

การผลิตกุ้งผงโดยใช้การอบแห้งแบบโฟม-แมทสำหรับอาหารผู้มีภาวะ
กลืนลำบาก

PRODUCTION OF SHRIMP POWDER USING FOAM-MAT DRYING
FOR DYSPHAGIA DIET



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2566



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การผลิตกุ้งผงโดยใช้การอบแห้งแบบโฟม-แมทสำหรับอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก
PRODUCTION OF SHRIMP POWDER USING FOAM-MAT DRYING FOR
DYSPHAGIA DIET

จัดทำโดย

ทาเคชิ ตลาดเงิน รหัสนักศึกษา 62080187

บรรหาร แซ่ไคว้ รหัสนักศึกษา 62080197

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

27 / พฤษภาคม / 2566

(ดร. ศิรดา สังสินชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การผลิตกึ่งผงโดยใช้การอบแห้งแบบโพร-แมทสำหรับอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก
ชื่อนักศึกษา	ทาเคชิ ตลาดเงิน รหัสนักศึกษา 62080187
	บรรหาร แซ่ไคว้ รหัสนักศึกษา 62080197
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ศิรดา สังสินชัย

บทคัดย่อ

ภาวะกลืนลำบาก เป็นอาการของผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการกลืนอาหาร ทำให้เกิดภาวะทุพโภชนาการ ด้วยเหตุนี้อาหารที่มีส่วนประกอบของโปรตีนจากกุ้งขาวจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารให้ผู้มีภาวะกลืนลำบากได้ ดังนั้นปัญหาพิเศษฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารทำให้เกิดโฟมได้แก่ แซนแทนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 0 0.05 0.10 0.20 และ 0.30 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่มีผลต่อการเกิดโฟมและสมบัติของผงโพร-แมทจากกุ้ง และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงโพร-แมทจากกุ้งต่อการเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก โดยนำตัวอย่างโพร-แมทจากกุ้งที่เตรียมจากสภาวะต่างๆ ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น ค่าแอดอร์เอดคทีวิตี (a_w) ค่า Bulk และ Tapped density หมู่ฟังก์ชัน ค่าความสามารถในการละลาย ค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน และความสามารถในการเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นของโพร-แมทต่ำที่สุดคือตัวอย่าง S3 (0.6 กรัมต่อมิลลิเมตร) ขณะที่ค่าการระบายน้ำของโพร-แมท ค่าปริมาณความชื้น a_w ค่า Bulk และค่า Tapped density ค่าความสามารถในการละลาย และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน ของตัวอย่างที่ใส่สารที่ทำให้โพร-แมทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่าง S5 ให้ค่าการละลายมากที่สุด และมีค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใส่สารที่ทำให้เกิดโฟมอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผล FTIR ของหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในโพร-แมทจากกุ้ง เมื่อนำตัวอย่าง S5 ไปวิเคราะห์ความหนืดพบว่ามีความหนืด 17,420 mPa·s ให้ลักษณะของอาหารเหลวข้นหนืดคล้ายพุดดิ้ง ดังนั้นการผลิตผงโพร-แมทจากกุ้งสภาวะที่เหมาะสมก็คือใช้อัตราส่วนของ XG CMC และ GG เท่ากับ 0.0833 0.0833 และ 0.3333 ตามลำดับ มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก

คำคํ้า: ความสามารถในการละลาย ความหนืด อัตราส่วนของการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Production of shrimp powder using foam-mat drying for dysphagia diet
Student name	Tarkeshi Talardngone Student ID 62080187 Bunharn Saekho Student ID 62080197
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology
Year	2023
AdviSor	Dr. Sirada Sungsinchai

ABSTRACT

Dysphagia is a symptom of patients with swallowing disorders, which cause malnutrition. For this reason, food that contains protein from white shrimp is important to increase nutritional intake for people with dysphagia. Therefore, the objectives of this work were to study the influence of foaming agents, namely xanthan gum, carboxymethyl cellulose and guar gum at concentrations of 0, 0.05, 0.10, 0.20 and 0.30 (w/w) on foam formation and properties of foam-mat dried shrimp powder, and to determine the optimum conditions for foam-mat dried shrimp powder production as a dysphagia diet. Foam-mat samples from shrimp prepared under different conditions were dried at 70 °C for 4 h. After that, moisture content, water activity (a_w), bulk and tapped density, functional group, solubility, sedimentation ratio and the ability as dysphagia diet were investigated. It was found that the lowest foam density was sample S3 (0.6 g/ml), while drainage volume of foam, moisture content, a_w , bulk and tapped density, solubility and sedimentation ratio of the samples that contained foaming agent were not significantly different ($p > 0.05$). However, it was observed that sample S5 exhibited the highest solubility, and the lowest sedimentation ratio compared to the samples that contained other foaming agents. This result corresponded to functional groups of foam-mat dried shrimp powder from FTIR spectra. The viscosity of thickened liquid food prepared from sample S5 was 17,420 mPa·s with pudding-like consistency. Therefore, the optimum conditions for production of foam-mat dried shrimp powder at the ratio of XG, CMC and GG were 0.0833, 0.0833 and 0.3333, respectively, and it is possible to produce as a diet for dysphagia patients.

Keyword: Sedimentation ratio, Solubility, Viscosity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ดร.ศิรดา สังสินชัย อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์คณะอุตสาหกรรมอาหาร หลักสูตรวิทยาลัยเกษตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ที่ได้สละเวลาที่มีมาให้คำปรึกษา และสั่งสอน แนะนำ ตรวจสอบ ตลอดไปจนถึงการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่ผู้วิจัยไม่เข้าใจ เพื่อให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณความกรุณาของท่านคณาจารย์ในคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ช่วยอบรม สั่งสอน และให้ความรู้ที่อันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย จนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามที่คาดหวัง

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและนักวิทยาศาสตร์ประจำคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยสอนและให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ และอำนวยความสะดวกเรื่องในการเบิก-คืนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยปัญหาพิเศษในครั้งนี้ นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือในการทดลอง เป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษาตลอดการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ รวมถึงขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจและมอบโอกาสในการได้ศึกษาเล่าเรียนที่คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้หวังว่าปัญหาพิเศษฉบับนี้จะมีส่วนเป็นประโยชน์สำหรับผู้อื่น ผู้วิจัยขอน้อมรับและยินดีรับฟังข้อเสนอแนะและความติเตียนของท่านเพื่อนำไปพัฒนาต่อไป

ทาเคชิ ตลาดเงิน

บรรหาร แซ่ไคว่

27 พฤษภาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
สารบัญคำย่อ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กุ้งขาว (Pacific white shrimp)	3
2.2 สารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent)	5
2.3 วิธีการอบแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat drying)	8
2.4 กระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแบบถาด	9
2.5 ผู้ป่วยภาวะกลืนลำบาก (Dysphagia)	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	12
3.2 อุปกรณ์	12
3.3 การวางแผนการทดลอง	13
3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	17
4.1 ค่าความหนาแน่นของโฟม (foam density) และค่าการระบายน้ำ (drainage volume) ของโฟม	17
4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) และวอเตอร์แอกทิวิตี (Water Activity (aw))	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	ผลของ Bulk density และ Tap density ของผงโพน-แมทจากกึ่ง	19
4.4	ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน (Sedimentation ratio) ของผงโพน-แมทจากกึ่ง	20
4.5	หมู่ฟังก์ชัน	21
4.6	ความสามารถในการเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบากของผงโพน-แมทจากกึ่ง	23
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	25
5.1	สรุปผล	25
5.2	ข้อเสนอแนะ	25
บรรณานุกรม		27
ภาคผนวก		32
ภาคผนวก ก		33
ภาคผนวก ข		35
ภาคผนวก ค		39
ประวัติผู้เขียน		42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง	4
2.2	ช่วงความหนืดสำหรับอาหารเหลวชั้นที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที (25 องศาเซลเซียส)	10
3.1	ส่วนประกอบในการเตรียมตัวอย่างโฟม-แมทจากกุ้ง	13
4.1	ค่าความหนาแน่นของโฟม และค่าการระบายน้ำของโฟม-แมทจากกุ้ง	18
4.2	ค่าปริมาณความชื้น และค่า a_w ของแต่ละตัวอย่างหลังอบแห้ง 4 ชั่วโมง	19
4.3	ค่า Bulk density และ Tap density ของผงโฟม-แมทจากกุ้ง	20
4.4	ค่าความสามารถในการละลาย และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน ของผงโฟม-แมทจากกุ้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร)	21
4.5	ค่าความหนืดและลักษณะของอาหารเหลวชั้นหนืดที่เตรียมจากผงโฟม-แมทจากกุ้ง	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้าที่
2.1	โครงสร้างโปรตีนระดับ primary secondary tertiary และ quaternary	4
2.2	ลักษณะโครงสร้างของแซนแทนกัม	5
2.3	โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	6
2.4	ลักษณะโครงสร้างของกัวร์กัม	7
2.5	หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาด	9
4.1	สเปกตรัมของกึ่ง	23
4.2	สเปกตรัมชนิดของสารที่ทำให้เกิดโฟม	23
4.3	สเปกตรัมชนิดของตัวอย่างโฟม-แมท	24
4.4	กราฟความหนืดของน้ำที่เตรียมจากผงโฟม-แมทจากกึ่ง	25
ข.1	เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Eppendorf รุ่น 5804R)	35
ข.2	เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี้ (Water Activity (aw) AQUA LAB รุ่น 4TE)	36
ข.3	เครื่องวัดค่าปริมาณความชื้น (Moisture Halogen Mettler: Toledo รุ่น HX204)	37
ข.4	เครื่องบดแบบแห้ง Pin mil (Retsch grinder รุ่น ZM1000)	38
ค.1	ภาพขณะปั่นกึ่งให้เป็น puree	39
ค.2	ภาพขณะตีปั่นส่วนผสมให้เป็นโฟม	39
ค.3	ภาพขณะอบแห้งของโฟม-แมทจากกึ่ง	40
ค.4	ภาพตัวอย่างของผงโฟม-แมทจากกึ่งหลังนำไปบดแล้ว	40
ค.5	ภาพตัวอย่างของการวัดค่า Foam density และ Drainage volume	40
ค.6	ภาพตัวอย่างของการวัดอัตราส่วนของการตกตะกอน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญคำย่อ

FTIR	=	Fourier-transform infrared spectroscopy
GG	=	กั้วร์กัม
XG	=	แซนแทนกัม
CMC	=	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
mPa·s	=	Millipascal second
K	=	ดัชนีคงตัว
η_a	=	ความหนืดปรากฏ
cm ⁻¹	=	ต่อเซนติเมตร
a _w	=	วอเตอร์แอกทีวิตี้
$\dot{\gamma}$	=	Shear rate
n	=	Flow behavior index
s ⁻¹	=	ต่อวินาที
S	=	ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาวะกลืนลำบาก (Dysphagia) เป็นอาการของผู้ป่วยที่มีความผิดปกติในการกลืนอาหาร คือต้องใช้ เวลา และความพยายามมากขึ้นในการเคลื่อนอาหารจากปากไปสู่กระเพาะอาหาร (Spieker, 2000) ซึ่งภาวะ กลืนลำบากนี้สามารถพบได้ทุกวัย แต่จะพบมากที่สุดในผู้สูงอายุ โดยที่ผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบากนี้มีสาเหตุมา จากอาหารหรือโรคทางระบบประสาทและสมอง อาทิ โรคหลอดเลือดสมอง เนื้องอก พาร์กินสัน เป็นต้น (ศิริรัตน์, 2562) หรือผู้ป่วยที่มีปัญหาทางด้านทางเดินอาหาร ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด เช่นการผ่าตัดเอากล่อง เสียงออก และผู้ป่วยที่มีภาวะโรคต่างๆ (Rinaldi และคณะ, 2023) ในกรณีนี้ การเกิดภาวะกลืนลำบากอาจจะทำให้มีผลที่เป็นอันตรายตามมา เช่น การสำลัก ปอดอักเสบจากการสำลัก และถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Liu และคณะ, 2023)

การทำให้อาหารเหลวมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก ทำให้เกิดการรับประทานอาหารได้อย่างปลอดภัย สามารถป้องกันการสำลักอาหารของผู้ป่วย และช่วยเพิ่ม สารอาหารมากขึ้น (พรสวรรค์ และคณะ, 2560) การเพิ่มความข้นหนืดให้กับอาหารเหลว ในปัจจุบันใช้สารเพิ่ม ความข้นหนืดได้แก่ สตาร์ช (starch) สตาร์ชดัดแปร (modified starch) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose (CMC)) โลคัสต์บีนกันัม (locust bean gum) คาร์ราจีแนน (carrageenan) กลูโคแมน แนน (glucomannan) เพกทิน (pectin) แซนแทนกันัม (xanthan gum) และแอลจีเนต (alginate) (พิมพ์เพ็ญ, 2553) อย่างไรก็ตามสารเพิ่มความข้นหนืดชั้นเหล่านี้ไม่ได้มีส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนหรือพอลิเพปไทด์ (สุวรรณี, 2552) ในงานวิจัยได้นำกั๋งขาวมาผสมเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก เนื่องจากกั๋ง ขาวมีคุณค่าทางโภชนาการ และมีปริมาณโปรตีนที่สูง (Adeyeye และ Aremu, 2016)

