

โครงการที่ 23/2562 (วศบ.อุตสาหกรรม)



ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ

นายศุภกร	ประภาเลิศ	รหัสนักศึกษา 580610547
นางสาวกชกร	เร็วการ	รหัสนักศึกษา 590610250

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงการ	ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ
โดย	นาย ศุภกร ประภาเลิศ รหัสนักศึกษา 580610547 นางสาว กชกร เรืองการ รหัสนักศึกษา 590610250
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิสสนัย วรธนัจฉริยา
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับ
 โครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงการ

.....	ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.วิสสนัย วรธนัจฉริยา)	

.....	กรรมการ
(รศ.ดร.ชนนถ กฤตวรกาญจน์)	

.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.วรพจน์ เสรีรัฐ)	

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อันเนื่องมาจากความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิสสนัย วรรณนัจฉริยา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผู้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาด้วยความเอาใจใส่ อีกทั้งกระตุ้น และติดตามการทำงานอยู่เสมอ ตลอดจนตรวจทาน และแก้ไขจนโครงการนี้ได้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ศิริรัตน์ เขียนแมน ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาในงานวิจัย ในการเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์เกี่ยวกับอาหารของผู้สูงอายุรวมถึงการใช้เครื่องมือในห้องทดลอง อีกทั้งให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติยา พุ่มศิริ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ในการใช้เครื่องพิมพ์สามมิติและการใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบและควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ อีกทั้งยังให้คำแนะนำเกี่ยวกับสูตรอาหาร และคุณลักษณะของอาหารที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป

ขอขอบคุณทุกๆ คนที่ได้เข้ามามีส่วนร่วมในงานวิจัย และให้กำลังใจให้คำปรึกษาโครงการนี้มาโดยตลอด จนโครงการวิจัยนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยถึง ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในโครงการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงการวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการวิจัยเล่มนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่สนใจ หากโครงการนี้บกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดทำต้องขอภัยและขอน้อมรับข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ทุกประการ

ศุภกร ประภาเลิศ
กชกร เรืองการ

หัวข้อโครงการ	ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ		
โดย	นาย ศุภกร ประภาเลิศ	รหัสนักศึกษา	580610547
	นางสาว กชกร เร็วการ	รหัสนักศึกษา	590610250
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิสสนัย วรรณนัจฉริยา		
ปีการศึกษา	2562		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดลองเพื่อหาแนวทางในการที่จะพัฒนาอาหารของผู้สูงอายุ โดยอาศัยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติเข้ามาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุ เน้นศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมทั้งด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความพึงพอใจในระดับความหวาน รวมถึงหาพารามิเตอร์ในการขึ้นรูปอาหารของผู้สูงอายุที่เหมาะสมโดยศึกษาวิธีออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k และค่ากลาง โดยมีระดับปัจจัย 2 ระดับ คือ ปัจจัยการทดลอง ได้แก่ อัตราการฉีดขึ้นรูป (สเตปต่อมิลลิเมตร) ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด (มิลลิเมตรต่อวินาที) และค่ากลางอีก 2 ค่า รวมเป็นจำนวนการทดลอง ($2^2 + 2$) เป็น 6 การทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำแบ่งการทดลองออกเป็น 3 บล็อก รวมการทดลองทั้งหมดเป็น 18 การทดลอง โดยกำหนดสารให้โปรตีนคงที่ 6.25 กรัม โดยมีผลการทดลองผลตอบเป็น ความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ขนาดรูปทรงของอาหารเหลวหลังการพิมพ์ขึ้นรูป และน้ำหนักของอาหารเหลว

จากการทดลองพบว่า การขึ้นรูปโดยเครื่องพิมพ์สามมิติจากอาหารเหลวสูตรที่ประกอบด้วย น้ำ 100 กรัม แป้งแปรรูป 16 กรัม สารให้ความหวาน 12 กรัม ผงโปรตีน 6.25 กรัม และสารแต่งกลิ่น 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบที่ได้จากการใช้เทคนิคการออกแบบพื้นผิวผลตอบ (RSM) เพื่อหาเงื่อนไขปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญด้วยฟังก์ชันผลตอบที่ดีที่สุด (Response Optimizer) จากโปรแกรมมินิแทบ ปัจจัยที่มีผลอย่างนัยสำคัญคือ อัตราการฉีดขึ้นรูป เท่ากับ 11.78 สเตปต่อมิลลิเมตร และ อัตราเร็วการพิมพ์ เท่ากับ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าเท่ากับ 0.98 โดยจะทำให้ให้น้ำหนักและปริมาตรของ ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดความคลาดเคลื่อน

Project Title	Appropriate Parameter Elderly Food Fabrication by 3D Printing Technology		
Name	Mr. Supakorn	Prapalert	code 580610547
	Mrs. Kotchakorn	Reawkarn	code 590610250
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University		
Project Adviser	Associate Professor Wassanai Wattanutchariya, Ph.D.		
Academic Year	2019		

ABSTRACT

This experiment was aimed of developing an elderly food by using an Additive Manufacturing called 3D Printing Technology. In order to form the elderly food, the project chiefly studied not only its ingredients, texture, taste but also satisfaction of respondents. For experimental study, 2-level Factorial Design with Center Point was utilized to determine an optimal solution. For experimental study, two-level Factorial Design with Center Point was utilized to determine an optimal solution. There are two factorial experiments including Feed rate (step per millimeter) and Print Speed (millimeter per second), plus two center points. There were 6 experiments of (2^2+2) as well as three replications which, therefore, are equivalent to eighteen experiments. The controlled invariables of protein, room temperature, and distance between Printing Plate and Nozzle were 6.25 gram. On top of that, dependent variables included weight, dimension, and specialist satisfaction.

The result of this project, by interweaved 100 g of Water, 6.25 gram of Protein, 12 gram of Syrup, 16 gram of Modified Starch, and 1 millimeter together then input the information of study in Minitab with Response Surface function, was the factor that had significant effect to this project were Feed Rate and Print Speed. The optimal solution of Feed Rate and Print Speed are 11.78 step per millimeter and 40.00 millimeter per second, respectively. There is 0.97 of composite desirability

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ	4
2.2 เครื่องวัดขนาดชิ้นงานละเอียดชนิดแสงเงา	6
2.3 เครื่องวัดความหยาบ	8
2.4 โพรตัส	8
2.5 การออกแบบการทดลอง (DOE)	9
2.6 แป้งแปรรูป (Modified Starch)	11
2.7 งานวิจัยในอดีต	13
2.8 ปัจจัยของเครื่องพิมพ์สามมิติ	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ศึกษาการพิมพ์ขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer)	18
3.2 เก็บข้อมูลการขาดสารอาหารจากผู้เชี่ยวชาญ	18
3.3 ศึกษาปัจจัยและสูตรอาหารสำหรับการพิมพ์ขึ้นรูป	19
3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีแบบแฟคทอเรียล 2 ^k	21
3.5 ทดลองขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุตามเงื่อนไข	23
3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ	27
3.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	27
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ	28
4.2 ผลการทำการทดลองขึ้นรูปในแต่ละระดับปัจจัยการทดลอง	29
4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมมินิแทป	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	39
5.2 ปัญหาข้อเสนอแนะ	41
5.3 ปัญหาและอุปสรรค	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการวัด และการเตรียมวัตถุดิบ	43
ภาคผนวก ข อาหารเหลวหลังจากการพิมพ์ขึ้นรูปโดยเครื่องพิมพ์สามมิติ	46
ภาคผนวก ค การประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญ	56
ภาคผนวก ง การใช้เครื่อง Profile Projector	59
ประวัติผู้เขียน	60

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	17
3.2	แสดงอัตราส่วนผสมของสูตรอาหาร	19
3.3	ตารางแสดงขนาดรูปทรงของอาหารเหลวที่ขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย	21
3.4	การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทีเรียลแบบ 2^k ด้วยโปรแกรมมินิแทป	22
4.1	คะแนนที่ได้รับของแต่ละสูตรอาหาร	28
4.2	ตารางแสดงขนาดรูปทรงของอาหารเหลวที่ขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย	29
4.3	แสดงการคำนวณหาปริมาตรรูปทรงในระดับปัจจัยต่างๆ	31
4.4	แสดงน้ำหนักของอาหารเหลวที่ขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย	32
4.5	แสดงผลสรุปแบบจำลองระหว่างน้ำหนัก อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์	33
4.6	แสดงผลสรุปแบบจำลองระหว่างปริมาตร อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์	34
4.7	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างน้ำหนัก อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์	34
4.8	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างปริมาตร อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์	35

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
ภาพ 1.1	แสดงภาพองค์ประกอบโดยรวมของเครื่องพิมพ์สามมิติ	2
ภาพ 2.1	เครื่องพิมพ์สามมิติ	4
ภาพ 2.2	เครื่องพิมพ์สามมิติระบบกระบอกฉีดยา	6
ภาพ 2.3	แสดงการทำงานของระบบเครื่อง Profile Projector	7
ภาพ 2.4	แสดงตัวอย่างภาพของเครื่องวัดชิ้นงานแสงเงา	7
ภาพ 2.5	เครื่องวัดความหวาน Brix Refractometer	8
ภาพ 2.6	ผงโปรตีนจากถั่วเหลือง	9
ภาพ 2.7	ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ	11
ภาพ 2.8	แป้งแปรรูปมันสำปะหลัง	12
ภาพ 2.9	โครงสร้างอะมิโลสและโครงสร้างอะมิโลเพคติน	12
ภาพ 2.10	แสดงถึงรูปร่างที่แตกต่างกันจากการขึ้นรูปด้วยการพิมพ์ 3 มิติของเจลน้ำมะนาว ในส่วนผสมของแป้งมันที่แตกต่างกัน (A = 10 กรัม/100 กรัม, B = 12.5 กรัม/ 100 กรัม C = 15 กรัม/100 กรัม, D = 17.5 กรัม/100 g, E = 20 g/100 กรัม)	13
ภาพ 2.11	แสดงการยุบตัวของมะเขือเทศบดที่เวลาแตกต่างกัน	15
ภาพ 2.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับขนาดของหัวฉีดและความเร็วกับขนาดของหัวฉีด	15
ภาพ 3.1	การทดลองใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ	18
ภาพ 3.2	เข้าร่วมประชุมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิจัย	19
ภาพ 3.3	ค่าความหวานของสูตรอาหารที่ได้คะแนนเยอะที่สุด	20
ภาพ 3.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเชื่อม กับ ค่าความหวาน	21
ภาพ 3.5	การออกแบบและการกำหนดค่าในโปรแกรมก่อนการพิมพ์ขึ้นรูป	23
ภาพ 3.6	แสดงการคนส่วนผสมทุกชนิดให้เข้ากัน	24
ภาพ 3.7	แสดงการทำให้สุกด้วยไมโครเวฟ	25
ภาพ 3.8	แสดงวิธีการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกน x และแนวแกน y	25
ภาพ 3.9	แสดงวิธีการวัดความสูง	26
ภาพ 3.10	แสดงการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน	26
ภาพ 4.1	พื้นผิวผลตอบของน้ำหนักระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์	36
ภาพ 4.2	กราฟโครงร่างน้ำหนัก ระหว่างอัตราเร็วการพิมพ์และอัตราการฉีดขึ้นรูป	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ภาพ 4.3	พื้นผิวผลตอบแทนของปริมาตร ระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์	37
ภาพ 4.4	กราฟโครงร่างปริมาตร ระหว่างอัตราเร็วการพิมพ์และอัตราการฉีดขึ้นรูป	38
ภาพ 4.5	Optimization Plot	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และ ที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ

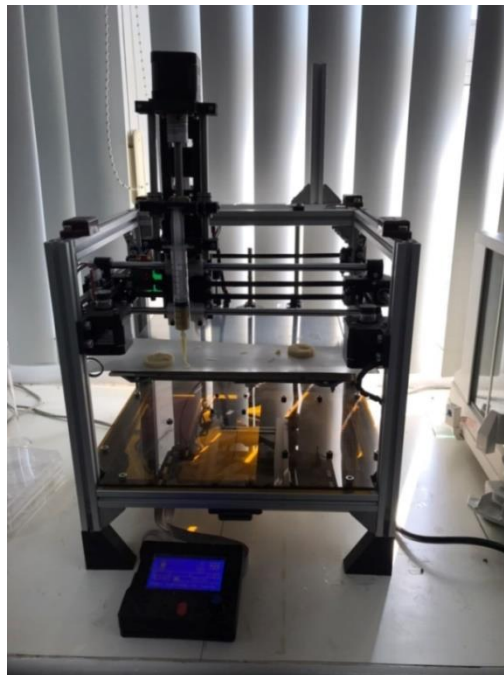
ปัจจุบันประเทศไทยเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยมีปริมาณมากขึ้นในทุกๆ ปีจากวารสารข้าราชการของคณะกรรมการที่รับผิดชอบงานด้านการบริหารทรัพยากรบุคคลภาครัฐได้มีการระบุไว้ว่าประเทศไทยเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุตั้งแต่ปี 2560 เนื่องจากประเทศไทยมีจำนวนประชากรที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปคิดเป็นร้อยละ 17.1 จะสังเกตได้ว่าผู้สูงอายุจำเป็นที่จะต้องได้รับการดูแลมากยิ่งขึ้น การได้รับอาหารที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวันเป็นสิ่งที่ไปได้ค่อนข้างยากเนื่องจากอายุที่มากขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของร่างกายและพฤติกรรมการรับประทานอาหารในชีวิตประจำวันไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน ซึ่งปริมาณสารอาหารในผู้สูงอายุไม่ต้องการแคลอรีมากเพราะมีการเคลื่อนไหวน้อย จึงต้องการอาหารประเภทไขมัน และคาร์โบไฮเดรตน้อยแต่ต้องการเหล็กและแคลเซียมมากเพื่อความแข็งแรงของกระดูก ควบคุมการทำงานของประสาทกล้ามเนื้อ และการแข็งตัวของโลหิต จึงนำเอาเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติเข้ามาใช้ในส่วนของอุตสาหกรรมอาหาร

เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printer) มีชื่อเรียกอีกอย่างคือ Additive Manufacturing คือการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการเติมเนื้อสารหรือวัสดุทีละชั้นๆ จนได้ออกมาเป็นรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งต่างจากแนววิธีการขึ้นรูปในแบบเดิมๆ อย่างเช่น การตัด การกลึง การไส การเจาะ การเจียรระไน โดยเครื่อง 3D Printer มีอยู่มากมายหลากหลายประเภทแต่ทุกประเภทจะมีหลักการมีวิธีการทำงานที่เหมือนกันนั่นก็คือการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นชั้นๆ โดยเริ่มจากชั้นล่างสุดค่อยๆ ขึ้นมาทีละชั้นจนได้ชิ้นงานเป็นรูปร่างที่ต้องการ มีขั้นตอนการทำงานที่แบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ๆ ขั้นตอนแรกคือขั้นตอนที่จะต้องทำการออกแบบสร้างรูปแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือนำไฟล์งานมาใส่แกน ขั้นตอนที่สองคือนำข้อมูลที่ได้นำใส่ในเครื่องพิมพ์สามมิติ ขั้นตอนที่สามคือปล่อยให้ระบบของเครื่องสร้างวัตถุชิ้นงานออกมาตามรูปแบบที่ต้องการ ประเทศไทยได้เริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ เข้ามาใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมการผลิต นับว่าเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายๆ อุตสาหกรรมตั้งแต่ กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์และทันตกรรม อุตสาหกรรมออกแบบ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ ไปจนถึงงานสถาปัตยกรรม เป็นต้น

ในอดีตมีการใช้การพิมพ์สามมิติค่อนข้างจำกัด เนื่องจากการติดสิทธิบัตรวิธีการพิมพ์สามมิติแบบต่างๆ และในเรื่องราวของเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีราคาค่อนข้างสูงเป็นอย่างมาก แต่ภายหลังจากการคุ้มครองสิทธิบัตรหมดลงประกอบกับมีโครงการโอเพนซอร์ส (Open Source) ของเครื่องพิมพ์สามมิติทำให้เครื่องพิมพ์สามมิติมีราคาถูกลงจนกระทั่งบุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้และนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างของโครงการโอเพนซอร์ส (Open Source) ในระยะแรกคือในปี 2001 มีโครงการเรปเรป (Reprap) เกิดขึ้นใน Barstow University ในประเทศอังกฤษโดย Dr. Adrian Bowyer โครงการดังกล่าวมีจุดประสงค์ในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติที่เหมือนตัวเองขึ้นมาเรื่อยๆ ผลจากโครงการนี้ทำให้มีเครื่อง 3D Printing ในราคาที่ถูกลงและจับต้องได้จนสามารถใช้ได้ในปัจจุบัน หลังจากโครงการนี้ก็มีอีกหลายๆ โครงการตามมา

เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printer) สามารถใช้พิมพ์อาหารที่เป็นประเภทสารให้ความหนืดได้ โดยการนำเอาสารอาหารประเภท โปรตีนไปผสมกับสารให้ความหนืดจะทำให้สามารถพิมพ์ขึ้นรูปอาหารที่มีรูปแบบที่เราต้องการได้และสามารถดึงดูดการรับประทานของผู้สูงอายุได้และอาจมีส่วนที่ส่งเสริมให้ผู้สูงอายุรับประทานอาหารมากขึ้น ซึ่งในส่วนนี้สามารถปรับแต่งได้ว่าผู้สูงอายุแต่ละคนต้องการปริมาณสารอาหารไม่เท่ากันการที่ผสมอาหารที่มีปริมาณสารอาหารให้เท่ากับแต่ละคนได้ จะมีปัจจัยของการพิมพ์สามมิติคือ ลักษณะความหนืดของอาหาร ปริมาณสารอาหารที่ต้องการ ความเร็วในการเคลื่อนแกน (x, y, z) และแรงกดอาหารหนืดในแนวแกน z

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค (Design of Experiment : DOE) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารสำหรับผู้สูงอายุ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปอาหาร 2 ปัจจัยคือ อัตราการฉีดขึ้นรูป ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด และกำหนดปัจจัยที่คงที่คือปริมาณโปรตีน ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานรองและอุณหภูมิห้อง เพื่อหาผลตอบของน้ำหนักและปริมาตรที่เหมาะสม



ภาพ 1.1 แสดงภาพองค์ประกอบโดยรวมของเครื่องพิมพ์สามมิติ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยการพิมพ์สามมิติ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาอาหารสำหรับผู้สูงอายุให้สอดคล้องต่อการนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์

สามมิติ

- 1.2.3 เพื่อประเมินคุณลักษณะผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 อาหารเหลวที่ศึกษาจะเลือกใช้วัตถุดิบจากโปรตีนซึ่งเป็นหมู่อาหารที่พบว่าผู้สูงอายุขาดเป็นจำนวนมาก
- 1.3.2 คุณลักษณะที่ใช้ในการประเมินผลิตภัณฑ์อาหารสามมิติ คือความแม่นยำของรูปทรงและน้ำหนักผลิตภัณฑ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับใช้ขึ้นรูปอาหารสำหรับผู้สูงอายุ
- 1.4.2 ได้อาหารสำหรับผู้สูงอายุที่สอดคล้องต่อการนำไปขึ้นรูปเครื่องพิมพ์สามมิติ
- 1.4.3 ทราบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่ขึ้นรูปโดยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ

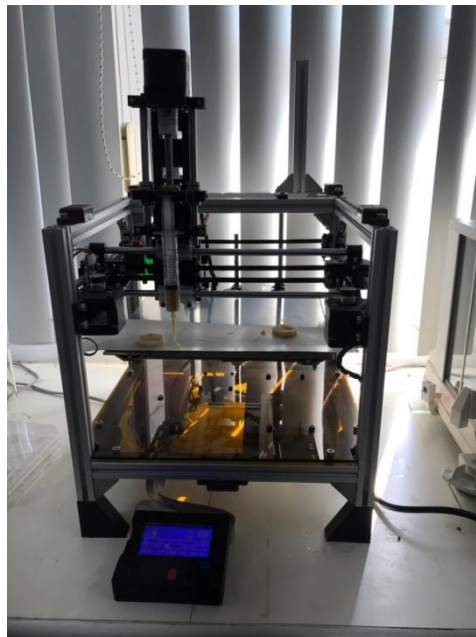
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ

2.1.1 เครื่องพิมพ์สามมิติ

เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ เป็นการพิมพ์วัสดุโดยใช้เทคนิคการพิมพ์ซ้อนทับลงไปเรื่อย ๆ จนเกิดเป็นรูปทรง 3 มิติ ที่สามารถจับต้องได้ โดยมีต้นแบบมาจากการพิมพ์ 2 มิติ ที่ประกอบไปด้วยมิติของความกว้างและความยาว (x y) แต่การพิมพ์สามมิติ เป็นการขึ้นรูปวัสดุสามมิติซึ่งประกอบด้วยมิติของความกว้าง ความยาว และความสูง (x y z) ดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 เครื่องพิมพ์สามมิติ

2.1.2 องค์ประกอบเครื่องพิมพ์สามมิติ

องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน หัวฉีด และฐานที่ออกแบบมาจากรูปทรงคาทีเซียน ซึ่งหัวฉีดของเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นมีได้ทั้งหัวฉีดแบบเดี่ยว (Single Nozzle) และหัวฉีดแบบคู่ (Dual Nozzle)

2.1.3 เงื่อนไขในการขึ้นรูป

สำหรับเงื่อนไขของการขึ้นรูปอาหารด้วยการพิมพ์ 3 มิตินั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติทางเคมี กายภาพของอาหารเท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับ ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด อัตราการเร็วของการฉีด เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ความสูงในแต่ละชั้น ความสูงของหัวกระบอกฉีด และ อุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งค่าเหล่านี้มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการพิมพ์ขึ้นรูปอาหารและมีผลต่อคุณภาพของอาหาร ในขั้นสุดท้าย (End-product) อุณหภูมิของหัวฉีดมีผลต่อการกำหนดการไหล กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ก็จะสามารถลดความหนืดของของเหลวลงได้

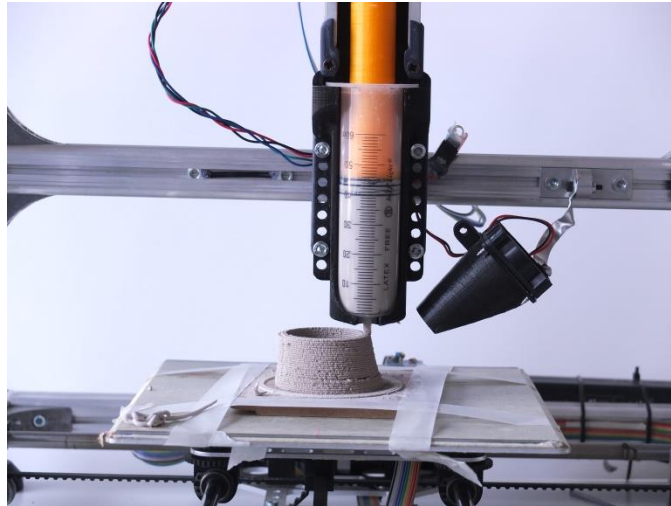
การฉีดสารกึ่งแข็งกึ่งเหลวหรือวัสดุที่เป็นของแข็ง (Material Extrusion) แล้วถูกทำให้ หลอมเหลวให้เป็นชั้นๆ ให้เกาะกันเป็นชิ้นงานวิธีการที่เป็นที่นิยมคือระบบฉีดพลาสติก (Fused Deposition modeling FDM)

2.1.4 หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

หลักการทำงานของ FDM เริ่มจากการวาดโมเดลสามมิติ (ไฟล์ 3D CAD) ในคอมพิวเตอร์ ก่อนเมื่อได้ไฟล์ชิ้นงาน 3D มาแล้วก็นำไปเข้าโปรแกรม CAM ที่เรียกว่าโปรแกรม Slicer ซึ่งจะทำการ หั่นหรือ slice โมเดลสามมิติเป็นแผ่นๆ หรือเลเยอร์และสร้างชุดคำสั่ง (เรียกว่า G-code) เพื่อบอก เครื่อง 3D Printer ว่าชิ้นงานนี้ต้องพิมพ์อย่างไร โดยเราสามารถกำหนดค่าการพิมพ์ต่างๆใน ซอฟต์แวร์ได้ เช่นความละเอียดของการพิมพ์ วัสดุที่ใช้ ความเร็วในการพิมพ์ เป็นต้น หลังจากที่ทำ การหั่นไฟล์เป็นเลเยอร์และกำหนดค่าต่างๆ เรียบร้อย เราก็สามารถส่งคำสั่งไปที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อเริ่มต้นการพิมพ์ เครื่องพิมพ์จะทำการหลอมละลายเส้นพลาสติกที่ป้อนเข้าไปในเครื่องและฉีดเส้น พลาสติกลงบนฐานพิมพ์ โดยหัวฉีดจะเคลื่อนที่ไปตามรูปทรงของเลเยอร์นั้นๆ หลังจากเสร็จจากเลเยอร์แรกแล้วก็จะทำการฉีดเลเยอร์ถัดไปซ้อนกัน กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนได้เป็นวัตถุที่เรา ต้องการ จะเห็นได้ว่ากระบวนการนี้เหมือนการวาดรูปสองมิติหลายๆ แผ่นแล้วนำมาวางซ้อนกันจนได้ เป็นชิ้นงานสามมิติ

2.1.5 ระบบฉีดสารด้วยกระบอกฉีดยา (Syring Pump Extruders)

ใช้หลักการเดียวกันกับระบบฉีดพลาสติก เพียงแต่จะใช่การกดกระบอกฉีดยาให้ฉีดสาร ออกมาแทนการหลอมวัสดุ วัสดุที่ใช้จะเป็นอาหารที่มีความหนืดสูงหรืออาหารเหลวรูปแบบเจล มัก นำไปใช้กับการพิมพ์อาหาร เป็นต้น ดังภาพ 2.2



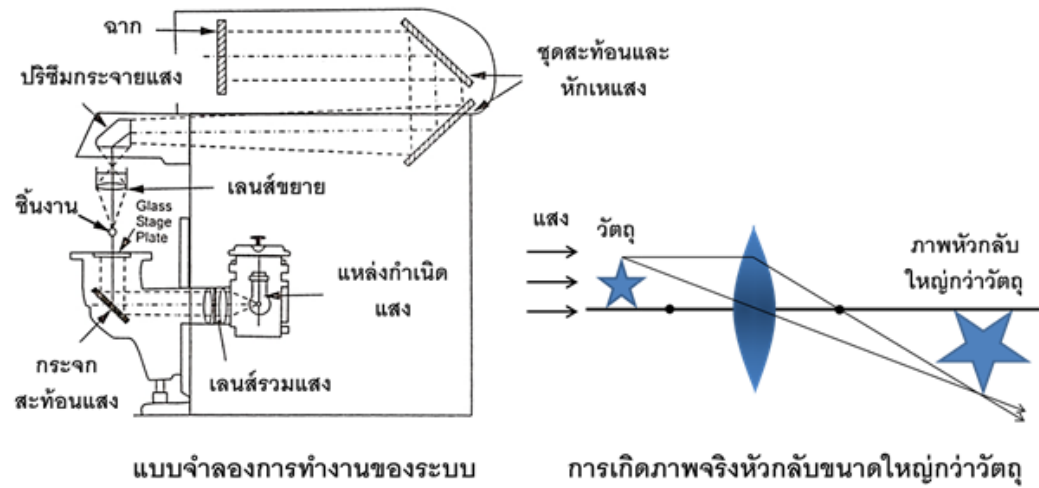
ภาพ 2.2 เครื่องพิมพ์สามมิติระบบฉีดสารกระบอกรีต
ที่มา <https://www.thingiverse.com/thing:482873/files>

2.2 Profile Projector เครื่องวัดขนาดชิ้นงานละเอียดชนิดแสงเงา

Profile Projector เป็นเครื่องวัดชิ้นงาน หรือตรวจสอบชิ้นงาน อย่างละเอียด โดยโปรไฟล์ตัวนี้จะแสดงเป็นชนิดแสงเงา เป็นเครื่องวัดชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูง แตกต่างกับเครื่อง Video Measuring Machine ตรงที่ เครื่องนี้ตามหลักการแล้ว ฉายแสงออกมาเป็นขาวและดำ เท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชิ้นงานและปัจจัยหลักในการใช้เครื่องมากกว่า เครื่องโปรไฟล์ Profile Projector นั้นสามารถให้ค่าความละเอียดสูงสุดถึงระดับ ไมครอน ด้วยหลักการใช้เลนส์ขยายและใช้แสงเป็นตัวช่วยในการฉายภาพของชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้มันต้องแสดงผลบน หน้าจอ Screen ในการอ่านค่าสามารถขยายชิ้นงานและวัดขนาดวัตถุจากแสงและเงาที่ฉายลงไปบนฉาก ทำให้ส่องขยายชิ้นงานนั้นๆ ได้ใหญ่ขึ้น กว้างขึ้น สามารถส่องได้ทุกรายละเอียดของชิ้นงาน แต่แสดงผลเป็นแสงและเงา โดยปกติแล้ว ฉากของโปรไฟล์ Profile Projector นั้น ฉากจะมีเส้นๆ แสดงขนาด ซึ่งเส้นเหล่านี้ เราเรียกกันว่า Grid มีส่วนช่วยในการกะขนาดและวัดระยะของชิ้นงานได้อย่างมั่นใจการวัดค่าส่วนต่างๆของโปรไฟล์ โปรเจ็คเตอร์ Profile Projector นั้น มีส่วนที่ซับซ้อนหลายอย่างมาก ทั้งนี้สามารถวัดและส่องส่วนต่างๆที่เป็น มุมตัด และพื้นผิวที่มีความโค้งได้ และมีความเสถียรและสม่ำเสมอ โดยจำแนกการวัดชิ้นงานได้อย่างแม่นยำภายใต้เงื่อนไขที่ว่า "แสงและเงา" เท่านั้น

เป็นเครื่องมือวัดละเอียด สำหรับวัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ความละเอียดของเครื่องอยู่ในระดับ 1 ไมครอน (= 0.001 มิลลิเมตร) โดยแสดงผลภาพเป็นแบบเงาของวัตถุในรูปแบบ 2 มิติ บนฉากรับภาพหลักการของเครื่อง จะใช้หลักการสะท้อน และการหักเหของแสง ผ่านม่านกระจกเงา ตัวเลนส์เข้าสู่ฉากรับภาพ โดยแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องจะถูกฉายผ่านตัววัตถุหรือชิ้นงาน ทำให้เกิดเป็นภาพเงาที่หลังเลนส์ซึ่งมีกระจกเงาสะท้อน และสะท้อนเข้าสู่ฉากรับภาพ ที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ เครื่องวัด

ชิ้นงานชนิดแสงเงา Profile Projector ยังสามารถแสดงรายละเอียดของผิวชิ้นงานได้โดยการฉายแสงจากด้านบนผ่านระบบเลนส์รวมแสง และสะท้อนกลับเข้าสู่ฉากรับภาพได้ ดังภาพ 2.3 และภาพ 2.4



ภาพ 2.3 แสดงการทำงานของระบบเครื่อง Profile Projector

ที่มา <http://www.itokin2000.com/>



ภาพ 2.4 แสดงตัวอย่างภาพของเครื่องวัดชิ้นงานแสงเงา

ที่มา <http://www.itokin2000.com/>

2.3 เครื่องวัดความหวาน

2.3.1 การทำงานของเครื่องวัดความหวาน

Brix Refractometer เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาณน้ำตาลในของเหลว ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดย Dr. Ernst Abbe นักวิทยาศาสตร์ เยอรมัน/ออสเตรีย ในต้นศตวรรษที่ 20 โดยการทำงานของ Refractometer เป็นการวัด ดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ จากน้ำสู่คริสตัล (Crystal) ทำให้ มุมความเร็ว (Velocity, v) ของแสงแตกต่างกันสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกันซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ วิธีการวัดค่า ทำได้โดยการหยดสารละลายที่ต้องการทราบค่าบนแผ่นปริซึม ปิดด้วยแผ่นปิด แล้วส่องมองผ่านช่องในที่มีแสง จะมองเห็นเป็นแถบสี ที่อ่านค่าตัวเลขได้ ตามสเกล ที่เครื่องกำหนดไว้ เช่น เป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ความเข้มข้นของน้ำตาล น้ำเชื่อม น้ำผลไม้ ที่วัดได้ มีหน่วยเป็น องศาบริกซ์ (Brix) หรือ อาจเป็นค่าความหนาแน่นของเหลว หรือทั้งสองอย่าง ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 เครื่องวัดความหวาน Brix Refractometer

