การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน

นางสาวเพียงขวัญ ไชยนันตา

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2561

Development of Steak from Pork Scrap by Binding Technique

Miss Phiengkwan Chainanta

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Science in Industrial Technology

School of Science and Technology

Sukhothai Thammathirat Open University

2018

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน
ชื่อและนามสกุล	นางสาวเพียงขวัญ ไชยนันตา
แขนงวิชา	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์สุภาวดี ธีรธรรมากร

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2561

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุภาวดี ธีรธรรมากร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ)

.....
(รองศาสตราจารย์ผกามาศ ผจญแกล้ว)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน
ผู้ศึกษา นางสาวเพียงขวัญ ไชยนันตา **รหัสนักศึกษา** 2589600747
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์สุภาวดี ธีรธรรมากร **ปีการศึกษา** 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมประสานเศษเนื้อสุกรให้เป็นสินค้าต้นแบบสเต็ก โดยใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เป็นสารเชื่อมประสานทางการค้าที่แตกต่างกันสองชนิด (บริษัท A และบริษัท B) และศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพสินค้าต้นแบบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กที่จำหน่ายทั่วไป กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงใหม่

วิธีดำเนินการศึกษามี 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การศึกษาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำเนื้อสเต็ก (2) การทดลองหาชนิดและความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมต่อการนำเศษเนื้อสุกรมาผลิตเป็นเนื้อสเต็ก (3) การทดสอบคุณภาพของต้นแบบเนื้อสเต็ก โดยการทดสอบการยึดติดกันของเนื้อทั้งก่อนปรุงสุกและหลังจากปรุงสุก จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็ง ความเหนียว และทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบสเกลเฮโดนิก 9 จุด เทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กที่ปรุงสุกแล้ว โดยใช้ ANOVA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิจัยพบว่า (1) สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 เป็นปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเชื่อมประสานเศษเนื้อสุกรเป็นเนื้อสเต็ก เนื่องจากสามารถประสานเศษเนื้อติดเป็นแผ่นเดียวกันได้ดี (2) การใช้ปริมาณสัดส่วนเนื้อต่อไขมันที่ร้อยละ 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนักเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก (3) ต้นแบบเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็ง ความเหนียว และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก

คำสำคัญ การพัฒนาต้นแบบสเต็ก เทคนิคการประสาน เศษเนื้อสุกร เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

Independent Study title: Development of Steak from Pork Scrap by Binding Technique.
Author: Miss. Phiengkwan Chainanta; **ID:** 2589600747**;**
Degree: Master of Science (Industrial Technology)
Independent Study advisor: Supawadee Theerathammakorn, Associate Professor.
Academic year: 2018

Abstract

This experimental research aimed to search for the type and appropriate amount of binders for binding pork scrap to be pork steak using two different transglutaminase enzymes as the binding substances (A company and B company) and to compare quality between samples with a collar steak product. The case study was a pork processing plant in Chiangmai province.

The research process was done in three steps: (1) the study of an appropriate amount of pork scrap and fat for steak formation, (2) the experiment to determine the type and the appropriate concentration of binder for forming pork steak from pork scrap, and (3) the binding property testing of steak from pork scrap both before and after cooking. Subsequently, the tensile strength, hardness, toughness, and sensory test by a 9-point hedonic scale were analyzed to compare steaks form pork scrap with a cooked collar steak product. The employed statistical analysis was ANOVA.

The findings revealed that: (1) the appropriate binder from B company at 1.5 percent was the most suitable concentration to bind scrap together in the same sheet like pork steak. (2) the appropriate proportion of pork meat and fat was at 80 to 20 percent by weight respectively. (3) the prototype of steak from pork scrap gave the strength, tensile strength, hardness, toughness, and sensory test results with no statistical difference at 0.05 level when compared to collar steak product.

Keywords: Prototype of steak, Binding technique, Pork scrap, Transglutaminase

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ สุภาวดี ธีรธรรมากร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และรองศาสตราจารย์ ดร. ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ ที่กรุณาตรวจสอบ ทำให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำแขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือการวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนอบรมวางรากฐานการศึกษาด้านสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เจ้าของหนังสือ ตำรา วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้อ้างอิงในการค้นคว้าอิสระครั้งนี้

ขอขอบคุณทีมงาน เพื่อนร่วมงาน และหัวหน้างาน ที่บริษัท ที่คอยแนะนำ ให้ข้อมูล ทำแบบทดสอบ และสนับสนุนเรื่องวัสดุอุปกรณ์การทดลองบางรายการ จนสามารถทำการทดลองได้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติที่ใกล้ชิด ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนอย่างดียิ่งเสมอมา

เพียงขวัญ ไชยนันตา

ตุลาคม 2561

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์การศึกษา 3
กรอบแนวคิดการวิจัย 3
ขอบเขตของการวิจัย 4
นิยามศัพท์เฉพาะ 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7
เศรษฐกิจการปศุสัตว์ของประเทศไทย 7
กระบวนการแปรรูปสุกรเบื้องต้น 13
เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 16
การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส 28
การเตรียมตัวอย่างเนื้อสำหรับการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ 34
การทดสอบเนื้อสัมผัสในอาหาร 39
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 45
การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ 45
วิธีดำเนินการศึกษา 46
วิเคราะห์ผลการทดลอง 52
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 54
การศึกษาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการเชื่อมประสาน 54
การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง 59
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 65
สรุปการศึกษา 65
อภิปรายผล 68
ข้อเสนอแนะ 70
บรรณานุกรม 72
ภาคผนวก 76
ก ตารางผลการทดสอบ 77
ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 86
ค รายนามผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส 88
ง คุณลักษณะสินค้าสันคอหมูสเต็กที่นำมาศึกษา 91
จ ภาพกิจกรรม 93
ประวัติผู้ศึกษา 99

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แนวโน้มการเคลื่อนไหวราคาสินค้าปศุสัตว์ในช่วง พ.ศ. 2559 – 2565 12

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 18

ตารางที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิภายในเนื้อสเต็กจากการปรุงสุกต่อคุณภาพเนื้อ 38

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาปริมาณสัดส่วนเนื้อต่อไขมันของสินค้าสันคอหมูสเต็ก 54

ตารางที่ 4.2 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A และบริษัท B หลังขึ้นรูป 55

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากปรุงสุก 58

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก 59

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งและความเหนียวของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก 62

ตารางที่ 4.6 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก 63

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของสินค้าสันคอหมูสเต็กและตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 68

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย 4
ภาพที่ 2.1 การพยากรณ์ปริมาณความต้องการเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ 8
ภาพที่ 2.2 การพยากรณ์รายจ่ายเพื่อการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ 9
ภาพที่ 2.3 สัดส่วนจำนวนประชากรไทยที่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ 11
ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาย้ายหมู่เอซิลจากอนุมูลกลูตามีนของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 19
ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างอนุมูลกลูตามีน และเอมีนของไลซีนของ
เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 19
ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาแยกหมู่เอมีนของโปรตีนที่มีอนุมูลกลูตามีนของเอ็นไซม์
ทรานส์กลูตามิเนส 20
ภาพที่ 2.7 แบบทดสอบสเกลเฮโดนิก 9 จุด (9 – point hedonic scale) 33
ภาพที่ 2.8 ลักษณะแรงกดที่กระทำต่อตัวอย่าง 40
ภาพที่ 2.9 Texture Analyzer 40
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการหาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก 46
ภาพที่ 3.2 สินค้าสันคอหมูสเต็ก 47
ภาพที่ 3.3 การเตรียมสารเชื่อมประสาน และการคลุกสารเชื่อมประสานกับเนื้อ 47
ภาพที่ 3.4 บล็อคขึ้นรูป 48
ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างทดลองหลังการขึ้นรูป และตัดเป็นชิ้นสเต็ก 48
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการทดลองพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อ 49
ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างชิ้นเนื้อหมูทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง 50
ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างชิ้นเนื้อหมูทดสอบค่าความแข็งและความเหนียว 51
ภาพที่ 3.9 รูปแบบการเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิม 52
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล 53
ภาพที่ 4.1 ลักษณะการยึดติดของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A
หลังการขึ้นรูป 56
ภาพที่ 4.2 ลักษณะการยึดติดของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B
หลังการขึ้นรูป 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.3 ลักษณะการยึดติดของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B หลังการปรุงสุก 58
ภาพที่ 4.4 กราฟ Box plot แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของสินค้าสันคอหมูสเต็กและตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 60
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างก่อนจะเกิดรอยแยกของสินค้าสันคอหมูสเต็กและตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 61

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื้อหมูเป็นอาหารในหมวดโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกายอย่างมาก เพราะร่างกายต้องการนำโปรตีนไปเสริมสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ โปรตีนมีส่วนช่วยรักษาดุลน้ำ โดยโปรตีนที่อยู่ในเซลล์และในหลอดเลือดจะช่วยรักษาปริมาณน้ำในเซลล์และในหลอดเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสม และโปรตีนยังช่วยรักษาดุลกรดด่างของร่างกาย เนื่องจากมีกรดอะมิโนหลายชนิด จึงถือว่าโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในร่างกาย

เนื้อหมูเป็นเนื้อสัตว์ชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาบริโภคไม่แพ้เนื้อสัตว์ชนิดอื่น โดยเฉพาะในประเทศแถบทวีปเอเชียและทวีปยุโรป เพราะสามารถนำมาประกอบอาหารได้ตั้งแต่อาหารจานเดียวง่าย ๆ ไปจนถึงอาหารหรูระดับภัตตาคาร ความนิยมในการบริโภคเนื้อหมู เนื่องมาจากรสชาติความอร่อย เนื้อสัมผัส และความนุ่มลิ้นเมื่อนำมาประกอบเป็นอาหาร แต่ละเมนูก็จะแสดงถึงวัฒนธรรมของแต่ละท้องถิ่นอีกด้วย (ปรางวลัย พลูทวี, 2561) เนื้อหมู ถือเป็นวัตถุดิบหลักในการทำอาหารของคนไทย ปัจจุบันเนื้อหมูได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลายประเภท เช่น แกง ทอด ต้ม รวมถึง อาหารปิ้งย่าง ชาบู และสเต็ก ความต้องการเนื้อหมูของผู้ประกอบการและผู้บริโภค จึงมีเพิ่มขึ้นมากกว่าในอดีต ส่งผลให้อุตสาหกรรมผู้ผลิตเนื้อหมูมีจำนวนมากขึ้นตาม เกิดการแข่งขันทั้งด้านคุณภาพ ราคา และการให้บริการต่าง ๆ ผู้ผลิตจึงต้องหาวิธี หรือกลยุทธ์ในการดึงดูดลูกค้าให้มาซื้อสินค้าของตนมากกว่าของคู่แข่ง พร้อมทั้งต้องหาวิธีการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มกำไรทางธุรกิจด้วยเช่นกัน

ข้อมูลของโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ มีกำลังการผลิต 450 ตัวต่อวัน มีผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ เนื้อหมู เครื่องในหมู และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อหมู เช่น ลูกชิ้น หมูหมัก หมูแดดเดียว และหมูปิ้ง เป็นต้น จัดจำหน่ายทั่วภาคเหนือของประเทศไทย กลุ่มลูกค้าที่สำคัญ ได้แก่ ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงเรียน วัด โรงพยาบาล ตลาดสด และร้านเบทาโกรช็อป ในการผลิตสินค้าส่วนใหญ่ต้องผ่านกระบวนการตัดแต่งเพื่อให้ได้ตามลักษณะที่กำหนดไว้ เช่น การตัดแต่งสินค้ากลุ่มผลิตภัณฑ์หลัก (main product) ได้แก่ สะโพก ไหล่ สันนอก

สันคอ สามชั้น และสันใน มีการตัดแต่งเนื้อ มัน เส้นเอ็น ส่วนที่ไม่ได้รูปทรง ส่วนที่มีลักษณะขาดรุ่งริ่งออก และมีการตัดแต่งเนื้อ เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการแปรรูปต่อ เช่น การหั่น การบด การซอย และการสไลด์ เป็นต้น จึงทำให้มีเศษเนื้อชิ้นเล็ก ๆ เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดแต่งจำนวนมาก เศษเนื้อที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก รูปร่างและขนาดไม่แน่นอน โดยทางโรงงานได้แยกประเภทเศษเนื้อออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ 1) เศษเนื้อล้วน คือ เศษเนื้อที่มีปริมาณไขมันติดเล็กน้อยไม่เกินร้อยละ 10 ของเนื้อหมู 2) เศษเนื้อติดมัน คือ เศษเนื้อที่มีปริมาณไขมันติดร้อยละ 20 ถึง 30 ของเนื้อหมู 3) เศษมันล้วน คือไขมันที่มีเนื้อติดเล็กน้อย มีปริมาณไขมันเกินร้อยละ 90 ของเนื้อหมู และ 4) เศษเนื้อสามชั้น คือ เศษที่ได้จากการตัดแต่งเนื้อสามชั้น มีไขมันประมาณร้อยละ 50 ของเนื้อหมู (จากการสัมภาษณ์คุณจักรพันธ์ กันธิยะ (2561) ตำแหน่งผู้จัดการส่วนผลิต)

จากการเก็บข้อมูลปริมาณเศษเนื้อที่ผลิตได้ ณ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2560 ของโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีเศษเนื้อล้วน เฉลี่ย 809 กิโลกรัมต่อวัน เศษเนื้อติดมัน เฉลี่ย 455 กิโลกรัมต่อวัน เศษมันล้วน เฉลี่ย 392 กิโลกรัมต่อวัน และเศษเนื้อสามชั้น เฉลี่ย 78 กิโลกรัมต่อวัน โดยเศษเนื้อเหล่านี้นำมาขายเป็นสินค้าราคาถูก ราคาเฉลี่ย 40 - 98 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับราคาสินค้ากลุ่มผลิตภัณฑ์หลัก ที่ราคาเฉลี่ย 111 - 145 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาประกาศของบริษัท ณ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2560) จากข้อมูลดังกล่าว พบว่า มูลค่าของสินค้าลดลงอย่างมาก ทำให้บริษัทสูญเสียกำไรที่ควรได้รับไปประมาณ 60 บาทต่อกิโลกรัม

จากข้อมูลดังที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้เป็นแนวทาง ในการเพิ่มมูลค่าสินค้ากลุ่มเศษเนื้อโดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น สามารถขายได้ในราคาที่สูงกว่าเดิม ประกอบกับปัจจุบันสินค้าสันคอสเต็กหมูเป็นที่นิยมจากลูกค้ากลุ่มร้านอาหารอย่างมาก โดยข้อมูลการสั่งซื้อประจำเดือนของโรงงาน ณ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2560 พบว่า สินค้าสันคอสเต็กมียอดขายเฉลี่ย 520 กิโลกรัมต่อเดือน และยังคงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ นักวิจัยจึงมีความประสงค์ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน (binding technique) โดยการใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (trans-glutaminase) เป็นสารเชื่อมประสาน ที่สามารถถูกย่อยสลายและถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารได้ปกติและปลอดภัยเหมือนกับโปรตีนทั่วไป เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์และลดปริมาณของเสีย ทำให้เกิดประโยชน์ต่อการบริหารการผลิตของบริษัทต่อไป

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

2.1 ศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมประสานเศษเนื้อสุกรให้เป็นสินค้าต้นแบบสเต็ก

2.2 ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพต้นแบบสเต็กจากเศษเนื้อสุกรกับสินค้าสันคอหมูสเต็กที่จำหน่ายทั่วไป

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้ต้องการเพิ่มมูลค่าสินค้ากลุ่มเศษเนื้อที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่ง ให้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถขายได้ในราคาที่สูงขึ้น ช่วยเพิ่มกำไรทางธุรกิจ ด้วยวิธีการใช้เทคนิคการประสาน โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 1.1

3.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

3.1.1 ชนิดของสารเชื่อมประสาน (binder) หรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 2 ชนิด ได้แก่ จากบริษัท A และบริษัท B โดยรายละเอียดดังนี้

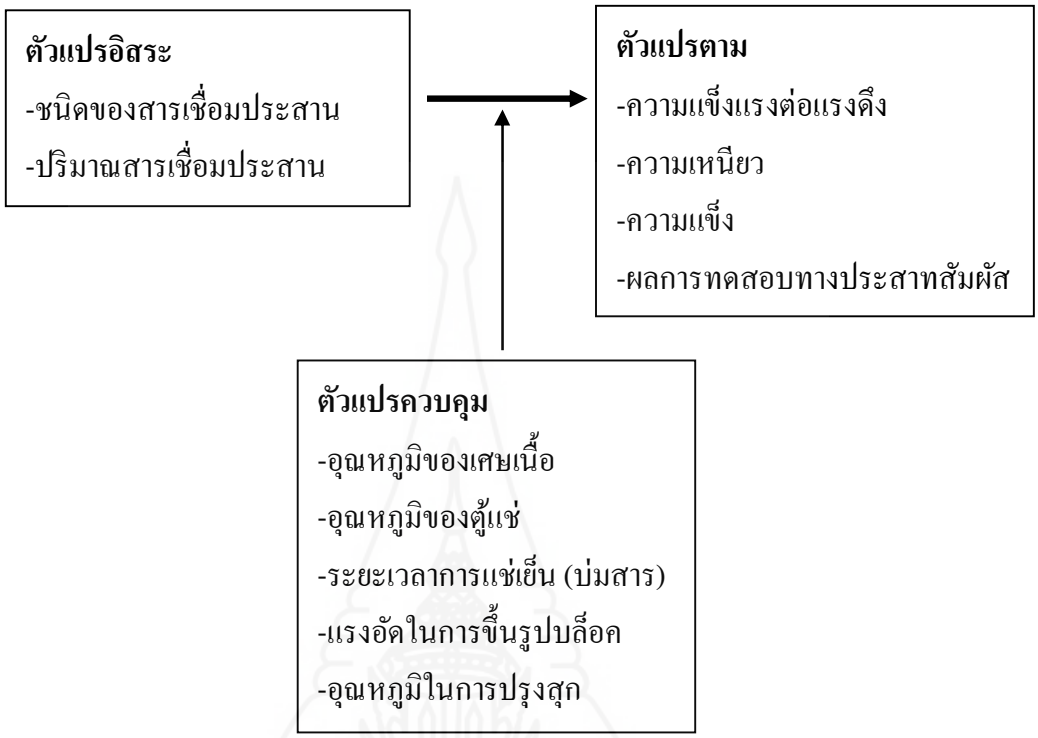
1) สารเชื่อมประสานบริษัท A : มีลักษณะเป็นผงสีเนื้ออ่อน ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ปริมาณใช้ที่แนะนำ คือ ร้อยละ 0.7-1.5 จัดเก็บไว้ในที่สภาวะเย็นและแห้ง อายุการจัดเก็บ 1 ปี ราคาขาย 890 บาทต่อกิโลกรัม

2) สารเชื่อมประสานบริษัท B : มีลักษณะเป็นผงสีขาว ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เจลาติน (gelatin) เกลือ และฟอสเฟต (phosphate) อายุการจัดเก็บ 1 ปี ปริมาณใช้ที่แนะนำ คือ ร้อยละ 0.7-1.5 จัดเก็บไว้ในที่สภาวะเย็นและแห้ง หรือที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ราคาขาย 1,600 บาทต่อกิโลกรัม

ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ที่ร้อยละ 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 และ1.5 ต่อน้ำหนักเนื้อหมู

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพการประสานติดกันของเศษเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความเหนียว ความแข็ง และผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.3 *ตัวแปรควบคุม* ได้แก่ อุณหภูมิของเศษเนื้อ อุณหภูมิของตู้แช่ ระยะเวลาการแช่เย็น (บ่มสาร) แรงอัดในการขึ้นรูปบล็อค และอุณหภูมิในการปรุงสุก



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ขอบเขตด้านการศึกษาและทดลอง

เป็นการหาปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม สำหรับผลิตสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อจากโรงงานแปรรูปสุกร ใช้เทคนิคการประสานเนื้อให้เชื่อมติดกันด้วยสารเชื่อมประสานเนื้อ ได้แก่ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TGase) โดยพิจารณาผลการทดลองจากการประสานติดกันของเนื้อแบบสุ่มตำแหน่ง ทั้งที่หลังจากการขึ้นรูป และหลังจากการปรุงสุกแล้ว วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา คือ เศษเนื้อจากกระบวนการตัดแต่ง ของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ บริษัทเบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดเชียงใหม่

4.2 ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาการศึกษาครั้งนี้อยู่ระหว่างวันที่ 15 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 15 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 เศษเนื้อ หมายถึง เนื้อหมูสด คุณภาพเหมือนกับเนื้อปกติทั่วไป แต่มีขนาดชิ้นเล็ก รูปร่างไม่แน่นอน ได้จากการตัดแต่งเนื้อชิ้นใหญ่ อาจมีส่วนประกอบอื่นติดมา เช่น ไขมัน กระดูก เอ็น และพังผืด เป็นต้น

5.2 สเต็ก หมายถึง เนื้อสัตว์หั่นเป็นชิ้นขนาดกว้างประมาณ 10-15 เซนติเมตร ยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร หนาประมาณ 1-3 เซนติเมตร ผ่านการหมักปรุงรส และย่างหรือทอดด้วยน้ำมันเล็กน้อย จนได้อุณหภูมิภายในเนื้อที่พอเหมาะ หลังจากผ่านการย่างหรือทอดแล้วเนื้อสเต็กไม่แยกเป็นชิ้นออกจากกัน

5.3 เทคนิคการประสาน หมายถึง การใช้สารเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมหลัก คือ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เพื่อเชื่อมประสานเศษเนื้อ และอัดขึ้นรูปใหม่ในบล็อคขึ้นรูป

5.4 สารเชื่อมประสาน หมายถึง ส่วนผสมที่ใช้เพื่อเชื่อมประสานเศษเนื้อ 2 ชิ้นขึ้นไป ให้สามารถติดกันเป็นชิ้นเดียว

5.5 เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส หมายถึง เอ็นไซม์ที่สามารถพบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อและของเหลวในร่างกายของสัตว์ชั้นสูง ปลา พืชบางชนิด และในจุลินทรีย์ มีหน้าที่ประสานให้เกิดโครงสร้างของโปรตีน โดยการสร้างพันธะระหว่างกรดอะมิโน 2 ชนิด เรียกว่า พันธะ G-L ทั้งภายในและระหว่างสายโพลิเปปไทด์ มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีน ได้แก่ ความสามารถในการเกิดเจล ความหนืด ความเสถียรต่อความร้อน และความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ ดังนี้

6.1 โรงงานแปรรูปสุกรทั่วไป สามารถพัฒนาต้นแบบสเต็กหมูจากเศษเนื้อ โดยทราบชนิดและความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการใช้ขึ้นรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าของเศษเนื้อ

6.2 โรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์ทั่วไป สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเนื้อสัตว์ และเป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตของโรงงานให้มีประสิทธิภาพ

6.3 ผู้ประกอบการที่สนใจหรือกำลังศึกษาการใช้ประโยชน์จากเอ็นไซม์ทรานส์กลูตา-มิเนส สามารถทราบถึงสมบัติของสารและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้

6.4 ผู้บริโภค เพื่อเป็นแนวทางเพิ่มทางเลือกการบริโภคผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้มีความหลากหลายยิ่งขึ้น

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมประสานเศษเนื้อสุกรให้เป็นสินค้าต้นแบบสเต็ก และ 2) ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพต้นแบบสเต็กจากเศษเนื้อสุกรกับสินค้าสันคอหมูสเต็กที่จำหน่ายทั่วไป ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเด็น ดังนี้

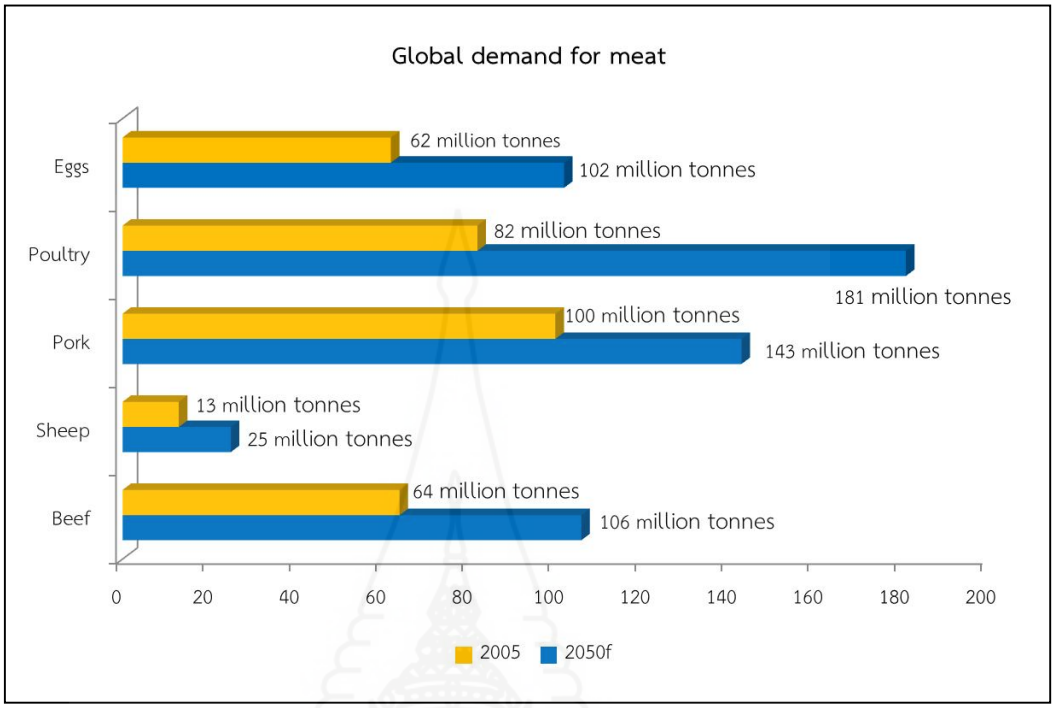
1. เศรษฐกิจการปศุสัตว์ของประเทศไทย
2. กระบวนการแปรรูปสุกรเบื้องต้น
3. เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส
4. การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส
5. การเตรียมเนื้อสเต็กสำหรับการทดสอบ
6. การทดสอบเนื้อสัมผัสในอาหาร
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   7.1 งานวิจัยในประเทศ
   7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

1. เศรษฐกิจการปศุสัตว์ของประเทศไทย

กรมปศุสัตว์และสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (2561) ได้กล่าวถึง เรื่องเศรษฐกิจปศุสัตว์ของประเทศไทยและต่างประเทศ ไว้ในแผนยุทธศาสตร์กรมปศุสัตว์ พ.ศ.2561-2565 ดังนี้

