

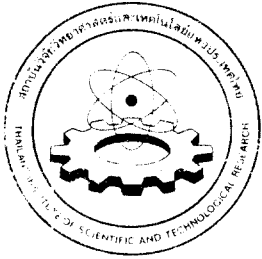
ศูนย์บริการเอกสารวิจัยฯ



RP1991/882

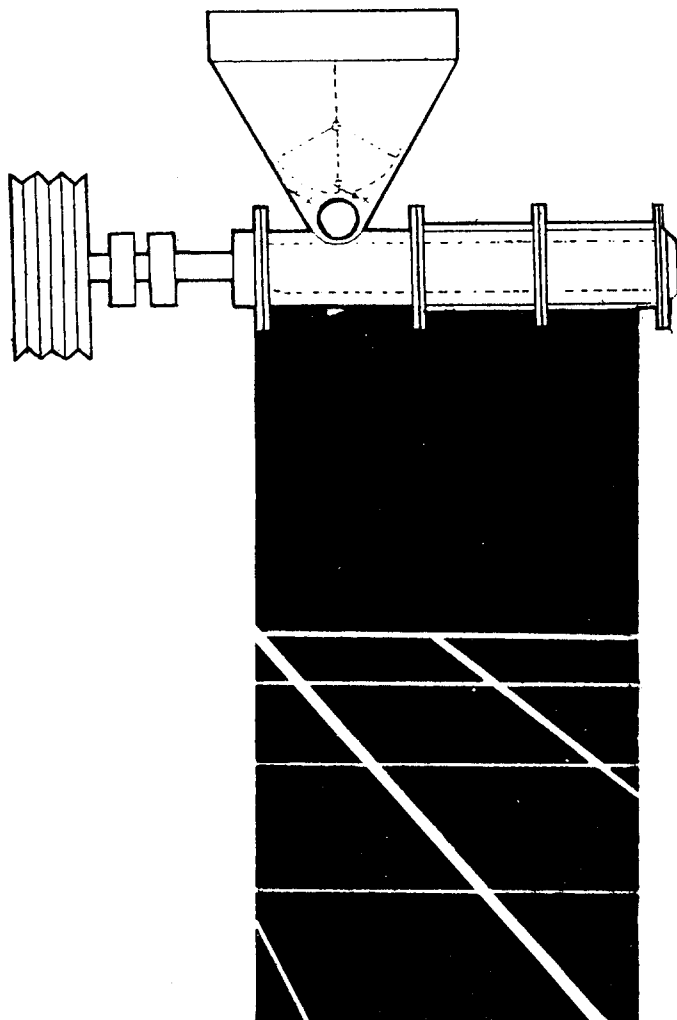
High protein snack food

อ.ต. 28-01/ข. 1/รายงานฉบับที่ 1



อาหารขบเคี้ยวโปรตีน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



โดย

สาขาวิจัยอุตสาหกรรมอาหาร

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(ดร. สันหัด โจรนสุนทร)

ผู้ว่าการ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ อ.-ศ. 28-01
โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อาหาร

โครงการย่อยที่ 1
อาหารขมเคี้ยวโปรตีน

รายงานฉบับที่ 1
อาหารขมเคี้ยวโปรตีน

โดย
สาขาวิจัยอุตสาหกรรมอาหาร

บรรณาธิการ
วัลย์ลดา หงส์ทอง
นฤมล รื่นไวย

ทอ., กรุงเทพฯ 2534
สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
คณะผู้ดำเนินงาน	ฉ
คำนำ	ช
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1) บทนำ	2
2) วัสดุและอุปกรณ์	9
3) กรรมวิธี	12
4) ผลการทดลองและวิจารณ์	15
5) บทสรุปและข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวกที่ 1	57
ภาคผนวกที่ 2	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะมิโนในแป้งข้าวโพดที่มีต่อการพองตัว, ดัชนีการดูดซึมน้ำ และดัชนีการละลายน้ำ	5
ตารางที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างการให้ความร้อน, PDI (protein dispersibility index), PER (protein efficiency ratio)	6
ตารางที่ 3. แสดงระดับของข้อมูลด้านการดูดซึมน้ำ	7
ตารางที่ 4. แสดงระดับของข้อมูลความหนาแน่นปรากฏ	7
ตารางที่ 5. แสดงระดับของค่าอัตราส่วนการพองตัว	8
ตารางที่ 6. แสดงระดับของความชื้น	8
ตารางที่ 7. ราคาและสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้เพื่อทำแป้งผสมก้อนเข้าเครื่องอัดสุกแบบเกลียว	16
ตารางที่ 8. อัตราส่วนของแป้งผสมที่ใช้ในการทดลอง	17
ตารางที่ 9. ราคาและปริมาณโปรตีนของแป้งผสม ซึ่งได้จากการคำนวณ	18
ตารางที่ 10. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่า sensible heat ที่ได้จากการทดลองสูตรแป้งผสมที่ 1-13	23
ตารางที่ 11. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองสูตรแป้งผสม 1-13	25
ตารางที่ 12. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่า sensible heat ที่ได้จากการทดลองที่ 14-21	27
ตารางที่ 13. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่ 14-21	28
ตารางที่ 14. สรุปรวมความร้อนที่โค และน้ำได้รับทั้ง 21 การทดลอง	30
ตารางที่ 15. สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งผสมสูตรที่ 1-13	32
ตารางที่ 16. สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่ 14-21	34

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 17. ความละเอียด และความหนาแน่นปรากฏของแฉ่งผสมสูตรที่ใช้ในการทดลองที่ 1-21	36
ตารางที่ 18. สูตรเคลือบขนมขบเคี้ยวรสต่าง ๆ	51
ตารางที่ 19. ผลการแจกชิมขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากแฉ่งผสมสูตร $M:T_7 = 50:50$ โดยใช้ น้ำเคลือบรสต่าง ๆ	52

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. ลักษณะ เครื่องอัดสุกแบบเกลียว	11
รูปที่ 2. แสดงตำแหน่งมีอนน้ำใหม่	20
รูปที่ 3. แสดงตำแหน่งช่องว่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากแป้งไม่ไหลลงไปใน feed hopper	20
รูปที่ 4. ลักษณะแกน (bar) และตำแหน่งที่ติดแกนบนตัวสกรูรวมทั้งการสอดแผ่นเหล็ก	22
รูปที่ 5. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M = 40:25:35$	37
รูปที่ 6. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:C = 30:20:35:15$	37
รูปที่ 7. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:C = 30:20:40:10$	38
รูปที่ 8. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:C = 30:20:45:5$	38
รูปที่ 9. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:S = 30:20:40:10$	39
รูปที่ 10. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:S = 30:20:25:25$	39
รูปที่ 11. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:S = 30:20:35:15$	40
รูปที่ 12. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:CS = 30:20:40:10$	40
รูปที่ 13. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จาก $G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2$	43
รูปที่ 14. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:CS = 50:50$	43
รูปที่ 15. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $S:CS = 35:65$	44

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 16. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T = 70:30$	44
รูปที่ 17. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T = 80:20$	45
รูปที่ 18. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_7 = 50:50$	47
รูปที่ 19. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:FG = 30:20:40:10$ (1)	47
รูปที่ 20. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:FG = 30:20:40:10$ (2)	48
รูปที่ 21. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_5 = 50:50$ (1)	48
รูปที่ 22. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:TT = 50:50$	49
รูปที่ 23. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_5 = 50:50$ (2)	49
รูปที่ 24. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $T_5 = 100$	50
รูปที่ 25. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ ตลอดจนพองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_3 = 50:50$	50

คณะผู้ดำเนินงาน

นางไพวรรณ วรางกูร	ผู้ประสานงานโครงการ
ดร. วิบูลย์เกียรติ โมฬีตานนท์	ที่ปรึกษาโครงการ
นางสุวรรณา ศรีสวัสดิ์	ที่ปรึกษาโครงการ
นายทรัพย์ วิถีธรรม	หัวหน้าโครงการ
นายชลิต ชูประทับ	ผู้ร่วมโครงการ
นายสมพงษ์ ชวเจริญ	ผู้ร่วมโครงการ
นายเรวัตชัย พลับประสิทธิ์	ผู้ร่วมโครงการ
นายภาวิช บุนทะเกียรติกุล	ผู้ร่วมโครงการ
นายจตุพร ตุ่มทอง	ผู้ร่วมโครงการ
นายสุเทพ ยังเยี่ยม	ผู้ร่วมโครงการ
นายอินทราวุธ ฉัตรเกษ	ผู้ร่วมโครงการ
นางเพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล	ผู้ร่วมโครงการ
นางสาวพรภัทธา ปฏิทัศน์	ผู้ร่วมโครงการ

คำนำ

ในปัจจุบันอาหารขบเคี้ยว (snack food) เป็นที่นิยมรับประทานกันอย่างกว้างขวางในหมู่เด็กนักเรียนและเด็กวัยรุ่นทั่วไป, แต่อาหารขบเคี้ยวดังกล่าวที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดมีคุณค่าทางอาหารต่ำ, ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ทำให้เด็ก ๆ ที่รับประทานอาหารประเภทนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็ก ๆ ในชนบท เป็นโรคขาดอาหาร ซึ่งเป็นปัญหาต่อสังคมและการพัฒนาประเทศโดยส่วนรวม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้เล็งเห็นความสำคัญทางด้านนี้ ประกอบกับเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตอาหารขบเคี้ยวที่ใช้อยู่ในประเทศ เป็นเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง, วท. จึงได้ร่วมมือกับ Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) ในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานและวัตถุดิบในประเทศไทย. โดยในเบื้องต้นทาง วท. ได้รับมอบเครื่องต้นแบบจากทาง KAIST เพื่อพัฒนาอาหารขบเคี้ยวที่มีราคาถูกและมีคุณค่าทางอาหารสูง, ต่อมาในปี 2528 วท. ได้รับเงินอุดหนุนจากรัฐบาลออสเตรเลีย เป็นจำนวนเงิน 2,596,121.50 บาท โดยผ่านสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีโครงการย่อย 3 โครงการ. โครงการย่อยอาหารขบเคี้ยวโปรตีน เป็น 1 ใน 3 โครงการย่อย และได้ใช้เงินจากโครงการใหญ่ไปประมาณ 592,000 บาท.

วท. ได้ทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวจากสูตรต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมของข้าวเจ้า, ข้าวเหนียว และถั่วเขียว พบว่าเครื่องสามารถผลิตอาหารขบเคี้ยวได้ แต่ไม่สามารถเดินเครื่องให้มีการผลิตอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพราะเกิดปัญหาการไหม้ของโด (dough) ในตัวสกรู นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบ (extrudate) ที่ผลิตได้ มีลักษณะพองตัวมากและสุกไม่สม่ำเสมอ คือ ด้านที่ติดตัวสกรูจะมีสีอ่อนพองตัวน้อย ส่วนด้านที่ติดผนังเครื่องจะมีสีเข้มพองตัวมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างไม่สวยงาม. จากปัญหาดังกล่าว จึงหาวิธีการแก้ไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงสูตรแป้ง ตลอดจนอัตราการบอมน้ำ และความเร็วรอบของสกรู เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดีขึ้น รวมทั้งแก้ไขการไหม้ของโดภายในสกรู และการสุกไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ โดยทำการแก้ไขแบบของเครื่องซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในรายงานฉบับนี้.

