาหาร รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส เช่น รสชาติ ผิวสัมผัส และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบ โดยองค์ประกอบทางเคมีที่พบในกล้วยดิบผงหลากสายพันธุ์แสดงได้ดังตารางที่ 2.2 (Chauhan & Jethva, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบผง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
แป้ง	61-76.5
อะไมโลส	19-23
โปรตีน	2.5-3.3
ความชื้น	4-6
ไขมัน	0.3-0.8
เถ้า	2.6-3.5
ไฟเบอร์	6-15.5

ที่มา : (da Mota et al., 2000)

ผลของกล้วยมีองค์ประกอบหลักอยู่สองส่วน ได้แก่ ส่วนเนื้อ (Pulp) และส่วนเปลือก (Peel) ซึ่งเปลือกมีองค์ประกอบของไฟเบอร์ และ ไขมัน มากกว่า แต่มีองค์ประกอบของแป้งน้อยกว่าส่วนเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ

2.2 ตัวประสาน

ตัวประสานหรือสารยึดเกาะ (Binder) คือ ส่วนผสมที่สามารถประสานวัสดุ 2 อนุภาคให้ติดกัน ถูกเติมลงในส่วนผสมเพื่อให้วัสดุผงเกาะตัวกันเป็น การเติมตัวประสานอาจทำได้หลายวิธี (สถาพร นิ่มสกุลรัตน์, 2548) ได้แก่

1.เตรียมในรูปสารละลายเพื่อเติมลงในวัสดุผง (Agglomeration liquid, Granulating agent) ในการทำตัวประสานให้เปียก ตัวประสานในลักษณะนี้มักเรียกว่า Solution binder กลไกในการทำให้วัสดุผงยึดเกาะกันเกิดจากการที่สารละลายของตัวประสาน แทรกซึมเข้าไปอยู่ระหว่างวัสดุผงและปกคลุมผิวของวัสดุผงไว้ เมื่ออบผลิตภัณฑ์ให้แห้ง ตัวประสานจะกลายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ยึดวัสดุผงเข้าด้วยกัน

2.การเติมในรูปผงแห้ง โดยการผสมกับวัสดุผงก่อนการทำให้ส่วนผสมเปียก ระหว่างการทำส่วนผสมเปียกนั้นเมื่อตัวประสานสัมผัสของเหลวที่เติมลงไปอาจเกิดการละลายบางส่วน หรือละลายได้อย่างสมบูรณ์และทำหน้าที่เหมือน Solution binder

3.ใช้ในรูปผงแห้งโดยการผสมกับวัสดุผงก่อนนำไปอัดแท่ง ในลักษณะนี้เรียกว่า Dry binder

กลไกของ ตัวประสาน ในการเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุผงเกิดขึ้นจาก Binder bridge และ/หรือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล โดยปกติปริมาณตัวประสานที่นิยมใช้และราคาถูกมากที่สุดคือ แป้ง ซึ่งใน

งานวิจัยนี้เลือกแป้งสาลีมาใช้เป็นตัวประสาน และใช้การเติมตัวประสานในรูปผงแห้ง เนื่องจากต้นทุนต่ำที่สุด

2.3 แป้งสาลี

แป้งสาลี (Wheat flour) ที่นำมาทำขนมอบต่างๆนั้นเป็นแป้งที่ทำจากข้าวสาลี ซึ่งมีโปรตีน 2 ชนิด คือ กลูเตนิน และ ไกลอะดิน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำในอัตราที่เหมาะสมแล้วจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งที่เรียกว่า “กลูเตน” (Gluten) มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้มักเป็นตัวเก็บก๊าซเอาไว้ทำให้เกิดโครงสร้างเมื่อถูกความร้อน แป้งสาลีที่ผลิตขึ้นมาเพื่อทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีอยู่ 3 ชนิด (ชวลิต สุทธาโรจน์, 2527) ได้แก่

1.แป้งขนมปัง (Bread Flour) เป็นแป้งที่มีโปรตีนสูงร้อยละ 12 ถึง 14 ทำจากข้าวสาลีพันธุ์หนักซึ่งมีกลูเตนสูง ขึ้นรูปได้ดี อยู่ทรง มีความทนทานต่อการผสมได้ดี สามารถยืดตัวออกได้ในเวลาที่ถูกผสม โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาด แป้งชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษ เมื่อนำมารวมกับน้ำ โปรตีนในแป้งจะฟอร์มตัวให้โครงสร้างมีลักษณะคล้ายฟองน้ำมีความเหนียว มีความยืดหยุ่น สามารถอุ้มก๊าซไว้ได้ แป้งขนมปัง ใช้สำหรับทำขนมปังต่างๆ หรือใช้ทำเค้กที่ต้องการให้ได้เนื้อเค้กที่มีลักษณะแน่น เนื้อหยาบ เมื่อใช้มือบีบจะไม่รวมตัวกันง่าย แป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู ใช้ทำขนมปังประเภทต่างๆ รวมถึงเดนิช ปาท่องโก๋ บะหมี่ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

2.แป้งสาลีเอนกประสงค์ (All-purpose Flour) แป้งชนิดนี้จะมีคุณสมบัติอยู่ตรงกลางระหว่างแป้งขนมปังและแป้งเค้ก ผลิตจากข้าวสาลีพันธุ์หนัก และข้าวสาลีพันธุ์เบา แป้งชนิดนี้มีโปรตีนปานกลางประมานร้อยละ 10-12 มีความเหนียว ยืดหยุ่น และสามารถดูดซึมน้ำในปริมาณที่พอเหมาะ มีทั้งแบบฟอกสีให้ขาวและแบบไม่ฟอกสี ซึ่งสามารถใช้แทนกันได้ จำนวนโปรตีนอาจแตกต่างกันในแต่ละยี่ห้อ ขึ้นอยู่ว่าเมล็ดข้าวสาลีปลูกได้ที่ไหน และเก็บเกี่ยวได้ฤดูไหน ตัวที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้ใช้ได้ทั้งยีสต์ และผงฟู แป้งสาลีประเภทนี้ถือว่าเป็นที่มีราคาถูก และหาซื้อง่ายที่สุด เหมาะสมในการทำบิสกิต แครกเกอร์ คุ้กกี้ ขนมเปี๊ยะ เป็นต้น

3.แป้งเค้ก (Cake Flour) เป็นแป้งสาลีชนิดเบา มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 6-8 มีการขัดฟอกสีเพื่อสลายความแข็งแรงของกลูเตน (Gluten) นอกจากเพื่อให้ได้แป้งเบาฟูแล้ว ยังทำให้ซึมหรือผสมเข้ากับน้ำได้ง่าย และเร็ว แป้งละเอียดและขาวกว่าแป้งสาลีชนิดอื่นๆ มีปริมาณสตาร์ชมาก แป้งเค้กใช้สำหรับทำเค้ก แยมโรล คุ้กกี้ เป็นต้น ลักษณะของแป้งเมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกนิ่มเนียนละเอียด เมื่อกดนิ้วลงบนแป้ง แป้งจะรวมตัวกันเป็นก้อน และยังคงรูปการณ์กดไว้ แป้งเค้กนี้สารที่ทำให้ขึ้นฟูจะเป็นประเภทที่ทำให้ขึ้นฟูเท่านั้น เช่น เบคกิ้งโซดา

หน้าที่ของแป้งที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ส่วนใหญ่แล้วแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการช่วยให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และคงรูปได้เมื่ออบเสร็จแล้ว แป้งแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แป้งสาลีเอนกประสงค์เนื่องจากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่มีความคล้ายคลึงกับแครกเกอร์ หรือ บิสกิต ที่ไม่ต้องการให้ขึ้นฟู และด้วยเหตุผลด้านราคาที่ต่ำกว่าแป้งสาลีชนิดอื่น

2.4 ผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ธุรกิจเบเกอรี่เป็นธุรกิจการแปรรูปอาหารจากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวสาลีเป็นส่วนใหญ่ซึ่งถูกผลิตขึ้นในเตาอบที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งอาจมีขนาดแตกต่างกันไปตามความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง เค้ก หรือ บิสกิต โดยทั่วไปในทุกๆหน่วยการผลิต จะมีขั้นตอนการไหลของวัตถุดิบในลักษณะของระบบที่คล้ายคลึงกัน และผ่านการควบคุมคุณภาพด้านความปลอดภัยของอาหาร (Zhou et al., 2014) ซึ่งมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบ (Pre mixing)
2. การตีผสม (Mixing)
3. การแบ่งส่วนเพื่อนำใช้ในการผลิตที่หลากหลาย (Dividing)
4. การนวดโด (Dough moulding)
5. การหมักโด/ ไม่หมัก (Fermentattion/Non-fermentation) ซึ่งจะมีการหมักเฉพาะในกระบวนการที่มีการใช้ยีสต์เป็นส่วนผสมในการผลิต เช่นการผลิตขนมปัง
6. การทำให้โดขึ้นฟูหลังการหมัก (Proofing)
7. การอบ (Baking)
8. การทำให้เย็น (Cooling)
9. การบรรจุ (Packing)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำและมีรสชาติหวาน จัดเป็นอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยน้ำตาลที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทั่วๆไป มีทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกัน (วิภาวัน จุลยา และ รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์, 2550) ได้แก่

1.น้ำตาลทรายขาว เป็นน้ำตาลที่ขายอยู่ในท้องตลาดหลายขนาดผลึกด้วยกัน ซึ่งมีตั้งแต่เป็นผงละอียด เป็นเกล็ดเล็ก และเป็นเกล็ดใหญ่ โดยส่วนมากน้ำตาลประเภทนี้มักจะใช้ทำขนมและ ไซรัป

2.น้ำตาลไอซิง น้ำตาลชนิดนี้เป็นผงละเอียดที่มีแป้งข้าวโพดผสมอยู่ด้วยประมาณร้อยละ 3 เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน มักจะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทเค้ก

3.น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลชนิดนี้จะมีความชื้นปนอยู่ มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีกลิ่นหอม และยังถือว่าเป็นน้ำตาลที่ไม่บริสุทธิ์ ส่วนมากจะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีและกลิ่นจากน้ำตาลชนิดนี้ เช่น ฟรุตเค้ก หรือเค้กกล้วยหอม

<u>หน้าที่ของน้ำตาลที่มีต่อผลิตภัณฑ์</u>

น้ำตาลทำหน้าที่ต่างต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ คือ

1.ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์

2.เป็นอาหารของยีสต์ระหว่างการหมักแป้ง

3.ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับตกแต่งของผลิตภัณฑ์บางชนิด

4.ช่วยให้เนื้อขนมดี มีความสม่ำเสมอเท่ากัน

5.ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้น ไม่แตกร่วน

6.ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีดี

7.เพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้ทานง่าย

2.6 โด

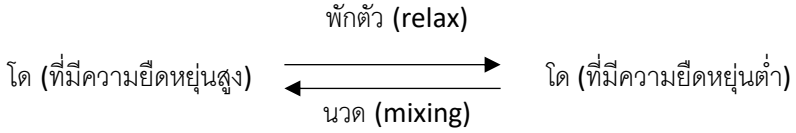
<u>การพัฒนาของโด</u>

โด (Dough) เกิดจากการผสมน้ำกับแป้งในปริมาณที่พอเหมาะแล้วจะได้ก้อนวัตถุดิบที่มองเห็นเป็นลักษณะคล้ายร่างแหที่มีความเหนอะหนะ เนื่องจากเมื่อเราเติมน้ำลงไป ผิวหน้าของแป้งจะดูดซับน้ำไว้ทันที เมื่อผสมต่อไปเรื่อยๆ ก้อนแป้งจะแฉะน้อยลง แต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น โดยโดที่เกิดขึ้นจะมีทั้งความเหนียวและความยืดหยุ่น รวมถึงแรงต้านต่อการดึงยืด ยิ่งนวดมาก โดจะยิ่งเหนียวจนถึงจุดหนึ่งที่เรียกได้ว่าโดมีการพัฒนา (Develop) แล้ว

<u>การผสม</u>

อนุภาคของสตาร์ชจะมีลักษณะแน่นในกรณีที่ไม่มีการผสม การซึมผ่านของน้ำเข้าไปในอนุภาคแป้งจะเป็นไปอย่างช้าๆ โดยการแพร่ การผสมเป็นการทำให้อนุภาคสตาร์ชขัดสีกันเองจนแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลง น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่ายขึ้นและไปล้อมรอบโปรตีนและแป้ง ทำให้โปรตีนสามารถเกิดโครงสร้างเป็นกลูเตนขึ้น มีอนุภาคสตาร์ชเกาะอยู่ตามร่างแหของกลูเตนเกิดลักษณะที่ยืดหยุ่นและสามารถยืดเป็นแผ่นได้ เวลาที่ใช้นวดจนได้ความยืดหยุ่นสูงสุดจะเป็นเวลาที่เหมาะสมในการผสมเนื่องจากแป้งทุกอนุภาคแบะโปรตีนจะถูกล้อมรอบด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์ เมื่อดูจากกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะไม่เป็นอนุภาคสตาร์ชเกาะกันเป็นก้อนๆ แต่ จะเห็นเส้นใยโปรตีนเป็นร่างแห ที่มีอนุภาคของแป้งเกาะอยู่ทั่วไป กระบวนการของโดนั้นเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ดังสมการ



การที่โดมีคุณสมบัติดังนี้แสดงว่าพันธะของโดต้องไม่ใช่พันธะโควาเลนต์เนื่องจากพันธะโควาเลนต์เป็นพันธะที่แข็งแรง พันธะที่เกิดในโดอาจจะเป็นพันธะไฮโดรเจน หรือพันธะที่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือทั้งสองอย่างคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของโดคือ คุณสมบัติในหารจับอากาศเข้าไว้ได้ ซึ่งผลเนื่องมาจากความเหนียวของโด ในช่วงการผสมจะมีการจับอากาศไว้ประมาณครึ่งหนึ่งของทั้งหมด และระยะเวลาในผสมหรือนวดโด ส่งผลต่อคุณภาพของโดอย่างมีนัยสำคัญ

<u>การรีด และการตัดโด</u>

การรีดแผ่นโด และการตัดแผ่นโดมีวัตถุประสงค์เพื่อไล่อากาศที่มีอยู่ในโดออก และมีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ตามรูปร่างและความหนาที่ต้องการ (พวงพร ลิ่มศิลา, 2545) (Wade, 1972)

2.7 ปริมาณน้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตขนมอบชนิดต่างๆ เพราะน้ำช่วยให้ส่วนผสมต่างๆของผลิตภัณฑ์เข้ากันได้ดี โดยโมเลกุลของน้ำจะรวมตัวกับโปรตีนในแป้งเพื่อให้เกิดกลูเตนและเป็นตัวช่วยในการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของแป้งพองตัวได้โดยสมบูรณ์ในระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้มีผลต่อการพองตัวและแตกตัวของเม็ดแป้งมาก โดยปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ได้อย่างสมบูรณ์อยู่ในช่วงร้อยละ 40 ถึง 50 ของน้ำหนักแห้ง (Guo et al., 2018)

2.8 การอบ

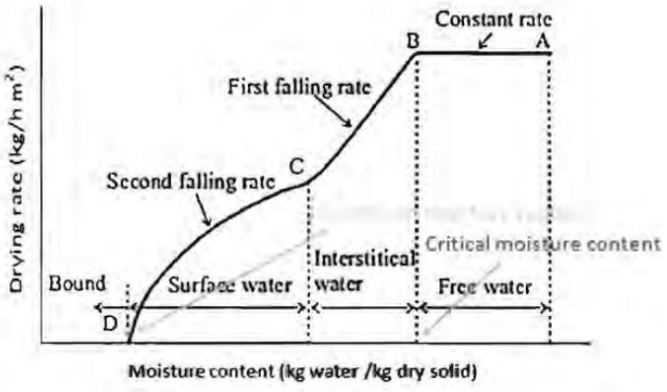
การอบ หมายถึง การทำแห้งด้วยลมร้อนช่วยลดปริมาณน้ำอิสระ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และลดปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ จึงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสตามที่ต้องการ รวมถึงยังช่วยลดปริมาตรและน้ำหนัก จึงลดต้นทุนในการเก็บรักษาและขนส่ง (Mujumdar & Menon, 1995) (ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 2556) แต่เวลาในการทำแห้งที่นาน อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียคุณภาพดังกล่าวข้างต้น รวมทั้งสาระสำคัญต่างๆ

เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำ (a_w) ต่ำกว่า 0.65 (Mossel, 2012) การอบแห้งอาหารจึงจำเป็นต่อการถนอมอาหารหรือแปรรูปอาหารอย่างหนึ่งเพื่อให้อาหารมีอายุการเก็บที่ยืนยาวขึ้น สะดวกต่อการขนส่งและเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์อาหารให้กับผู้บริโภค การอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1.ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ในช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นที่ผิวหน้าอาหารอาจระเหยออกไปและน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารจะเคลื่อนที่ขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้า ซึ่งการระเหยในช่วงนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยอัตราคงที่ จากนั้นการอบแห้งจะดำเนินต่อไปจนถึงจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่เปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งจากคงที่เป็นลดลง

2.ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) เป็นช่วงการอบแห้งหลังจากผ่านจุดปริมาณความชื้นวิกฤต ในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในชิ้นอาหาร

3.ขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้าเกิดได้ช้าลง เป็นเพราะน้ำอิสระ (Free water) ได้ระเหยออกไปเกือบหมด เหลือน้ำส่วนที่จับกับองค์ประกอบอื่นๆภายในอาหารอยู่ (Bound water) ทำให้การระเหยออกของน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น อัตราการอบแห้งจึงลดลง จนถึงจุดปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ดังแสดงในรูปที่ 4 (Mujumdar & Menon, 1995)



รูปที่ 2.1 อัตราการอบแห้งภายใต้ภาวการณ์อบแห้งคงที่

ที่มา : ดัดแปลงจาก (Bennamoun, 2012)

2.9 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

เจลาติไนเซชัน คือ ปรากฏการณ์ของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อนและเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของแป้ง (Starch granule) เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนภายในเลกุลถูกทำลายหลังจากได้รับความร้อน และสายโพลีเมอร์ของอไมโลส (Amylose) และอไมโลเพคตินที่อัดแน่นอยู่ภายในเม็ดแป้งจะคลายตัวและจับตัวกับน้ำที่ล้อมรอบ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ เม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาวะอื่นๆ และจะสามารถพองได้สูงสุดจนกระทั่งเม็ดแป้งแตก และทำให้ไม่สามารถคืนสภาพได้ หรืออาจมีการกวนอย่างรุนแรงจนเม็ดแป้งแตกออก

1) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชัน

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชัน หรือเรียกว่า pasting temperature คือ อุณหภูมิที่น้ำแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้น้ำแป้งเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (Viscosity) เนื่องจากโมเลกุลของแป้งเกิดการพองตัว และเมื่อถึงจุดอุณหภูมิหนึ่งโมเลกุลของแป้งจะพองตัวเต็มที่เรียกว่า แป้งสุก ซึ่งแป้งจากพืชแต่ละชนิดจะสุกที่อุณหภูมิไม่เท่ากัน เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลังและแป้งกล้วย มี pasting temperature หรือ Gelatinization temperature อยู่ที่ 80 ถึง 85 75 ถึง 80 65 ถึง 70 และ 68 ถึง 76 องศาเซลเซียส (Guo et al., 2018) (da Mota et al., 2000) ตามลำดับ

2.10 รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

รีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัวของ starch เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำ starch ผ่านการเจลาติไนซ์แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอไมโลส และ อไมโลเพคตินซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำจากกระบวนการเจลาติไนเซชันแล้วเกิดเป็นเจล จะเคลื่อนที่มาจัดเรียงตัวใหม่อย่างเป็นระเบียบและใกล้กันมากขึ้นเชื่อมด้วยพันธะไฮโดรเจนและขับน้ำที่เคยจับอยู่ออกไปนอกโมเลกุล เรียกว่า syneresis

ตัวอย่างการเกิดรีโทรเกรเดชันในอาหาร เช่น แป้งที่ผ่านการทำให้สุกด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การต้ม นึ่ง อบ หลังจากสุกและตั้งทิ้งไว้ จะเกิดการรีโทรเกรเดชันขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อผ่านไปเป็นเวลานานจะทำให้เกิดผลึกแข็งทำให้อาหารแห้งและแข็งขึ้น

1) ปัจจัยที่มีผลต่อรีโทรเกรเดชัน

สัดส่วนของอไมโลส (Amylose) และอไมโลเพคติน (Amylopectin) ในสตาร์จ (Starch) เนื่องด้วยโครงสร้างของอไมโลสที่เป็นเส้นตรง มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าโมเลกุลของอไมโลเพคติน ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นกิ่งก้านสาขา ขวางการเคลื่อนที่มารวมตัวกันใหม่ของโมเลกุลภายใน โดยพืชแต่ละชนิดก็จะมีสัดส่วนของอไมโลส และอไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน (MORRISON & KARKALAS, 1990) (Fredriksson et al., 1998)

2.11 ความแข็งแรงและความแข็งของวัสดุ

ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength of material) หรือ กลศาสตร์ของวัสดุ (Mechanic of materials) หมายถึง ความสามารถในการทนต่อแรงหรือน้ำหนักโดยไม่เกิดการเสียรูปของวัสดุที่เป็นของแข็ง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเค้น (Stresses) เป็นแรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุที่ตอบสนองต่อแรงภายนอกต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น และ ความเครียด (Strains) เป็นสัดส่วนของการยืดหรือหดตัวต่อความยาวเดิม โดยพิจารณาจากพฤติกรรมใน 2 มิติของโครงสร้างวัสดุ

โดยทั่วไปความเค้น (Stress) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

1.ความเค้นแรงดึง (Tensile stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งงฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

2.ความเค้นแรงอัด (Compressive stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง

3.ความเค้นแรงเฉือน (Shear stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน

ความเครียด (Strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างวัสดุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.ความเครียดแบบคืนรูป (Elastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปเมื่อปลดแรงภายนอกที่มากระทำเกิดจากกระเคลื่อนที่ของอนุภาคในวัสดุที่เคลื่อนที่กลับมาที่ตำแหน่งเดิม

2.ความเครียดแบบคงรูป (Plastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงภายนอกที่มากระทำแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่เปลี่ยนไปนั้น

วิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความแข็งของวัสดุ (Hardness) หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการต้านการเปลี่ยนรูปร่างจากการถูกกระทำ โดยวิธีการกด, การกระแทก หรือขีดข่วน แต่ไม่รวมถึงการใช้ความร้อน, ความเย็น, เคมี, ไฟฟ้า ฯลฯ โดยในการวัดค่าความแข็งมีหลายวิธีขึ้นกับวัสดุและการนำวัสดุนั้นไปใช้งาน เช่น หลักการการสร้าง และวัดร่องรอยความเสียหาย หรือ การวัดความซึมซับพลังงานตกกระทบ (Smith, 1986)