ที่มา : <https://www.neonics.co.th/>

2.4 โปรตีน

2.4.1 ความหมายของโปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารหลักที่ร่างกายต้องการในปริมาณมากในแต่ละวันเช่นเดียวกับไขมันและคาร์โบไฮเดรต และยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในทุกๆ เซลล์ของร่างกาย ทั้งกระดูก กระดูกอ่อน กล้ามเนื้อ ผิวหนัง เลือด หรือแม้แต่เส้นผมและเล็บประกอบขึ้นด้วยโปรตีนเป็นหลักส่วนในด้านการทำงานของร่างกายนั้นโปรตีนมีหน้าที่สร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ทั้งยังช่วยสังเคราะห์เอนไซม์ฮอร์โมน และสารเคมีต่าง ๆ คงความสมดุลของของเหลวในร่างกายรวมถึงหน้าที่ที่สำคัญอย่างการสร้างสารภูมิต้านทานเพื่อต่อต้านการติดเชื้อ การแข็งตัวของเลือด และการก่อตัวของแผลเป็น พบได้

ใน เนื้อสัตว์ นม ไข่ ถั่วเหลือง พืช ถั่ว เป็นต้น ผู้สูงอายุควรได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ คือ วันละ 1,500-2,000 กิโลแคลอรี จากการรับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่และหลากหลาย วันละ 3 มื้อ พอประมาณ และมีอาหารว่าง 2 มื้อ โดยทุกมื้อควรมีผักผลไม้เพื่อเพิ่มกากอาหาร

2.4.2 โปรตีนจากถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง อีกหนึ่งอาหารที่ให้โปรตีนในปริมาณมาก ไม่ว่าจะเป็นเมล็ดถั่วเหลือง เต้าหู้ น้ำเต้าหู้ เต้าเจี้ยว หรือโปรตีนทางเลือกที่ทำจากถั่วเหลือง โดยถั่วเหลืองสุก 1 ถ้วย นั้นให้โปรตีนถึง 29 กรัม มากกว่าการรับประทานเนื้อสเต็ม 85 กรัมเสียอีก ส่วนน้ำเต้าหู้ 1 แก้วก็ให้โปรตีนมากเกือบเทียบเท่ากับนมโดยทั่วไป นอกจากนี้ การรับประทานโปรตีนจากถั่วเหลืองทุกวัน วันละ 25 กรัมยังอาจช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้ แต่ในกรณีที่จะใช้อาหารเสริมจากถั่วเหลือง ควรต้องระวังและปรึกษาแพทย์ก่อนเสมอ เพราะอาจไม่ส่งผลดีต่อผู้ที่กำลังรับการรักษาแบบฮอร์โมนบำบัดหรือป่วยเป็นมะเร็งเต้านม ดังภาพ 2.6



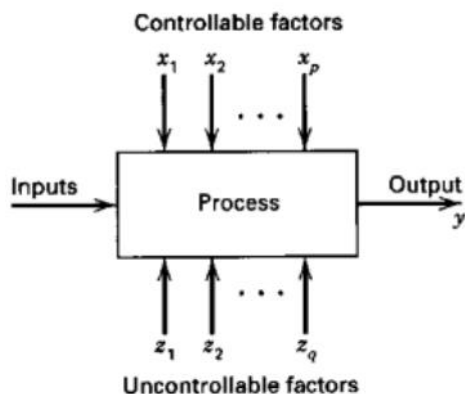
ภาพ 2.6 ผงโปรตีนจากถั่วเหลือง

ที่มา : <https://www.colliplus.com/product/376/hydrolyzed-soy-protein>

2.5 การออกแบบการทดลอง (DOE)

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมโดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถศึกษาผลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาที่ละปัจจัยการออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้นกระบวนการที่มีปัจจัยหรือผลตอบ (Response; X_1 , X_2 , X_3 , X_4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ

(Quality Characteristic) ของกระบวนการในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่นๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มี ประสิทธิภาพมากที่สุดความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการเพื่อนำไป ปรับปรุงกระบวนการต่อไป



ภาพ 2.7 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ
ที่มา : จิตรถเวช, 2552

จากภาพ 2.7 กระบวนการคือการรวมกันของวิธีการคนเครื่องจักร และ ทรัพยากรอื่นๆ เข้าด้วยกันเพื่อเปลี่ยนอินพุต (Input) ไปสู่เอาต์พุต (Output) ที่มีผลออกมาใน รูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า โดยที่ตัวแปรของกระบวนการบางตัว x_1 , x_2 , ..., x_p เป็นตัวแปรที่สามารถ ควบคุมได้ในขณะที่ตัวแปรอื่น z_1 , z_2 , ..., z_q เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ตัวแปรในกระบวนการ ผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือตัวแปรที่สามารถควบคุมได้หมายถึง สามารถกำหนดค่าของตัวแปรในการผลิต และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้หมายถึงไม่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรในการ ผลิตเนื่องจากไม่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมในการผลิตได้หรือต้นทุนที่ใช้ในการควบคุมสูง

2.5.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การออกแบบการทดลองในกรณีที่มีการศึกษา มากกว่า 2 ปัจจัยได้ภายใน ทั้งยังสามารถศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยภายในคราวเดียวกัน ได้นอกจากนี้ยังสามารถให้ข้อสนเทศเกี่ยวกับ อิทธิพลของการกระทำร่วมกัน (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยเหล่านี้ด้วย การทดลองแฟคทอเรียลนี้จะทำให้การออกแบบการทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่าลักษณะของการทำการทดลองหลายๆ ครั้งทีละปัจจัย สามารถใช้ข้อมูลทั้งหมดในการประมาณอิทธิพลของปัจจัยทุกปัจจัย

- การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เมื่อมีจำนวนปัจจัยที่พิจารณาจำนวน k ปัจจัยแต่ละปัจจัยสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ระดับ เรียกว่า ระดับ สูง (High Level) แทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำ (Low Level) แทน ด้วยเครื่องหมาย “-” ดังนั้น จำนวนของการทดลองจึงเป็นแบบ $2 \times 2 \times \dots \times 2$ จำนวน k ครั้ง จึงเรียก ได้ว่าเป็นการทดลองแฟคทอเรียลหรือแบบ 2^k แฟคทอเรียล ซึ่งตามปกติถือว่าระดับของปัจจัยทั้งหมด เป็นค่าคงที่ เช่น ถ้ามีปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวน 2 ปัจจัยคือ A และ B ระดับสูง และระดับต่ำของ ปัจจัย A จะแทนได้ด้วย +A และ -A

ตามลำดับ และระดับสูง และระดับต่ำของปัจจัย B จะแทนได้ ด้วย +B และ -B ตามลำดับ แบบการทดลองที่ง่ายที่สุดสำหรับกรณีนี้คือ $k=2$ หรือมี 2 ปัจจัย ซึ่ง เรียกว่า 2^2 Factorial Design 4 Combinations หรือ Runs หมายถึง แพคทอเรียลทรีตเมนต์ (Treatment combination) จะต้องนำไปทดลองตามแบบแผนที่กำหนด ซึ่งอาจเป็นแบบแผนใด แบบแผนหนึ่ง โดยอาจมีจำนวนการทดลอง n ซ้ำ

2.6 แป้งแปรรูป (Modified Starch)

สตาร์ชดัดแปร (Modified Starch) หมายถึงสตาร์ช (Starch) ที่ได้จากการนำสตาร์ชธรรมชาติ (Native Starch) มาผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้สมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ เช่น ความหนืด (Viscosity) ลดลง คงตัวต่อความร้อน กรด และแรงเฉือน กรรมวิธีการผลิตสตาร์ชดัดแปรโดยวิธีทางเคมี กายภาพ เอนไซม์ หรือโดยจุลินทรีย์สตาร์ชที่นำมาใช้แปรรูปเป็นสตาร์ชดัดแปร ได้แก่ สตาร์ชจากมันสำปะหลัง (Tapioca Starch) สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชข้าวเจ้า สตาร์ชประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน ซึ่งปริมาณและโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสองมีบทบาทต่อสมบัติทางหน้าที่ของสตาร์ชในการใช้ประโยชน์ ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างระดับโมเลกุลของอะมิโลเพคตินโดยการย่อยอะมิโลเพคตินที่สกัดได้จากสตาร์ชจากข้าวที่มีในประเทศไทยจำนวน 16 พันธุ์ด้วยเอนไซม์ไอโซอะมิเลส (Isoamylase) และทำการแยกขนาดด้วย Gel Permeation Chromatography (GPC) พบว่าโมเลกุลอะมิโลเพคตินของสตาร์ชข้าวบางพันธุ์ได้แก่ ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 พันธุ์สุพรรณบุรี 90 พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ขาวห้าวร้อย พันธุ์ กข 23 พันธุ์เชียงใหม่พัทลุง และพันธุ์แจ้เขยจะมีองค์ประกอบที่เป็นสายโซ่กิ่งก้านที่มีขนาดความยาวมาก (Super Long Chain, DPn มากกว่า 100) โดยพันธุ์พิษณุโลก 2 จะมีสัดส่วนของสายโซ่ที่มีความยาวมากมากที่สุด (ร้อยละ 9.17) และพันธุ์กข 23 จะมีสัดส่วนของสายโซ่ที่มีความยาวมากน้อยที่สุด (ร้อยละ 0.97) สายโซ่กิ่งก้านที่มีขนาดความยาวมากนี้ มีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนได้คล้ายคลึงกับอะมิโลส โดยจะมีค่าความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงสูงสุด (Lambda Max) มากกว่าหรือเท่ากับ 620 จึงอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสด้วยวิธีการเกิดสีกับไอโอดีนได้ เมื่อทำการวิเคราะห์สายโซ่กิ่งก้านที่เป็นองค์ประกอบของอะมิโลเพคตินด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุพบว่าความยาวของกิ่งก้านอะมิโลเพคตินมีร้อยละการกระจายตัวโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง DP 13-24 รองลงมา คือ DP 6-12 ดังภาพ 2.9

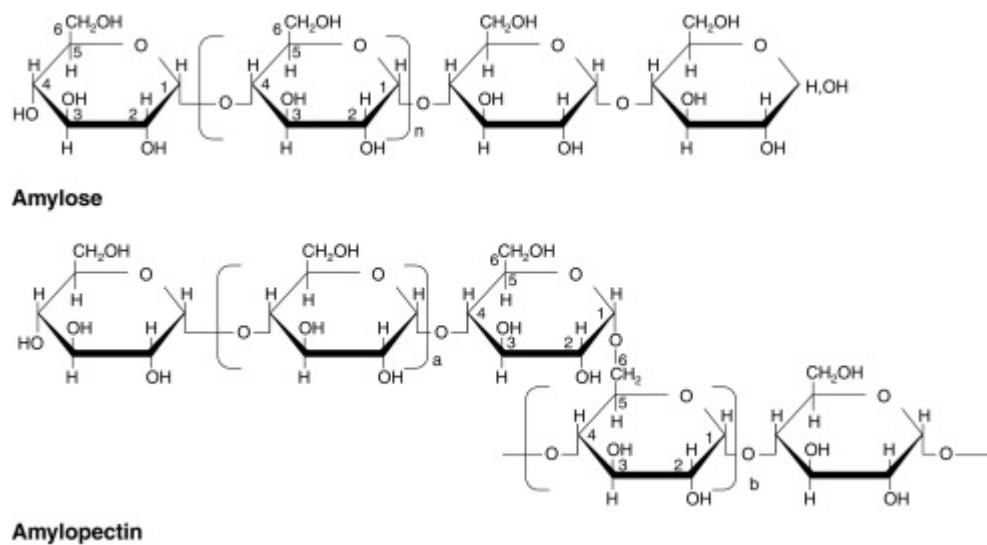
ชนิดของสตาร์ชดัดแปร มี 2 ชนิดคือ 1. สตาร์ชดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมี เป็นสตาร์ชดัดแปรส่วนใหญ่ที่มีการผลิตและใช้ในระดับอุตสาหกรรม เป็นสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างด้วยกระบวนการทางเคมีมีหลายชนิด ขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่ใช้ และระดับการดัดแปร (Degree of Substitution, DS) 2. สตาร์ชดัดแปรทางกายภาพ เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทำให้โครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ใช้พลังงานความร้อน หรือพลังงานจลน์

หรือทั้งสองอย่างประกอบกัน เมื่อโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชได้ถูกเปลี่ยนแปลงไป สมบัติของสตาร์ชก็เปลี่ยนไปเช่นกัน สตาร์ชในกลุ่มนี้ ดังภาพ 2.8



ภาพ 2.8 แป้งแปรรูป (Modified Starch)

ที่มา : <http://www.asiafoodbeverage.com/1933/>

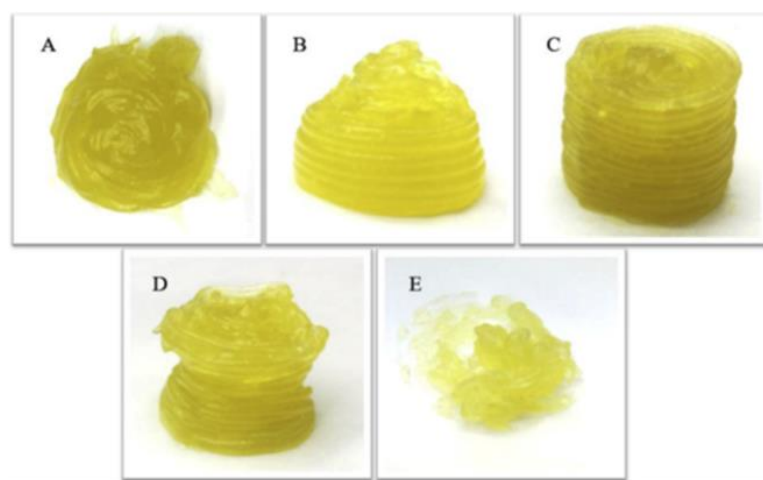


ภาพ 2.9 โครงสร้างอะมิโลสและโครงสร้างอะมิโลเพคติน

ที่มา : Tester, Karkalas and Qi ; 2004

2.7 งานวิจัยในอดีต

ผลงานของ Fanli Yang, จาก State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, 14122, Wuxi, Jiangsu, China เรื่อง Investigation on Lemon Juice Gel as Food Material for 3D Printing and Optimization of Printing Parameters งานวิจัยนี้ศึกษาเรื่องการพิมพ์อาหารด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติโดยใช้เจลน้ำมะนาว เพื่อศึกษาผลจากการแปรผันของอัตราส่วนของน้ำมะนาวต่อแป้งมัน (10 12.5 15 17.5 และ 20 กรัม ต่อ 100 กรัม) สังเกตพฤติกรรมด้านของไหลและคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ของเจลน้ำมะนาว (Lemon Juice Gels) และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (ความสูงของหัวฉีด เส้นผ่านศูนย์กลาง หัวฉีด อัตราการปล่อย ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด) และยังรวมถึงคุณภาพของการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวฉีดคือความสูงของหัวฉีดและเส้นผ่านศูนย์กลางต้องเท่ากันจะทำให้ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของการขึ้นรูป ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป 3 มิติคืออัตราการฉีดขึ้นรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดในการขึ้นรูปพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร อัตราการฉีดขึ้นรูปอยู่ที่ 24 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดอยู่ที่ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ปัจจัยเหล่านี้เป็นค่าที่ดีที่สุดในการขึ้นรูป 3 มิติให้ได้รูปร่างที่ต้องการมีคุณภาพที่ดีผิวสัมผัสเรียบและจุดที่เกิดการเสียรูปมีไม่มากนักดังภาพ 2.10



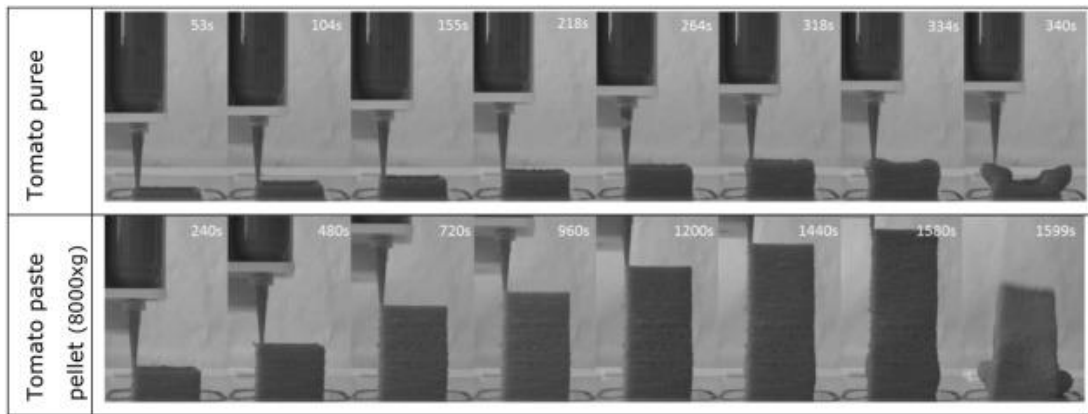
ภาพ 2.10 แสดงถึงรูปร่างที่แตกต่างกันจากการขึ้นรูปด้วยการพิมพ์ 3 มิติของเจลน้ำมะนาวในส่วนผสมของแป้งมันที่แตกต่างกัน (A = 10 กรัม/100 กรัม, B = 12.5 กรัม/100 กรัม, C = 15 กรัม/100 กรัม, D = 17.5 กรัม/100 g, E = 20 g/100 กรัม)