HIGH PROTEIN SNACK FOOD

By

Food Industry Department

ABSTRACT

This report described the modification of the extruder to gain more capacity in producing extrudates at steady state for several hours. The operation condition of the extruder to achieve the good extrudates were the puffing temperature range from 155°-165° C, the production rate between 46- 7 kg per hour, and the electrical power required per one kilogramme extrudate was 0.24-0.36 kWatt-hour. The raw materials used were locally available, for examples, rice, glutinous rice, corn, cassava, mung bean and defatted soy meal. The composite flour from the mentioned raw materials could be either coarse or fine particles. Over 50% by weight of the coarse composite flour had particle size bigger than 60 mesh and over 60% by weight of the fine composite flour smaller than 150 mesh. From the experiments, it was found that there were five formulae of the flour mixture which provided the extrudates with crispy texture, delicious taste and good air cell structure. These five composite flour formulae costed 11.27-12.50 baht per kilogramme and protein content was 15.0-21.8% on dry basis.

อาหารขบเคี้ยวโปรตีน
โดย
สาขาวิจัยอุตสาหกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เสนอการแก้ไขปรับปรุงเครื่องอัดสุกแบบเกลียว เพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบเป็นระยะเวลาต่อเนื่องนานหลายชั่วโมง. สภาวะการทำงานของเครื่องที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอคือ อุณหภูมิในการพองตัวอยู่ในระหว่าง 150° - 165° ซ., อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์ 46-97 กก.ต่อชั่วโมง, ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งกิโลกรัม อยู่ในช่วง 0.24-0.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมง. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวมีอยู่ภายในประเทศ ได้แก่ ข้าวเจ้า, ข้าวเหนียว, ข้าวโพด, มันสำปะหลัง, ถั่วเขียว และกากถั่วเหลือง. แป้งผสมที่ได้จากวัตถุดิบดังกล่าวจะมีทั้งชนิดหยาบ และชนิดละเอียด. แป้งผสมชนิดหยาบในขนาดที่ใหญ่กว่า 60 mesh มีอยู่มากกว่า 50%, ส่วนแป้งผสมชนิดละเอียดขนาดที่เล็กกว่า 150 mesh มีมากกว่า 60%. จากการทดลองใช้แป้งผสมสูตรต่าง ๆ พบว่ามีสูตรแป้งผสม 5 สูตร ที่ให้ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบที่มีลักษณะกรอบอร่อย และมีโครงสร้างพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์. แป้งผสมทั้ง 5 สูตรนี้มีราคาอยู่ในช่วง 11.27-12.50 บาทต่อกิโลกรัม, มีโปรตีนอยู่ในช่วง 15.0-21.8 % โดยน้ำหนักแห้ง.

a) บทนำ

ชนิดของแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบ

ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวแบบพองตัวนั้นผลิตจากธัญพืชซึ่งมีแป้งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ เช่น ข้าวบาร์เลย์, ข้าวโพด, ข้าวโอ๊ต, ข้าวเจ้า, ข้าวไรย์, ข้าวฟ่าง, ข้าวสาลี และแป้งจากพืชตระกูลหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เป็นต้น. ส่วนผสมที่มีปริมาณแป้งสูงจะได้

* สาขาวิจัยอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวมาก. แป้งที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแป้งที่ได้จากธรรมชาติ (native starch) ไม่มีการดัดแปร (modified) ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวมีลักษณะพองและกรอบ. Feldberg (1969) และ Smith (1971) ได้สรุปคุณลักษณะพิเศษของผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบอันเกิดจากสมบัติของแป้งไว้ดังนี้คือ:

1. ควบคุมความหนาแน่น (density control). อะมิโลส (amylose) หรือแป้งที่ผ่านการดัดแปรทางเคมี ตามปกติจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียวมีความหนาแน่นมากขึ้น.
2. ความแข็ง (strength). แป้งดัดแปร (modified starch) สามารถเพิ่มความแข็งและลดการแตกหักของขนมที่พองตัวได้อย่างแน่นอน และทำให้เนื้อสัมผัส (texture) แข็งมากขึ้น.
3. ปรับปรุงอายุการเก็บรักษา (shelf - life improvement). แป้ง waxy starch ที่ผ่านการทำให้สุก (gelatinized) มาเล็กน้อยจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียวกรอบอยู่ได้นาน.
4. การดูดความชื้น (moisture uptake). แป้งดัดแปรสามารถลดอัตราการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียวได้, ทำให้เนื้อสัมผัสแข็งและกรอบเหมือนเดิม.
5. กลิ่นรส (flavour). ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียวที่ผลิตจากแป้งที่มีอะมิโลเพกทิน (amylopectin) สูงจะมีกลิ่นรสที่ดี.
6. การรวมตัวกับไขมัน (fat binding). ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียวที่ผลิตจากแป้งดัดแปร สามารถจับหรือรวมตัวกับไขมันโดยไม่เกิดการยุบตัวของผลิตภัณฑ์.
7. ความสามารถในการจับน้ำ (water holding capacity). หากแป้งที่ถูกดัดแปรไปมากและเดกซ์ทรินจะช่วยลดค่า water activity ของอาหารประเภทชั้นปานกลางได้อย่างดี เช่น พวกอาหารสัตว์.

อัตราส่วนอะมิโลสต่ออะมิโลเพกทินในแป้ง จะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของขนมที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียวดังนี้คือ ถ้าแป้งมีอะมิโลเพกทินสูงมากจะทำให้เกิดการพองตัวมากและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเบาและแตกง่าย, ในทางกลับกันถ้าแป้งมีอะมิโลสสูง จะมีแนวโน้มที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวน้อยและแข็งกว่า. โดยปกติแป้งที่จะนำมาผลิตเป็นขนมด้วยเครื่องอัดสุกแบบเกลียวควรมีอะมิโลสไม่ต่ำกว่า 20% และไม่สูงกว่า 50%, ถ้าแป้งที่มีอะมิโลสสูงกว่า 50% จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นมากและการพองตัวน้อยลง.

Bretch (1972) ได้ทำการทดลองโดยใช้แป้งที่มีอะมิโลสสูงมาทำ crosslink กับ polyfunctional esterification reagent แล้วทำ acylation กับ acetic หรือ propionic anhydride พบว่าถ้าเพิ่มปริมาณแป้งตัดแปรนี้ในส่วนผสมแป้งที่นำไปผ่านเครื่องอัดสุกแบบเกลียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้น.

นอกจากนี้ Mercier และ Feillet (1975) ได้ศึกษาทดลองถึงผลของอะมิโลส ในแป้งข้าวโพดต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่อง twin screw extruder. จากผลการทดลองที่สรุปไว้ในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การพองตัวและค่าดัชนีการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อปริมาณอะมิโลสในแป้งสูงขึ้น, ส่วนค่าดัชนีการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้นเมื่อปริมาณอะมิโลสสูงขึ้น.

ตารางที่ 1. ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะมิโลส ที่มีอยู่ในแป้งข้าวโพดที่มีต่อการพองตัว
 ระดับการดูดซึมน้ำ และระดับการละลายน้ำ

สมบัติของผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิในการอัดสุก (ซี.)	ปริมาณอะมิโลสในแป้ง (% น้ำหนักแห้ง)				
		1	15	30	46	61
การพองตัว	130	100	40	23	13	12
	180	100	81	78	66	17
	225	100	68	61	52	83
ระดับการดูดซึมน้ำ	130	100	134	127	121	123
	180	100	102	128	202	198
	225	100	170	209	300	410
ระดับการละลายน้ำ	130	100	30	22	17	2
	180	100	80	50	27	2
	225	100	78	52	33	13

Relative reference units (ความชื้นเริ่มต้นก่อนการอัดสุก 22 % โดยน้ำหนัก)

ที่มา : Mercier, C. and Feillet, P. 1975. Cereal Chem., 52 (3), 283.

ชนิดของโปรตีนที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคี้ยว

โดยปกติโปรตีนไม่ได้ช่วยในการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดสุกแบบเกลียว. การเพิ่มโปรตีนลงในส่วนผสมที่จะผ่านเครื่องอัดสุกแบบเกลียว จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มีเนื้อสัมผัสที่แน่นและพองตัวน้อย. ดังนั้นปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ จึงถูกจำกัดด้วยลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ของผลิตภัณฑ์. แหล่งโปรตีนที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตขนมด้วยเครื่องอัดสุกแบบเกลียว คือโปรตีนจากพืชซึ่งมีอยู่ในธัญพืชแต่ก็มีปริมาณน้อยคือ 3-7%. นอกจากนี้ก็มีโปรตีนจากพืชตระกูลถั่วซึ่งมีปริมาณมากถึง 24-30% เช่น ในถั่วเขียวและถั่วเหลือง. หากต้องการ

แหล่งโปรตีนที่สูงขึ้นก็ใช้กากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันและผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อไล่เฮกเซน (hexane) จนหมดแล้ว ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง. ถ้าพิจารณาผลการทดลองของ Kellor (1974) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 จะเห็นว่ากากถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนสูงจะมีคุณค่าทางอาหารสูง คือค่า protein efficiency ratio (PER) สูงกว่ากากถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนปานกลาง. ดังนั้นหากไม่คำนึงถึงการนำไปทำเนื้อเทียม (texturized protein) ซึ่งต้องคำนึงถึงการฟอร์มตัวและการเกิด crosslinking ของโปรตีนโมเลกุลซึ่งแสดงโดยค่า protein dispersibility index (PDI) แล้ว กากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันพืชก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวได้ ทั้งนี้เพื่อลดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นปัญหาที่จะต้องแก้ไข และเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์.

ตารางที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างการให้ความร้อน, PDI (protein dispersibility index), PER (protein efficiency ratio)

การให้ความร้อนเพื่อไล่เฮกเซน	PDI	PER
ไม่ผ่านความร้อน	85 +	1.3
ความร้อนปานกลาง	60-75	1.6
ความร้อนสูง	20-40	2.2

ที่มา : Kellor, R.L. 1974. J. Am Oil Chem. Soc., 51 (1), 77A.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบ

ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบ จะถูกนำมาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้คือ ค่าความหนาแน่นปรากฏ, สี, ค่าอัตราส่วนการพองตัว, ค่าการดูดซึมน้ำ, เนื้อสัมผัส และความชื้น.