2.12 คุณภาพอาหาร

คุณภาพของอาหาร หมายถึง ลักษณะต่างๆของอาหารที่มีผลต่อการตัดสินใจและความต้องการของผู้บริโภค หรือผู้ผลิต ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด โดยแบ่งออกเป็น 5 ด้านด้วยกัน (Jeantet et al., 2016) ได้แก่

1.คุณภาพทางจุลินทรีย์ (Hygienic quality) หมายถึง ปริมาณของจุลินทรีย์ในอาหาร เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา หรือ จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) ที่มีอยู่ในอาหารและก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ซึ่งอาจนำไปสู่ความเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2.คุณภาพทางโภชนาการ (Nutrition quality) หมายถึง ชนิด และ ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีอาหาร ที่มีผลต่อคุณภาพทางโภชนาการ เช่น ปริมาณน้ำ ใยอาหาร โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ เถ้า เป็นต้น

3.คุณภาพทางเทคโนโลยี (Technological quality) หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกและเครื่องมือ หรือ เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมถึง ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

4.คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory quality) หมายถึง การยอมรับของผู้บริโภคด้วยการประเมินความสามารถในการรับรู้ทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) เช่น ลักษณะปรากฏที่ประเมินได้ด้วยสายตา (appearance) เนื้อสัมผัส (Texture) กลิ่น รส เป็นต้น

5.คุณภาพด้านการบริการ (Quality of service) หมายถึง การบริการหรืออำนวยความสะดวกในการบริโภคผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภค ในด้านต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์

2.13 เนื้อสัมผัสอาหาร

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) โดยใช้ประสาทสัมผัส จะจำแนกตามความรู้สึกออกเป็น 3 ขั้นตอนที่ปรากฏดังต่อไปนี้

1) ความรู้สึกเมื่อกัดคำแรก

2)ความรู้สึกเมื่อเคี้ยว

3)ความรู้สึกหลังจากเคี้ยว

ในแต่ละขั้นตอนจะเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะทางแรงกล (Mechanical), ทางรูปร่าง (Geometrical), ลักษณะของไขมันและน้ำมัน (Fat) และลักษณะที่มีความชื้น (Moisture) ซึ่งลักษณะทางแรงกล (Mechanical) เป็นลักษณะที่สำคัญที่สุด เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของอาหารที่มีต่อแรงกระทำภายในปากระหว่างรับประทาน แบ่งออกเป็น 5 ปัจจัยหลัก และ 3 ปัจจัยรอง (สกาวรัตน์ กษมาประพฤทธิ และ ฉัตรชัย คุณค้ำชู, 2541) ดังนี้

<u>ปัจจัยหลัก</u>

1.ความแข็ง (Hardness) เป็นแรงที่กระทำต่ออาหาร ทำให้อาหารแตกหรือแยกออก ในการวัดค่าโดยใช้ประสาทสัมผัส คิดเป็นแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างระหว่างฟันกราม ในกรณีที่เป็นของแข็ง และในระหว่างลิ้นและเพดานปากในกรณีที่เป็นกึ่งของแข็ง

สเกลของความแข็ง ที่ตั้งไว้ให้เป็นมาตรฐานมีอยู่ 9 ระดับ จะใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตั้งแต่ อ่อน (Soft) ไปจนถึง แข็ง (Hard) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่แข็ง ช่วงคะแนนอาจพอเพียง แต่สำหรับอาหารกึ่งของแข็ง อาจต้องมีการเพิ่มเติมในส่วนของระดับสเกลในช่วงที่อ่อนนุ่มกว่าสเกลค่าที่ 1

ตารางที่ 2.3 สเกลมาตรฐานสำหรับ ความแข็ง (Hardness)

ค่าสเกล	ผลิตภัณฑ์	คุณลักษณะ, ชนิด, ยี่ห้อ	โรงงานที่ผลิต	ขนาดตัวอย่าง	อุณหภูมิ
1	Cream cheese	Philadephia	Kraft Foods	ลูกบาศก์ ½”	45-55 F
2	ไข่ขาวต้ม	ต้มสุกแข็งนาน 5 นาที	-	ลูกบาศก์ ½”	ห้อง
3	Frankfurters	ขนาดใหญ่ไม่มีเปลือก uncooked	-	หั่น ½”	50-60 F
4	เนยแข็ง	American	Kraft Foods	ลูกบาศก์ ½”	50-65 F
5	Olives	ขนาดใหญ่	Cresco Co.	1	50- 65 F
6	ถั่วลิสงคั่ว	ขนาดใหญ่	Planters	1	ห้อง
7	แครอท	สด, ดิบ	-	หั่น ½”	ห้อง
8	อัลมอนด์	-	-	1	ห้อง
9	Rock candy	-	Dryden & Palmer	-	ห้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.Cohesiveness แสดงถึงขั้นที่สารจะสลายตัวก่อนที่จะแตกแยกออกจากกัน ในการวัดค่าโดยใช้ประสารทสัมผัสจะประเมินค่าได้ยาก ต้องนำคุณลักษณะของปัจจัยรองมาพิจารณาร่วมด้วย

3.ความหนืด (Viscosity) เป็นอัตราการไหลต่อแรงหนึ่งหน่วย ในการวัดค่าโดยใช้ประสาทสัมผัสหมายถึงแรงที่ใช้ในการดึงอาหารของเหลวจากช้อนมาไว้บนลิ้น ซึ่งสเกลของความหนืดมี 8 ช่วง จาก Thin หรือ Watery ถึง Very Thick

4.Springiness เป็นอัตราการเสียรูปของอาหารและกลับคืนสู่รูปเดิมหลังจากที่ถอนแรงกระทำต่ออาหารแล้ว ค่าโดยประมาณจะมีลักษณะคล้ายกับค่า Chewiness

5.Adhesiveness เป็นแรงที่ใช้แยกอาหารออกมา เมื่อผิวของอาหารไปเกาะกับผิวอื่นโดยเฉพาะเพดานปากในระหว่างการรับประทาน ซึ่งสเกลแบ่งออกเป็น 1 ถึง 5

ปัจจัยรอง

1.ความแตกเปราะ (Fracturability) เป็นแรงที่ทำให้สารแตกหักออกในช่วงการกด หรือเคี้ยวครั้งที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะนี้จะมีความแข็งอยู่มาก แต่มี Cohesiveness น้อย โดยสเกลความเปราะนี้แบ่งออกเป็น 7 ค่า มีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง 3 คำศัพท์ คือ

Crumbly คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความต้านทานต่อแรงต่ำ และ มีการเสียรูปร่างก่อนที่จะแตกหักน้อยมาก (Low Cohesiveness)

Crunchy คือ ตัวอย่างที่มีความต้านทานต่อแรงค่อนข้างสูงและ มีการเสียรูปร่างก่อนที่จะแตกหักน้อยมาก (Low Cohesiveness)

Brittle คือ ตัวอย่างที่มีความต้านทานต่อแรงสูงและ มีการเสียรูปร่างก่อนที่จะแตกหักน้อยมาก (Low Cohesiveness)

ตารางที่ 2.4 สเกลมาตรฐานสำหรับ ความแตกเปราะ (Fracturability)

ค่าสเกล	ผลิตภัณฑ์	คุณลักษณะ, ชนิด, ยี่ห้อ	โรงงานที่ผลิต	ขนาดตัวอย่าง	อุณหภูมิ
1	Corn muffin	Finast	First National store	ลูกบาศก์ ½”	ห้อง
2	Egg Jumbo	-	Stella D’Oro Biscuit Co.	ลูกบาศก์ ½”	ห้อง
3	Graham Crackers	Nabisco	National Biscuit Co.	ชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ½”	ห้อง
4	Melba toast	(Plain)	Devonsheer Melba Corp.	ชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ½”	ห้อง
5	White thins	-	Pepperiedge Farm	ชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ½”	ห้อง
6	Ginger sanaps	Nabisco	National Biscuit Co.	ชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ½”	ห้อง
7	Peanut Brittle	Candy	Kraft Foods-	ชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ½”	ห้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.Chewiness เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นที่พร้อมจะกลืน ประกอบจากการพิจารณาหลายคุณลักษณะ ได้แก่ Hardness Cohesiveness และ springiness ซึ่งสเกลของ Chewiness จะแบ่งออกเป็น 7 ค่า ตั้งแต่ นุ่ม (Tender) ไปจนถึง เหนียวมาก (Tough)

3.Gumminess เป็นพลังงานที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งของแข็งแตกตัวจนถึงสภาวะที่กลืนได้ เป็นผลมาจากค่า Hardness ต่ำ และ Cohesive สูง

2.14 วอเตอร์แอกทิวิตี้

วอเตอร์แอคติวิตี้ของน้ำ (Water Activity, a_w) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอน้ำของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (PO) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งก็คือ ความดันไอสัมพัทธ์ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในอาหารอยู่ในรูปสารละลายซึ่งหากสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ความดันไอของน้ำในอาหารก็จะลดลง

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่มีผลกระทบต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการความชื้นหรือน้ำมากกว่ายีสต์และเชื้อรา อาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า วอเตอร์แอคทิวิตี้ อาหารประเภทที่มีวอเตอร์แอคทิวิตี้สูง ซึ่งค่าใกล้เคียง 1.00 ได้แก่ อาหารสด เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล และผักสด อาหารที่จัดอยู่ในจำพวกอาหารกึ่งแห้ง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ในช่วง 0.6-0.9 ได้แก่ แยม ผลไม้กวน และกุ้งแห้ง ส่วนอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.6 ได้แก่ อาหารแห้ง ธัญชาติ นมผง ซึ่งเกิดการเน่าเสียได้ยากและเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน (วลัย หุตะโกวิท 2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.5 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำในอาหารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร

ชนิดอาหาร	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)
Distilled water	1.00
Tap water	0.99
Raw meats	0.97-0.99
Milk	0.97
Juice	0.97
Cooked bacon	< 0.85
Saturated NaCl Solution	0.75
Point at which cereal loses crunch	0.65

ชนิดอาหาร	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)
Typical indoor air	0.50-0.70
Honey	0.50-0.70
Dried fruit	0.50-0.60

ที่มา : (วลัย หุตะโกวิท 2553)

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำและการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารชนิดต่างๆ

ค่า a_w	จุลินทรีย์ที่ไม่เจริญในช่วงค่า a_w ต่ำกว่านี้	ชนิดอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงนี้
1.00-0.95	*Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella*	ผัก ผลไม้สด เนื้อสัตว์ ปลา นม ไส้กรอก
0.95-0.91	*Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens* ยีสต์และราบางชนิด *Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, C.botulinum, Serratia, Lactobacillus, Pediococcus,* ยีสต์และราบางชนิด	อาหารที่มีน้ำตาลร้อยละ 40 หรือเกลือร้อยละ 7 เนยแข็ง แฮม น้ำผลไม้เข้มข้นบางชนิด
0.91-0.87	*Many yeasts (Candida, Torulopsis, Hansenula), Micrococcus*	ไส้กรอกหมัก เค้กไข่ เนยเทียม อาหารที่มีน้ำตาลสูงถึงร้อยละ 65 หรือมีเกลือร้อยละ 15
0.87-0.80	Most molds (*mycotoxigenic penicillia*), *Staphylococcus aureus*, most *Saccharomyces (bailli)* spp., *Debaryomyces*	น้ำผลไม้เข้มข้นส่วนใหญ่ นมข้นหวาน น้ำเชื่อม ช็อกโกแลต น้ำเชื่อมจากผลไม้ หรือจากเมเปิล แป้ง ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 15-17
0.80-0.75	Most halophilic bacteria, mycotoxigenic aspergilli	แยม มาร์มาเลด มาร์ชเมลโล
0.75-0.65	Xerophilic molds (*Apergillus chevalieri, A.candidus, Wallemia sebi*), *Saccharomyces bisporous*	เกล็ดข้าวโอ๊ตที่มีความชื้นร้อยละ 10 เจลลี่ ผลไม้แห้ง ถั่ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่า a_w	จุลินทรีย์ที่ไม่เจริญในช่วงค่า a_w ต่ำกว่านี้	ชนิดอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงนี้
0.65-0.60	Osmophilic molds (*Saccharomyces rouxii*), ราบางชนิด	ผลไม้แห้งที่มีความชื้นร้อยละ 15-20 น้ำผึ้ง คาราเมล
0.5	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	มักกะโรนี สปาเกตตีที่มีความชื้นร้อยละ 12 เครื่องเทศที่มีความชื้นร้อยละ 10
0.4	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	ไขผงที่มีความชื้นร้อยละ 5
0.3	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	คุ้กกี้ แครกเกอร์
0.2	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	นมผงที่มีความชื้นร้อยละ 2-3 ผลไม้แห้ง และ ข้าวโพดแผ่นกรอบที่มีความชื้น ร้อยละ 5

ที่มา : (วลัย หุตะโกวิท 2553)

2.15 คุณสมบัติของไม้ไอศกรีมจากไม้

ไม้ไอศกรีมโดยทั่วไปผลิตขึ้นจากไม้ประเภทไม้เนื้ออ่อนโดยส่วนมากจะนิยมทำจากไม้เบิร์ช (Birch) หรือ บีช (Beech) ซึ่งเป็นพรรณไม้เมืองหนาวและไม้พรรณไม้อุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากจะผลิตเป็นไม้ไอศกรีมแล้ว ยังถูกนำไปผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร หรือทางการแพทย์ เช่น ช้อน, ไม้กลม และ ไม้กดลิ้น เป็นต้น

คุณสมบัติของไม้ไอศกรีมจากไม้ เป็นไม้ที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ เป็นฉนวนที่ดี และเป็นไม้ที่สามารถลอยน้ำได้และมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 1.49 กรัมต่อชิ้น ซึ่งไม่มีกลิ่น และรสชาติที่ไม่พึงประสงค์สำหรับอุตสาหกรรมสุขภัณฑ์ และอาหาร (Jiamyangyuen et al., 2002; Lautenberg, 2014)

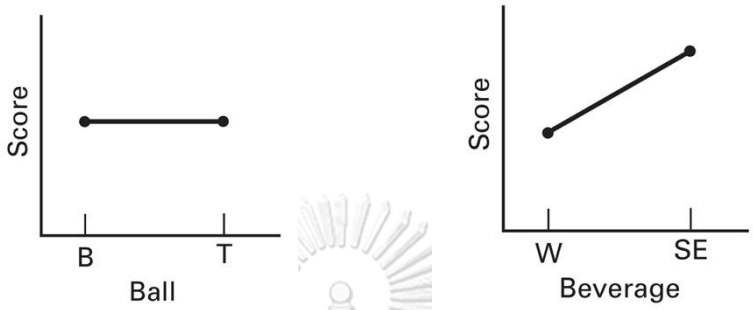
2.16 การออกแบบการทดลอง

2.16.1 นิยามและความหมายของการออกแบบการทดลอง (Montgomery, 2017)

หมายถึง การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบปัจจัยนำเข้า (Input Factors) ที่เกี่ยวข้องมีผลต่อกระบวนการ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อยืนยัน (Confirmation) และ ค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration)

ในการออกแบบการทดลอง จะทำการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยนำเข้าที่ศึกษามีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนำเข้าอย่างน้อย 2 ระดับ เพื่อทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง แล้วทำการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ผลการ

ทดลอง เช่น การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี กรณีที่ปัจจัยนำเข้ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ลักษณะของกราฟจะเกิดความชัน ในขณะที่กรณีปัจจัยนำเข้าไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ลักษณะของกราฟจะมีความชันเท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



(ก) ปัจจัย Ball ไม่มีผลต่อค่า Score (ข) ปัจจัย Beverage มีผลต่อค่า Score

รูปที่ 2.2 อิทธิพลที่ไม่มีผล และอิทธิพลที่มีผลต่อปัจจัยต่อค่า Score ในการตีกอล์ฟ

2.16.2 <u>ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง</u>

1) ทรีทเมนต์ (Treatment) หมายถึง วิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลองหรือตัวแปรต้นเพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีตเมนต์

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่กลุ่มของทรีทเมนต์ที่มีความเกี่ยวข้องกัน หรืออาจจะใช้คำว่าตัวแปรอิสระแทนได้ ซึ่งปัจจัยเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ และข้อมูลเชิงปริมาณโดยที่สามารถแบ่งออกได้เป็น

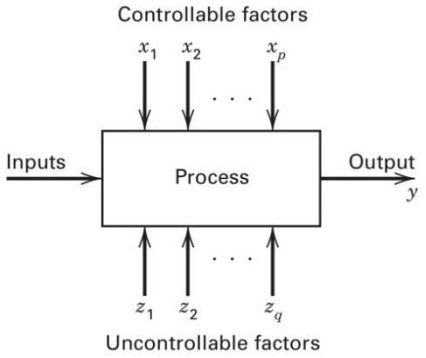
3.1) ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการทดลอง

3.2) ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable factors) หมายถึงปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ อันเนื่องมาจาก ขีดความสามารถของเครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ โดยแบ่งออกได้เป็น

- ตัวแปรรบกวน (Noise Variables) คือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่กำลังทำการศึกษาซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหรือสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความชื้น อุณหภูมิภายนอก เวลา เครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

- ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Nuisance Variables) คือ ตัวแปรที่ไม่รู้จักมาก่อนแต่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยที่สามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือตัวแปรที่ถูกสังเกตุและวัดค่าในการทดลอง หรือเรียกอีกอย่างว่าตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ได้ ในการเลือกตัวแปรตามที่ดี ควรพิจารณาจากความไว และความเชื่อถือได้ (Reliability) รูปแบบการแจงแจงของตัวแปรนั้น และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตาม ต้องมีการพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งข้อสมมติเรื่องความปรกติ (Normality) เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การดัดแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการไม่ปรกติให้เป็นแบบปรกติได้



รูปที่ 2.3 ปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.16.3 <u>หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง</u>

1) การทดลองแบบสุ่ม (Randomization) หมายถึงการสุ่มลำดับในการทดลองเพื่อกระจายโอกาสให้แต่ละหน่วยการทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีตเมนต์ที่เท่าๆกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดความเอนเอียง (Bias) ของผู้ทำการทดลอง การสุ่มจึงเป็นวิธีที่ประกันได้ว่าจะไม่มีผลที่เกิดจากความเอนเอียงของผู้ทำการทดลองเกิดขึ้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

1.1) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

1.2) การทดลองแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

1.3) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2) การทำซ้ำ (Replication) หมายถึงการที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วย วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเที่ยง (Precision) ของการทดลองโดยการลดขนาดของค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย จากสมการ

$$\sigma_{\bar{y}}=\sqrt{\sigma^2/n}$$

โดยที่ n = จำนวนซ้ำการทดลอง

σ = ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน

$\sigma_{\bar{y}}$ = ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

3) การบล็อก (Blocking) คือการจัดกลุ่มการทดลองเพื่อลดผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมไม่ได้แต่ไม่จำเป็นต้องทำเสมอไป

2.16.4 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1) การระบุปัญหา (Recognition of and Statement of the Problem)

เพื่อที่จะสามารถแก้ไขปัญหาให้ตรงจุดตรงตามวัตถุประสงค์ จำเป็นที่จะต้องทราบปัญหาที่แท้จริงก่อน โดยต้องทำการระบุปัญหาที่ชัดเจนและตรงประเด็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต (Choice of Factor and Levels)

ทำการระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดระดับปัจจัย และขอบเขต โดยหากต้องการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น การกำหนดระดับปัจจัยควรมีขอบเขตที่กว้างและจำนวนช่วงน้อย เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง จากนั้นเมื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุด จึงจะกำหนดขอบเขตให้แคบลง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1) แบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) เป็นการกำหนดค่าระดับปัจจัยที่แน่นอน

2.2) แบบสุ่ม (Random Levels) ไม่สามารถกำหนดค่าระดับปัจจัยที่แน่นอนได้

2.3) แบบผสม (Mixed Levels) การผสมระดับปัจจัยระหว่างแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Variable)

ตัวแปรตอบสนอง คือตัวแปรตามที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าซึ่งในการวิจัยจำเป็นจะต้องมีการศึกษาและการวิเคราะห์ระบบการวัด(Measurement System Analysis) แสดงความถูกต้อง และความแม่นยำของระบบการวัดด้วย เพื่อช่วยยืนยันที่มาของผลการทดสอบ

4) การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

การเลือกลักษณะในการออกแบบการทดลองให้เหมาะสม จะคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นหลัก อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับข้อจำกัดต่างๆ ในการทดลอง เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย ดังนั้นการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมตั้งแต่ต้นจะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง

5) การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

ทำการทดลองโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองและขั้นตอนการทดลองที่ออกแบบไว้ข้างต้น

6) การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data)

ใช้หลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับ ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้

7) การสรุปผลการทดลองและการแนะนำให้ข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทำการสรุปผลการทดลองให้มีความกระชับ ครบทุกองค์ประกอบ ตรงตามวัตถุประสงค์ โดยอาจแสดงในรูปของ กราฟ ตาราง ผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ อีกทั้งให้ข้อเสนอแนะ เพื่อการปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

2.16.5 <u>การเลือกการออกแบบการทดลอง</u>

2.16.5.1 แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

1) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบที่ง่ายที่สุด เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีพียงปัจจัยเดียวไม่มีเหตุจากปัจจัยอื่น หรืออาจมีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมไม่ได้แต่ส่งผลกระทบน้อย และไม่มีปัจจัยรบกวน

(Nuisance Factors) โดยหลักการสำคัญคือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองเป็นหลักการทำแบบสุ่มและการทำซ้ำ

<u>ข้อดี</u> คือ เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายและสะดวกที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหมด

<u>ข้อเสีย</u> คือ ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยร่วมได้ (Interaction Effect)

<u>โครงรูปข้อมูล</u> สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

n คือ จำนวนค่าสังเกตุในแต่ละทรีทเมนต์

Y_i คือ จำนวนค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

	Treatment					
	1	2	...	i	...	a
	y_{11}	y_{21}		y_{i1}		y_{a1}
	y_{12}	y_{22}		y_{i2}		y_{a2}
	y_{13}	y_{23}		y_{i3}		y_{a3}
	.	.		.		.
	.	.		.		.
	.	.		.		.
	y_{1n}	y_{2n}		y_{in}		y_{an}
Totals	$y_{1.}$	$y_{2.}$	...	$y_{i.}$		$y_{a.}$
Sample means	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$	...	$\bar{y}_{i.}$		$\bar{y}_{a.}$

$y_{..}$ = Grand total

$\bar{y}_{..}$ = Grand mean

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สามารถเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$y_{ij}=\mu+\tau_i+\varepsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{matrix} i=1,2,...,a \\ j=1,2,...,n \end{matrix}$$

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตุที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

ε_{ij} คือ ความคาดเคลื่อนสุ่ม

2) การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Block Design: CRB)