ในการผลิตอาหารจากกั๋งขาวจะถูกทำให้มีลักษณะเป็นอาหารเหลว ดังนั้นเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน และการเก็บรักษา จึงต้องมีการกำจัดน้ำออกด้วยวิธีการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งอาหารโดยทั่วไปจะใช้วิธีการ อบแห้งแบบลูกกลิ้ง แบบพ่นฝอย แบบแช่เยือกแข็ง และแบบโฟม-แมท เป็นต้น อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบ โฟม-แมท มีราคาที่ถูกกว่า ผลิตได้ปริมาณมากกว่า อบแห้งได้รวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า ใช้พื้นที่จัดเก็บน้อยกว่า และอายุการเก็บรักษานานกว่า (Sangamithra และคณะ, 2015) เป็นกระบวนการที่น่าขอของเหลวหรือกึ่ง ของเหลวมาตีเพื่อให้เกิดโฟม ซึ่งการที่จะทำให้โฟมจะเติมสารที่ทำให้เกิดโฟม แซนแทนกันัม (xanthan gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose (CMC)) และกัวร์กันัม (guar) เป็นต้น เพื่อให้โฟมที่มี ความคงตัว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาอิทธิพลของสารทำให้เกิดโฟมได้แก่ แซนแทนกันัม (xanthan gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose (CMC)) และกัวร์กันัม (guar) ที่มีผลต่อการเกิดโฟม และสมบัติของผงโฟม-แมทจากกั๋งหลังการอบแห้ง และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงโฟม-แมทจาก กั๋งในการเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารทำให้เกิดโฟมได้แก่ แซนแทนกัม (xanthan gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose (CMC)) และกัวร์กัม (guar) ที่มีผลต่อการเกิดโฟมและสมบัติของผงโฟม-แมทจาก กุ้งหลังการอบแห้ง

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงโฟม-แมททั้งในการเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ศึกษาวิธีการอบแห้งแบบโฟม-แมท

1.3.2 ได้นำกุ้งมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้ผู้ป่วยภาวะกลืนลำบาก

1.3.3 ทราบสภาวะและองค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบโฟม-แมท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กุ้งขาว (Pacific white shrimp)

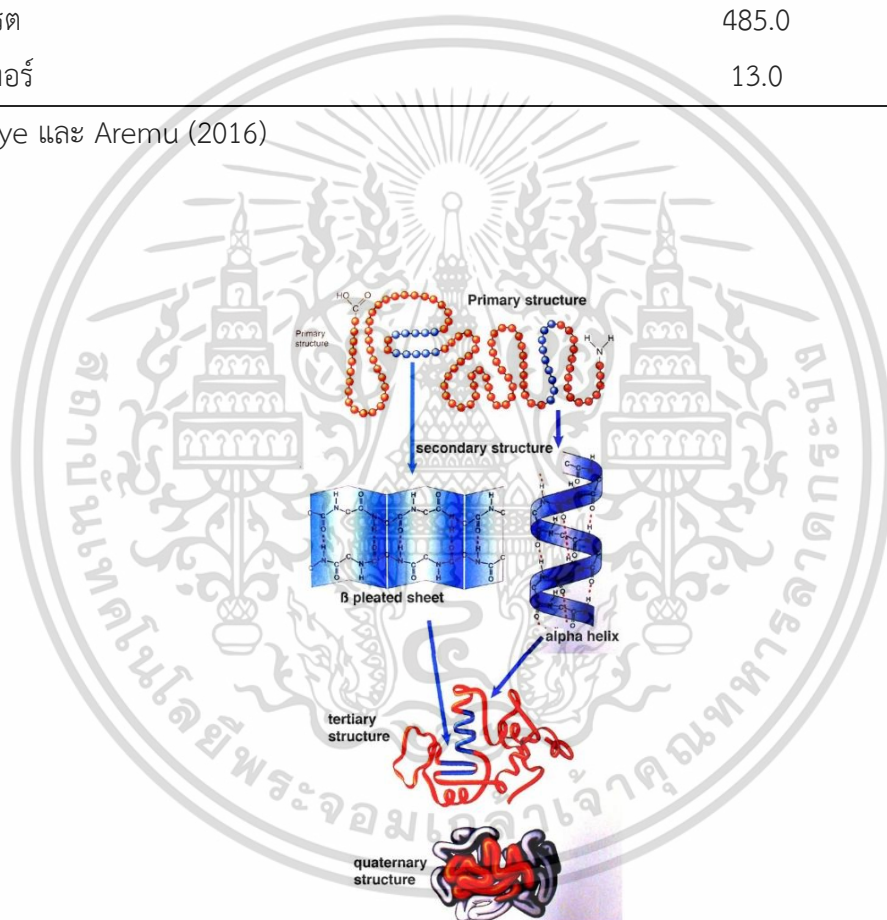
กุ้งขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Litopenaeus vannamei* และมีชื่อสามัญว่า Pacific white shrimp โดยกุ้งขาวพบได้ทั่วไปที่บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกมีลักษณะทางกายภาพ เปลือกหิวและลำตัว มีสีขาวอมชมพูถึงแดง ปลายหางสีแดงเข้มร่องบนกริมองเห็นได้ชัด หัวสั้นกริสสูง ปลายกริแคบ ส่วนของกริมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีแดงอมน้ำตาล กริด้านบนมีฟัน 8 ซี่ กริด้านล่างมีฟัน 2 ซี่ หนวดยาวสีแดง 2 เส้น (กรกวี, 2559) กุ้งขาวยังเป็นสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมี โปรตีน วิตามินบี 12 วิตามินบี 6 วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินซี วิตามินดี และแร่ธาตุต่างๆ เช่น Ca K Zn Cu Mn และ Se (Mohebbi และคณะ, 2009) แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกุ้งแสดงในตารางที่ 2.1 เนื่องจากกุ้งขาวมีการเน่าเสียง่ายจึงมีการนำกุ้งขาวไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีลักษณะพึงประสงค์ต่อความต้องการของผู้บริโภคและยังเพิ่มอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาว ด้วยวิธีการทำกุ้งขาวเป็นผง ทำให้มีการเสื่อมสภาพทางประสาทสัมผัสน้อยที่สุด และผงกุ้งขาวสามารถนำไปผลิตอาหารทะเลหรือผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ได้ เช่น ซุป เบอร์เกอร์ นั้กเก็ต ไส้กรอก (Azizpour และคณะ, 2016) โครงสร้างของโปรตีนกุ้งขาว เกิดจากการเชื่อมต่อกันของกรดอะมิโน (amino acid) เป็นสายยาวระหว่างกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide) เกิดเป็นพอลิเพปไทด์ โดยมีปลายด้านหนึ่งของสายเป็นปลายอะมิโน (amino end) และปลายอีกด้านหนึ่งเป็น ปลายคาร์บอกซิล (carboxyl end) ชนิดและการเรียงลำดับของกรดอะมิโนในสายของพอลิเพปไทด์มีความเฉพาะเจาะจง ทำให้เกิดเป็นโปรตีนชนิดต่างๆ ซึ่งโครงสร้างโปรตีนชั้นปฐมภูมิของกุ้งขาว มีทั้ง ไมโอซิน (myosin) พาราไมโอซิน (paramyosin) แอคติน (actin) และ โทรโปไมโอซิน (tropomyosin bands) เป็นต้น (สุวรรณ, 2563) โดยที่ส่วนต่างๆ จะทนทานต่อความร้อนแตกต่างกันไป ซึ่งโครงสร้างในชั้นทุติยภูมิ เป็นโครงสร้างที่เกิดจากกรดอะมิโน (amino acid) ที่อยู่ภายในสายพอลิเพปไทด์เดียวกัน ทำปฏิกิริยากันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดขึ้นในตำแหน่งที่เว้นระยะห่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติของโปรตีนที่มี 2 รูปแบบหลักคือ แบบเกลียวแอลฟา (alpha-helix) ซึ่งมีลักษณะเป็นเป็นเกลียวขดคล้ายสปริง และแบบ β -pleated sheet เป็นแผ่นพับซ้อนกันไปตามดั่งภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้ง

พารามิเตอร์	กุ้ง (กรัมต่อกิโลกรัม)
ความชื้น	20.0
ของแข็งทั้งหมด	980.0
เถ้า	310.0
สารอินทรีย์	690.0
โปรตีน	171.9
เส้นใย	0.1
คาร์โบไฮเดรต	485.0
สารสกัดอีเทอร์	13.0

ที่มา: Adeyeye และ Aremu (2016)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโปรตีนระดับ primary secondary tertiary และ quaternary

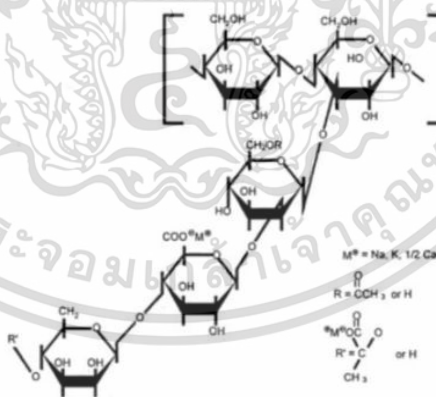
ที่มา: พันธวิทย์ (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agent)

2.2.1 แซนแทนกัม (xanthan gum)

แซนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ส่งผลด้านคุณภาพเนื้อสัมผัส ทำให้กักเก็บความชุ่มชื้น เพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ (พงศ์พิพัฒน์ และ กลมวรรณ, 2563) และได้จากกระบวนการหมักจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มของ *Xanthomonas* ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม คือชนิด *Xanthomonas compestris* เป็น heteropolysaccharide ที่มีน้ำตาล Glucose Mannose และ Glucuronic acid มีสัดส่วน 2.8 ต่อ 3.2 มีหมู่ acetyl ร้อยละ 4.7 และ Pyruvic acid ประมาณร้อยละ 3 สารละลายแซนแทนกัมถึงแม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นต่ำแต่ก็ยังมีค่าความหนืดที่สูง ซึ่งแซนแทนกัมมีความคงตัวมากต่ออุณหภูมิ แม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนจาก 0 ถึง 100 องศาเซลเซียสก็ตาม และมีลักษณะของไหลเป็นแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluid) (ยุพินทรา, 2550) ซึ่งมีลักษณะความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏและความรู้สึกเมื่ออาหารอยู่ในปาก (พัชรพร, 2561) ค่าความหนืดมีการลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดตามระยะเวลา สมบัติการเป็นซูโดพลาสติกเกิดจากโครงสร้างของแซนแทนกัม เมื่อแซนแทนกัมอยู่ในสถานะของเหลวจะสร้างโครงสร้างตะขாயระหว่างโมเลกุลของแซนแทนกัม หากมีแรงเฉือนมากจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่แบบชั่วคราว และคืนตัวได้สมบูรณ์ และมีประโยชน์ในกระบวนการผลิต เช่น การเกิดอิมัลชัน การก่อโฟม และการกวน เป็นต้น โดยช่วยในกระบวนการผลิตในการลดแรงที่ต้องใช้ให้น้อยลง แซนแทนกัมไม่มีสมบัติในการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล แต่ยังสามารถเกิดเจลอย่างอ่อนๆได้ (Urlacher และ Noble, 1999) ลักษณะโครงสร้างแซนแทนกัมแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของแซนแทนกัม

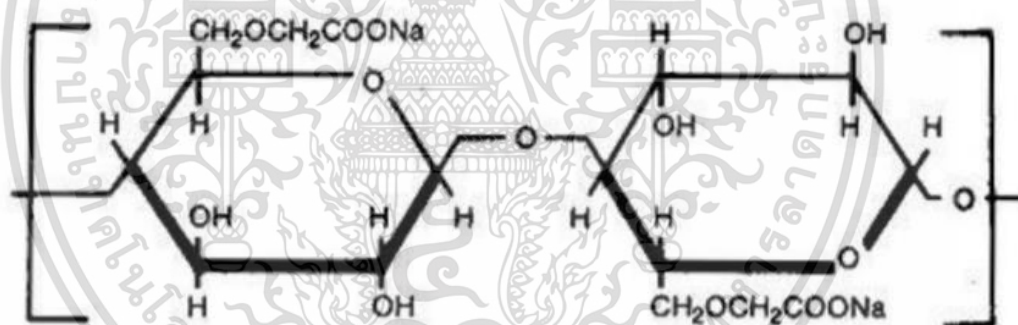
ที่มา: กูรอชียะห์ (2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose (CMC))