1. สีและเนื้อสัมผัส (color and texture) จะทดสอบโดยทางประสาทสัมผัส (organoleptic test).
2. ค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของผลิตภัณฑ์ (Van Zuilichem et. al. 1977) จะได้จากการนำตัวอย่างมาชั่งเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วชั่งน้ำหนักมา 1 กรัม นำมาผสม

กับน้ำ 8 มล. (พร้อมกับกวน) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปปั่น (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที (ค่า $g = 400$) เป็นเวลา 5 นาที, วัตถุประสงค์ของน้ำที่เหลือ จะทำให้ได้ปริมาณของน้ำที่ตัวอย่างดูดไปได้ โดยคำนวณเทียบกับน้ำหนักตั้งต้นที่ใช้, ค่าที่ได้จะคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. แสดงระดับของข้อมูลด้านการดูดซึมน้ำ*

ระดับ	การดูดซึมน้ำ (%)	
	ขนาด particle (1-4 มม.)	ขนาด particle (4-10 มม.)
ปานกลาง	200-219	120-139
ต่ำ	220-239	140-159
ต่ำมาก	240-269	160-179
สูง	> 270	> 180

* Van Zuilichem et al. 1977

3. ค่าความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) จะวัดจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด 4-10 มม. หน่วยที่วัดคือ ก./ซม.³ ค่าความหนาแน่นที่วัดนี้จะได้จากตัวอย่างที่มีขนาดเดียวกัน และมีความชื้นอยู่ในช่วง 6-8 % ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.

ตารางที่ 4. แสดงระดับของข้อมูลความหนาแน่นปรากฏ*

ระดับ	ขนาด particle (1-4 มม.)	ขนาด particle (4-10 มม.)
ดี	< 400 ก./ซม. ³	< 300 ก./ซม. ³
ไม่ยอมรับ	< 400 ก./ซม. ³	< 300 ก./ซม. ³

* Van Zuilichem et al. 1977

4. ค่าอัตราส่วนการพองตัว (expansion ratio) หาได้จากการเปรียบเทียบระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู die กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งค่าอัตราส่วนการขยายตัวนี้จะอาศัยพื้นฐานมาจากค่าความหนาแน่นปรากฏ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.

ตารางที่ 5. แสดงระดับของค่าอัตราส่วนการพองตัว*

ระดับ	ค่าอัตราส่วนการขยายตัว
เลว	1.00-1.25
ปานกลาง	1.25-1.50
ดี	1.50-2.00
ดีมาก	2.00-3.00
ยอดเยี่ยม	> 3.00

* Van Zuilichem et al. 1977

5. ค่าความชื้น (moisture content) ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์จะหาได้โดยการชั่งใน "Ohaus moisture determination balance" หนักที่ผลิตภัณฑ์เป็นตัวอย่างจนถึงอุณหภูมิห้อง: ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเทียบกับระดับที่แสดงในตารางที่ 6.

ตารางที่ 6. แสดงระดับของความชื้น

ระดับ	ค่าความชื้น (%)
เลว	> 8
ปานกลาง	6-8
ดี	4-6
ดีมาก	< 4

2) วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ปลายข้าวเจ้า (broken rice) ใช้ตัวย่อ R
2. ข้าวเหนียว (glutinous rice) ใช้ตัวย่อ G
3. ถั่วเขียวกะเทาะเปลือก (dehulled mung bean) ใช้ตัวย่อ M
4. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (maize) ใช้ตัวย่อ C
5. แป้งข้าวโพด (corn starch) ใช้ตัวย่อ CS
6. แป้งมัน (tapioca starch) ใช้ตัวย่อ T
7. กากถั่วเหลือง (defatted soy bean) ใช้ตัวย่อ S
8. แป้งท้าวยายม่อม ใช้ตัวย่อ TT
9. แป้งข้าวเหนียวหมัก 3 วัน ใช้ตัวย่อ FG
10. มันสำปะหลังบดแห้ง ซึ่งผ่านการหมัก 3 1/2, 5 1/2, 7 1/2 วัน ใช้ตัวย่อ T3, T5, T7 ตามลำดับ
11. ผงช็อกโกแลต
12. กาแฟ
13. กุ้งแห้ง
14. น้ำตาล
15. เกลือ
16. CMC (carboxymethyl cellulose)
17. น้ำจิ้มไก่ : ยี่ห้อแม่ประนอม และพันท้ายนรสิงห์
18. น้ำมันพืช
19. แปะแซ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเตรียมแป้ง

- 1.1 Hammer mill ขนาดกำลังผลิต 50 กิโลกรัม/ชั่วโมง, ขนาดรูเปิดของตะแกรง = 1 มม. มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 5 แรงม้า, 3 phase, 50 Hz, 380 โวลต์, ความเร็วรอบ 1,410 รอบ/นาที.

1.2 Buhr mill, type C, ขนาดกำลังผลิต 70-150 กิโลกรัม/ชั่วโมง, มอเตอร์ขับขนาด 1 แรงม้า, 3 phase, 50 Hz, 380 โวลต์, ความเร็วรอบ 200-500 รอบ/นาที, CeCoCo, Japan.

1.3 Rotosieve, model 60, 3 decks มอเตอร์ขับขนาด 1 แรงม้า, 3 phase, 50 Hz, 380 โวลต์, Oxley Dempster Ltd. UK.

1.4 Twin-shell blender/mixer, ขนาดกำลังผลิต 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง, มอเตอร์ขับ 3 แรงม้า, 3 phase, 50 Hz, 380 โวลต์.

2. Extruder (LEC system)

ขนาดกำลังการผลิต 100-120 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย :

- main motor ขนาด 20 แรงม้า, 380/666 โวลต์ 1460 รอบ/นาที, 29.8 แอมป์.
- feeding VS motor ขนาด 3 แรงม้า, 380 โวลต์ 1,500 รอบ/นาที, Gear reduction ratio 1:20.
- cutting DC motor ขนาด 1 แรงม้า, 220 โวลต์, 2,300 รอบ/นาที, 45 แอมป์.

หมายเหตุ extruder ทั้งชุดนี้ได้รับการถ่ายทอดจาก KAIST.

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 เครื่องมือใช้วิเคราะห์หาความชื้น

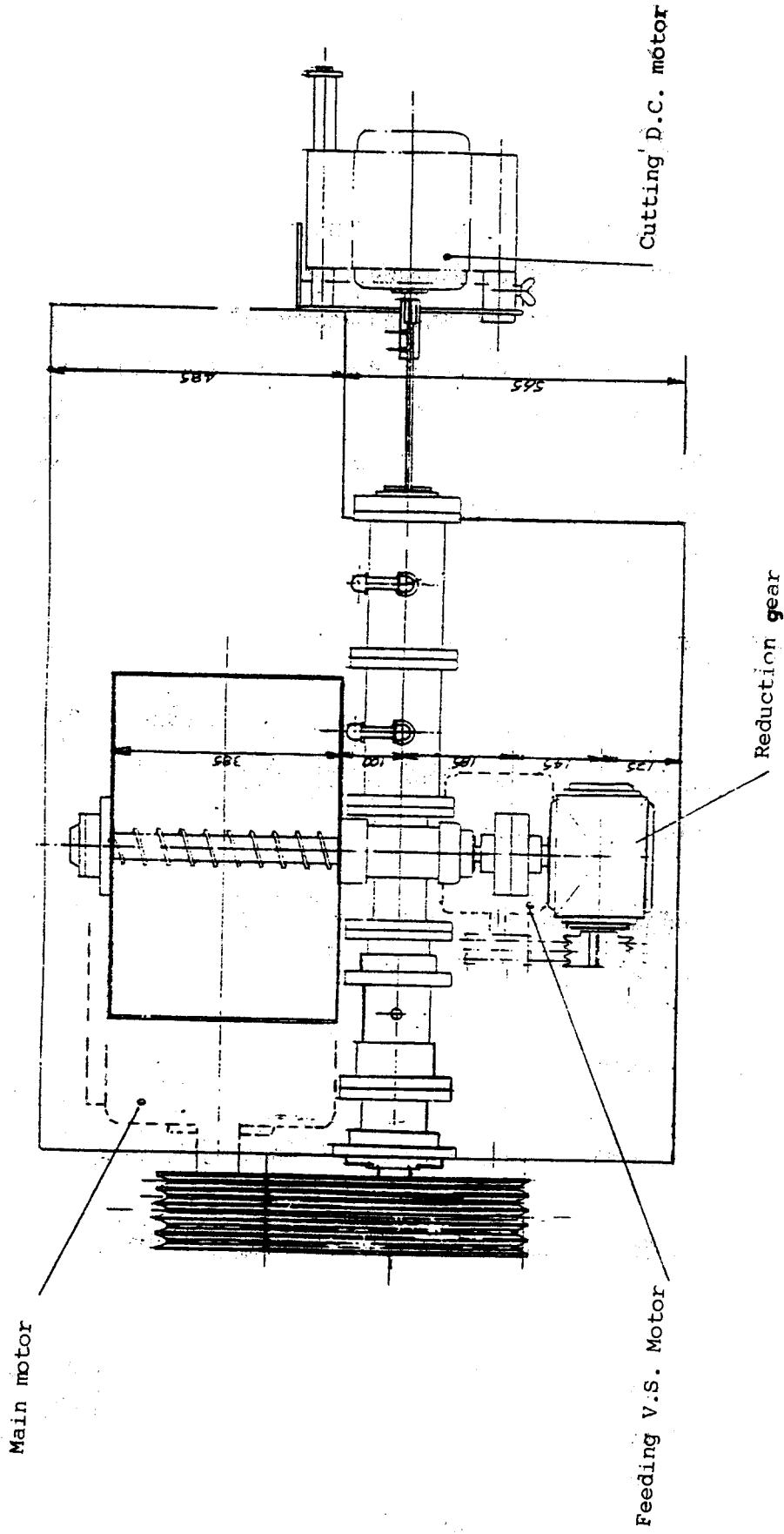
Sartorius, model 7093 01/02, 250 วัตต์, 220 โวลต์.

3.2 Vernier calipper, Mitutoyo, 8 นิ้ว (20 ซม.), scale 1/128" และ 0.05 มม.

3.3 Centrifuge ขนาด 8x15 มล., Heka No. 4277, Berthod Hermle kg. Zentrifugen

- D 7209 Gosheim (ใช้หาค่าการดูดซึมน้ำ).

3.4 เครื่องวัดความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ (individual density) ในที่นี้ใช้เครื่องวัดความหนาแน่นของนมผง.