ในบางเหตุการณ์การทดลองอาจมีปัจจัยรบกวนโดยที่ไม่ทราบถึงที่มาและไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลไม่ได้ขึ้นอยู่กับผลของการทำทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นโดยวิธีการบล็อก (Blocking) เพื่อกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออก และเพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองมาจากปัจจัยที่ทำการศึกษาเท่านั้น ซึ่งมีข้อดีคือ เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงตรงสูงกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ส่วนข้อเสียคือ ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตามไปด้วย

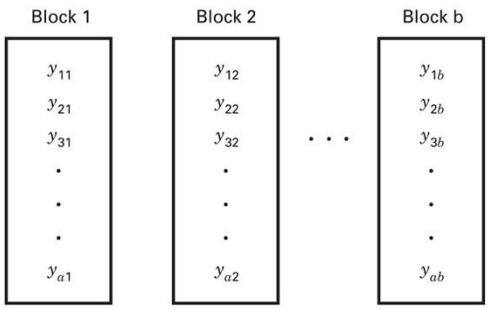
แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีหนึ่งในหลายๆวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และทางแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่าบล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมีครบทุกทรีทเมนต์ การจะให้ทรีทเมนต์ใดแก่หน่วยทดลองใดภายในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

<u>ข้อดี</u> คือ มีความเที่ยงตรงสูงกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์ หรือ บล็อก

<u>ข้อเสีย</u> คือ ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตาม กรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอตลอดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>โครงรูปข้อมูล</u> สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก



สามารถเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$y_{ij}=\mu+\tau_i+\beta_j+\varepsilon_{ij} \; ; \; \begin{matrix} i=1,2,\ldots,a \\ j=1,2,\ldots,b \end{matrix}$$

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตุที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลที่เกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคาดเคลื่อนสุ่ม

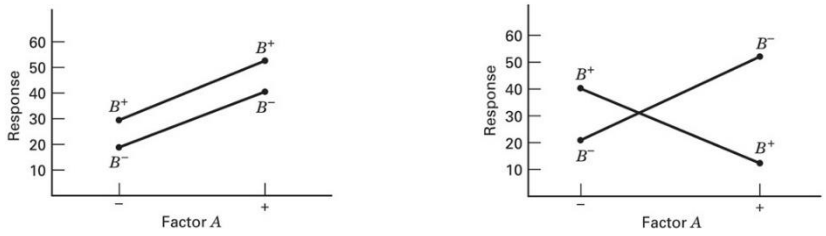
3) แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย มุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัยพร้อมๆกัน โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) โดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆปัจจัยพร้อมกัน แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

3.1) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น

3.2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(1) อิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผล (2) อิทธิพลของปัจจัยร่วมมีผล

รูปที่ 2.4 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล

<u>ข้อดี</u> เป็นการใช้หน่วยทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลายๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยกว่าการทดสอบครั้งละ 1 ปัจจัย รวมถึงทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมกันระหว่างปัจจัย จึงช่วยให้การสรุปผลทำได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 ปัจจัย

<u>ข้อเสีย</u> เนื่องจากมี treatment combination จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น ทำให้อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับหน่วยทดลอง และในกรณีที่มีกิริยาร่วมกันเกิดขึ้น อาจทำให้สรุปให้เข้าใจได้ยาก รวมถึงถ้าจำนวนปัจจัยมาก จะส่งผลให้ขนาดของการทดลองใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายที่สูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอกันจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

<u>โครงรูปข้อมูล</u> สมมติการทดลองปัจจัย A มี I ระดับ (i=1,2,...,a) และปัจจัย B มี j ระดับ (j = 1,2,...,b) ทำการทดลอง k ซ้ำ (k =1,2,...,n) การทดลองแฟคทอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$		$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$		$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$
	...				
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สามารถเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$y_{ijk}=\mu+\tau_i+\beta_j+(\tau\beta)_{ij}+\varepsilon_{ijk} \quad \begin{cases} i=1,2,\dots,a \\ j=1,2,\dots,b \\ k=1,2,\dots,n \end{cases}$$

โดยที่ y_{ijk} คือ ค่าสังเกตุที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ I และของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

ε_{ijk} คือ ความคาดเคลื่อนสุ่ม

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปมีรูปแบบคือ A x B x C .... แฟคทอเรียล เช่น แฟคทอเรียล 3x2x3 รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่สำคัญได้แก่

1) 2^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2) 3^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2^k แฟคทอเรียลเหมาะสมกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรง ซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่หากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้ว ควรใช้แบบ 3^k แฟคทอเรียลจะเหมาะสมกว่า

2.16.6 <u>หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล</u>

1) การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexpected Variable) หรือ ความคาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\text{ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ } (\text{R-Square}) = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\%$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

1.1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง

1.2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่

1.3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

2) การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequency checking) จากสมการ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

โดย μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปร) มีการกระจายแจกแจงปกติ (Normal distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

2.1) การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่ โดยใช้

ก) การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2- Godness of Fit Test)

ข) การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov - smirnov Test)

ค) การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2.2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิกระจาย (Scatter plot) แล้วดูลักษณะการะกระจายของจุดที่แทนข้อมูบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

2.3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

3) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

3.1) การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ โดยสมมติฐานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.2) สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆในประชากรที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

3.3) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็น โดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจนโดยใช้สัญลักษณ์ H_1

โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤต เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

ก) ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยี่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (*Type 1 error*) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

ข) ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (*Type 2 error*) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.7 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่กำหนด	**สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง**	**สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง**
ยอมรับ	การตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

α = P (ความผิดพลาดแบบที่1)

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

β = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

$1 - \beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

2.16.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไป โดยใช้หลักการ ANOVAหรือ การถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square; SST) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุโดยจะวิเคราะห์ปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่างโดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่ง

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดลองได้ดังนี้

1) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ : $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$; $i = 1,2,...,a$

$j = 1,2,...,n$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันผวนแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆโดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SST โดยที่

$$SST=\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}{}^2\right)-(Y_{..}{}^2/N)$$

$$SSTr=\left(\sum_{i=1}^{a} Y_{i.}{}^2/n\right)-(Y_{..}{}^2/N)$$

$$SSE=SST-SSTr$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.8 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,v1,v2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two-Factor Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	MS_A/MSE
B	SS_B	b-1	MS_B	MS_B/MSE
AB	SS_{AB}	(a-1) (b-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MSE
Error	SSE	ab(n-1)	MSE	
Total	SST	abn-1		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.17 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.17.1 งานวิจัยคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

(น้ำฝน ศีตะจิตต์, 2550) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ ของแป้ง และผลิตภัณฑ์จากแป้งกล้วยหอมทอง โดยทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บิสกิต, คุ้กกี้ เปรียบเทียบกับการผลิตสูตรมาตรฐานแป้งสาลี และตรวจวัดด้วย การทดสอบชิมแบบ scoring test คะแนนระดับ 1 ถึง 9 โดยใช้จำนวนผู้ชิมที่ไม่เคยผ่านการฝึกฝนมาก่อนจำนวน 20 คน และวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ผู้ชิมให้คะแนนยอมรับบิสกิตจากแป้งสาลี และ แป้งกล้วยทางด้าน กลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แต่แป้งสาลีมีลักษณะสีปรากฏที่ดีกว่า และแป้งกล้วยมีความแข็งกรอบจากการวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสมากกว่า ($P < 0.05$) เนื่องจากแป้งสาลีมีกลูเตนสูง จึงทำให้ขนมที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสขึ้นฟู นุ่มกว่าแป้งกล้วยซึ่งไม่มีกลูเตน

(วลัย หุตะโกวิท 2553) ได้ศึกษาสูตร และปัจจัยที่สภาวะเหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วย โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชัน และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค โดยอ้างอิงจากสูตรผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปพื้นฐานจากงานวิจัยชิ้นหนึ่ง แล้วทำการดัดแปลงสูตรโดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณแป้งกล้วยต่อปริมาณเกล็ดข้าวโพดที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดสอบแบบ Complete Randomized Design หลังจากนั้นทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบจาก 1 ถึง 9 จากผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวนจำนวน 30 คน ซึ่งวางแผนการทดสอบแบบ Randomized Complete Block Design และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Ducan’s new multiple range test (DMRT) นอกจากนี้ ยังทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากแป้งกล้วยที่พัฒนาแล้ว โดยใช้วิธีการ CLT (Central location test) กับกลุ่มผู้บริโภค 80 คน โดยใช้แบบสอบถามแบบให้คะแนนความชอบด้านสี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งการทดสอบผลิตภัณฑ์จะให้บริโภคร่วมกับนมสด และจากการทดลองการศึกษาปริมาณน้ำตาลพบว่า การใช้น้ำตาลที่มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการพองตัวของขนมลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงเฉือนของมวลเหลวลดลง ทำให้เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(Schindler et al., 1998) ได้ศึกษาระบบการควบคุมแบบป้อนกลับทางการแพทย์ในการบดเคี้ยวอาหารแข็ง (Solid food) ซึ่งได้เลือกศึกษาลักษณะของเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและแรงที่มนุษย์ใช้ในการบดเคี้ยวอาหาร (F_C) ของอาหารชนิดแข็งทั้งหมด 9 ชนิดที่ต้องการแรงในการบดเคี้ยวแตกต่างกันได้แก่ ช็อกโกแลตบาร์ แครอท Kohrabi มันฝรั่ง อัลมอนด์ เฮเซลนัท (อบ) เฮเซลนัท (ดิบ) Kohrabi (ต้ม 3 นาที) และ มันฝรั่ง (ต้ม 3 นาที) โดยพบว่า แรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวช็อกโกแลตบาร์ต้องใช้แรงมากที่สุดอยู่ที่ 529.5 ± 11.4 นิวตัน (N)

2.17.2 <u>งานวิจัยด้านวิธีการวัดผลการยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคโดยการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส</u>

(ธนกิจ ถาหมี, 2561) ได้ศึกษาหาส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง ซึ่งมีการใช้วิธีการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ในด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) รสชาติ (Tastes) เนื้อสัมผัส (Texture) และความชอบโดยรวม (Overall) โดยผ่านผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน แบ่งเป็นเพศหญิง 50 คน และเพศชาย 50 คน ที่มีอายุระหว่าง 20-50 ปี และพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ หม่อนอบแห้งร้อยละ 40 ลำไยอบแห้งร้อยละ 30 ส่วนผสมกรอบร้อยละ 30 ซึ่งผลิตภัณฑ์ให้พลังงาน 3.57 กิโลแคลอรี่/กรัม และการวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัส พบว่ามีความแข็ง 38.23 N การเกาะติด -2.34 จูล การรวมตัว 0.48 ความยืดหยุ่น 1.92 มิลลิเมตร การเคี้ยว 35.93 นิตัน*มิลลิเมตร และมีความเหนียวยืด 18.86 นิวตัน ความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับปานกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.17.3 <u>งานวิจัยด้านการทำอาหารอบจากแป้ง</u>

(Sluková et al., 2017) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนในระหว่างการผสมแป้งสาลี ซึ่งมีโปรตีนกลูเตนที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เป็นเอกลักษณ์และมีบทบาทสำคัญในการทำอาหารประเภทขนมปัง หรือขนมอบ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าเวลาในการผสม ส่งผลต่อโครงสร้างของแป้งโดอย่างมาก โดยเวลาที่เหมาะสมที่สุดต่อการนวดโดแป้งสาลีหลังจากเริ่มนวดคือ 6 นาที โดยที่โดจะเริ่มมีการพัฒนาหรือเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (Viscosity) เมื่อเวลาหลังจากเริ่มนวด 2.5 นาที และ สิ้นสุดการพัฒนาหรือ เริ่ม Over mixed ที่เวลาหลังจากเริ่มนวด 22 นาที สำหรับส่วนผสมของโดประมาณ 300 กรัม

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

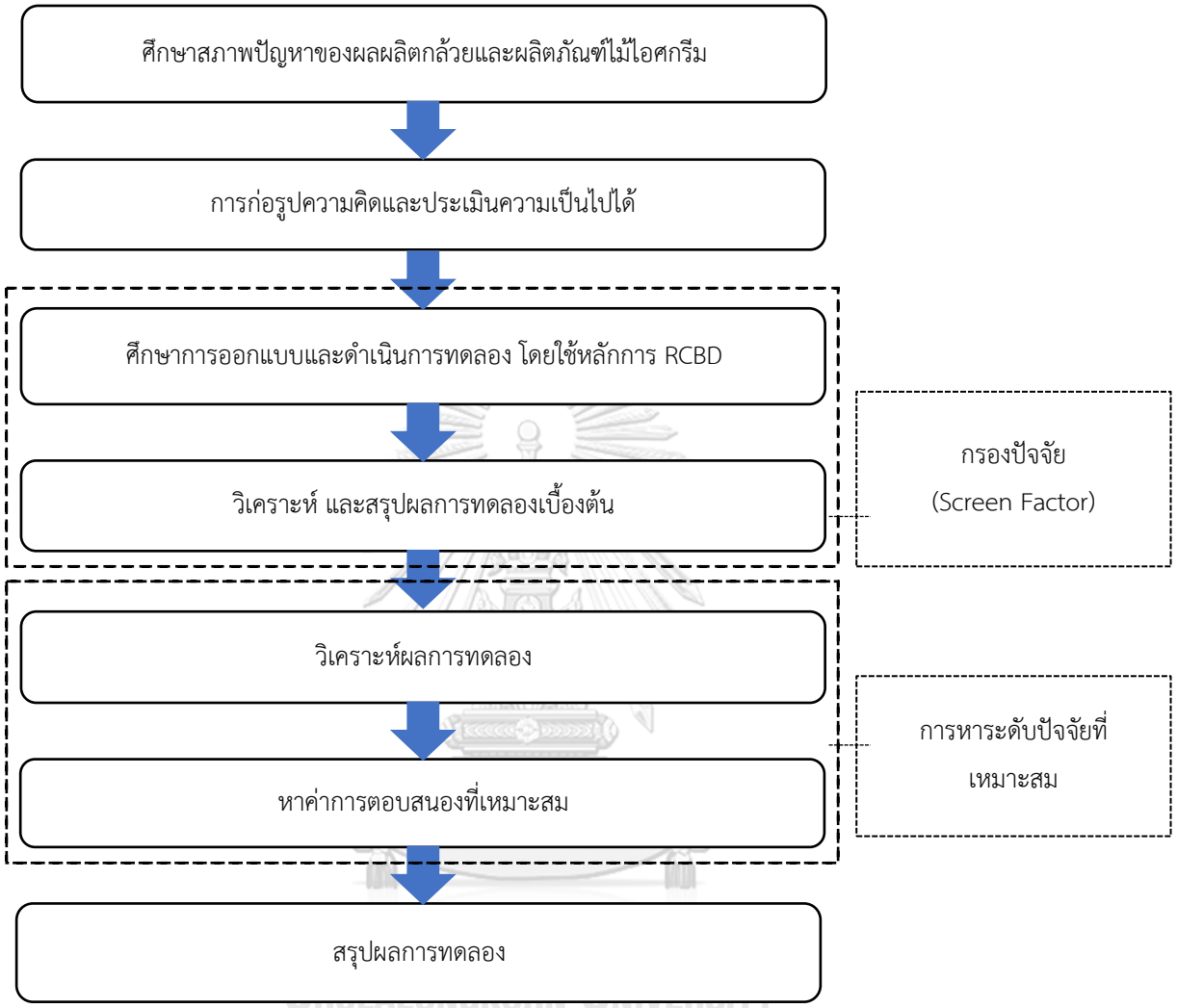
สำหรับบทนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลทั่วไป เกี่ยวกับกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผงและกรรมวิธีในการผลิตเพื่อการบริโภคโดยอ้างอิงกรรมวิธีการผลิตของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในอุตสาหกรรม รวมถึงศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) แบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และการหาค่าการตอบสนองที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณภาพ ซึ่งเจาะจงเฉพาะคุณภาพเกี่ยวกับคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเปราะเป็นหลัก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่คาดหมาย เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายไม้ไอศกรีมจากไม้จริง และต้องสามารถรับประทานได้ ไม่แข็งจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ หรือเปราะจนไม่สามารถรับน้ำหนักไอศกรีมและแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นจากการขนส่งได้ และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารในลักษณะที่เป็นผลเสีย โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 9 โดยเริ่มจากขั้นตอนการศึกษาสภาพปัญหาของผลผลิตกล้วยในประเทศไทย ไปจนถึงขั้นตอนการสรุปผลการทดลองและการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้ในการทดแทนผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีดำเนินการทดลองและเครื่องมือที่ใช้

<u>วัตถุดิบ อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง</u>

1) ผงกล้วยน้ำว้าดิบชนิดผสมเปลือก
2) แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์
3) น้ำ
4) น้ำตาลทรายขาวเม็ดใหญ่
5) เตาอบยี่ห้อ FAGOR รุ่น 6h-220 ax Electric ขนาด 60 ลิตร

(ก) มุมมองด้านข้าง (ข) มุมมองด้านบน (ค) ลูกกลิ้งไม้

รูปที่ 3.2 แผ่นพลาสติกสำหรับรีดโดความหนา 3 ระดับ (2, 3 และ 4 มม.) และลูกกลิ้งไม้

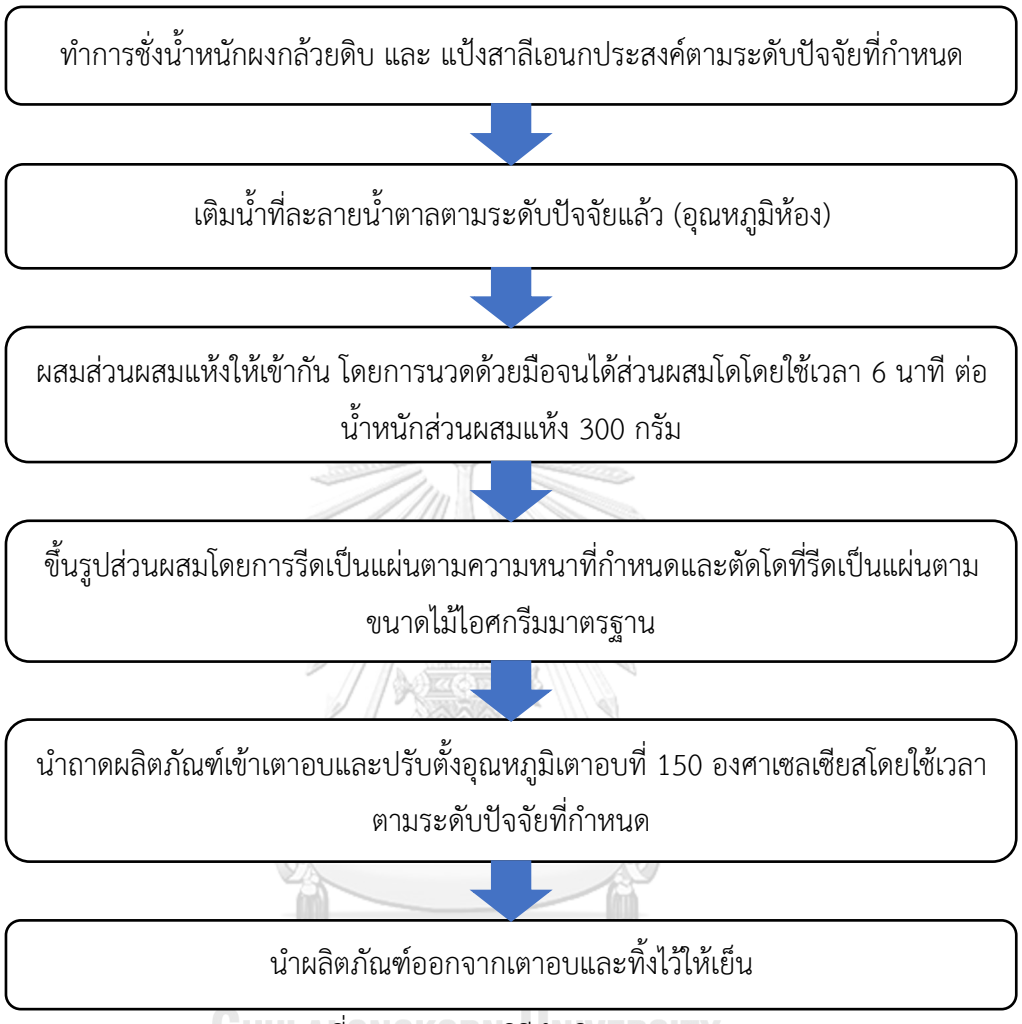
6) อุปกรณ์ในการรีดและควบคุมความหนาของโด
7) แม่พิมพ์ Stainless steel แบบไดคัท

(ก) มุมมองด้านข้าง (ข) มุมมองด้านบน

รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์ Stainless steel แบบไดคัท

8) เทอร์โมมิเตอร์แบบเข็ม
9) ถาดรองอบ
10) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 1 ตำแหน่ง

วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.4 แผนภาพวิธีดำเนินการทดลอง

Chulalongkorn University

3.3 การออกแบบการทดลอง

3.3.1 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลเกี่ยวข้องกับคุณภาพของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ จะพิจารณากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรีตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของ จากปัจจัยด้านส่วนผสม อุณหภูมิ ความหนา และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยคาดว่าส่วนผสมในปริมาณที่ต่างกันจะให้ค่าความแข็งแรงและความคงตัวต่างกัน เช่น ในกรณีผสมกล้วยดิบผงมาก และใช้ตัวประสานแป้งสาลีน้อย การคงตัวและการยึดติดกันของอนุภาคผงกล้วยอาจไม่ดีนัก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเปราะ ร่วน แต่หาก ใช้ตัวประสานแป้งสาลีในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความ

แข็งแรงดี ไม่เปราะ แต่หากใส่แป้งสาลีมากเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนิ่ม ดูดซับน้ำได้มาก ซึ่งเป็นลักษณะไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ที่มีกล้วยดิบผงเป็นวัตถุดิบหลัก ส่วนในด้านอุณหภูมิและเวลาในการอบ ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้ผลิตภัณฑ์สุก หรือเกิดการเจลาติไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์ สามารถรับประทานได้ และมีค่าความแข็ง (Hardness) และความเปราะหรือความกรอบ (Fracturability) ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้ ดังนั้น จึงคาดหมายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผง ดังนี้

1) สัดส่วนของปริมาณผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีโดยน้ำหนัก
2) ปริมาณน้ำ
3) ปริมาณน้ำตาล
4) เวลาที่ใช้ในการนวดโด
5) อุณหภูมิที่ใช้อบผลิตภัณฑ์
6) ความหนาของผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้าเตาอบ
7) ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์
8) อุณหภูมิที่ใช้งานและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