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$) ที่จับกับกลุ่มไฮดรอกซิลบางส่วนของโมโนเมอร์กลูโคไพราโนสของเซลลูโลสแกนหลัก โครงสร้างทางเคมีของ CMC แสดงในภาพที่ 2.3 การปรากฏตัวของหมู่คาร์บอกซีเมทิลและไฮดรอกซิลบนพื้นผิวช่วยเพิ่มปฏิกิริยาทางเคมีและช่วยในการจับกับสปีชีส์ต่างๆ CMC สามารถละลายได้ทั้งในน้ำเย็นหรือน้ำร้อน ให้ความหนืดในวัฏภาคที่เป็นน้ำ และทำให้ส่วนประกอบอื่น ๆ เสถียรหรือป้องกันการสั่นสะเทือน อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการไหลของ CMC ขึ้นอยู่กับระดับของการแทนที่ ความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุล (Sungsinchai, 2021)

CMC ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อาหาร สิ่งทอ กระดาษ กาว สี บรรจุภัณฑ์ ยา เครื่องสำอาง และการแปรรูปแร่ เนื่องจากทำได้ง่าย ละลายน้ำได้ดี ไม่เป็นพิษ ไม่ก่อภูมิแพ้ ราคาต่ำ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยเฉพาะ CMC ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในฐานะสารทำให้ข้นและสารทำให้คงตัวของอิมัลชันเนื่องจากมีความหนืดสูง รวมทั้งช่วยระงับและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด เนื่องจากไม่มีกลิ่นและรสจืด และเป็นสารละลายใสโดยไม่มี ความขุ่นหรือที่บ ใช้ในอาหารและเครื่องดื่มเพื่อป้องกันการแยกตัวของอนุภาคแขวนลอยด้วยแรงโน้มถ่วง และเพื่อสร้างลักษณะเนื้อสัมผัสและปากที่พึงประสงค์ (Sungsinchai, 2021)



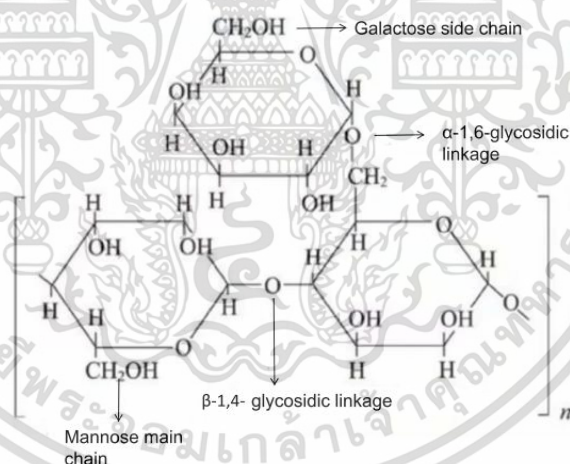
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: คมกฤษ (2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กัวร์กัม (guar gam)

กัวร์กัมเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของ กาแล็กโทแมนแนน (galactomannan) ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส (mannose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่ง β -1,4 และมีกิ่งแขนงของน้ำตาลกาแล็กโทส (Galactose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -1,6 (พัชรพร, 2561) กัวร์กัมไม่สามารถเกิดเจลได้แต่อุ้มน้ำและกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงและจะให้ความหนืดสูงสุดในเวลา 2 ชั่วโมง (Fox, 1999) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถอุ้มน้ำได้ดี และให้ความหนืดมากขึ้น ซึ่งใช้เป็นสารที่ทำให้คงตัว สารให้ความข้นหนืด และช่วยอุ้มน้ำ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของของกัวร์กัม มีหลายปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการ ความเป็นกรด-เบส และความเข้มข้นเป็นต้น เมื่อความเข้มข้นของกัวร์กัมสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายสูงขึ้นด้วย เนื่องจากกัวร์กัมไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ และทนต่อความเป็นกรด-เบสได้ในช่วง pH 4 ถึง 10 โดยที่ค่าของความหนืดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถเติมสารอิเล็กโทรไลต์ได้สูง หากมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เกินกว่าร้อยละ 5 จะส่งผลต่อการอุ้มน้ำและการเกิดเจล (Kunyanee และ Sungin, 2018) กัวร์กัมจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงที่ pH 7.5-9.0 (กูรูชียะห์, 2562) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของกัวร์กัม

ที่มา: Zhang และคณะ (2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีการอบแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat drying)

การอบแห้งแบบโฟม-แมทเป็นกระบวนการที่วัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือกึ่งของเหลวถูกทำให้เกิดความเสถียรโดยการเพิ่มแก๊สและสารทำให้คงตัว และต่อมาถูกทำให้แห้งโดยใช้กระแสลมร้อนที่ความดันบรรยากาศ (Hertendorf และคณะ, 2009) โครงสร้างโฟมที่มีรูพรุนมากขึ้น พื้นที่ผิวของของเหลวจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้ง เป็นผลให้สามารถรักษาค่าทางโภชนาการและทางประสาทสัมผัสที่สูงขึ้น (Lewicki, 2006) ข้อดีบางประการของกระบวนการนี้คือเป็น กระบวนการที่ค่อนข้างง่ายและราคาไม่แพง อัตราการอบแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า เหมาะสำหรับวัสดุที่ไวต่อความร้อนและหนืด คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีการทำให้เกิดโฟมก่อนการอบแห้ง สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว สามารถละลายในน้ำเย็น และเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ (Falade และคณะ, 2003; Kadam และคณะ, 2010; Kadam และ Balasubramanian, 2011; Hardy และ Jideani, 2017) ผงโฟม-แมทที่ได้จากกระบวนการนี้มีศักยภาพทางเศรษฐกิจสูง เนื่องจากสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาตรหรือน้ำหนักลดลง และต้องการพื้นที่จัดเก็บน้อยลง การจัดการและการขนส่งที่ง่ายขึ้น และอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่ามาก ผงที่ได้จากวิธีนี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนม เครื่องดื่ม ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น และยังสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการเตรียมอาหารสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ และพาสต้า เป็นต้น (Sangamithra และคณะ, 2006; Hamzeh และคณะ, 2019)

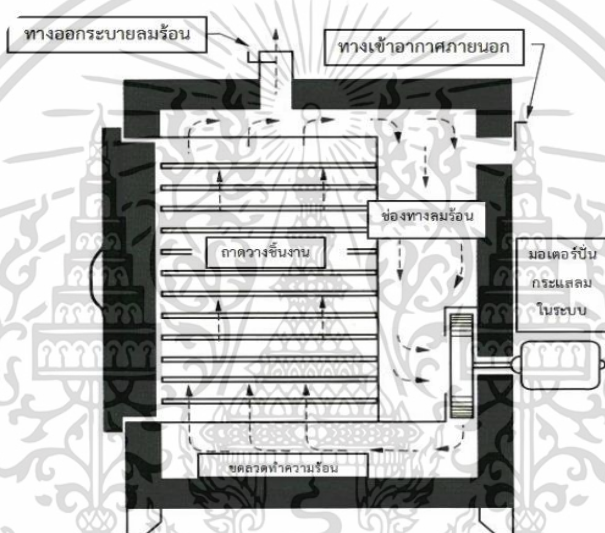
นอกจากนี้การอบแห้งด้วยโฟม-แมทถูกนำมาใช้เพื่ออบแห้งอาหารต่างๆ อาทิ น้ำแอปเปิ้ล (Raharitsifa และคณะ, 2006) กลัวย (Thuwapanichayanan และคณะ, 2008) น้ำมะเขือเทศ (Kadam และ Balasubramanian, 2011) มะละกอ (Kandasamy และคณะ, 2012) ชีบัคธอร์น (Sea Buckthorn) (Kaushal และคณะ, 2013) แดงไทย (Asokapandianet และคณะ, 2015) กุ้ง (Azizpour และคณะ, 2016) น้ำบัวหิมะ (yacon juice) (Franco และคณะ, 2016) น้ำเชอร์รี่เปรี้ยว (Abbasi และ Azizpour, 2016) มะม่วง (Chaux-Gutiérrez และคณะ, 2017) และบีทรูท (Beta vulgaris) (LingNg และ Sulaiman, 2018) นอกจากนี้พบว่ายังมีปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติการทำงานของโฟมหรือโฟม-แมทแบบผงแห้ง เช่น สารทำให้เกิดโฟม สภาวะการเกิดโฟม สภาวะการอบแห้งชนิดของ สารเติมแต่ง และความเข้มข้นของสารเติมแต่ง เป็นต้น (Hertendorf และคณะ, 2009; Sangamithra และคณะ, 2015; Hardy และ Jideani, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการใช้งานที่หลากหลาย เนื่องจากการออกแบบที่เรียบง่ายและมีความสามารถในการอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ปริมาณมาก แต่ข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบถาด คือผลิตภัณฑ์จะแห้งไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้เกิดจากการหมุนเวียนของลมร้อนไม่ทั่วถึงหรือปัจจัยในด้านอื่นๆ (Misha, 2013)

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นการอบแห้งโดยนำผลิตภัณฑ์ วางเรียงใส่ถาดเป็นชั้นๆ ในตู้อบที่มีการเป่าลมร้อนผ่านคอยล์ร้อน หรือ heater เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็กใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 10-12 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และเหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ (สรวุฒิ และคณะ, 2560) หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาด แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาด

ที่มา: วิรุณ และคณะ (2561)

2.5 ผู้ป่วยภาวะกลืนลำบาก (Dyshagia)

เป็นภาวะที่ทำให้ผู้ป่วยเกิดความผิดปกติในการกลืน ทำให้ไม่สามารถกลืนได้ ซึ่งมีความยากลำบากในการกลืนอาหารให้ผ่านคอหอย และหลุดอาหารไปสู่กระเพาะอาหาร (Spieker, 2000) อาจมีอาการอื่นๆร่วมด้วย อาทิ ไอหรือสำลัก ขณะรับประทานอาหารหรือดื่มเครื่องดื่มรู้สึกคล้ายมีอาหารติดอยู่ในลำคอหรือหน้าอก เป็นต้น (พัชรวีร์, 2556) แนวทางการปฏิบัติการปรับเปลี่ยนความเหมาะสมสำหรับอาหารหรือของเหลวเพื่อความปลอดภัยสำหรับการกลืนต่อผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วของเหลวข้นหนืดจะไหลช้ากว่าของเหลวที่ข้นหนืดน้อยกว่า ทำให้ป้องกันการสำลักอาหารหรือการป้องกันการอุดตันในทางเดินหายใจ (Sura และคณะ, 2012) อย่างไรก็ตามผู้ป่วยนั้นต้องการความหนืดของอาหารที่เหมาะสมต่อการบริโภคอย่างปลอดภัยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตามเกณฑ์ของ The National Dysphagia Diet Task Force (2002) ได้จัดแบ่งเกณฑ์ของอาหารเหลวชั้นหนืด ออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ช่วงความหนืดสำหรับอาหารเหลวชั้นที่อัตราเดือน 50 ต่อวินาที (25 องศาเซลเซียส)

Viscosity (mPa·s)	Category
1-50	Thin liquid
51-350	Nectar
351-1,750	Honey
>1,750	Pudding

ที่มา: Sungsinchai และคณะ (2022)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Azizpour และคณะ (2016) ศึกษาของอุณหภูมิจากการอบแห้งที่ 45 60 75 และ 90 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณความชื้น a_w ของน้ำ และความสามารถในการละลายของผงโพลี-แมทจากกุ้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ปริมาณความชื้น และ a_w มีค่าลดลง ขณะที่ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

Azizpour และคณะ (2017) ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ ได้แก่ xanthan gum (XG) guar tragacanth methylcellulose (MC) และ arabic gum (AG) ต่อสมบัติของโพลี-แมทจากกุ้ง พบว่าความหนาแน่นของโพลี-แมทมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ XG guar tragacanth และ MC ขณะที่ความเข้มข้นของ AG เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนาแน่นของโพลี-แมทลดลง นอกจากนี้พบว่าอัตราการระคายน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น

Orishagbemi และคณะ (2017) ได้มีการมีศึกษาการเติมโพลี-แมทจากไข่ ได้แก่ Local egg (LE) ซึ่งมาจากในท้องถิ่นและ ไข่ Poultry egg (PE) ได้มาจากประเทศไนจีเรีย โดยเตรียมให้เป็นโพลี ด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 32 ถึง 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง บดให้ได้ผงขนาด 150 ถึง 180 ไมครอน พบว่าความสามารถในการเกิดโพลีของไข่ (LE และ PE) อยู่ระหว่างร้อยละ 20.1 ถึง 20.5 ความหนาแน่นของตัวอย่างผงไข่ LE มีค่ามากกว่าไข่ PE นอกจากนี้พบว่าผงไข่ LE ให้สมบัติด้านเนื้อสัมผัส สี และรสชาติที่ดีกว่าผงไข่ PE

Shabnam และคณะ (2019) ได้ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ (Cress seed gum) ต่อค่าการเกิดโพลีของกุ้ง จากผลการทดลองเบื้องต้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และอัตราส่วนน้ำต่อกุ้ง เท่ากับ 4 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำให้แห้งด้วยโพลี-แมท ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เวลาในการทำให้แห้ง และ a_w ของตัวอย่างลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อความหนาแน่นของโพลี-แมทจากกุ้งก่อนอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมและความสามารถในการละลายความสามารถในการละลายของผงกุ้งหลังอบแห้งเพิ่มขึ้นด้วย