1.1 ทิศทางเศรษฐกิจการปศุสัตว์โลก

ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ของประชากรโลก ในอีก 9 ปีข้างหน้า มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น โดยการพยากรณ์ขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) Bill Gates (2013) เรื่องปริมาณความต้องการเนื้อสัตว์ของประชากรโลก ยืนยันว่า ความต้องการเนื้อสัตว์ปีกมีค่ามากที่สุดถึง 181 ล้านตัน รองลงมาคือ เนื้อหมู ที่มีความต้องการมากถึง 143 ล้านตัน แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การพยากรณ์ปริมาณความต้องการเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์

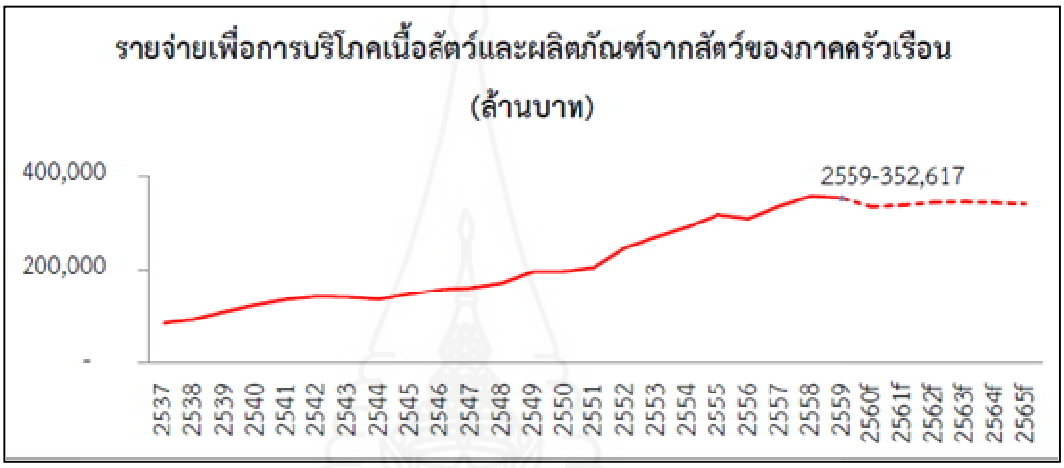
ที่มา: Bill Gates. (2013)

เมื่อความต้องการเนื้อสัตว์มีมากขึ้น ทำให้การปศุสัตว์ของโลกและของแต่ละประเทศต้องมีการพัฒนายกระดับมาตรฐาน ให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของประชากรโลก และต้องทันต่อสภาพเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย

นอกจากนี้ ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการบริโภคเนื้อสัตว์ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ สัตว์ปีก เนื้อหมู และเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ ของประชากรโลก มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องไปกับจำนวนประชากรและขนาดเศรษฐกิจของโลกที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.2 จึงกล่าวได้ว่า ความต้องการปศุสัตว์มีความสัมพันธ์กับจำนวนของประชากรและภาวะเศรษฐกิจอย่างชัดเจน

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559) ได้รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม พ.ศ. 2560 ว่า ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2555 – 2559) การผลิตเนื้อสุกรของประเทศต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอัตราร้อยละ 0.48 ต่อปี ในพ.ศ. 2559 การผลิต

เนื้อสุกรของโลกมีปริมาณรวม 108.20 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2558 ซึ่งมีปริมาณ 111.38 ล้านตัน อัตราการเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 2.86 จากเดิม ส่วนใหญ่ประเทศต่าง ๆ มีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ อาทิ สหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกา ผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.13 และร้อยละ 1.95 ตามลำดับ ส่วนประเทศเวียดนามมีอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.36 ใกล้เคียงกับประเทศไทย



ภาพที่ 2.2 การพยากรณ์รายจ่ายเพื่อการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2559) และคาดการณ์โดยคณะที่ปรึกษา (2560)

1.2 ทิศทางเศรษฐกิจการปศุสัตว์ของประเทศไทย

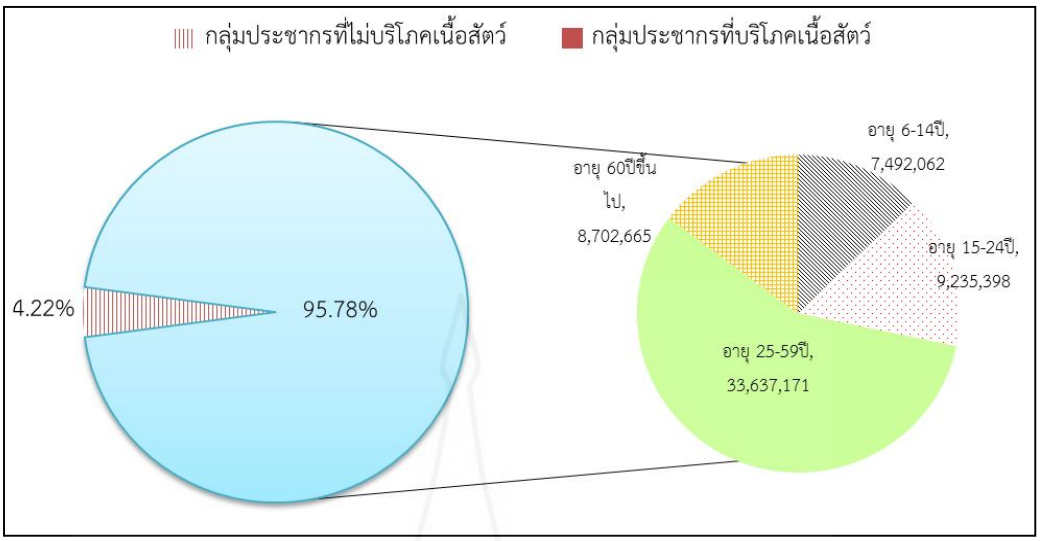
จากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชากรไทยของสำนักงานสถิติ พบว่า ประชากรไทย ที่บริโภคอาหารกลุ่มเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ นั้นมีจำนวนมากถึง 59,066,157 คน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 95.78 ของจำนวนประชากรทั้งหมด (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2557) โดยเป็นกลุ่มที่มีการบริโภคทุกวันร้อยละ 31.98 ซึ่งในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงมากถึงร้อยละ 16.21 สะท้อนให้เห็นได้ว่า ประชากรไทยเป็นกลุ่มบริโภคเนื้อสัตว์อย่างชัดเจน จากข้อมูลพื้นฐานทางเศรษฐกิจและโครงสร้างประชากร พบว่า ประเทศไทยมีปัจจัยพื้นฐานอันเป็นผลเชิงบวกต่อภาคการปศุสัตว์ โดยเฉพาะในส่วนของการจำหน่าย การตลาด และปริมาณความต้องการบริโภค ด้วยจำนวนประชากรที่ขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น โครงสร้างอายุของประชากรที่อยู่ในวัยที่มีกำลังซื้อและความต้องการบริโภคเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งระดับรายได้ต่อหัวที่เพิ่มสูงขึ้น และขนาด

เศรษฐกิจที่เติบโตอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าโครงสร้างเศรษฐกิจมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปสู่ภาคบริการ แต่เมื่อพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจเบื้องต้นแล้ว ก็ถือว่าเป็นปัจจัยที่ดีต่อการเติบโตของภาคการปศุสัตว์ ในขณะเดียวกันพฤติกรรมการเลือกบริโภคอาหารของคนไทยยังให้ความสำคัญกับความสะอาด ความปลอดภัย และความสวยงามมาเป็นอันดับต้น ๆ ด้วย เนื่องมาจากอิทธิพลของการรักสุขภาพ และกระแสสังคมออนไลน์

1.2.1 เศรษฐกิจการปศุสัตว์ไทย

ภาวะการปศุสัตว์ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีการพัฒนาและการเติบโตในการผลิตอย่างต่อเนื่อง ตามปริมาณความต้องการของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ และมาตรฐานฟาร์มที่ได้รับการยอมรับ รวมทั้ง มีการเฝ้าระวัง ควบคุมโรคระบาดได้ดีมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ทำให้ผลผลิตปศุสัตว์ขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะไก่เนื้อ สุกร ไข่ไก่ โคเนื้อ และน้ำนมดิบ ทั้งนี้ใน พ.ศ. 2559 พบว่า มีการขยายตัวในสาขาปศุสัตว์ถึง ร้อยละ 2.8 เมื่อเทียบกับ พ.ศ. 2558 โดยปริมาณความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ของประชากรเทียบกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากประชากรจะมองหาอาหารประเภทที่ให้โปรตีนในปริมาณมาก เมื่อมีกำลังในการจ่ายเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ทั้งนี้ ในกรณีประเทศไทยจากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคด้านอาหารประชากรไทยโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่า ประชากรไทยที่บริโภคอาหารกลุ่มเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ มีจำนวนมากถึงร้อยละ 95.78 ของจำนวนประชากรทั้งหมด (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2557) โดยเป็นกลุ่มที่มีการบริโภคทุกวัน ประมาณร้อยละ 31.98 สะท้อนให้เห็นได้ว่าพฤติกรรมการบริโภคของประชากรไทยเป็นกลุ่มบริโภคเนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 2.3

นอกจากนี้ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2559) ได้กล่าวถึงรายจ่ายเพื่อการบริโภคเนื้อสัตว์ของครัวเรือน พบว่า พ.ศ. 2559 ประชากรไทยมีรายจ่ายในส่วนของการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์อยู่ที่ประมาณ 352,617 ล้านบาท หรือคิดเป็นการเติบโตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ประมาณร้อยละ 6.9 ตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ



ภาพที่ 2.3 สัดส่วนจำนวนประชากรไทยที่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์

ที่มา: สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2557)

1.2.2 ภาวะด้านราคาของสินค้าปศุสัตว์ไทย

สถานการณ์ความเคลื่อนไหวด้านราคาสินค้าปศุสัตว์นั้น ในช่วง พ.ศ. 2556 ถึง 2558 มีการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณความต้องการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้นตามภาวะเศรษฐกิจ นอกจากนี้ การเคลื่อนไหวราคาสินค้าปศุสัตว์ในช่วง พ.ศ. 2559 ถึง 2565 สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะทรงตัวหรือขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แนวโน้มการเคลื่อนไหวราคาสินค้าปศุสัตว์ในช่วง พ.ศ. 2559 - 2565

	โคเนื้อ (บาท/ตัว)	กระบือ (บาท/ตัว)	สุกร (บาท/กิโลกรัม)	ไก่เนื้อ (บาท/กิโลกรัม)	เป็ด (บาท/กิโลกรัม)
2549	14,937	19,234	47.07	31.55	n.a.
2550	14,294	18,134	38.35	33.67	45.95
2551	13,206	17,052	53.35	37.27	43.87
2552	13,046	17,181	56.09	38.14	48.46
2553	12,998	17,117	60.01	42.78	49.75
2554	14,927	19,559	65.54	46.81	44.07
2555	17,344	23,536	56.67	42.03	55.44
2556	21,110	26,717	65.35	43.25	64.44
2557	29,908	31,852	75.08	42.65	63.58
2558	36,677	40,732	66.08	39.67	63.02
2559f	36,104	39,482	64.50	41.00	63.68
2560f	34,722	37,355	68.55	41.11	63.43
2561f	35,834	39,190	66.38	40.59	63.38
2562f	35,553	38,676	66.48	40.90	63.49
2563f	35,370	38,407	67.14	40.87	63.43
2564f	35,586	38,757	66.66	40.79	63.43
2565f	35,503	38,613	66.76	40.85	63.45

หมายเหตุ: ราคาโคเนื้อขนาดน้ำหนัก 350 – 450 กิโลกรัมต่อตัว

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

2. กระบวนการแปรรูปสุกรเบื้องต้น

วรินธร มณีรัตน์ (2557) กล่าวว่า เนื้อสุกรสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้โดยนำเนื้อสุกรสดไปผ่านกรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้เนื้อสุกรสดเปลี่ยนสมบัติและลักษณะไปจากเดิม มีการเติมส่วนประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ความชื้น เครื่องเทศ และสารเสริมต่าง ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ดี มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของเนื้อสุกรและเป็นการใช้ประโยชน์จากเนื้อสุกรให้เกิดประโยชน์ที่สูงสุดด้วย

2.1 การแบ่งเกรดซากสุกรและการตัดแต่งซากสุกร

2.1.1 การแบ่งเกรดซาก

การแบ่งเกรดซาก หมายถึง การจำแนกคุณภาพของซากสุกรหรือเนื้อสุกร โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ ปริมาณผลผลิต และส่วนประกอบของซากที่บริโภคได้ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคในการพิจารณาคุณภาพของผลผลิตเนื้อและราคาของเนื้อให้มีความเหมาะสม การแบ่งเกรดซากมี 2 ลักษณะ ได้แก่

1) เกรดคุณภาพ (quality grade) หมายถึง การแบ่งคุณภาพของซากโดยใช้ลักษณะทางกายภาพ เช่น สีของเนื้อ ระดับไขมันแทรก เป็นต้น

2) เกรดผลผลิต (quantity grade) หมายถึง การแบ่งคุณภาพของซากโดยอาศัยปริมาณของผลผลิต ซึ่งพิจารณาจากปริมาณของชิ้นส่วนย่อยที่ตัดแต่งของซาก เช่น สัดส่วนของเนื้อแดงต่อกระดูก ความหนาของไขมันสันหลัง เป็นต้น

สำหรับมาตรฐานเกรดของซากสุกรที่นิยมใช้ ได้แก่ มาตรฐานของกระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกา (USDA) และมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (มกอช.)

2.1.2 การตัดแต่งซากสุกร

การตัดแต่งซาก หมายถึง การตัดแบ่งซากของสุกรให้เป็นส่วน ๆ ตามลักษณะของชิ้นเนื้อ เช่น ชิ้นส่วนสันนอก ชิ้นส่วนสันใน และชิ้นส่วนสะโพก เพราะสมบัติและลักษณะของชิ้นเนื้อแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้น เมื่อทำการตัดแต่งเนื้อสุกรเป็นชิ้นส่วนแล้วจึงสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลาย อย่างไรก็ตาม ในการตัดแต่งซากผู้ตัดแต่งต้องมีความชำนาญและทักษะในการตัดแต่งซาก สามารถจดจำตำแหน่งของโครงกระดูกและกล้ามเนื้อที่สำคัญได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปการตัดแต่งซากสุกรแบ่งเป็น 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่ การตัดแต่งซากสุกรแบบไทย และการตัดแต่งซากสุกรแบบสากล ดังนี้

1) ตัดแต่งซากสุกรแบบไทย เริ่มตั้งแต่การแบ่งซากสุกรออกเป็นสองซีก โดยไม่มีการลดอุณหภูมิซาก ซากที่ทำการตัดแต่งแบบไทยจึงเป็น “ซากอุ่น” เป็นวิธีการแบบง่าย ๆ ของผู้ขายเนื้อสุกรในตลาดสด เพราะโรงฆ่าชำแหละสุกรหรือพ่อค้าปลีกเนื้อสุกรชำแหละจะต้องดำเนินการฆ่าสุกรและชำแหละสุกรเป็นชิ้นส่วนให้เสร็จเพื่อนำออกขายส่งตลาดสดในเวลาเช้าของทุกวัน ดังนั้น ซากสุกรที่ตัดแต่งซากแบบไทยจึงไม่มีการลดอุณหภูมิซากก่อนที่จะทำการตัดแต่งเป็นชิ้นส่วนต่างๆ

2) การตัดแต่งซากแบบสากล การตัดแต่งซากสุกรแบบสากลนั้น ภายหลังจากการผ่าซากสุกรเป็นสองซีกแล้ว จะต้องนำซากสุกรไปลดอุณหภูมิซากเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 2-4 องศาเซลเซียส ซากที่ใช้สำหรับการตัดแต่งแบบสากลจึงเป็น “ซากเย็น” เมื่อซากสุกรผ่านการแช่เย็นเรียบร้อยแล้วจะนำซากสุกรไปตัดแต่งตามขั้นตอนการตัด-แต่งซากสุกรแบบสากล ที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตัดแต่งชิ้นส่วนใหญ่ (wholesale cuts or primal cuts) และการตัดแต่งชิ้นส่วนย่อย (retail cuts) โดยเนื้อหมูที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้นำมาจากซากที่มีการตัดแต่งแบบสากล

2.2 การแปรรูปเนื้อสุกร

การแปรรูปเนื้อสุกรมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตหรือการแปรรูป รวมทั้งการปรุงแต่งรสชาติ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสุกรที่มีความแตกต่างกัน การแปรรูปเนื้อสุกรหรือการแปรรูปเนื้อสัตว์ หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้เนื้อสดเปลี่ยนแปลงสมบัติไปจากสภาพเดิม โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษา เพิ่มรสชาติ เพิ่มมูลค่าของเนื้อสัตว์ รวมทั้งเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากเนื้อสัตว์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเนื้อสัตว์ที่ผ่านการแปรรูปแล้ว สามารถพร้อมนำมาบริโภคได้ หรืออาจนำไปปรุงสุก ด้วยวิธีการนึ่ง ทอด หรือย่าง ก่อนนำไปบริโภค ประเภทของเนื้อสัตว์แปรรูปจึงมีความแตกต่างกันตามลักษณะของเนื้อสัตว์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากลักษณะเดิมของเนื้อ

2.2.1 ประภทของการแปรรูปเนื้อสัตว์ แบ่งตามลักษณะของเนื้อ

แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ผลิตภัณฑ์ลดขนาด (comminuted products) เป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากลักษณะของเนื้อสดเดิม โดยการถูกลดขนาดให้เล็กกว่าเดิม แล้วจึงนำไปรวมกันเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่อีกแบบหนึ่ง ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ลดขนาด เช่น ไส้กรอกชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ลดขนาดสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์บดหยาบ (coarse ground products) และกลุ่มผลิตภัณฑ์บดละเอียด (emulsion products)

2) ผลิตภัณฑ์ขนาดเดิม (non-comminuted products) เป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ยังคงลักษณะเดิมของเนื้อและมีโครงสร้างเหมือนเนื้อสดปกติ แต่มีการเติมส่วนประกอบอื่น ๆ แล้วนำไปทำให้สุกตามกรรมวิธีของผลิตภัณฑ์นั้น ได้แก่ แฮม คอร์นบีฟ และเบคอน เป็นต้น โดยการลดขนาดเดิมสามารถใช้เอ็นไซม์มาช่วยในการเชื่อมประสาน (binding) ให้เศษเนื้อที่ได้จากการตัดแต่งแล้วติดกัน และการแปรรูปที่เราใช้ในการวิจัยจะจัดอยู่ในประเภทนี้

ในการแปรรูปเนื้อสัตว์เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง อาจใช้กรรมวิธีหลายวิธีร่วมกัน และอาจมีการเติมเครื่องเทศและสิ่งปรุงแต่งต่าง ๆ ได้ ตามวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อเพิ่มรสชาติ หรือยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2.2.2 ประเภทของการแปรรูปเนื้อสัตว์ แบ่งตามการแปรรูป

แบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1) ประเภทแห้งและกึ่งแห้ง เป็นการแปรรูปโดยอาศัยความร้อนจากแสงแดดหรือเครื่องทำแห้ง เพื่อลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้เหลือน้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังจากการแปรรูปแบบแห้ง ควรมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 25 เพราะหากความชื้นสูงจะทำให้อายุการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์สั้นลง ทั้งนี้ การแปรรูปด้วยวิธีนี้อาจมีการปรุงแต่งรสและกลิ่นโดยใช้เครื่องเทศต่าง ๆ เช่น กระเทียม พริกไทย เกลือ และน้ำตาล เป็นต้น เพื่อเพิ่มรสชาติของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ประเภทแห้งและกึ่งแห้ง ได้แก่ หมูสวรรค์ หมูหยอง และหมูแผ่น เป็นต้น

2) ประเภทหมักเปรี้ยว เป็นการแปรรูปเนื้อสุกรโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น แหนม และไส้กรอกอีสาน เป็นต้น วิธีการแปรรูปประเภทนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์

3) ประเภทหมักเกลือ เป็นการแปรรูปโดยการหมักเนื้อสุกรกับเกลือ เป็นวิธีการถนอมอาหารอีกวิธีหนึ่งของคนไทย เช่นเดียวกับ การใช้น้ำเกลือ ซึ่งเป็นวิธีการถนอมอาหารของประเทศในแถบยุโรป เป็นการเก็บรักษาเนื้อให้มีอายุการเก็บนานขึ้น ผลิตภัณฑ์หมักเกลือบางชนิดอาจใช้เกลือไนไตรท์เติมลงในผลิตภัณฑ์ เพื่อควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ และเพิ่มสีสันของผลิตภัณฑ์ โดยเกลือไนไตรท์มีคุณสมบัติทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงหรือสีน้ำตาลแดง เช่นเดียวกับสีของเนื้อสด ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ประเภทหมักเกลือ ได้แก่ หมูแดดเดียว และหมูเค็ม เป็นต้น

4) ประเภทอิมัลชั่น เป็นการแปรรูปโดยการลดขนาดของชิ้นเนื้อสุกรให้มีขนาดเล็กลง ด้วยวิธีการปั่นผสม และสับละเอียด ซึ่งจะให้โครงสร้างของเนื้อในระดับเส้นใยของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไปจนแปรสภาพเป็นมวลเหนียวหรืออิมัลชั่น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชั่น ได้แก่ ลูกชิ้นหมู หมูยอ ไส้กรอกหมู และโบโลญ่า เป็นต้น

5) ประเภทอาหารพร้อมบริโภค เป็นการแปรรูป โดยการทำให้สุกด้วยวิธีการทอด ต้ม นึ่ง ตุ๋นหรือทอด ร่วมกับการปรุงแต่งรสชาติและกลิ่น โดยใช้เครื่องเทศต่าง ๆ เพื่อเป็นอาหารสำหรับพร้อมรับประทาน อย่างไรก็ตาม อาหารที่ผ่านการแปรรูปแบบนี้จะมีอายุการเก็บสั้น ตัวอย่างของอาหารพร้อมบริโภค ได้แก่ หมูแดง ขาหมูพะโล้ และหมูกรอบ เป็นต้น

2.2.3 ประเภทของผลิตภัณฑ์จากสุกร

ผลิตภัณฑ์ของสุกรที่จำหน่ายอยู่ในตลาดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ชิ้นส่วนเนื้อสุกร และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสุกร ดังนี้

1) ชิ้นส่วนของเนื้อสุกร หมายถึง ชิ้นส่วนจากซากสุกรที่ได้ผ่านการตัดแต่งเป็นชิ้นส่วนย่อยแล้ว รวมถึงอวัยวะภายใน และชิ้นส่วนอื่น ๆ จากสุกร 1 ตัว ซึ่งชิ้นส่วนของเนื้อสุกรจะถูกนำไปจำหน่ายในลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่จำหน่าย โดยหากจำหน่ายในตลาดสด ชิ้นส่วนเนื้อสุกรจะถูกจำหน่ายในลักษณะแยกเป็นชิ้นส่วน ซึ่งผู้บริโภคจะเลือกซื้อชิ้นส่วนที่ต้องการและในปริมาณที่ต้องการเพื่อนำไปประกอบอาหาร สำหรับในห้างสรรพสินค้าหรือร้านสะดวกซื้อจะมีการจำหน่ายเนื้อสุกรทั้งในลักษณะที่เป็นชิ้นส่วนและแปรสภาพชิ้นเนื้อสุกรโดยการหั่นหรือสไลด์เป็นชิ้นบางๆ เพื่อผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อและนำไปประกอบอาหารตามความต้องการได้ รวมทั้ง มีการนำชิ้นเนื้อสุกรที่หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้วบรรจุรวมกับผักหรือเครื่องปรุงอื่น ๆ สำหรับนำไปประกอบอาหารอีกด้วย นอกจากนี้ ยังรวมถึงปริมาณไขมันในเนื้อ ที่เหมาะสมต่อการนำไปปรุงอาหารประเภทต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น เนื้อหมูสำหรับทำเมนูสเต็ก ควรมีปริมาณสัดส่วนไขมันร้อยละ10 ถึง 20 ต่อเนื้อหมู เพื่อให้ได้สเต็กที่มีเนื้อสัมผัสที่ดี

2) ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสุกร หมายถึง เนื้อสุกรที่ผ่านการแปรรูป เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อไปบริโภคได้ทันที หรือต้องนำไปทำให้สุกก่อนนำไปบริโภค เช่น ไส้กรอก แหนม ลูกชิ้น และแฮม เป็นต้น

ซึ่งผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก ๆ คือ ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรหมักและรมควัน ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง และผลิตภัณฑ์แบบแห้ง

3. เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase)

3.1 โครงสร้างและปฏิกิริยาเคมี

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม (2544) กล่าวว่า เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นเอ็นไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาย้ายหมู่เอซิล (acyl transfer) ระหว่างหมู่แกมมาคาร์บอกซีเอไมด์ (γ-carboxyamine group) ของอนุมูลกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine residue) ในสายเปปไทด์ และเร่งปฏิกิริยาเชื่อม

พันธะโคเวาเลนต์ระหว่างสายเปปไทด์สองสาย เกิดพันธะใหม่ที่เรียกว่า พันธะε-(γ-glutamyl) lysine หรือเรียกสั้น ๆ ว่า พันธะจีแอล (G-L) สำหรับในสภาวะที่ไม่มีสารประกอบเอมีน เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่แกมมาคาร์บอกซีเอไมด์ของอนุมูลกรดกลูตามีนในสายเปปไทด์ ได้เป็นอนุมูลของกรดกลูตามิคและแอมโมเนีย ซึ่งเรียกปฏิกิริยาชนิดนี้ว่า ดีแอมมิเนชั่น (deamination)

จากสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีความเป็นไปได้สูงในการนำเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทโปรตีน เพื่อปรับปรุงสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีน ได้แก่ ความสามารถในการเกิดเจล ความหนืด ความเสถียรต่อความร้อน และความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีน ทั้งในด้านของเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และลักษณะปรากฏที่ดี ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ในกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น การปรับโครงสร้างของเนื้อสัตว์ (restructured meat) ทำให้เนื้อสัตว์ที่ได้มีโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่ต้องการ เป็นต้น รายละเอียดดังตารางที่ 2.2