3.3.2 การเลือกปัจจัยที่จะนำมาศึกษา และระดับของปัจจัย

จากปัจจัยดังกล่าวทั้ง 8 ปัจจัย นำมาศึกษาและทำการคัดเลือกทีละปัจจัย ดังนี้

1) สัดส่วนของปริมาณผงกล้วยดิบต่อปริมาณแป้งสาลีโดยน้ำหนัก

ทำการผสมกล้วยดิบผงและแป้งสาลีในสัดส่วนที่ต่างกัน โดยที่พิจารณากล้วยดิบผงเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งจากคุณสมบัติผงกล้วยดิบนี้ไม่มีกลูเตนที่ทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน รวมถึงคุณสมบัติการจับตัวกันของอนุภาคผง โดยจะพิจารณาแป้งสาลีที่มีคุณสมบัติตัวประสานเป็นส่วนผสมรอง ดังนั้นสัดส่วนของส่วนผสมหลัก คือ ผงกล้วยดิบจึงเริ่มต้นที่ร้อยละ 50 และจากการทดลองนำร่องพบว่าเมื่อสัดส่วนของปริมาณผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป พบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่คงรูปและเปราะร่วน ดังนั้น จึงพิจารณาสัดส่วนของปริมาณกล้วยดิบผงต่อปริมาณแป้งสาลีโดยน้ำหนักจะสามารถแบ่งเป็น ร้อยละ 50 65 และ 80 ตามลำดับ เขียนเป็น 3 ระดับปัจจัยได้ดังนี้

ระดับ 1 สัดส่วนปริมาณกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 โดยน้ำหนัก
ระดับ 2 สัดส่วนปริมาณกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 โดยน้ำหนัก
ระดับ 3 สัดส่วนปริมาณกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 โดยน้ำหนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40 ถึง 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาณส่วนผสมแห้ง จึงจะทำให้เกิดเจลาติไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์เมื่อให้ความร้อน (Guo et al., 2018) และเมื่อทดลองนำร่องพบว่า ปริมาณน้ำร้อยละ 40 มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความร่วนและไม่เกาะตัวกันเล็กน้อย ดังนั้น จึงสามารถตัดปัจจัยปริมาณน้ำออกจากการพิจารณา และให้สัดส่วนปริมาณน้ำที่ใส่ในส่วนผสมแห้งเป็นตัวแปรควบคุมอยู่ที่ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

3) ปริมาณน้ำตาล

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และผลงานวิจัย การใส่น้ำตาลนอกจากจะช่วยเพิ่มรสชาติหวาน เพิ่มรสชาติที่ดีให้กับผลิตภัณฑ์แล้ว ยังสามารถช่วยในเรื่องของเนื้อขนมที่ให้มีความหนาแน่น คงตัว และมีเนื้อที่เนียนสม่ำเสมอมากขึ้น (วิภาวัน จุลยา, รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์) และจากการทดลองนำร่องปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 ของน้ำหนักส่วนผสมแห้งที่ทำให้สังเกตได้ถึงความแตกต่างของเนื้อผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ดังนั้น จึงแบ่งระดับปัจจัยของสัดส่วนปริมาณน้ำตาลออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

ระดับ 1 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง
ระดับ 2 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง
ระดับ 3 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) เวลาที่ใช้ในการนวดโด

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น เวลาที่เหมาะสมใช้ในการนวดโดของแป้งสาลีผสมปริมาณ 300 กรัมเพื่อให้ได้เนื้อผลิตภัณฑ์จำเพาะที่มากที่สุด อยู่ที่ 6-8 นาที (Slukova et al.,2017) ดังนั้นจึงสามารถตัดปัจจัยเวลาที่ใช้ในการนวดโดออกจากการพิจารณา โดยให้ตัวแปรเวลาที่ใช้ในการนวดโดนี้เป็นตัวแปรควบคุมอยู่ที่ 6 นาที

5) อุณหภูมิที่ใช้อบผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบขนมประเภทแป้งสาลี จากการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นในการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันพบว่า แป้งสาลี มีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ หรืออุณหภูมิที่ทำให้แป้งเริ่มสุกมีค่าอยู่ที่ 80 ถึง 85 องศา (Renata et al.,2000) และเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อจุลินทรีย์ ควรอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่หากใช้อุณหภูมิการอบเพียง 100 องศา ทำให้ต้องเสียเวลาที่ใช้ในการอบ

นาน ถึง 60 และ 80 นาทีสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนา 2 และ 4 มิลลิเมตรตามลำดับจากการทดลองนำร่อง ซึ่งหมายถึงการเพิ่มต้นทุนที่สูงขึ้นโดยไม่จำเป็น และเนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นในระยะเวลาเริ่มต้นจากการทดลองนำร่องที่ 170 องศาเซลเซียสเนื่องจากการอ้างอิงตามสูตรทั่วไปในการผลิตเบเกอรีประเภทขนมอบ พบว่า จะทำให้อัตราการระเหยของน้ำบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์สูงกว่าเนื้อผลิตภัณฑ์ด้านในอย่างรวดเร็วทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการงอตัวขึ้นในกรณีที่เนื้อผลิตภัณฑ์มีความบาง รวมถึงไม่ได้ใช้เครื่องมือในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความแม่นยำและเหมาะสมเพียงพอ จึงมีการทดลองเพิ่มเติมโดยการใช้เครื่องมือในการควบคุมความหนาและลดอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเหลือเพียง 150 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีความโค้งงอเกิดขึ้นในทุกๆความหนา ดังนั้นจึงกำหนดอุณหภูมิที่ใช้เป็นตัวแปรควบคุมอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส

6) ความหนาของผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้าเตาอบ

ความหนาของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เนื่องจากต้องสามารถรับน้ำหนักเนื้อไอศกรีมไว้ได้เป็นอย่างดี รวมถึง ไม่แตกหักระหว่างการขนส่งและการถือรับประทาน หรือ มีโอกาสน้อย ประกอบกับลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ที่คาดหมายให้เป็นแท่งตรง มีความสมมาตร โดยจากการทดสอบร้อยละการแตกหักของผลิตภัณฑ์ระหว่างการบริโภคไอศกรีมที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการที่ความหนาต่างๆ กันจำนวนความหนาละ 10 แท่ง คือ 2 3 และ 4 มิลลิเมตรหลังการอบให้สุกทั่วทั้งชิ้นที่ 150 องศาเซลเซียสในแต่ละความหนา พบว่า ร้อยละของการหักระหว่างบริโภคของผลิตภัณฑ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรร้อยละ 10 ตามด้วย 3 มิลลิเมตรอยู่ที่ร้อยละ 0 และ 4 มิลลิเมตรที่ร้อยละ 0 ดังนั้นปัจจัยความหนาของผลิตภัณฑ์จึงควรเป็นตัวแปรที่กำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมอยู่ที่ความหนา 3 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7) ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์

เวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์มักมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเสมอ หากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูง เวลาในการอบที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์สุกจะต่ำกว่า หากอุณภูมิที่ใช้ในการอบต่ำเวลาในการอบจะต้องมากขึ้น แต่เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมเนื่องจากปัจจัยด้านลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ขั้นต่ำซึ่งแปรผันกับอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และจากการทดลองนำร่องผลิตภัณฑ์พบว่าระยะเวลาในการทำให้ผลิตภัณฑ์สุกทั่วทั้งชิ้นสำหรับความหนาของผลิตภัณฑ์ 3 มิลลิเมตรอยู่ที่อย่างน้อย 40 นาที และระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สุกเกินไป หรือเริ่มไหม้ อยู่ที่ 50 นาที ดังนั้น ปัจจัยระยะเวลาในการอบผลิตภัณฑ์จึงแบ่งออกเป็น 3 ระดับปัจจัยดังนี้

ระดับ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ 40 นาที
ระดับ 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ 45 นาที
ระดับ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ 50 นาที

8) อุณหภูมิที่ใช้งานและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิการใช้งานของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจำเป็นจะต้องเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย -18 ถึง -23 องศาเซลเซียส (Deosarkar et al., 2016) ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมด้านประสาทสัมผัส (Texture) ดังนั้นจึงควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้อยู่ในช่วง -18 ถึง -23 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาตรวจสอบคุณภาพที่อุณหภูมิห้อง

จากการพิจารณาปัจจัยและระดับปัจจัยดังกล่าว สามารถสรุประดับปัจจัยได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระดับปัจจัยและสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		ต่ำ (-)	กลาง (0)	สูง (+)
1.สัดส่วนกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลี	A	50:50	65:35	80:20
2.ปริมาณน้ำตาล	B	0%	20%	40 %
3.ระยะเวลาที่ใช้อบผลิตภัณฑ์	C	40 นาที	45 นาที	50 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.3 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผง

การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ต้องการความแข็งแรงเป็นหลัก มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายไม้ไอศกรีมจากไม้จริง และต้องสามารถรับประทานได้ ไม่แข็งจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ หรือเปราะจนไม่สามารถรับน้ำหนักไอศกรีมและแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไอศกรีมหรือการขนส่งได้ รวมถึงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารในลักษณะที่เป็นผลเสียดังนั้น จึงกำหนดค่าการตอบสนอง (Response) ได้ดังนี้

3.3.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง (Hardness) และความเปราะ (Fracturability)

จากข้อมูลคุณภาพของอาหารทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุด้านความแข็งแรงและความสามารถในการรับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผง จะทำการตรวจวัดคุณสมบัติค่าความแข็งและความเปราะของผลิตภัณฑ์โดยการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ทั้งนี้ค่าความแข็ง (Hardness) และความแตกเปราะ (Fracturability) มีค่ามากสุดที่ยอมรับได้อยู่ที่ 529.5 ± 11.4 นิวตัน (N) (Schindler et al., 1998) โดยที่คำนึงถึงอุณหภูมิการใช้งานจริงและทำการควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ -18 ถึง -23 องศา (Deosarkar et al., 2016)

3.3.3.2 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้หรือปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w)

ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) คือ ปริมาณน้ำที่สร้างพันธะกับองค์ประกอบต่างๆภายในอาหารซึ่งปริมาณน้ำนี้เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารและส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงซึ่งนับว่าเป็นอาหารแห้งจึงควรที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ไม่เกิน 0.6 (วลัย หุตะโกวิท 2553) และไม่เกิน 0.85 ตาม(ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556) เพื่อไม่ให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ตามดัชนีของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารระหว่างการเก็บรักษาในภาชนะปิดตามวิธีของ AOAC 2000

3.3.4 แผนการออกแบบการทดลอง

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาหาปัจจัย และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องแล้ว จะทำการเลือกแผนการทดลองโดยใช้ข้อมูลต่างๆ ดังนี้

3.3.4.1ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

1) สัดส่วนของปริมาณกล้วยดิบผงต่อปริมาณแป้งสาลี
2) ปริมาณน้ำตาลในน้ำหนักส่วนผสมแห้ง
3) ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์

3.3.4.2 การกำหนดระดับของปัจจัย ได้แก่

1) สัดส่วนน้ำหนักกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีแบ่งเป็น 3 ระดับปัจจัย ได้แก่ ร้อยละ 50:50, 65:35 และ 80:20 โดยน้ำหนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) ปริมาณน้ำตาลในน้ำหนักส่วนผสมแห้ง แบ่งเป็น 3 ระดับปัจจัย ได้แก่ ร้อยละ 0 ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแห้ง

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็น 3 ระดับปัจจัย ได้แก่ 40, 45 และ 50 นาที

3.3.4.3 รูปแบบของการทดลอง

1) การทำการทดลองแบบสุ่ม การทดลองในงานวิจัยนี้ใช้การทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ โดยแบ่งออกเป็น 2 บล็อก เนื่องจากไม่สามารถทดลองให้ครบทั้ง 54 การทดลองภายในวันเดียว หรือด้วยการเปิดเตาอบเพียงครั้งเดียวได้ เพื่อลดความคาดเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอของเครื่องมือ และผู้ทดลอง

2) การทำการทดลองซ้ำ เป็นการกำหนดจำนวนซ้ำของการทดลอง ซึ่งควรมีจำนวนซ้ำอย่างน้อย 2 ซ้ำดังนั้น จึงทำการทดลอง 2 ซ้ำเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการวัดผล โดย 1 บล็อกคือการทดลอง 1 ซ้ำ

3.3.5 ตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษาได้แก่

1) ค่าความแข็ง (Hardness)

2) ค่าความเปราะ (Fracturability)

3) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์จากการกำหนดรูปแบบของการทดลองเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยคงที่ (Fixed Effect Model) จำนวน 3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง แสดงได้ดังสมการ

$$Y_{ijkl}=\mu+\tau_i+\beta_i+\gamma_k+(\tau\beta)_{ij}+(\tau\gamma)_{ik}+(\beta\gamma)_{jk}+(\tau\beta\gamma)_{ijk}+\delta_l+\varepsilon_{ijkl}$$

และเนื่องจากในการวิจัยศึกษาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงนี้ ทำการทดลองเพียง 2 ซ้ำการทดลอง อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์จาก 3 ปัจจัยจึงสามารถละเลยได้เนื่องจากอิทธิพลระดับสูงไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้

ดังนั้นสมการแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง จึง สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Y_{ijkl}=\mu+\tau_i+\beta_i+\gamma_k+(\tau\beta)_{ij}+(\tau\gamma)_{ik}+(\beta\gamma)_{jk}+\delta_l+\varepsilon_{ijkl}$$

และตั้งสมมติฐานการทดสอบได้ดังนี้

1. $H_0 : \tau_i = 0$
   $H_1 : \tau_i \neq 0$
2. $H_0 : \beta_j = 0$
   $H_1 : \beta_j \neq 0$
3. $H_0 : \gamma_k = 0$
   $H_1 : \beta_j \neq 0$
4. $H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$
   $H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$
5. $H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$
   $H_1 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$
6. $H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$
   $H_1 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$
7. $H_0 : \delta_l = 0$
   $H_1 : \delta_l \neq 0$

โดยที่ Y_{ijkl} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากระดับ i ระดับ j ระดับ k และจำนวนซ้ำ l

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับ i ของปัจจัย A

β_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับ l ของปัจจัย B

γ_k คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับ k ของปัจจัย C

i,j,k และ l คือ ระดับปัจจัยของ $\alpha\ \beta\ \gamma$ และ δ ตามลำดับ โดยที่ i=1,2,...,a j=1,2,...,b และ k=1,2,...,c

หลังจากตั้งสมมติฐานแล้วจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน และทำการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆด้วยกราฟตัวแปรตอบสนอง (Responsible plot) และแสดงตัวอย่างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ชั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F	P-value
ทรีทเมนต์ บล็อก ความคาดเคลื่อน ทั้งหมด					

หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีที่สุด โดยการพิจารณาผลการทดลองที่มีคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้านความแข็งหรือความเปราะที่ใกล้เคียงกับไม้ไอศกรีมมากที่สุด รวมถึงพิจารณาลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ และทำการทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภค (Acceptance test) โดยการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (Appearance) รสชาติ (Tastes) เนื้อสัมผัส (Texture) และความชอบโดยรวม (Overall) วิธีการใช้สเกลแบบ 9- point hedonic scaling และหาค่าช่วงคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ กับผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

3.3.7 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่มีการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จะทำการสรุปผลและข้อเสนอแนะ เพื่อนำค่าที่ได้ไปปรับใช้เป็นพื้นฐานและแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงที่สามารถรับประทานได้ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับเมตริกการออกแบบ และ ลำดับการทดลองในแต่ละบล็อก แสดงดังตารางที่ 3.3, 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 เมตริกการออกแบบ

A	B								
	-1			0			1		
	C			C			C		
	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
-1	1*	2	3	4	5	6	7	8	9
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	46	47	48	49	50	51	52	53	54

* หมายเลขสภาวะการทดลอง

-1 คือ ระดับปัจจัยระดับต่ำ

0 คือ ระดับปัจจัยระดับกลาง

1 คือ ระดับปัจจัยระดับสูง

A คือ ปัจจัยสัดส่วนปริมาณกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลี

B คือ ปัจจัยของปริมาณน้ำตาลในน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

C คือ ปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.4 ลำดับการทดลองบล็อกที่ 1

ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8
สภาวะการทดลอง	15	7	21	2	17	19	20	4

ลำดับที่	9	10	11	12	13	14	15	16
สภาวะการทดลอง	5	14	18	9	1	22	24	11

ลำดับที่	17	18	19	20	21	22	23	24
สภาวะการทดลอง	23	10	3	6	12	16	13	8

ตารางที่ 3.5 ลำดับการทดลองบล็อกที่ 2

ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8
สภาวะการทดลอง	30	29	37	40	28	36	41	48

ลำดับที่	9	10	11	12	13	14	15	16
สภาวะการทดลอง	31	35	25	44	32	42	39	46

ลำดับที่	17	18	19	20	21	22	23	24
สภาวะการทดลอง	38	45	33	37	26	43	34	27

3.4 การประเมินความคุ้มค่าเบื้องต้น

การประเมินความคุ้มค่าในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ จะประเมินจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์โดยการคำนวณต้นทุนโดยรวมสำหรับการผลิตไม้ไอศกรีมไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ เปรียบเทียบกับการผลิตไม้ไอศกรีมไอศกรีมจากไม้สำหรับการผลิตภายในประเทศ และทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ภายใต้ขอบเขตการบริโภคและกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วยการประเมินราคาและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในด้านต่างๆ เช่น วัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องจักร และค่าใช้จ่ายการผลิตซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ เปรียบเทียบกับไม้ไอศกรีมจากไม้ที่ผลิตภายในประเทศ

3.4.2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (carbon footprint of product, CFP) หมายถึงการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การบริโภคหรือใช้งาน และ การกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน โดยในการประเมินประกอบด้วยขั้นตอนหลักทั้งหมด 4 ขั้นตอนได้แก่ 1) การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย 2) การเก็บรวบรวมข้อมูล 3) การคำนวณ และ 4) การแปลผลลัพธ์ (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2558)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตปริ้นท์จากข้อมูลที่รวบรวมได้โดยใช้มาตรฐาน PAS 2050 เป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์เป็นปริมาณในหน่วยของน้ำหนักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (1) และ (2) และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณโดยการสรุปผล และหาข้อเสนอแนะ ตามเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้

$$CFP = \sum_{i=1}^{n} GHG_i \quad (1)$$

$$GHG_i = Activity\ Data_i \times Emission\ Factor_i \quad (2)$$

โดยที่

CFP	คือ	ค่าคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มี (หน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
GHP	คือ	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (หน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
Activity data	คือ	ข้อมูลกิจกรรม
Emission Factor (EF)	คือ	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยข้อมูลกิจกรรม)
n	คือ	จำนวนกิจกรรมทั้งหมดที่พิจารณา
i	คือ	กิจกรรมที่ i

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในการสร้างผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยน้ำว้าดิบ โดยมีตัวประสานทางธรรมชาติคือแป้งสาลี ทำการพิจารณาทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่สัดส่วนระหว่างผงกล้วยดิบและแป้งสาลีที่ 50:50, 65:35 และ 80:20 ปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40 ของน้ำหนักแห้ง และ ระยะเวลาในการอบที่ 40 45 และ 50 นาที โดยใช้หลักการทดลองแบบ RCBD จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ค่าความแข็งและค่าความเปราะ เพื่อคัดเลือกตัวอย่างที่อยู่ในเกณฑ์ค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้จากการคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของเนื้อไอศกรีม และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) เพื่อแสดงว่าจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตในผลิตภัณฑ์ได้ระหว่างการเก็บรักษา จากนั้นพิจารณาตัวอย่างที่ค่าความแข็งและค่าความเปราะที่ผ่านเกณฑ์ของแรงต่ำสุดที่ยอมรับได้ รวมถึงการพิจารณาลักษณะกายภาพของตัวอย่าง และทำการทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภค โดยได้ทำการแสดงผลการทดลองและการอภิปรายผลดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยน้ำว้าดิบ

จากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของไม้ไอศกรีมที่ทำการทดลองทั้ง 27 แบบ พบว่าสภาวะในการทดลองที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะปรากฏและขนาดของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบเปลี่ยนไปและมีความแตกต่างกันในแต่ละสภาวะของการทดลอง

ในการศึกษาขนาดของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ จะทำการวัดค่าความกว้าง ความยาว และความหนา ของไม้ไอศกรีมก่อนอบ และหลังอบ โดยขนาดก่อนอบได้ถูกกำหนดไว้ด้วยขนาดแม่พิมพ์ที่ความกว้าง 10 มิลลิเมตร ความยาว 93 มิลลิเมตร ตามขนาดมาตรฐานของไม้ไอศกรีมทั่วไป และความหนาจากการทดลองนำร่องสำหรับการกำหนดระดับปัจจัยของไม้ไอศกรีมที่ 3 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวัดขนาดหลังการอบ โดยใช้เวอร์เนียวัดค่าความกว้าง และความหนาของไม้ไอศกรีมหลังอบตลอดความยาวแท่งทั้งหมด 3 จุด ได้แก่จุดปลาย 2 จุด และจุดกลางอีก 1 จุด และความยาววัดทั้งหมด 1 จุดโดยวัดตั้งแต่บริเวณที่ยื่นออกไปมากที่สุดของปลายข้างหนึ่งจนถึงบริเวณที่ยื่นออกไปมากที่สุดปลายอีกข้างหนึ่ง โดยใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 15 แท่ง นำไปเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวอย่างในแต่ละสภาวะของการทดลอง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดในทิศทางต่างๆของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสามารถคำนวณได้จากสมการ

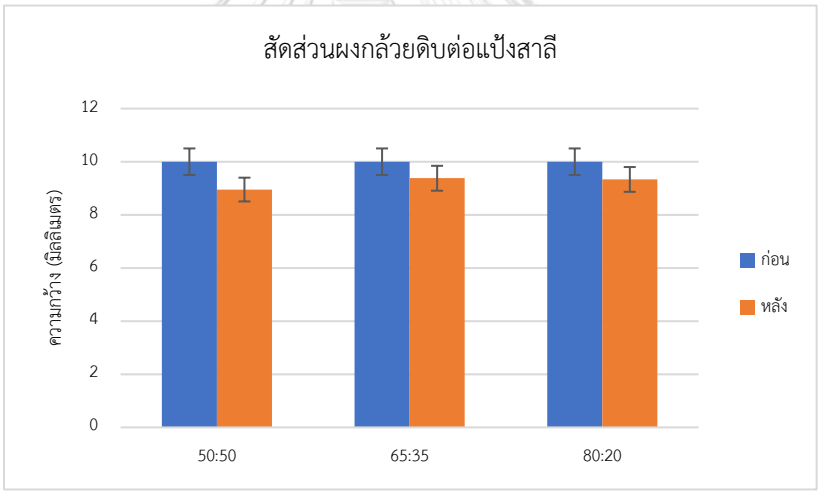
$$\text{อัตราการการเปลี่ยนแปลงขนาด (ร้อยละ)} = \frac{a-b}{b} \times 100$$