Koç* และ Çabuk (2020) ได้มีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนที่แตกต่างกันต่อพฤติกรรมการอบแห้ง ค่าความชื้น สมบัติทางกายภาพของผงไข่ขาว และสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่ขาวอบแห้งด้วยโฟม-แมท โดยนำไข่ขาวไปปั่นด้วยเครื่องปั่น (1000 W, 30 วินาที) และอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยลมร้อนร้อยละ 20 พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยในการอบแห้งโฟม-แมทได้รวดเร็ว กระบวนการที่เหมาะสมในการได้ผงไข่ขาวที่สามารถใช้เป็นอาหารและส่วนผสมในอุตสาหกรรมเบเกอรี่โดยเฉพาะสำหรับสมบัติการเกิดโฟม การเกิดเจล และการห่อหุ้ม ความชื้นของไข่อบแห้งแบบโฟม-แมทต่ำกว่าร้อยละ 10 ซึ่งเพียงพอแล้วเพื่อให้อาหารปลอดภัยทางจุลชีววิทยา นอกจากนี้พบว่า bulk และค่า tapped density ของผงไข่ขาวมีการลดลงเมื่อเพิ่มของอุณหภูมิตอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 กุ้งขาว (Pacific white shrimp) จากห้างสรรพสินค้า แม็คโคร ฟูดเซอร์วิส

3.1.1.2 เกลือป่นไอโอดีนยี่ห้อ aro บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.1.2 สารให้ที่ทำให้เกิดโฟม

3.1.2.1 แซนแทนกัม (xanthan gum) (เกรดอาหาร) จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.1.2.2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose (CMC)) (เกรดอาหาร) จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.1.2.3 กัวร์กัม (guar gum) (เกรดอาหาร) จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.2 อุปกรณ์

1. Analytical Balances: Mettler Toledo, me204t/00, Switzerland
2. Beaker 50 และ 100 มิลลิลิตร
3. Cylinder 10 50 และ 100 มิลลิลิตร
4. Desiccator
5. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR): Bruker, Invenio-s, US
6. Hand mixer: 210 w, 60 Hz, House wort Portable stand mixer, HW-942GS, China
7. Hot air Oven: Binder, ED 56, Germany
8. Hot plate: EGO, Germany
9. Kitchen blender: 700 W, Philips, HR2221/00, Thailand
10. Moisture Halogen Mettler: Toledo, HX204, USA
11. Pin mil: Retsch, grinder, ZM1000, Singapore
12. Refrigerated Centrifuge: Eppendorf, 5804R, US
13. Rheometer: Anton Paar, MCR 302, Austria
14. Tray dryer: Progress, Thailand
15. Vacuum seal machine: Worakulchai, DQ400/2, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลอง โดยมีปัจจัยอยู่ 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) ได้แก่ แซนแทนกัม (Xanthan gum (XG)) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose (CMC)) และ กัวร์กัม (Guar gum (GG)) และปริมาณความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดโฟม ซึ่งการทดลองทั้งหมด 7 สภาวะ เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใส่สารที่ทำให้เกิดโฟม (Control) (S8) ส่วนประกอบของโฟม-แมทจากกึ่งเตรียมโดยใช้อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบในการเตรียมตัวอย่างโฟม-แมทจากกึ่ง

ตัวอย่าง	น้ำหนักของสารแต่ละสูตร (กรัมแห้ง)				
	กึ่ง	น้ำ	XG	CMC	GG
S1	19.9	139.6	0.5	0	0
S2	19.9	139.6	0	0.5	0
S3	19.9	139.6	0	0	0.5
S4	19.9	139.6	0.1667	0.1667	0.1667
S5	19.9	139.6	0.0833	0.0833	0.3333
S6	19.9	139.6	0.3333	0.0833	0.0833
S7	19.9	139.6	0.0833	0.3333	0.0833
S8	19.9	140.1		Control	

หมายเหตุ : XG คือ แซนแทนกัม CMC คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ GG คือ กัวร์กัม

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างโฟม-แมทจากกึ่ง

เตรียมตัวอย่างโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Azizpour และคณะ (2017) นำกึ่งสดที่ปอกเปลือกแล้วไปล้างทำความสะอาดและต้มในสารละลายเกลือ ความเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที และนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จะได้กึ่งที่มีลักษณะละเอียดชั้นหนืดเป็นเนื้อเดียวกัน (puree) จากนั้นนำกึ่งที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และชั่งให้ได้น้ำหนักแห้ง 19.9 กรัม มาผสมกับสารที่ทำให้เกิดโฟม และเติมน้ำกลั่น 139.6 กรัม หลังจากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมด มาตีปั่นโดยใช้เครื่อง Hand mixer ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 5 นาที จะได้ตัวอย่างที่เป็นโฟมออกมา นำไปวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Foam density) และค่าการระบายน้ำ (Drainage volume) ของโฟม-แมทจากกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างให้เป็นผงโฟม-แมท

นำตัวอย่างโฟม-แมทเพลงบนภาตสแตนเลสที่มีกระดาษไขวางรองไว้ และเกลี่ยตัวอย่างให้สม่ำเสมอ จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาต (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดแบบ Pin mil ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที จะได้ตัวอย่างที่เป็นผงขนาดไม่เกิน 250 ไมครอน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ ต่อไป

3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติของโฟม-แมทก่อนอบแห้ง

3.4.3.1 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของโฟม-แมท (Foam density)

ศึกษาสมบัติความหนาแน่นของโฟม-แมทโดยดำเนินการตามวิธีการของ Azizpour และคณะ (2017) เริ่มจากการเทโฟมลงในกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึก นำมาคำนวณค่าความหนาแน่นของโฟมตามสมการที่ (1)

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = \frac{\text{น้ำหนักของโฟม (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของโฟม (มิลลิลิตร)}} \quad (1)$$

3.4.3.2 การวิเคราะห์ค่าการระบายน้ำของโฟม-แมท (Drainage volume)

วัดค่าการระบายน้ำของโฟม-แมท โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Azizpour และคณะ (2017) ของโฟม-แมทที่อยู่ในกระบอกตวง จากข้อ 3.4.3.1 โดยวัดจากปริมาณน้ำที่ระบายออกมาจากโฟม-แมทเป็นหน่วยมิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4.4 การวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content)

วัดปริมาณความชื้นของตัวอย่างโฟม-แมทหลังอบแห้ง 4 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Moisture Halogen ทำการวัดแบบอัตโนมัติ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

3.4.5 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี (Water Activity หรือ a_w)

วัดค่า a_w โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Hamzeh และคณะ (2019) ขึ้นตอนแรกนำผงโฟม-แมทจากกึ่งแต่ละตัวอย่างที่เวลาอบแห้ง 4 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัด a_w ทำการวัดแบบอัตโนมัติ หลังจากเริ่มโปรแกรมรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 24.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส

3.4.6 การวิเคราะห์ค่า Bulk density และ Tapped density

วิเคราะห์ค่า Bulk density และ Tapped density โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Hamzeh และคณะ (2019) เริ่มจากชั่งน้ำหนักผงโฟม-แมทจากกึ่ง 3 กรัม เทใส่กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร วัด
เอ็กสารถนเป็นเอ็กสารถนโรลิ่งหรือการเขย่าเพื่อการกระจายเท่านั้น เมื่อนำเข้าเครื่องชั่งน้ำหนักการชั่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรที่ได้เป็นค่า Bulk density คำนวณตามสมการที่ (2) จากนั้นนำกระบอกตวงไปเคาะเป็นจำนวน 30 ครั้ง ที่ความสูง 5 เซนติเมตร แล้ววัดปริมาตรหลังเคาะเสร็จเป็นค่า Tapped density คำนวณตามสมการที่ (3)

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{น้ำหนักของสารที่ใช้ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรหลังเทสารใส่กระบอกตวง (มิลลิลิตร)}} \quad (2)$$

$$\text{Tapped density} = \frac{\text{น้ำหนักของสารที่ใช้ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรหลังกระทบกระบอกตวงตรงเสร็จ (มิลลิลิตร)}} \quad (3)$$

3.4.7 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility)

วิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Abbasi และ Azizpour (2016) ซึ่งตัวอย่าง 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (Zhang และคณะ, 2013) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณค่าความสามารถในการละลายดังสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละความสามารถในการละลาย} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_3} \right) \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ m_1 คือ น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมเปล่า
 m_2 คือ น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมหลังอบ
 m_3 คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้

3.4.8 การวิเคราะห์ค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน (Sedimentation ratio)

วิเคราะห์ค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Yilmaz และ Yilmaz (2007) ซึ่งสารตัวอย่างละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (Zhang และคณะ, 2013) ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าความสูงของตะกอนที่เกิดขึ้น และส่วนใสที่แยกออกมาเป็นหน่วยเซนติเมตร คำนวณค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนตามสมการที่ (5)

$$\text{ร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน} = \left(\frac{b}{a+b} \right) \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ a คือค่าความสูงของตะกอน และ b คือค่าความสูงของชั้นน้ำที่แยกออกมาเป็นส่วนใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างผงโพลี-แมทจากกุ้ง สารที่ทำให้เกิดโพลี (XG CMC และ GG) และกุ้งขาว โดยใช้เครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ดำเนินการตามวิธีการของ Hamzeh และคณะ (2019) กำหนดช่วงที่ $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ โดยใช้เทคนิควิเคราะห์แบบ ATR การสแกนที่ 64 ครั้งต่อตัวอย่าง ด้วยความละเอียด 2 cm^{-1}

3.4.10 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบากของผงโพลี-แมทจากกุ้ง

วิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Sungsinchai และคณะ (2022) ขั้นตอนแรกนำผงโพลี-แมทจากกุ้งไปผสมในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (Zhang และคณะ, 2013) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ทำการวิเคราะห์ค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Rheometer ใช้หัววัดแบบขนาน (Parallel plates) ขนาด 50 มิลลิเมตร กำหนดให้มีช่องว่างระหว่างหัววัดแบบขนานที่ 1 มิลลิเมตร อัตราเฉือนที่ $1\text{--}1,000$ ต่อวินาที (s^{-1}) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กราฟความหนืดที่ได้ถูกนำมาใช้กับสมการ Power law (6) เพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมการไหลของตัวอย่าง ประเมินลักษณะความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที $\eta_{a,50}$ เทียบกับเกณฑ์ประเมินของอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก (ตารางที่ 2.2)

$$\eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (6)$$

เมื่อ η_a คือความหนืดปรากฏ (mPa·s)

K คือดัชนีคงตัว ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)

$\dot{\gamma}$ คืออัตราเฉือน (ต่อวินาที)

n คือดัชนีพฤติกรรมการไหล

3.4.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าตามความหนาแน่นของโพลี ค่าการระบายของโพลี ปริมาณความชื้น aw ค่า Bulk density และ Tapped density ค่าความสามารถในการละลาย ค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS® ซอฟต์แวร์เวอร์ชัน 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) รายงานเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ การทดสอบแบบพหุเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) เพื่อระบุความมีนัยสำคัญที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ค่าความหนาแน่นของโฟม (Foam density) และค่าการระบายน้ำ (Drainage volume) ของโฟม

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น และค่าการระบายน้ำของโฟม-แมทที่เตรียมด้วยสถานะต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดโฟมนั้น ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความหนาแน่นของโฟมที่มากที่สุดคือ 0.74 กรัมต่อมิลลิเมตร ในตัวอย่าง S6 ที่ผสม XG CMC และ GG ที่ 0.3333 0.0833 และ 0.0833 ตามลำดับ และพบว่าความหนาแน่นของโฟมน้อยที่สุดคือ 0.60 กรัมต่อมิลลิเมตร ในตัวอย่าง S3 ที่ผสม GG เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Azizpour และคณะ (2017) ที่ได้ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ ต่อสมบัติการเกิดโฟม-แมทของกึ่ง เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาตรเท่ากันโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีน้ำหนักของโฟมน้อยกว่า เนื่องจากมีอากาศอยู่ในโฟมมาก ทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมต่ำลง (พริยา และคณะ, 2563) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก GG เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิว ระหว่างของเหลวสองชนิด ระหว่างแก๊สกับของเหลว รวมถึงระหว่างของเหลวกับของแข็ง (Simiqueli และคณะ, 2019) ทำให้การแทรกตัวของอากาศกับของเหลวเป็นไปได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ GG ยังมีสมบัติให้ความหนืดต่ำ สารละลายที่มีความหนืดต่ำมีแนวโน้มที่จะมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่า (Simiqueli และคณะ, 2019) จึงส่งผลทำให้ตัวอย่างที่ใช้ GG เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมมีค่าความหนาแน่นของโฟมต่ำกว่าตัวอย่างอื่น

