

ผลของสภาวะการเตรียมโฟมต่อสมบัติของผงโปรตีนจากพืชอบแห้งแบบ  
โฟม-แมทเพื่อเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก  
EFFECT OF PREPARATION CONDITIONS OF FOAM ON PROPERTIES OF  
PLANT BASED-PROTEIN POWDER BY FOAM-MAT DRYING AS A  
DYSPHAGIA DIET



กษิติศ กุฎีศรี  
ภานุวัฒน์ สุ่มนะกุล

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
พ.ศ. 2566



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ผลของสภาวะการเตรียมโฟมต่อสมบัติของผงโปรตีนจากพืชอบแห้งแบบโฟม-แมท  
เพื่อเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก  
EFFECT OF PREPARATION CONDITIONS OF FOAM ON PROPERTIES OF  
PLANT BASED-PROTEIN POWDER BY FOAM-MAT DRYING AS A  
DYSPHAGIA DIET

จัดทำโดย

กชิตศ กุฎีศรี รหัสนักศึกษา 62080163

ภาณุวัฒน์ สุมนะกุล รหัสนักศึกษา 62080214

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(ดร. ศิรดา สังสินชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

6 / มิถุนายน / 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	ผลของสภาวะการเตรียมโพลีต่อสมบัติของผงโปรตีนจากพืชอบแห้งแบบโพลี-แมทเพื่อเป็นอาหารผู้ที่มีภาวะกลืนลำบาก	
ชื่อนักศึกษา	กชิตศ กุฎีศรี	รหัสนักศึกษา 62080163
	ภานุวัฒน์ สุมนะกุล	รหัสนักศึกษา 62080214
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร	
พ.ศ.	2566	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ศิรดา สังสินชัย	

### บทคัดย่อ

เนื่องจากผู้สูงอายุและผู้ที่เป็นโรคหลอดเลือดสมองหรือมีความผิดปกติทางระบบประสาทอื่นๆ มักมีภาวะกลืนลำบาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใส่สารเพิ่มความข้นหนืดที่มีส่วนประกอบของโปรตีนในอาหารเหลว เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถกลืนได้สะดวกและปลอดภัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอัตราส่วนของถั่วลูกไก่ชนิดผงโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท และแซนแทนกัมที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบโพลี-แมท และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผงโพลี-แมทโปรตีนจากพืชต่อการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ที่มีภาวะกลืนลำบาก โดยวิธีการทดลองเริ่มจากนำวัตถุดิบซึ่งได้แก่ถั่วลูกไก่ชนิดผง โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท และแซนแทนกัม มาบดผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ 8 ตัวอย่าง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบด จากการวิเคราะห์สมบัติของโพลี-แมทก่อนการอบแห้ง พบว่าตัวอย่างที่ 1 มีค่าความหนาแน่นของโพลีต่ำที่สุด แต่ให้ปริมาตรการระบายของเหลวสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ (ยกเว้นตัวอย่างที่ 2) จากการวิเคราะห์สมบัติของโพลี-แมทหลังการอบแห้ง พบว่าค่าปริมาณความชื้น ค่า aw ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างที่ 3 ที่เตรียมมาจากโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทและแซนแทนกัม มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นอาหารผู้ที่มีภาวะกลืนลำบาก เนื่องจากมีค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด และมีค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนน้อยที่สุด เมื่อนำผงโพลี-แมทตัวอย่างที่ 3 มาเติมในน้ำและนพบพบว่าให้พฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic fluid ที่มีความหนืดเท่ากับ 0.39 และ 0.50 ปาสคาลวินาทีตามลำดับ ซึ่งแสดงลักษณะของอาหารเหลวข้นหนืดคล้ายน้ำผึ้ง (Honey-like) ดังนั้นการผลิตผงโพลี-แมทโปรตีนจากพืชจึงสามารถนำมาเป็นอาหารสำหรับผู้ที่มีภาวะกลืนลำบากได้

คำสำคัญ: ความสามารถในการละลาย โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท ถั่วลูกไก่ชนิดผง แซนแทนกัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Effect of preparation conditions of foam on properties of plant based-protein powder by foam-mat drying as a dysphagia diet	
Student name	KASIDIS KUDEESRI	Student ID 62080163
	PANUWAT SUMANAKUL	Student ID 62080214
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering	
Year	2023	
Advisor	Dr. Sirada Sungsinchai	

### ABSTRACT

Since, the elderly people and patients who have suffered a stroke or other neurological disorders have dysphagia symptoms. It is necessary to add thickener that contains high protein for dysphagia patients to consume foods that are easy and safe to swallow. Therefore, in this work was to study the ratio of chickpea powder, soy protein isolate and xanthan gum to suitable for foam-mat drying and to find suitable conditions for the production of foam-mat protein powder from plants for use as food for patients with dysphagia. The experimental method was started by using raw materials, namely chickpea powder, soy protein isolate and xanthan gum were mixed with water to follow eight conditions for 10 min, then dried by tray dryer at 70°C and grounded. From the analysis of foam-mat properties before drying, it was found that sample 1 showed the lowest foam density, but higher drainage volume than other samples (except sample 2). After drying, the result observed that the moisture content,  $a_w$ , bulk density and tapped density were not significantly different ( $p > 0.05$ ). In addition, it was found that sample 3 prepared from soy protein isolate and xanthan gum is the most suitable conditions as a dysphagia diet. Because this sample had the highest solubility, but the lowest sedimentation ratio. When foam-mat powder of sample 3 was added into water and milk show pseudoplastic fluid behavior with a viscosity of 0.39 and 0.50 Pa·s, respectively, which exhibiting to honey-like consistency. Therefore, the production of foam-mat dried plant-based protein powder can be used as a dysphagia diet.

Keywords: Chickpea Powder, Solubility, Soy protein isolate, Xanthan gum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการที่เล่มปัญหาพิเศษ 2 นี้ สำเร็จลงด้วยดี ก็ขอขอบคุณ ดร.ศิรดา สังสินชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ 2 เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ ในการทดลองและจัดทำเล่มปัญหาพิเศษครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่แลปที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าไปทดลอง ทั้งเรื่องของการใช้สถานที่ การเบิกและใช้งานวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ทำให้การทดลองเป็นไปอย่างราบรื่น สามารถรวบรวมผลการทดลองไปวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณคณะกรรมการอาหารและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านเงินทุนที่ใช้ในการทำแลป สถานที่ทำแลป จัดหาวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆที่ใช้ทำแลป มาให้

และขอขอบคุณบิดามารดาที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในการจัดทำเล่มงานวิจัยครั้งนี้ และช่วยสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับทำแลป

กชิติศ กุฎีศรี

ภาณุวัฒน์ สุমনะกุล

6 มิถุนายน 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โปรตีนจากพืช (Plant-based protein)	3
2.2 ถั่วลูกไก่ชนิดผง (Chickpea powder)	4
2.3 โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (Soy protein isolate)	6
2.4 สารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent)	6
2.5 การอบแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat drying)	9
2.6 การอบแห้ง (Drying)	10
2.7 ผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก (Dysphagia patient)	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	15
3.1 วัสดุดิบและสารเคมี	15
3.2 อุปกรณ์	15
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20
4.1 สมบัติของโฟม-แมทโปรตีนจากพืชก่อนการอบแห้ง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 สมบัติของผงโพน-แมทหลังการอบแห้ง	22
4.3 ความสามารถในการเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก	25
บทที่ 5 สรุปลผลและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปลผล	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก	33
ประวัติผู้เขียน	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เกณฑ์ลักษณะความหนืดของอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก	14
3.1	การเตรียมโฟม-แมทโปรตีนจากพืช	16
4.1	ความหนาแน่นโฟมของโฟม-แมทที่เตรียมจากสภาวะต่างๆ ก่อนการอบแห้ง	20
4.2	ปริมาณความชื้นและ aw ของผงโฟม-แมทหลังการอบแห้งที่ 6 ชั่วโมง	22
4.3	ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะของผงโฟม-แมทหลังการอบแห้ง	23
4.4	ความสามารถในการละลายและร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนของผงโฟม-แมทหลังการอบแห้ง	24
4.5	ค่าความหนืด และลักษณะความหนืดของอาหารเหลวที่ได้จากการผสมผงโฟม-แมทโปรตีนจากพืชลงในน้ำและนม	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	6
2.4	7
2.5	8
2.6	9
2.7	11
2.8	13
4.1	21
4.2	25
4.3	26
ก.1	33
ก.2	33
ก.3	34
ก.4	34
ก.5	34
ก.6	35
ก.7	35
ก.8	35
ก.9	36
ก.10	36
ก.11	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากสังคมไทยเป็นสังคมที่มีผู้สูงอายุมากขึ้น และผู้สูงอายุเหล่านี้มักเป็นโรคหลอดเลือดสมอง และภาวะสมองเสื่อม ซึ่งทำให้มีภาวะทุพพลภาพ โดยหนึ่งในภาวะที่สำคัญ คือ ภาวะการกลืนลำบาก (ปิยะภัทร, 2556) ภาวะการกลืนลำบาก (Dysphagia) คือ อาการไอ สำลัก หรือมีความรู้สึกเจ็บ เมื่อต้องกลืนอาหาร หรือน้ำ ซึ่งอาหารและน้ำสามารถหลุดเข้าไปในหลอดลม ทำให้ปอดเกิดการติดเชื้อและการอักเสบขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ (เพชรเวช, 2565) ผู้ป่วยภาวะการกลืนลำบากมักมีปัญหาภาวะทุพโภชนาการด้วย ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงจากภาวะแทรกซ้อนที่จะเกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใส่สารเพิ่มความข้นหนืดในอาหารต่างๆ เพื่อให้ผู้ป่วยใช้ฝึกการกลืนได้ (พัชรวิริ และณัฐติยา, 2562) สารเพิ่มความข้นของอาหารถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มสมบัติพื้นฐานหลายอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น ความหนืด เนื้อสัมผัส ความคงตัว รสชาติ และรสชาติ นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังช่วยปรับปรุงรูปลักษณะของอาหารให้ดีขึ้นและสามารถใช้ทดแทนน้ำมันและครีมที่มีไขมันสูงได้ โดยมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส โครงสร้างอาหาร ความรู้สึกทางปาก และอายุการเก็บรักษา (Swati, 2019) โดยโปรตีนจากพืชมีความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะการกลืนลำบาก เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถถูกย่อยได้ง่าย และช่วยลดความเสี่ยงโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด (ทัศนชา, 2565)

โปรตีนจากพืช (Plant-Based Protein) คือ โปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว ข้าวบางชนิด และธัญพืชชนิดต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันโปรตีนจากพืชสามารถสกัดให้มีปริมาณโปรตีนสูงได้เช่นเดียวกับโปรตีนจากสัตว์ และยังเป็นโปรตีนทางเลือกใหม่ที่นิยมเป็นอย่างมากในกลุ่มของคนออกกำลังกายและกลุ่มคนที่แพ้นมวัว โปรตีนจากพืชนั้นอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เช่น โปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน และกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด รวมไปถึงไฟเบอร์และสารต้านอนุมูลอิสระ (ทัศนชา, 2565)

ถั่วลูกไก่มีสารอาหารที่ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดไม่ให้เกิดความดันโลหิตสูง เนื่องจากมีเส้นใย และโปรตีนที่มีส่วนช่วยในเรื่องของการรักษาระดับน้ำตาลในเลือด และยังลดความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดโรคเบาหวานได้ (ดวงกมล, 2566)

โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท คือ โปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่มีการตัดต่อพันธุกรรมใดๆ ได้รับการสกัดเอากากใยและไขมันออกไปเหลือทิ้งไว้เพียงแคโปรตีนที่มีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 90 ร่างกายสามารถดูดซึมได้อย่างรวดเร็วและนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีกากใยน้อยกว่าโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (Lucy, 2022)

อย่างไรก็ตามในการเตรียมอาหารเหลวจะต้องมีวิธีการกำจัดน้ำออกไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผง ซึ่งวิธีที่นิยม ได้แก่ การอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ เช่น อบแห้งในตู้อบแห้ง (Cabinet drier) การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560) อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีเหล่านี้ใช้ระยะเวลาอบแห้งนาน จึงได้มีการนำเทคนิคการเตรียมแบบโพรม-แมทเข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมแบบโฟม-แมทเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กับอาหารเหลว ซึ่งขั้นตอนสำคัญคือทำให้อาหารที่ต้องการอบแห้งเป็นโฟม (Foam) ก่อน แล้วจึงนำมาอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ (พิมพ์เพ็ญ และนิริยา, 2560) อย่างไรก็ตามเพื่อให้โฟมเกิดความคงตัว จึงต้องมีการเติมสารที่ทำให้เกิดโฟม อาทิ แซนแทนกัม เป็นต้น

แซนแทนกัม (Xanthan gum) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประจุลบที่มีเซลลูโลสแกนหลักที่มีโซ่ด้านข้างเป็น ไตรแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจาก *Xanthomonas campestris* ซึ่งมีความหนืดต่ำภายใต้แรงเฉือนสูง ทำให้แซนแทนกัมง่ายต่อการเทและผสม แซนแทนกัมทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวที่เชื่อมต่อกับอากาศและน้ำเป็นฟิล์มหนืดเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายทางกลหรือความร้อน สมบัติของแซนแทนกัมในการเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัวของโฟมของโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มความเปียกได้ (Lopes และคณะ, 2015)

การอบแห้งแบบโฟม-แมทเป็นการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ มีข้อดีตรงที่ใช้เวลาทำให้แห้งสั้นลง การอบแห้งที่ใช้เวลาสั้นลง ทำให้สามารถรักษาลักษณะทางกายภาพต่างๆ ช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะทางประสาทสัมผัส มีการเพิ่มมวลและอัตราการถ่ายเทความร้อน ปรับปรุงพื้นที่ผิวให้ดีขึ้น และสามารถทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเทคนิคอื่นๆ (Kolawole และ Oluwasanmi, 2021) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอัตราส่วนของถั่วลูกไก่ชนิดผง โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท และแซนแทนกัม ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบโฟม-แมท และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผงโฟม-แมทโปรตีนจากพืชต่อการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของถั่วลูกไก่ชนิดผง โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท และแซนแทนกัม ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบโฟม-แมท

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผงโฟม-แมทโปรตีนจากพืชต่อการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ผลิตอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบากได้โดยเฉพาะ โดยมีสารอาหารที่เพียงพอและมีประโยชน์ต่อร่างกาย รวมทั้งมีเนื้อสัมผัสที่ดี

1.3.2 ได้รับความรู้ต่างๆ เช่น โปรตีนจากพืชที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบโฟม-แมท ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ต่อไปได้

1.3.3 สามารถอบแห้งแบบโฟม-แมทได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ดี มีสมบัติตรงตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โปรตีนจากพืช (Plant-based protein)

โปรตีนจากพืชเป็นส่วนประกอบทางเลือกสำหรับนักโภชนาการมังสวิรัติ เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำ เข้าถึงได้ง่าย และมีคุณค่าทางโภชนาการ พืชตระกูลถั่วที่เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่สำคัญ โดยโปรตีนจากพืชตระกูลถั่วประกอบด้วยโปรตีนหลัก 2 ชนิด ได้แก่ อัลบูมิน และโกลบูลิน โดยอัลบูมินมีสมบัติละลายน้ำได้และน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 16-483 กิโลดาลตัน (Mine และ Nilgün, 2020)

โปรตีนจากพืชถือเป็นอาหารวีแกน (Vegan) ที่มีกรดอะมิโนจำนวนมากซึ่งร่างกายดูดซึมได้โดยตรง นอกจากนี้โปรตีนที่ได้จากพืชยังอุดมไปด้วยไฟเบอร์ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน โอลิโกแซ็กคาไรด์ และคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นโปรตีนจากพืชส่วนใหญ่จึงเกี่ยวข้องกับการลดลงของโรคหัวใจและหลอดเลือด คอเลสเตอรอลชนิดไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) โรคอ้วน และเบาหวานชนิดที่ 2 (Sapna และคณะ, 2022)

โปรตีนจากพืช (ภาพที่ 2.1) จัดเป็นโปรตีนทางเลือก (Alternative protein) เพื่อทดแทนโปรตีนจากสัตว์ เนื่องจากผลกระทบของการบริโภคเนื้อสัตว์ทั้งในแง่จริยธรรมจากการทรมานสัตว์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากระบบฟาร์มปศุสัตว์ที่มีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูง และผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคจากการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะในการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันสัตว์นั้นมีส่วนประกอบของคอเลสเตอรอลสูง โปรตีนจากพืชจึงมีบทบาทเข้ามาแทนที่เนื้อสัตว์ในอาหารมากขึ้นทั้งนี้ด้วยรสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่คล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์ (เขมิสรา และนิพัฒน์, 2565)

โปรตีนจากพืชมีแหล่งที่มาหลากหลาย แบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มธัญพืช เป็นโปรตีนที่ได้จากพืชในตระกูลหญ้าที่บริโภคได้ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าว ฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ (2) กลุ่มถั่ว เป็นโปรตีนที่ได้จากถั่วทั้งกลุ่มถั่วฝักเมล็ดไม่กลม ถั่วเมล็ดกลม ถั่วเมล็ดแบน เช่น ถั่วดำ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว (3) กลุ่มเมล็ดพืชและผลไม้แห้งเปลือกแข็ง เช่น เมล็ดทานตะวัน ฟักทอง งา ถั่วลิสง (4) กลุ่มโปรตีนจากหญ้าที่ไม่ใช่ธัญพืช เช่น ควินัว (Quinoa) บัควีท (Buckwheat) อะมารัน (Amaranth) และ (5) กลุ่มโปรตีนจากพืชผัก เช่น Broccoli และ Cauliflower เป็นต้น พืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมโปรตีนจากพืชที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ พืชตระกูลถั่ว เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง (เขมิสรา และนิพัฒน์, 2565)

โปรตีนจากพืชมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นโปรตีนที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีสมบัติที่หลากหลาย มีการใช้ในอุตสาหกรรมดังนี้ (เขมิสรา และนิพัฒน์, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้าไม่รับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อุตสาหกรรมเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เช่น น้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมข้าว น้ำนมอัลมอนต์
2. อุตสาหกรรมไวน์ เช่น การใช้ทดแทนเจลาติน ในการทำให้ไวน์ใส ลดความขุ่นของไวน์
3. อุตสาหกรรมเนื้อเทียม เช่น การใช้โปรตีนถั่วเหลือง ให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดเป็ยก หรือแห้ง
4. อุตสาหกรรมขนมอบ เช่น โปรตีนจากควินัว และถั่ว ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ลดดัชนีน้ำตาล
5. อุตสาหกรรมฟิล์มและการเคลือบบนบรรจุภัณฑ์ เช่น โปรตีนถั่ว ช่วยป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำ และเสริมความแข็งแรงจากการดึง



ภาพที่ 2.1 โปรตีนจากพืช

ที่มา: Louisa (2023)

## 2.2 ถั่วลูกไก่ชนิดผง (Chickpea powder)

ถั่วลูกไก่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cicer arietinum* L. เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญที่ได้จากพืชตระกูลถั่วซึ่งอยู่ใน Family Leguminosae โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้บริโภคมังสวิรัติ หรือผู้ที่ไม่สามารถบริโภคโปรตีนจากสัตว์ได้ ในประเทศอินเดียถั่วลูกไก่ถูกใช้เป็นอาหารสำหรับบริโภคในรูปทั้งเมล็ด หรือทำแป้งที่เรียกว่า Dhal ซึ่งเป็นแป้งจากถั่วลูกไก่ที่ใช้ทำขนมหวาน ลูกกวาด และขนมปังได้ (สัมพันธ์ และคณะ, 2558) ลักษณะของถั่วลูกไก่ชนิดผงแสดงในภาพที่ 2.2

โปรตีนจากถั่วลูกไก่ถือเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมเนื่องจากมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างสมดุล ถูกนำมาใช้ในการเตรียมอาหารต่างๆ เช่น เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ นมเทียม สูตรอาหารสำหรับทารก และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ การแยกโปรตีนออกจากแป้งถั่วลูกไก่ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงจากร้อยละ 57.88 เป็น 10.33 การมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่น้อยลงในวัตถุดิบสำหรับทำขนมอาจนำไปสู่การลดปฏิกิริยาของ Maillard และป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาชั้นกลางที่นำไปสู่การก่อตัวของอะคริลาไมด์ (Simona และคณะ, 2015)

ถั่วลูกไก่เป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพที่สำคัญสำหรับผู้บริโภค การบริโภคถั่วลูกไก่มีประโยชน์ในการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ ไม่เว้นแต่โรคใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และควบคุมการสะสมของคอเลสเตอรอล นอกจากนี้ ถั่วลูกไก่ยังช่วยลดความดันโลหิต และป้องกันมะเร็งต่างๆ (Simona และคณะ, 2015) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับถั่วลูกไก่มากมาย เช่น

Simona และคณะ (2015) ได้ศึกษาการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งถั่วลูกไก่ที่ร้อยละ 0 10 20 และ 30 พบว่าปริมาณโปรตีนและไฟเบอร์ในขนมปังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาตรของขนมปังลดลงเมื่อระดับแป้งถั่วลูกไก่ (CF) เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเจือจางของปริมาณกลูเตนในการผสมผสานและปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบของไฟเบอร์ น้ำ และกลูเตน อย่างไรก็ตาม การแทนที่ร้อยละ 10 20 และ 30 ให้ค่าพารามิเตอร์อย่างน้อยเท่ากับตัวอย่างควบคุม (WFB) และให้ค่าที่ยอมรับได้ของขนมปังในแง่ของน้ำหนัก ปริมาตร และสมบัติทางประสาทสัมผัส

Daniela (2022) ได้รายงานว่า สมบัติเชิงโครงสร้างและพื้นผิวของสัดส่วนโปรตีนทั้งหมด (TE) และโปรตีนแอลบูมิน (ALB) โกลบูลิน (GLO) และกลูเตลิน (GLU) ที่แยกได้จากแป้งถั่วลูกไก่ที่ปราศจากไขมัน ได้รับการประเมินค่าและเปรียบเทียบกับโปรตีนจากสัตว์ โอวัลบูมิน (OVO) พบว่าการใช้วิธีการสกัดที่ง่ายและต้นทุนต่ำทำให้ได้ผลผลิตโปรตีนสูง (ร้อยละ 82) โดยมีกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่ชอบน้ำจำนวนมาก ซึ่งโปรตีนถั่วลูกไก่แสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านพื้นผิวให้ดีขึ้นได้ เมื่อเทียบกับโปรตีนจากสัตว์ โอวัลบูมิน (OVO) โดยที่โกลบูลิน (GLO) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทุติยภูมิ ความสามารถด้านความยืดหยุ่น และจำนวนพื้นผิวของเซลล์ที่ไม่ชอบน้ำซึ่งสูงขึ้น ของโปรตีน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโปรตีนถั่วลูกไก่สามารถปรับปรุงสมบัติด้านพื้นผิวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากสัตว์ โอวัลบูมิน (OVO) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้เป็นส่วนประกอบปรับสภาพโฟมและอิมัลชันทดแทนโปรตีนจากสัตว์ในสูตรอาหาร