กำหนดให้ a คือ ความกว้าง ความยาว และความหนาของไม้ไอศกรีมหลังอบ

b คือ ความกว้าง ความยาว และความหนาของไม้ไอศกรีมก่อนอบ

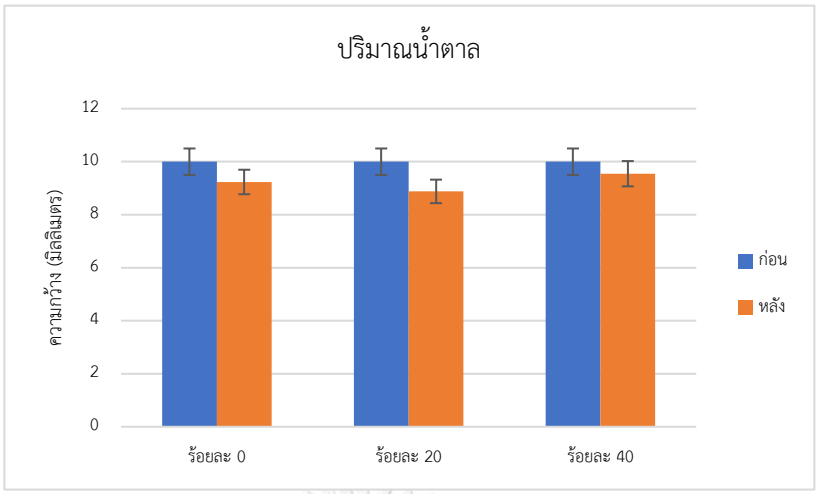
1) การเปลี่ยนแปลงความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพด้านความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบพบว่าขนาดความกว้างไม้ไอศกรีมเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยในทุกๆระดับปัจจัยที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



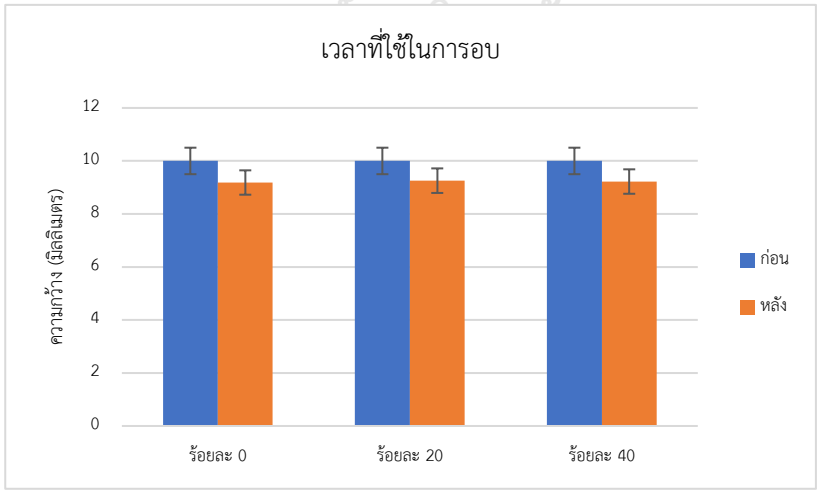
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความกว้างในแต่ละระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี โดยพบว่าความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเฉลี่ยหลังการอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 เปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยลดลงร้อยละ 10.48 ในขณะที่ ที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 65:35 และ 80:20 ลดลงใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 6.22 และร้อยละ 6.67 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความกว้างในแต่ละระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาล พบว่าความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเฉลี่ยหลังการอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 เปลี่ยนแปลงมากที่สุดโดยลดลงร้อยละ 11.20 ในขณะที่ ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และ 40 ลดลงร้อยละ 7.64 และ 4.52 ตามลำดับ โดยตั้งข้อสังเกตว่าปริมาณน้ำตาลอาจมีผลต่อไม้ไอศกรีมร่วมกับปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดไม่คงที่



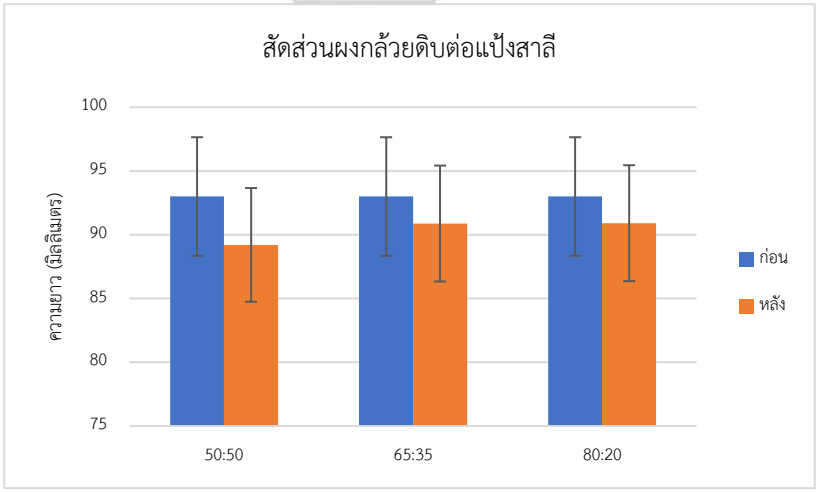
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความกว้างในแต่ละระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ โดยพบว่าความกว้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเฉลี่ยหลังการอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบทั้งสามระดับเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน โดยลดลงร้อยละ 8.14 7.44 และ 7.78 ที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาทีตามลำดับ

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความกว้าง พบว่า ค่าเฉลี่ยความกว้างที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบที่ระดับปัจจัยจัยต่างๆทั้ง 3 ปัจจัย เปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย และไม่มีรูปแบบ จึงไม่สามารถตั้งข้อสังเกตุได้อย่างชัดเจนว่าปัจจัยใดส่งผลต่อคุณภาพด้านความแข็งแรงของไม้ไอศกรีม

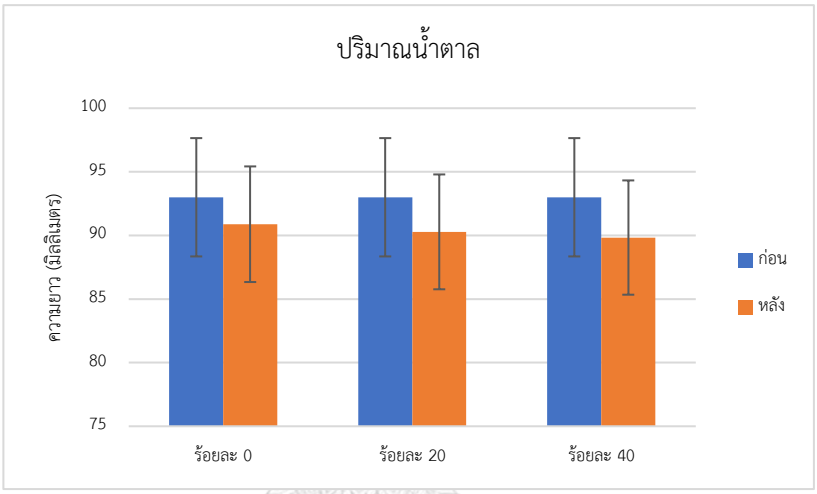
2) การเปลี่ยนแปลงความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพด้านความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบพบว่า ขนาดความยาวเฉลี่ยไม้ไอศกรีมลดลงเล็กน้อยในทุกๆระดับปัจจัยที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.4 ถึง 4.6



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20

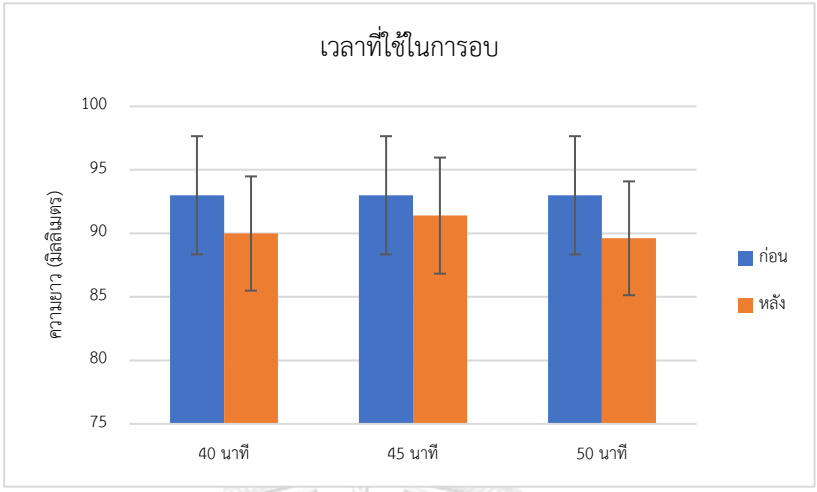
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความยาวในแต่ละระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี โดยพบว่าความยาวเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 เปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยลดลงร้อยละ 4.08 ในขณะที่ ที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 และ 80:20 ลดลงใกล้เคียงกันร้อยละ 2.28 และ 2.25 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความยาวในแต่ละระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาล โดยพบว่าความยาวเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบทั้งสามระดับเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน โดยลดลงร้อยละ 2.28 2.92 และ 3.41 ที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 20 และ 40 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความยาวของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที

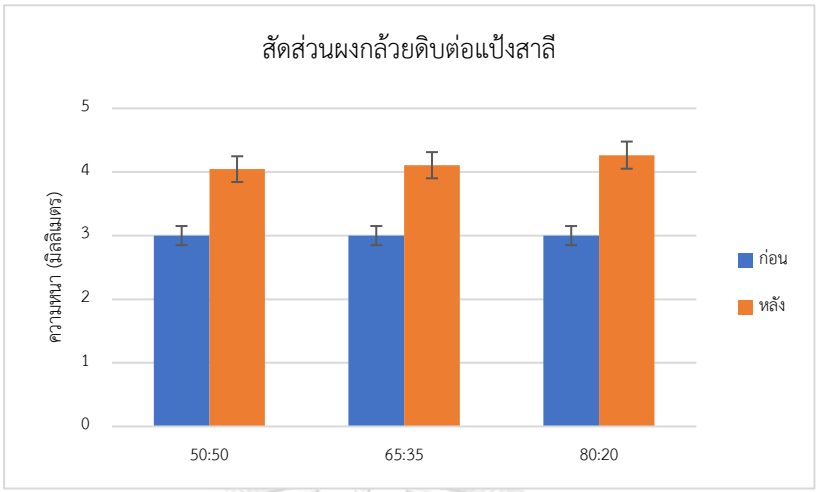
จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความยาวในแต่ละระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาล โดยพบว่าความยาวเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 45 นาที เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยลดลงร้อยละ 1.72 ในขณะที่ ที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 และ 50 นาที ลดลงใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 3.24 และ 3.64 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความยาว พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบที่ระดับปัจจัยจัยต่างๆทั้ง 3 ปัจจัย เปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย และไม่มีรูปแบบ จึงไม่สามารถตั้งข้อสังเกตุได้อย่างชัดเจนว่าปัจจัยใดส่งผลต่อคุณภาพด้านความแข็งแรงของไม้ไอศกรีม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

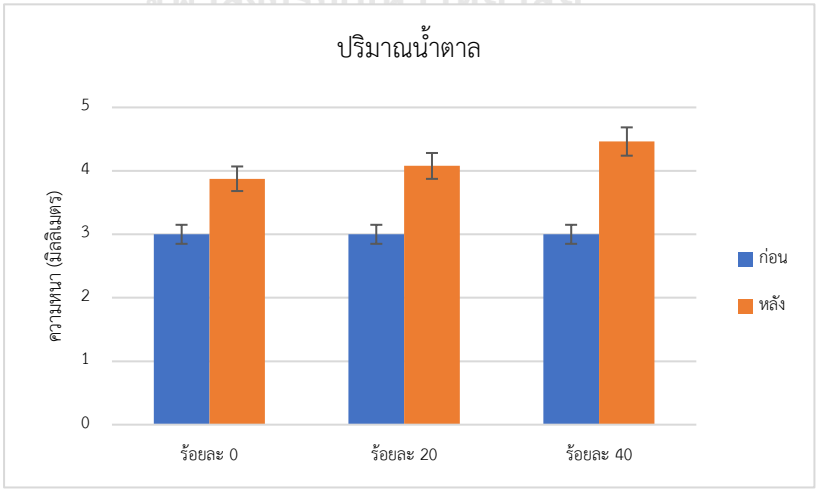
3) การเปลี่ยนแปลงความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพด้านความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบพบว่า ขนาดความหนาไม้ไอศกรีมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกๆระดับปัจจัยที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.7 ถึง รูปที่ 4.9



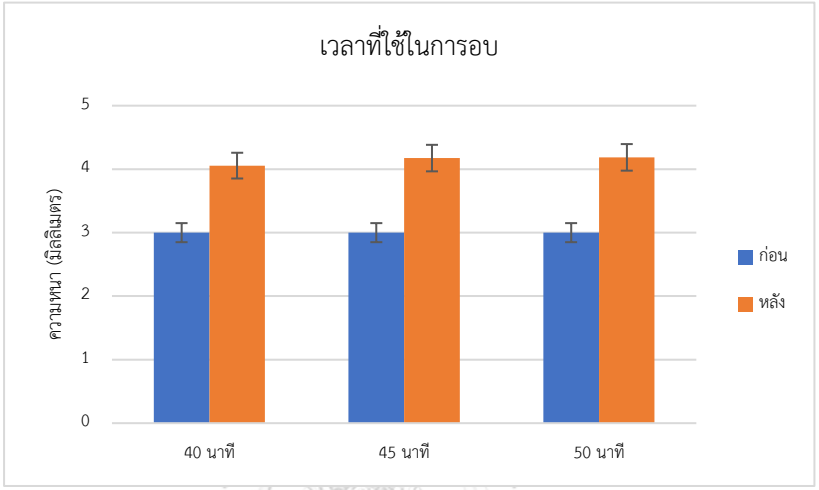
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความหนาในแต่ละระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี โดยพบว่าความหนาเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นลำดับขั้น โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.00 40.89 และ 42.15 ที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 65:35 และ 80:20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 0 20 และ 40

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความหนาในแต่ละระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาล โดยพบว่าความหนาเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นลำดับขั้น โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.19 39.81 และ 49.04 ที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 20 และ 40 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความหนาของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบระหว่างก่อนและหลังอบที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีมด้านความหนาในแต่ละระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาล โดยพบว่าความหนาเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหลังการอบเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.19 41.04 และ 39.81 ที่ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ 40 45 และ 50 นาที ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไม้ไอศกรีมทั้ง 3 ด้านพบว่าความกว้างและความยาวเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยตั้งแต่ร้อยละ 2 ถึง 11 โดยประมาณในทุกๆระดับปัจจัยที่ศึกษา ในขณะที่ความหนาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมากตั้งแต่ร้อยละ 29 ถึง 49 โดยประมาณ และเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับขั้นเมื่อปริมาณน้ำตาลและสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้ว่าลักษณะการพองตัวของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบที่มากกว่า จะมีโพรงอากาศขนาดใหญ่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.10 ถึง 4.12 ซึ่งส่งผลให้การอัตราการพองตัว (ความหนา) มากกว่าไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบน้อย ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากการลดลงของระดับการเกิดกลูเตน (gluten) ในไม้ไอศกรีมจากการลดลงของปริมาณโปรตีนกลูเตนิน (glutenin) และ ไกลอะดิน (gliadin) ในแป้งผสม โดยมีหน้าที่เป็นโครงสร้างตาข่ายที่แข็งแรงและยืดหยุ่น (Kaushik et al., 2013; Wieser, 2007) รวมถึง

ประสานโมเลกุลต่างๆขององค์ประกอบในไม้ไอศกรีม จึงสามารถประเมินได้เบื้องต้นว่าสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีมีผลต่อความแข็งแรงเนื่องจากอัตราการการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ไอศกรีม

(ก) ร้อยละ 50:50 (ข) ร้อยละ 65:35 (ค) ร้อยละ 80:20

รูปที่ 4.10 ลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสัดส่วนต่างๆ ที่ระดับปัจจัยน้ำตาลร้อยละ 0 เวลาที่ใช้ในการอบ 40 นาที

(ก) ร้อยละ 50:50 (ข) ร้อยละ 65:35 (ค) ร้อยละ 80:20

รูปที่ 4.11 ลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสัดส่วนต่างๆ ที่ระดับปัจจัยน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบ 45 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(ก) ร้อยละ 50:50 (ข) ร้อยละ 65:35 (ค) ร้อยละ 80:20

รูปที่ 4.12 ลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบลักษณะปรากฏด้านข้างของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสัดส่วนต่างๆ ที่ระดับปัจจัยน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบ 50 นาที

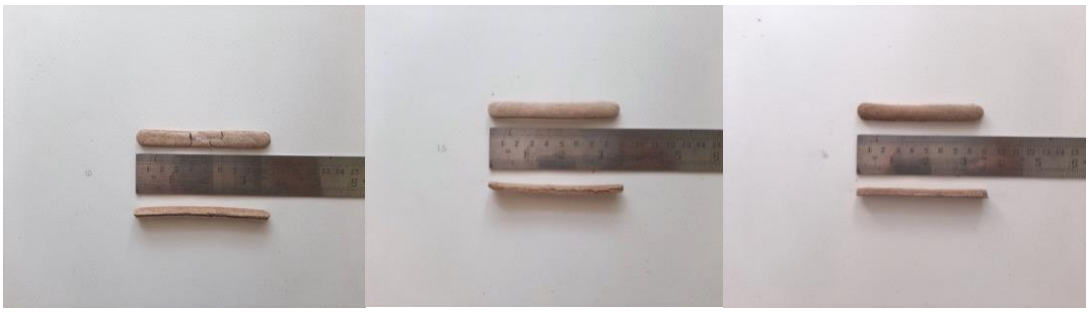
นอกจากนี้ พบว่าปัจจัยปริมาณน้ำตาลมีผลอย่างมากต่อลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีม โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใส่น้ำตาลจะมีลักษณะพื้นผิวของไม้ไอศกรีมที่แตกร้าว ไม่สมานเป็นเนื้อเดียวกัน รวมถึงลักษณะปรากฏของแท่งไม้ไอศกรีมที่มีความงอตัวเล็กน้อยแตกต่างจากตัวอย่างที่ใส่น้ำตาลดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.15 นอกจากนี้ ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 ที่มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และร้อยละ 20 พบว่าลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่ขึ้นฟูแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 ดังแสดงในรูป 4.15 ดังนั้นจึงอาจสรุปได้เบื้องต้นว่าปัจจัยปริมาณน้ำตาลและสัดส่วนของผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ใช้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

(ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 20 (ค) ร้อยละ 40

รูปที่ 4.13 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 และปัจจัยปริมาณน้ำตาลระดับต่างๆ

(ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 20 (ค) ร้อยละ 40

รูปที่ 4.14 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 และปัจจัยปริมาณน้ำตาลระดับต่างๆ



(ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 20 (ค) ร้อยละ 40

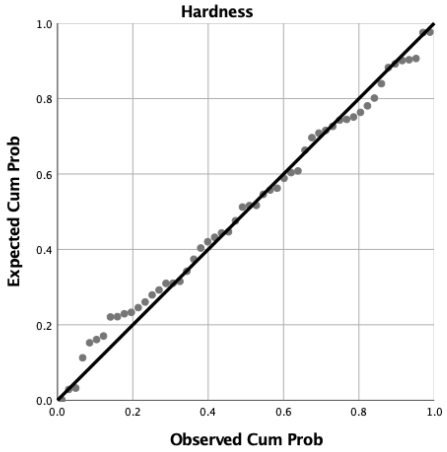
รูปที่ 4.15 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 และปัจจัยปริมาณน้ำตาลระดับต่างๆ

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการทดลองตามแผนการทดลองแล้ว จะนำผลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบว่าข้อมูลมีความเหมาะสมหรือไม่ แล้วทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดมีผลต่อคุณภาพของไม้ไอศกรีม หลังจากนั้นนำผลการทดลองมาสร้างกราฟของตัวแปรตอบสนอง เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ โดยการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเปราะ (Fracturability) จากห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่อง Texture analyzer พบว่าค่าความแข็งในทุกตัวอย่างมีค่าเดียวกันกับค่าความเปราะ เนื่องจากลักษณะของการสูญเสียรูปร่างของผลิตภัณฑ์เป็นการแตกหักแบบครั้งเดียวทันทีทันใดเมื่อมีแรงมากระทำและทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหักเป็นชิ้นแยกจากกันโดยสิ้นเชิง โดยอ้างอิงการนิยามความหมายของค่าความแข็งและความเปราะจากงานวิจัยของ (Szczesniak, 1963) ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงอภิปรายผลในส่วนของคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเปราะร่วมกันในเชิงของค่าความแข็ง

4.2.1 ผลการศึกษาค่าความแข็ง (Hardness)

4.2.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy checking) นำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสม รวมทั้งความถูกต้องโดยตรวจสอบการแจกแจงปรกติของ ค่าความแข็ง ด้วยกราฟความน่าจะเป็นปรกติ (Normal probability plot) ได้ผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ดังแสดงในรูปที่ 27 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวและมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.16 ผลการกระจายของข้อมูลการทดสอบค่าความแข็ง

4.2.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เมื่อนำค่าความแข็ง (Hardness) ที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ได้ผลดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดสอบค่าความแข็ง

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F	p-value
A	170.844	2	85.422	5.147	0.011
B	3323.944	2	1661.972	100.132	0.000
C	16.347	2	8.173	0.492	0.615
AB	510.218	4	127.555	7.685	0.000
AC	139.556	4	34.889	2.102	0.102
BC	228.209	4	57.052	3.437	0.018
Block	0.787	1	0.787	0.047	0.829
Error	564.323	34	16.598		
Total	4954.228	53			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปผลที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้ดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานปัจจัยหลัก

1.1) การทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี (ปัจจัย A)

$$H_0 : \tau_i = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } \tau_i \neq 0$$

จากตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี มีอิทธิพลผลต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.2) การทดสอบสมมติฐานของปริมาณน้ำตาล (ปัจจัย B)

$$H_0 : \beta_j = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } \beta_j \neq 0$$

จากตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำตาล มีอิทธิพลผลต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3) การทดสอบสมมติฐานของเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัย C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$H_0 : \gamma_k = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } \gamma_k \neq 0$$

จากตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่า p-value มีค่ามากกว่า α ที่ 0.05 จึงยอมสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการอบ ไม่มีอิทธิพลผลต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานปัจจัยร่วม

2.1) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล (ปัจจัยร่วม AB)

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาลมีอิทธิพลผลต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัยร่วม AC)

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่า p-value มีค่ามากกว่า α ที่ 0.05 จึงยอมสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัยร่วม AC) ไม่มีอิทธิพลผลต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัยร่วม BC)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบมีอิทธิพลผลต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

หลังจากที่วิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมแล้ว จะทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (Regression equation) ได้ผลดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความแข็ง