เมื่อพิจารณาค่าการระบายน้ำของโฟม-แมท พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในกรณีตัวอย่าง S1 ถึง S7 เนื่องจากการใส่สารที่ทำให้เกิดโฟมจะก่อให้เกิดฟิล์มบางๆ ที่หนาและเหนียวรอบๆ ฟองอากาศที่อยู่ในโฟม-แมท ซึ่งทำให้โครงสร้างของโฟม-แมทมั่นคงแข็งแรง ทำให้เกิดการกักเก็บน้ำได้ดี (Azizpour และคณะ, 2017) อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างควบคุม (S8) มีค่าการระบายน้ำของโฟมเท่ากับ 2.12 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ไม่ได้ใส่สารทำให้เกิดโฟม ทำให้ฟิล์มบางรอบๆ ฟองอากาศไม่มั่นคง ส่งผลให้โครงสร้างของโฟม-แมทไม่แข็งแรง (ไชยกร และคณะ, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนาแน่น และค่าการระบายน้ำของโฟม-แมทจากกุ้ง

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่นของโฟม-แมท (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าการระบายน้ำของโฟม-แมท (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)
S1	0.73 ± 0.04 ^a	0.00 ± 0.00 ^b
S2	0.65 ± 0.06 ^{abc}	0.00 ± 0.00 ^b
S3	0.60 ± 0.04 ^c	0.00 ± 0.00 ^b
S4	0.73 ± 0.01 ^a	0.00 ± 0.00 ^b
S5	0.63 ± 0.01 ^{bc}	0.00 ± 0.00 ^b
S6	0.74 ± 0.01 ^a	0.00 ± 0.00 ^b
S7	0.72 ± 0.07 ^{ab}	0.00 ± 0.00 ^b
S8	0.73 ± 0.02 ^a	2.12 ± 0.2 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) และวอเตอร์แอกทีวิตี (Water Activity (a_w))

ผลจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้นและ a_w ของผงโฟม-แมทจากกุ้งที่เตรียมด้วยสภาวะต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่าปริมาณความชื้น และค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการทดลองพบว่าค่าปริมาณความชื้นที่ได้ของแต่ละตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.57 ถึง 1.97 โดยที่ปริมาณความชื้นในอาหารเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาของอาหาร และรวมไปถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งอาหารแห้งควรจะมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 15 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ รา ยีสต์ และแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553) โดยตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 1.57 คือตัวอย่าง S5 และมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 1.97 คือตัวอย่าง S7

เมื่อพิจารณาค่า a_w (ตารางที่ 4.2) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.17 ถึง 0.22 โดยค่า a_w เกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร สำหรับ a_w ของอาหารแห้งควรมีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียได้ยากและเก็บรักษาได้นาน (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553) จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ให้ค่า a_w ต่ำที่สุดคือ S8 (0.17) และตัวอย่างที่ให้ค่า a_w มากที่สุดคือ S3 (0.22) อย่างไรก็ตามค่า a_w ที่ได้นี้ไม่ทำให้จุลินทรีย์ทุกชนิดสามารถเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าปริมาณความชื้น และค่า a_w ของแต่ละตัวอย่างหลังอบแห้ง 4 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	a_w
S1	1.88 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.08 ^a
S2	1.86 ± 0.11 ^a	0.18 ± 0.07 ^a
S3	1.73 ± 0.04 ^a	0.22 ± 0.04 ^a
S4	1.64 ± 0.42 ^a	0.20 ± 0.13 ^a
S5	1.57 ± 0.42 ^a	0.20 ± 0.14 ^a
S6	1.88 ± 0.42 ^a	0.18 ± 0.09 ^a
S7	1.97 ± 0.45 ^a	0.18 ± 0.11 ^a
S8	1.78 ± 0.16 ^a	0.17 ± 0.02 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3 ผลของ Bulk density และ Tapped density ของผงโพน-แมทจากกุ้ง

ผลการวิเคราะห์ค่า Bulk density และ Tapped density ของตัวอย่างที่เตรียมด้วยสภาวะต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าค่า Bulk density และค่า Tapped density ของแต่ละตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งค่า Bulk density อยู่ในช่วง 0.49 ถึง 0.52 (กรัมต่อมิลลิเมตร) และ Tapped density มีค่าอยู่ในช่วง 0.54 ถึง 0.59 (กรัมต่อมิลลิเมตร) โดยค่าทั้งสองเป็นค่าที่ใช้ประเมินที่มีความเกี่ยวข้องกับชนิดบรรจุภัณฑ์ การขนส่ง และการตลาดของอาหารประเภทผง (Hamzeh และคณะ, 2019) โดยที่ค่า Bulk density และ Tapped density ที่เกิดขึ้นได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้น ขนาดอนุภาค และรูปร่างของอนุภาค (Sousa และคณะ, 2013) ทั้งนี้ถ้าหากค่า Bulk density และค่า Tapped density มีค่ามากบ่งบอกได้ว่าอนุภาคนั้นมีขนาดเล็ก (ศิริพร, 2561) จากผลการทดลองค่า Bulk density และค่า Tapped density ที่มีค่ามากที่สุดคือตัวอย่าง S1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.52 และ 0.59 กรัมต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการขึ้นรูปของโพนไม่ส่งผลต่อขนาดของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของค่า Bulk density และ Tap density ของผงโพลี-แมทจากกุ้ง

ตัวอย่าง	Bulk density (กรัมต่อมิลลิลิตร)	Tapped density (กรัมต่อมิลลิลิตร)
S1	0.52 ± 0.09 ^a	0.59 ± 0.19 ^a
S2	0.50 ± 0.06 ^a	0.56 ± 0.13 ^a
S3	0.49 ± 0.02 ^a	0.55 ± 0.10 ^a
S4	0.49 ± 0.07 ^a	0.57 ± 0.18 ^a
S5	0.49 ± 0.03 ^a	0.55 ± 0.11 ^a
S6	0.49 ± 0.07 ^a	0.54 ± 0.14 ^a
S7	0.49 ± 0.03 ^a	0.54 ± 0.13 ^a
S8	0.49 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.09 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.4 ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน (Sedimentation ratio) ของผงโพลี-แมทจากกุ้ง

ค่าความสามารถในการละลาย และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนของผงโพลี-แมทจากกุ้ง แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความสามารถในการละลายของแต่ละตัวอย่างนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 12.24 ถึง 12.80 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเตรียมโพลี-แมทจากกุ้งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ทำให้เกิดการสูญเสียธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างกระบวนการโครงสร้างของโปรตีนจึงเกิดการเปิดเผยของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (Ma และคณะ, 2022) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Duppet และคณะ (2023) ที่ได้ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับทางเคมีและกายภาพ โครงสร้าง สมบัติเชิงหน้าที่ และรสชาติของโปรตีนกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) เตรียมจากวิธีการแปรรูปต่างๆ ได้แก่ การต้มในน้ำเดือด การอบแห้งด้วยลมร้อน การย่าง การแช่แข็ง และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ พบว่าค่า Surface Hydrophobicity ของการทดลองต้มกุ้งในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีค่ามากที่สุด ทั้งนี้ค่าการละลายน้ำยังขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน ปริมาณ ลำดับการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโน เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ และนริยา, 2555)

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของการตกตะกอนมากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.67 ในตัวอย่าง S6 ที่ผสม XG CMC และ GG ที่ 0.3333 0.0833 และ 0.0833 ตามลำดับ และตัวอย่างที่มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 42.31 ในตัวอย่าง S1 เป็นตัวอย่างที่มีส่วนผสม XG เพียงอย่างเดียว ค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนที่มากบ่งบอกถึงลักษณะของอาหารเหลวที่ไม่มีความเสถียรเมื่อเก็บไว้ที่ 24 ชั่วโมง ในขณะที่ค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนที่น้อยกว่าบ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของอาหารเหลวที่มีความเสถียรมากกว่า และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงโพลี-แมทจากกุ้งเป็นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าในกรณีของ S1 ถึง S7 ค่าที่ได้ไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจจะเนื่องมาจากการเติม XG CMC และ GG นอกจากจะทำให้เกิดโฟมแล้วยังสามารถให้ความหนืดได้ ทำให้สารละลายตัวอย่างมีความคงตัวไม่แยกเป็นชั้นน้ำ ความหนืดที่ได้นี้จะช่วยลดอัตราส่วนของการตกตะกอนของตัวอย่าง (สภาพ, 2548) อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างควบคุม (S8) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่าอัตราส่วนของการตกตะกอนอยู่ที่ร้อยละ 44.44 และ 62.85 ตามลำดับ ซึ่งเกิดการตกตะกอนเนื่องจากไม่ได้ใส่สารที่ทำให้เกิดโฟม ทำให้เสียสภาพการคงตัวและทำให้เกิดการแยกชั้นกับน้ำ

ตารางที่ 4.4 ค่าความสามารถในการละลาย และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน ของผงโฟม-แมทจาก กุ้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร)

ตัวอย่าง	ความสามารถในการละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน	
		ความเข้มข้นร้อยละ 10	ความเข้มข้นร้อยละ 20
S1	12.55 ± 0.13 ^a	42.31	ไม่แยกชั้น ^b
S2	12.24 ± 0.41 ^a	55.56	ไม่แยกชั้น ^b
S3	12.61 ± 0.01 ^a	55.56	ไม่แยกชั้น ^b
S4	12.56 ± 0.43 ^a	59.26	ไม่แยกชั้น ^b
S5	12.61 ± 0.51 ^a	51.85	ไม่แยกชั้น ^b
S6	12.35 ± 0.32 ^a	66.67	ไม่แยกชั้น ^b
S7	12.28 ± 0.10 ^a	55.56	ไม่แยกชั้น ^b
S8	12.80 ± 0.33 ^a	44.44	62.85 ± 0.49 ^a

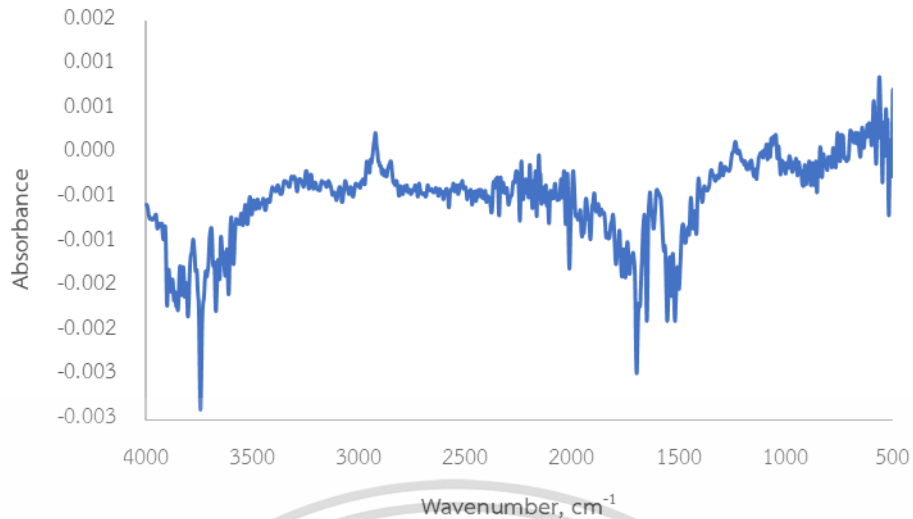
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรที่เหมือนกันในกลุ่มเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.5 หมู่ฟังก์ชัน

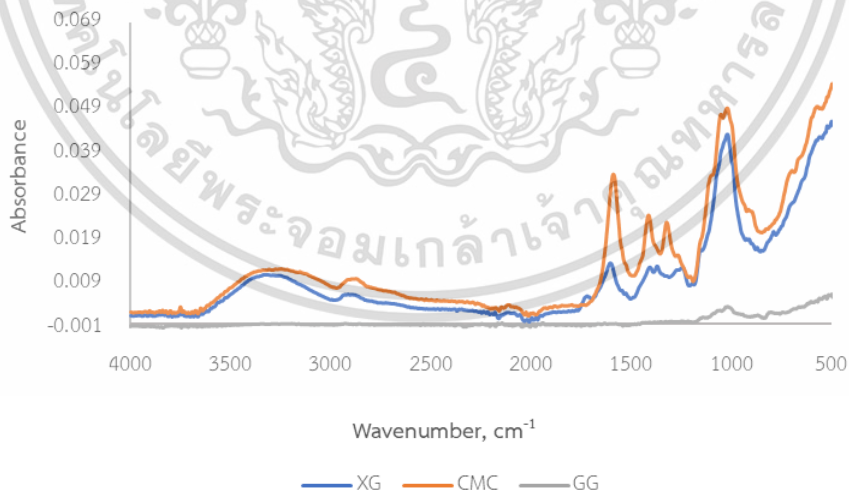
ผลสเปกตรัมของผงกุ้งในช่วง 500-4000 cm^{-1} แสดงดังภาพที่ 4.1 โดยทั่วไปแถบเอไมด์ I (1600-1700 cm^{-1}) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการยึดของ C=O และบางส่วนจากการยึดของ C-N การตัดของ C α -C-N และการตัดในระนาบของ N-H ของหมู่เปปไทด์ (Careche และคณะ, 1999) โดยการกระจายตัวของโครงสร้างเอไมด์ I ที่ตำแหน่ง 1650-1660 แสดงโครงสร้าง α -helix ของโปรตีน ขณะที่ 1600-1640 cm^{-1} แสดงโครงสร้าง β -sheet ของโปรตีน และตำแหน่ง 1660 -1690 cm^{-1} แสดงโครงสร้าง β -turn ของโปรตีน นอกจากนี้พบว่าที่ 1640-1650 cm^{-1} แสดงโครงสร้าง Random coil ของโปรตีน (Li และคณะ, 2023) อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างกุ้งมีพีคเกิดขึ้นที่ 1635 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้าง β -sheet ของโปรตีนที่อยู่ในกุ้ง (Li และคณะ, 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมของกุ่ม