ไฉน ตาคำแสน และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2561) ยังได้กล่าวว่า เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส อาจเรียกว่า เอ็นไซม์โปรตีนกลูตามีนแกมมากลูตามิลทรานส์เฟอร์เรส (protein glutamine γ glutamyl transferase) ไฟบริโนไลเกส (fibrinoligase) หรือพอลีเอมีนทรานส์กลูตามิเนส (polyamine transglutaminase) สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตในพืชสัตว์และจุลินทรีย์มีหน้าที่ประสานให้เกิดโครงสร้างของโปรตีน (protein networking)

จากการจัดกลุ่มเอ็นไซม์ของสหพันธ์ชีวเคมีและชีววิทยาทางโมเลกุลนานาชาติ (International Union of Biochemistry and Molecular Biology) ได้จัดให้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสอยู่ในกลุ่มของเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งการเคลื่อนย้ายหมู่ฟังก์ชันเคมี (functional group) โดยจะมีลักษณะปฏิกิริยา เป็นการสร้างพอลิเมอร์ (polymer) ของตัวรับกลุ่มสาร (acyl acceptor) จากกลูตามีน เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ตามระบบตัวเลข คือ EC 2.3.2.13 มีความหมาย ดังนี้

EC 2 เป็นเอ็มไซม์ในกลุ่มทรานส์เฟอเรสมีกลุ่มย่อยระดับที่หนึ่ง 10 กลุ่ม จำแนกตามตำแหน่งพันธะ หรือหมู่ฟังก์ชั่นที่เอ็นไซม์เร่งปฏิกิริยา ได้แก่ EC 2.1 - EC 2.10

EC 2.3 เป็นกลุ่มเอ็นไซม์อะซิติวทรานส์เฟอเรส (Acyltransferases) ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายหมู่อะซิติว มีกลุ่มย่อยระดับที่สอง 3 กลุ่ม ซึ่งจำแนกกลุ่มตามการเคลื่อนย้ายหมู่อะซิติว ได้แก่ EC 2.3.1 - EC 2.3.3

EC 2.3.2 เป็นกลุ่มเอ็นไซม์อะมิโนอะซิติวทราส์เฟอเรส (Aminoacyl transferases) ที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายหมู่อะมิโนอะซิติว มี 22 เลขลำดับ

EC 2.3.2.13 ทรานส์กลูตามิเนส

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

Source	Product	Effect
Meat	Hamburger, meatballs, stuffed dumplings,	Improved elasticity, texture, taste and flavor
	shao-mai, Canned meat,	Good texture and appearance
	Frozen meat,	Improved texture and reduced cost
	Restructured meat	Restructuring of meat
Fish	Fish paste	Improved texture and appearance
Krill	Krill paste	Improved texture
Collagens	Shark-fin imitation	Imitation of delicious food
Wheat	Baked foods	Improved texture and high volume
Soya bean	Fried tofu	Improved texture
Vegetables and fruits	Celery	Food preservation
Casein	Mineral absorption promoters	Improved mineral absorption in intestine
	Cross-linked protein	Allergenicity reduction
Gelatin	Sweet foods	Low calorie foods with good texture, firmness and elasticity
Fat, oil and proteins	Solid fats	Pork-fat substitute with good taste, texture and flavor
Plant proteins	Protein powder	Gel formation with good texture and taste
Seasonings	Seasonings	Improved taste and flavor

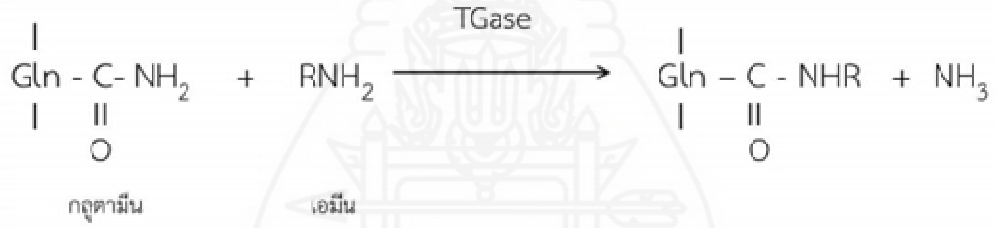
ที่มา: Zhu, et al. (1995)

3.1.1 ปฏิกิริยาเคมีที่เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะเร่งปฏิกิริยา 3 ลักษณะ ดังนี้

1) ปฏิกิริยาย้ายหมู่เอซิล (acyl transfer) จากอนุมูลกลูตามีน ปฏิกิริยานี้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะไปเร่งการย้ายระหว่าง γ-carboxyamide ซึ่งเป็น acyl donor ของอนุมูลกลูตามีนในโปรตีนและ primary amine (RNH2) ทำให้เกิดเป็นโปรตีนรูปแบบใหม่ ซึ่งทำให้สายยาวขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.4

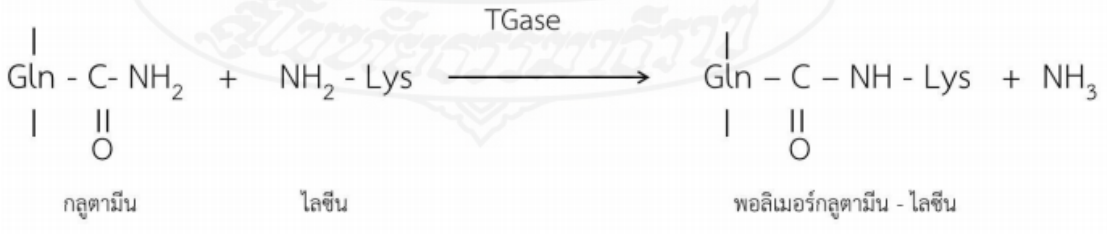
2) ปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างอนุมูลกลูตามีนและเอมีนของไลซีน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเมื่อมีอนุมูลอิสระของไลซีนในโปรตีน (NH_2 - Lys) เป็นปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างกลูตามีนกับกรดอะมิโน ทำให้เกิดเป็นสายโปรตีนสายยาวเกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไปได้ แสดงดังภาพที่ 2.5

3) ปฏิกิริยาแยกหมู่เอมีนของโปรตีนที่มีอนุมูลกลูตามีน ในกรณีที่ไม่มีเอมีนปฐมภูมิ หรือกรณีที่อนุมูลอิสระของไลซีนในโปรตีนถูกบดบังด้วยสารประกอบบางชนิด ปฏิกิริยาจะทำให้เกิดเป็นกลูตามินิน ซึ่งไม่ใช่ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ แสดงดังภาพที่ 2.6



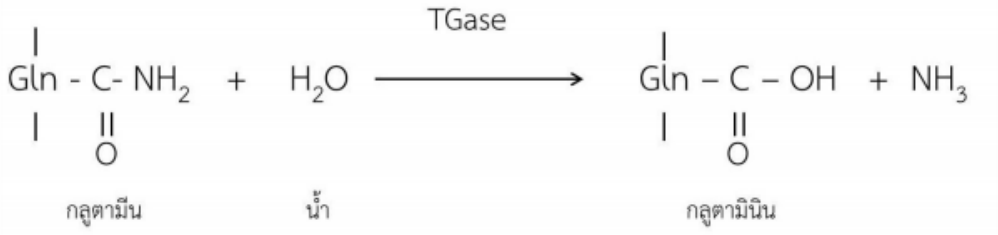
ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาย้ายหมู่เอซิลจากอนุมูลกลูตามีนของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

ที่มา: ปราณี (2547)



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างอนุมูลกลูตามีน และเอมีนของไลซีนของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

ที่มา: ปราณี (2547)



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาแยกหมู่เอมีนของโปรตีนที่มีอนุมูลกลูตามีนของเอ็นไซม์ทรานส์-กลูตามิเนส

ที่มา: ปราณี (2547)

ปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาของการสัมผัสระหว่างเอ็นไซม์กับกลุ่มโปรตีนอิสระ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด อยู่ในช่วง 50 -55 องศาเซลเซียส หรือให้อุณหภูมิคงที่ที่ 0 - 60 องศาเซลเซียส และค่า pH ที่เหมาะสม คือ 6 - 7 หรือให้คงที่ที่ 5 - 9 แต่การต้องการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ สามารถใช้อุณหภูมิที่ สูงกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เอ็นไซม์จะหยุดทำงานภายใน 5 นาที และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เอ็นไซม์จะหยุดทำงานภายใน 1 นาที ทั้งนี้ระยะเวลาอาจขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารด้วย (Vacha, F., Novik, I., Spicka, J. & Podola, M., 2006)

3.2 แหล่งของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส พบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อและของเหลวในร่างกายของสัตว์ชั้นสูง โดยทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับระบบต่าง ๆในร่างกาย ตัวอย่างเช่น การแข็งตัวของเลือด ระบบการสร้างเซลล์ผิวหนังและเยื่อหุ้มเซลล์ การควบคุมการเจริญเติบโต และการเพิ่มจำนวนเซลล์ (Aeschlimann and Paulsson, 1994) นอกจากนี้ ยังพบในพืชบางชนิด (Icekson and Apelbaum, 1987; Pallavicini et al., 1992) ในปลา (Yasueda et al., 1992) และในจุลินทรีย์ (Ando et al., 1989; Klein et al., 1992) ได้มีการพยายามที่จะหาแหล่งของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ที่สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก โดยใช้กระบวนการแยกสกัด และการทำให้บริสุทธิ์ที่ไม่ยุ่งยาก เพื่อให้ได้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มีราคาเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร แนวทางการผลิตโดยทั่วไปสามารถสรุปได้เป็น 3 แนวทาง ดังนี้

3.2.1 การสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ของเอ็นไซม์ TGase จากเนื้อเยื่อ และของเหลวในร่างกายของสัตว์ที่ใช้เป็นอาหาร ตัวอย่างเช่น จากตับหมู เลือดหมูหรือวัว และจากเนื้อ-ปลา เป็นต้น ข้อดีของแนวทางนี้ คือ เป็นแหล่งของเอ็นไซม์บางชนิด โดยเฉพาะเลือดสัตว์ที่ถือได้ว่า

เป็นของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ จึงเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่สกัดได้จากเลือดสัตว์ ต้องอาศัยการทำงานของธรอนบิน (thrombin) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์โปรตีเอสในการปรับปรุงโครงสร้างของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสก่อนที่จะเร่งปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้ สีแดงของเลือดยังอาจทำให้เกิดปัญหาในการประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท (Motoki and Seguro, 1998) สำหรับกรรมวิธีการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากเนื้อเยื่อสัตว์นั้นค่อนข้างยุ่งยาก จึงส่งผลให้เอ็นไซม์ที่ได้มีราคาสูง เกิดปัญหาในการใช้ในระดับอุตสาหกรรม

3.2.2 การใช้เทคโนโลยีทางพันธุวิศวกรรมในการถ่ายยีนจากพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ที่ควบคุมการผลิตเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสให้กับเซลล์จุลินทรีย์ที่เหมาะสม ได้มีการค้นคว้าวิจัยโดยใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมกันอย่างกว้างขวาง เพื่อให้ได้แหล่งของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มีราคาเหมาะสมกับการใช้ในระดับอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น การถ่ายยีนจากเนื้อเยื่อตับหมูให้กับเชื้อ *Escherichia coli (E.coli)* (Ikura et al., 1988) การถ่ายยีนจากเนื้อเยื่อปลาให้กับเชื้อ *E.coli* (Yasueda et al., 1994) การถ่ายยีนจากเซลล์เชื้อ *Streptoverticillium* ให้กับเชื้อ *E.coli* (Takehana et al., 1994) และการถ่ายยีนจากแฟคเตอร์ XIIIa ให้กับเซลล์ยีสต์ (Bishop et al., 1990) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัจจัยทางด้านกฎหมายควบคุมและการยอมรับของผู้บริโภคในปัจจุบัน ทำให้แนวทางการผลิตเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากวิธีเทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม ยังไม่ได้รับการพัฒนาไปสู่การผลิตในเชิงการค้า

3.2.3 การคัดเลือกสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งสามารถผลิตเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ในปริมาณสูงแนวทางนี้ถือได้ว่าเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากสามารถใช้เพียงเทคโนโลยีการหมักที่ไม่ยุ่งยากก็สามารถผลิตเอ็นไซม์ได้ในปริมาณมาก มีการค้นพบจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสได้ในปริมาณที่สูง โดยบริษัท Amano Pharmaceutical ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวคือ *Streptoverticillium mobaraense* (Ando et al., 1989 ; Washizu et al., 1994) และเรียกชื่อเอ็นไซม์ว่า *Microbial Transglutaminase* (MTGase) จุลินทรีย์ชนิดนี้จะผลิตเอ็นไซม์ออกมานอกเซลล์ การสกัดจึงไม่ยุ่งยาก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำให้เซลล์แตก

3.3 ผลของการเชื่อมพันธะ G-L ต่อสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีน

การเชื่อมพันธะ G-L ทั้งภายในและระหว่างสายโพลิเปปไทด์ โดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีประโยชน์อย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้ (Kuraishi, et al., 1996)

3.3.1 ความสามารถในการเกิดเจล (gel) โปรตีนที่ไม่สามารถเกิดเจลตามธรรมชาติ เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาโดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสแล้ว สามารถเกิดเจลได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนจากนม สามารถเกิดเจลได้หลังจากการเชื่อมพันธะG-L นอกจากนี้ ถ้าเป็นโปรตีนที่สามารถเกิดเจลได้โดยการให้ความร้อน เช่น โปรตีนถั่วเหลือง และไมโอซิน ซึ่งเป็นโปรตีนจากเนื้อสัตว์ การเชื่อมพันธะG-Lโดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจะมีผล ทำให้โปรตีนเกิดเจลได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อน และความแข็งแรงของเจลโปรตีนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของพันธะ G-Lที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การเชื่อมพันธะG-Lในโปรตีนมากเกินไป ก็มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลงได้เช่นกัน

3.3.2 ความหนืด (viscosity) โปรตีนที่ผ่านการเชื่อมพันธะG-L โดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น มีผลทำให้สารละลายของโปรตีนมีความหนืดสูงขึ้น ความหนืดของสารละลายโปรตีนจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณของพันธะG-Lที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยควบคุมสภาวะการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ระยะเวลาของปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเอ็นไซม์ที่ใช้ เป็นต้น

3.3.3 ความเสถียรต่อความร้อน (thermal stability) เนื่องจากพันธะG-L ในโปรตีนที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นพันธะโควาเลนต์เจลของโปรตีนจึงมีความเสถียรต่อความร้อนสูง โดยปกติเจลของเจลาตินจะเป็นเจลประเภทผันกลับได้ด้วยความร้อน เนื่องจากพันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลเป็นเพียงพันธะไฮโดรโฟนิค (hydrophobic interaction) แต่การเชื่อมพันธะG-Lในเจลาติน จะทำให้ได้เจลที่ทนต่อความร้อนสูงได้ถึง 120 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการหลอมเหลวกลับคืน

3.3.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลจากโปรตีนเป็นสมบัติที่ต้องการในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เจลของโปรตีนที่ผ่านการเชื่อมพันธะG-L โดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี สามารถใช้ลดปัญหาการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภทได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่น โยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมที่ผ่านการทำปฏิกิริยาโดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น และสามารถป้องกันการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้

3.4 การใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในอุตสาหกรรมอาหาร

การที่เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะG-L ในโมเลกุลของโปรตีนมีผลทำให้โปรตีนที่ไม่เกิดเจลโดยการให้ความร้อนสามารถเกิดเจลได้ และเจลที่ได้มีความแข็งแรงเสถียรต่อความร้อน นอกจากนี้ โปรตีนในสภาพของอิมัลชั่นแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) ก็สามารถเกิดเจลได้ดี แม้ว่าจะมีน้ำตาลหรือเกลืออยู่ในส่วนผสม โดยเจลจะไม่ถูกทำลาย

โดยสารที่มีสมบัติทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยสมบัติต่าง ๆ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตา-มิเนส จึงมีศักยภาพสูงในการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจาก เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีสมบัติในการเชื่อมพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีน จึงสามารถใช้ในการเชื่อมเศษเนื้อชิ้นเล็ก ๆ ที่เป็นผลพลอยได้จากการตัดแต่งเนื้อสัตว์หรือเศษที่ได้จากเนื้อติดกระดูกเพื่อการผลิตเนื้อขึ้นรูป (restructured meat) ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเนื้อสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบราคาถูก วิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการผลิตเนื้อขึ้นรูป ได้แก่ การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับการใช้ความร้อน หรือการแช่แข็งในการทำให้เกิดการเชื่อมกันระหว่างเศษเนื้อเล็ก ๆ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (Huffman et al., 1981; Coon et al., 1983) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะจัดจำหน่ายในรูปของเนื้อปรุงสุกหรือเนื้อแช่แข็ง อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตและผู้บริโภคในปัจจุบันได้เล็งเห็นปัญหาสุขภาพมากขึ้น โดยให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ำ ดังนั้น การผลิตเนื้อขึ้นรูปโดยใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจึงมีข้อได้เปรียบ กล่าวคือเอ็นไซม์สามารถเชื่อมชิ้นเนื้อเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเกลือโซเดียมคลอไรด์ และไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนหรือการแช่แข็ง (Kurashi et al., 1997) อย่างไรก็ตาม เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสก็สามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่มีเกลือด้วยเช่นกัน (Motoki and Seguro, 1998) และผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถจำหน่ายในรูปของเนื้อสัตว์แช่เย็นเช่นเดียวกับเนื้อสดทั่วไป นอกจากนี้ ได้มีรายงานการใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากเลือดหมูในการผลิตลูกชิ้นไก่ที่มีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ำ โดยได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี (Tseng et al., 2000) และยังสามารถประยุกต์ใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำ ตัวอย่างเช่น การใช้โปรตีนจากนมที่ผ่านการเชื่อมพันธะG-L เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ประเภทไส้กรอก เป็นต้น

วิธีการใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสกับเนื้อสัตว์ เริ่มแรกให้คลุกเอ็นไซม์เข้ากับเนื้อสัตว์ให้ทั่ว โดยปริมาณการใช้ที่แนะนำคือ ร้อยละ 0.7–1.5 ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ จากนั้นนำเนื้อที่คลุกแล้วลงในบล็อกขึ้นรูป หรือห่อฟิลม์พลาสติกไว้ให้แน่น แล้วจึงนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง ก่อนจะนำออกมาแปรรูปต่อไป (C&P Enzymes Company, 2016 และ Nanning Pangbo Biological Engineering Co.,Ltd., 2016)

3.4.2 ผลิตภัณฑ์เนื้อปลา เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เป็นเอ็นไซม์ที่อยู่ในเนื้อปลาตามธรรมชาติโดยพบปริมาณมากน้อยต่างกันตามแต่ชนิดของปลา เชื่อกันว่า เป็นเอ็นไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดปรากฏการณ์ซูวาริ (suwari) ซึ่งมีผลทำให้เนื้อปลาบดเกิดเจลโปรตีนที่มีคุณภาพดี และเป็นสิ่งที่ต้องการในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อปลาบดหรือซูริมิเป็นวัตถุดิบ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวรรณพ วิเศษสงวน, 2541) โดยเพิ่มความแข็งแรงของเจลที่ได้ กระตุ้นให้

เอมีนปฐมภูมิกับโปรตีนหรือโพลีเปปไทด์รวมตัวกันผ่านปฏิกิริยาแทนที่ มีผลทำให้เกิดพันธะโค-วาเลนท์ ε-(γ-glutamyl)/lysine โดยปฏิกิริยานี้จะมีผลทำให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง และได้แอมโมเนียออกมา โดยเอ็นไซม์จะใช้หมู่ γ-caboxylamide บนGlutaminyl residues ของโปรตีนเป็นตัวให้หมู่เอซิล (Acyl) แก่สารที่เป็นตัวรับ และมีสารหลายชนิดที่สามารถเป็นตัวรับได้ เช่น เอมีนปฐมภูมิของกรดอะมิโนอิสระ หรือกรดอะมิโนไลซีนของพันธะเปปไทด์ ทั้งนี้การแสดงกิจกรรมของเอ็นไซม์จำเป็นต้องมีอนุมูลแคลเซียมอิออน ($Ca2^{+}$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2561) ดังนั้น การเติมเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เพื่อเชื่อมพันธะG-L ของโปรตีนในเนื้อปลาบด จึงเป็นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การเชื่อมพันธะG-L ดังกล่าวยังช่วยลดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาแช่แข็ง อันเนื่องมาจากการละลายน้ำแข็งและการปรุงอาหาร (Motoki and Seguro, 1998)

3.4.3 ผลิตภัณฑ์นม โปรตีนนมซึ่งได้แก่ เคซีน โดยปกติไม่สามารถเกิดเจลได้โดยใช้ความร้อน แต่การเชื่อมพันธะG-Lโดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะทำให้เคซีนสามารถเกิดเจลที่ทนความร้อนได้ดี สมบัติดังกล่าว สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทโยเกิร์ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมที่ผ่านการทำปฏิกิริยาโดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะมีเนื้อสัมผัสที่ดีและเจลที่ได้มีความแข็งแรง สามารถลดปัญหาการแยกตัวของน้ำในระหว่างการเก็บรักษา (Faergemand et al., 1999; Lorenzen et al, 1999 ; Lauber et al., 2000) แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตโยเกิร์ตโดยใช้นมที่ผ่านการเชื่อมพันธG-L ด้วยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจะต้องการระยะเวลานานขึ้นในกระบวนการหมักให้เกิดกรดแลคติกในปริมาณที่เท่ากัน เมื่อเทียบกับน้ำนมที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Lorenzen et al, 1999)

3.4.4 ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ได้มีการนำ MTGase (microbial transglutaminase) มาประยุกต์ใช้ผลิตขนมอบ โดยการเชื่อมพันธะG-L ในโปรตีนของแป้งสาลีในระหว่างการเตรียมก้อนแป้ง (dough) สำหรับการผลิตขนมปังและครัวซองท์ (croissant) ซึ่งการเชื่อมพันธะดังกล่าวทำให้ก้อนแป้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น และต้องการพลังงานกลในการนวดผสมลดลง ปริมาณของขนมอบที่ได้เพิ่มสูงขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่ดี ซึ่งในกรณีของขนมปังนั้น พบว่า ความแข็งของเปลือกขนมปัง (crumb strength) สูงขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถคงคุณภาพของก้อนแป้งที่เก็บรักษาหรือจำหน่ายในลักษณะของก้อนแป้งแช่แข็งไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Gerrard et al., 1998 ; Gerrard et al., 2000)

3.4.5 ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เต้าหู้โดยทั่วไปผลิตได้จากการทำให้เกิดเจลของโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลือง โดยการเติมCa^{2+}, Mg^{2+} หรือกลูโคโนเดลต้าแลคโตน (glucono-δ-lactone) การผลิตเต้าหู้ที่มีอายุการเก็บรักษานาน จะต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูง จากกระบวนการสเตอริไรเซชั่น (sterilization) ซึ่งปัญหาที่พบ คือความร้อนและความดันสูงจะทำลายเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ ได้มีรายงานการใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการแก้ปัญหา โดยเต้าหู้ที่ผลิตจากน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งแรงทนต่อความร้อนและความดันสูง (Motoki and Seguro, 1998)

3.4.6 ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ การเชื่อมพันธะG-L ในโปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ ด้วยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีน ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้เกิดแนวทางการนำเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้โปรตีนเป็นวัตถุดิบได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น การผลิตหูฉลามเทียมโดยใช้เจลาติน (gelatin) และการผลิตแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้หรือแผ่นฟิล์มสำหรับเคลือบผิวผักและผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาโดยใช้โปรตีนจากพืชหรือสัตว์ การผลิตไส้เทียมสำหรับทำไส้กรอกโดยใช้คอลลาเจน (collagen) เป็นต้น (Motoki and Seguro, 1998; Loong et al., 1998; Takahashi et al., 1999; Larre et al., 2000) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ ที่ขาดกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด โดยการเชื่อมพันธะโคเวเลนต์ของเปปไทด์สายสั้น ๆ ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นที่ต้องการเข้ากับโปรตีนดังกล่าว (Nonaka et al., 1996)

3.5 คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนที่ผ่านการเชื่อมพันธะG-L

โปรตีนที่ผ่านการเชื่อมพันธะG-L ด้วยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส สามารถถูกย่อยสลาย และถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ปกติ และปลอดภัยเหมือนกับโปรตีนทั่วไป โดยตามธรรมชาติ มนุษย์บริโภคอาหารที่มีองค์ประกอบของโปรตีนที่มีพันธะG-L อยู่ตลอด ซึ่งมีรายงานการตรวจพบพันธะG-L ในอาหารดิบและอาหารปรุงสุกหลายชนิด ได้แก่ เนื้อสัตว์ ปลา หอย คามาโบโกะ (kamaboko) ไก่ทอดหมูย่าง และแฮมเบอร์เกอร์ เป็นต้น (Sakamoto et al., 1995) และยังพบพันธะG-L ปริมาณสูงในไข่ปลาชนิดต่าง ๆ ตามธรรมชาติที่มนุษย์นำมาบริโภคเป็นอาหาร (Kuraishi et al., 1996) นอกจากนี้ พบว่า อาหารปรุงสุกจะมีปริมาณพันธะG-L สูงกว่าอาหารดิบ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มีอยู่ในวัตถุดิบตามธรรมชาติ เมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการหุงต้มจะเร่งให้เกิดการเชื่อมพันธะG-L ในโปรตีน นอกจากนี้ ความร้อนสูงยังสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมพันธะG-L โดยปฏิกิริยาทางเคมี จากการค้นพบว่า เอ็นไซม์ γ-glutamylamineecyclotransferase ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่พบในไต สามารถย่อย