รูปที่ 1. ลักษณะ เครื่องยนต์ สุกแบบ เกลียว

3) กรรมวิธี

1. วิธีการเตรียมแป้งเพื่อใช้ในการทดลอง

ปลายข้าวเจ้า, ข้าวเหนียว, ถั่วเขียวกะเทาะเปลือก, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, กากถั่วเหลือง, แป้งข้าวเหนียวหมัก, และมันสำปะหลังบดแห้ง จะถูกบดด้วย Hammer mill ซึ่งตะแกรงมีรูเปิดขนาด 1 มม. สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านการบดด้วย Hammer mill แล้วจะนำไปบดอีกครั้งด้วย Buhr mill แล้วร่อนผ่านตะแกรง 40 mesh. ส่วนแป้งมันสำปะหลังบดแห้งบางสูตรจะบดด้วย Fitz mill ผ่านตะแกรงขนาด 150 mesh. จากนั้นนำแป้งมาผสมกันตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 8 โดยใช้เครื่อง Twin shell blender ซึ่งผสมได้ครั้งละ 90 กิโลกรัม และใช้เวลาผสมไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วเก็บไว้เพื่อนำไปผ่านเครื่องอัดสุกแบบเกลียวในวันถัดไป.

2. วิธีการเดินเครื่องอัดสุกแบบเกลียว มีขั้นตอนดังนี้ คือ:

2.1 ทำการตรวจเช็ค LEC system ก่อนที่จะทำการเดินเครื่อง. การตรวจเช็คจะทำการตรวจดูตามจุดต่าง ๆ เช่น ให้ถังป้อนน้ำมีน้ำอยู่ในระดับที่ต้องการ, ระบบ power supply และอื่น ๆ ให้อยู่ในสภาพเรียบร้อย.

2.2 เก็บตัวอย่างแป้งที่ทำการผสมไว้เรียบร้อยแล้วเพื่อนำไปวิเคราะห์ความชื้น, ความหนาแน่นปรากฏ และ sieve analysis.

2.3 นำแป้งใส่ลงใน hopper.

2.4 เปิดเครื่องเพื่อให้ main screw ทำงานพร้อมกับเปิดน้ำหล่อเย็นเต็มที.

2.5 เปิดน้ำเข้าสู่ระบบ (เพื่อผสมกับแป้ง) โดยตั้ง rotameter ไว้ที่ 4 แกลลอน/ชั่วโมง.

2.6 เปิด feed screw พร้อมกับค่อย ๆ เพิ่มปริมาณแป้งเข้าสู่ระบบโดยสังเกตจากความเร็วรอบของ feed screw ที่แสดงบนแผงควบคุม, ซึ่งในตอนแรกนี้จะใช้ความเร็วรอบประมาณ 300-400 รอบ/นาที.

2.7 เพิ่มอัตราการป้อนแป้งเข้าสู่ระบบทีละน้อย (ประมาณครั้งละ 50-100 รอบ/นาที จาก scale หน้าที่ ๑), การปรับนี้จะทำทุก ๆ 5-10 นาที โดยสังเกตดูจากระบบ ถ้าระบบ อยู่คงตัว แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มอัตราการป้อนแป้งขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงปริมาณอัตราการผลิต ที่ต้องการแล้วคงอัตราการผลิตนี้ไว้.

2.8 ลดปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบทีละน้อย และต้องระมัดระวังมาก ๆ ในการลด ปริมาณน้ำนี้ โต้ที่ออกจากเครื่องความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ.

2.9 ลดปริมาณน้ำที่หล่อเย็นลงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ (ซึ่งในช่วงนี้อาจจะต้อง ปรับทั้งอัตราการป้อนแป้ง และอัตราการป้อนน้ำอีกเล็กน้อย เพื่อช่วยให้อุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการ).

2.10 เปิด cutter เพื่อตัดผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบ ให้ได้ขนาดตามต้องการ, พร้อมทั้งทำการวัดอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ที่ผลิตได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา.

2.11 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบที่ได้ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาความ ชื้น, การดูดซึมน้ำ ฯลฯ พร้อมกับบันทึกอุณหภูมิที่เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อ- เย็น, โวลต์, แอมป์ของมอเตอร์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป.

2.12 เมื่อจะหยุดการทดลองให้เพิ่มอัตราการป้อนน้ำ เข้าสู่ระบบให้มากขึ้นอย่างช้า ๆ พร้อมกับค่อย ๆ ลดปริมาณแป้งที่ป้อนลง จนในที่สุดจะหยุดการป้อนแป้งคงเหลือแต่น้ำที่ป้อนเข้าสู่ ระบบเท่านั้น. จากนั้นจึงทำการเปิดหัว die เพื่อเอา main screw ออกเพื่อล้างทำความสะอาดเครื่อง.

3. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบ

3.1 การหาความชื้น.

หาความชื้นโดยใช้เครื่อง Sartorius ที่อุณหภูมิ 110 °ซ. (หรือระดับความร้อนที่ 4) เป็นเวลา 20 นาที โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่รู้น้ำหนักแน่นอนอยู่ใน ช่วง 3-5 กรัม.

3.2 การหาความหนาแน่นปรากฏ

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 2,000 มล. ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม. และความสูง 48 ซม. แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้. ค่าของน้ำหนักที่ได้หารด้วยปริมาตร 2,000 มล. จะได้ค่าความหนาแน่นปรากฏในหน่วย กรัม/ลบ. ซม.

3.3 การหาความหนาแน่นผลิตภัณฑ์

3.3.1 ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์เป็นรูปทรงกระบอก (หรือไม่ได้เปิด cutter ตัดเป็นท่อน ๆ) จะสามารถหาความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ได้ โดยตัดผลิตภัณฑ์ให้มีขนาด 10 ซม. แล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย เพื่อนำไปหาปริมาตร. จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ยาว 10 ซม. จากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้หารด้วยปริมาตรที่คำนวณ จะได้เป็นค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์.

3.3.2 ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นรูปทรงกระบอก หรือมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ในกรณีนี้จะใช้เครื่องหาความหนาแน่นของขนมปังแทน ซึ่งจะทำให้โดยการเขย่าเมล็ดข้าวฟ่างไปมาประมาณ 10 ครั้ง เพื่อไล่อากาศและให้เมล็ดข้าวฟ่างวางตัวอยู่อย่างเหมาะสมในเครื่อง หลังจากนั้นคว่ำเครื่องลงแล้วปิดรูที่จะให้ข้าวไหลลงข้างล่าง ใส่ตัวอย่างลงไปทางด้านล่าง, ทงายเครื่องขึ้นแล้วปล่อยเมล็ดข้าวฟ่างลงข้างล่าง ปริมาตรของเมล็ดข้าวฟ่างจะเพิ่มขึ้น. อ่านปริมาตรที่เพิ่มขึ้นแล้วนำไปหารน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งมา ซึ่งจะได้ค่าความหนาแน่นมีหน่วยเป็นกรัม/ลบ. ซม.

3.4 การหาค่าการดูดซึมน้ำ (ตามวิธีการของ Van Zuilichem et al. 1977) บดผลิตภัณฑ์ให้มีขนาด 1-4 มม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก 1 กรัม. นำมาผสมและกวนกับน้ำ 8 ลบ. ซม. เป็นเวลานาน 1 นาที. จากนั้นนำไปปั่น (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที. ผลต่างของน้ำใส่กับส่วนที่ตกตะกอนจะทำให้สามารถหาปริมาณน้ำที่ผลิตภัณฑ์ ดูดไปได้ ค่าที่ได้จะนำไปคำนวณโดยเทียบกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้แล้วคูณด้วย 100 ค่าที่ได้จะออกมาในรูปเปอร์เซ็นต์.

3.5 การหาอัตราส่วนการพองตัว

ทำการหาค่าเฉลี่ยได้โดยหารเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ (จำนวน 50 ตำแหน่ง) ด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของ die.

4. การหาขนาดของวัตถุดิบ คือ แป้งต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์

ใช้ตัวอย่าง 100 กรัม แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ คือ 16, 30, 60, 80, 120 และ 150 mesh โดยใช้เครื่องช่วยชนิด 3. ทิศทาง นาน 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักแป้งที่ค้างอยู่บนตะแกรง.

4) ผลการทดลองและวิจารณ์

วัตถุประสงค์ของการทดลองที่จะกล่าวต่อไปนี้มี 2 ประเภท คือ :

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีในการผลิตอาหารขบเคี้ยว โดยใช้เครื่องอัดสุกแบบเกลียวราคาถูกจาก KAIST โดยคำนึงถึงคุณค่าทางอาหาร, ลักษณะเนื้อสัมผัส, ความสม่ำเสมอของการพองตัว และขนาดของพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม.

2. เพื่อศึกษาการพัฒนาเครื่องจักร โดยการแก้ไขปรับปรุงเครื่องระบบอัดเกลียวที่ได้จาก KAIST ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการศึกษาสภาวะในการเดินเครื่องอัดสุกแบบเกลียวให้เหมาะสม, สามารถทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดการอุดตันของน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบหรือเกิดการไหม้ของโต.

การทดลองได้กระทำเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ทั้งสองพร้อมกัน ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงสูตรของแป้งผสมที่ใช้ป้อนเข้าเครื่องพร้อมกับการดัดแปลงเครื่องเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องของเครื่องควบคู่กันไป.

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผสมเป็นแป้งผสมเพื่อป้อนเข้าเครื่องอัดสุกแบบเกลียวมี 13 อย่าง, ราคาและสมบัติทางเคมีได้แสดงไว้ในตารางที่ 7. ส่วนสูตรของแป้งผสมที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 19 สูตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8. จากข้อมูลในตารางที่ 7 และ 8 ได้นำมาคำนวณราคาและปริมาณโปรตีนโดยน้ำหนักแห้งของแป้งผสม (ดังแสดงในตารางที่ 9), ปริมาณโปรตีนโดยน้ำหนักแห้งของแป้งผสมนี้เป็นตัวชี้บอกถึงปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่ได้. จากข้อมูลในตารางที่ 9 นี้ หากกำหนดราคาแป้งผสมให้อยู่ในช่วง 10.30-12.50 บาท จะได้แป้งที่มีโปรตีนโดยน้ำหนักแห้งอยู่ระหว่าง 14.70-23.9%, หากคิดว่าในผลิตภัณฑ์มีความชื้น 10% จะทำให้มีปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 13.23-21.5% ซึ่งนับว่าสูงกว่าอาหารขบเคี้ยวที่มีขายอยู่ในท้องตลาด.