ภาพที่ 2.2 ถั่วลูกไก่ชนิดผง

ที่มา: Jillian (2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (Soy protein isolate)

ถั่วเหลือง (Soybean) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศหลายชนิด ทั้งที่ใช้บริโภคและใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองมีหลายประเภท เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ๊ว น้ำมันถั่วเหลือง นมถั่วเหลือง น้ำเต้าหู้ เป็นต้น ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการสูง และยังมีสารสำคัญทางชีวภาพที่ส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกาย ในเมล็ดมีไขมันร้อยละ 13-25 มีโปรตีนร้อยละ 30-50 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14-24 โดยเฉพาะโปรตีนที่ถั่วเหลืองมีปริมาณในระดับสูง ไม่มีคลอเรสเตอรอล มีไขมันอิ่มตัวในปริมาณต่ำ เป็นแหล่งของกรดไลโนเลนิก และกรดไลโนเลอิก ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากการรับประทานอาหาร ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมกับคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับโปรตีนจากสัตว์ การรับประทานโปรตีนจากถั่วเหลืองมีส่วนช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล จึงช่วยลดโอกาสเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจ (พอฤทัย, 2556)

โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (ภาพที่ 2.3) เป็นโปรตีนจากพืชที่สกัดมาจากถั่วเหลือง โดยไม่มีการตัดต่อพันธุกรรมใดๆ เลยแต่จะได้รับการสกัดกากใยและไขมันออกไป เหลือไว้เพียงแคโปรตีนที่มีปริมาณเข้มข้นสูงมากถึงร้อยละ 90 ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญต่อร่างกาย ทำให้ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าโปรตีนที่อยู่ในรูปแบบปกติทั่วไป นอกจากนี้ยังมีกากใยน้อยกว่าโปรตีนเข้มข้น (Soy protein concentrate) นั่นจึงเป็นเหตุผลที่โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทได้รับความนิยมสูงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้ที่ไม่ค่อยมีเวลา ผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารหรือคนที่รักสุขภาพและสนใจการรับประทานโปรตีนรูปแบบใหม่ ช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เร็วมากขึ้น (Creperiesgourmandes, 2022)



ภาพที่ 2.3 โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท

ที่มา: Stone Church Arts (2022)

### 2.4 สารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent)

สารที่ทำให้เกิดโฟม เป็นสารที่ใช้สำหรับเติมลงในอาหารเหลว เพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตีปั่นเติมอากาศให้กับอาหารจนเกิดโฟม ซึ่งเป็นของผสมระหว่างของเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว สารนี้ทำให้เพิ่มความแข็งแรงของโฟม ทำให้อาหารอุ้มอากาศไว้ ภายในได้มากขึ้น โดยโฟมนั้นไม่แตกออกหรือแยกออก

ขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่ช่วยรักษาสภาพของโพลีเมอร์ให้คงตัวอยู่ได้นาน ทำให้โพลีเมอร์มีความคงตัวยิ่งขึ้น ปกติโมเลกุลของสารที่ช่วยให้เกิดโพลีเมอร์นั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลลิอิสระที่มีประจุ อาจจะเป็นประจุบวกหรือลบก็ได้ สารที่ช่วยให้เกิดโพลีเมอร์ที่เลือกใช้ในอาหาร ต้องไม่มีรสชาติหรือทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถทำให้เกิดโพลีเมอร์ได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำ และมีความปลอดภัย (อริสรา และคณะ, 2554)

สารที่ช่วยให้เกิดโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ช่วยให้เกิดฟองโพลีเมอร์ขึ้น โดยเป็นสารประเภทที่โครงสร้างทางเคมีมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในโครงสร้าง (Amphiphilic substance) เมื่อเติมสารที่ให้เกิดโพลีเมอร์ลงในน้ำ จะเกิดการจัดเรียงตัวที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ และพยายามจัดเรียงตัวเพื่อให้ส่วนไม่ชอบน้ำสัมผัสกับน้ำน้อยที่สุด เกิดเป็นลักษณะของไมเซลล์ (Micelle) ที่มีฟองแก๊สอยู่ภายใน การเรียงตัวในลักษณะดังกล่าวจะทำให้แรงตึงผิวของน้ำมีค่าลดลง และมีความดันพื้นผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งความดันพื้นผิวเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของสารที่ให้เกิดโพลีเมอร์ อย่างไรก็ตามความดันพื้นผิวไม่ได้บ่งบอกถึงความคงตัวของโพลีเมอร์มากนักเมื่อเทียบกับผลของความเข้มข้นสารที่ให้เกิดโพลีเมอร์ที่บริเวณผิวหน้าของโพลีเมอร์ (ศรีธัญ และคณะ, 2564)

แซนแทนกัม (Xanthan gum) เป็นโครงสร้างเชิงซ้อนของ exopolysaccharide มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงสีเทา ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท แต่โดยทั่วไปนำมาใช้ในเครื่องปรุงรส เช่น น้ำ สลัด ซอส แยม และผลไม้กระป๋อง ช่วยให้เกิดความหนืดและช่วยรักษาเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในการทำไอศกรีมเพื่อรักษาเนื้อสัมผัสที่นุ่มลื่นและป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง สามารถนำมาใช้แทน gluten ในผู้เป็นโรคเซลิแอค (Celiac Disease) ได้ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2561)

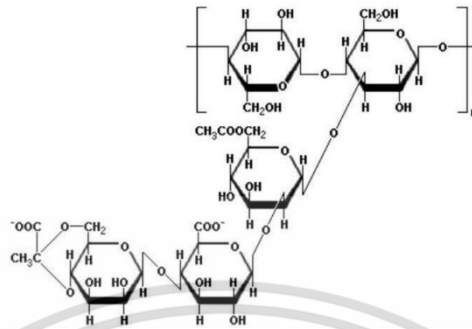


ภาพที่ 2.4 ลักษณะผงสีขาวของแซนแทนกัม

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2561)

แซนแทนกัมเป็น Hetero-polysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงตั้งแต่หนึ่งถึงหลายล้านดาลตัน โดยสายหลักเป็นโครงสร้างของน้ำตาลกลูโคส มีกิ่งก้านของโครงสร้าง (Side chain) เป็น Trisaccharide ที่ประกอบด้วย Alpha-D-mannose (acetyl group) Beta-D-glucuronic acid และส่วนปลาย (Terminal) เป็น Beta-D-mannose เชื่อมต่อกับ Pyruvate group ซึ่งแซนแทนกัมที่ผลิตจากเชื้อต่างชนิดหรือ สภาวะเอ็กสทรานเป็นเอ็กสทรานที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า แตกต่างกันจะมีปริมาณหมู่ไพรูเวตแตกต่างกัน โดย Monosaccharides ที่พบในแซนแทนกัมในหนึ่งหน่วย

ประกอบด้วย Beta-D-glucose Alpha-D-mannose และ Alpha-D-glucuronic acid ใน อัตราส่วน 2:2:1 ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2561)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของแซนแทนกัม

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2561)

สมบัติทางกายภาพของแซนแทนกัมที่สำคัญ ได้แก่

1. ความสามารถในการละลาย โดยแซนแทนกัมสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงแม้ใช้ความเข้มข้นต่ำ และมีรายงานพบว่าการใช้แซนแทนกัมเพียงร้อยละ 1 สามารถให้สารละลายที่มีความหนืดประมาณ 800-1,000 เซนติพอยซ์ โดยการวัดด้วยเครื่อง Brookfield LVF ที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังสามารถละลายได้ดีทั้งในกรดหรือด่าง และเกลือหลายชนิด เช่น ละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5-10 และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 รวมทั้งมีความสามารถในการละลายร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น Methanol Ethanol Isopropanol และ Acetone ที่มีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 50 โดยการเติมตัวทำละลายซ้ำๆ และกวนอย่างสม่ำเสมอ โดยแซนแทนกัมจะตกตะกอนทันทีถ้าตัวทำละลายมีความเข้มข้นสูงกว่านี้ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2561)

2. สมบัติทางการไหล (Rheological properties) สารละลายแซนแทนกัมมีสมบัติเด่นแตกต่างจากพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น คือเป็นของไหลประเภท Non-Newtonian fluid ที่มีสมบัติเป็น Pseudoplastic เมื่อมีแรงกระทำต่อสารละลายมาก (Shear rate สูง) ความหนืดของสารละลายจะลดลง แต่เมื่อมีแรงกระทำต่อสารละลายน้อย (Shear rate ต่ำ) สารละลายจะมีแรงต้านสูงและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2561)

แซนแทนกัมถูกนำมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างหลากหลาย เป็นสารช่วยเพิ่มความข้นหนืดในอาหาร

หลากหลายชนิด รวมถึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม ในปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องสำอาง โลชั่น ยาสีฟัน เวชภัณฑ์ยา พุดดิ้ง น้ำสลัด ไอศกรีม เชอเบท ท็อปปิ้งเบเกอรี่ ไส้ของ

ขนมปัง แยม เยลลี่ และซอส เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.6 โดยการบริโภคแซนแทนกัมที่เหมาะสมตามหลักโภชนาการจะอยู่ที่ 15 กรัมของแซนแทนกัมต่อวัน (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2561)



ภาพที่ 2.6 การใช้ประโยชน์จากแซนแทนกัม

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2561)

ได้มีการศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการเติมแซนแทนกัมร่วมกับการอบแห้งมากมาย เช่น อมรรัตน์ และพิชชาพร (2563) ได้ศึกษาผลของการเติมแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.015 และ 0.25 ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงซูฟฟัทอง เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงซูฟฟัทองด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแซนแทนกัมที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืดของซูฟฟัทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าปริมาณน้ำอิสระ (aw) ของผงซูฟฟัทองทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

## 2.5 การอบแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat drying)

การอบแห้งแบบโฟม-แมทเป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารเหลว หรืออาหารที่มีลักษณะข้นเกิดเป็นโฟมที่มีความคงตัว จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศ ซึ่งอาหารที่มีโปรตีนหรือโมโนกลีเซอไรด์โดยธรรมชาติจะสามารถทำให้เกิดโฟมได้ แต่โฟมที่เกิดขึ้นอาจจะมีความคงตัวต่ำ ไม่สามารถคงอยู่ตลอดการอบแห้งได้ สำหรับอาหารที่ไม่มีโปรตีนจำเป็นต้องใช้สารช่วยให้เกิดโฟม และสารรักษาความคงตัวของโฟมซึ่งที่นิยมให้คือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท โปรตีนไข่ขาว กระบวนการอบแห้งแบบโฟม-แมท มีความเหมาะสมกับวัตถุดิบหลายชนิดโดยเฉพาะวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน มีความหนืดหรือเหนียว หรือมีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้หรือเนื้อผลไม้ข้น การอบแห้งแบบโฟม-แมทจะสามารถลดเวลาในการอบแห้งของอาหารลงได้ (วารสารณ์, 2556)

การอบแห้งแบบโฟม-แมทมีข้อดีตรงที่ใช้เวลาทำให้แห้งสั้นลง ลดการสูญเสียทางโภชนาการและลักษณะทางประสาทสัมผัส มีการเพิ่มมวลและอัตราการถ่ายเทความร้อน ปรับปรุงพื้นที่ผิวให้ดีขึ้น และสามารถทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ (Kolawole และ Oluwasanmi, 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม หากเกิดการยุบตัวในระหว่างการอบแห้ง จะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงโพน-แมท ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งแบบโพน-แมท คือชนิดและปริมาณของสารทำให้เกิดโพน ความเข้มข้นของอาหารเหลว วิธีการตีโพน-แมทและระยะเวลา ความหนาของชั้นโพน-แมทก่อนการอบแห้ง และสภาวะในการอบแห้งโพน-แมท (พีรยา และคณะ, 2563)

ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งแบบโพน-แมทมากมาย เช่น

จันทร์ฉัตรฉาย และคณะ (2562) ได้ศึกษาสารที่ก่อให้เกิดโพนและระยะเวลาในการตีที่เหมาะสมในการทำน้ำยาล้างผง ใช้สารที่ก่อให้เกิดโพน คือคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose (CMC )) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1 และ 1.5 และใช้ขบวนการความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 ระยะเวลาที่ใช้ในการตีให้เกิดโพน 5 10 และ 15 นาที พบว่าการใช้ใช้ขบวนการความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 เวลาตี 10 15 และ 20 นาที และ CMC ความเข้มข้นร้อยละ 1 ร่วมกับใช้ขบวนการความเข้มข้นร้อยละ 15 เวลาตีผสม 10 และ 15 นาที ทำให้เกิดโพนได้ จากการวัดสมบัติของโพน พบว่าโพนมีความหนาแน่น 0.190-0.20 กรัมต่อมิลลิเมตร ความคงตัว 0.34-1.11 มิลลิเมตรต่อนาที การใช้ใช้ขบวนการความเข้มข้นร้อยละ 15 เวลาตี 10 และ 15 นาที ให้โพนที่มีความคงตัวมากที่สุด

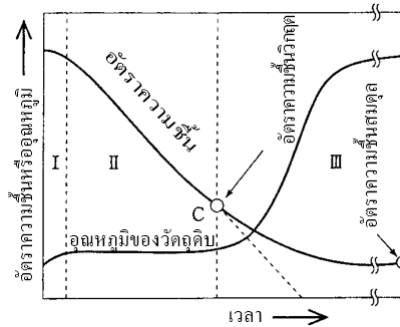
พีรยา และคณะ (2563) ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารทำให้เกิดโพนที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของไขมันแกว่งที่อบแห้งแบบโพน-แมท โดยใช้สารทำให้เกิดโพน คือ มอลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 10 และ 15 และโซเดียมเคซีเนต ร้อยละ 5 และ 10 อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ได้โพนไขมันแกว่งที่มีความคงตัวที่สูงกว่า แต่มีการขยายตัวที่ต่ำกว่าการใช้โซเดียมเคซีเนต และไขมันแกว่งที่ได้มีคุณภาพด้านสีและการละลายที่ดีกว่า และปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## 2.6 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง คือการเอาน้ำออกจากวัตถุดิบที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัตถุดิบนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัตถุดิบนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัตถุดิบนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัตถุดิบนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัตถุดิบจะแห้งได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบเองด้วย ในการอบแห้ง เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย (IEnergyGuru, 2015)

กลไกการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน (ภาพที่ 2.7) คือ (I) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ (II) ช่วงอบแห้งด้วยอัตราเร็วคงที่ (III) ช่วงอบแห้งด้วยอัตราเร็วลดลง (IEnergyGuru, 2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุคืบ

ที่มา: IEnergyGuru (2015)

### (I) ช่วงอุ่นวัตถุคืบ

เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุคืบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุคืบ ในกรณีที่วัตถุคืบได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อน โดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น (IEnergyGuru, 2015)

### (II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่

วัตถุคืบจะมีอุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ขั้นตอนของการระเหยจะเกิดที่ผิวหนังของวัตถุคืบโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหนังของวัตถุคืบ โดยอัตราความชื้นของวัตถุคืบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่ (IEnergyGuru, 2015)

### (III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง

เมื่ออบไปเรื่อยๆจนปริมาณความชื้นที่ผิวหนังวัตถุคืบแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัตถุคืบเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุคืบจะซึมขึ้นมาทดแทนให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหนัง จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ III ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ขั้นตอนของการระเหยจะค่อยๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุคืบ อุณหภูมิของวัตถุคืบจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิว ในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุคืบ นอกจากนี้ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัตถุคืบเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อยๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป (IEnergyGuru, 2015)

## 2.7 ผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก (Dysphagia patient)

ภาวะกลืนลำบาก (Dysphagia) เป็นภาวะที่ทำให้ผู้ป่วยเกิดความผิดปกติในการกลืน ทำให้ไม่สามารถกลืนได้หรืออาจกลืนได้ลำบาก มีความยากลำบากในการเริ่มต้นกลืนอาหาร หรือความยากลำบากในการเคลื่อนเอ็กอาหารหรือของเหลวจากปากให้ผ่านคอหอย และหลอดอาหารไปสู่กระเพาะอาหาร ซึ่งอาจมีอาการอื่นๆร่วมด้วย เช่น ไอหรือสำลักขณะรับประทานอาหาร หรือดื่มเครื่องดื่ม รู้สึกคล้ายมีอาหารติดอยู่ในลำคอหรือหน้าอก

เป็นต้น ทั้งนี้ภาวะ Dysphagia อาจทำให้ผู้ป่วยได้รับสารอาหารไม่เพียงพอจนส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลงและอาจเกิดภาวะแทรกซ้อนได้ (พัชรวีร์ และณัฐติยา, 2562)

ภาวะการกลืนลำบาก เป็นปัญหาที่พบได้มากในผู้สูงอายุและพบได้มากในผู้ป่วยโรคเกี่ยวกับสมองและระบบประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์ พาร์กินสัน โรคหลอดเลือดสมองตีบหรือแตก รวมถึงยังพบในโรคอื่น เช่น มะเร็งที่คอ/หลอดอาหาร (ปิยะภัทร, 2556) ทำให้ผู้ป่วยรับประทานอาหารได้น้อยลง จนได้รับสารอาหาร ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายส่งผลให้เกิดภาวะทุพโภชนาการได้ ดังนั้นในบทบาทหน้าที่ของ นักกำหนดอาหารในทีมสหสาขาวิชาชีพ เพื่อให้เป็นไปตามแผนการรักษาของแพทย์จึงต้องดัดแปลงอาหารให้เหมาะสมกับภาวะการกลืนของผู้ป่วยในระดับต่างๆ (พัชรวีร์ และณัฐติยา, 2562)

ภาวะที่มีอาการที่บ่งบอกว่ามีภาวะ Dysphagia ได้แก่

1. ไม่สามารถกลืนอาหารได้หรือมีอาการเจ็บเวลากลืนอาหาร
2. รู้สึกคล้ายมีอาหารติดอยู่ในลำคอหรือหน้าอก
3. มีอาหารตกค้างในกระพุ้งแก้ม
4. น้ำลายไหลออกทางปากมากผิดปกติ
5. เสียงแหบหรือหลังการกลืน
6. มีอาหารหรือกรดในกระเพาะอาหารไหลย้อนกลับมาที่คอ
7. ไอหรือสำลักเวลากลืนอาหาร

8. ต้องตัดแบ่งอาหารให้มีขนาดเล็กลงหรือหลีกเลี่ยงอาหารบางชนิด เพื่อให้สามารถกลืนได้ตามปกติ  
อาการแทรกซ้อนในผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก ได้แก่

1. การสำลัก (Aspiration) เป็นอาการที่มีอาหารหรือน้ำเข้าสู่หลอดลม โดยจะมีอาการไอ หายใจถี่ๆ หายใจยากลำบาก ซึ่งจะส่งผลต่อการติดเชื้อในปอดได้และมีการอุดตันของทางเดินหายใจส่วนบน
2. ภาวะทุพโภชนาการ เนื่องจากผู้ป่วยมีปัญหาในการกลืน ไม่สามารถกลืนอาหารได้ตามปกติทำให้ได้รับอาหารน้อย สารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ทำให้เกิดภาวะทุพโภชนาการได้
3. ภาวะขาดน้ำ (Dehydration) อันเนื่องมาจากการกลืนไม่ได้ เป็นภาวะที่เกิดจากการขาดสมดุลของน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย

ดังนั้นเพื่อให้การดัดแปลงอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบากเป็นไปตามแผนการรักษาของแพทย์ฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลรามารัตนดิษฐ์จึงใช้เกณฑ์อาหารฝึกลืนของ The International Dysphagia Diet Standardization Initiative (IDDSI) ปี 2019 ซึ่ง IDDSI ตั้งเกณฑ์ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อกำหนดมาตรฐานของอาหารฝึกลืน ให้มีเนื้อสัมผัส ความข้นหนืดของอาหาร ให้มีมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก โดยแบ่งอาหารออกเป็นระดับ ตั้งแต่ระดับ 0-7 ตามความข้นหนืดของอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 เกณฑ์อาหารฝึกกลืนที่ตั้งโดย IDDSI

ที่มา: พัชรวีร์ และณัฐติยา (2562)

นอกจากนี้ในการจัดอาหารให้แก่ผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบากนั้น ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ควรคำนึงถึง เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถรับประทานอาหารได้อย่างปลอดภัย มีความสุข และมีคุณภาพชีวิตที่ดี สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ (พัชรวีร์ และณัฐติยา, 2562)

1. รสชาติของอาหารแม้ว่าอาหารที่มีรสจืด เช่น รสเปรี้ยว เค็ม จะช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำลายและช่วยให้การกลืนดีขึ้น แต่หากมีรสจืดและกลืนจนมากเกินไป อาจกระตุ้นให้ผู้ป่วยไอมากขึ้นและสำลักได้
2. ความชอบของผู้ป่วย หน้าตาของอาหาร สี สัน สิ่งเหล่านี้จะช่วยกระตุ้นความอยากอาหาร ทำให้ผู้ป่วยอยากรับประทานอาหารเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิของอาหาร อาหารร้อนและอาหารเย็นจะช่วยกระตุ้นการกลืนได้ดีกว่าอาหารในอุณหภูมิห้อง แต่ควรระวังในผู้ป่วยที่มีปัญหาการรับรู้สัมผัส ถ้าอาหารร้อนเกินไปอาจทำให้เกิดแผลในปากได้
4. ลักษณะเนื้ออาหาร ควรมีเนื้อชิ้น ลักษณะเกาะตัวเป็นก้อนในปาก เนื้ออาหารไม่แตกกระจาย จะช่วยให้กลืนได้ง่ายยิ่งขึ้น
5. อาหารที่กระตุ้นให้เกิดเสมหะ อาหารประเภทที่มีนมเป็นส่วนประกอบอาจทำให้เสมหะเหนียวข้น ส่งผลให้กลืนลำบากมากยิ่งขึ้น
6. อาหารที่กระตุ้นให้เกิดการไอหรือสำลัก อาหารในกลุ่มนี้เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วอาจทำให้ผู้ป่วยคันคอ สำลักหรือไอได้ เช่น อาหารทอดกรอบ ขนมปังกรอบ ถั่วหรือเมล็ดธัญพืชต่างๆ และอาจส่งผลต่อ การย่อยอาหาร มีอาการท้องอืด มีแก๊สในกระเพาะอาหาร
7. โรคประจำตัว ควรตัดแปลงอาหารให้เหมาะสมกับโรคประจำตัวของผู้ป่วย เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคไต รวมถึงการแพ้อาหารต่างๆ ร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเกณฑ์ลักษณะความหนืดของอาหารสำหรับผู้ป่วยมีภาวะกลืนลำบาก แสดงดังตารางที่ 2.1 ขนด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ลักษณะความหนืดของอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก

ความหนืด (mPa·s)	ลักษณะความหนืด (Consistency)
1 - 50	Thin Liquid
51 - 350	Nectar
351 - 1,700	Honey
> 1,700	Pudding

หมายเหตุ วัดที่ Shear rate เท่ากับ 50 ต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ที่มา: National Dysphagia Diet Task Force (2002)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ถั่วลูกไก่ชนิดผง (Chickpea powder) (เกรดอาหาร) จากบริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด

3.1.1.2 โพรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (เกรดอาหาร)

3.1.1.3 แชนแทนกัม (Xanthan gum) (เกรดอาหาร)

#### 3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ปีกเกอร์แก้วขนาด 50 มิลลิลิตร และ 1,000 มิลลิลิตร

3.2.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง

3.2.3 ซ้อนตักสารพลาสติก

3.2.4 เครื่องปั่นผสมแบบมือถือ, HOM 12KP81, 350 W, 50 Hz, 220-240 W, HOMEMATE, China

3.2.5 ตู้อบแห้งแบบถาด, Progress and Patch/663

3.2.6 เครื่องบดแห้งแบบ Pin mill, ZM 1000, Retsch, Germany

3.2.7 เครื่องวัดความชื้นแบบหลอดฮาโลเจน, HX204, Mettler Toledo, Switzerland

3.2.8 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ, 4TE, AQUA LAB

3.2.9 ถังสุญญากาศ, B1D-10x15, SPRINGGREENEVOLUTION, Bangkok, Thailand

3.2.10 กระจกตวงแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร, 50 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร

3.2.11 หลอดเซนติฟิวก์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2.12 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน, 5804R, Eppendorf, Germany

3.2.13 ตู้อบแบบลมร้อน, INS-0201, Memmert, Labvalley, Germany

3.2.14 ครอบงออุณหภูมิเยยม

3.2.15 ปีเปตแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร

3.2.16 ลูกยางปีเปต

3.2.17 ขวดแก้ว

3.2.18 เครื่อง Rheometer, MCR 302, Anton Paar, Austria

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมผงโพน-แมท

เตรียมผงโพน-แมทจากโปรตีนจากพืช โดยมีส่วนผสมซึ่งได้แก่ ถั่วลูกไก่ชนิดผง โปรตีนถั่วเหลือง ไอโซเลท และแซนแทนกัม (ตารางที่ 3.1) จากนั้นนำไปตีผสมกับน้ำกรองปริมาตร 150 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นผสมแบบมือถือ ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 10 นาที วิเคราะห์ความหนาแน่นของโพนและปริมาตรการระบายของเหลว จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

จากนั้นนำผงโพน-แมทโปรตีนจากพืชที่อบแห้งแล้วมาบดด้วยเครื่องบดแห้งแบบ Pin mill ซึ่งจะได้เป็นผงขนาดไม่เกิน 250 ไมครอน เก็บตัวอย่างไว้ในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 การเตรียมโพน-แมทโปรตีนจากพืช

ตัวอย่าง	โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (กรัม)	ถั่วลูกไก่ชนิดผง (กรัม)	แซนแทนกัม (กรัม)
1	10.00	0.00	0.00
2	0.00	10.00	0.00
3	10.00	0.00	0.25
4	0.00	10.00	0.25
5	2.50	7.50	0.25
6	5.00	5.00	0.25
7	7.50	2.50	0.25
8	5.00	5.00	0.25

#### 3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของโพน-แมทก่อนการอบแห้ง

##### 3.3.2.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของโพน (Foam density)

ศึกษาความหนาแน่นของโพน โดยดำเนินการตามวิธีการของ Mine และ Nilgün (2020) โดยเริ่มจากนำโพนที่ได้บรรจุลงในกระบอกตวงที่ซึ่งน้ำหนักแล้ว จนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาความหนาแน่นของโพนจาก น้ำหนักของโพนต่อปริมาตรของโพน (กรัมต่อมิลลิลิตร) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาตรการระบายของเหลว (Drainage volume)

ศึกษาปริมาตรการระบายของเหลว โดยดำเนินการตามวิธีการของ Mine และ Nilgün (2020) โดยเริ่มจากนำโฟม-แมทที่ได้เตรียมมาเทลงในกระบอกตวงจนได้ปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร ปริมาตรของของเหลวที่ถูกระบายออกถูกวัดที่เป็นฟังก์ชันเทียบกับเวลา ทำการวัดค่าทุก 15 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และวัดต่อเนื่องทุกชั่วโมงจนครบ 3 ชั่วโมง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

### 3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของผงโฟม-แมทหลังการอบแห้ง

#### 3.3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของโฟม-แมทโปรตีนจากพืช

ทำการอบแห้งโฟม-แมทโปรตีนจากพืช จนครบ 6 ชั่วโมง จากนั้นวัดปริมาณความชื้น โดยใช้เครื่องหาความชื้นแบบหลอดฮาโลเจน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

#### 3.3.3.2 การวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้นและแอกทิวิตีของน้ำ (Water activity (aw))

นำตัวอย่างที่อบแห้งจนครบ 6 ชั่วโมงแล้ว ไปวัดค่า aw ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ บันทึกผลเป็นค่าเฉลี่ย

#### 3.3.3.3 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (Bulk density) และความหนาแน่นแบบเคาะ (Tapped density)

ศึกษาความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะ โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Mine และ Nilgün (2020) ขั้นตอนแรกซึ่งกระบอกตวงเปล่าปริมาตร 10 มิลลิลิตร และบันทึกน้ำหนัก จากนั้นชั่งผงโฟม-แมทโปรตีนจากพืชใส่ลงในกระบอกตวงปริมาตรเท่าๆ กัน และบันทึกน้ำหนัก หาคความหนาแน่นรวมตามสมการที่ (1) หลังจากนั้นนำกระบอกตวงนี้ไปเคาะด้วยมือ 50 ครั้ง สูงจากโต๊ะ 5 เซนติเมตร หาคความหนาแน่นแบบเคาะตามสมการที่ (2)

$$\text{ความหนาแน่นรวม(กรัมต่อมิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักผงโฟม-แมท(กรัม)}}{\text{ปริมาตรผงโฟม-แมท(มิลลิลิตร)}} \quad (1)$$

$$\text{ความหนาแน่นแบบเคาะ(กรัมต่อมิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักผงโฟม-แมท(กรัม)}}{\text{ปริมาตรผงโฟม-แมทสุดท้าย(มิลลิลิตร)}} \quad (2)$$

#### 3.3.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ศึกษาความสามารถในการละลาย โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Abbasi และ Azizpour (2016) เริ่มจากชั่งตัวอย่าง 0.4 กรัม เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร (อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส) (Zhang และคณะ, 2013) ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 10 นาที บล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปเข้าเครื่อง

centrifuge ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (30 องศาเซลเซียส) จากนั้นดูดส่วนใสขึ้นมา 4 มิลลิลิตร ใส่ในกระป๋องอะลูมิเนียมที่ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำกระป๋องอะลูมิเนียมที่อบแล้วไปชั่งน้ำหนัก โดยค่าความสามารถในการละลาย คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \times 100 \quad (3)$$

โดย V คือ ปริมาตรส่วนใสที่ดูดขึ้นมา (มิลลิลิตร)

$m_1$  คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมเปล่า (กรัม)

$m_2$  คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมหลังอบ (กรัม)

### 3.3.3.5 การวิเคราะห์ร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน (Sedimentation ratio)

การวิเคราะห์ร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน ดัดแปลงจากวิธีการของ Hazim และ Ummihan (2007) เริ่มจากการเตรียมตัวอย่างละลายในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (Zhang และคณะ, 2013) ให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยแต่ละตัวอย่างจะถูกเก็บในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง และถูกวัดความสูงของการแยกชั้นน้ำและชั้นตะกอนหลังจากครบ 6 ชั่วโมง โดยค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน} = \left( \frac{b}{a+b} \right) \times 100 \quad (4)$$

โดย a คือ ความสูงของชั้นน้ำ (เซนติเมตร)

b คือ ความสูงของชั้นตะกอน (เซนติเมตร)

### 3.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก

การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอาหารของผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก ถูกวัดเป็นค่าความหนืดของอาหารเหลว โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Sungsinchai และคณะ (2022) ขึ้นตอนแรกชั่งตัวอย่าง 2 กรัม เติมน้ำหรือนม 18 กรัม (อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส) (Zhang และคณะ, 2013) จะได้ความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ละลายให้เข้ากัน จากนั้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำไปวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Rheometer ร่วมกับหัววัดแบบขนาน (Parallel plate) ขนาด 50 มิลลิเมตร กำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นหัววัดขนานที่ 1 มิลลิเมตร อัตราเฉือน 1-1000 ต่อวินาที (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) นำกราฟที่ได้มาวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของตัวอย่างจากสมการที่ (5)

$$\eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (5)$$

โดย  $\eta_a$  คือ ความหนืดปรากฏ (มิลลิปาสคาลวินาที)  
 $K$  คือ ดัชนีความคงตัว (มิลลิปาสคาล วินาทีกำลังเอ็ด)

$\dot{\gamma}$  คือ อัตราเฉือน (ต่อวินาที)

$n$  คือ ดัชนีพฤติกรรมการไหล (ไม่มีหน่วย)

คำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที ( $\eta_{a,50}$ ) นำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ลักษณะความหนืดของอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก (ตารางที่ 2.1)

### 3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของโฟม ปริมาตรการระบายของเหลว ปริมาณความชื้น  $a_w$  ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะ ความสามารถในการละลาย ร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) รายงานเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ การทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) เพื่อระบุความมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดดำเนินการโดยใช้โปรแกรม SPSS® ซอฟต์แวร์เวอร์ชัน 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 สมบัติของโฟม-แมทโปรตีนจากพืชก่อนการอบแห้ง

##### 4.1.1 ความหนาแน่นของโฟม-แมทโปรตีนจากพืช (Foam density)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความหนาแน่นของโฟม-แมทโปรตีนจากพืชมีค่าอยู่ในช่วง 0.65-0.98 กรัมต่อมิลลิเมตร โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าความหนาแน่นของโฟมต่ำที่สุด (0.65 กรัมต่อมิลลิเมตร) ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากที่ว่าถูกเตรียมมาจากโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทเพียงอย่างเดียว ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทเป็นโปรตีนที่ประโยชน์เชิงหน้าที่ คือมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การจับกับน้ำ และการทำให้เกิดโฟม (นภวรรณ, 2548) เมื่อนำโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท ถั่วลูกไก่ และแซนแทนกัม ตามอัตราส่วนที่ออกแบบการทดลองไว้ มาตีปั่น จะทำให้มีอากาศแทรกเข้าไปในตัวสารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Anwika และคณะ, 2020) เกิดเป็นสารละลายที่มีความเป็นโฟมและเกิดรูพรุนในสารละลาย ทำให้สารละลายมีน้ำหนักเบา ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมน้อย (กมลวัลย์, 2565) การที่ความหนาแน่นของโฟมมีค่าน้อย จะส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งที่สูง และลดปริมาณความชื้นได้อย่างรวดเร็ว (พิรยา และคณะ, 2563) อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างที่ 7 มีค่าความหนาแน่นของโฟมสูงที่สุด (0.98 กรัมต่อมิลลิเมตร) อาจเนื่องมาจากตัวอย่างที่ 7 ถูกเตรียมมาจากโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทในปริมาณมาก ถั่วลูกไก่ชนิดผงในปริมาณน้อย เมื่อผสมกับแซนแทนกัมและนำไปตีปั่น ทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ รอบฟองอากาศในโครงสร้างของโฟม-แมท ส่งผลให้อากาศแทรกเข้าไปได้ในปริมาณน้อย (กมลวัลย์, 2565) ดังนั้นความหนาแน่นของโฟมจึงมาก