สลายพันธะG-L ไดเปปไทด์ และได้เป็นกรดอะมิโนไลซีนอิสระ และ5-oxoproline (Fink et al., 1980) ทำให้เกิดข้อสันนิษฐานว่า ร่างกายสามารถเมตาบอไลซ์ (metabolize) พันธะG-L ในโปรตีนได้ โดยปกติเอ็นไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั่วไปสามารถย่อยสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนอิสระ แต่ไม่สามารถย่อยสลายพันธะG-L ไดเปปไทด์ ซึ่งพันธะG-L ไดเปปไทด์ ดังกล่าวอาจถูกดูดซึมโดยผนังลำไส้ และถูกย่อยสลายต่อไปในไตโดยเอ็นไซม์ γ-glutamylamine cyclotransferase ดังที่กล่าวข้างต้น และให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอะมิโนไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามปกติ นอกจากนี้ ยังเกิด 5-oxoproline ซึ่งน่าจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูตาเมท (glutamate) โดยเอ็นไซม์ 5-oxoprolinase ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการสารที่มีพันธะพลังงานสูง คือ ATP ดังนั้น จึงเกิดข้อวิตกว่า ถ้ามีการบริโภคโปรตีนที่มีพันธะG-L ปริมาณมากจะทำให้เกิด 5-oxoproline ในปริมาณสูง และต้องใช้ ATP จากไตปริมาณมาก ในการเปลี่ยน 5-oxoproline ไปเป็นกลูตาเมท จึงเป็นผลเสียต่อไต เนื่องจากไตจะต้องทำงานหนัก อย่างไรก็ตามได้มีการค้นพบว่า ในเนื้อเยื่อของผนังลำไส้ในไตและในเลือด มีเอ็นไซม์อีกชนิดหนึ่ง คือ γ–glutamyltranferase ซึ่งสามารถย่อยสลายพันธะG-L ไดเปปไทด์ให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอะมิโนไลซีนและกลูตาเมทโดยไม่ต้องใช้ ATPได้เช่นกัน (Seguro et al.,1995) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาที่พยายามจะแสดงให้เห็นว่าพันธะG-L ไดเปปไทน์สามารถถูกเมตาบอไลซ์ในสัตว์ทดลอง และกรดอะมิโนไลซีนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลองได้ โดยการให้หนูทดลองได้รับอาหารที่เป็นเคซีนที่ผ่านการเชื่อมพันธะG-L พบว่า หนูทดลองมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ เมื่อเทียบกับหนูชุดควบคุมซึ่งได้รับเคซีนที่ไม่ได้ผ่านการเชื่อมพันธะG-L (Seguro et al.,1995)

จากข้างต้นสรุปได้ว่า เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสสามารถเร่งปฏิกิริยาเชื่อมพันธะG-L ในโปรตีนอาหารหลากหลายชนิด เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีน โดยเฉพาะความสามารถในการเกิดเจลและความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีนนี้ทำให้เกิดแนวทางการใช้ประโยชน์จากเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในกระบวนการแปรรูปอาหารได้หลายรูปแบบ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจึงจัดเป็นเอ็นไซม์ที่น่าจับตามอง เนื่องจากมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทโปรตีน

3.6 คุณสมบัติของส่วนผสมอื่นๆ ที่นิยมใช้ร่วมกับเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2561) กล่าวถึงส่วนผสมอื่น ๆ ที่นิยมใช้ร่วมกับเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ดังนี้

3.6.1 ไข่ขาว (egg white) ช่วยเพิ่มความเป็นมันเลื่อม (glossiness) และเพิ่มความแข็งแรงของเจล โดยความแข็งแรงจะขึ้นกับอัตราการดูดซึมน้ำของไข่ขาว และอุณหภูมิในการเกิด

เจล เช่น ช่วงแรกเก็บที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส 21 ชั่วโมง หรือ 40 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาต้มที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นต้น

3.6.2 กลูเต็น (gluten) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล โดยความแข็งแรงจะขึ้นกับกรรมวิธีการทำแห้งของกลูเต็น เช่น การทำแห้งด้วยวิธีสเปรย์ดาย (spray dry) จะช่วยให้สมบัติของกลูเต็นดีขึ้น และกลูเต็นที่นำมาใช้ในการผลิต ควรผ่านกระบวนการคืนตัว (rehydration) ก่อน มิเช่นนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกระด้าง

3.6.3 แป้ง (starch) ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เป็นสารเพิ่มเนื้อ ช่วยเรื่องความคงตัวขณะแช่แข็งและละลาย (freezed-thaw stability) ช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยทั่วไปนิยมใช้แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy maize) และแป้งดัดแปร (cross-linking) ในขั้นตอนการให้ความร้อน แป้งจะเกิดการพองตัวขึ้น เกิดกระบวนการเจลาติไนเซชั่น (gelatinization) และปริมาณน้ำอิสระจะลดลง การพองตัวของแป้งนั้นจะช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของเจลได้มากยิ่งขึ้น (packing effect) แป้งที่มีปริมาณอะไมโลส (amylose) สูง เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันฝรั่ง จะให้เจลที่มีลักษณะขุ่นมัว เปราะแตกง่าย ส่วนแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคติน (amylopectin) สูง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว จะให้เจลที่ใส เหนียว และเกาะติดกันดี และการใช้แป้งดัดแปร จะให้เจลที่ใส หรือไม่ใสแต่ไม่ทึบแสง (translucent) ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแป้ง ซึ่งแป้งมันฝรั่งมีความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี ตามลำดับ ระดับของแป้งที่ใช้ทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 5-8

3.6.4 เจลาติน (gelatin) เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) ที่คืนตัวเป็นของเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน (thermoreversible gel) ทำให้เกิดความคงตัว (stabilizer) เป็นอิมัล-ซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้น้ำกับไขมันรวมตัวกันได้ดี ไม่แยกชั้น ใช้ทดแทนไขมัน (fat replacer) ใช้ในอาหารที่มีไขมันต่ำ ใช้สำหรับการจับและเก็บรักษากลิ่นรส (flavor encapsulation) ใช้เคลือบผิว แฮม ขนมเค้ก เพื่อรักษาความชุ่มชื้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2561)

3.6.5 เกลือ (salt) การเติมเกลือ ในสารละลายโปรตีน ทำให้โปรตีนตกตะกอนได้เช่นเดียวกับการปรับ pH เพราะเกลือแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบและรวมตัวกับโปรตีน การเติมเกลือปริมาณน้อย ๆ อาจทำให้โปรตีนละลายได้มากขึ้นหรือจับกับน้ำได้ดีขึ้น (salting in) และละลายได้ดีขึ้นจนถึงจุดสูงสุด แต่หากสารละลายเกลือเข้มข้นมากขึ้น ส่งผลให้โปรตีนตกตะกอน (salting out)

3.6.6 ฟอสเฟต (phosphate) การใส่สารประกอบฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ จะช่วยสีของผลิตภัณฑ์มีความคงตัว ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ ทำให้รส-

สัมผัสนุ่มและมีความชุ่มฉ่ำมากขึ้น ป้องกันการเกิดกลิ่นหืน ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยลดปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป

4. การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (sensory test)

4.1 การทดสอบและการประเมินคุณภาพอาหารด้วยประสาทสัมผัส

วิธีการนี้ใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของอาหารด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้า ได้แก่ การดม การชิม การมอง การสัมผัส และการได้ยิน จากนั้นทำการประมวลผลด้วยวิธีทางสถิติเพื่อการสรุปผลถึงระดับคุณภาพของอาหารได้อย่างเป็นระบบ การทดสอบและการประเมินคุณภาพอาหารด้วยวิธีการทางประสาทสัมผัสมีความสำคัญในการควบคุมให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในเงื่อนไขของข้อกำหนดผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ ยังใช้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การจับคู่ผลิตภัณฑ์ การวางตัวผลิตภัณฑ์ ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย (ปพนวีณ์ สุทธิประสิทธิ์ , 2560)

โดยคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสของอาหารประกอบ ได้แก่

4.1.1 ลักษณะที่ปรากฏ เป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารที่สำคัญที่สุด ได้แก่

1) สีของอาหาร เกิดจาก การที่คลื่นแสงตกกระทบอาหารและสะท้อนมาเข้าตาของมนุษย์ ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 800 นาโนเมตร อาหารแต่ละชนิดจะมีสีสันเฉพาะเนื่องจากการมีเม็ดสี (pigment) ที่ให้สีต่าง ๆ กันออกไป เช่น ในเนื้อหมูควรมีสีชมพู

2) ขนาดและรูปร่าง ขนาดของอาหารจัดเป็นปริมาณเปรียบเทียบของชิ้นหรืออนุภาคอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นหรืออนุภาคอื่น ๆ ในอาหารประเภทเดียวกัน ส่วนรูปร่างของอาหารบอกลักษณะรูปทรงของชิ้นหรืออนุภาคอาหาร เช่น แบน ทรงกลม รูปเหลี่ยม และอื่น ๆ เป็นต้น

3) ผิวหน้าของอาหาร ได้แก่ ความเป็นมัน ความขุ่นมัว ความหยาบหรือละเอียดของผิวหน้า สภาพการเปียก-แห้ง ความนิ่ม-แข็ง ตลอดจนความกรอบและกระด้าง เป็นต้น

4) ความใส เป็นคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของอาหารที่เป็นของแข็งและของเหลวบางชนิด เช่น วุ้น หรือเครื่องดื่มทั่วไป เป็นต้น

5) สภาพการเป็นฟองในเนื้อของอาหาร เป็นคุณลักษณะของเครื่องดื่มที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งหากมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากจะมีฟองมาก

4.1.2 กลิ่น เป็นลักษณะเฉพาะของอาหาร ซึ่งมนุษย์สามารถรับรู้ได้ เมื่อโมเลกุลที่ทำให้เกิดกลิ่นในอาหาร (aromatics) ผ่านเข้าไปในจมูก และสัมผัสกับระบบรับกลิ่น (olfactory system) กลิ่นของอาหารเป็นลักษณะเฉพาะตัวของอาหาร เมื่อนำอาหารหลายชนิดมาผสมหรือประกอบขึ้นเป็นอาหารชนิดใหม่จะทำให้เกิดกลิ่นที่แตกต่างไปจากเดิม ความแรงของกลิ่นอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณสารให้กลิ่นที่หลุดจากเนื้อของอาหาร ซึ่งจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิและธรรมชาติของสารที่ให้กลิ่นแต่ละชนิด สารที่ให้กลิ่นหลายชนิดจะหลุดจากชิ้นอาหารด้วยอิทธิพลจากการทำงานของเอ็นไซม์ ทำให้เกิดสารให้กลิ่นและสารให้กลิ่นหลุดออกมาจะเกิดขึ้นเมื่อผิวหน้าชิ้นอาหารถูกตัดใหม่ๆ ตัวอย่างเช่น หอม และกระเทียม เป็นต้น

4.1.3 เนื้อสัมผัส เป็นลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของอาหารที่รับรู้ในปากที่สำคัญ ได้แก่

1) ความหนา (thickness) อาหารที่มีสภาพเป็นของเหลวซึ่งมีความหนามากจะมีลักษณะข้นและหนืดมาก

2) ความหยาบ (roughness) เป็นสภาพเนื้อสัมผัสที่จัดเป็นสิ่งผิดปกติ ซึ่งปกติเนื้อสัมผัสจะเรียบ ตัวอย่างเช่น ขนมเค้กที่แป้งมีสภาพรวมตัวเป็นเม็ด ทำให้รู้สึกว่าเนื้อเค้กหยาบ เป็นต้น

3) ปฏิกิริยาของเนื้ออาหาร เมื่ออาหารเข้าสู่ปากเนื้อสัมผัสด้านปฏิกิริยานี้ได้แก่ ความเหนียวและความแน่นของชิ้นเนื้ออาหาร เป็นต้น

4.1.4 กลิ่นรส เป็นลักษณะของอาหารรวมทั้งเครื่องดื่มและสิ่งปรุงรส เป็นผลรวมของการกระตุ้นความรู้สึก เมื่ออาหารผ่านปากเข้าไปจนถึงขณะผ่านเข้าสู่หลอดอาหาร เกิดจากองค์ประกอบต่อไปนี้

1) สารให้กลิ่น (aromatics) เมื่อเข้าสู่ปากแล้วแยกตัวจากอาหาร

2) สารให้รส (tastes) ได้แก่ สารที่ทำให้เกิดรสเค็ม (salty) รสหวาน (sweet) รสเปรี้ยว (sour) และรสขม (bitter) การเกิดรสต่าง ๆ ดังกล่าวเกิดได้เมื่อสารที่ทำให้เกิดรสละลายในปาก

3) สารที่ทำให้เกิดการตอบสนองอื่น ๆ ได้แก่ ทำให้เกิดความรู้สึกเผ็ด (spice heat) เย็น (cooling) ฝาด (astringen) แสบ (bite) และรสโลหะ (metallic flavor)

นอกจากคุณลักษณะที่ปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสซึ่งถือเป็นคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสที่สำคัญของอาหารแล้ว ยังมีองค์ประกอบอีกอย่างหนึ่ง ที่มีความสำคัญรองลงไป แต่ไม่คำนึงในระบบการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส ได้แก่ เสียง (noise) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ

ตรวจสอบอาหาร เช่น เสียงที่เกิดขึ้นเมื่อบีบหรือทำให้อาหารทอดกรอบ เช่น มันฝรั่ง ทอดกรอบ (potato chip) แตกออก เป็นต้น

4.2 ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส (panelist, assessor, evaluator หรือ judge)

ผู้ทดสอบทำหน้าที่ทดสอบคุณภาพเชิงประสาทสัมผัสของตัวอย่างอาหาร (รวมถึงเครื่องดื่ม) โดยการชิม การดม การสัมผัส การมอง และการฟังเสียง ผู้ทดสอบจัดเป็นเครื่องมือสำคัญของการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส ระดับคุณภาพของผู้ทดสอบขึ้นอยู่กับสมบัติและความสามารถของผู้ทดสอบ ผู้ทดสอบอาจจะเป็นบุคลากรในสำนักงานในโรงงานหรือทีมงานวิจัยก็ได้

ประเภทของผู้ทดสอบด้วยประสาทสัมผัสแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

4.2.1 ผู้ทดสอบทั่วไป ใช้สำหรับกรณีการประเมินหาความนิยมหรือการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค ผู้ทดสอบประเภทนี้ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย ซึ่งโดยทั่วไปมีจำนวน 50-200 คน โดยไม่จำกัดเพศ อายุ หรือ พื้นความรู้ ผู้ทดสอบประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้ทางการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสมาก่อน

4.2.2 ผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผู้ทดสอบประเภทนี้เป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝนให้เข้าใจกระบวนการทดสอบด้วยประสาทสัมผัสเพื่อให้ได้ข้อมูลไปวิเคราะห์และแปลผลต่อไป ผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึก (trained panelist) เป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกในระดับที่มีความชำนาญในการทดสอบลักษณะเชิงประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารที่จะดำเนินการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส โดยปกติทดสอบด้วยประสาทสัมผัสใช้ผู้ทดสอบประเภทนี้ ประมาณ 10 - 20 คน

2) ผู้ทดสอบชำนาญการ (expert panelist หรือ highly train panelist) เป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกมาอย่างดีมีประสบการณ์สูง นอกจากสามารถใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า ตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยสามารถแยกแยะคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสแต่ละชนิดทั้งในด้านระดับความมากน้อยและเหตุผลแวดล้อม ผู้ทดสอบชำนาญการสามารถประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสได้ตรงและถูกต้อง ในโรงงานผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น เบียร์ ไวน์ และสุรา เป็นต้น นิยมใช้ผู้ทดสอบชำนาญการเพียงไม่กี่คนเท่านั้น อย่างมากที่สุดไม่เกิน 3 ถึง 5 คน

4.3 การทดสอบการยอมรับ

กระบวนการหาข้อมูลความชอบหรือการยอมรับที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้ อาจเป็นการทดสอบสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวหรือหลายชนิดเปรียบเทียบกันก็ได้ เป็นการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพียงวิธีเดียวที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มที่เป็นหรือมีแนวโน้มที่จะเป็นผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารนั้นโดยตรง การทดสอบการยอมรับแตกต่างจากการทดสอบความแตกต่าง และการทดสอบเชิงพรรณนา ในลักษณะที่ว่าความคิดเห็นของผู้ทดสอบการยอมรับไม่มีมาตรฐานใดอ้างอิงถึงความถูกหรือผิด ความชอบหรือการยอมรับ นับเป็นความคิดเห็นส่วนบุคคลอย่างแท้จริง จึงจัดว่าเป็นการทดสอบที่ขึ้นกับตัวบุคคล (subjective test) หรือบางครั้งก็เรียกว่า การทดสอบที่ขึ้นกับอารมณ์ (affective test) หรือการใช้ความรู้สึกส่วนตัวเข้าตัดสิน ทั้งนี้แตกต่างจากการทดสอบหาความแตกต่าง และการทดสอบเชิงพรรณนา ซึ่งจัดเป็นการทดสอบเชิงการวิเคราะห์ (analytical test) เพราะมิได้ทดสอบโดยใช้อารมณ์หรือความรู้สึกส่วนตัวมาตัดสิน แต่ให้ผู้ทดสอบปฏิบัติตนคล้ายเครื่องมือวิเคราะห์

โดยประเภทของการทดสอบการยอมรับ อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

4.3.1 การทดสอบการยอมรับเชิงคุณภาพ เป็นการทดสอบที่ประเมินการตอบสนองส่วนบุคคลหรือความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้ในหลายกรณี ดังนี้

1) เพื่อชี้บ่งความจำเป็นและความต้องการที่ไม่ได้แสดงออกมาให้เห็น
2) เพื่อประเมินการตอบสนองครั้งแรกเมื่อได้รับผลิตภัณฑ์
3) เพื่อชี้บ่งคำพูดที่ผู้บริโภคพูดอธิบายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์
4) เพื่อค้นหาการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

วิธีการทดสอบการยอมรับเชิงคุณภาพทำได้โดย การสนทนากลุ่มย่อย (focus group) การสนทนากลุ่มย่อยหลายครั้ง (focus panels) และการสัมภาษณ์รายบุคคล วิธีการเหล่านี้เป็นการใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารจำนวนน้อย มักใช้เป็นการทดสอบการยอมรับในเบื้องต้น ที่โดยทั่วไปจะทำการทดสอบในระดับใหญ่ขึ้นด้วยการทดสอบการยอมรับเชิงปริมาณต่อไป การทำการทดสอบการยอมรับเชิงคุณภาพก่อน เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตหรือชี้บ่งลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาการยอมรับเชิงปริมาณต่อไป

4.3.2 การทดสอบการยอมรับเชิงปริมาณ เป็นการทดสอบที่ประเมินระดับการตอบสนองส่วนบุคคลหรือความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การทดสอบความชอบ และการทดสอบการยอมรับ โดยทั่วไปการทดสอบการยอมรับเชิงปริมาณมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1) เพื่อชี้บ่งระดับความนิยมหรือความชอบโดยรวมในตัวผลิตภัณฑ์

2) เพื่อชี้บ่งระดับความนิยมหรือความชอบลักษณะเชิงประสาทสัมผัสโดยรวมของตัวผลิตภัณฑ์

4.4 วิธีการทดสอบการยอมรับโดยใช้สเกลเฮโดนิก (hedonic scale)

เป็นวิธีการทดสอบที่อ้างถึงความพอใจทางจิตวิทยาและลำดับของความไม่พอใจของผู้บริโภค ซึ่งแสดงถึงเป็นวิธีจำเพาะของการลำดับสเกลเพื่อวัดสภาวะทางจิตวิทยาโดยตรง เป็นการวัดการยอมรับอย่างแท้จริงจากปฏิกิริยาของผู้บริโภค ในเทอมของระดับการชอบหรือไม่ชอบในตัวผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่กำหนดไว้ ปฏิกิริยาของผู้ประเมินจะชี้ให้เห็นถึงคำที่พรรณนาบนสเกล (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) ปัจจุบันถือเป็นมาตรวัดที่ได้รับความนิยมมาก อาจมีคำบรรยาย 5 คำ 7 คำ 9 คำก็ได้ แต่ที่นิยมใช้อยู่ คือ 9 คำบรรยายหรือบางครั้งเรียกว่า สเกลเฮโดนิก 9 จุด (9 – point hedonic scale) เนื่องจากได้มีการทดสอบพบว่า ถ้ามีคำบรรยายน้อยกว่า 9 คำ ความละเอียดของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะลดลง แต่ถ้ามีมากกว่า 9 คำ ก็ทำให้ข้อมูลมีความแปรปรวนสูง ตัวอย่างแบบสอบถาม แสดงดังภาพที่ 2.7

มาตรวัดประเภทนี้มีคำบรรยายประกอบ และคำบรรยายดังกล่าวจะปรับเป็นค่าคะแนนได้ในช่วงเวลาประเมินผล โดยที่คะแนน 1 สำหรับไม่ชอบมากที่สุด คะแนน 5 สำหรับเฉย ๆ หรือบอกไม่ถูกว่าชอบหรือไม่ และคะแนน 9 สำหรับชอบมากที่สุด เนื่องจากตารางความพอใจมีคำบรรยายเป็นข้อความที่มีความหมาย ซึ่งสะท้อนความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยตรง ในการตอบมาตรวัดประเภทนี้ จึงสามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องมีจำนวนตัวอย่างมากกว่า 1 ตัวอย่าง ดังเช่นกรณีของการทดสอบเปรียบเทียบคู่ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้จากตารางความพอใจจะสามารถใช้เปรียบเทียบความชอบของผู้บริโภคสำหรับ 2 ตัวอย่างขึ้นไปได้ และยังบอกได้ถึงความรู้สึกที่มีต่อแต่ละตัวอย่างด้วย

Name _____Code_____Date_____

(ชื่อ) (รหัสตัวอย่าง) (วันที่)

Please circle the term that best reflects your attitude about the product whose code matches the code on this scorecard.

(โปรดทำเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ใช้อธิบายความรู้สึกที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์ที่ให้ทดสอบ)

_____ Like extremely (ชอบมากที่สุด)

_____ Like very much (ชอบมาก)

_____ Like moderately (ชอบปานกลาง)

_____ Neither like or dislike (เฉยๆ หรือบอกไม่ถูกว่าชอบหรือไม่ชอบ)

_____ Dislike slightly (ไม่ชอบเล็กน้อย)

_____ Dislike moderately (ไม่ชอบปานกลาง)

_____ Dislike very much (ไม่ชอบมาก)

_____ Dislike extremely (ไม่ชอบมากที่สุด)

ภาพที่ 2.7 แบบทดสอบสเกลเฮโดนิก 9 จุด (9 – point hedonic scale)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Stone and Sidel. (2004)

4.5 ข้อดีของการทดสอบแบบใช้สเกลในการพรรณนา

เปรียบเทียบกับการทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสอื่น ๆ พบว่า การทดสอบแบบเฮโดนิกสเกล เป็นการทดสอบที่ง่ายและเข้าใจได้ง่ายที่สุด โดยมีข้อดีหลัก ดังนี้

4.5.1 เป็นวิธีการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพ แม้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันน้อย หรือผู้ทดสอบมีระดับของความชอบในอาหารที่คล้ายกัน และใช้ตรวจสอบความแตกต่างได้อย่างกว้าง ๆ แม้จะมีความแปรปรวนในเรื่องของเวลาและสภาวะของขณะที่ผู้ทดสอบประเมินอยู่ (Amerine et al., 1965)

4.5.2 ใช้แบบสอบถามและข้อเสนอแนะที่เข้าใจง่าย ผู้ทดสอบสามารถลำดับผลิตภัณฑ์ได้ ในการประเมินครั้งแรก (Gatchalian, 1981)

4.5.3 สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างในกลุ่มของลักษณะความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในการสำรวจภาคสนาม โดยสามารถกำหนดระดับการยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ (Kramer, 1976)

4.5.4 เป็นวิธีที่มีประโยชน์ในการตรวจสอบการยอมรับโดยเฉพาะอาหารที่ไม่ปกติ หรือไม่ใช่การทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่าง

4.5.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ง่าย แม้ว่าจะมีจำนวนประชากรตัวอย่างมาก

4.6 ข้อด้อยของการทดสอบแบบใช้สเกลในการพรรณนา

แม้ว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่ จะพบว่า การใช้เฮโดนิกสเกลมีประโยชน์มาก แต่การทดสอบแบบนี้ก็ยังมีข้อด้อย ดังนี้

4.6.1 ประเทศที่ไม่ได้ใช้ภาษาอังกฤษเป็นในการสื่อสาร จำเป็นต้องพิจารณา และแปลความหมายของสเกลในแต่ละระดับให้ถูกต้อง เช่น คำว่า “Like very much” ในภาษาอังกฤษตรงกับภาษาไทยที่ว่า “ชอบมาก”

4.6.2 ผู้ทดสอบจะคิดและตอบสนองบนพื้นฐานของความรู้สึกอย่างฉับพลัน (Amerine et al., 1965) ซึ่งอาจไม่ใช่ความคิดของผู้บริโภคในการสะท้อนถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง เนื่องจากการแสดงออกของผู้บริโภคจริงที่แท้จริง จะอยู่บนพื้นฐานของทัศนคติและความชอบของผู้บริโภค หากผู้ทดสอบเป็นผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาก่อน ความรู้สึกที่แสดงออกว่ายังคงอยู่บนพื้นฐานของการแสดงออกอย่างกว้าง ๆ จึงต้องใช้ผู้ทดสอบจำนวนมาก เพื่อแก้ไขความแปรปรวนดังกล่าว (Klemmer, 1968)

4.6.3 การลำดับของเฮโดนิกสเกล ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ของการควบคุม คุณภาพได้ เพราะมีความแปรปรวนที่เกิดจากผู้ทดสอบมาก (Cross et al., 1977)

5. การเตรียมตัวอย่างเนื้อสำหรับการทดสอบทางวิทยาศาสตร์

5.1 วิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสเต็ก (The science of steak)

Washington State University (2018) ได้เผยแพร่บทความเรื่องวิทยาศาตร์เกี่ยวกับสเต็ก กล่าวถึงลักษณะของเนื้อสเต็กและขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางวิทยาศาสตร์ ไว้ดังนี้

จากความกังวลในด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และจริยธรรม ส่งผลให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมารับประทานสเต็กที่มีคุณภาพ แต่ปัจจุบันมาตรฐานของสเต็กยังเป็นที่น่ากังวล พ่อครัวควรจะให้ความสำคัญกับวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นสเต็กอย่างมาก ไม่ควรเลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพมาทำเป็นสเต็ก เนื่องจากจะไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค สเต็กเนื้อวัวมีเอกลักษณ์ที่เฉพาะตัวและมีความแตกต่างจากสเต็กเนื้อไก่และเนื้อหมู เพราะระบบการย่อยอาหารของวัวซึ่งเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีเชื้อแบคทีเรียที่สามารถทำลายเซลลูโลส (cellulose) แต่เชื้อแบคทีเรียเหล่านี้จะเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ได้จากพืชให้เป็นไขมันอิ่มตัวทำให้เกิดไขมันอิ่มตัวมาก ซึ่งถือว่าไม่เป็นประโยชน์