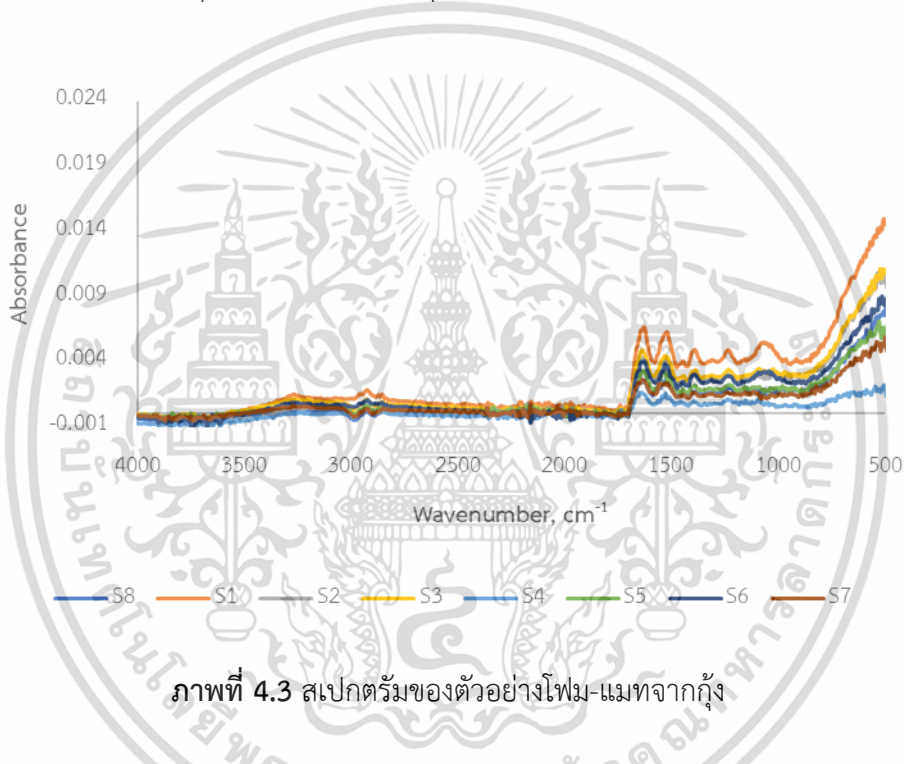
สเปกตรัม FTIR ที่ได้รับบ่งบอกเป็นนัยว่า XG และ CMC สามารถสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลโดยการมีส่วนร่วมของหมู่ C-H ที่ไม่ชอบน้ำ และหมู่ที่ชอบน้ำ -COOH แสดงดังภาพที่ 4.2 พิกัดในช่วง 3200–3450 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ -OH ขณะที่ 2850–2950 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C-H และพิกัดที่ 990–1200 cm^{-1} แสดงถึงหมู่แซคคาไรด์ (Faria และคณะ, 2011) อย่างไรก็ตาม XG และ CMC มีลักษณะคล้ายกัน เมื่อพิจารณาตัวอย่างของ GG พบว่ามีพิกปรากฏขึ้นเพียงหมู่แซคคาไรด์ (990-1200 cm^{-1}) (Faria และคณะ, 2011)



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมชนิดของสารที่ทำให้เกิดโฟม

จากภาพที่ 4.3 พบว่าทุกตัวอย่างโฟม-แมทจากกุ่มมีพิกที่คล้ายคลึงกัน เกี่ยวข้องกับการสันสะเทือน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแบบยัดของ OH และ NH ที่แสดงถึงหมู่คาร์บอกซิลและเอมีน ตามลำดับ ที่มีอยู่ในตัวอย่างโปรตีน (Malik และไมวารณเดย์ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ, 2017) ช่วงพีคที่ขึ้นคล้ายคลึงกันที่ $1400 - 1700 \text{ cm}^{-1}$ บ่งชี้ถึงเอไมด์ I ($1600-1750 \text{ cm}^{-1}$) และเอไมด์ II ($1480-1575 \text{ cm}^{-1}$) ซึ่งแสดงการยืดของ C-N และการตัดของ N-H ตามลำดับ (Rafe และ Razavi, 2015) นอกจากนี้พบว่าพีคที่ $900-1200 \text{ cm}^{-1}$ นั้นสัมพันธ์กับการยืดของ C-O และ C-O-C และพีคที่ $915-1222 \text{ cm}^{-1}$ ถูกกำหนดให้เป็นเอไมด์ III ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการสั่นสะเทือนที่ยึดออกของ C-N และการบิดงอของ N-H (Ma และ Pawlik, 2007) อย่างไรก็ตาม พีคของตัวอย่าง S2 ถึง S8 มีค่าต่ำกว่า S1 ซึ่งพีคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง $500-1650 \text{ cm}^{-1}$ ที่บ่งชี้ถึงปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลระหว่างโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ (Hamzeh และ คณะ, 2019) Rouessac และ Rouessac (2008) รายงานว่าช่วง wavenumber ที่ต่ำกว่า 1200 cm^{-1} แสดงถึงความจำเพาะที่แตกต่างกันสำหรับสารที่ทำให้เกิดโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ และจากทุกตัวอย่างพบว่ามีพีคปรากฏที่ $2897-2948 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงกลุ่ม C-H ซึ่งเป็นโมเมกุลที่ไม่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.3 สเปกตรัมของตัวอย่างโพลี-เมทจากกุ้ง

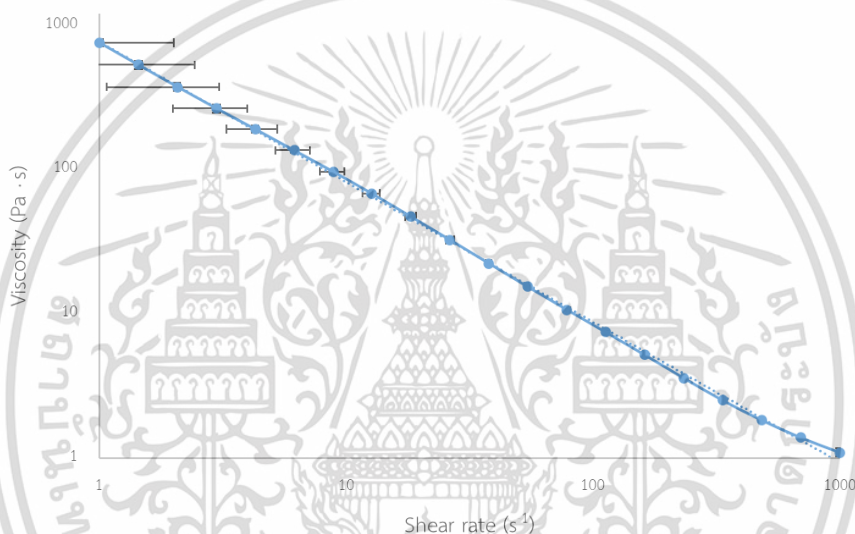
4.6 ความสามารถในการเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบากของผงโพลี-เมทจากกุ้ง

จากผลการทดลอง พบว่าตัวอย่างผงโพลี-เมทจากกุ้งที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก โดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการละลาย และค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน คือตัวอย่าง S5 ที่มีส่วนผสมของ XG CMC และ GG ที่ 0.0833 0.0833 และ 0.3333 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความหนืดพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินของอาหารผู้มีภาวะกลืนลำบาก (ตารางที่ 2.2) แสดงดังภาพที่ 4.4 และตาราง 4.5

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.4 พบว่าอาหารเหลวที่ได้จากการเตรียมผงโพลี-เมทจากกุ้ง แสดงพฤติกรรมของการไหลแบบ ซูโดพลาสติก (pseudoplastic fluid) หรือ shear thinning fluid ซึ่งเป็นของไหลประเภทนอนนิวตันเนียน (non-Newtonian fluid) ชนิดหนึ่ง คือเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนจะทำให้ความหนืดของของไหลลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำกราฟความหนืดมาใช้กับสมการ power law พบว่าค่า K มีค่าเท่ากับ $770.71 \text{ (Pa}\cdot\text{s}^n)$ เมื่อทำการแก้ไขค่า K และ n ออกทางพิมพ์แล้วจะแสดงเป็นค่าและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหนืด โดยพบว่าเมื่อค่า K เพิ่มค่าความหนืดก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้พบว่าค่า n มีค่าเท่ากับ 0.03 ซึ่งมีค่า < 1 เป็นการยืนยันว่า สารละลายตัวอย่างมีลักษณะการไหลแบบ ซูโดพลาสติก (pseudoplastic fluid) (ชาญยุทธ, 2562)

เมื่อพิจารณาค่า $\eta_{a,50}$ ที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที พบว่ามีค่าเท่ากับ 17.42 Pa·s (17,420 mPa·s) (ตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่าผงโคม-แมทจากกุ้งสามารถเพิ่มความหนืดของน้ำจากลักษณะ Thin liquid (1 mPa·s) (Sungshichai และคณะ, 2022) ให้แสดงลักษณะอาหารเหลวคล้ายพุดดิ้ง (pudding-like) ได้ ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่าผงโคม-แมทจากกุ้ง มีความสามารถในการเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบากได้



ภาพที่ 4.4 กราฟความหนืดของน้ำที่เตรียมจากผงโคม-แมทจากกุ้ง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนืดและลักษณะของอาหารเหลวข้นหนืดที่เตรียมจากผงโคม-แมทจากกุ้ง

ตัวอย่าง	$\eta_{a,50}$ (Pa·s)	ลักษณะของอาหาร
S5	17.42 ± 0.71	Pudding

หมายเหตุ : อัตราเฉือนที่ 50 ต่อวินาที (25 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองเมื่อนำโฟม-แมทที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติของโฟมพบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารมีผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟม-แมทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากสมบัติของสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยค่าที่ดีที่สุดคือตัวอย่าง S3 ที่มีส่วนประกอบของ GG เพียงชนิดเดียว และค่ารองลงมาคือตัวอย่าง S5 ในขณะที่ค่าของการระบายน้ำทุกตัวอย่างยกเว้นตัวอย่างควบคุม (S8) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การวัดสมบัติของผงโฟม-แมทจากกึ่งหลังการอบแห้งพบว่าค่า a_w ปริมาณความชื้น Bulk density Tapped density และค่าความสามารถในการละลาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.57-1.97 และค่า a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.17-0.22 ในขณะเดียวกันพบว่าชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้เกิดโฟมไม่ส่งผลต่อค่า Bulk density และค่า Tapped density เมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายพบว่า ตัวอย่าง S8 มีค่ามากที่สุด และ S5 มีค่ารองลงมา นอกจากนี้พบว่าค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นของผงร้อยละ 10 ค่าน้อยที่สุดที่บ่งบอกถึงความเสถียรคือตัวอย่าง S1 และค่ารองลงมาคือตัวอย่าง S5 ไม่นับตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ตัวอย่าง S1 ถึง S7 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามตัวอย่างควบคุม มีการตกตะกอนเกิดขึ้นทั้งสองความเข้มข้น

เมื่อพิจารณาค่าต่างๆ พบว่าตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก คือตัวอย่าง S5 ที่มีส่วนประกอบของ XG CMC และ GG ที่ 0.0833 0.0833 และ 0.3333 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าน้ำที่ผสมผงโฟม-แมทจากกึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก และมีค่าความหนืดเท่ากับ 17,420 mPa·s ที่อัตราเฉือน 50 ต่อวินาที ด้วยลักษณะของอาหารเหลวข้นหนืดแบบพุดดิ้ง (Pudding-like) ดังนั้นผงโฟม-แมทจากกึ่งมีความสามารถในการนำมาเป็นอาหารสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบากได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งแบบโฟม-แมทเพื่อให้กระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติของโปรตีนของกึ่งเพื่อให้ได้ผงกึ่งที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