ที่มา : Fanli Yang ; 2017

ผลงานของ นรรัตน์ สังค์ศรี จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เรื่อง การพัฒนายาเม็ดเคี้ยวด้วยกระบวนการพิมพ์สามมิติ งานวิจัยนี้ศึกษาการพิมพ์ขึ้นรูปของยาเม็ดเคี้ยวจากผลกระทบจากค่า อัตราการเติมเต็มวัสดุ (Material Infilled) ด้วยและความเข้มข้นของสารละลายที่มีส่วนผสมจากแป้งข้าวเจ้า 15 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ผสมกับผงแอคติเวเต็ดคาร์บอน 0.26 กรัม และ แป้งข้าวเจ้า 20 กรัม ผสมกับผงแอคติเวเต็ดคาร์บอน 0.26 กรัม และ แป้งข้าวเจ้า 15 กรัม ต่อน้ำ 100 กรัม และ แป้งข้าวเจ้า 20 ต่อน้ำ 100 กรัม

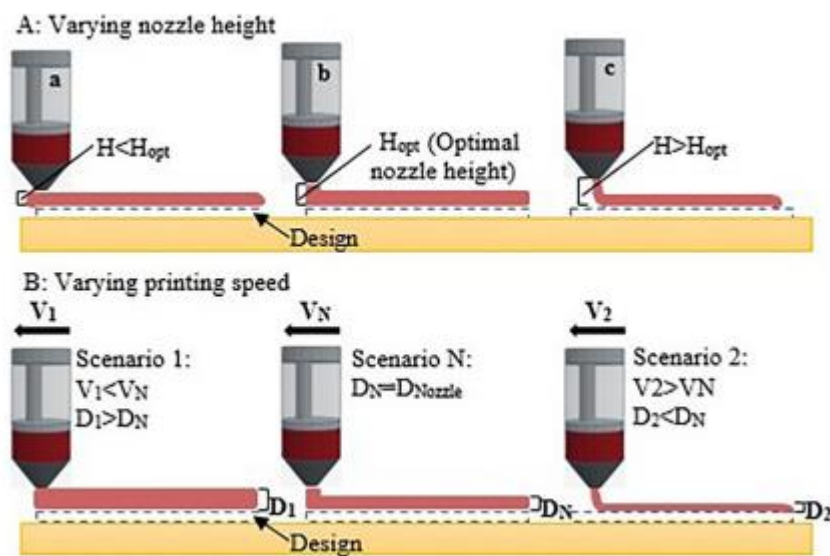
ผลงานของ Wang Shui Hua , Li Na จาก Jiangsu Key Laboratory of 3D Printing Equipment and Manufacturing เรื่อง 3D food printing can help elder to digest and swallow foods งานวิจัยนี้ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารของผู้สูงอายุเพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุโดยการนำของเหลวไปผสมกับวัสดุของแข็งที่ปลอดภัยและสามารถละลายได้ผ่านการพิมพ์ออกมาจากเครื่องพิมพ์สามมิติเหมือนหมึกพิมพ์จากการสแกนรูปทรงที่จะพิมพ์ ผลลัพธ์รูปทรงที่ได้เหมือนกับอาหารจริงง่ายต่อการกลืนและการย่อยอาหาร จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติใช้ในการพิมพ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการกลืนและย่อยได้ง่าย สามารถช่วยผู้สูงอายุที่มีปัญหาในการรับประทานหรือย่อยอาหารเพื่อได้รับประทานอาหารได้และได้คุณค่าทางอาหารครบถ้วน

ผลงานของ Sicong Zhu , Atze Jan van der Goot , Maarten A.I. Schutyser จาก Laboratory of Food Process Engineering, Wageningen University, Bornse Weiland 9, 6708WG Wageningen, the Netherlands เรื่อง Extrusion-based 3D printing of food pastes: Correlating rheological properties with printing behavior งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการพิมพ์ของสูตรและคุณสมบัติการไหลแบบง่ายใช้มะเขือเทศสดในการพิมพ์ขึ้นรูปและหาคุณสมบัติการไหลจากแรงเฉือนของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำสำหรับน้ำซุปรุ่นมะเขือเทศเข้มข้นไม่เกิดการยุบตัวประมาณ 340 วินาที ในระหว่างการพิมพ์วัตถุเริ่มหดตัวที่ 318s และยุบตัวหลังจากนั้นไม่นาน ในช่วงเวลาแห่งการล่มสลายผนังของทั้งสองด้านของคอลัมน์งอเข้าด้านในและอีกสองคนงอออก สำหรับมะเขือเทศเข้มข้น (ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่แรง 8000 กรัม) วัตถุเริ่มโก่งงอประมาณ 1440 วินาที หลังจากนั้นอีก 160 วินาทีของการพิมพ์วัตถุที่ยุบลงไปด้านหนึ่ง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการไหลและพฤติกรรมพิมพ์ระหว่างการอัดขึ้นรูป 3 มิติที่อุณหภูมิห้อง ความเครียดจากการไหลจากการไหลของแรงเฉือนพบว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีของความเสถียรในการพิมพ์สำหรับระบบแบบจำลองที่ตรวจสอบ (วางมะเขือเทศ) และระบบวางอื่น ๆ ที่เลือกอย่างง่าย



ภาพ 2.11 แสดงการยวบตัวของมะเขือเทศสดที่เวลาแตกต่างกัน
ที่มา : Sicong Zhu ; 2019

ผลงานของ Arianna Dick , Bhesh Bhandari , Sangeeta Prakash จาก School of Agriculture and Food Sciences, The University of Queensland, St Lucia, QLD 4072, Australia เรื่อง 3D printing of meat จากงานวิจัยนี้ เมื่อความสูงของหัวฉีดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดจะเป็นจุดที่ดี เมื่อ V_n คืออัตราเร็วการพิมพ์ที่ทำให้ความหนาของชิ้นงานเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด จะแสดงความสัมพันธ์ดังภาพ 2.12



ภาพ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับขนาดของหัวฉีดและความเร็วกับขนาดของหัวฉีด

ที่มา : Arianna Dick , Bhesh Bhandari , Sangeeta Prakash ; 2019

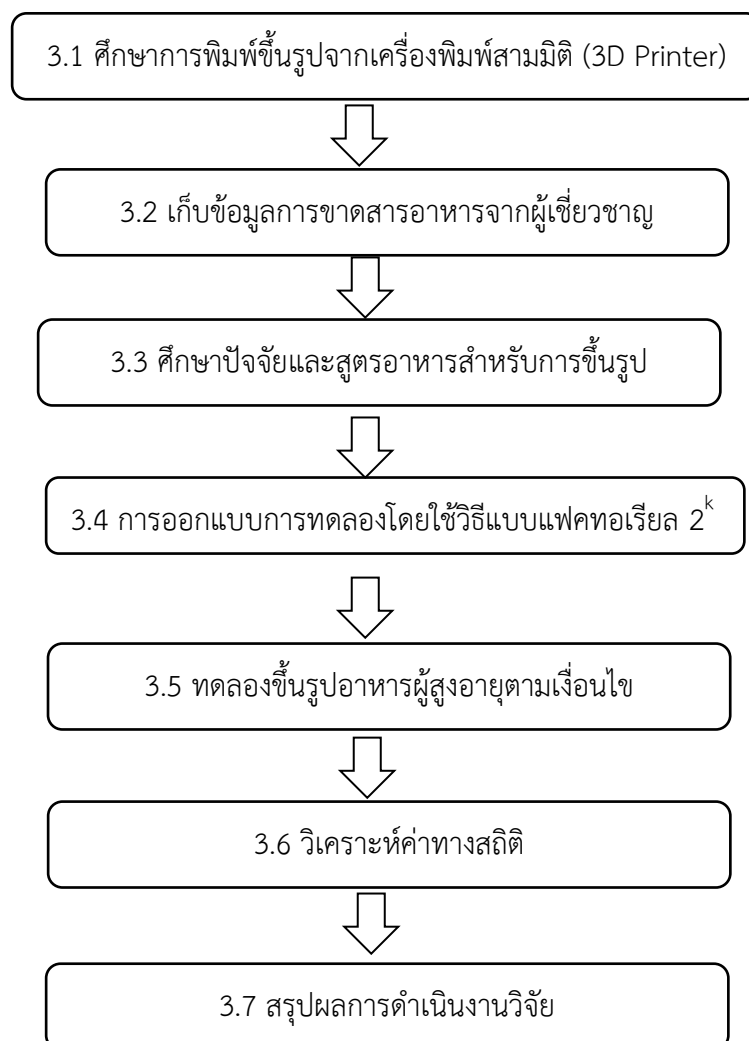
2.8 ปัจจัยของเครื่องพิมพ์สามมิติ ระบบฉีดสารด้วยกระบอกฉีดยาที่ส่งผลต่อปริมาตรและน้ำหนักของชิ้นงาน

ปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นมีหลายส่วน เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ ความเร็วของการกดวัสดุผ่านหัวพิมพ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวพิมพ์ ระยะห่างระหว่างฐานรองพิมพ์กับหัวพิมพ์ ระยะเวลาในการวางผ่านรองชิ้นงาน เป็นต้น ในการทดลองนี้จะศึกษาปัจจัยของ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที) และ ความเร็วการกดวัสดุผ่านหัวพิมพ์ (สเตปต่อวินาที) ต่อโครงสร้างในเชิงปริมาตรและน้ำหนัก เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ และความเร็วการกดวัสดุผ่านหัวพิมพ์ มีผลต่อทั้งน้ำหนักและปริมาตร จากเนื้อหาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษามาจึงควรมีการศึกษาลักษณะจากทั้งสองปัจจัยข้างต้นเพื่อเป็นตัวแปรในการศึกษา และออกแบบการทดลองต่อไปในบทถัดไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานของโครงการวิจัย

ในการทำโครงการ ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (Appropriate Parameter Elderly Food Fabrication By 3D Printing Technology) มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังตาราง 3.1

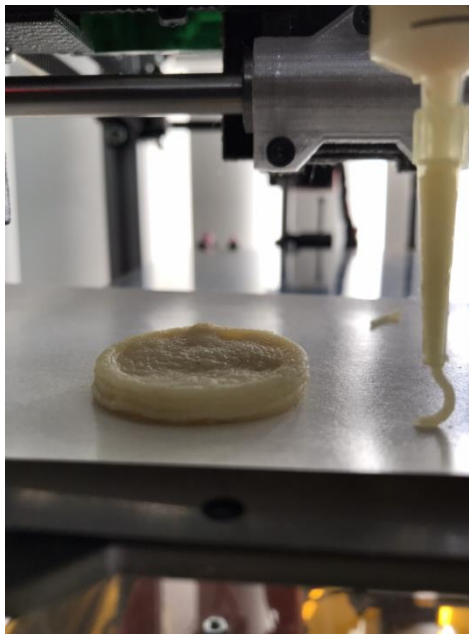


ตาราง 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาการพิมพ์ขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer)

เครื่องพิมพ์สามมิติที่ผู้วิจัยได้ศึกษานั้น ประกอบด้วยมอเตอร์จำนวน 4 ตัว ทำงานในแนวแกน X แกน Y แกน Z และทำงานสำหรับการกดหัวฉีด โดยเครื่องพิมพ์มีกระบอกสูบที่สามารถบรรจุของเหลวได้ในปริมาณ 10 มิลลิลิตรเท่านั้นและในการตั้งค่าที่ตัวเครื่องพิมพ์มีการตั้งค่าโดยใช้ค่าสเตปต่อมิลลิเมตร (Step/mm) ซึ่งเป็นค่าการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เมื่อเทียบกับการหมุนไป 1 ครั้ง ทดลองขึ้นรูปใช้เครื่องด้วยการใช้อาหารที่มีส่วนผสมของ โปรตีนจากถั่วเหลือง 7.5 กรัม ผงมันบด 20 กรัม สารให้ความหวาน 12 กรัม และสารปรุงแต่งกลิ่นวนิลา 4 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 100 กรัม ดังภาพ 3.1

จากการทดลองขึ้นรูปข้างต้นทำให้ทราบการทำงานและการใช้งานของเครื่องพิมพ์สามมิติมากขึ้นและส่วนผสมที่ใช้มีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปรวมไปถึงทราบปัจจัยต่างๆ ในการพิมพ์ขึ้นรูปเพื่อนำไปเป็นเงื่อนไขในการออกแบบการทดลองต่อไป



ภาพ 3.1 การทดลองใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ

3.2 เก็บข้อมูลการขาดสารอาหารจากผู้เชี่ยวชาญ

เข้าร่วมประชุมกับแพทย์และพยาบาลเพื่อเก็บข้อมูลความต้องการสารอาหารของผู้สูงอายุ ดังภาพที่ 3.2 พบว่าผู้สูงอายุส่วนมากขาดสารอาหารประเภทโปรตีนและผู้สูงอายุที่ขาดสารอาหารประเภทโปรตีนดังกล่าวขาดสารอาหารประเภทโปรตีนเฉลี่ย 30 กรัมต่อวัน พร้อมกับศึกษาข้อมูลทางด้านการผสมและการประกอบอาหาร จากอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการผสมอาหารเหลวก่อนนำไปทำการทดลองขึ้นรูป



ภาพ 3.2 เข้าร่วมประชุมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิจัย

3.3 ศึกษาปัจจัยและสูตรอาหารสำหรับการพิมพ์ขึ้นรูป

จากงานวิจัยในอดีตได้มีการทดลองขึ้นรูปยาเม็ดเคี้ยวโดยมีส่วนผสมเป็นแป้งข้าวเจ้าและน้ำ หลังจากนั้นนำไปทำให้สุกด้วยไมโครเวฟ ผู้ทดลองจึงลองปรับเปลี่ยนสูตรอาหารเป็น แป้งแปรรูปจากมันสำปะหลัง (Modified Starch) ผงโปรตีนจากถั่วเหลือง สารปรุงแต่งกลิ่น และสารให้ความหวาน เพื่อเพิ่มรสชาติของอาหาร นำทั้งหมดที่กล่าวมาก่อนหน้าผสมรวมกันในน้ำ 100 กรัม นำไปทำให้สุกด้วยไมโครเวฟและลองชิม

พบว่าที่ปริมาณน้ำเชื่อมที่แตกต่างกันทำให้รสชาติแตกต่างกันและที่ปริมาณแป้งแปรรูปต่างกันมีผลในเรื่องของเนื้อสัมผัสของอาหาร จึงเลือกอาหารมา 9 สูตร ดังตาราง 3.2 ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความพึงพอใจและวิเคราะห์เพิ่มเติมผ่านทางแบบสอบถามกูเกิ้ลฟอร์ม

ตาราง 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของสูตรอาหาร

สูตรอาหาร	ส่วนผสม				
	น้ำ (กรัม)	แป้งแปรรูป (กรัม)	ผงโปรตีน (กรัม)	น้ำเชื่อม (กรัม)	สารแต่งกลิ่น (มิลลิลิตร)
สูตรที่ 1	100	20	6.25	14	1
สูตรที่ 2	100	20	6.25	12	1
สูตรที่ 3	100	20	6.25	10	1
สูตรที่ 4	100	18	6.25	14	1
สูตรที่ 5	100	18	6.25	12	1
สูตรที่ 6	100	18	6.25	10	1
สูตรที่ 7	100	16	6.25	14	1
สูตรที่ 8	100	16	6.25	12	1
สูตรที่ 9	100	16	6.25	10	1

เกณฑ์การให้คะแนนประกอบด้วย ความพึงพอใจในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสและความพึงพอใจในระดับความหวาน โดยมีระดับคะแนน 5 ระดับ คือ 1 2 3 4 และ 5 คะแนน เลือกสูตรอาหารที่มีคะแนนสูงที่สุด 1 สูตรอาหาร

จากการทดลองเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่าที่แบ่งแปรรูป 16 18 20 กรัม สามารถพิมพ์ขึ้นรูปได้ แต่เนื้อสัมผัสที่ 16 กรัม จะดีกว่าที่ 18 และ 20 กรัม ส่วนที่ 18 และ 20 กรัม จะให้เนื้อสัมผัสที่ฝืดยากต่อการกลืน น้ำเชื่อมที่ 10 12 14 กรัม สามารถพิมพ์ขึ้นรูปได้เป็นรูปทรงกระบอก และพบว่าที่ 10 กรัม ยังไม่รู้สึกละถึงความหวานมากพอเท่ากับ 12 และ 14 กรัม แต่ถ้ามากเกินไป 14 กรัมทางผู้ทดลองให้ความเห็นว่าให้ความหวานมากเกินไป ส่วนผงโปรตีนกำหนดให้คงที่เนื่องจากเมื่อใช้ผงโปรตีนถั่วเหลือง 6.25 กรัมจะทำให้ได้ปริมาณสารโปรตีน 5 กรัม

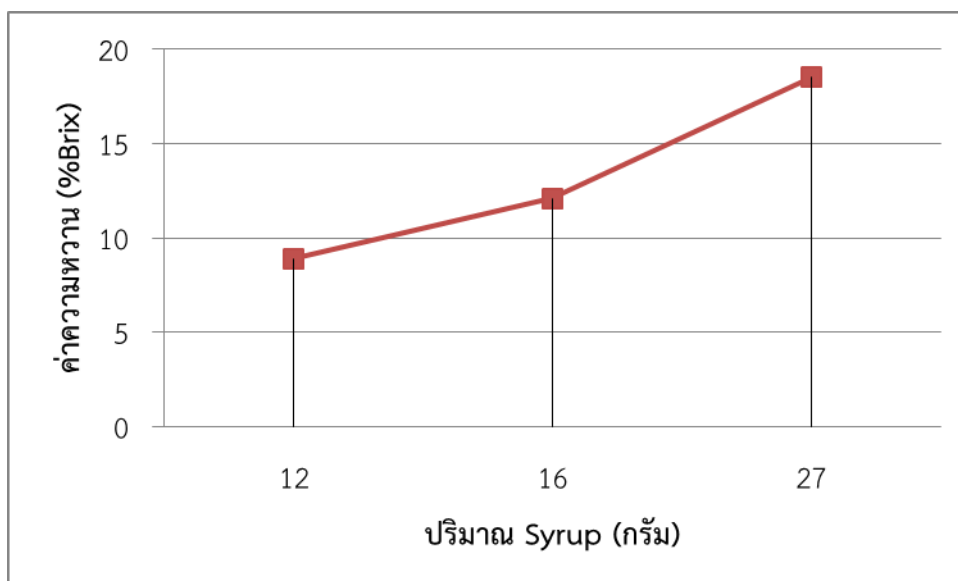
นำสูตรอาหารที่ได้คะแนนมากที่สุดไปวัดความหวานโดยใช้เครื่อง Brix Refractometer จะได้ค่าความหวานออกมาในหน่วย เเปอร์เซ็นต์บริกซ์ เพื่อนำไปเทียบกับค่าความหวานของชาเย็นร้าน Auchoix คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยสูตรอาหารที่ได้คะแนนมากที่สุดวัดค่าความหวานได้ดังภาพ 3.3



ภาพ 3.3 ค่าความหวานของสูตรอาหารที่ได้คะแนนเยอะที่สุด

จากการวัดค่าความหวานของสูตรอาหารที่ 8 ด้วยเครื่อง Brix Refractometer วัดค่าได้ 8.9 เเปอร์เซ็นต์บริกซ์ พบว่า ค่าความหวานที่วัดได้มีค่าต่ำ ซึ่งเมื่อเทียบกับอาหาร หรือ เครื่องดื่มชนิดอื่น

ทำให้เห็นภาพมากขึ้น โดยการนำชาเย็น จากร้านกาแฟ Auchoix คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มาทดสอบ พบว่า ชาเย็น หวานน้อยมีค่าความหวานเท่ากับ 12.3 เเปอร์เซ็นต์บริกซ์ และ ชาเย็น หวานปกติ มีค่าความหวานเท่ากับ 18.6 เเปอร์เซ็นต์บริกซ์ ซึ่งหากต้องการผสมสูตรอาหารให้มีค่าความหวานเทียบเท่ากับชาเย็นหวานน้อย และ ชาเย็นหวานปกติ ต้องใส่สารให้ความหวาน (Syrup) ในปริมาณ 16 และ 27 กรัม ตามลำดับ ดังภาพ 4.2



ภาพ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเชื่อม กับ ค่าความหวาน

3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีแบบแฟคทอเรียล 2^k

3.4.1 กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง

จากการศึกษาการทำงานและข้อจำกัดในการใช้ขึ้นรูปอาหาร สามารถกำหนดปัจจัยที่น่าสนใจนำมาวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในการขึ้นรูปอาหารเหลว มี 2 ปัจจัย คือ อัตราการฉีด (มิลลิเมตรต่อวินาที) และ ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดให้สารให้โปรตีนคงที่ 6.25 กรัม อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส และระยะห่างระหว่างฐานรองกับหัวฉีด 2 มิลลิเมตร โดยผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัย และระดับขอบเขตของปัจจัยคือระดับสูง ระดับต่ำ และเพิ่มค่ากลางสำหรับทดสอบสมมติฐานความเป็นเส้นโค้ง ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 รายละเอียดของปัจจัย ระดับขอบเขตและสัญลักษณ์

ปัจจัยในการทดลอง	หน่วย	ช่วงของปัจจัยการทดลอง			สัญลักษณ์
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)	
อัตราการฉีดขึ้นรูป	สเตปต่อมิลลิเมตร	11.5	12.5	13.5	A
ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด	มิลลิเมตรต่อวินาที	40	50	60	B

ค่ากลางอ้างอิงจากงานวิจัยเรื่องการพัฒนาชาเม็ตเคี้ยวด้วยกระบวนการพิมพ์สามมิติซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้อัตราการฉีดขึ้นรูป 12.5 สเตปต่อมิลลิเมตรและความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าต่ำอ้างอิงจากค่ากลางจากการลดอัตราการฉีดขึ้นรูปลง 1 สเตปต่อมิลลิเมตรเหลือ 11.5 และความเร็วในการขึ้นรูปลดลง 10 มิลลิเมตรต่อวินาที เหลือ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าสูงอ้างอิงจากการเพิ่มอัตราการฉีดขึ้นรูปจากค่ากลางขึ้น 1 สเตปต่อมิลลิเมตร

สูงอ้างอิงจากค่ากลางจากการเพิ่มอัตราการฉีดขึ้นรูปขึ้น 1 สเตปต่อมิลลิเมตร เป็น 13.5 และความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีดเพิ่ม 10 มิลลิเมตร เป็น 60 มิลลิเมตรต่อวินาที

3.4.2 เลือกการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีแบบแฟคทอเรียล (2^k)

การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีแบบแฟคทอเรียล (2^k) เป็นการทดลองตามปัจจัยที่พิจารณาจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยกำหนดให้ปรับเปลี่ยน ได้ 2 ระดับ เรียกว่า ระดับสูง (High level) แทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำ (Low level) แทนด้วยเครื่องหมาย “-”

3.4.2.1 เลือกตัวแปรผลตอบแทน ผลตอบของการทดลองในที่นี้ คือ ความแม่นยำของน้ำหนักและรูปทรงของอาหารเหลวหลังการพิมพ์ขึ้นรูป รวมถึงการยอมรับของผู้บริโภคด้านรสชาติและเนื้อสัมผัส

3.4.2.2 กำหนดนิยามเกี่ยวกับตัวแปรในการทดลอง โดยกำหนดตัวเลขให้แสดงคุณสมบัติ ของตารางการออกแบบการทดลองมีตัวเลขสูงสุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการแปรผลการทดลอง สำหรับการทดลองนี้มี 2 ปัจจัย คือ อัตราการฉีดขึ้นรูปและความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด

3.4.2.3 เลือกการออกแบบการทดลอง งานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) มีปัจจัยที่ศึกษาทั้งหมด 2 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังนั้น ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบแฟคทอเรียล (2^k) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบแฟคทอเรียล (2^k) จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองโดยทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการทดลอง และ ทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลางเป็นจำนวน 2 ครั้ง จึงต้องทำการทดลองทั้งหมด 18 ครั้ง ดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ด้วยโปรแกรมมินิแทป

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	Volume (mm ³)	weight (g)
1	1	1	1	-1	-1		
2	2	1	1	1	-1		
3	3	1	1	-1	1		
4	4	1	1	1	1		
5	5	0	1	0	0		
6	6	0	1	0	0		
7	7	1	2	-1	-1		
8	8	1	2	1	-1		
9	9	1	2	-1	1		
10	10	1	2	1	1		
11	11	0	2	0	0		
12	12	0	2	0	0		
13	13	1	3	-1	-1		
14	14	1	3	1	-1		

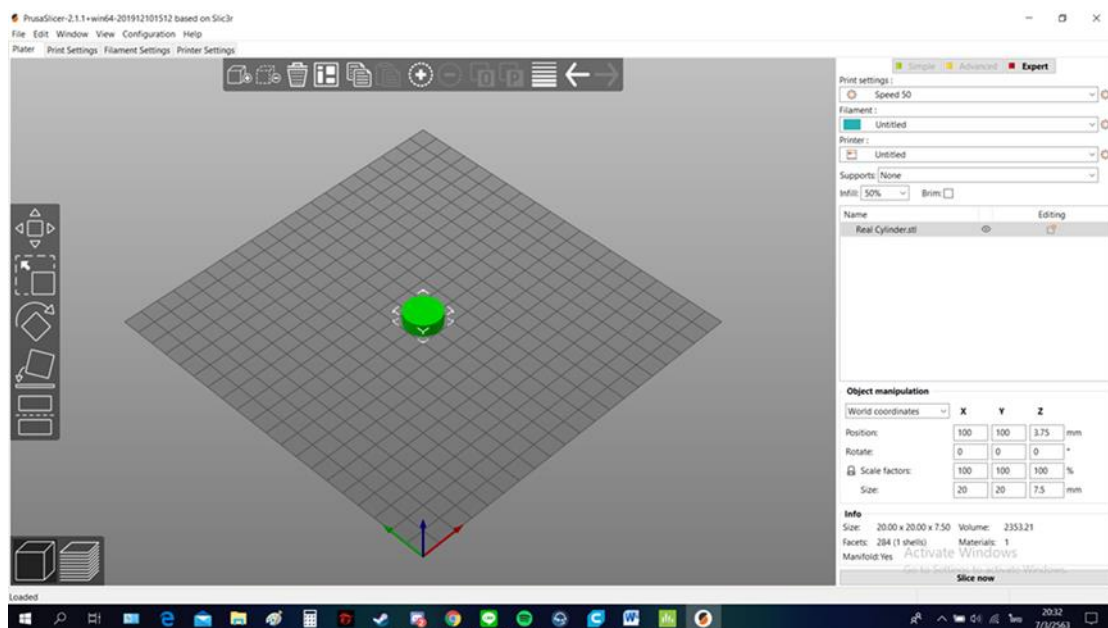
ตาราง 3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคที่เรียลแบบ 2^k ด้วยโปรแกรมมินิแทป

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	Volume (mm ³)	weight (g)
15	15	1	3	-1	1		
16	16	1	3	1	1		
17	17	0	3	0	0		
18	18	0	3	0	0		

3.5 ทดลองขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุตามเงื่อนไข

3.5.1 ขั้นตอนการออกแบบรูปที่ทดลองใช้ในการพิมพ์ขึ้นรูป

ออกแบบรูปทรงที่จะใช้ทดลองพิมพ์ขึ้นรูป เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 มิลลิเมตรและมีความสูงขนาด 7.5 มิลลิเมตร จากโปรแกรม catia ใช้ในการวาดรูปและบันทึกไฟล์เป็นไฟล์ .stl เพื่อนำมาแปลงเป็นไฟล์ .gcode ในโปรแกรม prusa slicer ดังภาพ 3.5



ภาพ 3.5 การออกแบบและการกำหนดค่าในโปรแกรมก่อนการพิมพ์ขึ้นรูป

3.5.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองของโครงงานปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ มีอุปกรณ์ดังนี้

1. แก้วน้ำและอุปกรณ์พื้นฐานในการทำอาหาร
2. แป้งดัดแปร (Modified Starch)
3. น้ำเชื่อม (Natural Cane Syrub)
4. ผงโปรตีนถั่วเหลือง (Nutralite All Plant Protein)
5. สารปรุงแต่งกลิ่น
6. เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง
7. หลอดฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร
8. เครื่องพิมพ์สามมิติชนิด (Syringe Extruder)
9. ไมโครเวฟกำลัง 1000 วัตต์
10. เครื่องวัดขนาดชนิดแสงและเงา (Profile Projector)

3.5.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปการทดลอง

3.5.3.1 ทำการชั่งส่วนผสม แป้งแปรรูป น้ำเชื่อม ผงโปรตีนจากถั่วเหลือง สารปรุงแต่งกลิ่นและน้ำ โดยอ้างอิงปริมาณจากสูตรอาหารที่ได้คะแนนเยอะที่สุด นำส่วนผสมทั้งหมดเทใส่แก้วน้ำ แล้วคนจนส่วนผสมทุกชนิดละลายจนเป็นเนื้อเดียวกันดังภาพ 3.6 หลังจากนั้นนำแก้วที่สารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สุกด้วยการนำไปเข้าไมโครเวฟโดยการตั้งค่าไมโครเวฟที่ 1,000 วัตต์ รอบแรกใช้เวลา 30 วินาที แล้วนำออกมาคน 10 วินาที จากนั้นนำเข้าไมโครเวฟทำให้สุกอีก 1 ครั้ง ใช้เวลา 30 วินาที นำออกมาคนให้เข้ากัน อีก 10 วินาที จะทำให้อาหารสุกจนทั่วแก้ว ดังภาพ 3.7



ภาพ 3.6 แสดงการคนส่วนผสมทุกชนิดให้เข้ากัน

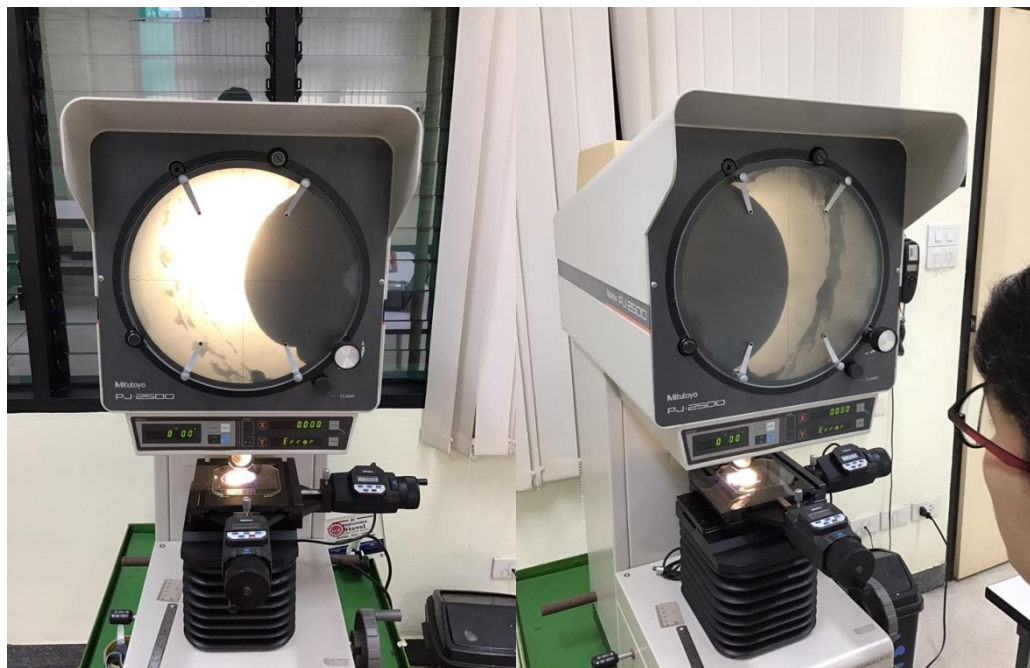


ภาพ 3.7 แสดงการทำให้สุกด้วยไมโครเวฟ

3.5.3.2 หลังจากอาหารสุกแล้วจะมีลักษณะเหนียวหนืด นำอาหารที่สุกแล้วใส่ในถุง และตัดมุมกันถุงเพื่อบีบอาหารที่มีลักษณะเหนียวหนืดใส่กระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นติด หัวฉีดยาอะลูมิเนียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรกับปลายกระบอกฉีดยาเตรียมการพิมพ์ขึ้นรูปต่อไป