ต่อร่างกาย และไขมันเหล่านี้ยังทำให้เกิดรสเนยของเนื้อวัวอีกด้วย และสารประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น เธอร์พีน (terpenes) ที่เกิดจากหญ้าที่วัวกินเข้าไป ยังมีผลต่อรสชาติของอาหาร (flavor) ด้วย

ตามหลักการทำสเต็กที่สมบูรณ์ควรมีรสชาติอร่อย เนื้อมีความชุ่มชื้นอ่อนนุ่ม ซึ่งวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการปรุงเนื้อสเต็กให้อร่อย นั้นคือ การทำให้สเต็กอ่อนนุ่มและชุ่มชื้น

5.1.1 ความชุ่มชื้น (moisture) สเต็กที่ไม่แห้งจะมีรสชาติดี เพราะมีสารประกอบที่ละลายน้ำได้ อุดมไปด้วยรสชาติที่อร่อยสามารถเคลือบลิ้นและมีการระเหยกลายเป็นกลิ่นหอมได้ ส่วนใหญ่การตัดเนื้อที่ดี คือ การตัดในแนวเส้นตั้งฉากกับเส้นใยกล้ามเนื้อเพราะจะทำให้เคี้ยวได้ง่ายขึ้น แต่เส้นใยกล้ามเนื้อทุกเส้นที่ถูกเปิดพื้นผิวจะทำให้ไซโตปลาสซึม (cytoplasmic) ซึ่งเป็นของเหลวในเนื้อรั่วออกจากพื้นผิวที่ถูกตัด ซึ่งก็คือ คอลลาเจน (collagens) นั้นเอง กล้ามเนื้อแต่ละเส้นจะทำปฏิกิริยากับความร้อนทำให้ไซโตปลาสซึมไหลออกจากเซลล์ (cell) ของกล้ามเนื้อ เชื่อกันว่าสเต็กทั้งสองด้านสามารถปิดผนึกได้ด้วยอุณหภูมิสูงภายในน้ำผลไม้ ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่จริง เพราะของเหลวและไอน้ำสามารถเกิดการ คาร์บอนไนซ์ (carbonization) ที่ผิวของสเต็กได้ สเต็กจะสูญเสียของเหลวภายในไประหว่างการปรุงอาหาร วัตถุประสงค์ที่แท้จริงของการทำให้เนื้อไหม้เกรียม คือการสร้างปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวของเนื้อสัตว์ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reactions หรือ mallard reactions) น้ำตาลคาราเมลและกรดอะมิโนช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารอินทรีย์อื่น ๆ ในเนื้อสัตว์ที่ก่อให้เกิดส่วนผสมที่ซับซ้อนของรสชาติและสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds)

วิธีหนึ่งในการรักษาความชุ่มชื้นในการปรุงอาหาร คือการทาของเหลวที่ผิวของสเต็กซึ่งจะระเหยแทนน้ำภายในเนื้อ หรือการเพิ่มปริมาณน้ำเริ่มต้นของสเต็ก ถ้าปริมาณน้ำเริ่มต้นสูงและเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างการปรุงอาหารอยู่ในอัตราเดียวกัน ผลคือจะได้สเต็กที่มีความชื้นสูงกว่าเดิม

การใส่น้ำเกลือเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นแก่สเต็ก (brining to increase the moisture content of the steak) เป็นการเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับสเต็ก ทำได้โดยการแช่สเต็กเป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง ในสารละลายน้ำเกลือร้อยละ 3-6 ไอออนของโซเดียมคลอไรด์จะแพร่กระจายไปสู่เนื้อสเต็ก เนื่องจาก ความเข้มข้นภายนอกสูงกว่าความเข้มข้นภายในเนื้อสเต็ก คือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 (60 กรัมต่อลิตร) คิดเป็นประมาณ 2,000 มิลลิโมลต่อลิตร เนื้อสเต็กมีความเข้มข้นของสารละลายภายในประมาณ 300 มิลลิโมลของตัวทำละลายต่อลิตร จากนั้นไอออนจะทำลายปฏิกิริยาระหว่างแอคติน (actin) กับไมโอซิน (myosin) และที่ความเข้มข้นสูง ๆ จะเริ่มทำลายแอคตินกับไมโอซินโดยตรง เนื้อสเต็กที่ผ่านการแช่น้ำเกลือจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้

มากขึ้น ดังนั้นการที่เนื้อสเต็กได้รับสารละลายน้ำเกลือในเวลาที่เพียงพอจะทำให้เนื้อสเต็กอุ้มน้ำได้ดีมากขึ้น

5.1.2 รสชาติและความอ่อนนุ่มของสเต็ก (flavor and tenderization) เนื้อจะมีความนุ่มมากขึ้นระหว่างการปรุง เนื่องจากเกิดการละลายของชั้นไขมันและการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ ตัวอย่างเช่น แอคตินและไมโอซิน รวมถึงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันคลอลาเจน (collagen connective tissue) โดยทั่วไปการละลายไขมันสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ การใช้ส่วนกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ใช้งานหนัก เช่น เนื้อสันใน (tenderloin) จะเป็นส่วนที่มีความอ่อนนุ่มมากที่สุดและมีไขมันระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อมากอีกด้วย ส่วนกล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานมาก เช่น เนื้อขา และเนื้อไหล่ จะมีไขมันระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยและมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมาก ทำให้ความอ่อนนุ่มน้อยลง กล้ามเนื้อโปรตีนและคลอลาเจนสามารถเกิดการสลายตัวเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อมีการสลายตัว เนื้อจะมีความแข็งแรงน้อยลง นอกจากนี้ การสลายตัวของโมเลกุลเหล่านี้ จะปล่อยกรดอะมิโนและอาจรวมถึงสารประกอบที่มีรสชาติ เช่น กลูตาแมท (glutamate) และไกลซีน (glycine) ดังนั้น สเต็กที่เก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิสูงปานกลางจะมีความนุ่มนวลและรสชาติดี อย่างไรก็ตาม สเต็กที่ใช้เวลาปรุงนานจะยิ่งเสียน้ำมาก และการเพิ่มการสลายของโปรตีนสามารถทำได้ โดยนำเนื้อสเต็กที่เตรียมไว้แช่ในน้ำอุ่นก่อนปรุงอาหาร ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของเนื้อสูงขึ้น จนทำให้โปรตีนสลายตัวอย่างรวดเร็วเป็นผลให้สเต็กอ่อนนุ่มและมีรสชาติดี

5.2 ขั้นตอนการเตรียมสเต็กเพื่อทดสอบทางวิทยาศาสตร์

5.2.1 เตรียมตัวอย่างสเต็กทดลอง (experimental steak) โดยชั่งน้ำหนักสเต็ก และบรรจุใส่ถุง ติดป้ายใส่ชื่อผู้ทำการทดลองและชื่อการทดลอง เติมน้ำเกลือประมาณ 500 มิลลิลิตร ลงไป (240 กรัมต่อลิตรของน้ำดื่ม)

5.2.2 เตรียมตัวอย่างสเต็กควบคุม (control steak) โดยชั่งน้ำหนักสเต็กและนำใส่ถุงที่ปิดป้ายชื่อผู้ทำการทดลองและชื่อการทดลอง เติมน้ำเกลือประมาณ 500 มิลลิลิตร ลงไป (240 กรัมต่อลิตรของน้ำดื่ม)

5.2.3 แช่ตัวอย่างสเต็กทั้งสอง ไว้ในตู้เย็น

5.2.4 ลดอุณหภูมิ ก่อนวันทำการทดลอง นำตัวอย่างสเต็กทดลองออกจากตู้เย็น เอาน้ำเกลือออกและวางถุงที่บรรจุสเต็กไว้ในอ่างน้ำอุ่นประมาณ 30 - 60 นาที

5.2.5 ทำเครื่องหมาย ก่อนปรุงอาหาร ให้ล้างน้ำเกลือส่วนเกินออกจากสเต็กทดลองและสเต็กควบคุม จากนั้น ชั่งน้ำหนัก วางไม้จิ้มฟันบนสเต็กทดลองเพื่อเป็นเครื่องหมาย โรยเกลือลงไปบน สเต็กที่ควบคุมทั้งสองด้าน

5.2.6 ปรุงสุก วัดอุณหภูมิเนื้อของตัวอย่างสเต็กทั้งสอง และวางที่แผ่นตะแกรงให้ความร้อน

5.2.7 บันทึกอุณหภูมิ เป็นระยะขณะย่างสเต็กทั้งสองด้านบนตระแกรง โดยใช้เวลาย่างที่เท่ากันโดยอุณหภูมิภายในเนื้อสเต็กจะส่งผลต่อคุณภาพเนื้อด้านต่าง ๆ (ดังตารางที่ 2.3)

5.2.8 ลดอุณหภูมิ นำสเต็กออกมาจากตระแกรง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นลง จากนั้นทำการชิมรสชาติ เพื่อทดสอบว่า สเต็กทดลองมีความนุ่มและมีรสชาติดีกว่าสเต็กควบคุมหรือไม่

5.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเนื้อสเต็กเพื่อทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง

Rachel Howitt (2007) กล่าวถึง ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเนื้อสัตว์สำหรับการทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อการดึงในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

5.3.1 เตรียมตัวอย่างสเต็ก เป็นชิ้น ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร อาจเป็นส่วนอกไก่ โดยพยายามให้ตัดในแนวเดียวกันทุกตัวอย่าง

5.3.2 ตั้งค่าเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง กำหนดให้ความเร็วของหัวจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างของหัวจับชิ้นงานเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

5.3.3 วัดผลแล้ววิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้การทดสอบแบบ ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิภายในเนื้อสเต็กจากการปรุงสุกต่อคุณภาพเนื้อ

อุณหภูมิ	ความสุก	คุณภาพเนื้อ	Actin / Myosin	คลอลาเจน	โปรตีนเกี่ยวพันกับน้ำ	Myoglobin
100°F / 40°C	ดิบมาก	นุ่มนวล สัมผัสเรียบเนียน	เริ่มคลี่คลาย	เหมือนเดิม	น้ำเริ่มออกไป	ปกติ
120°F / 50°C	ดิบ	กระชับขึ้น	เริ่มออกไป	เหมือนเดิม	น้ำออกไปเพิ่มขึ้น	ปกติ
130°F / 55°C	กึ่งสุกกึ่งดิบ	เส้นใยยืดหยุ่น	ตกตะกอน	เหมือนเดิม	-	-
140°F / 60°C	ปานกลาง	หดตัวน้ำแดงเป็นสีชมพู	เปลี่ยนปฏิกิริยา	หดตัวและบีบตัว	การไหลออกของน้ำเพิ่มขึ้น	เปลี่ยนไปจากเดิม
150°F / 65°C	ค่อนข้างสุก	หดตัวน้ำสีชมพูหายไป	-	-	-	-
160°F / 70°C	สุก	หดตัวมากขึ้นน้ำน้อยลงสีน้ำตาลเทา	-	ละลาย	น้ำหยุดไหล	ตกตะกอน
170°F / 75°C	-	แข็ง แห้ง สีน้ำตาล	-	-	-	-

ที่มา : Washington State University. (2018)

6. การทดสอบเนื้อสัมผัสในอาหาร

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ (2550) กล่าวว่า เนื้อสัมผัสอาหารใช้เป็นตัวชี้ถึงลักษณะของส่วนประกอบและโครงสร้างภายในอาหาร อธิบายหรือแสดงผลออกมาในรูปแบบของพฤติกรรมการไหลหรือการสูญเสียรูปร่างของอาหารจากแรงกล จากการบดเคี้ยวหรือการกดทับของแรงจากเครื่องมือ แบ่งความสำคัญของเนื้อสัมผัสในอาหารสามารถออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ใช้ประเมินแรงต้านทานของผลิตภัณฑ์ต่อแรงทางกลที่มากระทำ เช่น กระบวนการในระหว่างการเก็บเกี่ยว

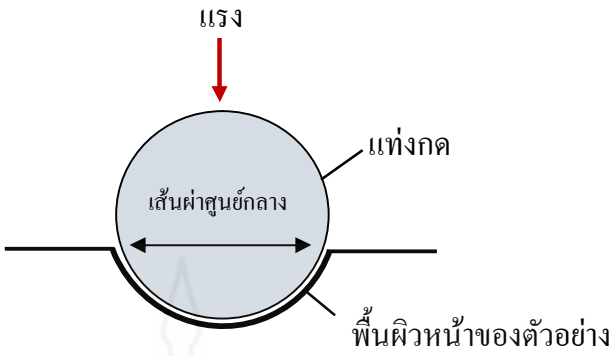
2. ใช้วิเคราะห์สมบัติของการไหลของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการแปรรูป และการเก็บรักษา

3. ใช้เป็นตัวแทนในการกำหนดพฤติกรรมในการเคี้ยวอาหารของผู้บริโภค

6.1 วิธีการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส แบ่งโดยการใช้เครื่องมือออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

6.1.1 วิธีการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ (fundamental measurement) วิธีการนี้พัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร เป็นวิธีการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์เกี่ยวข้องกับค่าแรงที่มากระทำต่อตัวอย่าง ได้แก่ แรงกดและแรงกดอัด (compression-Extrusion) แรงดึง (tensile) แรงตัดและแรงเฉือน (cutting and shearing) เป็นต้น โดยค่าแรงที่กระทำต่อตัวอย่าง ได้มาจากแรงที่หัววัดกระทำต่อตัวอย่างในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ (ดังภาพที่ 2.8) ในขณะที่ภายในตัวอย่างเกิดแรงต้านต่อแรงที่มากระทำ เพื่อพยายามรักษาสมดุลรูปร่างของตัวอย่างให้คงรูปเดิม (ธงชัย สุวรรณสิชณน์, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และพจนีย์ พงศ์พงัน, 2544)

6.1.2 วิธีการวัดค่าแบบประยุกต์ (empirical measurement) วิธีการนี้เป็นวิธีการวัดค่าเนื้อสัมผัสที่ถูกออกแบบโดยนักประดิษฐ์ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้ โดยเฉพาะงานควบคุมคุณภาพและแบ่งระดับชั้นคุณภาพผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ข้อดีของวิธีการนี้คือ เครื่องมือใช้งานง่าย มีความรวดเร็วในการวัด และค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กับการวัดค่าทางประสาทสัมผัส ส่วนข้อเสียคือ ไม่สามารถอธิบายหลักการของค่าที่วัดได้บนพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ นอกจากนี้ ยังเป็นการวัดค่าได้เพียงคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่ง โดยทั่วไปจะวัดค่าที่จุดใดจุดหนึ่ง จึงไม่สามารถให้ข้อมูลที่ต่อเนื่องได้ ตัวอย่างเครื่องมือวัดค่าแบบประยุกต์ ได้แก่ fruit pressure tester, bloom geometer, penetrometer เป็นต้น



ภาพที่ 2.8 ลักษณะแรงกดที่กระทำต่อตัวอย่าง

ที่มา: http://www.schoolscience.co.uk/.../steelch4pg 3.html

6.1.3 วิธีการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ (imitative measurement) วิธีการนี้ออกแบบเครื่องมือให้มีหลักการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเป็นเครื่องมือแบบเดียวกันกับวิธีการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ที่สามารถหาค่าแรงกับระยะทางหรือความเค้นกับความเครียดได้ ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้วัดค่าด้วยวิธีการนี้ได้แก่ texture analyzer แสดงดังภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9 texture analyzer

ที่มา: http://www.stablemicrosystems.com/tarange.gif

6.2 การวัดค่าแรงกด (uniaxial compression)

วิธีการนี้เป็นการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ (Jankowski, 1986) ซึ่งให้ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับค่าทางกล เช่น เจลแป้งที่มีลักษณะแข็งขึ้น แสดงถึงการเกิดการคืนตัวของแป้งหรือการเกิด รีโทรเกรเดชันของแป้ง (Jankowski, 1992) วิธีการวัดค่าแรงกด เป็นวิธีที่ใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังและขนมมัฟฟิน นอกจากนี้ ยังใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียด ซึ่งสามารถอธิบายรูปแบบความสัมพันธ์นี้ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การวัดค่าแรงกดสามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการกดหลาย ๆ ครั้งได้ ตัวอย่างเช่น ค่าแรงกดในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายโฟมหรือฟองน้ำจะมีลักษณะความสัมพันธ์แบบซิกมอนเคอร์บ (sigmoid curve) และลักษณะนี้จะหายไปเมื่อทำการกดในครั้งที่ 2 หรือครั้งต่อ ๆ ไป นอกจากนี้ การวัดค่าแรงกดยังเหมาะกับการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา (Karim, A.A., Norziah, M.H. and Seow, C.C., 2000)

6.3 การวัดค่าระดับความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม (degree of elasticity)

ความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม หลังจากที่ตัวอย่างถูกกดหรือทำให้ผิดรูปร่าง (deformation) ระดับความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม (degree of elasticity) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างการคืนตัวและปริมาณการเสียรูปทั้งหมดที่เกิดจากการกด (Bourne, M.C., 1982) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ประโยชน์จากการวัดค่าระดับความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม ได้แก่ การศึกษาการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบัทเทอร์เค้กที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่าง ๆ (อุศมา สุนทรนฤรังษี, 2545) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาระดับความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมของอาหารอีกหลายชนิด ได้แก่ กล้วย เนยแข็ง ไส้กรอก เจลลี่ แมสเมลโล และมันฝรั่ง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในกลุ่มอิลาสติก (elastic) มีค่างานที่เกิดจากการคืนตัวกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 ในขณะที่วัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่มพลาสติก (plastic) มีค่างานที่เกิดจากการคืนตัวกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 20-50 (Kaletunc, G., Normand., M.D., Johnson, E.A. and Peleg, M., 1991)

6.4 การวัดค่าโดยใช้แรงดึง (tensile test)

การวัดค่าโดยใช้แรงดึงไม่นิยมนำมาใช้วัดค่าเนื้อสัมผัสของอาหาร เนื่องจากกระบวนการเคี้ยวประกอบด้วยแรงกดระหว่างฟัน สำหรับการวัดโดยใช้แรงดึงนั้นสมมุติว่าตัวอย่างจะเกิดรอยแยกทันที โดยตัวอย่างจะถูกดึงในแนวตั้ง อาหารบางประเภทอาจไม่ขาด (แตกหัก) ทันทีที่ถูกดึง แต่การขาดหรือการแตกหักจะเริ่มจากรอยแตกเล็ก ๆ หลังจากนั้นรอยแตกจะขยายขึ้นอย่างช้า ๆ โดยรอยแตกที่เกิดขึ้นนั้นอาจตั้งฉากหรือไม่ตั้งฉากกับแรงดึงก็ได้ ปัญหาหนึ่งที่พบในการวัดค่าแรงดึง คือการยึดตัวอย่าง อาหารหลายชนิดมักจะไม่อยู่ติดกับตัวหนีบหรือที่ยึดตัวอย่าง (jaw)

ปัญหานี้จึงถูกแก้ไขโดยการตัดตัวอย่างให้เป็นรูปดัมเบล และยึดส่วนที่กว้างเอาไว้ ตัวอย่างจึงมีแนวโน้มที่จะแตกหักหรือขาดตรงส่วนที่แคบตรงกลางตัวอย่าง (ธงชัย สุวรรณสิชณ์, และคณะ, 2544) เช่น การวัดค่าแรงดึง และการแตกหักของเส้นก๋วยเตี๋ยวไทยหรือเส้นพาสต้า เป็นต้น

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกับงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนี้

7.1 งานวิจัยในประเทศ

สุภัทรา กล่ำสกุล (2543) ศึกษาเรื่อง การเลือกใช้สารยึดเกาะในแฮมต้มผสมด้วยอิมัลชั่นจากเนื้อโครงไก่ โดยการใช้สารยึดเกาะ 4 ชนิด ได้แก่ ไข่ขาวผง โซเดียมเคซีเนท แป้งถั่วเหลือง และโซเดียมอัลจิเนต ที่ระดับร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 พบว่า มีผลต่อค่าร้อยละของผลผลิต ค่าแรงเฉือน ค่าร้อยละของของเหลว ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) และคะแนนคุณภาพการหั่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยสรุปผลว่า โซเดียมเคซีเนทร้อยละ 0.5 ให้ผลทั้งสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสในขั้นที่ดีและดีมาก

ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร (2546) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาการผลิตแฮมจากปลาสวาย (Pangasiussutchi) และการเก็บรักษา โดยพัฒนาการผลิตแฮมในรูปของแฮมอัดที่มีชิ้นส่วนปลาผสมกับแบตเตอร์ ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาในการต้มแฮม ปริมาณเกลือที่ใช้ อัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาต่อไขมัน และปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลัง และวัดผลด้วยค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าแรงตัดขาด เสถียรภาพของแบตเตอร์ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลาต้ม 60 นาที และการใช้เกลือร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักเนื้อปลา ให้ค่าแรงตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำดีที่สุดจากปัจจัยทั้งหมด อัตราส่วนเนื้อปลาต่อไขมันที่ให้เสถียรภาพของแบตเตอร์ที่ดี คือ 3 : 1 และ 1 : 1 และจากการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าแฮมปรุงแต่งด้วยเครื่องเทศที่ประกอบด้วย พริกไทยร้อยละ 0.80 กระเทียมป่นร้อยละ 0.60 ลูกจันทร์ร้อยละ 0.12 และเม็ดผักชีป่นร้อยละ 0.10 ได้คะแนนการยอมรับสูงที่สุด

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และคณะ (2554) ศึกษาเรื่อง ผลของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง พบว่า การเติมเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีผลต่อคุณภาพหลังการต้ม ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่เติมใบมะรุมผงร้อยละ 6 โดยแปรปริมาณเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เป็นร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 0.9 ต่อน้ำหนักแป้ง ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงต่อการดึงและค่าความแน่นเนื้อของ

บะหมี่ต้มสุกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 0-0.3) แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.5-0.9) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าสี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า บะหมี่ที่เติมเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Joseph and Dale (1985) ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับโครงสร้างเนื้อหมูโดยกระบวนการแปรรูปเนื้อสุกรแม่พันธุ์ โดยทำการทดลอง 4 ตัวอย่าง ได้แก่ 1) ตัวอย่างควบคุม 2) ตัวอย่างที่ใช้โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (Sodium Acid Pyrophosphate: SAP) 3) ตัวอย่างที่ใช้โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตร่วมกับกรดแลกติกแบบแคปซูล (Encapsulated Lactic Acid: LA) และ 4) ตัวอย่างที่ใช้โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตร่วมกับกลูโคโนเดลตาแล็กโตนแบบแคปซูล (Encapsulated Glucono-delta-Lactone: GDL) ทั้งนี้สารโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตจะรวมอยู่ในการทดลองทั้ง 3 แบบ เพราะเป็นสารตัวเร่ง (catalyze) ให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น การเตรียมตัวอย่างจะบดเนื้อขนาด 3.2 มิลลิเมตร และ10 มิลลิเมตร จากนั้นผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วน 50:50โดยควบคุมปริมาณไขมันให้เท่ากัน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างที่ใช้ SAP กับตัวอย่างที่ใช้ GDL จะทำให้เนื้อหมูรสชาติของกลิ่นรสมากกว่าตัวอย่างควบคุม มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระบบนัยสำคัญ 0.05 ($p<0.05$) ผลการทดลองยังพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p<0.05$)ในการทดสอบค่าเฉือน (shear value) ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity) ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงสุกแล้ว (cooked yield) หรือผลิตภัณฑ์แช่เย็น (chilled yield) โดยการทดสอบค่าแรงเฉือน (shear value) เตรียมตัวอย่างทรงเต๋า ขนาด 5 เซนติเมตร และทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) เตรียมตัวอย่างขนาดกว้าง 1 เซนติเมตรยาว 5 เซนติเมตร อัตราความเร็วของการทดสอบ เท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อนาที

Doros, Amico and Masson (2005) ได้ศึกษางานวิจัย เรื่องวิธีการพัฒนาสมบัติเชิงกลของไส้กรอก โดยการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile) และความต้านทานต่อแรงกด(compression) ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีเนื้ออิมัลชันที่ประกอบด้วยไขมันที่กระจายอยู่ในสารละลายของโปรตีน กลายเป็นกล้ามเนื้อและเนื้อสัมผัส โดยได้ทำการตรวจสอบคุณภาพ การยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเมื่อถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ต่างกัน จะมีผลต่อความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ของไส้กรอกต่างกัน การประเมินสมบัติเชิงกลของไส้กรอกได้มีการพัฒนาขึ้น โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสมบัติไส้กรอก ค่าความแข็งแรงต่อ

แรงดึง (tensile strength) และความต้านทานต่อแรงกด (compressive strength) ภายใต้ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึง อัตราความเครียดรูปร่างของตัวอย่างและอุณหภูมิ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่อการทดสอบ โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะสามารถลดระดับแรงดึงและแรงกดได้ และการเลือกใช้อัตราความเร็วของการทดสอบที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เพราะไม่มีผลต่อการกำหนดความเข้มของแรงดึงหรือแรงกด

Shleikin, Gorbatovsky and Danilov (2008) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการแปรรูปอาหาร เอ็นไซม์มีบทบาทสำคัญมากในการผลิตอาหาร ในอดีตกระบวนการผลิตเบียร์และเนยแข็งจะอาศัยกิจกรรมของเอ็นไซม์ในทุกขั้นตอนของการผลิต ส่วนการผลิตโยเกิร์ตและเครื่องดื่มประเภทหมัก อาศัยเอ็นไซม์อยู่ภายใน (endogenous enzymes) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ในพืช เนื้อสัตว์ และเซลล์ของจุลินทรีย์ จากนั้นได้เกิดแนวคิดในการนำเอาเอ็นไซม์ออกมาใช้ภายนอก (exogenous enzyme) เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาและเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาใหม่ ช่วงที่สองของศตวรรษที่ผ่านมาสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาการใช้เอ็นไซม์ไปสู่อุตสาหกรรมเครื่องหนัง การผลิตปาเปอิน (papain) ในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ ในปัจจุบันเอ็นไซม์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารอย่างมาก ประเภทของเอ็นไซม์ ได้แก่ ไฮโดเลส (hydrolases) เช่น ไกลโครซิเดส (glycosidases) และส่วนของโปรตีเอส (proteases) ที่ใช้สำหรับทำให้เนื้อนุ่ม (tenderizing) การใช้เอ็นไซม์เป็นเครื่องมือสำหรับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน โดยใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase) เป็นตัวที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงกันระหว่างไอโซเปปไทด์ (isopaptide) ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลในโปรตีน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเรื่องนี้เพื่อตรวจสอบความจำเพาะของสารเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เพื่อพยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนมาจากแหล่งต่าง ๆ กัน ได้แก่ การใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปลาและแป้งถั่วเขียว ผลการศึกษาพบว่า การใช้เอ็นไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.4 ช่วยให้ตัวอย่างมีความคงตัวและความยืดหยุ่นสูงขึ้น ส่วนชนิดของปลาไม่มีผลต่อการทดสอบ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมประสานเศษเนื้อสุกรให้เป็นสินค้าต้นแบบสเต็ก และศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพต้นแบบสเต็กจากเศษเนื้อสุกรกับสินค้าสันคอหมูสเต็กที่จำหน่ายทั่วไป
โดยขั้นตอนดำเนินการศึกษามีดังนี้

1. การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์
2. วิธีดำเนินการศึกษา
3. การวิเคราะห์ผลการศึกษา

1. การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 เศษเนื้อสุกร

1.1.2 สารเชื่อมประสานเนื้อ : 2 ตัวอย่าง ได้แก่

1) สารเชื่อมประสานบริษัท A : มีลักษณะเป็นผงสีเนื้ออ่อน ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ปริมาณใช้ที่แนะนำ คือ ร้อยละ 0.7-1.5 อายุการจัดเก็บ 1 ปี ราคาขาย 890 บาทต่อกิโลกรัม

2) สารเชื่อมประสานบริษัท B : มีลักษณะเป็นผงสีขาว ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เจลาติน (gelatin) เกลือ และฟอสเฟต (phosphate) อายุการจัดเก็บ 1 ปี ปริมาณใช้ที่แนะนำ คือ ร้อยละ 0.7-1.5 จัดเก็บไว้ในที่สภาวะเย็นและแห้ง ราคาขาย 1,600 บาทต่อกิโลกรัม

1.1.3 น้ำมันพืช

1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1.2.1 ตู้แช่เย็น

1.2.2 บล็อคขึ้นรูป

1.2.3 ถุงมือ

1.2.4 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.2.5 กะทะเทฟล่อน

1.2.6 เตาไฟฟ้า

1.2.7 มีด

1.2.8 เขียง

1.2.9 ถาด, ชาม

1.2.10 ทัพพี

1.2.11 ตะแกรง

1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1.3.1 เครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง XLW(EC) Auto Tensile Tester

1.3.2 เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ texture analyzer รุ่นTA.XT Plus พร้อมชุดหัววัด Warner Bratzler Shear Apparatus

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 ศึกษาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก

2.1.1 นำสินค้าสันคอหมูสเต็ก น้ำหนักประมาณ 200 กรัมต่อชิ้น (ดังภาพที่ 3.2) จำนวน 10 ชิ้น มาตัดแยกส่วนเนื้อและส่วนไขมันออกจากกัน

2.1.2 ชั่งน้ำหนักส่วนเนื้อและส่วนไขมัน และคำนวณหาปริมาณสัดส่วนของเนื้อต่อไขมัน

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการหาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก

ภาพที่ 3.2 สินค้าสันคอหมูสเต็ก

2.2 ศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กจากเศษเนื้อสุกร ด้วยเทคนิคการเชื่อมประสาน

2.2.1 คำนวณปริมาณเนื้อที่ต้องใช้ โดยให้มีปริมาณสัดส่วนเนื้อต่อไขมัน เท่ากับสินค้าสันคอหมูสเต็ก (ตามที่คำนวณได้ตามข้อ 2.1) โดยใช้เนื้อตัวอย่างทดลอง ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม จำนวน 10 ตัวอย่าง

2.2.2 เตรียมสารเชื่อมประสาน หรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TGase) 2 ชนิด ได้แก่ บริษัท A และบริษัท B อย่างละ 1 ชุด จากนั้น เทสารเชื่อมประสานแต่ละชุด ลงคลุกกับเนื้อทดลองที่เตรียมไว้ โดยใช้เนื้อ 1 กิโลกรัมต่อสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้นร้อยละ 0.7 0.9 1.1 1.3 และ1.5 ของน้ำหนักเนื้อ ทั้งสองชนิด รวมเป็น 10 ตัวอย่าง (แสดงดังภาพที่ 3.3)

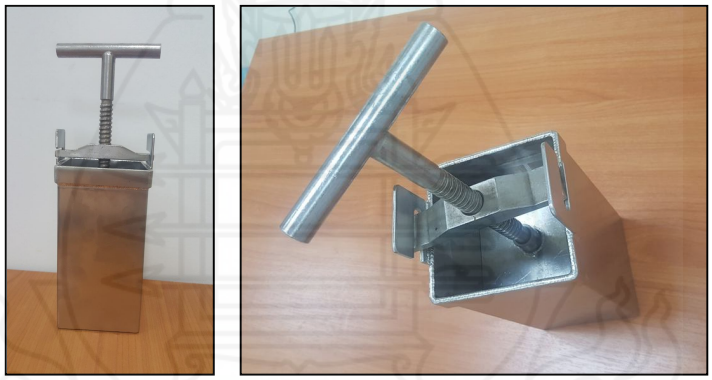
ภาพที่ 3.3 การเตรียมสารเชื่อมประสาน และการคลุกสารเชื่อมประสานกับเนื้อ

2.2.3 อัดเนื้อตัวอย่างลงในบล็อคขึ้นรูป ขนาดกว้าง10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 3.4) พยายามให้ส่วนไขมันกระจายตัวทั่วเนื้อ ไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางหรือการจัดเรียง จากนั้นหมุนเกลียวอัดบล็อคให้ได้ในระดับที่แน่นพอดี โดยพยายามไม่ให้มีช่องว่างระหว่างชิ้นเนื้อ

2.2.4 นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-10 ชั่วโมง เพื่อบ่มให้เอ็นไซม์ทำงาน (Nanning Pangbo Biological Engineering Co.,Ltd., 2016) โดยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิช่วง 0-60 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากตัวอย่างทดลอง คือ เนื้อสัตว์ จึงต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร

2.2.5 นำเนื้อออกจากบล็อคขึ้นรูป และทำการหั่นตามแนวขวางของชิ้น ให้ได้เป็นชิ้นสเต็กขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร หนา 1.5 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.5

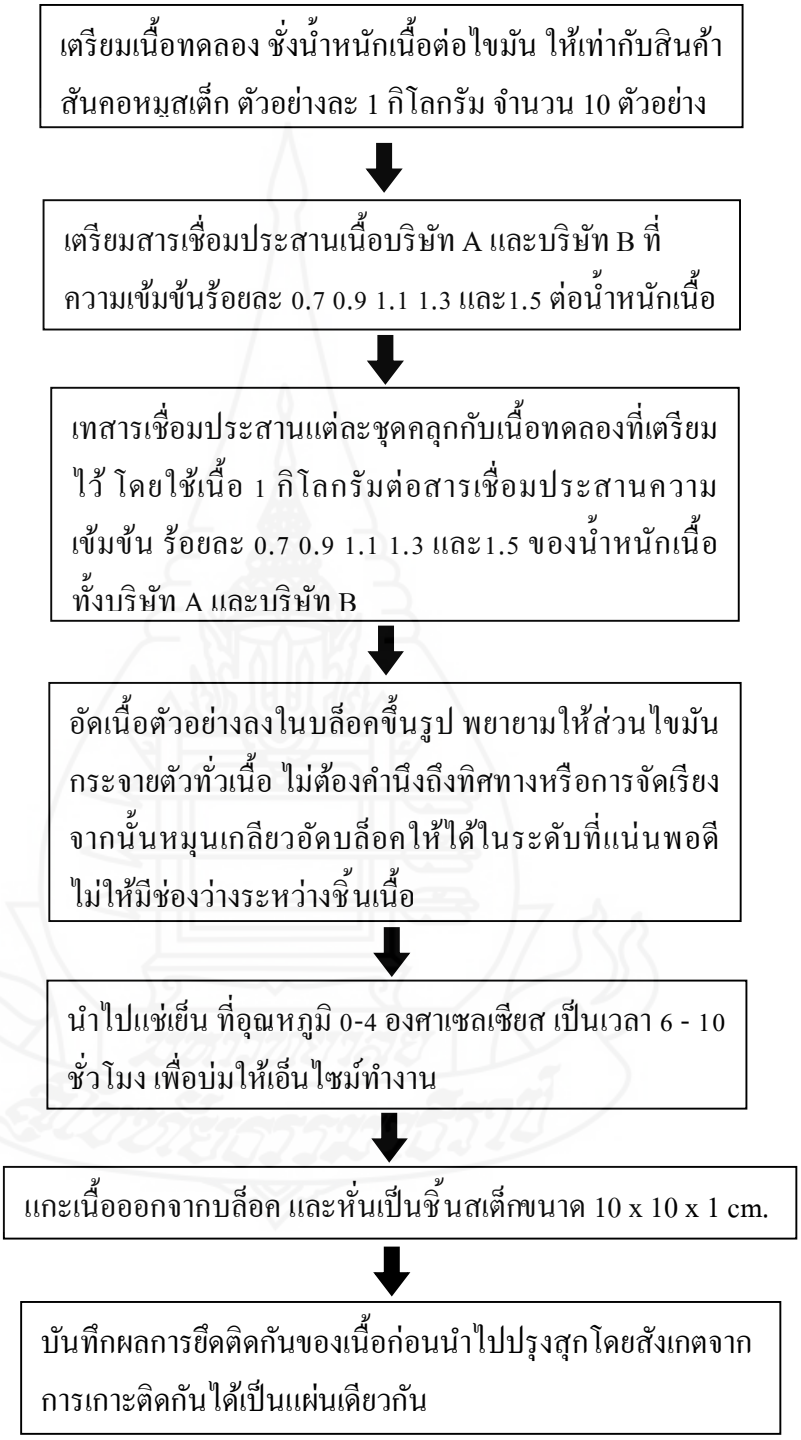
2.2.6 บันทึกผลการยึดติดกันของเนื้อก่อนนำไปปรุงสุก โดยสังเกตจากการเกาะติดกันได้เป็นแผ่นเดียวกัน



ภาพที่ 3.4 บล็อคขึ้นรูป

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างทดลองหลังการขึ้นรูป และตัดเป็นชิ้นสเต็ก

ขั้นตอนการทดลองพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อ สามารถสรุปเป็นแผนภาพแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการทดลองพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อ

2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัส

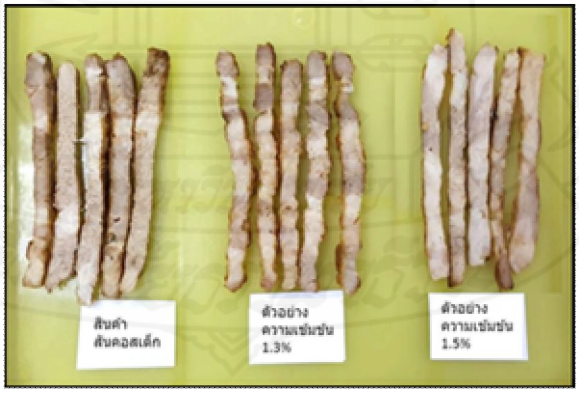
2.3.1 ทดสอบการยึดติดกันของเนื้อหลังจากปรุงสุกและการวิเคราะห์ผล การปรุงสุกใช้วิธีการย่างในกะทะเทฟลอน ควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้คงที่ ให้เนื้อสุกในระดับปานกลาง (medium) ถึง ระดับสุก (done) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิใจกลางเนื้อสเต็ก ได้ 55 - 65 องศาเซลเซียส จากนั้น ตักเนื้อสเต็กออกวางที่ตะแกรง ทิ้งให้เย็นลงสักครู่ และบันทึกผลการยึดติดกันของเนื้อหลังการปรุงสุก โดยสังเกตจากการเกาะติดกันได้เป็นแผ่นเดียวกัน

2.3.2 ทดสอบการยึดติดกันของชิ้นเนื้อ โดยวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (XLW (EC) Auto Tensile Tester) ณ ห้องปฏิบัติการบรรจุภัณฑ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1) เตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบ ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.7

2) ตั้งค่าเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง โดยกำหนดให้ ความเร็วของหัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที ตัววัดแรง (load cell) 500 นิวตัน ระยะห่างของหัวจับชิ้นงานเท่ากับ 70 มิลลิเมตร

3) ทำการทดสอบตัวอย่างทดลองเปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กเมื่อนำมาปรุงสุกและทดสอบแบบเดียวกัน วิเคราะห์ผลจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างชิ้นเนื้อหมูทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง

2.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยวัดค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเหนียว (toughness) ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ (TA.XT Plus; United Kingdom) พร้อมชุดหัววัด Warner Bratzler Shear Apparatus. โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1) เตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบ เป็นทรงเต๋า ขนาด 1.5 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.8

2) ตั้งค่าเครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยกำหนดให้ ความเร็วก่อนทดสอบ (pre-test speed) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วทดสอบ (test-speed) เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วหลังทดสอบ (post-test) เท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าระยะห่าง (distance) เท่ากับ 30 มิลมิเมตร และค่าแรงกระตุ้น (trigger force) เท่ากับ 10.0 กรัม

3) ทำการทดสอบตัวอย่างทดลองเปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กเมื่อนำมาปรุงสุกและทดสอบแบบเดียวกัน วิเคราะห์ผลจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยทำการทดสอบซ้ำ 10 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างชิ้นเนื้อหมูทดสอบค่าความแข็งและความเหนียว

2.3.4 ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส (sensory test)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale เพื่อประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ พิจารณา กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ด้านความนุ่ม และความชอบโดยรวม จากผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน (trained panelist) ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกนักชิมมืออาชีพ ของศูนย์วิจัยและพัฒนา บริษัทศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกรจำกัด ด้านความสามารถในการระบุรสชาติพื้นฐาน ความสามารถในการจดจำกลิ่น และความสามารถในการเรียงลำดับความเข้ม จำนวน 20 คน โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1) เตรียมตัวอย่างเนื้อสเต็กที่ผ่านการปรุงสุก โดยหั่นเป็นชิ้น น้ำหนัก50 กรัมต่อชิ้น

2) นำเสนอทีละหนึ่งตัวอย่างให้แก่ผู้ทดสอบชิม แสดงดังภาพที่ 3.9

5) ให้ผู้ทดสอบชิม ชิมตัวอย่างทดลองและสินค้าสันคอหมูสเต็ก แล้วลงคะแนนในแบบบันทึกทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบ ระหว่างการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบดื่มน้ำเพื่อล้างกลิ่นรสของตัวอย่างแรกก่อนนำเสนอตัวอย่างถัดไป

6) รวมคะแนนของแต่ละตัวอย่าง

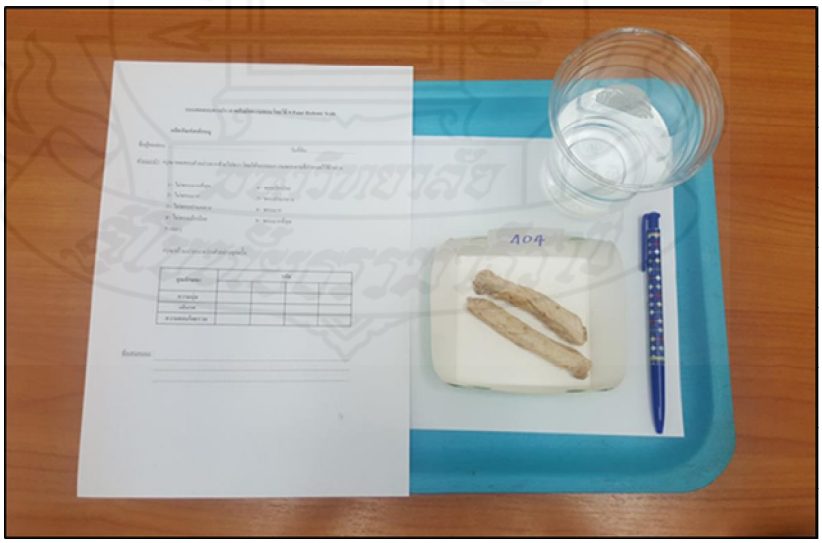
3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อ ทั้งก่อนปรุงสุกและหลังจากปรุงสุก

3.2 วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง โดยวิเคราะห์ผลจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ One way – ANOVA เปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กปรุงสุก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

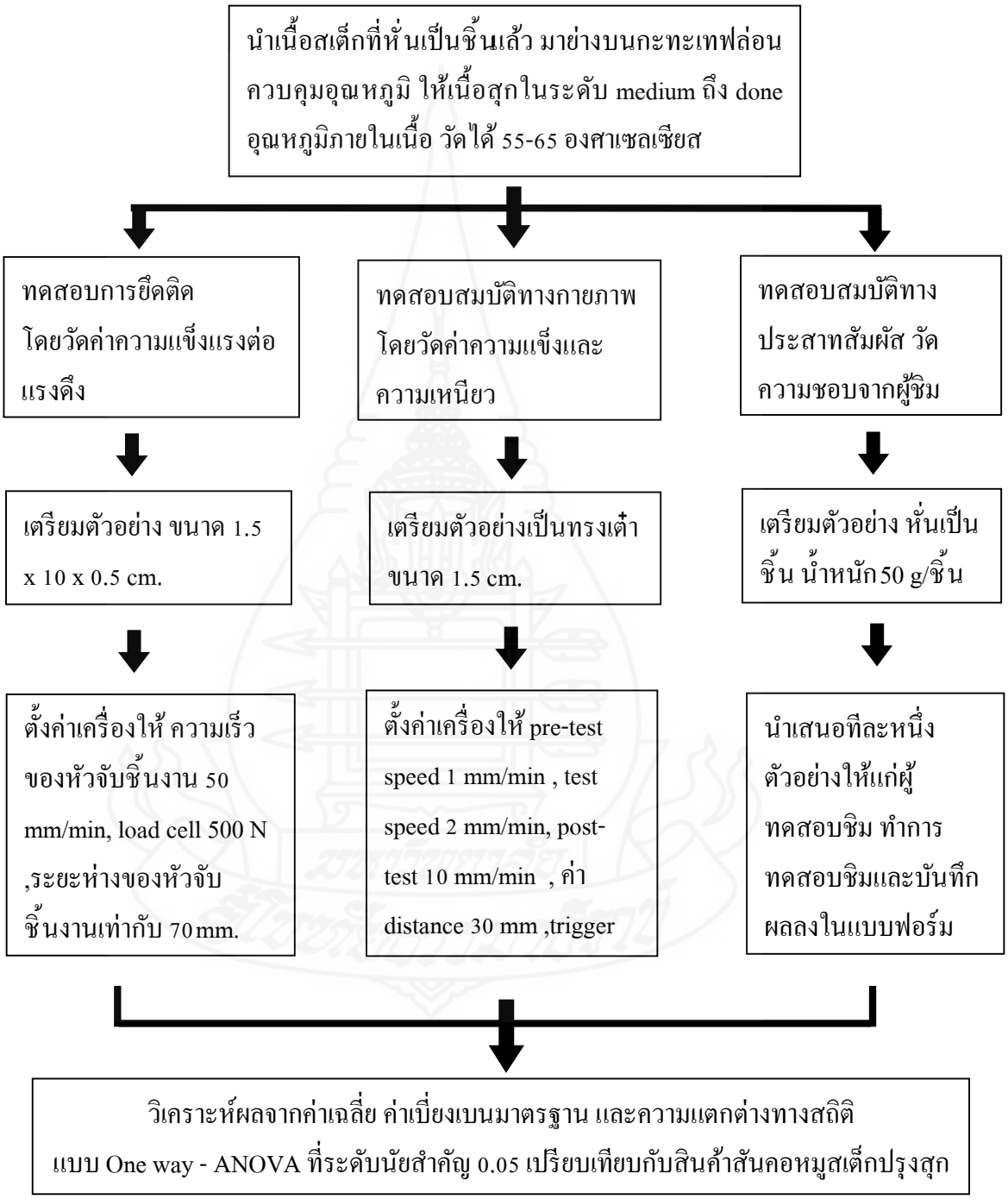
3.3 วิเคราะห์ค่าความแข็ง และค่าความเหนียว โดยวิเคราะห์ผลจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ One way – ANOVA เปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กปรุงสุก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แบบการทดสอบความชอบ โดยใช้สเกลเฮโดนิก 9 จุด โดยวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ One way – ANOVA เปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็กปรุงสุก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 3.9 รูปแบบการเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิม

ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง สามารถสรุปเป็นแผนภาพ ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมประสานเศษเนื้อสุกรให้เป็นสินค้าต้นแบบสเต็ก และศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพต้นแบบสเต็กจากเศษเนื้อสุกรกับสินค้าสันคอหมูสเต็กที่จำหน่ายทั่วไป โดยผลการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ตอน ได้แก่ การศึกษาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการเชื่อมประสานและการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง ผลของการศึกษาตอนที่ 1 และ 2 ให้คำตอบในวัตถุประสงค์ข้อแรก และผลของการศึกษาตอนที่ 3 ให้คำตอบของวัตถุประสงค์ข้อสอง

ตอนที่ 1 การศึกษาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก

จากการนำสินค้าสันคอสเต็ก มาตัดแยกส่วนเนื้อและส่วนไขมันที่มองเห็นได้จากภายนอก จำนวน 10 ชิ้นแล้วชั่งน้ำหนัก พบว่า ปริมาณสัดส่วนเนื้อต่อไขมัน อยู่ที่ 80.8 : 19.2 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาปริมาณสัดส่วนเนื้อต่อไขมันของสินค้าสันคอหมูสเต็ก

ชิ้นที่	ปริมาณเนื้อ (กรัม)	ปริมาณมัน (กรัม)
1	144	29
2	135	30
3	150	23
4	129	36
5	143	28
6	130	32
7	131	39

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชิ้นที่	ปริมาณเนื้อ (กรัม)	ปริมาณมัน (กรัม)
9	133	38
10	123	30
เฉลี่ย	134.6	32.0
สัดส่วน (%)	80.8%	19.2%

ตอนที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการเชื่อมประสาน

หลังจากที่ได้ทำการทดลองเชื่อมประสานเศษเนื้อเพื่อพัฒนาเป็นสินค้าสเต็กหมู ตามตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษา ได้แก่ 1) ชนิดของสารเชื่อมประสาน หรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TGase) 2 ชนิด คือ บริษัท A และบริษัท B 2) ความเข้มข้นของสารเชื่อมประสารที่ใช้ คือ ร้อยละ 0.7 0.9 1.1 1.3 และ1.5 ต่อน้ำหนักเนื้อหมู อย่างละ 1 ชุด ทั้งสองชนิด รวมเป็น 10 ตัวอย่างซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

2.1 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากการขึ้นรูปและก่อนนำไปปรุงสุก

เมื่อพิจารณาการยึดติดกันของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A และบริษัท B หลังจากการขึ้นรูปและก่อนนำไปปรุงสุก แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

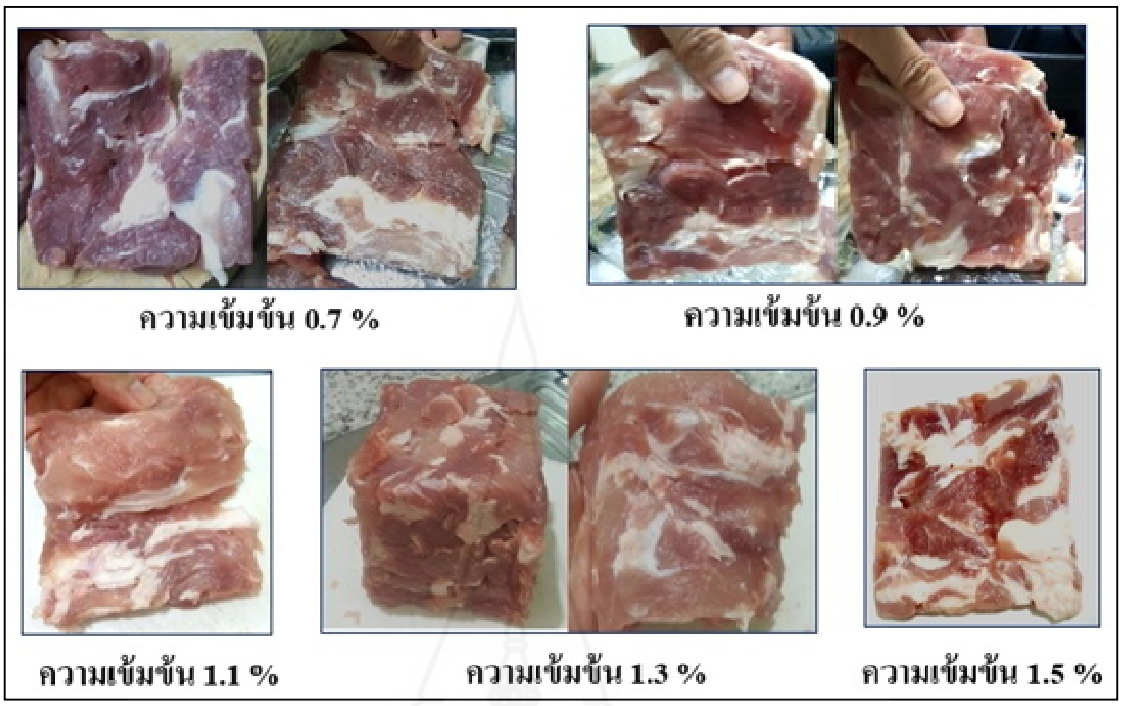
ตารางที่ 4.2 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A และบริษัท B หลังขึ้นรูป

ชนิดและความเข้มข้นของสาร (ร้อยละ)	บริษัท A	บริษัท B
0.7	เนื้อไม่ติดกัน แยกกันอย่างชัดเจน	เนื้อประสานติดกันบางส่วน และยังมีส่วนที่แยกจากกันได้
0.9	เนื้อไม่ติดกัน แยกกันอย่างชัดเจน	เนื้อประสานติดกันบางส่วน และยังมีส่วนที่แยกจากกันได้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชนิดและความเข้มข้นของสาร (ร้อยละ)	บริษัท A	บริษัท B
1.1	เนื้อไม่ติดกัน แยกกันอย่างชัดเจน	เนื้อประสานติดกันดี แต่มีส่วนแยกจากกันเล็กน้อยบริเวณขอบ
1.3	เนื้อไม่ติดกัน แยกกันอย่างชัดเจน	เนื้อประสานติดกันดี เป็นแผ่นเสมอกัน ไม่มีรอยแตก
1.5	เนื้อไม่ติดกัน แยกกันอย่างชัดเจน	เนื้อประสานติดกันดี เป็นแผ่นเสมอกัน ไม่มีรอยแตก