5.2.3 ควรใช้อุปกรณ์ในการทดลองที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างราบรื่นและใช้เวลาสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 ควรศึกษาสารที่ทำให้เกิดโฟมเพิ่มเติม เพื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นและชนิดของสารต่อกระบวนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กูรอซียะห์ ยามิรุเต็ง. (2563). ผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของแผ่นแป้งขนมบัวในระหว่าง การเก็บรักษา. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- ไชยภร เก็บเงิน, ลลิตา ศิริพัฒนานนทตันโซ และอินทรา ลิจันทร์พร. 2562. ผลของสารก่อโคมต่อคุณภาพทาง กายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำข้าวข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมดื่มสำเร็จรูป. หน้า 673- 682. ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ดุขฎี สุริยพรรณพงศ์ ศุภิมน ตันวิเชียร จิตติมา มานะกิจ และ ดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล. (2557). การสกัดและ ประเมินคุณลักษณะของเฮลลูโลสจากขานอ้อย ผักตบชวา และธูปฤๅษี. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ.
- นายกรกวี ศรีอินทร์. (2559). การศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในระบบปิดในพื้นที่ อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พัชรวีร์ ทั่นละกิจ และ ณัฐติยา สุคนธกนิษฐ์. (2554). อาหารฝึกกลืน. ฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลรามาริบัติ. พระสวรรค์ โพธิ์สว่าง, นันทวัน วโรทัย, สุภาพร กิติหาล้า, ศรัณญา ชันธเดช, ชมพูนุช พงษ์อัคคีรา และ เนตรนภิสวีพัฒนสุชาติ. (2560). คู่มือชุดรายการอาหารไทยสำหรับผู้มีภาวะกลืนลำบาก กรุงเทพมหานคร: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พันธวิทย์ นทกุล และ นุรักษ์ เมืองสงวน. (2564). การวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนระดับสูงของยาโมโนโคลนอล แอนติบอดีโดยวิธี Circular Dichroism Spectroscopy. สถาบันชีววัตถุ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.
- วิรุณ โมณะตระกูล สมสงวน ปัสสาโก พลเทพ เวงสูงเนิน และ พรณรงค์ สิริปิยะสิงห์. (2561). การออกแบบ และพัฒนาเครื่องอบแห้งใช้อากาศร้อนแบบถาดหมุนเพื่อใช้ในการผลิตอาหารแห้งเชิงพาณิชย์. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- ศิริเดช บุญแสง และ คมกฤษ จักขุคำ. (2562). อุปกรณ์ต้นแบบระดับอุตสาหกรรมเพื่อการสังเคราะห์คาร์บอก ซีเมทิลเฮลลูโลส. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศิริรัตน์ ปานอุทัย โรจน์ จินตนาวัฒน์ ฐิตินันท์ ดวงจินา. (2563). การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะกลืนลำบาก. คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สถาพร นิมกุลรัตน์. 2548. สารเพิ่มความหนืด. หน้า 85-94. เอกสารประกอบการสอน กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สรารุฒิ ดาแก้ว ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา พรพิชญ์ ธรรมปัทม์ ศนันธร พิชัย ปารีชาติ ราชมณี และ ญาณิดา โพธิ์รัตน์โส. (2560). การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม รังสีอินฟราเรดและลมร้อน. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2555). สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน-functional-properties-of-protein. [Online].
 ค้นวันที่ 15 พฤษภาคม 2566. จาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1276/สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน-functional-properties-of-protein#disqus_thread
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2553). dried food / อาหารแห้ง. [Online]. ค้นวันที่ 16 พฤษภาคม 2566. จาก
https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1276/สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน-functional-properties-of-protein#disqus_thread
- ยุพินทรา. 2550. ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว.
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.
- ศิริพร สอนสมบูรณ์สุข. 2561. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะตูมผงสำเร็จรูปด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ. คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- Abbasi, E., & Azizpour, M. (2016). Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried
 sour cherry powder. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 105-110.
 doi:10.1016/j.lwt.2015.12.004
- Adeyeye, E., & Aremu, M. O. (2016). Chemical composition of whole shrimp, flesh and shell
 of *Pandalus borealis* from Lagos Atlantic Ocean. *FUW Trends in Science & Technology
 Journal*, 1(1), 26-32.
- Azizpour, M., Mohebbi, M., & Khodaparast, M. H. H. (2016). Effects of foam-mat drying
 temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder.
Innovative Food Science & Emerging Technologies, 34, 122-126.
 doi:10.1016/j.ifset.2016.01.002
- Azizpour, M., Mohebbi, M., Yolmeh, M., Abbasi, E., & Sangatash, M. M. (2017). Effects of
 different hydrocolloids on foaming properties of shrimp puree: a cluster analysis.
Journal of Food Measurement and Characterization, 11(4), 1892-1898.
 doi:10.1007/s11694-017-9571-9
- Careche, M., Herrero M., Rodriguez-Casado A., Del Mazo M. L., and Carmona P. (1999).
 Structural Changes of Hake (*Merluccius merluccius* L.) Fillets: Effects of Freezing and
 Frozen Storage. *Journal agricultural food chemistry*, 47, 952-959.
- Duppeti, H., Manjabhatta, S. N., & Kempaiah, B. B. (2023). Physicochemical, structural,
 functional and flavor adsorption properties of white shrimp (*Penaeus vannamei*)
 proteins as affected by processing methods. *Food Res Int*, 163, 112296.
 doi:10.1016/j.foodres.2022.112296

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งการข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Faria, S., de Oliveira Petkowicz, C. L., de Moraes, S. A. L., Terrones, M. G. H., de Resende, M. M., de França, F. P., & Cardoso, V. L. (2011). Characterization of xanthan gum produced from sugar cane broth. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 469-476. doi:10.1016/j.carbpol.2011.04.063
- Gao, J., Shi, Q., Ye, Y., Wu, Y., Chen, H., & Tong, P. (2022). Effects of guar gum or xanthan gum addition in conjunction with pasteurization on liquid egg white. *Food Chem*, 383, 132378. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132378
- Hamzeh, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, S.-A., Ahmadi, M., & Regenstein, J. M. (2019). Effects of Drying Condition on Physico-chemical Properties of Foam-mat Dried Shrimp Powder. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(7), 794-805. doi:10.1080/10498850.2019.1640817
- Hardy, Z., & Jideani, V. A. (2017). Foam-mat drying technology: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 57(12), 2560-2572. doi:10.1080/10408398.2015.1020359
- Kamali, R., Dadashi, S., Dehghannya, J., & Ghaffari, H. (2022). Numerical simulation and experimental investigation of foam-mat drying for producing banana powder as influenced by foam thickness. *Applied Food Research*, 2(1). doi:10.1016/j.afres.2022.100075
- KOÇ, G. Ç., & Çabuk, B. (2020). Characterization of the foam-mat dried egg white powder. *Gıda*, 45(1), 150-160.
- Kunyanee, K., & Sungin, P. (2018). The effect of gur gum on the qualities of gluten free crispy waffle from sweet purple potato flour. *Dusit Thani College Journal*, 13(1), 315-329.
- Orishagbemi, C., Ichado, I., & Sanda, M. (2017). Physical, functional and sensory properties of foam mat dehydrated whole egg powder. *Journal of Scientific Research and Reports*, 15(3), 1-7.
- Lasekan, A. O., & Nayak, B. (2016). Effects of buffer additives and thermal processing methods on the solubility of shrimp (*Penaeus monodon*) proteins and the immunoreactivity of its major allergen. *Food Chem*, 200, 146-153. doi:10.1016/j.foodchem.2016.01.015
- Li, J., Dai, Z., Chen, Z., Hao, Y., Wang, S., & Mao, X. (2023). Improved gelling and emulsifying properties of myofibrillar protein from frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by high-intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 135. doi:10.1016/j.foodhyd.2022.108188
- Ma, J., Chen, H., Chen, W., Wu, J., Li, Z., Zhang, M., ... Chen, W. (2022). Effects of heat treatment and pH on the physicochemical and emulsifying properties of coconut
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Cocos nucifera L.) globulins. *Food Chemistry*, 388, Article 133031. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133031>

- Misha, S., Mat, S., Ruslan, M. H., Sopian, K., & Salleh, E. (2013). The Prediction of Drying Uniformity in Tray Dryer System using CFD Simulation. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 3(5), 419-423. doi:10.7763/ijmlc.2013.V3.352
- Nor Hayati, I., Wai Ching, C., & Rozaini, M. Z. H. (2016). Flow properties of o/w emulsions as affected by xanthan gum, guar gum and carboxymethyl cellulose interactions studied by a mixture regression modelling. *Food Hydrocolloids*, 53, 199-208. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.04.032
- Rafe, A., & Razavi, S. M. A. (2015). Effect of Thermal Treatment on Chemical Structure of *B*-Lactoglobulin and Basil Seed Gum Mixture at Different States by ATR-FTIR Spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 18(12), 2652-2664. doi:10.1080/10942912.2014.999864
- Rouessac, F., and Rouessac, A. 2008. *Chemical Analysis: Modern Instrumentation Methods and Techniques*. (2nd edition). West Sussex, England: John Wiley & Sons. Pp. 373.
- Shivu, B., Seshadri, S., Li, J., Oberg, K. A., Uversky, V. N., & Fink, A. L. (2013). Distinct beta-sheet structure in protein aggregates determined by ATR-FTIR spectroscopy. *Biochemistry*, 52(31), 5176-5183. doi:10.1021/bi400625v
- Simiqueli, A. A., Vidigal, M., Minim, V. P. R., & Minim, L. A. (2019). Ovalbumin and guar gum foam and its surface properties as influenced by sucrose and sorbitol. *Int J Biol Macromol*, 135, 226-232. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.05.140
- Sousa e Silva, J. P., Splendor, D., Goncalves, I. M., Costa, P., & Sousa Lobo, J. M. (2013). Note on the measurement of bulk density and tapped density of powders according to the European Pharmacopeia. *AAPS PharmSciTech*, 14(3), 1098-1100. doi:10.1208/s12249-013-9994-5
- Spieker, M. R. (2000). Evaluating dysphagia. *American Family Physician*, 61(12), 3639-3648.
- Sura, L., Madhavan, A., Carnaby, G., & Crary, M. A. (2012). Dysphagia in the elderly: management and nutritional considerations. *Clinical interventions in aging*, 287-298.
- Suet Li, T., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., & Ramli, S. (2021). Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids*, 116. doi:10.1016/j.foodhyd.2020.106492
- Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Wattanapan, P., Charoenchaitrakool, M., & Devahastin, S. (2019). Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of

Dysphagia Foods: A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 18(6), 1898-1912.
doi:10.1111/1541-4337.12495

Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Wattanapan, P., Charoenchaitrakool, M., & Devahastin, S. (2022). Spray drying of non-chemically prepared nanofibrillated cellulose: Improving water redispersibility of the dried product. *Int J Biol Macromol*, 207, 434-442.
doi:10.1016/j.ijbiomac.2022.02.153

Susanti, D. Y., Sediawan, W. B., Fahrurrozi, M., & Hidayat, M. (2021). Foam-mat drying in the encapsulation of red sorghum extract: Effects of xanthan gum addition on foam properties and drying kinetics. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(4), 270-279. doi:10.1016/j.jssas.2021.02.007

Yilmaz, H., Yilmaz, U. (2007). Electrorheological properties of talc powder/silicone oil suspensions under DC fields. *Chinese Journal of Polymer Science*, 25(3), 245-252.
doi:10.1142/S0256767907002072

Zhang, F.-X., Wang, G.-Y., Huang, H.-Y., Chen, M.-H., Zhang, S.-J., Su, B., & Zhang, C.-L. (2021). Terahertz absorption characteristics of guar gum determined via microfluidic technology. *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications*, 17(1).
doi:10.1186/s41476-021-00162-x

Zhang, J., Yao, Y., Ye, X., Fang, Z., Chen, J., Wu, D., . . . Hu, Y. (2013). Effect of cooking temperatures on protein hydrolysates and sensory quality in crucian carp (*Carassius auratus*) soup. *J Food Sci Technol*, 50(3), 542-548. doi:10.1007/s13197-011-0376-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของโฟม (กรัมต่อมิลลิลิตร)

สูตรการคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = \frac{\text{น้ำหนักของโฟม (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของโฟม (มิลลิลิตร)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ :

น้ำหนักของโฟม =	35.165 กรัม	
ปริมาตรของโฟม =	50 มิลลิลิตร	

จะได้ว่า

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = \frac{35.165 \text{ (กรัม)}}{50 \text{ (มิลลิลิตร)}} = 0.7033$$

ก.2 การคำนวณหาค่า Bulk density (กรัมต่อมิลลิลิตร)

สูตรการคำนวณ

$$\text{bulk density} = \frac{\text{น้ำหนักของสารที่ใช้ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรหลังเทสารใส่กระบอกตวง (มิลลิลิตร)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ :

น้ำหนักของสารที่ใช้	= 3.0413 กรัม	
ปริมาตรหลังเทสารใส่กระบอกตวง	= 5.25 มิลลิลิตร	

จะได้ว่า

$$\text{bulk density} = \frac{3.0413 \text{ (กรัม)}}{5.25 \text{ (มิลลิลิตร)}} = 0.5793$$