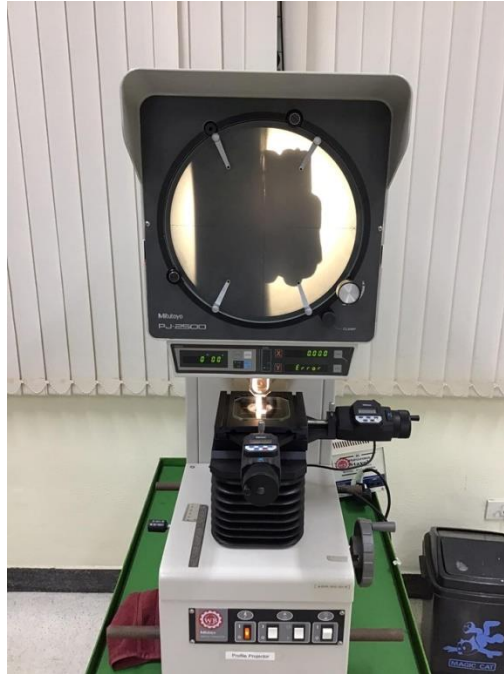
3.5.3.3 นำกระบอกฉีดยาที่มีอาหารอยู่ไปติดกับที่ยึดแล้วปรับฐานรองพิมพ์ให้ห่าง กับหัวฉีด 2 มิลลิเมตร ปรับค่าของเครื่องพิมพ์สามมิติตามเงื่อนไขในตารางการออกแบบ (DOE) สั่ง พิมพ์ขึ้นรูปจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องพิมพ์สามมิติ

3.5.3.4 นำชิ้นงานทรงกระบอกที่ขึ้นรูปแล้ว มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทั้งใน แนวแกน x และ แนวแกน y ดังภาพ 3.8 โดยใช้เครื่อง Profile Projector และบันทึกผล



ภาพ 3.8 แสดงวิธีการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกน x และแนวแกน y

3.5.3.5 หลังจากวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางแล้ว นำมาวัดค่าความสูงโดยใช้เครื่อง Profile Projector ด้วยการจับชิ้นงานนอนลง ทำการวัดหาค่าความสูงของชิ้นงาน 3 จุด คือ ขอบบนสุดของชิ้นงาน ตรงกลางชิ้นงาน และขอบล่างสุดของชิ้นงาน ดังภาพ 3.9 และบันทึกผล



ภาพ 3.9 แสดงวิธีการวัดความสูง

3.5.3.6 การวัดน้ำหนักของชิ้นงานจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่งในการวัดค่า และบันทึกผล ดังภาพ 3.10



ภาพ 3.10 แสดงวิธีการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน

3.5.3.7 นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาตร และนำไปเปรียบเทียบกับปริมาตรจริงที่วัดได้จากการคำนวณตามรูปทรงกระบอกจากการออกแบบในโปรแกรม catia โดยใช้สูตรการคำนวณดังสมการ 3.1

$$\text{ปริมาตรทรงกระบอก} = \frac{\pi}{4} \times D_x \times D_y \times H \quad (3.1)$$

D_x = เส้นผ่านศูนย์กลางแนวแกน x

D_y = เส้นผ่านศูนย์กลางแนวแกน y

H = ความสูงของชิ้นงาน

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

หลังจากที่ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 18 การทดลองแล้ว นำผลการทดลองที่บันทึกค่าไว้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้คำสั่ง Response Surface เพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์ และสรุปในบทที่ 4

3.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดค่าน้ำหนักและปริมาตรหลังจากการได้ผลการทดลองจากโปรแกรมมินิแทป และสรุปผล จัดทำรูปเล่ม

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานของโครงการวิจัย

จากการดำเนินการทดลองตามปัจจัย โดยกำหนดปัจจัย 4 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังแปรรูป ปริมาณน้ำเชื่อม อัตราเร็วการพิมพ์ และ อัตราการฉีดขึ้นรูป โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองการทดลอง คือ การทดสอบความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ และ การทดลองขึ้นรูปโดยกำหนดปัจจัย อัตราเร็วการพิมพ์ และ อัตราการฉีดขึ้นรูป การทดลองขึ้นรูปทั้งหมด 18 การทดลอง วัดผลโดยการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และ วัดความสูงของชิ้นงาน

4.1 ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ

ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญและบุคคลทั่วไปจำนวน 10 คน บันทึกความพึงพอใจออกมาเป็นคะแนนตามสูตรอาหารทั้งหมด 9 สูตรอาหาร ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 คะแนนที่ได้รับของแต่ละสูตรอาหาร

สูตรอาหาร	ส่วนผสม				คะแนนที่ได้
	น้ำ (กรัม)	แป้งแปรรูป (กรัม)	ผงโปรตีน (กรัม)	น้ำเชื่อม (กรัม)	
สูตรอาหารที่ 1	100	20	6.25	14	29
สูตรอาหารที่ 2	100	20	6.25	12	25
สูตรอาหารที่ 3	100	20	6.25	10	23
สูตรอาหารที่ 4	100	18	6.25	14	27
สูตรอาหารที่ 5	100	18	6.25	12	26
สูตรอาหารที่ 6	100	18	6.25	10	17
สูตรอาหารที่ 7	100	16	6.25	14	25
สูตรอาหารที่ 8	100	16	6.25	12	32

ตาราง 4.1 คะแนนที่ได้รับของแต่ละสูตรอาหาร (ต่อ)

สูตรอาหาร	ส่วนผสม				คะแนนที่ได้
	น้ำ (กรัม)	แป้งแปรรูป (กรัม)	ผงโปรตีน (กรัม)	น้ำเชื่อม (กรัม)	
สูตรอาหารที่ 9	100	16	6.25	10	28

จากข้อมูลตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่า สูตรอาหารที่มีคะแนนมากที่สุดคือสูตรอาหารที่ 8 ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำสูตรอาหารที่ 8 มาทำการทดลองขึ้นรูปโดยใช้ปัจจัยขึ้นรูปที่กำหนด

4.2 ผลการทำการทดลองขึ้นรูปในแต่ละระดับปัจจัยการทดลอง

ทดลองขึ้นรูปในระดับปัจจัยที่แตกต่างกันโดยใช้อาหารที่มีคะแนนความพึงพอใจมากที่สุดเพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่อไป โดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลการวิจัย ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) โดยใช้ค่าในตาราง 4.3 และ 4.4

ก่อนการทดลองสามารถหาค่าความหนาแน่นของอาหารเหลวได้โดยคำนวณจากการหาอัตราส่วนของน้ำหนักของอาหารเหลวที่บรรจุเต็มภายในกระบอกสุบต่อปริมาตรภายในกระบอกสุบ มีค่าเท่ากับ 0.0006276 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

การออกแบบรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร สูง 7.5 มิลลิเมตร คำนวณปริมาตรของรูปทรงได้เท่ากับ 2,355 มิลลิเมตรและ จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักที่ควรจะเป็นจากการคำนวณได้ เท่ากับ 1.48 กรัม จากความสัมพันธ์ มวล เท่ากับ ความหนาแน่นคูณ ปริมาตร

ตาราง 4.2 ตารางแสดงขนาดรูปทรงของอาหารเหลวที่ขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	อัตราเร็วการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	อัตราการฉีด (สเตปต่อมิลลิเมตร)	ขนาดรูปทรง		
			เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		ความสูง (มิลลิเมตร)
			แนวแกน X	แนวแกน Y	
1	40	11.5	19.73	19.75	7.05
2	40	13.5	23.42	23.54	6.43
3	60	11.5	21.92	21.78	6.73
4	60	13.5	23.09	23.31	7.00
5	50	12.5	22.64	22.27	6.18

ตาราง 4.2 ตารางแสดงขนาดรูปทรงของอาหารเหลวที่ขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	อัตราเร็วการ พิมพ์ (มิลลิเมตร ต่อวินาที)	อัตราการฉีด (สเตปต่อ มิลลิเมตร)	ขนาดรูปทรง		
			เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		ความสูง (มิลลิเมตร)
			แนวแกน X	แนวแกน Y	
6	50	12.5	22.42	22.24	6.93
7	40	11.5	22.39	21.88	6.22
8	40	13.5	23.58	23.37	6.08
9	60	11.5	21.26	21.31	6.85
10	60	13.5	23.16	23.5	7.23
11	50	12.5	22.88	23.01	6.67
12	50	12.5	22.19	22.03	6.33
13	40	11.5	22.09	21.96	6.36
14	40	13.5	22.01	22.71	6.93
15	60	11.5	21.34	21.41	6.58
16	60	13.5	22.28	21.95	6.85
17	50	12.5	22.96	22.58	6.48
18	50	12.5	22.91	22.77	6.83
Mean			22.35	22.30	6.65
SD			0.92	0.94	0.33

ตาราง 4.2 แสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ในแต่ละระดับปัจจัย โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางแกน X เส้นผ่านศูนย์กลางแกน Y และความสูง ต่ำกว่า 1 ทั้งหมด หมายความว่า ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวที่ต่ำ จากนั้นนำค่าที่ได้จากตาราง 4.2 มาคำนวณด้วยสมการ 4.1 เพื่อคำนวณหาปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้ค่าดังตาราง 4.3

$$V = \frac{\pi}{4} \times D_x \times D_y \times H \quad (4.1)$$

โดย V คือ ปริมาตรของรูปทรง หน่วยเป็น ลูกบาศก์มิลลิเมตร

H คือ ความสูงของรูปทรง หน่วยเป็น มิลลิเมตร

D_x คือ เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกน X หน่วยเป็น มิลลิเมตร

D_y คือ เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกน Y หน่วยเป็น มิลลิเมตร

ตาราง 4.3 แสดงผลการคำนวณหาปริมาตรรูปทรงในระดับปัจจัยต่าง ๆ

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	อัตราเร็วการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	อัตราการฉีด (สเตปต่อมิลลิเมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	ค่าความคาดเคลื่อน (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)
1	40	11.5	2156.52	198.48
2	40	13.5	2784.19	-429.19
3	60	11.5	2520.97	-165.97
4	60	13.5	2956.15	-601.15
5	50	12.5	2447.31	-92.31
6	50	12.5	2712.52	-357.52
7	40	11.5	2390.72	-35.72
8	40	13.5	2631.56	-276.56
9	60	11.5	2434.98	-79.98
10	60	13.5	3087.55	-732.55
11	50	12.5	2756.56	-401.56
12	50	12.5	2430.38	-75.38
13	40	11.5	2421.89	-66.89
14	40	13.5	2720.50	-365.50
15	60	11.5	2358.78	-3.78
16	60	13.5	2628.44	-273.44
17	50	12.5	2637.18	-282.18

ตาราง 4.3 แสดงผลการคำนวณหาปริมาตรรูปทรงในระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	อัตราเร็วการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	อัตราการฉีด (สเตปต่อมิลลิเมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	ค่าความคาดเคลื่อน (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)
18	50	12.5	2796.91	-441.91
Average			2604.06	-249.06
SD			231.08	231.08

จากตาราง 4.3 เนื่องจาก ปริมาตรที่คำนวณได้จากการออกแบบมีค่าเท่ากับ 2,355 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ทำให้เกิดค่าความคาดเคลื่อน ซึ่งมีค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ -249.06 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 231.08

วัดค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากการพิมพ์ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ในแต่ละระดับปัจจัยด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ได้ค่าดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 แสดงน้ำหนักของอาหารเหลวที่ทำการขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	อัตราเร็วการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	อัตราการฉีด (สเตปต่อมิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความคาดเคลื่อน (กรัม)
1	40	11.5	1.40	0.08
2	40	13.5	1.98	-0.50
3	60	11.5	1.52	-0.04
4	60	13.5	1.85	-0.37
5	50	12.5	1.66	-0.18
6	50	12.5	1.68	-0.20
7	40	11.5	1.39	0.09
8	40	13.5	1.84	-0.36
9	60	11.5	1.39	0.09
10	60	13.5	1.80	-0.32
11	50	12.5	1.73	-0.25

ตาราง 4.4 แสดงน้ำหนักของอาหารเหลวที่ทำการขึ้นรูปในแต่ละปัจจัย (ต่อ)

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	อัตราเร็วการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	อัตราการฉีด (สเตปต่อมิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความคาดเคลื่อน (กรัม)
12	50	12.5	1.51	-0.03
13	40	11.5	1.46	0.02
14	40	13.5	1.77	-0.29
15	60	11.5	1.40	0.08
16	60	13.5	1.53	-0.05
17	50	12.5	1.66	-0.18
18	50	12.5	1.87	-0.39
Average			1.64	-0.16
SD			0.19	0.19

จากตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลน้ำหนักนั้นมีค่า 0.19 ซึ่งต่ำกว่า 1 หมายความว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวที่ต่ำ

4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมมินิแทป

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยโดยนำเข้าข้อมูล อัตราเร็วการพิมพ์ อัตราการฉีดขึ้นรูป ปริมาตร และ น้ำหนัก ที่วัดได้ด้วยคำสั่ง Response Surface โดยกำหนดให้ตัวแปรต่อเนื่องคือ ค่าของอัตราเร็วการพิมพ์ และ อัตราการฉีดขึ้นรูป กำหนดผลตอบเป็นค่าของ น้ำหนักและปริมาตร กำหนดค่าเป้าหมายของน้ำหนักและปริมาตร เท่ากับ 1.48 กรัม และ 2,355 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ

4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Sq) เป็น ค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

ตาราง 4.5 แสดงผลสรุปแบบจำลองระหว่างน้ำหนัก อัตราการฉีดขึ้นรูป และ อัตราเร็วการพิมพ์

Model Summary			
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.112187	73.66%	65.56%	49.63%

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ค่า R-sq ในตาราง 4.5 มีค่าร้อยละ 73.66 หมายความว่าตัวแปรอิสระ สามารถอธิบายความแปรผันหรือความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม ได้ร้อยละ 73.66 แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

ตาราง 4.6 แสดงผลสรุปแบบจำลองของปริมาตร อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
152.614	66.65%	56.38%	36.01%

ค่า R-sq ในตาราง 4.6 มีค่าร้อยละ 66.65 หมายความว่าตัวแปรอิสระ สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ ร้อยละ 66.65

4.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างน้ำหนัก อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0.45763	0.11441	9.09	0.001
Linear	2	0.41722	0.20861	16.57	0.000
Print Speed	1	0.01021	0.01021	0.81	0.384
Feed Rate	1	0.40701	0.40701	32.34	0.000
Square	1	0.02200	0.02200	1.75	0.209
Print Speed*Print Speed	1	0.02200	0.02200	1.75	0.209
2-Way Interaction	1	0.01841	0.01841	1.46	0.248
Print Speed*Feed Rate	1	0.01841	0.01841	1.46	0.248

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างน้ำหนัก อัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์ (ต่อ)

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Error	13	0.16362	0.01259		
Total	17	0.62124			

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลอง จากตาราง 4.7 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า ค่า P-value ของเทอมอันตรกิริยามีค่าเท่ากับ 0.248 เทอมกำลังสองมีค่าเท่ากับ 0.209 ซึ่งมีความมากกว่าระดับนัยสำคัญ หมายความว่าไม่มีผลต่อน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญ และ ค่า P-value ที่อัตราการฉีด มีค่า 0.000 หมายความว่า อัตราการฉีด มีผลต่อน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลตาราง 4.7 สามารถนำมาสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนัก อัตราเร็วการพิมพ์ และ อัตราการฉีด ดังสมการ 4.2

$$\text{Weight} = -0.914 + 0.2383 \text{ Feed Rate} \quad (4.2)$$

ตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาตร อัตราการฉีดขึ้นรูปและ อัตราเร็วการพิมพ์

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	605003	151251	6.49	0.004
Linear	2	595863	297932	12.79	0.001
Print Speed	1	64752	64752	2.78	0.119
Feed Rate	1	531111	531111	22.80	0.000
Square	1	6122	6122	0.26	0.617
Print Speed*Print Speed	1	6122	6122	0.26	0.617
2-Way Interaction	1	3018	3018	0.13	0.725
Print Speed*Feed Rate	1	3018	3018	0.13	0.725
Error	13	302783	23291		
Total	17	907786			