ภาพที่ 4.1 ลักษณะการยึดติดของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A หลังการขึ้นรูป



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการยึดติดของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B หลังการขึ้นรูป

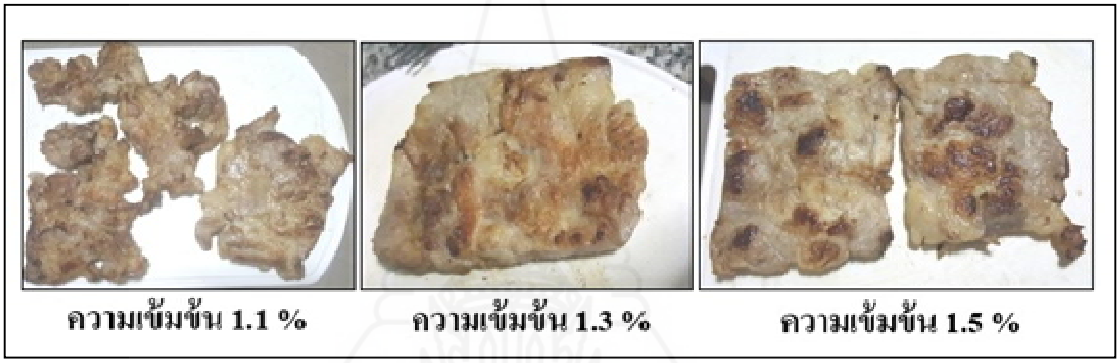
จากตารางที่ 4.2 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A ทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.7 และ 0.9 ต่อน้ำหนักเนื้อหมู ไม่สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดกันเป็นแผ่นได้ จึงเลือกใช้ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.1 1.3 และ1.5 นำไปทำการทดสอบการปรุงสุกต่อไป เนื่องจากสามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดกันได้ดี เมื่อตัดเป็นแผ่นแล้วยึดติดกันได้เป็นชิ้นเดียว

2.2 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากปรุงสุก

หลังจากนำตัวอย่างไปปรุงสุก โดยการย่างในกะทะเทฟลอน ควบคุมอุณหภูมิ และเวลาให้คงที่ ให้เนื้อสุกในระดับปานกลาง (medium) ถึง ระดับสุก (done) อุณหภูมิภายในเนื้อ วัดได้ 55 - 65 องศาเซลเซียส ได้ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากปรุงสุก แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากปรุงสุก

ความเข้มข้นของสารบริษัท B (ร้อยละ)	ลักษณะหลังปรุงสุก
1.1	เนื้อแตกแยกบริเวณรอยเชื่อม
1.3	ยังคงประสานติดกันดีเป็นแผ่น
1.5	ยังคงประสานติดกันดีเป็นแผ่น



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการยึดติดของเศษเนื้อที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B หลังการปรุงสุก

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลอง พบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.1 ไม่สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดกันหลังจากการปรุงสุกได้ จึงเลือกยอมรับตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ1.5 เนื่องจากยังคงสามารถประสานเศษเนื้อให้ติดกันเป็นแผ่นเดียวหลังจากการปรุงสุกได้ จึงนำมาใช้เป็นต้นแบบสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการประสาน

ตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง

จากผลการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการเชื่อมประสาน พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สามารถประสานเศษเนื้อให้ติดกัน และแปรรูปเป็นสินค้าสเต็กได้ คือตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และ 1.5 ดังนั้น จึงทำการทดสอบตัวอย่างทดลองทั้งสองเปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก เพื่อให้ทราบว่า ตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างหรือมีความใกล้เคียงกับสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก โดยทำการทดสอบ 3 วิธี ดังนี้

3.1 ทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ความเข้มข้น ร้อยละ 1.3, ร้อยละ 1.5 และสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

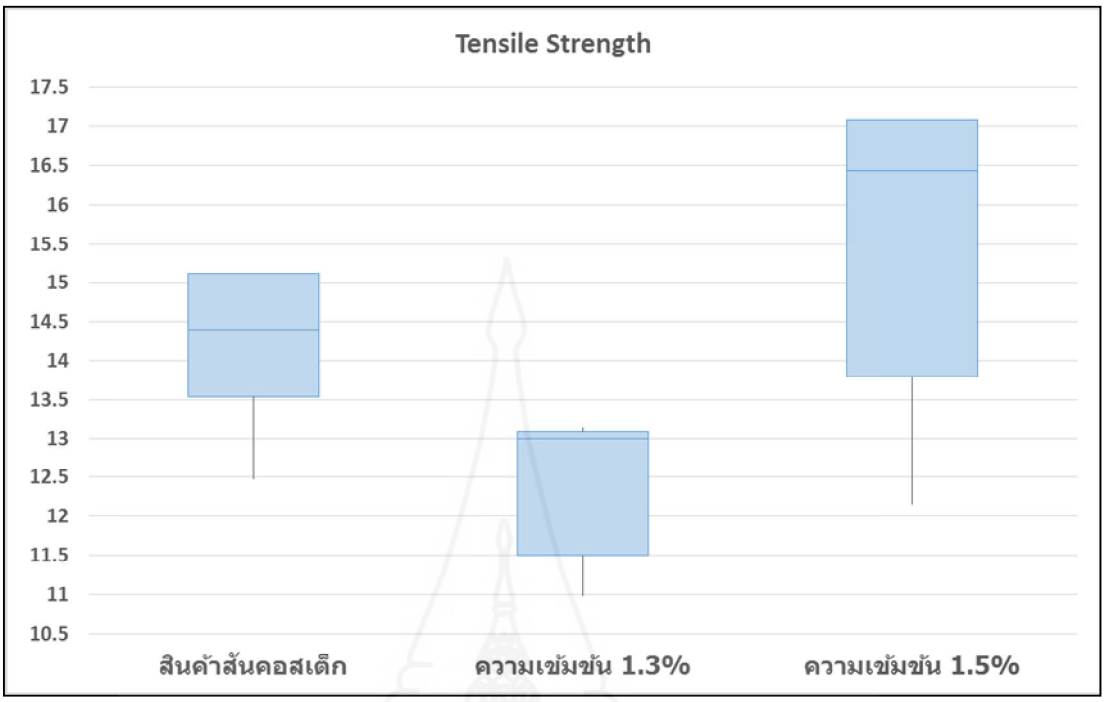
สภาวะในการทดสอบ อยู่ที่อุณหภูมิห้อง 23 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

ตัวอย่างทดสอบ		ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (กิโลปาสคาล)
สินค้าสันคอหมูสเต็ก	ค่าเฉลี่ย	14.13[a]
	S.D.	1.130
ที่ความเข้มข้น 1.3%	ค่าเฉลี่ย	12.34[b]
	S.D.	1.022
ที่ความเข้มข้น 1.5%	ค่าเฉลี่ย	15.31[a]
	S.D.	2.222

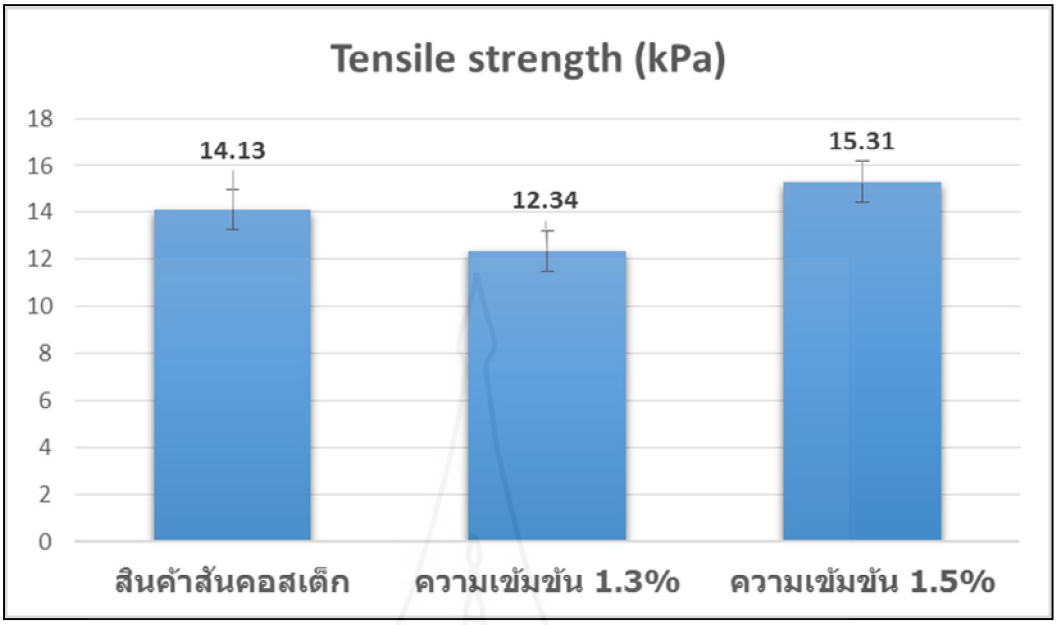
หมายเหตุ อักษร (a,b) ที่แตกต่างกันทางแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ S.D. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบของสินค้าสันคอหมูสเต็ก และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และ1.5 จากนั้น พิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง หน่วยคือ กิโลปาสคาล (kPa) แสดงได้ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟ Box plot แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของสินค้าสันคอหมูสเต็กและตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และร้อยละ1.5

จากภาพที่ 4.4 พบว่า ข้อมูลส่วนใหญ่ของตัวอย่างทดลองทั้ง 3 แบบ อยู่ใน quartile ที่ 1 - 3 และ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 มีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าสูงที่สุด แต่ก็มีการกระจายตัวของข้อมูลมากที่สุดเช่นกัน



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างก่อนจะเกิดรอยแยกของสินค้าสันคอหมูสเต็ก และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานของบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5

จากภาพที่ 4.5 พบว่าตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด เฉลี่ยคือ 15.31 กิโลปาสคาล รองลงมาคือ สินค้าสันคอหมูสเต็ก เฉลี่ยคือ 14.13 กิโลปาสคาล และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำสุด เฉลี่ยคือ 12.34 กิโลปาสคาล ดังนั้น ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อหมูได้มีประสิทธิภาพมากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และยังเชื่อมประสานได้แน่นกว่าสินค้าสันคอหมูสเต็ก ซึ่งอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสเรื่องความเหนียวของเนื้อ จึงต้องพิจารณาผลจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป

3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งและความเหนียวของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ความเข้มข้น ร้อยละ 1.3, ร้อยละ 1.5 และสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

สภาวะในการทดสอบ อยู่ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งและความเหนียวของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

ตัวอย่างทดสอบ		ค่าความแข็ง (นิวตัน)	ค่าความเหนียว (นิวตัน.วินาที)
สินค้าสันคอสเต็ก	ค่าเฉลี่ย	51.58[a]	286.21[a]
	S.D.	8.62	47.54
ความเข้มข้น 1.3%	ค่าเฉลี่ย	27.76[b]	173.96[b]
	S.D.	3.33	24.86
ความเข้มข้น 1.5%	ค่าเฉลี่ย	53.27[a]	314.32[a]
	S.D.	7.97	54.54

หมายเหตุ อักษร (a,b) ที่แตกต่างกันทางแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ S.D. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ การวัดค่าความแข็ง หน่วยคือนิวตัน (N) สรุปได้ว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็ง เฉลี่ยสูงที่สุด คือ 53.27 นิวตัน ใกล้เคียงกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก ที่เฉลี่ย 51.58 นิวตัน และต่ำสุด คือ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 เฉลี่ย 27.76 นิวตัน ส่วนการวัดค่าความเหนียว หน่วยคือนิวตัน.วินาที (N.sec) สรุปได้ว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความเหนียว เฉลี่ยสูงที่สุด คือ 314.32 นิวตัน.วินาที รองลงมาคือ สินค้าสันคอหมูสเต็ก เฉลี่ย 286.21 นิวตัน.วินาที และต่ำสุด คือ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 เฉลี่ย 173.96 นิวตัน.วินาที

จึงสรุปได้ว่า ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพในการวัดค่าความแข็งและค่าความเหนียว มีความสอดคล้องกัน คือ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็งและความเหนียวเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 53.27 นิวตัน และ314.32 นิวตัน.วินาที ตามลำดับ

รองลงมา คือ สินค้าสันคอหมูสเต็ก เฉลี่ยคือ 51.58 นิวตัน และ286.21 นิวตัน.วินาที ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 มีค่าความแข็งและความเหนียวต่ำที่สุด เฉลี่ยคือ 27.76 นิวตัน และ173.96 นิวตัน.วินาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ที่ทำการทดสอบในข้อ 3.1

3.3 ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส (sensory test)

เลือกใช้การทดสอบความชอบของผู้บริโภค แบบ 9-point hedonic scale เพื่อประเมินความชอบผลิตภัณฑ์โดยรวม พิจารณาจากลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส จากผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน (trained panelist) จำนวน 20 คน ได้ผลคะแนน ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม ของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

ตัวอย่างทดสอบ		คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิม		
		ด้านความนุ่ม	ด้านกลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
สินค้าสันคอสเต็ก	ค่าเฉลี่ย	7.2[a]	5.5	6.9[a]
	S.D.	0.95	1.19	0.81
ความเข้มข้น 1.3%	ค่าเฉลี่ย	6.4[b]	5.3	5.6[b]
	S.D.	0.75	1.29	0.75
ความเข้มข้น 1.5%	ค่าเฉลี่ย	6.9[a]	5.4	6.5[a]
	S.D.	0.88	0.94	0.89

หมายเหตุ อักษร (a,b) ที่แตกต่างกันทางแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ S.D. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.6 จากผลการทดสอบ พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 7.2 5.5 และ6.9 ตามลำดับ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 6.4 5.3 และ5.6 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 6.9 5.4 และ 6.5 ตามลำดับ

เมื่อนำผลคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ แบบ One way-ANOVA เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างทดลองกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก (คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2561) ได้ผลดังนี้

1) ค่าทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าความแข็ง และค่าความเหนียว พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็กมีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 ($P > 0.05$) นอกจากนี้ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และ ร้อยละ1.5 ก็มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วย ($P < 0.05$)

2) ความชอบด้านความนุ่ม พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 ทางสถิติ ($P > 0.05$)

3) ความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ทั้งที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และ1.5 ทางสถิติ ($P > 0.05$)

4) ความชอบโดยรวม พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 ทางสถิติ ($P > 0.05$)

5) ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 กับ 1.5 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ในด้านความนุ่ม และความชอบโดยรวม

6) สินค้าสันคอหมูสเต็กกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 ถือว่าสามารถทดแทนกันได้ เนื่องจากมีคะแนนความชอบทั้งด้านความนุ่ม ด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม จากผู้ทดสอบชิม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ไม่สามารถใช้ทดแทนสินค้าสันคอหมูสเต็กได้ เนื่องจากมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

บทที่ 5
สรุปการศึกษา อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน ในโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยได้ลำดับการเสนอสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. สรุปการศึกษา

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน ในโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1.1 การศึกษาปริมาณสัดส่วนเนื้อและไขมันที่เหมาะสมต่อการทำสเต็ก

จากการนำสินค้าสันคอหมูสเต็ก มาตัดแยกส่วนเนื้อและส่วนไขมันที่มองเห็นได้จากภายนอก จำนวน 10 ชิ้น แล้วชั่งน้ำหนัก พบว่า ปริมาณสัดส่วนเนื้อต่อไขมัน อยู่ที่ 80.8 : 19.2

1.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อ ด้วยเทคนิคการเชื่อมประสาน

หลังจากที่ได้ทำการทดลองเชื่อมประสานเศษเนื้อเพื่อพัฒนาเป็นสินค้าสเต็กหมู ตามตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษา ได้แก่ 1) ชนิดของสารเชื่อมประสาน หรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตา-มิเนส (TGase) 2 ชนิด คือ บริษัท A และบริษัท B 2) ความเข้มข้นของสารเชื่อมประสารที่ใช้ คือ ร้อยละ 0.7 0.9 1.1 1.3 และ1.5 ต่อน้ำหนักเนื้อหมู อย่างละ 1 ชุด ทั้งสองชนิด รวมเป็น 10 ตัวอย่าง ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

1.2.1 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากการขึ้นรูปและก่อนนำไปปรุงสุก

พบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท A ทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.7 และ0.9 ต่อน้ำหนักเนื้อหมู ไม่สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดกันเป็นแผ่นได้ จึงเลือกยอมรับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.1 1.3 และ1.5 นำไปทำการทดสอบการปรุงสุกต่อไป เนื่องจากสามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดกันได้ดี เมื่อตัดเป็นแผ่นแล้วยังยึดติดกันได้เป็นชิ้นเดียว

1.2.2 ผลการยึดติดกันของเศษเนื้อหลังจากปรุงสุก พบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.1 ไม่สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดกันหลังจากการปรุงสุกได้ จึงเลือกยอมรับตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ1.5 เนื่องจากยังคงสามารถประสานเศษเนื้อให้ติดกันเป็นแผ่นเดียว หลังจากการปรุงสุกได้ จึงนำมาใช้เป็นต้นแบบสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการประสาน

จากผลการศึกษาในข้อ 1.1 และ 1.2 สรุปได้ว่า ต้นแบบสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการประสานควรประกอบด้วยสัดส่วนของเศษเนื้อต่อไขมัน 80 ต่อ 20 และควรเลือกใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานที่ใช้ควรเป็นร้อยละ 1.3 และ 1.5

1.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง

จากผลการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพัฒนาต้นแบบสินค้าสเต็กหมูจากเศษเนื้อด้วยเทคนิคการเชื่อมประสาน พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สามารถประสานเศษเนื้อให้ติดกัน และแปรรูปเป็นสินค้าสเต็กได้ คือตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และ 1.5 ดังนั้น จึงทำการทดสอบตัวอย่างทดลองทั้งสองเปรียบเทียบกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก เพื่อให้ทราบว่า ตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างหรือมีความใกล้เคียงกับสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุกหรือไม่ อย่างไร โดยทำการทดสอบ 3 วิธี ดังนี้

1.3.1 ทดสอบการยึดติดกันของชิ้นเนื้อหลังปรุงสุก ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง ผลการทดสอบของสินค้าสันคอหมูสเต็ก และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ1.5 เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง จากตารางที่ 5.1 จะพบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด เฉลี่ยคือ 15.31 กิโลปาสคาล รองลงมาคือ สินค้าสันคอหมูสเต็ก เฉลี่ยคือ 14.13 กิโล-ปาสคาล และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ต่ำสุด เฉลี่ยคือ 12.34 กิโลปาสคาล ดังนั้น ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อหมูได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และยังเชื่อมประสานได้แน่นกว่าสินค้าสันคอหมูสเต็ก ซึ่งอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสเรื่องความเหนียวของเนื้อ จึงต้องพิจารณาผลจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป

1.3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพด้านความแข็ง ความเหนียวของชิ้นเนื้อหลังการปรุงสุก ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ผลการทดสอบ ในตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยพิจารณาจากค่าความแข็ง และค่าความเหนียว สรุปได้ว่า ตัวอย่างทดสอบมีค่าความแข็งและค่าความเหนียวสอดคล้องกัน คือ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็งและความเหนียว เฉลี่ยสูงที่สุด คือ 53.27 นิวตัน และ 314.32 นิวตัน.วินาที ตามลำดับ

รองลงมา คือ สินค้าสันคอหมูสเต็ก เฉลี่ยคือ 51.58 นิวตัน และ286.21 นิวตัน.วินาที ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 มีค่าต่ำที่สุด เฉลี่ยคือ 27.76 นิวตัน และ173.96 นิวตัน.วินาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ที่ทำการทดสอบในข้อ 4.3.1

1.3.3 ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส ผลการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม จากตารางที่ 5.1 พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 7.2 5.5 และ6.9 ตามลำดับ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 6.4 5.3 และ 5.6 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 6.9 5.4 และ 6.5 ตามลำดับ

เมื่อนำผลคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ แบบ One way-ANOVA เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างทดลองกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก ได้ผลดังนี้

1) ค่าทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าความแข็ง และค่าความเหนียว พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็กมีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ($P > 0.05$) นอกจากนี้ ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ ร้อยละ 1.5 ก็มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วย ($P < 0.05$)

2) ความชอบด้านความนุ่ม พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ทางสถิติ ($P > 0.05$)

3) ความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ทั้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ1.5 ทางสถิติ ($P > 0.05$)

4) ความชอบโดยรวม พบว่า สินค้าสันคอหมูสเต็ก มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ทางสถิติ ($P > 0.05$)

5) ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 กับ 1.5 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ในด้านความนุ่ม และความชอบโดยรวม

6) สินค้าสันคอหมูสเต็กกับตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ถือว่าสามารถทดแทนกันได้ เนื่องจากมีคะแนนความชอบทั้งด้านความนุ่ม ด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม จากผู้ทดสอบชิม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่

ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 ไม่สามารถใช้ทดแทนสินค้าสันคอหมูสเต็กได้ เนื่องจากมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ทั้งนี้ผลการทดสอบทั้งสามส่วน สามารถสรุปชนิดและปริมาณสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ขึ้นรูปสเต็ก ได้แก่ สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และประสาทสัมผัส ของสินค้าสันคอหมูสเต็กและตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.3 และร้อยละ1.5

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง	ค่าความแข็ง	ค่าความเหนียว	คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิม		
				ด้านความนุ่ม	ด้านกลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
สินค้าสันคอหมูสเต็ก	14.13[a] กิโลปาสคาล	51.58[a] นิวตัน	286.21[a] นิวตัน.วินาที	7.2[a]	5.5	6.9[a]
ความเข้มข้น 1.3 %	12.34[b] กิโลปาสคาล	27.76[b] นิวตัน	173.96[b] นิวตัน.วินาที	6.4[b]	5.3	5.6[b]
ความเข้มข้น 1.5 %	15.31[a] กิโลปาสคาล	53.27[a] นิวตัน	314.32[a] นิวตัน.วินาที	6.9[a]	5.4	6.5[a]

หมายเหตุ อักษร (a,b) ที่แตกต่างกันทางแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. อภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน ในโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

2.1 สารเชื่อมประสานของบริษัท B ที่ประกอบด้วยเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส สามารถเชื่อมประสานเนื้อได้ดี สอดคล้องกับประพันธ์ ปิ่นศิโรดม (2544) ที่ได้กล่าวว่า เอ็นไซม์

ทรานส์กลูตามิเนสจะเร่งปฏิกิริยาของกรดอะมิโน ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายเปปไทด์ เชื่อมพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีน (พันธะ G-L) ส่งผลให้เกิดความสามารถในการเกิดเจล และความหนืดยึดติดกัน และสอดคล้องกับ Shleikin, Gorbatovsky, & Danilov (2008) ที่ได้ศึกษาว่า เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เป็นตัวที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงกันระหว่างไอโซเปปไทด์ (isopaptide) ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล ของโปรตีน

2.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานหรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้ มีผลต่อการเชื่อมติดกันของเนื้อ โดยที่ความเข้มข้นสูงกว่า จะสามารถเชื่อมประสานเนื้อให้ติดกันได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่า ดังผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ที่พบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 ซึ่งสอดคล้องกับ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, นภาลัย ประสิทธิ์เขตร์กิจ, และอโนชา สุขสมบูรณ์ (2554) ที่ได้ศึกษาผลของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง แล้วพบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของบะหมี่ต้มสุกเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเอ็นไซม์ ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น แต่การใช้ความเข้มข้นที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสด้านความเหนียวของเนื้อ ทำให้มีความเหนียวมากกว่าตัวอย่างปกติ ดังผลการทดสอบค่าความแข็งและความเหนียว ที่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง

2.3 ส่วนประกอบอื่น ในสารเชื่อมประสานนอกจากเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส มีผลต่อการการเชื่อมติดกันของเนื้อ โดยสารเชื่อมประสานบริษัท B มีส่วนประกอบของเจลาติน, เกลือ และฟอสเฟต ซึ่งจัดเป็นสารที่ช่วยเสริมการทำงานของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส โดยเจลาตินจะช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลและเพิ่มความคงตัวให้ผลิตภัณฑ์ เกลือช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำและการตกตะกอนของโปรตีน โดยเกลือจะแตกตัวเป็นประจุบวกกับประจุลบ และรวมตัวกับโปรตีน ส่วนฟอสเฟต จะช่วยเพิ่มสมบัติด้ามการอุ้มน้ำของโปรตีน จึงสามารถเชื่อมประสานเนื้อได้ดีกว่า สารเชื่อมประสานบริษัท A ที่ไม่ได้ระบุว่ามีการเติมส่วนประกอบอื่นนอกเหนือจากเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเข้าไป

2.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.5 สามารถทดแทนกับสินค้าสันคอหมูสเต็กได้ เนื่องจากมีคะแนนความชอบทั้งด้านความนุ่ม ด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

2.5 การใช้สารเชื่อมประสานหรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ไม่มีผลต่อสมบัติด้านกลิ่นรสของตัวอย่าง ดังผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

2.6 สัดส่วนเนื้อหมูต่อไขมันที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นสเต็ก คือ ร้อยละ 80 ต่อ 20 สอดคล้องกับ วรินธร มณีรัตน์ (2557) ที่กล่าวว่า เนื้อหมูสำหรับทำเมนูสเต็ก ควรมีปริมาณสัดส่วนไขมันร้อยละ 10 ถึง 20 ต่อเนื้อหมู เพื่อให้ได้สเต็กที่มีเนื้อสัมผัสที่ดี

2.7 การใช้ฟอสเฟต ช่วยเสริมการทำงานของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส แต่ปริมาณที่ใช้จะต้องไม่เกินมาตรฐาน โดยปริมาณของสารประกอบฟอสเฟตสูงสุดที่สามารถใส่ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักได้ คือ 3,000 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม เนื่องจากหากใช้ฟอสเฟตในปริมาณมากเกินไป อาจเกิดการตกค้างของฟอสเฟตในร่างกาย ทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการแพ้และเป็นอันตรายได้ นอกจากนี้ยังทำให้รสสัมผัสของอาหารเฝื่อนอีกด้วย (กระทรวงสาธารณสุข, 2547)

3. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน ในโรงงานแปรรูปสุกรแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

3.1.1 การพัฒนาเนื้อสเต็กจากเศษเนื้อสุกรด้วยเทคนิคการประสาน ควรเลือกใช้สารเชื่อมประสานหรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสบริษัท B ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1.5 เนื่องจากสามารถประสานเศษเนื้อให้ยึดติดกันเป็นแผ่นได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติไม่แตกต่างกับสินค้าสันคอหมูสเต็ก

3.1.2 สารเชื่อมประสานบริษัท A อาจสามารถใช้งานได้ดี หากมีการเติมส่วนประกอบอื่น ที่สามารถช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเข้าไปด้วย เช่น เจลาติน เกลือ และฟอสเฟต เป็นต้น

3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

3.2.1 ควรศึกษาถึงผลปัจจัยเรื่องอุณหภูมิของเศษเนื้อที่ใช้ในการทดลอง ที่มีต่อการทำงานของสารเชื่อมประสานหรือเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

3.2.2 ควรมีการศึกษาสารเชื่อมประสานที่มีส่วนประกอบของเอ็นไซม์ทรานส์-กลูตามิเนสของบริษัทอื่น ๆ ถึงความสามารถในการเชื่อประสาน

3.2.3 ควรศึกษาถึงความเข้มข้นของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้ ว่าหากเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นอีก จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของเนื้อต่ำลงหรือไม่ ตามที่กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์และคณะ (2554) ที่ได้ศึกษาผลของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของ

บะหมี่เสริมใบมะรุมผง ว่า การใช้เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่ต้มสุกต่ำลง

3.2.4 ควรศึกษาถึงขนาดของชิ้นเนื้อที่นำมาใช้ในการเชื่อมประสาน ว่ามีผลต่อการเชื่อมประสานหรือไม่อย่างไร และขนาดใดที่ให้ผลดีที่สุด ทั้งด้านการประสานและด้านเนื้อสัมผัส

3.2.5 ควรศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเชื่อมประสานบริษัท A ที่สามารถเชื่อมประสานเศษเนื้อให้ติดเป็นแผ่นเดียวกันได้ รวมถึงการเติมส่วนประกอบอื่น ที่สามารถช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเข้าไปด้วย เช่น เจลาติน เกลือ และฟอสเฟต เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ร่วมกับศูนย์บริการวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. (2561). *ยุทธศาสตร์กรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2561 – 2565*. สืบค้นจาก http://www.dld.go.th/th/images/stories/about_us/organization_chart/2561/strategy2561_2565.pdf

กระทรวงสาธารณสุข. (2547). *วัตถุเจือปนอาหาร*. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281). สืบค้นจาก https://www.moph.go.th

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, นภาลัย ประสิทธิ์เขตร์กิจ, และอโนชา สุขสมบูรณ์. (2554). *ผลของเอ็นไซม์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยบูรพา, เมือง

กฤตธี วิศิษฐ์กิจการ. (2561). *สูตรย่างสเต็กขั้นเทพ คุมความสุกดั่งเทวดาเสก*. สืบค้นจาก www.wongnai.com/food-tips/grill-beef-steak-like-a-boss

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2561). *ซูริมิและผลิตภัณฑ์จากซูริมิ*, หน้า1-8. สืบค้นจาก http://www.fishtech.mju.ac.th/e-learning/FA451/PDF

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจองเกล้าพระนครเหนือ. (2561). การวิเคราะห์ความแปรปรวน. สืบค้นจากhttp://www2.it.kmutnb.ac.th/teacher/FileDL/AsstProfDrNalinpat183256000043.pdf

จิราพร เรืองทวีศิลป์. (2557). ธุรกิจสุกร: *สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร*: ธนาคารแลนด์ แอนด์ เฮ้าส์ จำกัด (มหาชน). สืบค้นจาก https://www.lhbank.co.th/Files/economic/economic_20161206154257.pdf

ไฉน ตาคำแสน, นพพล เล็กสวัสดิ์. (2561). *เอ็นไซม์ทรานส์กลูตามิเนส*.สืบค้นจาก http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57/57-026.pdf

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2550). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร* มหาวิทยาลัยสยาม, 3(1), หน้า 6- 13.