แหล่งของความผันแปร	B	SE B	Beta	T-value	Sig level
A	-0.298	0.082	-0.370	-3.531	0.001
B	1.778	0.957	3.031	1.858	0.069
AB	-0.055	0.030	-6.393	-1.845	0.071
$(AB)^2$	0.00000364	0.000	1.173	4.706	0.000
A^2B	0.000384	0.000	3.309	1.666	0.102
Block	-0.241	1.255	-0.013	-0.192	0.848
constant	34.640	5.694		6.146	0.000

จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยหลัก (Main effect) 1 ปัจจัย และปัจจัยร่วม 1 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี ปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี และ ปริมาณน้ำตาล มีผลต่อค่าความแข็ง (Hardness) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากค่า sig level มีค่า ต่ำกว่า 0.05 และสามารถเขียนสมการถดถอยสำหรับค่าความแข็งได้ดังนี้

ความแข็ง (Hardness) = 34.64 – 0.298 A + 1.778 B -0.0553 AB + 0.000003 $(AB)^2$ + 0.000384 A*AB

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.1.3 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ออกแบบนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความเชื่อมั่นโดยการวิเคราะห์ค่า R^2 (R-square) เพื่อตรวจสอบความเชื่อถือได้ของการออกแบบ ซึ่งค่า $R^{2.}$ ของผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งพบว่ามีค่าสูงคือร้อยละ 79.80 หมายความว่า การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมแสดงได้ดังสมการ

$$R^2 = \frac{\text{ผลรวม SS ของ Treatment combination}}{\text{SS Total}} \times 100$$

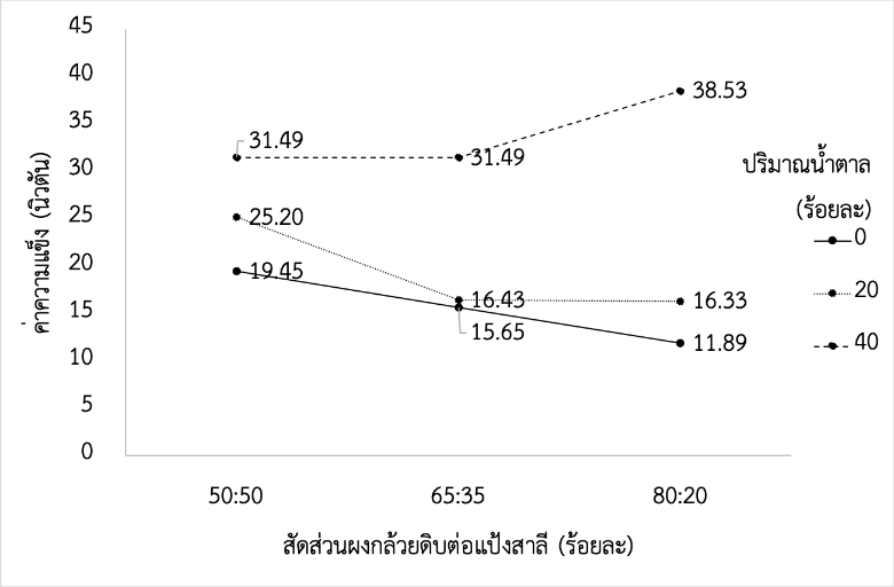
จะได้ R^2 (R-square) = 79.80

4.2.1.4 การวิเคราะห์และสร้างกราฟตัวแปรตอบสนอง (Response) ของค่าความแข็ง

การวิเคราะห์และสร้างกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแสดงได้ดังรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล

สัดส่วนผงกล้วยดิบ (A) / ปริมาณน้ำตาล (B)	ความแข็ง (นิวตัน)		
	ร้อยละ 0	ร้อยละ 20	ร้อยละ 40
50:50	19.46 ± 3.47	25.20 ± 4.10	31.49 ± 3.75
65:35	15.66 ± 8.65	16.43 ± 5.54	31.49 ± 2.19
80:20	11.89 ± 1.78	16.33 ± 3.13	38.53 ± 4.86



รูปที่ 4.17 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล

จากรูปที่ 4.17 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี (ปัจจัย A) กับปริมาณน้ำตาล (ปัจจัย B) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ระดับต่ำ คือ 50:50 จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของประมาณน้ำตาลต่ำกว่าที่ระดับสูง คือ 80:20 และจะสังเกตได้ว่าที่สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 ปัจจัยน้ำตาลมีผลต่อค่าความแข็งต่างกัน โดยการใส่น้ำตาลใน

ผลิตภัณฑ์ที่ร้อยละ 0 และ 20 ส่งผลให้ค่าความแข็งเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่าความแข็งลดลง ในขณะที่ เมื่อปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อยู่ที่ร้อยละ 40 พบว่า ค่าความแข็งมีค่าคงที่และเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80:20 ประกอบกับลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่มีระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และ 20 ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1 โดย จากผลงานวิจัยของ(Belcourt & Labuza, 2007; Maache-Rezzoug et al., 1998) ได้สนับสนุนผลของการวิเคราะห์ค่าความแข็งในผลิตภัณฑ์ที่เติมน้ำตาล จากการศึกษาอิทธิพลของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ซอฟท์คุ้กกี้และบิสกิต โดยให้เหตุผลว่า ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นเป็นผลของการ recrystallize ของน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา หรือ การพักให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงหลังการอบ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของแป้งเชื่อมติดกันได้ดีมากยิ่งขึ้น ความแข็งจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่ม

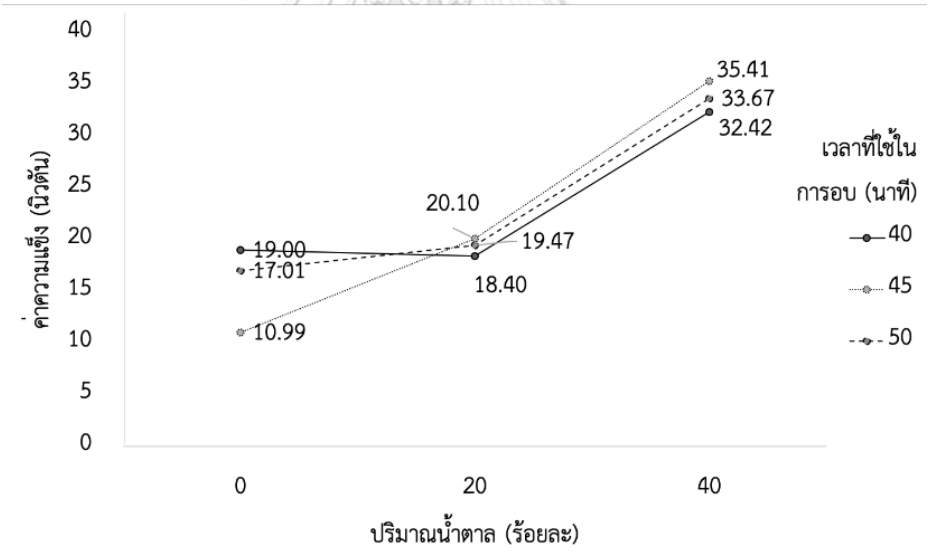
นอกจากนี้สัดส่วนของผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีมีอิทธพลต่อค่าความแข็งด้วยเช่นกัน โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 0 ค่าความแข็งจะลดลงอย่างสม่ำเสมอจาก 19.45 ± 3.47 นิวตัน ลดลงเป็น 15.65 ± 8.65 และ 11.89 ± 1.78 นิวตัน เมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50:50 เป็น 65:35 จากนั้น ค่าความแข็งจะค่อนข้างคงที่ เมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80:20 ในขณะที่เมื่อปัจจัยปริมาณน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 40 จะสังเกตได้ว่าค่าความแข็งจะค่อนข้างคงที่อยู่ที่ร้อยละ 31.49 ± 3.75 และ 31.49 ± 2.19 นิวตัน เมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเปลี่ยนไปจากร้อยละ 50:50 เป็นร้อยละ 65:35 และเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็น 38.53 ± 4.86 นิวตัน เมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีอยู่ที่ร้อยละ 80:20 ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของค่าความแข็งที่ปัจจัยปริมาณน้ำตาลอื่นๆ เนื่องด้วยอิทธิพลของปัจจัยร่วมสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล (ปัจจัยร่วม AB) โดยจากการเกิดกลูเตนขึ้นในโด (dough) ในระหว่างการผสมน้ำกับส่วนผสมแห้ง ทำให้เกิดโครงสร้างแบบตาข่ายที่มีหน้าที่ในการเก็บรักษาอากาศขนาดเล็กไว้ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการนวดด้วยเวลาที่เหมาะสม ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูอย่างสม่ำเสมอและสามารถเกาะตัวกันได้ดี ทำให้มีความแข็งแรง (Kaushik et al., 2013; Wieser, 2007) และเนื่องจากโปรตีนกลูเตนนี้ มีเฉพาะในแป้งสาลี ดังนั้น สำหรับกรณีที่ไม่มีปัจจัยปริมาณน้ำตาลเกี่ยวข้อง หรือปริมาณน้ำตาลเท่ากับร้อยละ 0 จะสังเกตได้ว่าเมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าปริมาณกลูเตนจะลดลงจากการที่แป้งสาลีนส่วนผสมลดลง จะส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลในปริมาณที่เพียงพอ จะส่งผลให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากน้ำตาลมีบทบาทสำคัญในการชะลออัตราการเกิดกระบวนการ gelatinization หรือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การพองตัวของโมเลกุลแป้ง โดยการดึงน้ำเข้ามาใช้ในการละลาย (Varzakas et al., 2012) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นและแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่า สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 80:20 และปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 มีอิทธิพลร่วมกันและส่งผลให้ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบมีค่าความแข็งมากที่สุด

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ

ปริมาณน้ำตาล (B) / เวลาที่ใช้ในการอบ (C)	ความแข็ง (นิวตัน)		
	40 นาที	45 นาที	50 นาที
ร้อยละ 0	18.99 ± 6.73	10.99 ± 4.74	17.01 ± 3.85
ร้อยละ 20	18.40 ± 9.45	20.09 ± 4.92	19.47 ± 2.09
ร้อยละ 40	32.42 ± 5.36	35.41 ± 6.49	33.67 ± 2.40



รูปที่ 4.18 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ

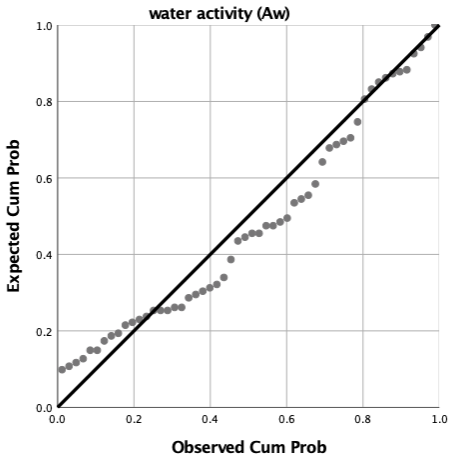
จากรูปที่ 4.18 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลที่ระดับต่ำ คือ ร้อยละ 0 จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ในการอบสูง จาก 19.00 ± 6.73 นิวตัน ลดลงเป็น 10.99 ± 4.74 นิวตัน เมื่อเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้นจาก 40 นาที เป็น 45 นาทีและกลับเพิ่มขึ้นเป็น 17.01 ± 3.05 นิวตันเมื่อเวลาอบเพิ่มขึ้นเป็น 50 นาที

ในขณะที่เมื่อปัจจัยปริมาณน้ำตาลเป็นร้อยละ 20 และ 40 จะสังเกตได้ว่าค่าความแข็งค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าเวลาที่ใช้ในการอบจะเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่าความผันผวนในการวัดผลและการวิเคราะห์ค่าความแข็ง เมื่อปริมาณน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 0 เกิดจากความไม่สม่ำเสมอและการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลของค่าความแข็งที่วัดได้ไม่สอดคล้องกัน ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนั้นสำหรับปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็ง จึงควรมีการพิจารณาลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมเรื่องขนาดของไม้ไอศกรีมที่เปลี่ยนแปลงหลังไปการอบ ในหัวข้อ 4.1 พบว่า เวลาที่ใช้ในการอบ ส่งผลให้ขนาดของไม้ไอศกรีมเปลี่ยนไปโดยมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน และ ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันเมื่อปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบมีอิทธิพลน้อยมาก หรือไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์

4.2.2 ผลการศึกษาค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

4.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy checking)

นำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสม รวมทั้งความถูกต้องโดยตรวจสอบการแจกแจงปรกติของ ค่าความแข็ง ด้วยกราฟความน่าจะเป็นปรกติ (Normal probability plot) ได้ผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ดังแสดงในรูปที่ 30 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวและมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.19 ผลการกระจายของข้อมูลการทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

4.2.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เมื่อนำค่าวอเตอร์แอคิวิตี้ (water activity) ที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ได้ผลดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดสอบค่าวิเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F	p-value
A	0.039	2	0.019	12.838	0.000
B	0.014	2	0.007	4.781	0.015
C	0.010	2	0.005	3.214	0.053
AB	0.004	1	0.004	2.702	0.109
AC	0.016	4	0.004	2.616	0.052
BC	0.007	4	0.002	1.192	0.332
Block	0.011	4	0.003	1.776	0.156
Error	0.051	34	0.002		
Total	0.152	53			

จากตารางที่ 4.5 สามารถสรุปผลที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้ดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานปัจจัยหลัก

1.1) การทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี (ปัจจัย A)

$$H_0 : \tau_i = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } \tau_i \neq 0$$

จากตารางที่ 4.5 จะได้ว่าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี มีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.2) การทดสอบสมมติฐานของปริมาณน้ำตาล (ปัจจัย B)

$$H_0 : \beta_j = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } \beta_j \neq 0$$

จากตารางที่ 4.5 จะได้ว่าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำตาล มีอิทธิพลผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3) การทดสอบสมมติฐานของเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัย C)

$$H_0 : \gamma_k = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } \gamma_k \neq 0$$

จากตารางที่ 4.5 จะได้ว่าค่า p-value มีค่ามากกว่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการอบ ไม่มีอิทธิพลผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานปัจจัยร่วม

2.1) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล (ปัจจัยร่วม AB)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.5 สังเกตได้ว่า p-value มีค่ามากกว่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล ไม่มีอิทธิพลผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัยร่วม AC)

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.5 สังเกตได้ว่า p-value มีค่ามากกว่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับเวลาที่ใช้ในการอบ ไม่มีอิทธิพลผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ปัจจัยร่วม BC)

$$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$$
$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$$

จากตารางที่ 4.5 สังเกตได้ว่า p-value มีค่ามากกว่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ ไม่มีอิทธิพลผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

หลังจากที่วิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมแล้ว จะทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (Regression equation) ได้ผลดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

แหล่งของความผันแปร	B	SE B	Beta	T-value	Sig level
A	0.002	0.000	0.478	4.255	0.000
B	-0.001	0.000	-0.290	-2.583	0.013
Block	0.017	0.012	0.164	1.458	0.151
constant	0.065	0.076		0.860	0.394

จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยหลัก (Main effect) 2 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี ปริมาณน้ำตาล และ เวลาที่ใช้ในการอบมีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากค่า sig level มีค่า ต่ำกว่า 0.05 และสามารถเขียนสมการถดถอยสำหรับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ได้ดังนี้

วอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) = 0.065 + 0.002 A – 0.001 B

4.2.2.3 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ออกแบบนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความเชื่อมั่นโดยการวิเคราะห์ค่า R^2 (R-square) เพื่อตรวจสอบความเชื่อถือได้ของการออกแบบ ซึ่งค่า $R^{2.}$ ของผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) พบว่ามีค่าไม่สูงนักคือร้อยละ 66.45 หมายความว่า การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้ค่อนข้างเหมาะสมแสดงได้ดังสมการ

$$R^2 = \frac{\text{ผลรวม SS ของ Treatment combination}}{\text{SS Total}} \times 100$$

จะได้ $R^2\left(\text{R-square}\right) = 66.45$

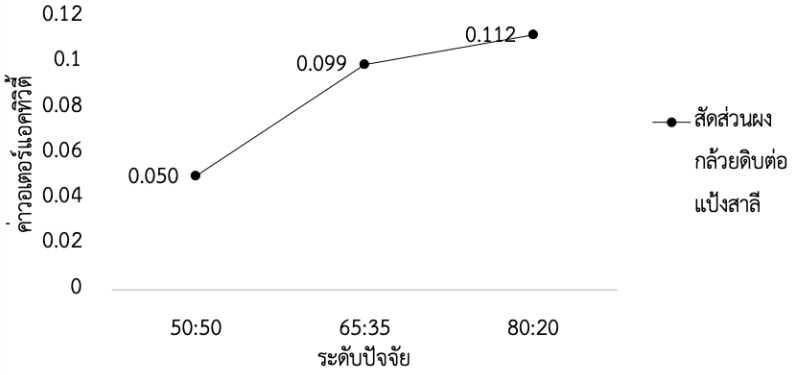
4.2.2.4 การวิเคราะห์และสร้างกราฟตัวแปรตอบสนอง (Response) ของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

การวิเคราะห์และสร้างกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองและปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.20

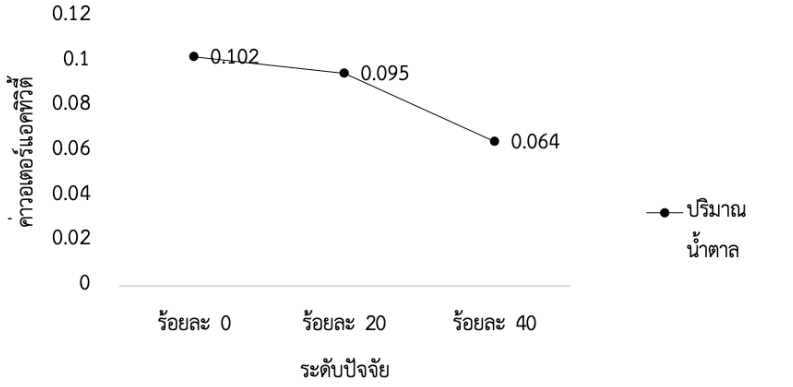
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

ระดับ	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)	
	สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี	ปริมาณน้ำตาล
-	0.050 ± 0.015	0.102 ± 0.065
0	0.099 ± 0.049	0.095 ± 0.054
+	0.112 ± 0.112	0.064 ± 0.025

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของไม้ไอศกรีม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า 2 ปัจจัยหลักได้แก่ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี (ปัจจัย A) และ ปริมาณน้ำตาล (ปัจจัย B) มีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) โดยสรุปได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.20ก แสดงผลของปัจจัยหลักสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี ที่มีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สัดส่วนของผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เพิ่มสูงขึ้น โดยที่สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 ให้ผลค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำที่สุดที่ 0.050 ± 0.002 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.099 ± 0.051 และ 0.112 ± 0.062 เมื่อสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 65:35 และ 80:20 ตามลำดับ โดยเหตุผลสนับสนุนจากงานวิจัยของ Cheok et al. (2018) ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ในผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าที่ผลิตจากแป้งกล้วยเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งสาลี ซึ่งพบว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งกล้วย จะมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีเนื่องจากโครงสร้างของแป้งสาลีที่สามารถกักเก็บโมเลกุลน้ำได้มากกว่า ในขณะที่ผลของปัจจัยปริมาณน้ำตาลดังแสดงในรูปที่ 4.20ข จะส่งผลให้ค่าวอ

เตอร์แอคทิวิตี้มีแนวโน้มลดลง โดยที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 จะให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้สูงสุดที่ 0.102 ± 0.087 และลดลงเป็น 0.095 ± 0.055 และ 0.064 ± 0.025 เมื่อเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และ ร้อยละ 40 ตามลำดับ เนื่องมาจากการที่น้ำตาลไปแย่งชิงปริมาณน้ำอิสระที่ถูกกักเก็บอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์มาใช้ในการละลาย และจะระเหยออกไปเมื่อผ่านการอบ (Chen et al., 2002) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในทุกๆสภาวะการทดลอง มีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่จะทำให้เกิดการเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ค่า 0.6 ดังนั้น จึงสามารถเสนอแนะสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่ให้ผลค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ในระดับที่ดี คือ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีอยู่ในช่วงร้อยละ 50:50 ถึง 80:20 ปริมาณน้ำตาลในช่วงร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 40 และ เวลาในการอบเนื่องจากไม่มีอิทธิพลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ จึงเสนอเวลาที่เหมาะสมในการผลิตไม้ไอศกรีมให้เสียต้นทุนในการผลิตน้อยที่สุดอยู่ที่ 40 นาที

4.3 การคัดเลือกตัวอย่าง

การคัดเลือกตัวอย่างไม้ไอศกรีมที่เหมาะสมเพื่อการใช้งานจริงและนำไปทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคมาจากการพิจารณาสภาวะของไม้ไอศกรีมที่เหมาะสมในการผลิตดังที่ได้วิเคราะห์ผลในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 โดยพบว่าตัวอย่างที่มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับไม้ไอศกรีมจากไม้จริงที่ 74.35 ± 10.2 นิวตัน มากที่สุดจำนวน 3 สภาวะ ได้แก่ตัวอย่างที่มีระดับปัจจัยของปริมาณน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 40 มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีอยู่ที่ 50:50 65:35 และ 80:20 และเนื่องจากผลการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบมีอิทธิพลร่วมกับปัจจัยปริมาณน้ำตาลต่อค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมที่ระดับนัยสำคัญ 0.5 แต่จากการพิจารณาเหตุผลและความเป็นไปได้ในการเกิดความคาดเคลื่อนของการวัดผลสำหรับตัวอย่างที่มีระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลเท่ากับร้อยละ 0 เนื่องจากรอยแตกที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบ ทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบมีอิทธิพลน้อยมาก หรือไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของไม้ไอศกรีม ดังนั้นเพื่อต้นทุนการผลิตที่คุ้มค่ามากที่สุด ปัจจัยของเวลาที่ใช้ในการอบจึงพิจารณาอยู่ที่ 40 นาที

นอกจากนี้จากการสำรวจน้ำหนักไอศกรีมในตลาดจำนวน 30 แท่งที่แตกต่างกัน พบว่าน้ำหนักไอศกรีมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 58.8 ± 17.64 กรัม ดังนั้นตัวอย่างไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่ถูกคัดเลือกจำเป็นต้องทนแรงกดได้อย่างน้อย 0.58 ± 0.17 นิวตัน ซึ่งจากการวัดผลด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าตัวอย่างทั้ง 27 สภาวะในการทดลองมีผลค่าความแข็งเฉลี่ยมากกว่า 0.58 ± 0.17 นิวตัน แต่เนื่องจากลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่มีระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 ในทุกระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี พบว่าเกิดรอยแตกร้าวที่บริเวณผิวหน้าดังแสดงในรูปที่ 4.12