ตารางที่ 7. ราคาและสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้เพื่อทำแป้งผสมก้อนเข้าเครื่องอัดสุกแบบเกลียว

วัตถุดิบในรูปแป้ง	ราคา (บาท/กก.)	ความชื้น (%)	โดยน้ำหนักแห้ง (%)				
			โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	กาก	คาร์โบไฮเดรต
ข้าวเหนียว	7.20	13.86	7.62	0.41	0.31	0.35	91.32
ข้าวเจ้า	5.80	10.70	8.29	0.56	0.22	0.45	90.48
ถั่วเขียว	18.00	7.86	29.31	1.22	2.42	0.74	66.31
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	5.00	9.94	11.45	4.11	1.34	0.98	82.12
แป้งข้าวโพด	18.00	11.48	0.39	0.07	0.03	ไม่มี	99.51
กากถั่วเหลือง	11.00	11.37	50.53	1.90	11.77	3.67	30.13
แป้งมันสำปะหลัง	5.00	11.64	0.09	0.07	0.11	ไม่มี	99.73
หัวขายนม	5.50	14.47	0.15	0.12	0.21	ไม่มี	99.58
ข้าวเหนียวหมัก	7.50	7.47	8.19	0.15	0.17	ไม่มี	91.55
มันบดแห้ง	7.00	6.67	0.84	0.21	0.87	1.10	96.98
หมัก 7 1/2 วัน							
มันบดแห้ง	6.00	6.49	0.60	0.40	0.43	0.74	97.28
หมัก 5 1/2 วัน							
มันบดแห้ง	5.50	7.77	0.74	0.42	0.62	2.66	96.67
หมัก 3 1/2 วัน							
ซ็อกโกแลต	68.00	-	-	-	-	-	-

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 21

ตารางที่ 8. อัตราส่วนของแป้งผสมที่ใช้ในการทดลอง

แป้งผสมสูตรที่	ชนิดของแป้ง	อัตราส่วนของแป้งผสม
1	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว	G:R:M = 40:20:35
2	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : ข้าวโพด	G:R:M:C = 30:20:35:15
3	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : ข้าวโพด	G:R:M:C = 30:20:40:10
4	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : ข้าวโพด	G:R:M:C = 30:20:45::5
5	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : กากถั่วเหลือง	G:R:M:S = 30:20:40:10
6	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : กากถั่วเหลือง	G:R:M:S = 30:20:25:25
7	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : กากถั่วเหลือง	G:R:M:S = 30:20:35:15
8	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : แป้งข้าวโพด	G:M:C:CS = 30:20:40:10
9	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : แป้งข้าวโพด : ซีอิ๊วโกแลต	G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2
10	ถั่วเขียว : แป้งข้าวโพด	M:CS = 50:50
11	กากถั่วเหลือง : แป้งข้าวโพด	S:CS = 35:65
12	ถั่วเขียว : แป้งมันสำปะหลัง	M:T = 70:30
13	ถั่วเขียว : แป้งมันสำปะหลัง	M:T = 80:20
14	ถั่วเขียว : มัณฑะแห้งหมัก 7 1/2 วัน	M:T ₇ = 50:50
15	ข้าวเหนียว : ข้าวเจ้า : ถั่วเขียว : แป้ง ข้าวเหนียวหมัก	G:R:M:FG = 30:20:40:10
16	ถั่วเขียว : มัณฑะแห้งหมัก 5 1/2 วัน ^{1/}	M:T ₅ = 50:50
17	ถั่วเขียว : แป้งท้าวยายหม่อม	M:TT = 50:50
18	ถั่วเขียว : มัณฑะแห้งหมัก 5 1/2 วัน ^{2/}	M:T ₅ = 50:50
19	มัณฑะแห้งหมัก 5 1/2 วัน ^{2/}	T ₅ = 100
20	ถั่วเขียว : มัณฑะแห้งหมัก 3 1/2 วัน ^{3/}	M:T ₃ = 50:50

1/ มัณฑะแห้งมีกลิ่นเปรี้ยว

2/ มัณฑะแห้งไม่มีกลิ่นเปรี้ยว บดด้วย Hammer mill

3/ มัณฑะแห้งบดด้วย Hammer mill

ตารางที่ 9. ราคาและปริมาณโปรตีนของแป้งผสมซึ่งได้จากการคำนวณ

แป้งผสม	ราคา (บาท/กก.)	ปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
G:R:M = 40:25:35	10.63	15.4
G:R:M:C = 30:20:35:15	10.37	15.9
G:R:M:C = 30:20:40:10	11.02	16.8
G:R:M:C = 30:20:40:5	11.67	15.7
G:R:M:S = 30:20:40:10	11.62	20.7
G:R:M:S = 30:20:25:25	10.57	23.9
G:R:M:S = 30:20:35:15	11.27	21.8
G:R:M:CS = 30:20:40:10	11.62	15.7
G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2	13.32	15.2
M:CS = 50:50	18.00	14.9
S:CS = 35:65	15.55	17.9
M:T = 70:30	14.10	20.5
M:T = 80:20	15.40	23.5
M:T ₇ = 50:50	12.50	15.08
G:R:M:FG = 30:20:40:10	11.27	16.43
M:T ₅ = 50:50	12.00	14.96
M:TT = 50:50	11.75	14.70
T ₅ = 100	6.00	0.60
M:T ₃ = 50:50	11.75	15.03

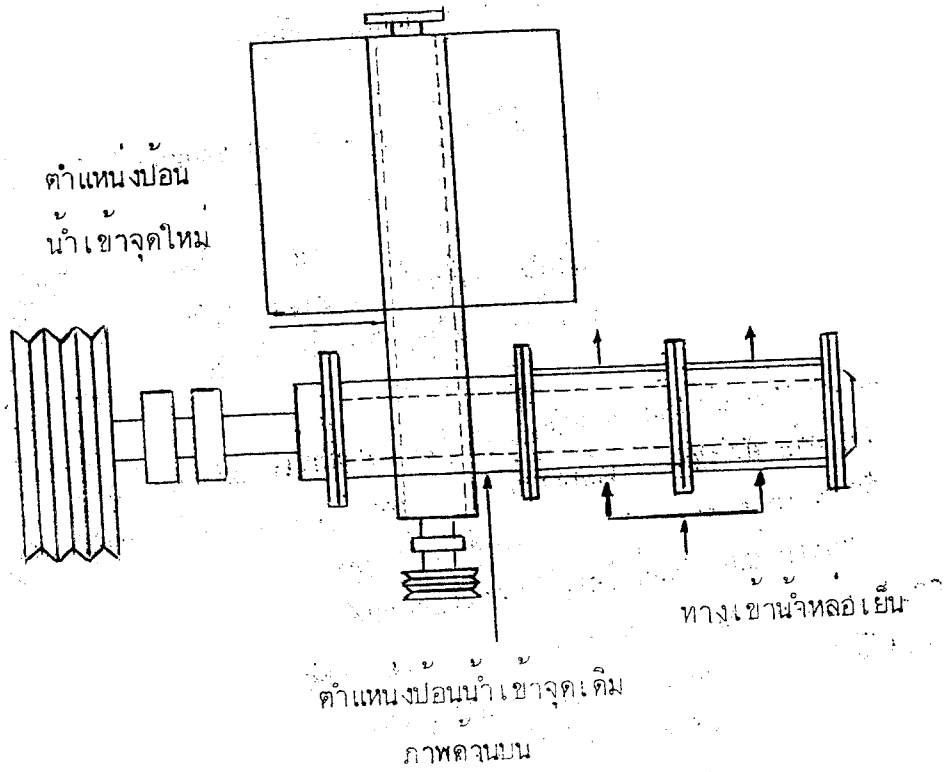
ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลองเล่มที่ 570 หน้า 20

ก่อนการทดลองให้ทำการแก้ไขเครื่องอัดสุกแบบเกลียวของ KAIST ดังนี้คือ :

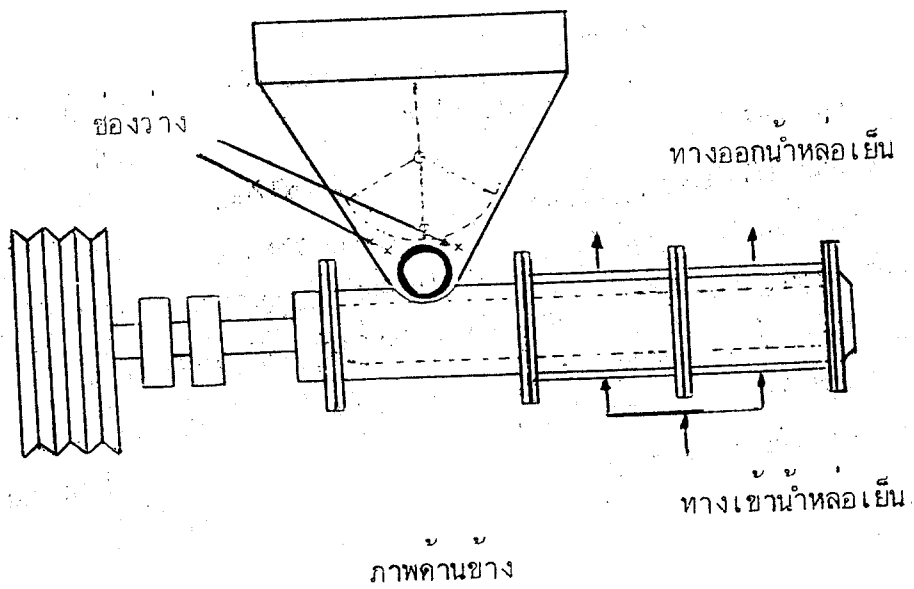
1. ลดความเร็วรอบของตัว main screw จาก 500 รอบต่อนาทีเป็น 405 รอบต่อนาที.
2. เปลี่ยนระบบป้อนน้ำเข้าสู่ main screw ซึ่งแบบเดิมเป็นแบบถังความดัน (pressure tank) ขนาด 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psia) มาเป็น monopump ขนาดความดันสูงสุด 10 bars และติด rotameter เพื่อวัดอัตราการไหลเวียนของ main screw.

เมื่อแก้ไขเครื่องแล้วได้ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวก่อนเคลือบจากแป้งสูตร 1-3 พบว่าการทำงานของเครื่องยังมีปัญหา เนื่องจากโค ใน main screw เคลื่อนตัวย้อนหลังกลับมาปิดทางป้อนน้ำเข้า main screw, ซึ่งเรียกว่าเกิด back pressure ของโค. ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้แก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนจุดป้อนน้ำซึ่งอยู่กึ่งกลางของส่วนท้ายของ main screw มาเป็นตอนท้ายสุดติดกับ hopper ของ feed screw แทน ดังแสดงตำแหน่งในรูปที่ 2, พบว่าจุดป้อนน้ำตำแหน่งใหม่มี back pressure ของโค ต่ำกว่าบริเวณ main screw มาก. นอกจากนี้ยังได้เปลี่ยนความเร็วรอบของตัวกววนมากขึ้นโดยติดโซ่ขับที่หดรอบจาก feed screw มาประมาณ 1:3.