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นโฟมของโฟม-แมทที่เตรียมจากสภาวะต่างๆ ก่อนการอบแห้ง

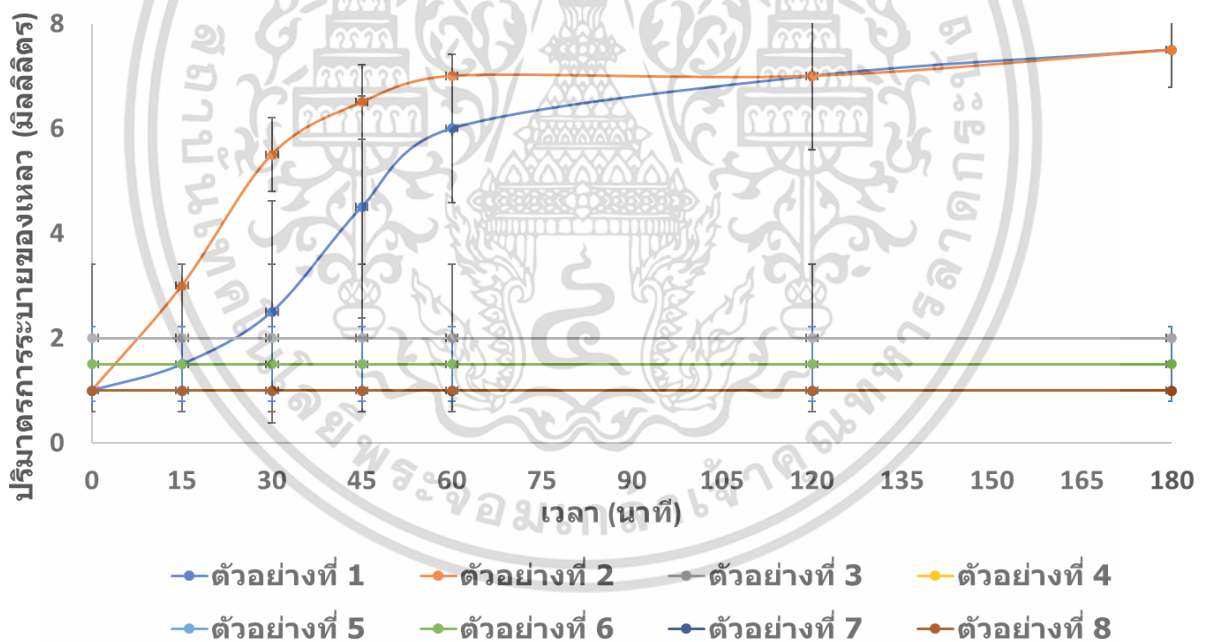
ตัวอย่างที่	ความหนาแน่นโฟม (กรัมต่อมิลลิเมตร)
1	$0.65 \pm 0.19^b$
2	$0.89 \pm 0.10^a$
3	$0.82 \pm 0.09^a$
4	$0.91 \pm 0.11^a$
5	$0.92 \pm 0.02^a$
6	$0.96 \pm 0.02^a$
7	$0.98 \pm 0.00^a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 8 วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น  $0.89 \pm 0.03^a$  ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
หมายเหตุ: อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ใช้

#### 4.1.2 ปริมาณการระบายของเหลวของโฟม-แมทโพรตีนจากพืช (Drainage volume)

จากการทดลอง พบว่าตัวอย่างที่ 2 ให้ค่าปริมาณการระบายของเหลวมากที่สุด และตัวอย่างที่ 1 ให้ค่าการระบายของเหลวรองลงมาในช่วง 120 นาทีแรก อย่างไรก็ตาม เมื่อครบ 180 นาที พบว่าทั้งตัวอย่าง 1 และ 2 ให้ค่าปริมาณการระบายของเหลวใกล้เคียงกัน คือ 7.5 มิลลิลิตร ขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ ให้ค่าปริมาณการระบายของเหลวอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิลิตร ตลอดระยะเวลาที่ทำการวัด โดยพบว่าตัวอย่างที่ 4 5 7 และ 8 มีปริมาณการระบายของเหลวน้อยที่สุดที่ 1 มิลลิลิตร ขณะที่ตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีปริมาณการระบายของเหลวมากที่สุดที่ 7.5 มิลลิลิตร ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.1

การที่ปริมาณการระบายของเหลวของตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ แสดงว่าตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีความคงตัวน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ (Mehdi และ Farhad, 2016) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ตัวอย่างที่ 1 เตรียมมาจากโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทเพียงอย่างเดียว และตัวอย่างที่ 2 เตรียมมาจากถั่วลูกไก่ชนิดผงเพียงอย่างเดียว ด้วยสมบัติของวัสดุดิบ จึงทำให้ตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีความคงตัวน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ (Nguyen และคณะ, 2022)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณการระบายของเหลวของโฟม-แมทก่อนการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 สมบัติของผงโพน-แมทหลังการอบแห้ง

### 4.2.1 ปริมาณความชื้นและ aw

จากการทดลอง พบว่าปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.12-3.96 โดยตัวอย่างที่ 7 มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 1.12 ขณะที่ตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณความชื้นมากที่สุดที่ร้อยละ 3.96 (ตารางที่ 4.2)

เมื่อพิจารณาค่า aw พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.29-0.49 และมีค่าน้อยกว่า 0.6 ซึ่งส่งผลให้จุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (พาขวัญ, 2558) จึงช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยตัวอย่างที่ 8 มี aw น้อยที่สุด (0.29) ขณะที่ตัวอย่างที่ 2 มี aw มากที่สุดที่ 0.49 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ค่าปริมาณความชื้นและ aw แต่ละตัวอย่างมีค่าที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากสมบัติการดูดซับน้ำของวัตถุดิบ อัตราส่วนของวัตถุดิบที่นำมาเตรียมโพน-แมท และสมบัติด้านการระเหยน้ำของโพน-แมท ซึ่งจากค่าที่ได้ก็บ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่าผงโพน-แมทโปรตีนจากพืชทุกตัวอย่างมีความแห้งสนิท อย่างไรก็ตามพบว่าแต่ละตัวอย่างมีปริมาณความชื้นและ aw ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นและ aw ของผงโพน-แมทหลังการอบแห้งที่ 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	aw
1	2.80 ± 2.65 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.24 <sup>a</sup>
2	3.96 ± 2.93 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>a</sup>
3	1.32 ± 0.64 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.22 <sup>a</sup>
4	2.27 ± 1.80 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.11 <sup>a</sup>
5	2.86 ± 1.45 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.18 <sup>a</sup>
6	1.71 ± 1.06 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.14 <sup>a</sup>
7	1.12 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.11 <sup>a</sup>
8	1.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.29 ± 0.04 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรเหมือนกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 4.2.2 ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะ

ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะแสดงถึงอัตราส่วนของน้ำหนักตัวอย่างที่รวมพื้นที่ว่างระหว่างอนุภาคต่อปริมาตรตัวอย่าง (Sabian และคณะ, 2007) จึงบ่งบอกถึงขนาดอนุภาคของแต่ละตัวอย่างได้ (Dorota และคณะ, 2021) จากการทดลอง พบว่าทั้งความหนาแน่นรวมและความหนาแน่น

แบบเคาะของแต่ละตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยตัวอย่างที่ 4 ให้ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะน้อยที่สุด คือ 0.84 และ 0.84 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวอย่างที่ 4 เตรียมมาจากถั่วลูกไก่ชนิดผงและแซนแทนกัม อย่างไรก็ตาม พบว่าตัวอย่างที่ 7 ให้ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะมากที่สุด คือ 1.53 และ 1.57 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.3** ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะของผงโพร-แมทหลังการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความหนาแน่นแบบเคาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)
1	1.18 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.10 <sup>a</sup>
2	1.15 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.25 ± 0.03 <sup>a</sup>
3	0.91 ± 0.43 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.47 <sup>a</sup>
4	0.84 ± 0.41 <sup>a</sup>	0.84 ± 0.32 <sup>a</sup>
5	1.23 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.32 ± 0.20 <sup>a</sup>
6	1.25 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.11 <sup>a</sup>
7	1.53 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.57 ± 0.20 <sup>a</sup>
8	0.92 ± 0.45 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.79 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.3 ความสามารถในการละลายและร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน

จากการทดลองในตารางที่ 4.4 พบว่าความสามารถในการละลายของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12-2.00 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่ 5 ให้ค่าความสามารถในการละลายน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.12 ขณะที่ตัวอย่างที่ 3 และ 7 ให้ค่าความสามารถในการละลายมากที่สุด คือ ร้อยละ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างที่ 3 และ 7 เตรียมมาจากโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทปริมาณมากและมีการเติมแซนแทนกัมระหว่างการเตรียม ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทมีสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี (ธนจันทร์ และคณะ, 2550) ซึ่งแสดงถึงการดูดซับน้ำที่ดี จึงบ่งบอกถึงความสามารถในการละลายน้ำที่สูง (Mine และ Nilgün, 2020) และแซนแทนกัมเองก็มีความสามารถในการละลายน้ำที่สูงเช่นกัน (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2549) ดังนั้นตัวอย่างที่ 3 และ 7 จึงให้ค่าความสามารถในการละลายมากที่สุด

เมื่อพิจารณาร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน พบว่าแต่ละตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่ 3 มีค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนน้อยที่สุด คือ 0.00 ขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนอยู่ระหว่างร้อยละ 26-92 โดยที่ตัวอย่างที่ 6 มีค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนมากที่สุด คือ 91.18 โดยร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนที่ต่างกันน่าจะมีผลมาจาก

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ความมีซัว ขนาดอนุภาค และชนิดของวัตถุดิบที่นำมาเตรียมตัวอย่าง และร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนนั้นมีความสัมพันธ์กับความคงตัว ดังนั้นตัวอย่างที่ร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนน้อยจึงบ่งบอกถึงความคงตัวมาก (Hasim และ Ummihan, 2007) ซึ่งถือเป็นตัวอย่างที่มีสมบัติที่ดี

เมื่อพิจารณาทั้งความสามารถในการละลายและร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน พบว่าตัวอย่างที่ 3 ที่มีส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทและแซนแทนกัม ให้ค่าความสามารถในการละลายสูง และมีร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนต่ำ (มีความเสถียรสูง) ดังนั้นตัวอย่างที่ 3 จึงถูกนำมาพิจารณาเพื่อเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก

**ตารางที่ 4.4** ความสามารถในการละลายและร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนของผงโพน-แมทหลังการอบแห้ง

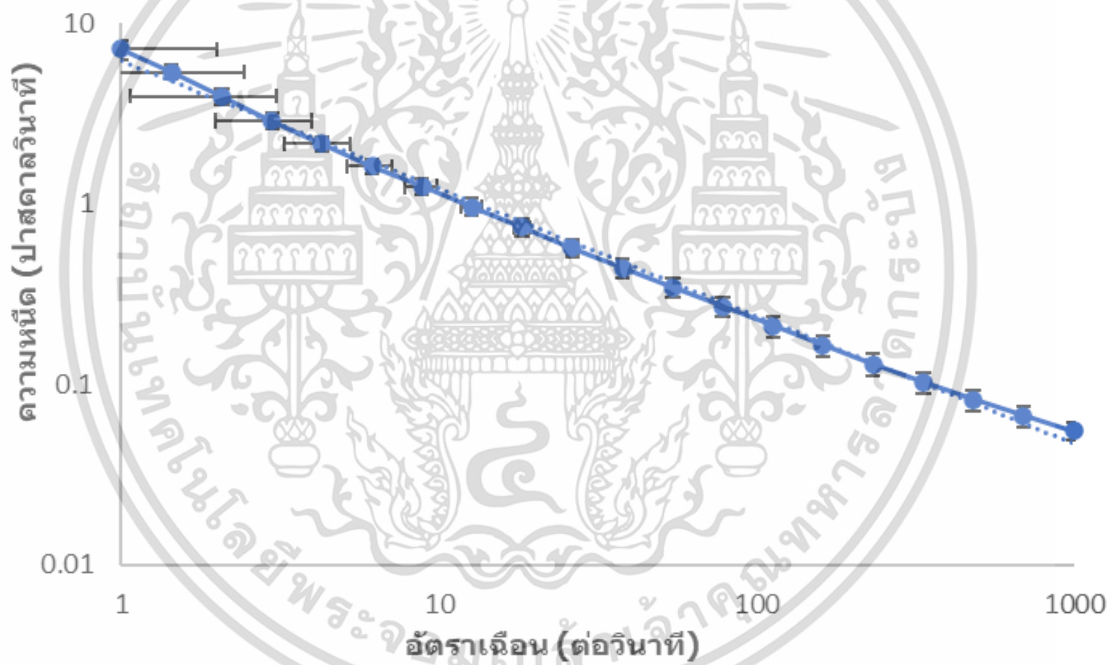
ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (ร้อยละ)	อัตราส่วนการตกตะกอน (ร้อยละ)
1	$1.63 \pm 0.53^{ab}$	$51.47 \pm 2.08^d$
2	$0.50 \pm 0.35^{cd}$	$26.91 \pm 0.84^f$
3	$2.00 \pm 0.00^a$	$0.00 \pm 0.00^g$
4	$0.88 \pm 0.18^{bc}$	$56.16 \pm 0.85^c$
5	$0.12 \pm 0.18^d$	$88.24 \pm 0.00^b$
6	$1.50 \pm 0.35^{ab}$	$91.18 \pm 0.00^a$
7	$2.00 \pm 0.35^a$	$89.71 \pm 2.08^{ab}$
8	$1.37 \pm 0.18^{ab}$	$35.21 \pm 0.11^e$

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ความสามารถในการเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก

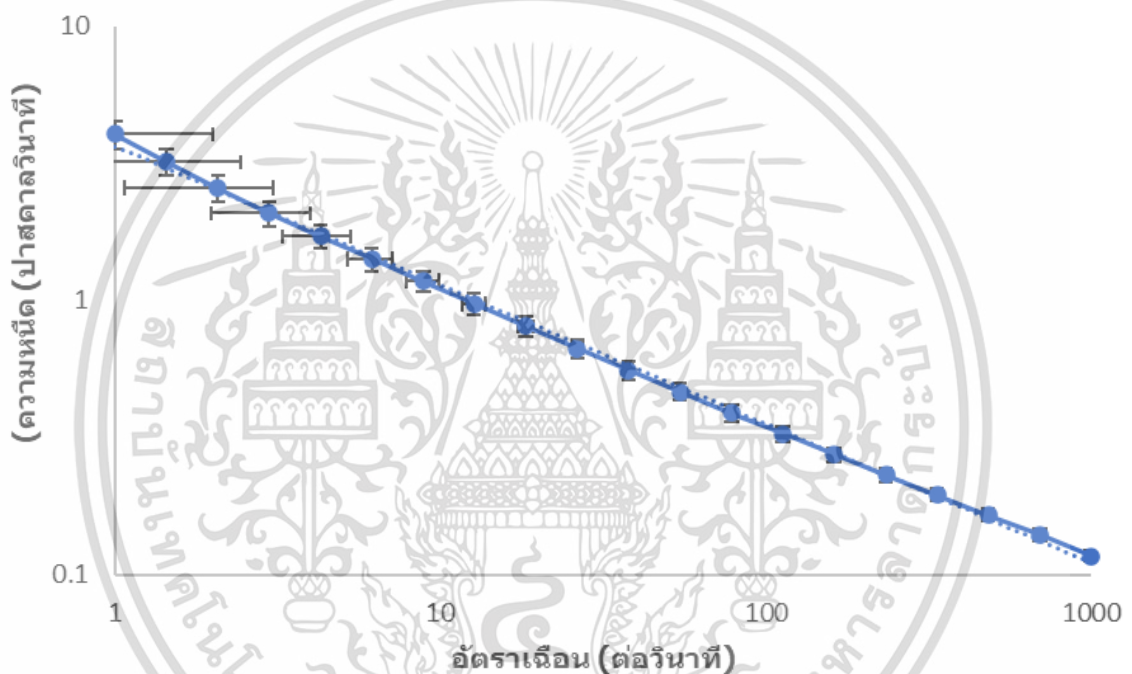
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของน้ำที่ได้จากการเติมผงโพน-แมทโปรตีนจากพืช (ภาพที่ 4.2) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน ความหนืดมีค่าลดลง แสดงว่าอาหารเหลวที่ได้มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic หรือ Shear thinning (สายัณห์ และวิรัตน์, 2549) จากนั้นเมื่อนำมาเทียบกับสมการ power law (สมการที่ 5) พบว่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.39 ปาสคาลวินาที (390 มิลลิปาสคาลวินาที) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของผู้มีภาวะกลืนลำบาก (ตารางที่ 2.1) ให้ลักษณะอาหารคล้ายน้ำผึ้ง (Honey-like) จะเห็นได้ว่าเมื่อนำผงโพน-แมทจากพืชมาเติมในน้ำที่มีความหนืดเริ่มต้น 0.86 มิลลิปาสคาลวินาที (Sungsinchai และคณะ, 2021) สามารถเพิ่มความหนืดได้



ภาพที่ 4.2 ความหนืดของน้ำที่ได้จากการเติมผงโพน-แมทโปรตีนจากพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของนมที่ได้จากการเติมผงโพน-แมทโปรตีนจากพืช (ภาพที่ 4.3) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน ความหนืดจะมีค่าลดลง แสดงว่าอาหารเหลวที่ได้มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic หรือ Shear thinning (สายันท์และวิรัตน์, 2549) จากนั้นเมื่อนำมาเทียบกับสมการ power law (สมการที่ 5) พบว่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.5 ปาสคาลวินาที (500 มิลลิปาสคาลวินาที) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของผู้มีภาวะกลืนลำบาก (ตารางที่ 2.1) ให้ลักษณะอาหารคล้ายน้ำผึ้ง (Honey-like) จะเห็นได้ว่าเมื่อนำผงโพน-แมทจากพืชมาเติมในนมที่มีความหนืดเริ่มต้น 0.93 มิลลิปาสคาลวินาที (Sungsinchai และคณะ, 2021) สามารถเพิ่มความหนืดได้



ภาพที่ 4.3 ความหนืดของนมที่ได้จากการเติมผงโพน-แมทโปรตีนจากพืช

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืด และลักษณะความหนืดของอาหารเหลวที่ได้จากการผสมผงโพน-แมทโปรตีนจากพืชลงในน้ำและนม

ตัวอย่าง	$\eta_{a,50}$ (ปาสคาลวินาที)	ลักษณะความหนืด
ผงโพน-แมทในน้ำ	$0.39 \pm 0.05$	Honey
ผงโพน-แมทในนม	$0.50 \pm 0.04$	Honey

หมายเหตุ : วัดที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการวิเคราะห์สมบัติของโพน-แมทก่อนการอบแห้ง เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของโพน พบว่าตัวอย่างที่ 1 มีค่าความหนาแน่นของโพนต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ 7 มีค่าความหนาแน่นของโพนสูงที่สุด ขณะที่ปริมาตรการระบายของเหลว เมื่อเวลาผ่านไป พบว่าตัวอย่างที่ 1 และ 2 ค่าปริมาตรการระบายของเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ที่มีค่าปริมาตรการระบายของเหลวคงที่ในช่วง 1-2 มิลลิลิตร

จากการวิเคราะห์สมบัติของผงโพน-แมทหลังการอบแห้ง พบว่าค่าปริมาณความชื้น ค่า aw ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแบบเคาะ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างที่ 3 ที่เตรียมมาจากโปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลทและแซนแทนกัม มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก เนื่องจากมีค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด และมีค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอนน้อยที่สุด โดยพบว่าน้ำและนมที่เติมผงโพน-แมทให้พฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic fluid ที่มีความหนืดเท่ากับ 0.39 และ 0.50 ปาสคาลวินาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงลักษณะของอาหารเหลวข้นหนืดคล้ายน้ำผึ้ง (Honey-like) ดังนั้นการผลิตผงโพน-แมทโปรตีนจากพืชจึงสามารถนำมาเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบากได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ถ้าให้ดี ควรทำการทดลองหลายๆ ซ้ำเพื่อช่วยให้ผลการทดลองออกมาถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

5.2.2 การทำการทดลองแต่ละซ้ำควรควบคุมวัตถุดิบ อุปกรณ์ และสภาพแวดล้อม ให้เหมือนกัน เพื่อให้ผลการทดลองออกมาถูกต้องตามที่ควรจะเป็น และสอดคล้องกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## บรรณานุกรม

- กมลวัลย์ แดงมาต. 2565. อิทธิพลการทำแห้งโดยใช้เทคนิคโฟมแมทต่อคุณสมบัติมะเขือเทศผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยศิลปากร. บัณฑิตวิทยาลัย.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2561. Xanthan gum อุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอ้อยและน้ำตาล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/10140-7072.pdf>.
- เหมิสรา ชีวพฤษ และนิพัฒน์ ลิ้มสงวน. 2565. ผลผลิตกัมมิโปรตีนจากพืช แนวโน้มในการบริโภคยุคปัจจุบัน. อาหาร. 52(2): 5-15.
- จันทร์เชิดฉาย สังเกตกิจ, พัชราภรณ์ แสงโยจารย์ และภูวิพัฒน์ เกียรติสาครเศศ. 2562. การผลิตน้ำยาล้างผงด้วยการทำแห้งแบบโฟมแมท. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. วิทยาเขตสุรินทร์.
- ดวงกมล จันทร์เนตร. 2566. ถั่วลูกไก่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://hellokhunmor.com/โภชนาการเพื่อสุขภาพ/ข้อมูลโภชนาการ/ประโยชน์จากถั่วลูกไก่>.
- ทัชชา ทรัพย์มีชัย. 2565. Plant-Based Protein โปรตีนทางเลือกใหม่ของคนรักสุขภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://petromat.org/home/plant-based-protein>.
- ธนจันทร์ มหาวนิช, ประสิทธิ์ศักดิ์ สมบูรณ์ศักดิ์ และศุภชาญ ตั้งวิริยศิริกุล. 2550. ผลของชนิดและความเข้มข้นของเกลือที่มีต่อสมบัติของเจลชอยโปรตีนไอโซเลท. วารสารอาหาร. 37(2): 191-199.
- นภวรรณ ทองพันธ์. 2548. การพัฒนาบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล. บัณฑิตวิทยาลัย.
- ปิยะภัทร เดชพระธรรม. 2556. ปัญหาการกลืนในผู้สูงอายุ (Dysphagia in Elderly). เวชศาสตร์พื้นฟูสาร. 23(3): 73-80.
- พอกุทัย ช้างบุญมี. 2556. อิทธิพลของกระบวนการอบและการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันต่อคุณภาพของถั่วเหลืองเริ่มงอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พัชรวีร์ ทันละกิจ และณัฐติยา สุคนธนิษฐ์. 2562. อาหารฝึกกลืน. ฝ่ายโภชนาการ. โรงพยาบาลรามาริบัติ.
- พาขวัญ ทองรักษ์. 2558. การพัฒนากระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ปลาแห้ง เสริมกรอบยุทธศาสตร์ การจัดการด้านอาหารของประเทศ. งบประมาณกองทุนส่งเสริมการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2558. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. Xanthan gum. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1112/xanthan-gum>.

- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์. 2560. Foam-mat drying. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3243/foam-mat-drying>
- พีรยา โชติถนอม, มนัญยา นันทสาร, ศรินทร สุวรรณรงค์, เกษสุณีย์ ฉ่อยกลาง, กัณทริกา เหมทานนท์, วนิดา ชื่นตา และศรีนวล จันทไทย. 2563. การผลิตมันแกวผงโดยการอบแห้งแบบโฟมแมต: สมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 38 (2): 245-253.
- โรงพยาบาลเพชรเวช. 2565. ภาวะกลืนลำบากจากความบกพร่องของระบบประสาท. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [https://www.petcharavejhospital.com/th/Article/article\\_detail/Dysphagia-from-Nervous-system-Disorders](https://www.petcharavejhospital.com/th/Article/article_detail/Dysphagia-from-Nervous-system-Disorders).
- วารสารณ์ ประเสริฐ. 2556. เทคนิคการอบแห้งแบบโฟม-แมท. อาหาร. 43(3): 24.
- ศรัณย์ ตันตะราวงศา, ณชพล บุญประคอง, ลลิตา สุขสุดประเสริฐ, วรากร ธรรมสุทธิ, ฐกร จันทะดี และธวัชชัย แพชมัด. 2564. โฟมทางเครื่องสำอางและการประยุกต์ใช้. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ. 16(3): 285-293.
- สัมพันธ์ ตาติวงศ์, วีรพันธ์ กันแก้ว, วิมล บันสุภา, ประเสริฐ อินทรา, ณรงค์ จันทร์โลหิต, กฤษณา สุเมธะ และธมลวรรณ เนื่องกันทา. 2558. โครงการย่อยที่ 2 การศึกษาวิธีการจัดการศัตรูพืชในถั่วลูกไก่. ชุดโครงการวิจัยเชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพการผลิตของพืชไร่บนพื้นที่สูง. แผนการวิจัยสนับสนุนการเสริมสร้างประสิทธิภาพการผลิตและการตลาด.
- สายันท์ สุขพงษ์พันธ์ และวีรัตน์ ปฐมชัยอัมพร. 2549. ความหนืดคุณลักษณะเฉพาะของของไหล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [https://www.dss.go.th/images/st-article/pep\\_9\\_2549\\_viscosity.pdf](https://www.dss.go.th/images/st-article/pep_9_2549_viscosity.pdf).
- อมรรัตน์ จักรชัย และพิชชาพร ฉันทวิทย์. 2563. ผลของแชนแทนกัมต่อคุณภาพของซูปฟักทองผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ. คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อริสรา โพธิ์สนาม, ชนินทร์ น้อยอามาตย์ และศิริพร แก้วสอาด. 2554. คุณภาพของเม้าผงขละลายที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งโฟม-แมท. การประชุมวิชาการ “การพัฒนาดอกตชนบทไทย : ฐานรากที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน”. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Abbasi, E. and Azizpour, M. 2016. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. LWT - Food Science and Technology. 68: 105-110.
- Aslan, M. and Ertaş, N. 2020. Foam drying of aquafaba: Optimization with mixture design. J Food Process Preserv. 45:1-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Creperiesgourmandes. 2022. ไอโซเลทของโปรตีน คืออะไร ทำไมได้รับความนิยมกว่าโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://creperiesgourmandes.com/ไอโซเลทของโปรตีน-คืออะไร>.

Djuardi, A. U. P., Yuliana, N. D., Ogawa, M., Akazawa, T. and Suhartono, M. T. 2020. Emulsifying properties and antioxidant activity of soy protein isolate conjugated with tea polyphenol extracts. *Journal of Food Science and Technology*. 57(10): 3591-3600.

Dukarska, D., Rogozinski, T., Antov, P., Kristak, L. and Kmiecik, J. 2021. Characterisation of Wood Particles Used in the Particleboard Production as a Function of Their Moisture Content. *Materials (Basel)*. 15(1): 48.

Falade, K. O. and Adeniyi, O. G. 2021. Instant soups from cowpea varieties using foam-mat drying. *LWT*. 151:1-8.

IEnergyGuru. 2015. Drying: การอบแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://ienergyguru.com/2015/09/drying>.

Langyan, S., Yadava, P., Khan, F. N., Dar, Z. A., Singh, R. and Kumar, A. 2022. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Frontiers in Nutrition*. 8:1-20.

Lee, L. 2022. Introduction of soy protein isolate. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/introduction-soy-protein-isolate-lucy-lee>.

Levy, J. 2021. Chickpea Flour-Versatile, Gluten-Free & High-Protein. [Online]. Available: <https://draxe.com/nutrition/chickpea-flour>.

Lopes, B.D.M., Lessa, V.L., Silva, B.M., Filho, M.A.D.S.C., Schnitzler, E. and Lacerda, L.G. 2015. Xanthan gum: Properties, production conditions, quality, and economic perspective. *Journal of Food and Nutrition Research*. 54(3):185-194.

Man, S., Paucean, A., Muste, S. and Pop, A. 2015. Effect of the Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flour Addition on Physicochemical Properties of Wheat Bread. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Food Science and Technology*. 72(1): 41-49.

National Dysphagia Diet Task Force. 2002. National Dysphagia Diet: Standardization for Optimum Care. Chicago: America Dietetic Association.

Richard, L. 2023. The 15 Best Plant-Based Protein Sources for Vegans. [Online]. Available: <https://plantbasednews.org/your-health/health-wellbeing/which-plant-based-foods-are-high-in-protein>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Schröder, K., Schmid, K. and Löbenberg, R. 2007. Influence of bulk and tapped density on the determination of the thermal conductivity of powders and blends. *AAPS PharmSciTech* 2007. 8(3): E78.
- Soto-Madrid, D., Pérez, N., Gutiérrez-Cutiño, M., Matiacevich, S. and Zúñiga, R.N. 2022. Structural and Physicochemical Characterization of Extracted Proteins Fractions from Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as a Potential Food Ingredient to Replace Ovalbumin in Foams and Emulsions. *Polymers* 2023. 15(1):110.
- Stone Church Arts. 2022. isolated soy protein ประโยชน์มีอะไร ดีไหม ทำไมต้องโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://stonechurcharts.org/isolated-soy-protein-ประโยชน์มีอะไร-ดีไหม>.
- Sungsinchai, S. 2021. PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF NANOCELLULOSE AND ITS APPLICATIONS AS FOOD THICKENER AND EMULSIFIER. Doctor of Philosophy (Chemical Engineering) degree. Chemical Engineering. Kasetsart University.
- Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Wattanapan, P., Charoenchaitrakool, M. and Devahastin, S. 2022. Spray drying of non-chemically prepared nanofibrillated cellulose: Improving water redispersibility of the dried product. *International Journal of Biological Macromolecules*. 207: 434-442.
- Tamhankar, S. 2019. Food Thickeners Market by Type, Source, and Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2017-2023. Allied Market Research.
- Thuy, N. M., Tien, V. Q., Tuyen, N. N., Giau, T. N., Minh, V. Q. and Tai, N.V. 2022. Optimization of Mulberry Extract Foam-Mat Drying Process Parameters. *Molecules* 2022. 27(23): 8570.
- Yilmaz, H. and Yilmaz, U. 2007. ELECTORRHEOLOGICAL PROPERTIES OF TALC POWDER/SILICONE OIL SUSPENSIONS UNDER DC FIELDS. *Chinese Journal of Polymer Science*. 25(3): 245-252.
- Zhang, J., Yao, Y., Ye, X., Fang, Z., Chen, J., Wu, D. Liu, D. and Hu, Y. 2013. Effect of cooking temperatures on protein hydrolysates and sensory quality in crucian carp (*Carassius auratus*) soup. *Journal of Food Science and Technology*. 50(3): 542-548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ภาพที่เข้าไปทำแลป

#### ก.1 การชั่งสาร



ภาพที่ ก.1 การชั่งสาร

#### ก.2 การเตรียมโพลี-เมท



ภาพที่ ก.2 การเตรียมโพลี-เมท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 การวิเคราะห์ค่าต่างๆของโพน-แมทก่อนการอบแห้ง



ภาพที่ ก.3 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของโพน-แมทก่อนการอบแห้ง



ภาพที่ ก.4 การวิเคราะห์ค่าปริมาตรการระบายของเหลวของโพน-แมทก่อนการอบแห้ง

### ก.4 การนำเข้าอบในตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dryer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งที่ ไม่มีเหตุใดแต่สิ่งนี้เอง และต้องอยู่ ภายใต้งานของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.5 การนำเข้าอบในตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

### ก.5 การบดด้วยเครื่องบดแห้ง (Pin mill)



ภาพที่ ก.6 การบดด้วยเครื่องบดแห้ง (Pin mill)

### ก.6 การวิเคราะห์ค่าต่างๆของผงโพลี-เมทหลังการอบแห้ง



ภาพที่ ก.7 การวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (Moisture content) ของผงโพลี-เมทหลังการอบแห้ง



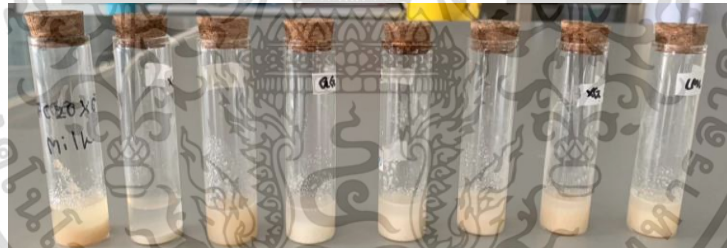
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ก.8 การวิเคราะห์ค่า aw (Water activity) ของผงโพลี-เมทหลังการอบแห้ง มีด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.9 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) และความหนาแน่นแบบเคาะ (Tapped density) ของผงโพลี-แมทหลังการอบแห้ง



ภาพที่ ก.10 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) ของผงโพลี-แมทหลังการอบแห้ง



ภาพที่ ก.11 การวิเคราะห์ค่าร้อยละอัตราส่วนการตกตะกอน (Sedimentation ratio) ของผงโพลี-แมทหลังการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	กษิติศ กุฎีศรี
วัน เดือน ปี เกิด	5 มกราคม พ.ศ.2544
ประวัติการศึกษา	-สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2 เมื่อปีการศึกษา 2558 -สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2 เมื่อปีการศึกษา 2561 -เข้าศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตที่คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี 2562
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	-ฝึกงานฝ่ายผลิตและฝ่ายประกันคุณภาพที่บริษัท อีร์ภัทร ฟู้ดส์ จำกัด เมื่อปีการศึกษา 2564 -เป็นสมาชิกสโมสรนักศึกษา คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2562
รางวัลที่เคยได้รับ	ไม่มี
ชื่อ-นามสกุล	ภานุวัฒน์ สุนนະกุล
วัน เดือน ปี เกิด	3 เมษายน พ.ศ.2544
ประวัติการศึกษา	-สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนกุหลาบวิทยา เมื่อปีการศึกษา 2558 -สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนกุหลาบวิทยา เมื่อปีการศึกษา 2561 -เข้าศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตที่คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี 2562
ประสบการณ์การทำงาน และผลงานวิจัย	ฝึกงานฝ่ายผลิตและฝ่ายประกันคุณภาพที่บริษัท อีร์ภัทร ฟู้ดส์ จำกัด เมื่อปีการศึกษา 2564
รางวัลที่เคยได้รับ	ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้