รวมถึงความโก่งงอและไม่สม่ำเสมอของเนื้อผลิตภัณฑ์เล็กน้อยในตัวอย่างที่มีระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 ในทุกระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งอาจส่งผลให้ความแข็งแรงของไม้ไอศกรีมลดลงที่บริเวณรอยแตกร้าวและไม่สามารถรับน้ำหนักไอศกรีมได้ การพิจารณาเพื่อคัดเลือกตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการผลิตจริง และนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจึงจำเป็นต้องพิจารณาจากลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ร่วมกับตัวแปรตอบสนอง

(ก) ร้อยละ 50:50 (ข) ร้อยละ 65:35 (ค) ร้อยละ 80:20

รูปที่ 4.21 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ

(ก) ร้อยละ 50:50 (ข) ร้อยละ 65:35 (ค) ร้อยละ 80:20

รูปที่ 4.22 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่ระดับปัจจัยปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 และปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ

4.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไม้ไอศกรีมอบแห่ง 3 ตัวอย่างที่ผ่านการประเมินคุณลักษณะในด้านเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) คุณภาพทางจุลินทรีย์ (a_w) และลักษณะปรากฏ โดยรวมเพื่อคัดเลือกปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน เพื่อประเมินคุณลักษณะไม้ไอศกรีมทานได้ทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความแข็ง) และความชอบโดยรวม ร่วมกับการให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale

โดยกำหนดให้ 9 = ชอบมากที่สุด, 1= ไม่ชอบมากที่สุด พบว่า ไม้ไอศกรีมที่มีปัจจัยสัดส่วนของผงกล้วยดิบน้อยกว่ามีความแตกต่างจากไม้ไอศกรีมที่มีปัจจัยสัดส่วนของผงกล้วยดิบมากกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 โดยไม้ไอศกรีมที่มีปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 (ตัวอย่างที่ 1) มีคะแนนความชอบของลักษณะปรากฏโดยรวมในด้านสี และกลิ่น รวมถึงเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ไม่ต่างไปจากไม้ไอศกรีมที่มีปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 65:35 (ตัวอย่างที่ 2) และร้อยละ 80:20 (ตัวอย่างที่ 3) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีที่ร้อยละ 50:50 (ตัวอย่างที่ 1) อยู่ในระดับชอบมาก แตกต่างจากตัวอย่างไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 (ตัวอย่างที่ 2) และ 80:20 (ตัวอย่างที่ 3) ที่มีความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง และชอบเล็กน้อยตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีความรู้สึกยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงที่ระดับปัจจัยสัดส่วนสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีทั้ง 3 ระดับ โดยมีระดับปัจจัยของน้ำตาลเท่ากับร้อยละ 40 และเวลาในการอบอยู่ที่ 40 นาที

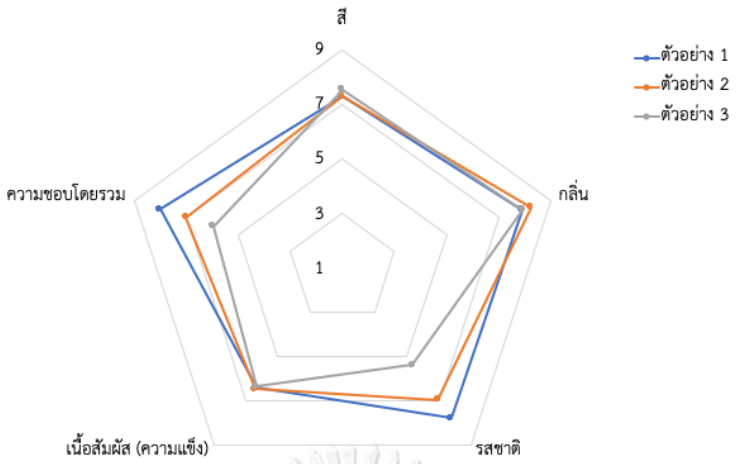
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการยอมรับไม้ไอศกรีมจากผู้บริโภค

ตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความแข็ง)	ความชอบโดยรวม
ตัวอย่างที่ 1	7.27 ± 0.81^{a}	7.90 ± 0.79^{a}	7.77 ± 0.80^{c}	6.37 ± 1.43^{a}	8.00 ± 0.77^{c}
ตัวอย่างที่ 2	7.30 ± 0.78^{a}	8.23 ± 0.76^{a}	6.93 ± 0.89^{b}	6.43 ± 1.31^{a}	7.00 ± 0.82^{b}
ตัวอย่างที่ 3	7.53 ± 0.96^{a}	7.93 ± 0.85^{a}	5.37 ± 1.30^{a}	6.33 ± 1.37^{a}	5.97 ± 0.98^{a}

หมายเหตุ: การประเมินใช้รูปแบบการทดสอบแบบ 9-point Hedonic scale กำหนดให้ 9 = ชอบมากที่สุด, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด (n=30) ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่ากันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลการทดสอบการยอมรับไม้ไอศกรีมจากผู้บริโภค

4.5 การศึกษาอายุการใช้งานของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

อายุการใช้งาน (Shelf life) ของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบจะศึกษาจากการวัดค่าความแข็งและทดลองถือรับประทานไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 จนถึง 80:20 และมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 หลังบรรจุลงบรรจุภัณฑ์คู่กับไอศกรีมจำนวน 15 แท่ง พบว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยของไม้ไอศกรีมลดลงนับจากวันแรกที่ทำการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์จาก 32.3 นิวตัน ลดลงเหลือเพียง 5.4 นิวตันในวันที่ 7 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จนกระทั่งในวันที่ 8 ค่าความแข็งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4.7 นิวตันและพบว่ามีไม้ไอศกรีมบางส่วนที่หักในระหว่างถือรับประทานคู่กับไอศกรีม จึงสามารถสรุปได้เบื้องต้นว่า ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในมีอายุการใช้งาน 7-8 วัน ซึ่งได้ตั้งข้อสังเกตว่า ความแข็งที่ลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาดังกล่าว มีสาเหตุมาจากการดูดซับน้ำจากเนื้อไอศกรีมและสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องด้วยคุณสมบัติในกาของผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากแป้งที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ ที่มีคุณสมบัติเป็น Hydrophobic เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อมในระบบ (Bourlieu et al., 2008)

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดสอบค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมเมื่อบรรจุลงบรรจุภัณฑ์คู่กับไอศกรีม

วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8
ความแข็ง (นิวตัน)	32.30	24.30	21.30	17.00	11.30	8.30	5.40	4.70

4.6 ผลการประเมินความคุ้มค่าเบื้องต้น

4.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

การประมาณต้นทุนการผลิตของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเปรียบเทียบกับไม้ไอศกรีมจากไม้ จะคำนวณได้จากปริมาณไม้ไอศกรีมที่สอดคล้องกับกำลังการผลิตไอศกรีมแบบแท่งในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางจำนวน 20,000 ชิ้นต่อวัน (จากการสำรวจกำลังการผลิตขั้นต่ำโรงงานผลิตไอศกรีมขนาดกลาง) หรือคิดเป็น 4,800,000 ชิ้นต่อปี ดังนี้

4.6.1.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

ในการประมาณการค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบแบ่งเป็นต้นทุนคงที่ คือ ค่าเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องผสมโด (dough mixer) ราคา 12,492 บาท เครื่องผลิตแครกเกอร์ (cracker machine) ราคา 124,920 บาท และ เตาอบแบบอุโมงค์ (Tunnel oven) ราคา 1,717,650 บาท (อ้างอิงราคาจำหน่ายเครื่องจักรสำหรับการนำเข้าจากต่างประเทศโดยคำนวณราคาจากอัตราการแลกเปลี่ยนสกุลเงินที่ 31.23 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2564) รวมเป็นต้นทุนคงที่ทั้งหมด 1,855,062 บาท และ ต้นทุนแปรผัน คือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานด้านต่างๆ ซึ่งสรุปประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปประมาณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

ลำดับ	รายการค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อปี)
1	ค่าวัตถุดิบ	3,379,350.00
2	ค่าแรงงาน	930,000.00
	ค่าแรงงานการปฏิบัติงาน	390,000.00
	ค่าแรงงานผู้จัดการและพนักงานธุรการ	540,000.00
3	ค่าไฟฟ้า	1,702.00
	3.1 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องผสมโด	150.00
	3.2 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องผลิตแครกเกอร์	358.00
	3.3 ค่าไฟฟ้าจากตู้อบแบบอุโมงค์	1,194.00
4	ค่าบำรุงรักษาและค่าเช่า	1,210,000.00
5	ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	185,506.00
	รวมค่าใช้จ่ายในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ	5,705,364.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.10 สรุปราคาประมาณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงานและค่าเช่า ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร และค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดวิธีการคำนวณในแต่ละค่าใช้จ่ายดังนี้

1) ค่าวัตถุดิบ ได้แก่ ผงกล้วยดิบ จากการเก็บข้อมูลราคาผงกล้วยดิบจากเกษตรกรในราคา 345 บาทต่อกิโลกรัม และวัตถุดิบอื่นๆในราคาสำหรับการผลิตระดับอุตสาหกรรม ได้แก่แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ราคา 28 บาทต่อกิโลกรัม น้ำตาลทรายราคา 16 บาทต่อกิโลกรัม และ น้ำ 0.016 บาทต่อกิโลกรัม (อ้างอิงตามราคาจำหน่ายในตลาด) โดยการประมาณปริมาณวัตถุดิบที่คาดว่าจะใช้เป็นอย่างน้อย สำหรับการผลิตไม้ไอศกรีมจำนวน 4,800,000 ชิ้นต่อปี (สำหรับไม้ไอศกรีมชิ้นละ 4 กรัมโดยเฉลี่ยจากการทดลองนำร่อง) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปประมาณค่าวัตถุดิบขั้นต่ำในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

ลำดับ	รายการวัตถุดิบ	ราคาต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)	ปริมาณวัตถุดิบต่อปี (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อปี)
1	ผงกล้วยน้ำว้าดิบ	345.00	9,600.00	3,110,400.00
2	แป้งสาลีเอนกประสงค์	28.00	9,600.00	268,800.00
3	น้ำตาลทราย	16.00	0.00	0.00
4	น้ำ	0.016	9,600.00	152.00
รวมค่าวัตถุดิบ				3,379,352.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ค่าแรงงานประกอบด้วย ค่าแรงงานในการปฏิบัติงาน (วันละ 325 บาท อ้างอิงค่าแรงขั้นต่ำเฉลี่ย วันที่ 12 พฤษภาคม 2564) จำนวน 5 คน รวม 390,000 บาท และค่าแรงงานผู้จัดการโรงงาน 1 คน และพนักงานธุรการ 1 คน รวม 540,000 บาท โดยแบ่งเป็นค่าแรงงานผู้จัดการโรงงาน 360,000 บาทและพนักงานธุรการ 180,000 บาท

3) ค่าไฟฟ้า สำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง จะคิดค่าไฟฟ้าแยกแต่ละเครื่องจักรหลัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1) เครื่องผสมโด (dough mixer) กำลังไฟ 7.5 กิโลวัตต์ ใช้เวลาในการทำงานผสมส่วนผสมจำนวน 19,200 กิโลกรัมต่อปี ประมาณ 6.4 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 149.27 บาท หรือประมาณ 150 บาทต่อปี

3.2) เครื่องผลิตแครกเกอร์ (cracker machine) กำลังไฟ 1.5 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการทำงานผลิตไม้ไอศกรีมจำนวน 19,200 กิโลกรัมต่อปี ประมาณ 76.8 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 358.24 บาท หรือประมาณ 358 บาทต่อปี

3.3) เตาอบแบบอุโมงค์ (tunnel oven) กำลังไฟ 15 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 750 กิโลกรัมต่อชั่วโมงใช้เวลาในการทำงานผลิตไม้ไอศกรีมจำนวน 19,200 กิโลกรัมต่อปี ประมาณ 25.6 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,194 บาทต่อปี

4) ค่าบำรุงรักษา 10,000 บาทโดยประมาณสำหรับงานบำรุงรักษาอะไหล่เครื่องจักรตามรอบการใช้งาน และค่าเช่าที่ 1 ไร่ เดือนละ 100,000 บาท จำนวน 12 เดือน รวม 1,200,000 บาทต่อปี

5) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรแบบเส้นตรงเครื่องละ 10 ปีโดยประมาณ รวม 185,506 บาท

สรุปการประเมินต้นทุนรวมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเฉลี่ยต่อชิ้นโดยที่มีต้นทุนคงที่รวมอยู่ที่ 1,855,062 บาท และต้นทุนแปรผันรวมอยู่ที่ 5,705,364 บาท คิดเป็นต้นทุนรวมอย่างน้อย 7,560,426 บาท หรือเฉลี่ยไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบชิ้นละ 1.57 บาท

4.6.1.2 การคำนวณต้นทุนการผลิตไม้ไอศกรีมจากไม้ภายในประเทศ

ในการประมาณการค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไม้ไอศกรีมจากไม้ โดยอ้างอิงกระบวนการผลิตช้อนไม้ และไม้ไอศกรีมในอุตสาหกรรม และการสอบถามข้อมูลเชิงลึกจากผู้จัดการโรงงานผลิตไม้แปรรูปแห่งหนึ่ง ณ เทศบาลนครปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี แบ่งเป็นต้นทุนคงที่ คือ ค่าเครื่องจักรจำนวน 9 เครื่อง ได้แก่ เตาอบแห้งไม้ (wood drying kiln) ราคา 936,900 บาท และชุดเครื่องผลิตไม้ไอศกรีมอัตโนมัติ ราคา 1,561,500 บาท ประกอบด้วย เครื่องตัดแบบหมุน (rotary cutter) เครื่องเหลา (carve cutting machine) เครื่องขัด (polishing machine) เครื่องจัดเรียง (Stick arranging machine) เครื่องลบมุม (chamfering machine) เครื่องคัดเลือก (Selecting machine) เครื่องมัดกลุ่ม (Bundling machine) และเครื่องบด (knife grinding machine) (อ้างอิงราคาจำหน่ายเครื่องจักรสำหรับการนำเข้าจากต่างประเทศโดยคำนวณราคาจากอัตราการแลกเปลี่ยนสกุลเงินที่ 31.23 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2564) รวมเป็นต้นทุนคงที่ทั้งหมด 2,498,400 บาท และ ต้นทุนแปรผัน คือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานด้านต่างๆ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า ซึ่งสรุปประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานได้ดังตารางที่ 4.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 สรุปประมาณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการผลิตไม้ไอศกรีมจากไม้

ลำดับ	รายการค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อปี)
1	ค่าวัตถุดิบ	28,595.00
2	ค่าแรงงาน	1,476,000.00
	ค่าแรงงานการปฏิบัติงาน	936,000.00
	ค่าแรงงานผู้จัดการและพนักงานธุรการ	540,000.00
3	ค่าไฟฟ้า	7,500.00
	3.1 ค่าไฟฟ้าจากเตาอบแห้งไม้	6,045.00
	3.2 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องตัดแบบหมุน	565.00
	3.3 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องเหลา	114.00
	3.4 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องขัด	571.00
	3.5 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจัดเรียง	19.00
	3.6 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องลบมุม	78.00
	3.7 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องคัดเลือก	19.00
	3.8 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องมัดกลุ่ม	29.00
	3.9 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องบด	61.00
4	ค่าบำรุงรักษาและค่าเช่า	1,210,000.00
5	ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	249,840.00
	รวมค่าใช้จ่ายในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ	2,971,936.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.12 สรุปราคาประมาณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการผลิตไม้ไอศกรีมจากไม้ ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงานและค่าเช่า ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร และค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดวิธีการคำนวณในแต่ละค่าใช้จ่ายดังนี้

1) วัตถุดิบได้แก่ ไม้ ราคา 3,010 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (อ้างอิงจากการกำหนดราคาสำหรับสินค้าไม้ประเภทซุง (กรมศุลกากร, 2560) โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักของไม้ซึ่งเป็นไม้เนื้ออ่อนประมาณ 480 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความต้องการไม้สำหรับผลิตไม้ไอศกรีม 4,560

กิโลกรัมต่อปี โดยคำนวณจากน้ำหนักไม้ไอศกรีมทั่วไปชิ้นละ 0.95 กรัม จะได้ค่าวัตถุดิบเท่ากับ 28,595 บาทต่อปี

2) ค่าแรงงานประกอบด้วย ค่าแรงงานในการปฏิบัติงาน (วันละ 325 บาท อ้างอิงค่าแรงขั้นต่ำเฉลี่ย วันที่ 12 พฤษภาคม 2564) จำนวน 12 คน รวม 936,000 บาท และค่าแรงงานผู้จัดการโรงงาน 1 คน และพนักงานธุรการ 1 คน รวม 540,000 บาท โดยแบ่งเป็นค่าแรงงานผู้จัดการโรงงาน 360,000 บาทและพนักงานธุรการ 180,000 บาท

3) ค่าไฟฟ้า สำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง จะคิดค่าไฟฟ้าแยกแต่ละเครื่องจักรหลัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1) เตาอบแห้งไม้ (wood drying kiln) กำลังไฟ 10.87 กิโลวัตต์ ใช้เวลาในการทำงานอบไม้จำนวน 19,200 กิโลกรัมต่อปี ประมาณ 72 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 6,045.26 บาท หรือประมาณ 6,045 บาทต่อปี

3.2) เครื่องตัดแบบหมุน (rotary cutting machine) กำลังไฟ 2.2 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 564.5 บาท หรือประมาณ 565 บาทต่อปี

3.3) เครื่องเหลา (carve cutting machine) กำลังไฟ 2.2 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 114.25 บาท หรือประมาณ 114 บาทต่อปี

3.4) เครื่องขัด (polishing machine) กำลังไฟ 11 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 571.25 บาท หรือประมาณ 571 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5) เครื่องจัดเรียง (Stick arranging machine) กำลังไฟ 0.37 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 19.22 บาท หรือประมาณ 19 บาทต่อปี

3.6) เครื่องลบมุม (chamfering machine) กำลังไฟ 1.5 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 77.90 บาท หรือประมาณ 78 บาทต่อปี

3.7) เครื่องคัดเลือก (Selecting machine) กำลังไฟ 0.37 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 19.22 บาท หรือประมาณ 19 บาทต่อปี

3.8) เครื่องมัดกลุ่ม (Bundling machine) กำลังไฟ 0.55 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 28.58 บาท หรือประมาณ 29 บาทต่อปี

3.9) เครื่องบด (knife grinding machine) กำลังไฟ 1.18 กิโลวัตต์ กำลังการผลิต 2,300,000 ชิ้นต่อวัน ใช้เวลาในการผลิต 4,800,000 ชิ้นต่อปีประมาณ 16.7 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 61.29 บาท หรือประมาณ 61 บาทต่อปี

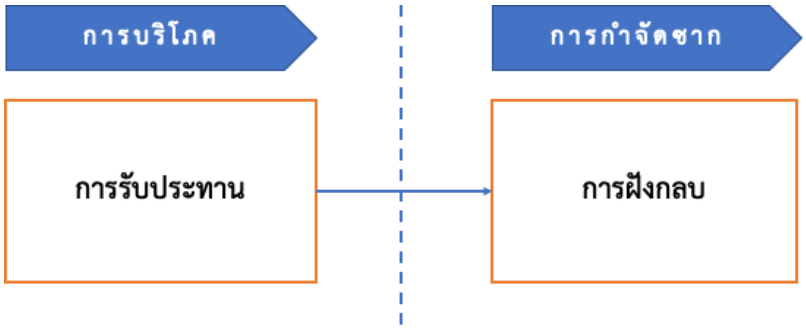
4) ค่าบำรุงรักษา 10,000 บาทโดยประมาณสำหรับงานบำรุงรักษาอะไหล่เครื่องจักรตามรอบการใช้งาน และค่าเช่าที่ 1 ไร่ เดือนละ 100,000 บาท จำนวน 12 เดือน รวม 1,200,000 บาทต่อปี

5) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรแบบเส้นตรงเครื่องละ 10 ปีโดยประมาณ รวม 249,840 บาท

สรุปการประเมินต้นทุนรวมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากไม้เฉลี่ยต่อชิ้นโดยที่มีต้นทุนคงที่รวมอยู่ที่ 2,498,400 บาท และต้นทุนแปรผันรวมอยู่ที่ 2,971,936 บาท คิดเป็นต้นทุนรวมอย่างน้อย 5,470,336 บาท หรือเฉลี่ยไม้ไอศกรีมจากไม้ชิ้นละ 1.14 บาท

4.6.2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการบริโภคและกำจัดซากของผลิตภัณฑ์หลังหมดอายุการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 34 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้งานระหว่างผลิตภัณฑ์แบบดั้งเดิมคือ ไม้ไอศกรีมจากไม้ และผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่กำลังศึกษาคือ ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ โดยการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ถูกกำหนดให้เป็นการฝังกลบทั้ง 2 กรณี ของปริมาณความต้องการไม้ไอศกรีมจำนวน 4,800,000 ชิ้นต่อปี ซึ่งคิดเป็นน้ำหนัก 4,560 กิโลกรัมสำหรับไม้ไอศกรีมจากไม้ และ 19,200 กิโลกรัมสำหรับไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ เมื่อกำหนดขอบเขตและเป้าหมายแล้วจึงวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเพื่อแสดงชนิดและปริมาณของสสารขาเข้า (Input) และ สสารขาออก (output) ของผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องตามขอบเขตการศึกษาที่กำหนดขึ้น โดยข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากข้อมูลทุติยภูมิ (ไม่มีข้อมูลปฐมภูมิหรือไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังไม่มีการผลิตจริง)



รูปที่ 4.24 ขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบและไม้

1) การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

เนื่องจากไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่จะพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถรับประทานได้ การคำนวณคาร์บอนฟุตปริ้นท์จึงคำนวณสำหรับในกรณีที่ผู้บริโภคเลือกรับประทานไม้ไอศกรีมทั้งหมด ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในขั้นตอนการกำจัดซากจึงมีค่าเป็นศูนย์ และปริมาณไม้ไอศกรีมทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวณอยู่ในส่วนของการบริโภค โดยอ้างอิงค่า Emission Factor (EF) จาก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก) ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลปริมาณ ค่า Emission Factor และผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีของกิจกรรมการบริโภคและการกำจัดซากหลังการใช้งานไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

สสารขาเข้า/ออกจากกิจกรรม	ปริมาณ	ค่า EF ($kg\ CO_2e$ /หน่วยปริมาณ)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kg\ CO_2e$)
การบริโภค (รับประทาน)			
ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ	19,200.00 กิโลกรัม	-	0.00
การกำจัดซาก (ฝังกลบ)			
ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ	-	2.53	0.00
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก			0.00

2) การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากไม้

เนื่องจากไม้ไอศกรีมที่ผลิตจากไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถรับประทานได้ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไม้ไอศกรีมจากไม้ในขั้นตอนการบริโภคจึงมีค่าเป็นศูนย์ และปริมาณไม้ไอศกรีมทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวณอยู่ในส่วนของการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน โดยอ้างอิงค่า Emission Factor (EF) จาก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก) ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลปริมาณ ค่า Emission Factor และผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีของกิจกรรมการบริโภคและการกำจัดซากหลังการใช้งานไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

สสารขาเข้า/ออกจากกิจกรรม	ปริมาณ	ค่า EF ($kg\ CO_2e$ /หน่วยปริมาณ)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kg\ CO_2e$)
การบริโภค (รับประทาน)			
ไม้ไอศกรีมจากไม้	-	-	0.00
การกำจัดซาก (ฝังกลบ)			
ไม้ไอศกรีมจากไม้	4,560.00 กิโลกรัม	3.33	15,184.80
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก			15,184.80

จากผลการประเมินความคุ้มค่าเบื้องต้น โดยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเปรียบเทียบกับไม้ไอศกรีมจากไม้แล้ว พบว่า ราคาต่อหน่วยของไม้ไอศกรีมจากไม้ต่ำกว่าไอศกรีมจากผงกล้วยดิบหน่วยละ 0.43 บาทโดยประมาณ แต่หากคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์หรือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ภายใต้ขอบเขตการบริโภคตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุใช้งาน พบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไม้ไอศกรีมจากไม้จำนวน 4,800,000 ชิ้นต่อปี มีค่ามากถึง 15,184.80 หรือประมาณ 15,185 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เทียบกับไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบที่ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบจึงถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่เหมาะสมในการทดแทนไม้ไอศกรีมจากไม้แบบดั้งเดิม

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

เมื่อได้ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการทดลองที่ได้ออกแบบ และวิเคราะห์ผลการตอบสนองของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยด้วยหลักการทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง
- 1) สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี
- 2) ปริมาณน้ำตาล
- 3) ปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีกับปริมาณน้ำตาล
- 4) ปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณน้ำตาลกับเวลาที่ใช้ในการอบ

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)
- 1) สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี
- 2) ปริมาณน้ำตาล

5.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

จากผลการทดลองและนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ สำหรับวิธีการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบด้วยการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี ปริมาณน้ำตาล และเวลาที่ใช้ในการอบให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในด้านความแข็งแรงซึ่งอธิบายได้ด้วยค่าความแข็งและความเปราะของผลิตภัณฑ์ และคุณภาพด้านจุลินทรีย์เพื่อประโยชน์ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และไม่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียที่อาจนำไปสู่ความเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคซึ่งอธิบายได้ด้วยค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) หรือปริมาณน้ำอิสระในอาหาร รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยการประเมินความสามารถในการรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคโดยการทำแบบสอบถาม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Randomize complete block design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ พบว่า สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลี และ ปริมาณน้ำตาลมีผลต่อค่าความแข็งของไม้ไอศกรีม โดยมีผลที่เกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการสำหรับทำนายค่าความแข็งของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบได้คือ ความแข็ง (Hardness) = 34.64 – 0.298 A + 1.778 B -0.0553 AB + 0.000003 $(AB)^2$ + 0.000384 A^2B และเนื่องจากหน้าที่หลักของไม้ไอศกรีมคือ ประคองเนื้อไอศกรีมให้สามารถถือรับประทานได้ ดังนั้น ตัวแปรตอบสนองด้านความแข็งที่มีค่ามากที่สุดจึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด และจากการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบให้มีผลค่าความแข็งมากที่สุด คือ สัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 ปริมาณน้ำตาลที่ร้อยละ 40 และเนื่องด้วยปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบ มีอิทธิพลน้อยมากหรือไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองค่าความแข็ง จึงสรุปปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอบเท่ากับ 40 นาทีเพื่อควบคุมต้นทุนในการผลิตให้น้อยที่สุด ซึ่งทำให้ได้ค่าความแข็งที่ 38.53 นิวตัน และจะมีผลค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ที่ 0.073 โดยที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคอยู่ในระดับปานกลางที่ 5.97 ± 0.98 และให้เหตุผลเพิ่มเติมว่าไม้ไอศกรีมที่มีสัดส่วนผงกล้วยดิบมากกว่าจะมีรสชาติขมกว่า นอกจากนี้ยังมีความเห็นว่าไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบนี้จะสามารถบริโภคคู่กับไอศกรีมได้เป็นอย่างดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง และพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการลดปริมาณขยะที่เกิดจากผลิตภัณฑ์หลังการบริโภค และเป็นการเพิ่มทางเลือกในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้กับเกษตรกรที่ปลูกกล้วย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ดังนี้

5.3.1 งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ผงกล้วยน้ำว้าดิบผสมเปลือกแบบสำเร็จ ซึ่งเป็นแนวคิดในการลดขยะจากเปลือกกล้วย จากแหล่งเดียวกันตลอดการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพระดับเดียวกันในกระบวนการผลิต ดังนั้นหากมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยให้สามารถเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรได้อย่างหลากหลายมากขึ้น จึงควรมีการทดลองผลิตไม้ไอศกรีมจากกล้วยแบบไม่ผสมเปลือก หรือจากกล้วยชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

5.3.2 งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่าการตอบสนองของการทดลองในเชิงคุณภาพทางกายภาพในด้านของเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้งานผลิตภัณฑ์หลังจากการผลิต ดังนั้นหากมีการนำแนวคิดการพัฒนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลิตภัณฑ์ในเชิงของคุณภาพระหว่างการใช้งาน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่าความชื้น รวมถึงอาจมีการเพิ่มสารเคลือบผิวเพื่อให้ไม้ไอศกรีมสามารถใช้งานร่วมกับไอศกรีมได้นานมากยิ่งขึ้น

5.3.3 ผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในงานวิจัยนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จึงควรมีการระบุรายละเอียดของข้อมูลทางโภชนาการ และประโยชน์ของไม้ไอศกรีมที่รับประทานได้จากผงกล้วยดิบบนฉลากของผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในการเลือกซื้อ รวมถึงเป็นการสร้างความโดดเด่นและเน้นจุดแข็งให้กับผลิตภัณฑ์

5.3.4 ผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในงานวิจัยนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกคิดค้นขึ้นใหม่ ซึ่งไม่มีการพัฒนาจากสูตรเดิมแต่อย่างใด ดังนั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จึงมีเพียงวัตถุดิบหลักที่จำเป็นต่อการสร้างผลิตภัณฑ์เท่านั้น หากมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบให้ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคมากขึ้น จึงควรศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆโดยเฉพาะเพิ่มเติม รวมทั้งอาจเพิ่มสารปรุงแต่งที่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางกายภายภาพและทางจุลินทรีย์ของไม้ไอศกรีม

5.3.5 งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยสรุปเลือกใช้แป้งที่มีคุณสมบัติตัวประสานที่ดี คือ แป้งสาลี เพียงชนิดเดียว จากการศึกษาคุณสมบัติของแป้งที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานชนิดต่างๆโดยการสำรวจและค้นคว้างานวิจัยอื่นๆ ดังนั้นหากมีแนวคิดในการพัฒนาคุณภาพของไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบเพิ่มติม จึงควรมีการศึกษาและทดลองโดยใช้แป้งที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดีชนิดอื่นๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมที่อาจมีประสิทธิภาพในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

Chulalongkorn University

5.3.6 ผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบในงานวิจัยนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่อ้างอิงกระบวนการผลิตจาก การผลิตเบเกอรี่ประเภทแครกเกอร์ในอุตสาหกรรม ซึ่งรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะเปลี่ยนแปลงไปหลังจากการอบ เนื่องจากอัตราการพองตัวในแนวดิ่งและหดตัวในแนวราบของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น หากมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีขนาดที่ได้มาตรฐานมากขึ้น จึงควรมีการปรับการสร้างแม่พิมพ์ในขนาดที่เผื่อการหดตัวทางด้านข้าง และเทคนิคอื่นๆที่ช่วยให้ขนาดของไม้ไอศกรีมหลังการอบเป็นไปตามขนาดที่ต้องการ

5.3.7 ในการค้นคว้าและทำการวิจัยครั้งนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้ที่มีอายุอยู่ระหว่าง 20 ถึง 60 ปี ซึ่งจัดเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่อยู่ในช่วงวัยรุ่นไปจนถึงช่วงต้นของผู้สูงอายุ เนื่องจากต้องการควบคุมให้ผู้ทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงสมบูรณ์ในระดับเดียวกัน ดังนั้นหากมี

แนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบไปผลิตจริงในอนาคต จึงควรมีการสำรวจจากบุคคลในช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปีร่วมด้วย เพื่อให้ครอบคลุมถึงกลุ่มลูกค้าในช่วงอายุที่นอกเหนือจากผู้บริโภคที่มีอายุอยู่ในช่วง 20 ถึง 60 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบค่าการตอบสนองของไม้ไอศกรีม

ตารางที่ ก1 เมตริกซ์ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness)

A	B								
	0			20			40		
	C			C			C		
	40	45	50	40	45	50	40	45	50
50	21.46	16.34	21.91	30.29	27.91	20.72	28.38	33.02	35.06
	23.46	14.52	19.03	27.49	24.63	20.17	26.18	30.72	35.56
65	22.22	8.49	14.51	5.78	16.07	20.27	30.12	31.16	32.24
	25.80	3.09	19.82	18.35	17.11	21.03	35.50	30.50	29.40
80	10.18	12.55	15.14	10.48	17.80	19.21	40.96	45.66	34.75
	10.85	10.94	11.67	18.05	17.06	15.40	33.36	41.40	35.04

ตารางที่ ก2 เมตริกซ์ผลการทดสอบค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

A	B								
	0			20			40		
	C			C			C		
	40	45	50	40	45	50	40	45	50
50	0.05	0.07	0.02	0.04	0.06	0.04	0.06	0.08	0.04
	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.07
65	0.08	0.13	0.07	0.13	0.17	0.04	0.06	0.05	0.05
	0.17	0.17	0.08	0.17	0.14	0.05	0.13	0.04	0.06
80	0.13	0.08	0.13	0.13	0.17	0.05	0.08	0.07	0.04
	0.1	0.13	0.3	0.17	0.14	0.08	0.06	0.12	0.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

การวัดขนาดของไม้ไอศกรีมที่เปลี่ยนไปหลังอบ

ตารางที่ ข1 ผลการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างไม้ไอศกรีมก่อนอบและหลังอบเฉลี่ย

สภาวะที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
1	10	8.93	-10.70
2	10	9.02	-9.80
3	10	8.85	-11.50
4	10	8.92	-10.80
5	10	8.47	-15.30
6	10	8.92	-10.80
7	10	8.56	-14.40
8	10	9.50	-5.00
9	10	9.40	-6.00
10	10	9.46	-5.40
11	10	9.33	-6.70
12	10	9.53	-4.70
13	10	8.70	-13.00
14	10	10.00	0.00
15	10	8.13	-18.70
16	10	10.00	0.00
17	10	9.55	-4.50
18	10	9.70	-3.00
19	10	9.73	-2.70
20	10	9.00	-10.00
21	10	9.27	-7.30
22	10	8.57	-14.30
23	10	8.71	-12.90
24	10	9.50	-5.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สภาวะที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
25	10	9.80	-2.00
26	10	9.72	-2.80
27	10	9.70	-3.00

ตารางที่ ข2 ผลการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวไม้ไอศกรีมก่อนอบและหลังอบเฉลี่ย

สภาวะที่	ความยาว (มิลลิเมตร)		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
1	93	88.47	-4.87
2	93	89.24	-4.04
3	93	87.92	-5.46
4	93	88.40	-4.95
5	93	92.31	-0.74
6	93	89.41	-3.86
7	93	89.50	-3.76
8	93	88.60	-4.73
9	93	89.00	-4.30
10	93	90.00	-3.23
11	93	94.30	1.40
12	93	90.33	-2.87
13	93	89.80	-3.44
14	93	92.00	-1.08
15	93	89.83	-3.41
16	93	90.00	-3.23
17	93	93.50	0.54
18	93	88.17	-5.19
19	93	93.50	0.54
20	93	92.00	-1.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สภาวะที่	ความยาว (มิลลิเมตร)		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
21	93	92.17	-0.89
22	93	91.00	-2.15
23	93	91.23	-1.90
24	93	88.55	-4.78
25	93	89.20	-4.09
26	93	89.41	-3.86
27	93	91.12	-2.02

ตารางที่ ข3 ผลการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาไม้ไอศกรีมก่อนอบและหลังอบเฉลี่ย

สภาวะที่	ความหนา (มิลลิเมตร)		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลงร้อยละ
1	3	3.54	18.00
2	3	3.47	15.67
3	3	3.81	27.00
4	3	4.03	34.33
5	3	4.23	41.00
6	3	4.25	41.67
7	3	4.31	43.67
8	3	4.43	47.67
9	3	4.33	44.33
10	3	3.63	21.00
11	3	3.57	19.00
12	3	3.93	31.00
13	3	3.72	24.00
14	3	4.23	41.00
15	3	4.16	38.67
16	3	4.65	55.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สภาวะที่	ความหนา (มิลลิเมตร)		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลงร้อยละ
17	3	4.54	51.33
18	3	4.53	51.00
19	3	4.00	33.33
20	3	4.63	54.33
21	3	4.30	43.33
22	3	3.97	32.33
23	3	4.05	35.00
24	3	4.06	35.33
25	3	4.65	55.00
26	3	4.42	47.33
27	3	4.30	43.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีม

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค1 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค2 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค3 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 50:50 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค4 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค5 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 และ เวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค6 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 65:35 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค7 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 0 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค8 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) 40 นาที (ข) 45 นาที (ค) 50 นาที

รูปที่ ค9 ลักษณะปรากฏของไม้ไอศกรีมที่มีระดับปัจจัยสัดส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 และเวลาที่ใช้ในการอบระดับต่างๆ

ภาคผนวก ง
แบบทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภค

ชุดที่ ....

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ชื่อผลิตภัณฑ์ ไม้ไอศกรีมจากผงกล้วยดิบ

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

คำแนะนำ ทดสอบตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบของตัวอย่าง โดยการให้คะแนนตามคำอธิบายของคะแนน

คะแนนความชอบ
9 = ชอบมากที่สุด
8 = ชอบมาก
7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย
5 = ไม่สามารถบอกได้ว่าชอบหรือไม่
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก
1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความแข็ง)	ความชอบโดยรวม	ความคิดเห็นหากบริโภคคู่กับไอศกรีม
ตัวอย่าง 07						
ตัวอย่าง 16						
ตัวอย่าง 25						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอบพระคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

นางสาว สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์

บรรณานุกรม

Barooah, N., Das, P., Barooah, M. S., Seth, D. K., & Dutta, P. (2018). Storage Studies on Spray Dried Ripe Banana Powder Produced by Response Surface Methodology. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(6), 1922-1933.

Belcourt, L. A., & Labuza, T. P. (2007). Effect of raffinose on sucrose recrystallization and textural changes in soft cookies. *Journal of food science*, 72(1), C065-C071.

Bennamoun, L. (2012). Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1061-1073.

Bezerra, C. V., Rodrigues, A. M. d. C., Amante, E. R., & Silva, L. H. M. d. (2013). Nutritional potential of green banana flour obtained by drying in spouted bed. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(4), 1140-1146.

Bourlieu, C., Guillard, V., Powell, H., Valles-Pamies, B., Guilbert, S., & Gontard, N. (2008). Modelling and control of moisture transfers in high, intermediate and low aw composite food. *Food chemistry*, 106(4), 1350-1358.

Brezet, H. (1997). Ecodesign-A promising approach to sustainable production and consumption. *United Nations Environmental Programme (UNEP)*.

Chauhan, N., & Jethva, K. (2016). Drying characteristics of banana powder. *Indian Journal of Science*, 23(77), 75-88.

Chen, W., Liu, D., & Chen, M. (2002). Effects of high level of sucrose on the moisture content, water activity, protein denaturation and sensory properties in Chinese-style pork jerky. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 15(4), 585-590.

Cheok, C., Sulaiman, R., Manan, N., Zakora, A., Chin, N., & Hussain, N. (2018). Pasting and physical properties of green banana flours and pastas. *International Food Research Journal*, 25(6).

Cordenunsi, B. R., & Lajolo, F. M. (1995). Starch breakdown during banana ripening: sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. *Journal of agricultural and food chemistry*, 43(2), 347-351.

da Mota, R. V., Lajolo, F. M., Cordenunsi, B. R., & Ciacco, C. (2000). Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch-Stärke*,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

52(2-3), 63-68.

Deosarkar, S., Khedkar, C., Kalyankar, S., & Sarode, A. (2016). Ice cream: uses and method of manufacture.

Euromonitor International. (2020). *Ice cream and frozen desserts in thailand* http://www.customs.go.th/statistic_report.php?show_search=1

Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A.-C., & Åman, P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate polymers*, 35(3-4), 119-134.

Guo, P., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., & Wang, S. (2018). Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on in vitro starch digestibility. *Food Hydrocolloids*, 82, 370-378.

Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2016). *Handbook of Food Science and Technology* 1: *Food Alteration and Food Quality*. John Wiley & Sons.

Jiamyangyuen, S., Delwiche, J., & Harper, W. (2002). The impact of wood ice cream sticks' origin on the aroma of exposed ice cream mixes. *Journal of dairy science*, 85(2), 355-359.

Kaushik, R., Sharma, N., Swami, N., Sihag, M., Goyal, A., Chawla, P., Kumar, A., & Pawar, A. (2013). Physico-chemical properties, extraction and characterization of gluten from different Indian wheat cultivars. *Research & Reviews: A Journal of Crop Science and Technology*, 2(1), 1-6.

Lautenberg, R. (2014). *Popsicle sticks*. Retrieved 17 มิถุนายน 2564 from https://prezi.com/nrqcumuxav0z/popsicle-sticks/

Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J.-M., Allaf, K., & Patras, C. (1998). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23-42.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John wiley & sons.

MORRISON, W. R., & KARKALAS, J. (1990). Starch. In *Methods in plant biochemistry* (Vol. 2, pp. 323-352). Elsevier.

Mossel, D. (2012). Water and micro-organisms in foods–a synthesis. *Water Relations of Foods, RB Duckworth, Ed.(Academic, London,* 1975), 347-361.

Mujumdar, A. S., & Menon, A. S. (1995). Drying of solids: principles, classification, and

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

selection of dryers. *Handbook of industrial drying*, 1, 1-39.

Schindler, H. J., Stengel, E., & Spiess, W. E. (1998). Feedback control during mastication of solid food textures—a clinical-experimental study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 80(3), 330-336.

Sluková, M., Levkova, J., Michalcova, A., & Skřivan, P. (2017). Effect of the dough mixing process on the quality of wheat and buckwheat proteins. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(6), 522-531.

Smith, W. F. (1986). Principles of materials science and engineering.

Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics a. *Journal of food science*, 28(4), 385-389.

Varzakas, T., Labropoulos, A., & Anestis, S. (2012). *Sweeteners: nutritional aspects, applications, and production technology*. CRC Press.

Wade, P. (1972). Technology of biscuit manufacture: Investigation of the role of fermentation in the manufacture of cream crackers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(8), 1021-1034.

Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food microbiology*, 24(2), 115-119.

Zhou, W., Therdthai, N., & Hui, Y. (2014). Introduction to baking and bakery products. *Bakery products science and technology*, 1-16.

กรมศุลกากร. (2563). สถิติการนำเข้า-ส่งออก http://www.customs.go.th/statistic_report.php?show_search=1

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). รายงานสรุปข้อมูลสำคัญของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ https://data.moac.go.th/

คมจันทร์ สรงจันทร์, ศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์, ปรางค์ทอง กวานห้อง และ งามพิศ สุดเสน่ห์. (2559). การประเมินการสูญเสียตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงผู้บริโภคของกล้วยไข่ในจังหวัดจันทบุรี. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 3, 14-21.

จุฑามาศ พีรพัชระ. (2554). โครงการการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วยเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ (ปีที่ 2).

ชวลิต สุทธาโรจน์. (2527). ระบบตลาดอุตสาหกรรมของแป้งสาลีในเขตกรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/37185

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. (2556). ผลของกระบวนการอบแห้งต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากผลไม้. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนกิจ ถาหมี, ฟิไลรักษ์ อินธิปัญญา, เมทณี นพคุณ และ ดุษฎี บุญธรรม. (2561). การศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมของ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหม่อนผสมลำไยชนิดแท่ง. วารสารวิชาการเกษตร, 36.

ธนาภร รติธรรมธร. (2559). ผลของการให้ความร้อนและการทำให้เย็นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการ ย่อยของแป้ง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 21(2), 246-259.

น้ำฝน ศีตะจิตต์. (2550). เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ เคมีเชิงฟิสิกส์ ของแป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้งกล้วยหอมทอง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, กรุงเทพฯ.

ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. (2543). รายงานผลการวิจัยภายใต้โครงการพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ในสถาบันราชภัฏ (พวส.) พ.ศ. 2540-2544. https://books.google.co.th/books?id=0Of-xgEACAAJ

พวงพร ลิ่มศิลา. (2545). เครื่องจักรกลใส่ไส้ขนม (โครงงานวิศวกรรมการอาหารภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

พีศัลย์ จั่นมุกดา. (2545). การขึ้นรูปขนมปั้นขลิป. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

วลัย หุตะโกวิท , บุษรา สร้อยระย้า, ชมภูนุช เผื่อนพิภพ และ ดวงกมล ตั้งสถิตพร. (2553). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วยด้วยเทคโนโลยีเอกซ์ทรูชัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

วิภาวัน จุลยา และ รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์. (2550). การประยุกต์ใช้มอลต์สกัดในผลิตภัณฑ์คุกกี้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). ภาพรวมการปลูกไม้ผล: ปีการเพาะปลูก 2561

สกาวรัตน์ กษมาประพฤทธิ และ ฉัตรชัย คุณค้ำชู. (2541). การสร้างเครื่องวัดเนื้อสัมผัสอัตโนมัติ (โครงงานวิศวกรรมการอาหารภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สถาพร นิ่มสกุลรัตน์. (2548). ยาเม็ด. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารปี 2561 http://impexp.oae.go.th/service/export.php

สำนักงานจัดการกากของเสียและอันตราย. (2551). คู่มือแนวทางการลด คัดแยก และใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอยสำหรับอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้าน. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงโตเกียว. (2562). แนวโน้มการบริโภคพลาสติกชีวภาพในภาคธุรกิจญี่ปุ่น. https://www.ditp.go.th/contents_attach/561762/561762.pdf

สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์ และ สุดใจ คงทอง. (2537). การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดโพลีแซกคาไรด์จากเปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และ กล้วยหอม. http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2553/4210

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. *Emission Factor* (2559) [ระบบออนไลน์]

http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	15 เมษายน 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	123/1200 ชัยพฤกษ์ เทพารักษ์ บางปลา บางพลี สมุทรปราการ 10540

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University