ภายหลังการแก้ไขดังกล่าวได้ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์จากสูตรแป้งผสมที่ 4-13 พบว่าการอุกตันของน้ำลดลงทันที แต่ยังคงเกิดการไหม้ของแป้งใน main screw อยู่บ้าง. จากการสังเกตในขณะที่เครื่องทำงาน พบว่าในขณะที่ตัวกววนใน hopper ทำงานจะเกิดช่องว่างซึ่งแสดงตำแหน่งในรูปที่ 3 เนื่องจากแป้งไม่ไหลลงไป, แป้งที่ป้อนเข้าสู่ main screw จึงไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดการไหม้. ทางคณะวิจัยจึงแก้ปัญหาเรื่องนี้ในเบื้องต้น โดยการใช้ค้อนยางเคาะด้านข้างของ hopper ทุก ๆ นาทีและใช้แท่งเหล็กกระทุ้งแป้งลงไป. ตลอดการทดลองสูตรแป้งผสม 4-13, พบว่าการทำงานของเครื่องเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดปัญหาการไหม้ของโคในเครื่องอัด. ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่ยังมีปัญหาคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการตัดจะมีรูปร่างงอและด้านที่งอจะมีสีอ่อนพองตัวน้อย ซึ่งจะเป็นด้านที่ติดกับตัว main screw, ส่วนด้านที่ติดกับ barrel จะมีลักษณะพองตัวมากและมีสีเข้ม. ลักษณะดังกล่าวนี้ไม่ควรจะเกิดขึ้นเพราะรู die ที่ใช้เป็นรูปกลมเรียบ, จากการพิจารณาเห็นว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากการผสมของโคภายในตัว main screw ยังไม่ดีพอ.



รูปที่ 2. แสดงตำแหน่งป้อนน้ำใหม่



รูปที่ 3. แสดงตำแหน่งช่องว่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากแฉ่งไม่ไหลลงไปใน feed hopper.

ก่อนการทดลองต่อไปได้ทำการปรับปรุงเครื่องเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวโดย

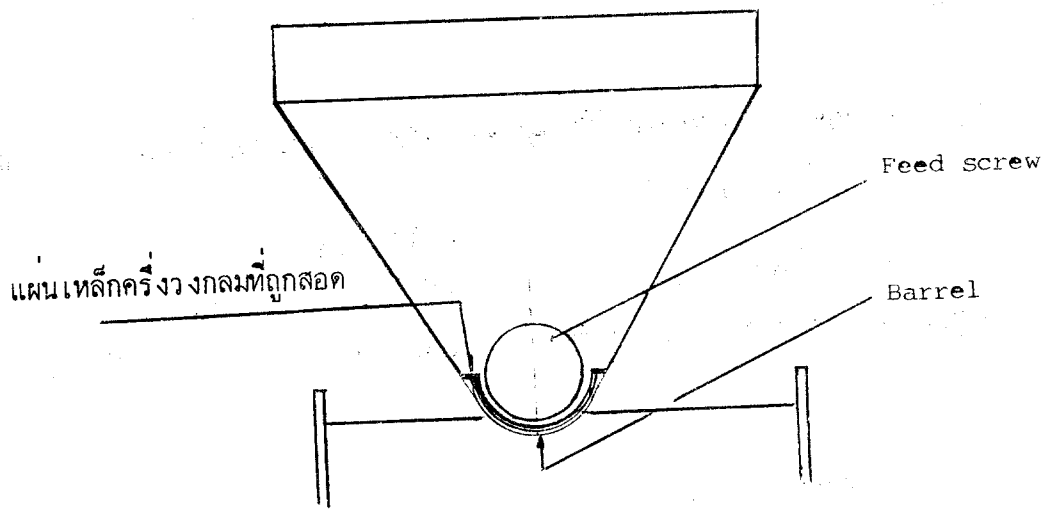
1. ลดระยะช่องว่างระหว่าง feed screw และตัว barrel โดยการสอดแผ่นเหล็ก
ครึ่งวงกลมเข้าระหว่างตัว feed screw และตัว barrel ของ feed screw ในตำแหน่งที่
เกิดช่องว่างของแฉียงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.

2. เพิ่มความดันของน้ำที่ป้อน ซึ่งเดิมใช้ $5-7 \text{ กก./ซม.}^2$ มาเป็น 7.2 กก./ซม.^2

3. เปลี่ยน main screw ใหม่ โดยให้ตัว main screw มีขนาด, ระยะของ pitch,
ความถี่ร่องและความหนาของร่อง screw ให้มีขนาดเท่าเดิมแล้วติดแกน (bar) รูปสามเหลี่ยม
จำนวน 10 อัน เข้าส่วนปลายใกล้หัว die โดยใน 1 pitch มีแกนติดไว้ 3 อัน ดังแสดงในรูป
ที่ 4.

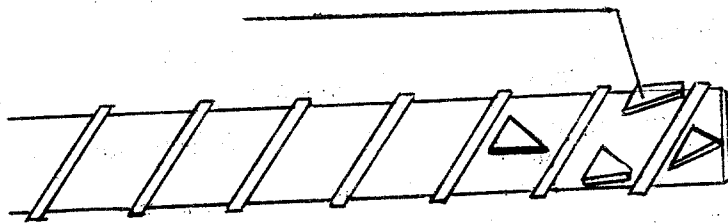
ภายหลังการแก้ไขเครื่องได้ทำการทดลองอีก 13 ครั้ง พบว่าการทำงานของเครื่องทั้ง
ระบบดีขึ้นมาก ไม่มีปัญหาการไหม้ของโคอันเนื่องจากแฉียงป้อนเข้าเครื่องไม่สม่ำเสมอ, แต่ยังคง
ต้องใช้ค้อนยางและการกระทุ้งแฉียงบ้างเป็นครั้งคราวเฉพาะในตอนเริ่มต้นเท่านั้น. ส่วนการสึก
ของผลิตภัณฑ์นั้นพบว่าสึกสม่ำเสมอ. ในการทดลองอีก 13 ครั้งนี้ได้ใช้สูตรแฉียงผสมจากสูตรที่
14-20 (ตารางที่ 8).

ในการทดลองทุกครั้งได้มีการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ด้านการทำงานของเครื่องจักรและวิ-
เคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยเก็บข้อมูลในช่วงที่เครื่องทำงานอยู่ในสภาวะที่คงที่ (steady
state). ข้อมูลการทำงานของเครื่องระหว่างการทดลองแฉียงผสมสูตรที่ 1-13 ได้แสดงไว้ใน
ตารางที่ 10 และ 11, ส่วนตารางที่ 12 และ 13 แสดงข้อมูลต่าง ๆ ในด้านการทำงานของ
เครื่องระหว่างการทดลองที่ 14-21. ข้อมูลในตารางที่ 10 และ 12 เป็นข้อมูลที่ได้จากการ
ทดลอง คือค่าอัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์และความชื้นของผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งความชื้นของแฉียงผสม
และอัตราการป้อนน้ำผสม. จากข้อมูลดังกล่าวนำไปคำนวณหาอัตราการป้อนของโคและความชื้น
ของโค (ดังแสดงวิธีคำนวณในภาคผนวก 1), ค่าที่ได้จากการคำนวณนี้อาจต่ำกว่าความเป็นจริง
เพราะไม่ได้คิดค่าความชื้นที่ระเหยออกไปทันที (flash vapourization) ในขณะที่เกิดการ
พองตัวที่หัว die. การที่ต้องคำนวณหาอัตราการป้อนของโคและความชื้นของโคจากข้อมูลอัตรา
การผลิตผลิตภัณฑ์ เพราะการเก็บข้อมูลอัตราการป้อนแฉียงทำได้ยากกว่าการเก็บข้อมูลของอัตราการ
ผลิตผลิตภัณฑ์. นอกจากนี้ในตารางที่ 10 และ 12 ยังมีข้อมูลที่ได้จากการทดลองเกี่ยวกับอุณหภูมิ



รูปแสดงการสอดแผ่นเหล็กครึ่งวงกลม.

Bar รูปสามเหลี่ยมติดรอบแกนสกรูทำมุม @ 120° จำนวน 10 อัน



รูปที่ 4. ลักษณะแกน (bar) และตำแหน่งที่ติดแกนบนตัวสกรู
รวมทั้งการสอดแผ่นเหล็ก.

ตารางที่ 10. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่า sensible heat ที่ได้จากทรงตองสูตรแบ่งผสมที่ 1-13

No.	สูตรแบ่งผสม	ความชื้น แบ่งผสม (%)	ผลิตภัณฑ์			การไหลของน้ำที่ผสม		ความชื้น ในโต๊ะ (%)	อุณหภูมิ ห้อง (ช.)	อุณหภูมิที่เกิด การพอง (ช.)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (ช.)			อัตราการไหล ของน้ำหล่อเย็น (ลิตร/นาที)		Sensible heat (kWatt)
			ความชื้น (%)	อัตราการผลิต (กก./ชม.)	อัตรา ความดัน (กก./ชม. ²)	อัตรา ลิตร/นาที	T เข้า				T ออก1	T ออก2	Q ₁	Q ₂		
1	G:R:M = 40:25:35	11.65	9.75	68.0	5.1	0.095	18.33	31.5	151.0	30.0	37.0	32.0	5.20	5.58	8.6836	
2	G:R:M:C = 30:20:35:15	11.23	8.70	61.4	5.8	0.079	17.43	30.0	167.0	28.5	34.0	29.0	7.10	7.05	8.4333	
3	G:R:M:C = 30:20:40:10	12.13	8.97	76.5	5.0	0.079	17.09	30.5	157.0	30.0	39.0	31.0	3.70	6.10	8.9384	
4	G:R:M:C = 30:20:45:5	11.57	8.90	53.53	5.7	0.095	19.85	29.8	164.0	30.5	37.5	30.8	4.64	3.70	7.1894	
5	G:R:M:S = 30:20:40:10	13.40	11.10	51.85	5.6	0.095	21.78	29.0	165.0	29.0	37.0	30.2	5.04	3.50	8.0387	
6	G:R:M:S = 20:20:25:25	11.55	10.20	72.23	5.6	0.089	17.55	30.0	159.0	29.0	33.3	30.0	3.18	5.48	7.344	

ตารางที่ 11. (ต่อ)