ธิราพร จุลยุเสน. (2559). *การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส*. สืบค้นจาก http://eng.sut.ac.th/ae/ae2016/src/file/SubjectDocument/file/Lab%203%20Texture%20Analyzer%20(2559%20theory)_1474471403.pdf

ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร. (2546). *การพัฒนาการผลิตแฮมจากปลาสวาย (Pangasiussutchi) และ การเก็บรักษา*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) สาขาผลิตภัณฑ์ประมง ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปพนวีณ์ สุทธิประสิทธิ์. (2561). การทดสอบและการประเมินคุณภาพอาหารด้วยวิธีการทางประสาทสัมผัส. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาการควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ* (หน่วยที่8, หน้า1-61). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. (2544). ทรานซ์กลูตามิเนสและการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร. *วารสารอาหาร*, 31(4), หน้า 245-256.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2545). การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation). เชียงใหม่ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรินธร มณีรัตน์. (2557). การแปรรูปและการตลาดสุกร. ใน *เอกสารคำสอนชุดวิชาการจัดการการผลิตสุกรและสัตว์ปีก* (หน่วยที่ 7, หน้า 2-19). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

สุภัทรา กล่ำสกุล. (2543). การเลือกใช้สารยึดเกาะในแฮมต้มผสมด้วยอิมัลชันจากเนื้อโครงไก่ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, เมือง

สุภมาส อังศุโชติ, ชูชาติ พ่วงสมจิตร์. (2561). การวิเคราะห์และการแปลผลข้อมูล. ใน *ประมวลสาระสาขาวิชาศึกษาศาสตร์* (หน่วยที่ 11, หน้า 2-93). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

C&P Enzymes Company (2016). Transglutaminase. Retrieved from https://cp-additives.com/portfolio-item/saprona-transglutaminase

Daros, F.G., Amico, S.C., Masson, M.L., (2005). A Methodology for The Evaluation of Mechanical Properties of Sausage Based on Tensile and Compression Test. (Doctoral dissertation). Department of Food Engineering, Federal University, Parana, Brazil.

Food science club. (2561). *functional properties of protein.* Retrieved from https://sites.google.com/site/foodat 23/portin-protein/smbati-cheing-hnathi-khxng-portin

Howitt, R., (2007, 25 April). TENSILE TESTING: Elastic Properties of Chicken and Other Skin Types. Retrieved from https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:XCEu UPno0aEJ:https://www.seas.upenn.edu/~belab/LabProjects/2007/HowittRFinalProposal.doc+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th

Joseph, C., & Huffman, D.L., (1985). *Restructured Pork from Hot Processed Sow Meat: Effect of Encapsulated Food Acids*. (Doctoral dissertation). Department of Animal and Dairy Sciences, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama, United States.

MOTOKI, M., & Kumazawa, Y., (2000). *Recent Research Trends in Transglutaminase Technology for Food Processing*. Food Research and Development Laboratories, Ajinomoto Co. Inc, Kawasaki, Japan.

Motoki, M., & Seguro, K., (1998). *Transglutaminase and its use for food processing*. Food Research and Development Laboratories, Ajinomoto Co. Inc, Kawasaki, Japan.

Nanning Pangbo Biological Engineering Co.,Ltd. (2016). Product Specification Transglutaminase- A. retrieved from www.gxpangbo.com.

RubnerInstitut, M., (2014). *Enzymes in Food Processing*. Karlsruhe, Germany

Shleikin, A., Gorbatovsky, A., Danilov, N., (2008). *The Use of Transglutaminase in Food Processing*. (Doctoral dissertation). Department of Low Temperatures and Food Technologies, Saint-Petersburg State University, Russia.

Vacha, F., Novik, I., Spicka, J. & Podola, M. (2006). *Determination of the effect of microbial transglutaminase on technological properties of common carp (Cyprinus carpio L.) meat*. Original paper, 51, 535-542.

Washington State University. (2018). Food and Science Laboratory - Biol 106. Retrieved from https://public.wsu.edu/~rlee/biol103/foodscience.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบ

ตารางแสดงผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของสินค้าสันคอหมูสเต็ก

No. of Sub-test	Max. Force Value (N)	Min. Force Value (N)	Mean Force Value (N)	DISP. (mm)	Strength (kPa)	Strain (%)
1	0.756	0.197	0.565	18.4	15.12	26.3
2	0.720	0.095	0.617	16.4	14.40	23.4
3	0.624	0.066	0.546	11.4	12.48	16.3
4	0.756	0.197	0.612	13.7	15.12	19.6
5	0.677	0.184	0.551	14.6	13.54	20.9
$\bar{x}$	0.707	0.148	0.578	14.9	14.13	21.3
S.D.	0.056	0.063	0.034	2.659	1.130	0.038

ตารางแสดงผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3

No. of Sub-test	Max. Force Value (N)	Min. Force Value (N)	Mean Force Value (N)	DISP. (mm)	Strength (kPa)	Strain (%)
1	0.654	0.062	0.593	8.8	13.08	12.6
2	0.657	0.099	0.588	4.3	13.14	6.1
3	0.549	0.122	0.402	9.5	10.98	13.6
4	0.575	0.101	0.495	10.0	11.50	14.3
5	0.650	0.089	0.551	12.3	13.00	17.6
$\bar{x}$	0.617	0.095	0.526	8.908	12.340	12.8
S.D.	0.051	0.022	0.080	2.927	1.022	0.042

ตารางแสดงผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5

No. of Sub-test	Max. Force Value (N)	Min. Force Value (N)	Mean Force Value (N)	DISP. (mm)	Strength (kPa)	Strain (%)
1	0.854	0.230	0.715	8.6	17.08	12.3
2	0.608	0.115	0.542	12.7	12.16	18.1
3	0.822	0.131	0.666	18.1	16.44	25.9
4	0.690	0.066	0.583	6.7	13.8	9.6
5	0.854	0.230	0.656	9.9	17.08	14.1
$\bar{x}$	0.766	0.154	0.632	11.2	15.31	16.0
S.D.	0.111	0.073	0.069	4.432	2.222	0.063

ตารางแสดงการวิเคราะห์ One way - ANOVA และ Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของสินค้าสันคอหมูสเต็ก (N) และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 (Test 1.3%) และร้อยละ 1.5 (Test 1.5%)

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	22.39	2	11.19704	4.629	0.03236	3.885
Within Groups	29.03	12	2.419	*(sig)*		
Total	51.42	14				

คู่เปรียบเทียบ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	HSD	α	ผลการเปรียบเทียบ
N-Test1.3%	1.79	1.514	0.05	แตกต่างกัน
N-Test1.5%	1.18	1.514	0.05	ไม่แตกต่างกัน
Test1.3%-Test1.5%	2.97	1.514	0.05	แตกต่างกัน

ตารางแสดงผลการทดสอบการวัดค่าความแข็ง (hardness) ของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

No. of Sub-test	ค่าความแข็ง (นิวตัน)		
	สินค้าสันคอสเต็ก	ความเข้มข้น 1.3%	ความเข้มข้น 1.5 %
1	39.465	23.356	42.197
2	42.707	23.949	42.978
3	45.397	24.19	44.332
4	49.328	25.631	51.43
5	49.902	27.554	53.847
6	51.935	28.964	55.421
7	52.363	29.324	55.506
8	55.966	30.666	61.174
9	63.088	31.854	61.951
10	66.617	32.147	63.827
$\bar{x}$	51.58	27.76	53.27
S.D.	8.621	3.326	7.966

ตารางแสดงการวิเคราะห์ One way - ANOVA และ Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) ค่าความแข็งของสินค้าสันคอหมูสเต็ก (N) และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 (Test 1.3%) และร้อยละ 1.5 (Test 1.5%)

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4067.73	2	2033.87	40.99	0.000000007	3.35
Within Groups	1339.53	27	49.61	*(sig)*		
Total	5407.26	29				

(ต่อ)

คู่เปรียบเทียบ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	HSD	α	ผลการเปรียบเทียบ
N-Test1.3%	23.81	4.51	0.05	แตกต่างกัน
N-Test1.5%	1.69	4.51	0.05	ไม่แตกต่างกัน
Test1.3%-Test1.5%	25.50	4.51	0.05	แตกต่างกัน

ตารางแสดงผลการทดสอบการวัดค่าความเหนียว (toughness) ของตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสาน บริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และร้อยละ 1.5 เปรียบเทียบสินค้าสันคอหมูสเต็กหลังปรุงสุก

No. of Sub-test	ค่าความเหนียว (นิวตัน.วินาที)		
	สินค้าสันคอสเต็ก	ความเข้มข้น 1.3%	ความเข้มข้น 1.5 %
1	235.647	145.865	208.511
2	242.711	149.577	261.157
3	244.45	153.932	282.287
4	277.519	162.279	295.883
5	279.494	166.314	308.701
6	284.994	174.661	323.506
7	285.692	176.275	350.883
8	294.262	184.145	355.67
9	317.027	199.432	373.974
10	400.267	227.085	382.623
$\bar{x}$	286.21	173.96	314.32
S.D.	47.538	24.856	54.543

ตารางแสดงการวิเคราะห์ One way - ANOVA และ Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) ค่าความเหนียวของสินค้าสันคอหมูสเต็ก (N) และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 (Test 1.3%) และร้อยละ 1.5 (Test 1.5%)

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	110307.14	2	55153.57	28.27	0.0000002	3.35
Within Groups	52673.56	27	1950.87	*(sig)*		
Total	162980.70	29				

คู่เปรียบเทียบ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	HSD	α	ผลการเปรียบเทียบ
N-Test1.3%	112.25	28.30	0.05	แตกต่างกัน
N-Test1.5%	28.11	28.30	0.05	ไม่แตกต่างกัน
Test1.3%-Test1.5%	140.36	28.30	0.05	แตกต่างกัน

ตารางแสดงผลการให้คะแนนของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อสินค้าสันคอหมูสเต็ก (N) และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 (Test 1.3%) และร้อยละ 1.5 (Test 1.5%)

ลำดับผู้ทดสอบชิม	ความชอบด้านความนุ่ม			ความชอบด้านกลิ่นรส			ความชอบโดยรวม		
	N	Test 1.3%	Test 1.5%	N	Test 1.3%	Test 1.5%	N	Test 1.3%	Test 1.5%
1	6	5	6	4	4	5	6	4	5
2	7	6	6	5	6	5	6	6	6
3	7	7	7	6	6	6	7	6	7
4	8	7	7	6	5	5	7	6	7
5	8	6	7	6	6	5	7	6	6
6	7	7	9	7	6	6	7	6	8
7	6	5	6	5	4	5	6	5	5
8	6	7	7	4	3	4	5	4	6

(ต่อ)

ลำดับผู้ทดสอบชิม	ความชอบด้านความนุ่ม			ความชอบด้านกลิ่นรส			ความชอบโดยรวม		
	N	Test 1.3%	Test 1.5%	N	Test 1.3%	Test 1.5%	N	Test 1.3%	Test 1.5%
9	8	6	7	7	7	7	8	6	7
10	7	6	6	6	5	5	7	5	6
11	9	6	7	7	7	6	8	6	6
12	7	7	8	4	4	4	6	5	7
13	6	6	5	3	3	4	6	5	5
14	7	7	7	6	5	6	7	7	7
15	7	6	7	5	5	6	7	6	7
16	6	6	6	7	7	7	7	6	7
17	9	8	7	6	7	7	8	6	7
18	7	6	7	4	4	5	7	5	6
19	8	6	8	6	6	5	8	6	8
20	8	7	7	5	5	5	7	6	7
$\bar{x}$	7.2	6.4	6.9	5.5	5.3	5.4	6.9	5.6	6.5
S.D.	0.95	0.75	0.88	1.19	1.29	0.94	0.81	0.75	0.89

ตารางแสดงการวิเคราะห์ One way - ANOVA และ Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสินค้าสันคอหมูสเต็ก (N) และตัวอย่างที่ใช้สารเชื่อมประสานบริษัท B ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 (Test 1.3%) และร้อยละ 1.5 (Test 1.5%)

- **ความชอบด้านความนุ่ม**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7.3	2	3.65	4.9184	0.010702	3.159
Within Groups	42.3	57	0.742	*(sig)*		
Total	49.6	59				

คู่เปรียบเทียบ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	HSD	α	ผลการเปรียบเทียบ
N-Test1.3%	0.85	0.379	0.05	แตกต่างกัน
N-Test1.5%	0.35	0.379	0.05	ไม่แตกต่างกัน
Test1.3%-Test1.5%	0.50	0.379	0.05	แตกต่างกัน

- **ความชอบด้านกลิ่นรส**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.433	2	0.217	0.163576159	0.849	3.159
Within Groups	75.5	57	1.32	*(Not-sig)*		
Total	75.933	59				

- **ความชอบโดยรวม**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16.63	2	8.317	12.36	0.00003	3.159
Within Groups	38.35	57	0.67	*(sig)*		
Total	54.983	59				

(ต่อ)

คู่เปรียบเทียบ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	HSD	α	ผลการเปรียบเทียบ
N-Test1.3%	1.25	0.36	0.05	แตกต่างกัน
N-Test1.5%	0.35	0.36	0.05	ไม่แตกต่างกัน
Test1.3%-Test1.5%	0.90	0.36	0.05	แตกต่างกัน

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 Point Hedonic Scale

ผลิตภัณฑ์สเต็กหมู

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ชิม .....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา โดยให้คะแนนความชอบตามที่กำหนดไว้ข้างล่าง

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

กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

คุณลักษณะ	รหัส			
	……..	……..	……..	……..
ความนุ่ม				
กลิ่นรส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ: ……

……

……

ภาคผนวก ค

รายนามผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

รายนามผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. นางเรณู อินเขียน
   ผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ
2. นายจักรพันธ์ กันธิยะ
   ผู้จัดการส่วนผลิต
3. นายรุ่งโรจน์ ธรรมยอม
   ผู้จัดการส่วนควบคุมคุณภาพ
4. นางสาวพัชราพรรณ ชัยวงศ์ล้วน
   ผู้จัดการส่วนผลิต (แปรรูป)
5. นายปฏิวัติ โลมะวิสัย
   เจ้าหน้าที่ผลิต
6. นางชัชฎา กองเงิน
   เจ้าหน้าที่ควบคุมไลน์ผลิตสินค้าแปรรูป
7. นายศักดิ์สิทธ์ วิละแสง
   หัวหน้าหน่วยผลิตไลน์แปรรูป
8. นางสาวรจนา บุญธรรม
   หัวหน้าหน่วยควบคุมคุณภาพ
9. นางสาวคคนัมพร ดวงปัญญา
   พนักงานควบคุมคุณภาพ
10. นางสาวศิรินันท์ ศิริคารวะ
    พนักงานควบคุมคุณภาพ
11. นายรักษ์กุล คุณหลัก
    เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ
12. นางน้ำฝน จำนง
    เจ้าหน้าที่ผลิต
13. นางนิภาพร กองเขียว
    พนักงานผลิต
14. นางพีราภรณ์ รินใจดี
    พนักงานผลิต

15. นางสาวสุไพลิน พันธุ
    พนักงานผลิต
16. นายทรงพล อินทิพย์
    ผู้จัดการแผนกวิศวกรรม
17. นางสาวมอน สุนันตา
    พนักงานควบคุมคุณภาพ
18. นางสาวจุฑารัตน์ จันทนะการ
    เจ้าหน้าที่คลังสินค้า
19. นางสาวเสาวลักษณ์ เปี้ยกันทา
    เจ้าหน้าที่บุคคล
20. นางจิตรลดา อุทร
    เจ้าหน้าที่บุคคล

หมายเหตุ: ทุกท่านเป็นพนักงานของโรงงานแปรรูปสุกรแม่โจ้ ในเครือ
บริษัท เบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด (จังหวัดเชียงใหม่) ผ่านการทดสอบตาม
มาตรฐานวิธีการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกนักชิมมืออาชีพ ของ
ศูนย์วิจัยและพัฒนา บริษัทศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกรจำกัด และขึ้นทะเบียนเป็น
ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสของโรงงาน

ภาคผนวก ง

คุณลักษณะสินค้าสันคอหมูสเต็กที่นำมาศึกษา

ชื่อสินค้า : สันคอหมูสเต็ก

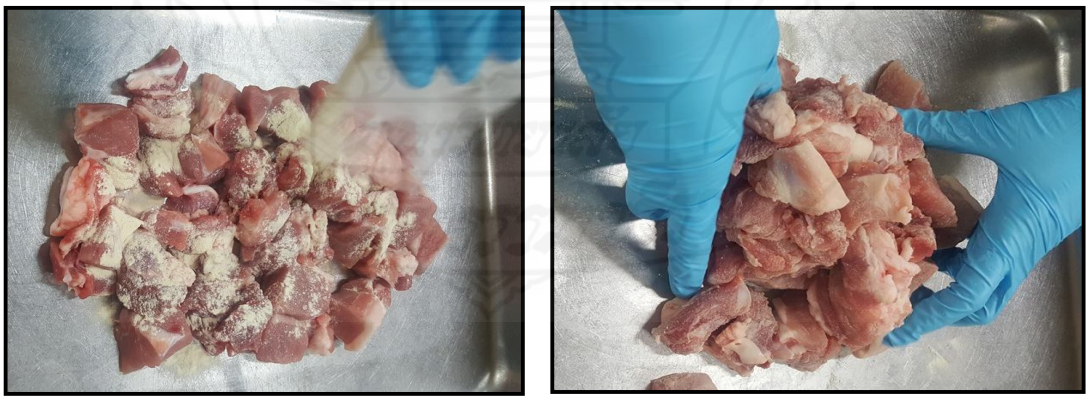
คุณลักษณะที่สำคัญ : เป็นเนื้อหมูส่วนสันคอ สภาพดี สีแดงอมชมพู มีไขมันแทรกระหว่างมัดกล้ามเนื้อ ทำการหั่นเป็นชิ้นขนาดตามหน้าตัดสันคอ ความหนา 1.5 – 2.0 เซนติเมตร น้ำหนักต่อชิ้นประมาณ 200 กรัม

รูปสินค้า :

ภาคผนวก จ

ภาพกิจกรรม

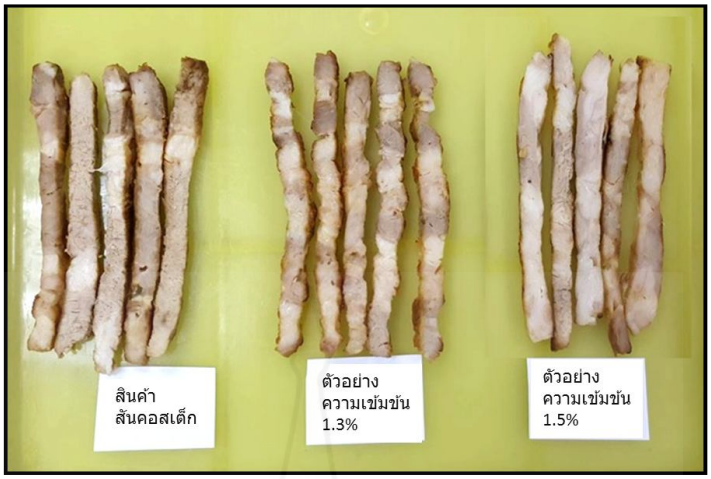
เศษเนื้อที่ใช้ทดลอง



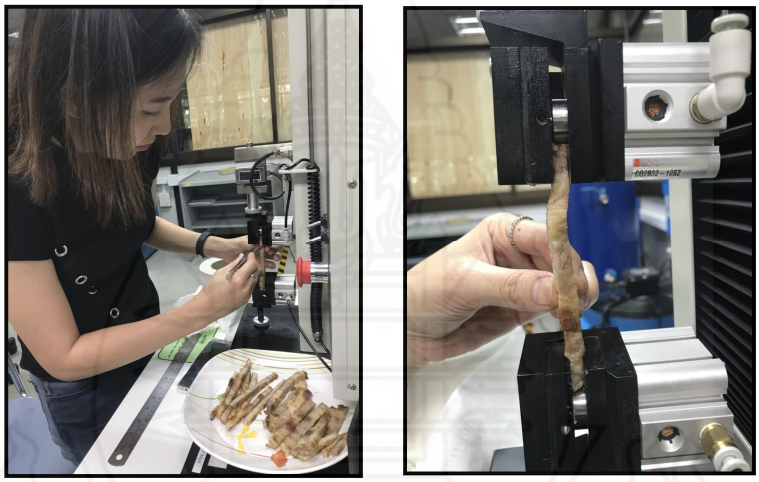
การนวดผสมสารเชื่อมประสานกับเศษเนื้อ

ตัวอย่างหลังการขึ้นรูป

การปรุงสุก

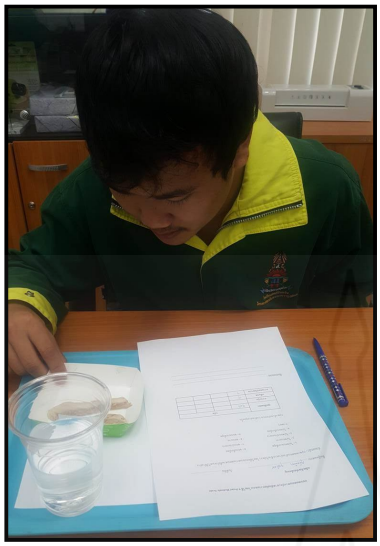


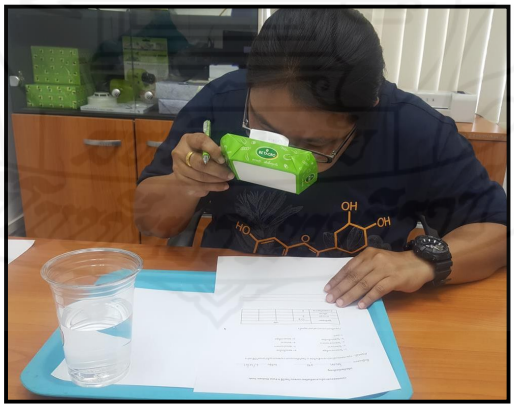
ตัวอย่างเนื้อที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง



การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง

ตัวอย่างเนื้อที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ





ทดสอบทางประสาทสัมผัส

เครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง XLW(EC) Auto Tensile Tester ณ ห้องปฏิบัติการบรรจุภัณฑ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

เครื่องทดสอบสมบัติการกายภาพ Texture Analyzer รุ่นTA.XT Plus พร้อมชุดหัววัด Warner Bratzler shear apparatus. ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นางสาวเพียงขวัญ ไชยนันตา
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 12 เดือนเมษายน พ.ศ.2533
สถานที่เกิด	อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ.2555
สถานที่ทำงาน	บริษัท เบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด (จังหวัดเชียงใหม่)
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่อาวุโสพัฒนาผลิตภัณฑ์