ก.3 การคำนวณหาค่า Tapped density (กรัมต่อมิลลิลิตร)

สูตรการคำนวณ

$$\text{Tapped density} = \frac{\text{น้ำหนักของสารที่ใช้ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรหลังกระทบกระบอกตวงเสร็จ (มิลลิลิตร)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ :

น้ำหนักของสารที่ใช้	= 3.0207 กรัม	
ปริมาตรหลังกระทบกระบอกตวงเสร็จ	= 4.75 มิลลิลิตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จะได้ว่า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Tapped density} = \frac{3.0207 \text{ (กรัม)}}{4.75 \text{ (มิลลิลิตร)}} = 0.6359$$

ก.4 การคำนวณหาค่าการละลาย (ร้อยละ)

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละความสามารถในการละลาย} = \left(\frac{\text{น้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมหลังอบ} - \text{น้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมเปล่า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}} \right) \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ :

น้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมหลังอบ	= 1.304 กรัม
น้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมเปล่า	= 1.177 กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	= 1.0043 กรัม

จะได้ว่า

$$\text{ร้อยละความสามารถในการละลาย} = \left(\frac{1.304 - 1.177}{1.0043} \right) \times 100 = 12.6456$$

ก.5 การคำนวณหาค่าร้อยละอัตราส่วนของการตกตะกอน (ร้อยละ)

สูตรการคำนวณ

$$\text{Sedimentation ratio (ร้อยละ)} = \left(\frac{\text{ค่าความสูงของชั้นน้ำที่แยกออกมาเป็นส่วนใส}}{\text{ค่าความสูงของตะกอนที่แยกออกมา} + \text{ค่าความสูงของชั้นน้ำที่แยกออกมาเป็นส่วนใส}} \right) \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ :

ค่าความสูงของชั้นน้ำที่แยกออกมาเป็นส่วนใส	= 1.5 เซนติเมตร
ค่าความสูงของตะกอนที่แยกออกมา	= 1.1 เซนติเมตร

จะได้ว่า

$$\text{Sedimentation ratio (ร้อยละ)} = \left(\frac{1.5}{1.1 + 1.5} \right) \times 100 = 57.6932$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เครื่องมือและวิธีการ



ภาพที่ ข.1 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Eppendorf รุ่น 5804R)

วิธีการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์ ON/OFF ทางด้านขวามือของตัวเครื่อง จากนั้นกดปุ่ม Power เพื่อเริ่มการใช้งาน
2. เปิดฝาเครื่องใส่หัว Rotor ตามขนาดหลอด 50 ml ปิดฝาเครื่องจากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จำนวนรอบ 5000 รอบต่อนาที และเวลาที่ 15 นาที
3. โดยการตั้งค่าอุณหภูมิ ความเร็ว และเวลา ทำโดยกดปุ่มที่ต้องการตั้งแต่ค่าค้างไว้ เมื่อตัวเลขกระพริบแล้วจึงกดปุ่มลูกศรเพื่อปรับค่าตามที่ต้องการ รอจนตัวเลขไม่กระพริบถือว่าเสร็จสิ้นการตั้งค่า
4. นำตัวอย่างใส่ลงในหลอด เปิดฝาเครื่องและนำตัวอย่างใส่ลงในช่องอะแดปเตอร์ทั้ง 7 ช่อง ให้น้ำหนักเท่าๆกัน จากนั้นปิดฝาเครื่อง และกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการใช้งาน
5. เมื่อเครื่องทำงานครบเวลาแล้ว ปุ่ม Open จะมีไฟขึ้นจึงจะสามารถเปิดฝาเครื่อง และนำตัวอย่างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

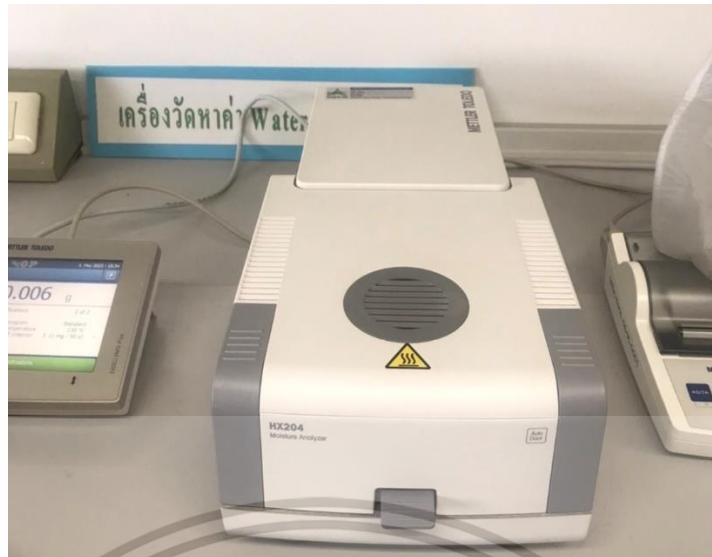


ภาพที่ ข.2 เครื่องวัดวอเตอร์แอกทีวิตี (Water Activity (a_w) AQUA LAB รุ่น 4TE)

วิธีการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์ ON/OFF ที่ด้านหลังเครื่องเพื่อทำให้เครื่องเริ่มทำงาน
2. เลื่อนสวิตช์ READ/OPEN อยู่บนเครื่องไปด้านขวา เพื่อเปิดฝาเครื่องสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. จากนั้นนำตัวอย่างซึ่งแล้วใส่ในตลับสำหรับการวัดวอเตอร์แอกทีวิตี แล้วจึงเปิดฝาชของเครื่อง
4. นำตัวอย่างใส่ลงในช่องสำหรับวัดค่าวอเตอร์แอกทีวิตี จากนั้นปิดฝาแล้วเลื่อนสวิตช์ READ/OPEN ไปทางด้านซ้ายมือเพื่ออ่านค่าของตัวอย่างเป็นแบบอัตโนมัติ
5. หลังจากอ่านค่าเสร็จเครื่องจะส่งสัญญาณเตือน 3 ครั้ง และแสดงสัญลักษณ์แผ่นบันทึก (Diskette) เป็นอันเสร็จสิ้นการวัดค่า จากนั้นเลื่อนสวิตช์ READ/OPEN ไปทางขวามือและเปิดฝานำตัวอย่างออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

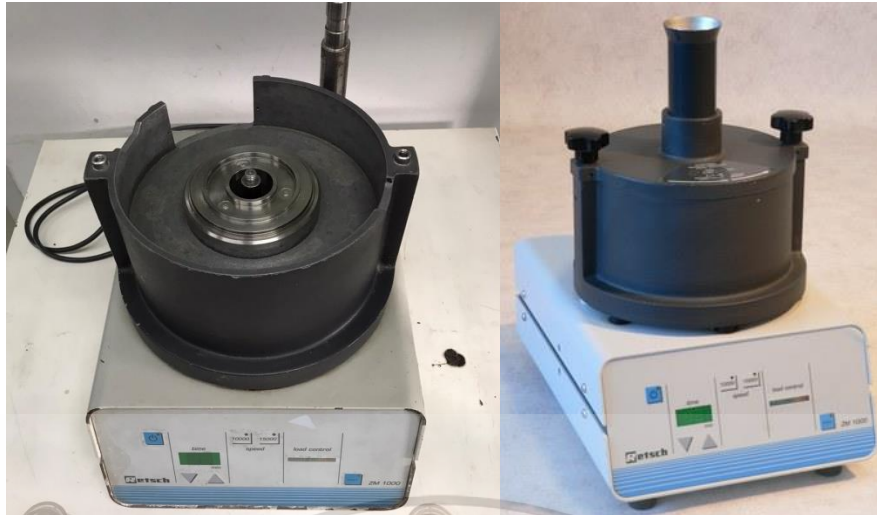


ภาพที่ ข.3 เครื่องวัดค่าปริมาณความชื้น (Moisture Halogen Mettler: Toledo รุ่น HX204)

วิธีการใช้งาน

1. เปิดเครื่องสำรองไฟแล้วเสียบปลั๊กเครื่อง Moisture Halogen จากนั้นเปิดสวิตช์ Power ที่ด้านหลังเครื่อง จากนั้นเครื่องจะเปิดโดยอัตโนมัติ
2. เมื่อเปิดเครื่องเสร็จ ทำการเปิดฝาสำหรับใส่ตัวอย่างในการวัดค่าปริมาณความชื้น โดยการเปิดปุ่ม OPEN ที่หน้าจอของเครื่อง
3. หลังจากเปิดฝาแล้วทำการตั้งชื่อของตัวอย่างที่ต้องการวัดและรอบของการทำซ้ำ เพื่อเป็นการบันทึกไม่ให้ข้อมูลสูญหาย
4. หลังจากนั้นทำการวางถาดรองสำหรับใส่ตัวอย่าง ลงไปในช่องของเครื่องและกดปุ่ม Tare ที่หน้าจอเครื่องเพื่อหักค่าน้ำหนักของถาดออกไป
5. นำตัวอย่างที่ต้องการวัดเทลงบนถาดที่ทำกร Tare แล้ว ตัวเลขค่าน้ำหนักจะปรากฏบนหน้าจอของเครื่อง เมื่อได้น้ำหนักที่คงที่แล้ว กดปุ่ม Start drying บนหน้าจอเพื่อทำการวัดค่าปริมาณความชื้น ตัวฝาเครื่องจะปิดลงและทำการวัดปริมาณความชื้นโดยอัตโนมัติ
6. เมื่อวัดค่าเสร็จจะเปิดฝาทัวเองโดยอัตโนมัติ และแสดงค่าปริมาณความชื้นที่หน้าจอของเครื่อง จากนั้นจดบันทึกข้อมูล นำตัวอย่างและถาดรองออกจากตัวเครื่อง และทำการปิดฝาของเครื่องโดยกดปุ่มที่หน้าจอก่อนอันเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.4 เครื่องบดแบบแท่ง Pin mil (Retsch grinder รุ่น ZM1000)

วิธีการใช้งาน

1. เมื่อประกอบอุปกรณ์ของเครื่องเสร็จแล้วทำการเสียบปลั๊กเครื่อง Pin mil และเปิดสวิตช์ Power ที่ด้านหลังเครื่อง และกด ปุ่มเปิด/ปิด ที่ด้านหน้าของเครื่อง
2. เมื่อเปิดเครื่องแล้ว ทำการตั้งจำนวนรอบของเครื่องและเวลาที่ต้องการบด โดยกดปุ่มที่ด้านหน้าของเครื่อง
3. หลังจากตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว ทำการกดปุ่ม Start ที่ด้านหน้าเครื่องเพื่อให้เครื่องทำงาน นำตัวอย่างเทลงบนกรวยด้านบนของเครื่อง ตัวอย่างจะค่อยๆไหลไปในตัวเครื่องและถูกบดจนละเอียด ในขั้นตอนนี้ควรเทช้าๆ ด้วยความระมัดระวัง ไม่ให้แถบสีแจ้งเตือนของเครื่องขึ้นเกินสีเหลือง เพื่อไม่ให้เครื่องเสียหายชำรุดได้
4. หลังจากบดตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดแล้ว กด ปุ่มเปิด/ปิด ที่ด้านหน้าของเครื่อง เครื่องจะหยุดทำงาน และถอดชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องออก แล้วจึงนำตัวอย่างที่อยู่ภายในเครื่องออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ภาพขณะดำเนินงานวิจัย



ภาพ ค.1 ภาพขณะบั่นกุ้งให้เป็น puree



ภาพ ค.2 ภาพขณะตีส่วนผสมให้เป็นโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ค.3 ภาพขณะอบแห้งของโฟม-แมทจากกึ่ง



ภาพ ค.4 ภาพตัวอย่างของผงโฟม-แมทจากกึ่งหลังนำไปอบแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาการศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยบูรพา
ภาพ ค.5 ภาพตัวอย่างของการวัดค่า Foam density และ Drainage volume
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ค.6 ภาพตัวอย่างของการวัดอัตราส่วนของการตกตะกอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายทาเคชิ ตลาดเงิน
วัน เดือน ปี เกิด	27 มีนาคม 2543
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2
ปัจจุบัน	ปัจจุบันกำลังศึกษาในคณะอุตสาหกรรมอาหาร หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทำงานวิจัย	การผลิตกุ้งผงโดยใช้การทำแห้งแบบโฟมเมทเพื่อผู้ป่วยโรคภาวะกลืนลำบาก Production of shrimp powder using foam mat drying to patient Dysphagia
รางวัลที่เคยได้รับ	-
ชื่อ-นามสกุล	นายบรรหาร แซ่ไคว่
วัน เดือน ปี เกิด	5 เมษายน 2543
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก
ปัจจุบัน	ปัจจุบันกำลังศึกษาในคณะอุตสาหกรรมอาหาร หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทำงานวิจัย	การผลิตกุ้งผงโดยใช้การทำแห้งแบบโฟมเมทเพื่อผู้ป่วยโรคภาวะกลืนลำบาก Production of shrimp powder using foam mat drying to patient Dysphagia
รางวัลที่เคยได้รับ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้