ลำดับ การ ทดลอง	สูตรแบ่งผสม	กระแสไฟฟ้าที่ใช้		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้		Main screw				Net specific energy ที่ กก. ผลิตภัณฑ์ (kWatt-hr kg)	sensible heat (kWatt)	Energy conversion (
		(amp.)		ทั้งหมดที่มี load		พลังงานไฟฟ้า (kWatt)		total 1/	net					
		no load	load	kWatt 1/ กก. ผลิตภัณฑ์	กระแสไฟฟ้า (amp.)		load 1/ no load 1/ net 1/							
					no load	load								
7	G:R:M:S = 30:20:35:15	15.0	23.5	15.467	0.3299	19.6	11.0	12.9003	7.2400	5.6603	0.1207	5.9944	46.47	105.1
8	G:R:M:CS = 30:20:40:10	15.0	24.3	15.928	0.3083	20.4	11.0	13.4269	7.2400	6.1869	0.1151	6.3832	47.54	105.1
9	G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2	15.0	25.8	16.981	0.2534	21.9	11.0	14.4141	7.2400	7.1741	0.1071	7.7782	53.96	108.4
10	M:CS = 50:50	15.0	23.2	15.270	0.3305	20.0	11.0	13.1636	7.2400	5.9236	0.1282	5.9258	45.00	100.0
11	S:CS = 35:65	15.0	24.4	16.060	0.2840	20.5	11.0	13.4927	7.2400	6.2527	0.1106	7.4418	55.15	119.0
12	M:T = 70:30	15.0	24.7	16.257	0.3016	20.5	11.0	13.4927	7.2400	6.2527	0.1163	7.2986	54.09	116.7
13	M:T = 80:20	15.0	24.1	15.862	0.2900	20.7	11.0	13.1243	7.2400	5.8843	0.1167	7.2327	55.11	122.9

1/ จำนวนตามวิธีในภาคผนวกที่ 1

2/ จำนวนตามวิธีในภาคผนวกที่ 1

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เลขที่ 19 20

ตารางที่ 11. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองสุตรแม่ผสม 1-13

ลำดับ	สูตรแม่ผสม	กระแสไฟฟ้าที่ใช้		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้		Main screw				Net specific ^{1/} energy ต่อ กก. ผลิตภัณฑ์ (kWh/kg)	Sensible ^{2/} heat (kWh)	Energy conversion (%)		
		(amp.)		(kWh)		กระแสไฟฟ้า (amp.)		พลังงานไฟฟ้า (kWh)				total	net	
		no load	load	no load	load	no load	load	no load	net ^{1/}					
1	G:R:M: = 40:25:35	14.0	25.0	16.45	0.2420	22.0	11.0	14.780	7.2400	7.240	0.1065	8.6736	59.97	119.94
2	G:R:M:C = 30:20:35:15	15.0	29.0	19.087	0.3109	25.0	11.0	16.4545	7.2400	9.2145	0.1501	8.4333	51.25	91.5%
3	G:R:M:C = 30:20:40:10	15.0	27.0	17.771	0.2323	23.0	11.0	15.1381	7.2400	7.8981	0.1032	8.9384	59.00	113.1%
4	G:R:M:C = 30:20:45:5	15.0	26.2	17.2441	0.3221	21.8	11.0	14.3483	7.2400	7.1083	0.1328	7.1894	50.11	101.1%
5	G:R:M:C = 30:20:40:10	15.0	25.8	16.981	0.3275	21.6	11.0	14.2167	7.2400	6.9767	0.1353	8.0387	56.57	115.2%
6	G:R:M:S 30:20:25:25	15.0	24.2	15.928	0.2205	24.2	11.0	15.9277	7.2400	8.6877	0.1203	7.3444	46.11	84.5%

ตารางที่ 11. (ต่อ)

ลำดับ	สูตรเคมีผสม	กระแสไฟฟ้าที่ใช้		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้		Main screw				Net specific ^{1/} energy ที่ถ่ (กค. กิโลวัตต์-ชม (kWhr-kg))	sensible ^{2/} heat (kWatt)	Energy conversion (%)		
		no load	load (amp.)	kWatt ^{1/}	กค. กิโลวัตต์-ชม ^{1/}	กระแสไฟฟ้า (amp.)		พลังงานไฟฟ้า (kWatt)					net ^{1/}	
						no load	load	no load ^{1/}	load ^{1/}					
7	G.R.M:S = 30:20:35:15	15.0	23.5	15.467	0.3299	19.6	11.0	12.9003	7.2400	5.6603	0.1207	5.9944	46.47	105.5
8	G.R.M:CS = 30:20:40:10	15.0	24.3	15.928	0.3083	20.4	11.0	13.4269	7.2400	6.1869	0.1151	6.3832	47.54	103.1
9	G.R.M:CS:CN = 30:20:38:10:2	15.0	25.8	16.981	0.2534	21.9	11.0	14.4141	7.2400	7.1741	0.1071	7.7782	53.96	108.4
10	M:CS = 50:50	15.0	23.2	15.270	0.3305	20.0	11.0	13.1636	7.2400	5.9236	0.1282	5.9258	45.00	100.0
11	S:CS = 35:65	15.0	24.4	16.060	0.2840	20.5	11.0	13.4927	7.2400	6.2527	0.1106	7.4418	55.15	119.0
12	M:T = 70:30	15.0	24.7	16.257	0.3016	20.5	11.0	13.4927	7.2400	6.2527	0.1163	7.2986	54.09	116.7
13	M:T = 30:20	15.0	24.1	15.862	0.2900	20.7	11.0	13.1243	7.2400	5.8843	0.1167	7.2327	55.11	122.5

1/ จำนวนสารเคมีในภาคผนวกที่ 1

2/ จำนวนสารเคมีในภาคผนวกที่ 1

ตารางที่ 10. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่า sensible heat ที่ได้จากาททดลองตู้ปรับอากาศที่ 1-13

No.	ตู้ปรับอากาศ	ความชื้น แห้ง (%)	ผลึกที่		การไหลของน้ำที่		ความชื้น ในท่อ (%)	อุณหภูมิ ห้อง (°C.)	อุณหภูมิที่ การพอง (°C.)	อุณหภูมิของน้ำที่			อัตราการไหล ของน้ำที่		Sensible heat (kwatt)
			ความชื้น (%)	อัตราการผลึก (กก./ชม.)	ความชื้น (กก./ชม. ²)	อัตรา (ลิตร/นาที)				T เข้า	T ออก1	T ออก2	Q ₁	Q ₂	
1	G:R:M = 40:25:35	11.65	9.75	68.0	5.1	0.095	18.33	31.5	151.0	30.0	37.0	32.0	5.20	5.58	8.6836
2	G:R:M:C = 30:20:35:15	11.23	8.70	61.4	5.8	0.079	17.43	30.0	167.0	28.5	34.0	29.0	7.10	7.05	8.4333
3	G:R:M:C = 30:20:40:10	12.13	8.97	76.5	5.0	0.079	17.09	30.5	157.0	30.0	39.0	31.0	3.70	6.10	8.9384
4	G:R:M:C = 30:20:45:5	11.57	8.90	53.53	5.7	0.095	19.85	29.8	164.0	30.5	37.5	30.8	4.64	3.70	7.1894
5	G:R:M:S = 30:20:40:10	13.40	11.10	51.85	5.6	0.095	21.78	29.8	165.0	29.0	37.0	30.2	5.04	3.50	8.0387
6	G:R:M:S = 20:20:25:25	11.55	10.20	72.23	5.6	0.089	17.55	30.0	159.0	29.0	33.3	30.0	3.18	5.48	7.3444

ตารางที่ 10. (ต่อ)

สูตรแบ่งผสม	ความชื้น ในวัสดุ (%)	ความชื้น ในอากาศ (%)	อัตราการผลิต (กก./ชม.)	การไหลของน้ำที่ผสม		ความชื้น ในโถ (%)	อุณหภูมิ ห้อง (ซี.)	อุณหภูมิที่เกิด การพอง (ซี.)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (ซี.)			อัตราการไหล ของน้ำหล่อเย็น (ลิตร/นาที)		Sensible heat (kwatt)
				ความชื้น	อัตรา				T เข้า	T ออก1	T ออก2	Q ₁	Q ₂	
7 G:R:M:CS = 30:20:35:15	12.30	7.00	46.88	5.6	0.048	17.10	32.0	162.0	30.5	45.3	31.0	1.86	1.86	5.9944
8 G:R:M:CS = 30:20:40:10	13.20	8.20	51.67	5.6	0.032	16.17	32.0	170.0	29.0	49.4	30.4	1.20	1.72	6.5832
9 G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2	12.90	10.20	67.0	5.6	0.044	16.11	31.5	162.1	30.0	41.2	31.0	2.80	2.40	7.7782
10 M:CS = 50:50	13.00	9.40	46.2	5.6	0.044	17.53	31.5	159.6	30.0	38.6	31.0	2.88	2.66	5.9258
11 S:CS = 35:65	9.10	8.30	56.55	5.8	0.036	16.51	30.0	157.1	28.5	32.5	29.0	9.10	8.68	7.4418
12 M:I = 70:30	10.98	9.70	53.91	5.8	0.044	16.74	31.0	161.5	29.0	34.3	30.0	5.63	10.98	7.2986
13 M:I = 80:20	12.80	8.90	54.69	5.7	0.069	18.60	31.0	150.0	29.5	34.0	30.0	8.16	8.70	7.2327

1/ จำนวนตามวิธีในภาคผนวกที่ 1

ตารางที่ 12. ข้อมูลเกี่ยวกับค่า sensible heat ที่ได้จากทดลองที่ 14-21

No.	สูตรผสม	ความชื้น (%)	ผลิตภัณฑ์		การไหลของน้ำผสม		ความชื้นในโค (%)	อุณหภูมิห้อง (ซ.)	อุณหภูมิที่เกิดการพอง (ซ.)	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (ซ.)			อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (ลิตร/นาที)		Sensible heat (kwatt)
			ความชื้น (%)	อัตราการผลิต (กก./ชม.)	ความชื้น (กก./ชม.)	อัตรา (ลิตร/นาที)				T เข้า	T ออก1	T ออก2	Q ₁	Q ₂	
14	M:T ₇ = 50:50	10.5	8.0	41.7	5.70	0.038	15.02	31.0	163.0	27.0	39.0	28.5	5.68	4.92	8.672
15	G:R:M:FG = 30:20:40:10	12.6	7.1	56.4	7.3	0.044	16.29	30.0	173.0	28.0	38.0	33.0	7.57	7.57	13.095
16	G:R:M:FG = 30:20:40:10	12.4	7.4	97.2	7.3	0.041	14.45	31.0	163.0	29.0	38.0	33.0	8.33	8.33	15.425
17	M:T ₅ = 50:50 ^ป	10.4	9.3	54.0	7.2	0.076	17.47	33.5	168.0	29.0	38.0	32.0	7.95	7.95	11.349
18	M:T ₇ = 50:50	11.4	8.4	55.2	7.2	0.079	18.45	30.0	168.0	29.0	35.0	31.0	8.30	8.30	9.719
19	M:T ₅ = 50:50 ^ป	12.4	7.8	55.2	7.2	0.082	19.24	31.0	165.0	29.0	35.0	31.0	8.71	6.81	9.671
20	T ₅ = 100 ^ป	12.3	8.2	45.9	7.2	0.031	16.50	32.0	163.0	29.0	36.0	31.0	9.46	8.33	9.627
21	M:T ₃ = 50:50 ^ป	10.35	10.35	55.8	6.8	0.082	17.50	30.5	160.0	30.4	38.0	32.0	7.9	7.7	9.134