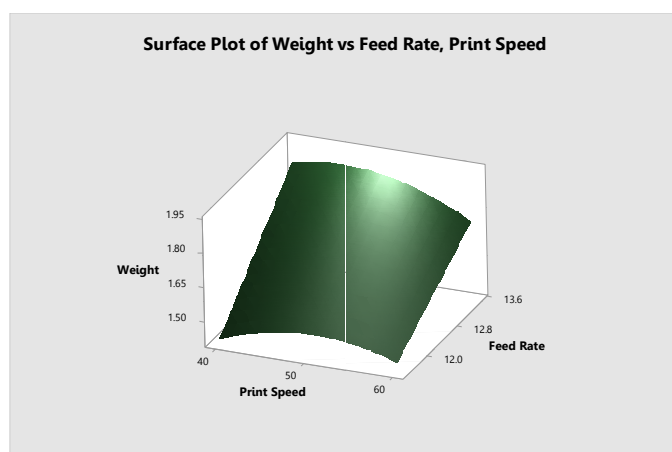
จากตาราง 4.8 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าค่า P-value ของเทอมอัตราการฉีดขึ้นรูปมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ แต่ เทอมกำลังสองมีค่าเท่ากับ 0.617 และ เทอมของอันตรกิริยามีค่าเท่ากับ 0.725 ซึ่งมีความมากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด หมายความว่า อัตราการฉีดขึ้นรูปมีผลต่อปริมาตรอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลตาราง 4.8 สามารถนำมาสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตร อัตราเร็วการพิมพ์ และ อัตราการฉีด ดังสมการ 4.3

$$\text{Volume} = 655 + 137.9 \text{ Feed Rate} \quad (4.3)$$

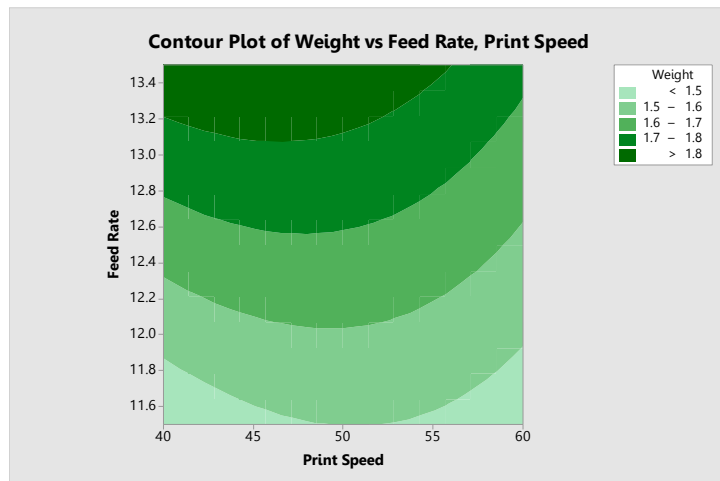
4.3.3 การสร้างพื้นผิวผลตอบ

จากสมการ 4.2 จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบน้ำหนักได้ดังภาพ 4.1 ซึ่งแสดงพื้นผิวผลตอบของน้ำหนักระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์ โดยเมื่อกำหนดให้ อัตราการเร็วการพิมพ์อยู่ที่ระดับกลาง พบว่า น้ำหนักเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการฉีดขึ้นรูปเพิ่มขึ้น



ภาพ 4.1 พื้นผิวผลตอบของน้ำหนักระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์

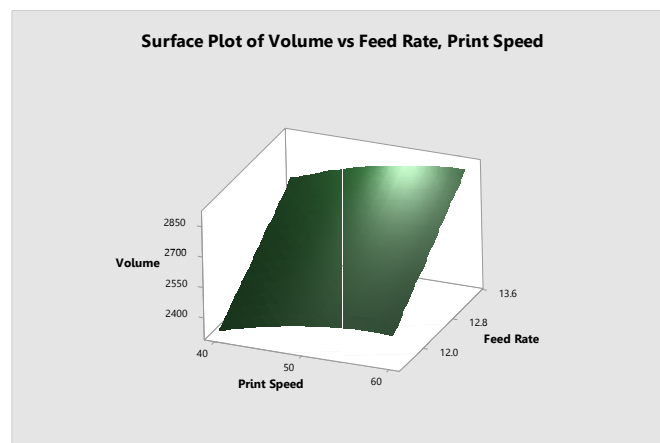
เมื่อนำพื้นผิวผลตอบของน้ำหนักระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์ ภาพ 4.1 มาแสดงในลักษณะกราฟโครงร่าง ดังภาพ 4.2



ภาพ 4.2 กราฟโครงร่างน้ำหนัก ระหว่างอัตราเร็วการพิมพ์และอัตราการฉีดขึ้นรูป

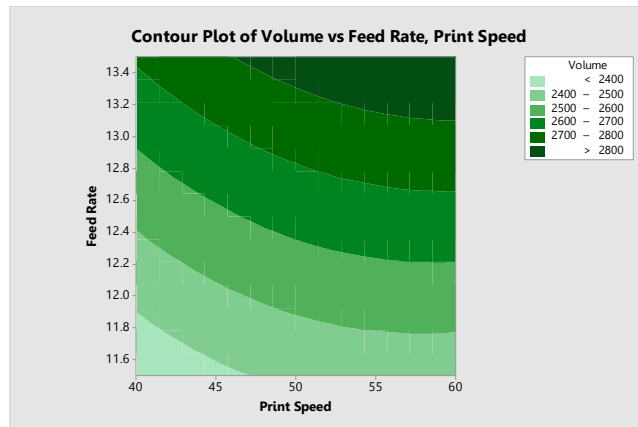
ภาพ 4.2 เมื่อกำหนดให้อัตราเร็วการพิมพ์อยู่ในระดับกลาง พบว่า น้ำหนัก มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการฉีดขึ้นรูปเพิ่มขึ้น

จากสมการ 4.3 นำมาสร้างภาพพื้นผิวผลตอบของปริมาตรได้ดังภาพ 4.3 แสดงพื้นผิวผลตอบของปริมาตรระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์ เมื่อกำหนดให้อัตราเร็วการพิมพ์คงที่ พบว่า ปริมาตรเพิ่มมากขึ้นในขณะอัตราการฉีดขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น



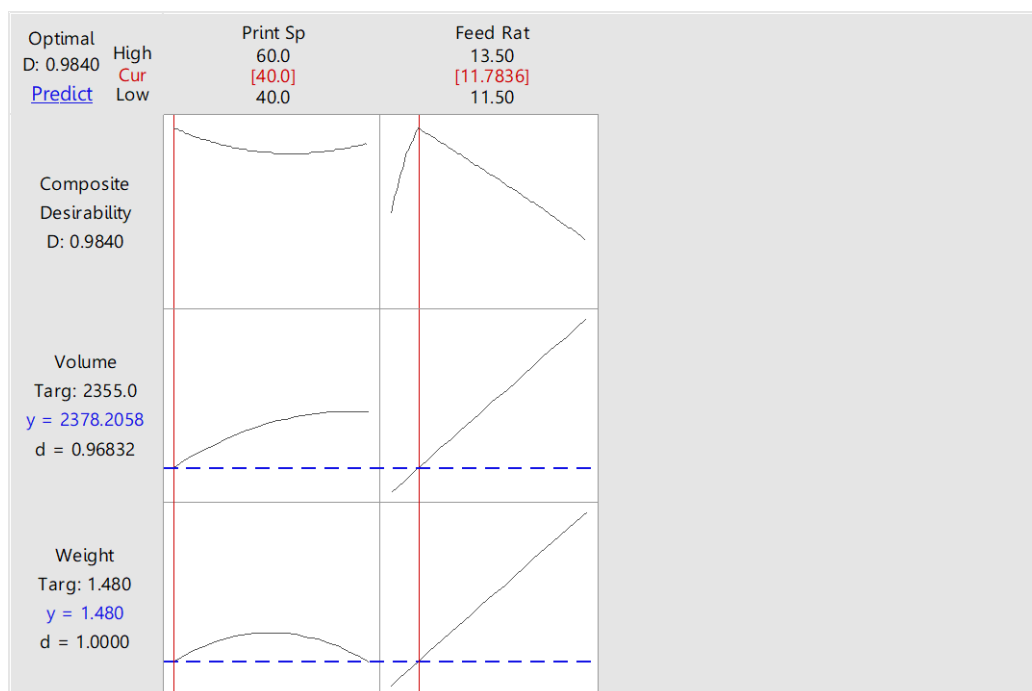
ภาพ 4.3 พื้นผิวผลตอบของปริมาตร ระหว่างอัตราการฉีดขึ้นรูปและอัตราเร็วการพิมพ์

เมื่อนำกราฟแสดงพื้นผิวผลตอบของปริมาตรภาพ 4.3 มาแสดงในลักษณะกราฟโครงร่าง ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 กราฟโครงร่างปริมาตร ระหว่างอัตราการพิมพ์และอัตราการฉีดขึ้นรูป

ภาพ 4.4 จะเห็นความสัมพันธ์คือ เมื่ออัตราการฉีด และ อัตราเร็วการพิมพ์ เพิ่มขึ้น พบว่า ปริมาตรของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น



ภาพ 4.5 Optimization Plot

จากการคำนวณของโปรแกรมมินิแทป ในคำสั่งของ Response Optimizer สามารถหาค่า ผลตอบที่ดีที่สุดของปัจจัยการทดลองได้ดังภาพ 4.5 คือ อัตราการฉีด เท่ากับ 11.78 สเตปต่อ มิลลิเมตร และ อัตราเร็วการพิมพ์เท่ากับ 40.00 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีค่าความพึงพอใจของผล ตอบ (Composite Desirability) เท่ากับ 0.98

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารเหลวสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการขึ้นรูปอาหาร โดยกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เครื่องพิมพ์แบบหลอดฉีดยา (Syringe Extruder) เพื่อให้ได้อาหารเหลวที่มีรูปทรงและน้ำหนักที่แม่นยำ การทดลองเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปอาหาร โดยวิเคราะห์จากปัจจัยการขึ้นรูปในด้านคุณสมบัติของอาหารเหลวและปัจจัยในส่วน of เครื่องพิมพ์สามมิติ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาและทำการทดลองพบว่า การขึ้นรูปอาหารเหลวสำหรับผู้สูงอายุด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติแบบหลอดฉีดยา (Syringe Extruder) การขึ้นรูปอาหารเหลวสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้ปัจจัยอัตราการฉีดขึ้นรูประหว่าง 11.5 กับ 13.5 สเตปต่อมิลลิเมตร และ ปัจจัยอัตราเร็วการพิมพ์ขึ้นรูประหว่าง 40 กับ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งใช้ปัจจัยด้านวัตถุดิบที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมาแล้ว โดยมีส่วนประกอบของ แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modified Starch) 16 กรัม สารให้ความหวาน (Syrup) 12 กรัม น้ำ 100 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง (Nutrilite All Plant Protein) 6.25 กรัม และ สารปรุงแต่งกลิ่น 1 มิลลิตร ซึ่งอาหารเหลวที่ได้มีค่าความแปรปรวนของน้ำหนักและ ปริมาตร อยู่ที่ 0.11 และ 152.61 ตามลำดับ ซึ่งความแปรปรวนของปริมาตรนั้น เป็นผลมาจากความคาดเคลื่อนของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกน X ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวแกน Y และ ความสูง หมายความว่า เครื่องพิมพ์สามมิติมีค่าความแม่นยำในการขึ้นรูปสูงเมื่อวัดผลด้วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อวัดความแม่นยำของผลิตภัณฑ์ในด้านขนาดรูปทรง พบว่า มีความคาดเคลื่อนมากกว่า เป็นผลมาจาก คุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ขึ้น มีผลด้านขนาดและปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ต่อมาที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ และ ความสูงมีขนาดเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และ 7.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.33 มิลลิเมตร ค่าความคาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.37 มิลลิเมตร และ ค่าเฉลี่ยค่าความคาดเคลื่อนของความสูงเท่ากับ 1.05 มิลลิเมตรและ ค่าความคาดเคลื่อนของความสูงเป็นผลมาจาก

คุณสมบัติการคงรูปของวัตถุดิบที่นำมาขึ้นรูป ซึ่งเป็นอาหารเหลวสำหรับผู้สูงอายุ สำหรับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ มีค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ -0.16 กรัม ค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุดที่ 0.02 กรัม เป็นผลมาจากเครื่องพิมพ์สามมิติมีความแม่นยำในการขึ้นรูปในด้านของน้ำหนักสูง เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าความแปรปรวนของน้ำหนัก

ปัจจัยอัตราการฉีดขึ้นรูป ที่ 11.50 สเตปต่อมิลลิเมตร กับ 13.50 สเตปต่อมิลลิเมตร พบว่าที่อัตราการฉีดขึ้นรูปที่ 13.50 มิลลิเมตร มีค่าน้ำหนักและขนาดรูปทรง มากกว่า อัตราการฉีดขึ้นรูปที่ 11.50 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านปัจจัยของอัตราเร็วการพิมพ์ ที่ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที กับ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าอัตราเร็วการพิมพ์มีผลต่อน้ำหนักและขนาดรูปทรง ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากที่ระดับอัตราการฉีดขึ้นรูปเท่ากัน แต่อัตราเร็วการพิมพ์ ที่ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 60 วินาที น้ำหนักและขนาดรูปทรง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทปทำให้สามารถคำนวณหาค่าผลตอบที่ดีที่สุดของการทดลองคือ อัตราการฉีดขึ้นรูป เท่ากับ 11.78 สเตปต่อมิลลิเมตร และ อัตราเร็วการพิมพ์ เท่ากับ 40.00 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าเท่ากับ 0.98 ดังภาพ 5.1 โดยจะทำให้ น้ำหนัก และ ปริมาตรของผลิตภัณฑ์มีค่า ความคาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ 10

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการต่อยอดโครงการวิจัยนี้ควรศึกษาเรื่องคุณสมบัติของอาหาร ที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูป เนื่องจากผู้วิจัยโครงการชิ้นนี้ เคยทำการทดลองโดยใช้เจลาตินซึ่งเป็นสารก่อเจล เป็นสารให้ความหนืด ซึ่งจุดบกพร่องของการทดลองคือการที่จะเตรียมเจลาตินสำหรับพิมพ์ขึ้นรูปได้นั้น ต้องใช้เวลาในการเตรียมอย่างน้อย 1 วันจึงจะนำมาขึ้นรูปได้ ซึ่งเมื่อนำไปประยุกต์ใช้แล้วขั้นตอนการเตรียมถือว่าใช้เวลามากเกินไป หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงเปลี่ยนชนิดของสารให้ความหนืดเป็นมันฝรั่งบด ซึ่งเตรียมได้ง่าย และมีขายทั่วไปตามท้องตลาด แต่ผลลัพธ์ที่ได้คือ มันฝรั่งบดมีเนื้อสัมผัสที่ร่วน และเมื่อเกิดการสั่นของเครื่องพิมพ์ทำให้เกิดการขาดของเนื้อวัสดุ

และนอกจากนี้เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลองควรเป็นเครื่องมือเฉพาะด้าน ทั้งในเรื่องของเครื่องมือการวัดขนาด เครื่องมือการเปลี่ยนแปลงสถานะของวัตถุดิบตั้งต้น เพราะวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบอาหาร เรื่องความสะอาดต้องเป็นเรื่องแรกที่คำนึงถึงและเครื่องมือวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ ควรใช้เครื่องมือที่ทันสมัยและส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อคุณสมบัติของอาหาร

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาที่พบในการทำการทดลอง คือ ฐานรองสำหรับพิมพ์นั้นค่อนข้างไม่แข็งแรง และเอียงทำให้เกิดความคาดเคลื่อน ซึ่งแก้โดยการปรับตั้งฐานใหม่และใช้น้ำตมรองให้ได้มุมที่ต้องการ หากเกิดความคาดเคลื่อน ต้องปรับปรุงฐานก่อนจึงดำเนินการต่อ ต่อมาคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องแล็บไม่เหมาะสมสำหรับประกอบอาหารให้สุก แก้ไขโดย ซื้อภาชนะใหม่ที่เหมาะสมแก่การประกอบอาหารมาใช้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

บรรณานุกรม

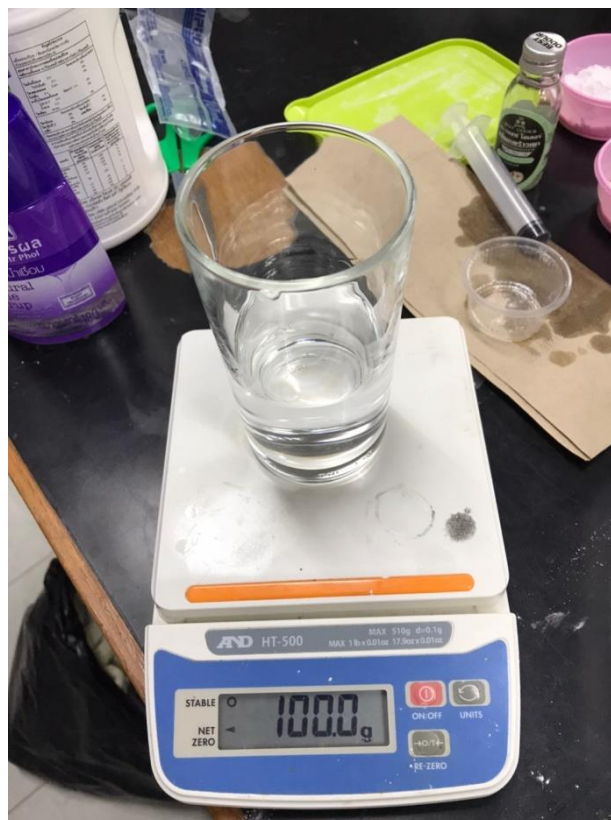
- ดุรงค์ฤทธิ ตรีภาค, พริยศ ภูมิศิลปธรรม. (2558). การขึ้นรูปสามมิติเทคโนโลยีเปลี่ยนโลกสุขภาพ วารสารไทยเกษตรศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ, ฉบับ.10, หน้า.199-206.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. Modified starch / สตาร์ชดัดแปร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0502/modified-starch> (8 มีนาคม 2563)
- สุปราณี แจ้งบำรุง. “องค์ความรู้ด้านอาหารและโภชนาการสำหรับทุกช่วงวัย” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.inmu.mahidol.ac.th/th/freebook_01.pdf?fbclid=IwAR1Ao225sXeb3i6F2Nk3vSzUMylUUx1mJ1J4DghYHL31vxlaO06t64rOtU (12 กันยายน 2562)
- Emily Matchar. (2016). 3D Print Your Own Breakfast. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.smithsonianmag.com/innovation/3d-print-your-own-breakfast-180960048/?fbclid=IwAR013IEj9H7q60XwEOGIBi8fjj07GkW4YTimTJam1p62CwGPwl59QrawSQ4> (21 สิงหาคม 2562)
- Fanli Yang. (2561). Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. LWT – Food Science and Technology, Vol.87, PP 67-76.
- Kim, H. W., Bae, H., & Park, H. J. (2018). Reprint of: Classification of the printability of selected food for 3D printing: Development of an assessment method using hydro- colloids as reference material. Journal of Food Engineering, 220, 28–37.
- Marshall Smith. (2017). WASP Cooperates With Chef Francesco Favorito to 3D Print Gluten Free Food [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.industrytap.com/wasp-cooperates-chef-francesco-favorito3dprintglutenfreefood/41165?fbclid=IwAR1-BGJKnBTCezPz5XFOAkfEvgZKlASe3EWC7KUGsSpK2rra18AEP4Zpw_A (21 สิงหาคม 2562)
- Sun, J., Zhou, W., Yan, L., Huang, D., & Lin, L. (2018). Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control. Journal of Food Engineering, 220, 1–11.

ภาคผนวก ก

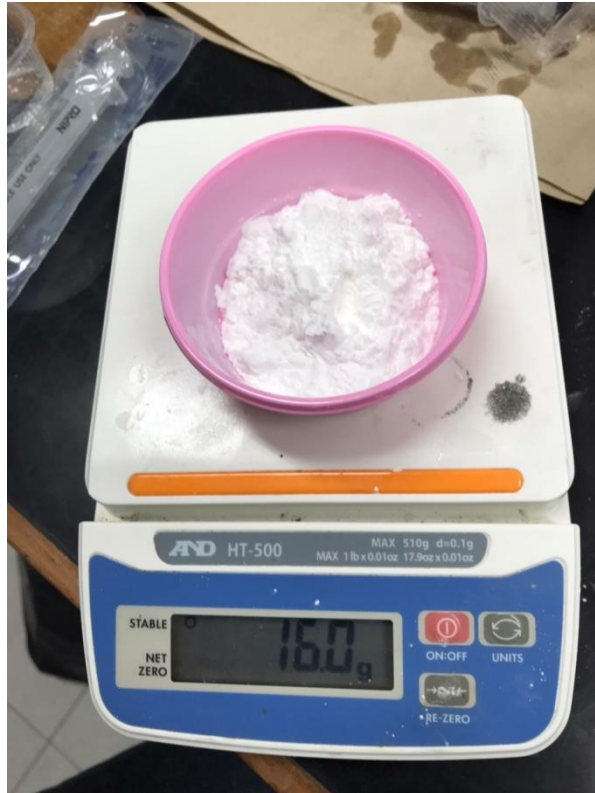
ขั้นตอนการวัด และการเตรียมวัตถุดิบ



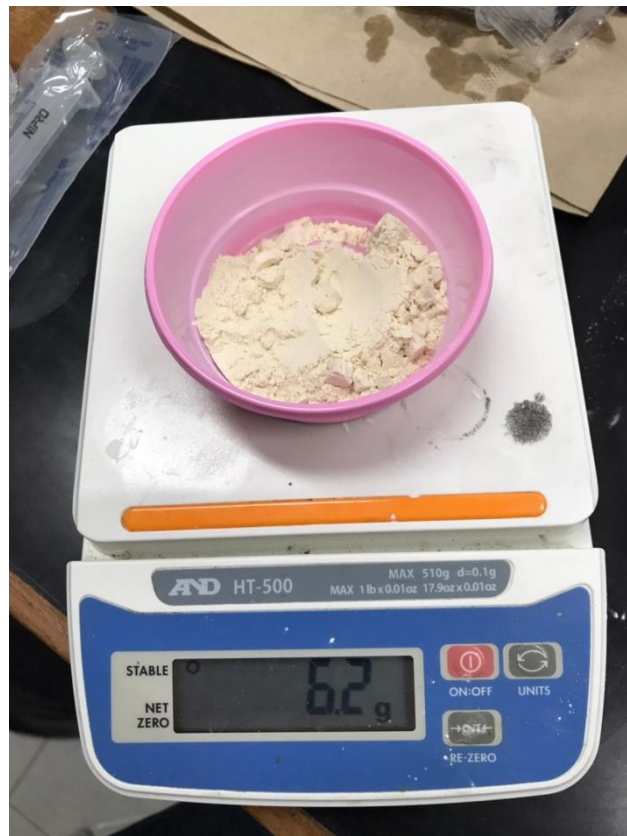
ภาพ ก-1 การชั่งเตรียมน้ำเชื่อม (syrub)



ภาพ ก-2 การชั่งเตรียมน้ำ



ภาพ ก-3 การชั่งเตรียมแป้งแปรรูป



ภาพ ก-4 การชั่งเตรียมผงโปรตีน

ภาคผนวก ข

อาหารเหลวหลังจากการพิมพ์ขึ้นรูปโดยเครื่องพิมพ์สามมิติ



ภาพ ข-1 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 1



ภาพ ข-2 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 2



ภาพ ข-3 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 3



ภาพ ข-4 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 4



ภาพ ข-5 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 5



ภาพ ข-6 การทดลองขึ้นรูปอาหาร



ภาพ ข-7 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 7



ภาพ ข-8 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 8



ภาพ ข-9 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 9



ภาพ ข-10 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 10



ภาพ ข-11 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 11



ภาพ ข-12 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 12



ภาพ ข-13 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 13



ภาพ ข-14 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 14



ภาพ ข-15 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 15



ภาพ ข-16 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 16



ภาพ ข-17 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 17



ภาพ ข-18 การทดลองขึ้นรูปอาหารเหลว 18

ภาคผนวก ค

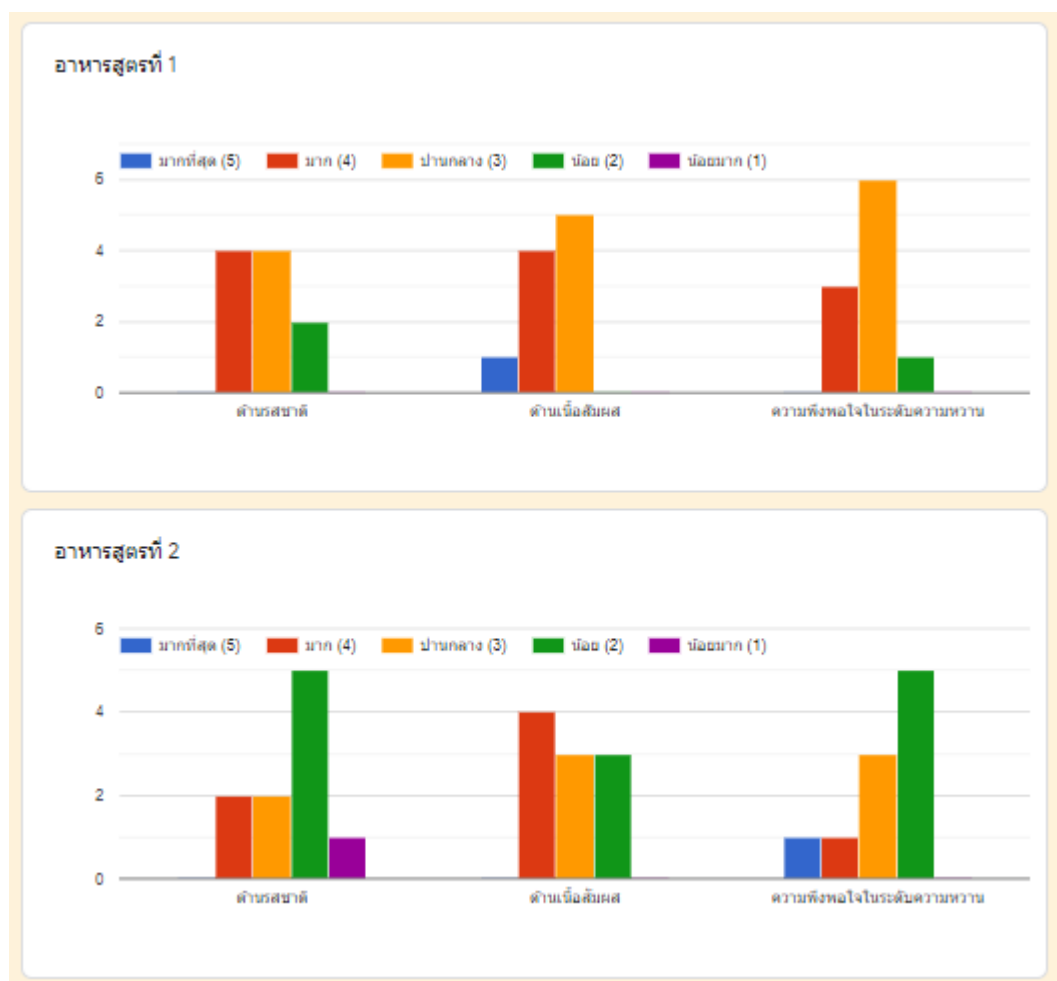
การประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญ

อาหารสูตรที่ 1 *					
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยมาก (1)
ด้านรสชาติ	☐	☐	☐	☐	☐
ด้านเนื้อสัมผัส	☐	☐	☐	☐	☐
ความพึงพอใจใน...	☐	☐	☐	☐	☐

อาหารสูตรที่ 2 *					
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยมาก (1)
ด้านรสชาติ	☐	☐	☐	☐	☐
ด้านเนื้อสัมผัส	☐	☐	☐	☐	☐
ความพึงพอใจใน...	☐	☐	☐	☐	☐

อาหารสูตรที่ 3 *					
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยมาก (1)
ด้านรสชาติ	☐	☐	☐	☐	☐
ด้านเนื้อสัมผัส	☐	☐	☐	☐	☐
ความพึงพอใจใน...	☐	☐	☐	☐	☐

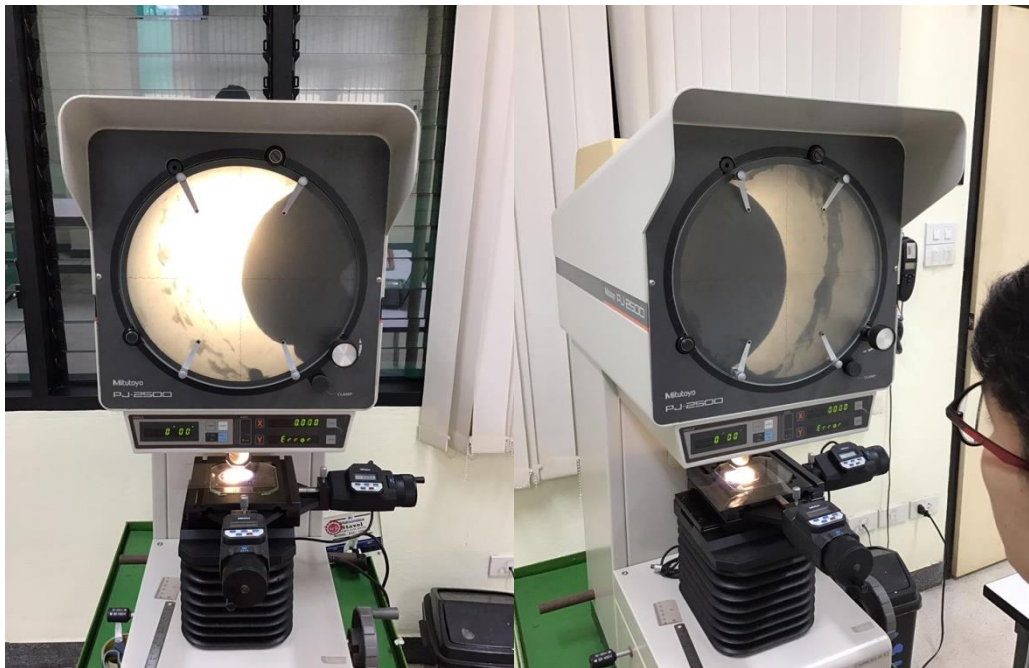
ภาพ ค-1 ตัวอย่างการให้คะแนนผ่าน Google Form



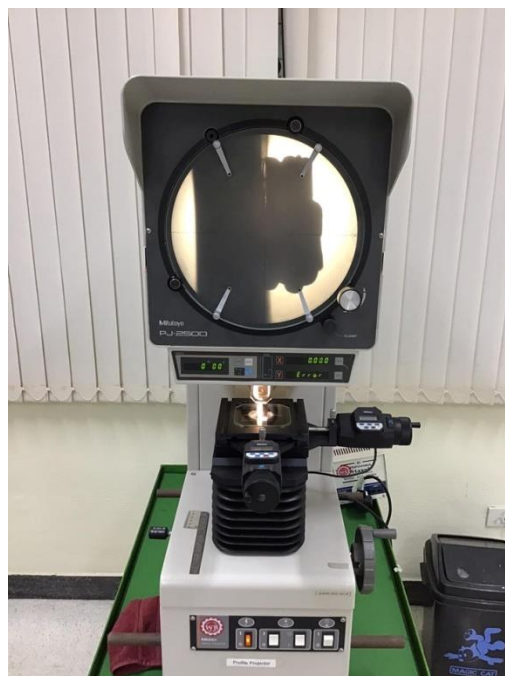
ภาพ ค-2 ตัวอย่างผลคะแนนจาก Google Form

ภาคผนวก ง

การใช้เครื่อง Profile Projector



ภาพ ง-1 แสดงการใช้เครื่อง Profile Projector ในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง



ภาพ ง-2 แสดงการใช้เครื่อง Profile Projector ในการวัดความสูง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ศุภกร ประภาเลิศ	
รหัสนักศึกษา	580610547	
เกิดเมื่อ	11 กรกฎาคม 2539	
ภูมิลำเนา	303 หมู่ 5 บ้านป่ายางมนใหม่ ตำบล รอบเวียง อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงราย 57000	
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษา โรงเรียน เชียงรายวิทยาคม จังหวัดเชียงราย มัธยมศึกษา โรงเรียน เทศบาล 6 นครเชียงราย จังหวัดเชียงราย ปัจจุบัน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
อีเมล	stepblink@hotmail.com	

ชื่อ	นางสาว กชกร เรืองการ	
รหัสนักศึกษา	590610250	
เกิดเมื่อ	28 ตุลาคม 2539	
ภูมิลำเนา	54 หมู่ 17 บ้านไชยเจริญเหนือ ตำบล เวียงชัย อำเภอ เวียงชัย จังหวัด เชียงราย 57210	
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษา โรงเรียน เชียงรายวิทยาคม จังหวัดเชียงราย มัธยมศึกษา โรงเรียน ดำรงราษฎร์สงเคราะห์ จังหวัดเชียงราย ปัจจุบัน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
อีเมล	Kotchakorn_reaw@hotmail.com	