1/ กำหนดตามวิธีในภาคผนวกที่ 1 ก/ มีขนาดแห้งมีกลิ่นเปรี้ยว
 2/ มีขนาดแห้งมีกลิ่นเปรี้ยวและบดด้วย Hammer mill ข/ มีขนาดแห้งมีกลิ่นเปรี้ยว Hammer mill

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 17-18

ตารางที่ 13. ข้อมูลเกี่ยวกับการหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่ 14-21

No.	สูตรแป้งผสม	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (amp.)		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดขณะมี load		Main screw			Net specific energy ต่อ กก. ผลิตภัณฑ์ (kwatt-hr kg)	Sensible heat (kwatt)	Energy conversion total %	
		no load	load	kwatt	kw-hr / กก. ผลิตภัณฑ์	พลังงานไฟฟ้า (kwatt)						
						กระแสไฟฟ้า (amp.)						
						no load	load	net %				
14	M:T ₇ = 50:50	17.0	23.0	15.138	0.3630	13.0	13.164	8.556	4.608	0.1105	8.672	65.80
15	G:R:M:FG = 30:20:40:10	17.0	25.0	16.454	0.2917	13.0	15.796	8.556	7.240	0.1284	13.0955	82.90
16	G:R:M:FG = 30:20:40:10	17.0	36.0	23.694	0.2438	13.0	21.062	8.556	12.506	0.1287	15.4254	73.24
17	M:T ₅ = 50:50 ^{ก)}	17.0	27.0	17.771	0.3291	13.0	15.138	8.556	6.582	0.1219	11.3496	74.98
18	M:T ₁ = 50:50	17.0	26.0	17.113	0.3100	13.0	15.138	8.556	6.582	0.1192	9.7199	64.21
19	M:T ₅ = 50:50 ^{ข)}	17.0	26.0	17.113	0.3100	13.0	14.480	8.556	5.924	0.1073	9.6716	66.79
20	T ₅ = 100 ^{ข)}	17.0	25.0	16.454	0.3585	13.0	14.480	8.556	5.924	0.1291	9.6278	66.49
21	M:T ₃ = 50:50 ^{ก)}	17.0	25.0	16.454	0.283	13.0	14.15	8.556	5.594	0.1003	9.1342	0.646

- 1/ จำนวนตามวิธีในภาคผนวกที่ 2 2/ จำนวนตามวิธีในภาคผนวกที่ 1
 ก/ มีขนาดแห้งมีกลิ่นเปรี้ยว ข/ มีขนาดแห้งไม่มีกลิ่นเปรี้ยว และบดด้วย Hammer mill
 ค/ มีขนาดแห้งบดด้วย Hammer mill

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 19-20

ของการพองตัวและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น เพื่อคำนวณหาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (ดังแสดงวิธีคำนวณในภาคผนวกที่ 1). ให้นำค่าความร้อนนี้ไปเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับตัว main screw ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองและแสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 11 และ 13. พบว่าการคำนวณค่าการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับ main screw ทั้งหมดมาเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (total energy conversion), และค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวมาเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (net specific energy conversion) ตามวิธีคำนวณในภาคผนวกที่ 2 นั้น ค่า total energy conversion และ net specific energy conversion ของการทดลองที่ 1-13 นั้นอยู่ระหว่าง 46.11-59.97% และ 84.54-122.91% ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 11). แต่เมื่อใช้ main screw ใหม่ที่มีแกน (bar) 10 อัน ติดอยู่ระหว่าง pitch ของส่วนปลายสกรู, ค่า total energy conversion และ net specific energy conversion จะอยู่ในช่วง 64.21-82.90% และ 111.60-153.06% ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 13). แสดงว่าเมื่อติดแกนที่ main screw แล้ว ทำให้ระบบสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้มากขึ้น และประสิทธิภาพของเครื่องดีขึ้น. แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนความร้อนที่โคได้รับและความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับ จะเห็นว่าในการทดลองที่ 1-13 ความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับจะอยู่ในช่วง 18.20-39.62% ซึ่งน้อยกว่าความร้อนที่น้ำหล่อเย็นในการทดลองที่ 14-21 ได้รับคืออยู่ในช่วง 47.52-62.77% (ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 14). แสดงว่าการทำงานของ screw ตัวใหม่ทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานความร้อนได้มากขึ้น, แต่เนื่องจากการบ่อน้ำมันในอัตราที่ต่ำทำให้เกิดความร้อนสูง ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณน้ำหล่อเย็นมากเพื่อลดอุณหภูมิในการพองตัวให้พอเหมาะ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบถ่ายเทไปที่น้ำหล่อเย็นมากเกินไป. จึงควรเพิ่มอัตราการผลิตแทนการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น, ดังจะเห็นจากการทดลองที่ 15 และ 16 ซึ่งใช้แป้งผสมสูตรเดียวกันแต่ให้อัตราบ่อน้ำมันผสมต่างกัน คือความเร็วรอบของ feed screw เท่ากับ 580 และ 900 หมุนรวมก่อนที่ตามลำดับ ซึ่งจะทำได้กำลังผลิตขนมขบเคี้ยว 56.4 และ 97.2 กก. ต่อชั่วโมงตามลำดับ. ในการนี้พบว่าการทดลองที่บ่อน้ำมันผสมด้วยอัตราที่น้อยกว่าจะมีอุณหภูมิการพองตัวที่สูงกว่า (ดังแสดงในตารางที่ 12) และมีการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนสูง คือมีค่า total energy conversion และ net energy conversion = 82.9 และ 153.06% ตามลำดับ, ซึ่งสูงกว่า total energy conversion และ net energy conversion ซึ่งได้จากการบ่อน้ำมันผสมด้วยอัตราที่สูงกว่า (ดังแสดงในตารางที่ 13). จากตารางที่ 14 พบว่าในการบ่อน้ำมันผสมด้วยอัตราที่สูง

ตารางที่ 14. สรุปปริมาณความร้อนที่โคและน้ำได้รับทั้ง 21 การทดลอง

การทดลองที่	สูตรแบ่งผสม	ปริมาณความร้อนที่ได้รับ (kWatt)			ความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับ (%)
		โค	น้ำหล่อเย็น	ทั้งหมด	
1	G:R:M = 40:25:35	5.3651	3.3181	8.6832	38.21
2	G:R:M:C = 30:20:35:15	5.4630	2.9703	8.4333	35.22
3	G:R:M:C = 30:20:40:10	6.1896	2.7488	8.9384	30.75
4	G:R:M:C = 30:20:45:5	4.9427	2.2463	7.1890	31.25
5	G:R:M:S = 30:20:40:10	4.9329	3.1060	8.0389	38.64
6	G:R:M:S = 30:20:25:25	6.0080	1.3364	7.3444	18.20
7	G:R:M:CS = 30:20:40:10	4.0090	1.9854	5.9944	31.10
8	G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2	4.5073	1.8759	6.3832	29.49
9	G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2	5.4229	2.3553	7.7782	30.28
10	M:CS = 50:50	3.8350	1.9094	5.7344	33.30
11	S:CS = 35:65	4.5995	2.8423	7.4418	38.19
12	M:T = 70:30	4.4508	2.8478	7.2986	39.02
13	M:T = 80:20	4.3674	2.8653	7.2327	39.62
14	M:T ₇ = 50:50	3.4018	5.2702	8.6720	60.77
15	G:R:M:FG = 30:20:40:10	5.1735	7.9220	13.0955	60.49
16	G:R:M:FG = 30:20:40:10	7.8704	7.5550	15.4254	48.98
17	M:T ₅ = 50:50 ^{ก/}	4.6936	6.6557	11.3496	58.64
18	M:TT = 50:50	5.0874	4.6325	9.7199	47.66
19	M:T ₅ = 50:50 ^{ข/}	5.0754	4.5962	9.6716	47.52
20	T ₅ = 100	3.8456	5.7822	9.6278	60.06
21	M:T ₃ = 50:50	4.7054	4.8293	9.5347	50.65

ก/ มัณฑกแห่งมีกลินเปริยาว

ข/ มัณฑกแห่งไม่มีกลินเปริยาวและบดด้วย Hammer mill

ค/ มัณฑกแห่งบดด้วย Hammer mill

ที่มา : จากสมคณนทีกการทดลอง เลมที่ 570 หนา 24

จะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบอยู่ที่ผลิตภัณฑ์มากกว่าที่จะถูกถ่ายเทออกไปที่น้ำหล่อเย็น, ดังนั้นจะเห็นว่าความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับในการบั่นแฉียงผสมด้วยอัตราค่าจะเท่ากับ 60.49% ในขณะที่ความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับในการบั่นแฉียงผสมด้วยอัตราสูงจะเท่ากับ 48.98%. ดังนั้นในการบั่นแฉียงผสมด้วยอัตราสูงจะทำให้ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ลดลง ดังจะเห็นจากการทดลองที่ 15 และ 16 ซึ่งมีอัตราผลิตผลิตภัณฑ์เท่ากับ 56.4 และ 97.2 กก.ต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.29 และ 0.24 กก.วัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์. สรุปผลการทดลองที่ 1-13 โดยสามารถกล่าวได้ว่าตารางที่ 11 ค่าไฟฟ้าในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้ main screw ที่ได้คิดแทนจะเท่ากับ 0.25-0.22 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์เมื่ออัตราการผลิตเท่ากับ 67-77 กก.ต่อชม. และ 0.28-0.33 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์ เมื่ออัตราการผลิตเท่ากับ 46-62 กก.ต่อชม. แต่ค่าไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ main screw ตัวใหม่ที่มีแกนคิด. ข้อมูลจากตารางที่ 13 พบว่าเมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ 42-58 กก.ต่อชม. จะใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.28-0.36 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์และใช้ไฟฟ้า 0.24 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์ เมื่ออัตราการผลิตเท่ากับ 97.2 กก.ต่อชม. สำหรับค่า net specific energy ต่อกก.ผลิตภัณฑ์นั้น ก่อนการคิดแทนที่ main screw จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.15 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อคิดแทนที่ main screw แล้ว ค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.10-0.13 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์ ซึ่งใกล้เคียงกับเครื่องอัดสุกแบบเกลียวของ Brady ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.12 กิโลวัตต์-ชม.ต่อกก.ผลิตภัณฑ์ (Holina et al. 1978, Maga and Lorenz 1978). จากการทดลอง 21 ครั้ง พบว่ากำลังผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 55.4 กก.ต่อชม. ซึ่งเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังผลิตจริง. ในการทดลองที่ 16 สามารถผลิตได้ 97 กก.ต่อชม. โดยใช้แฉียงผสมสูตรที่ 15 ซึ่งมีราคา 11.27 บาท และโปรตีน 16.43% โดยน้ำหนักแห้งเพียงการทดลองเดียว, ดังนั้นจึงควรทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโดยใช้แฉียงผสมสูตรต่าง ๆ ที่ได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะ เนื้อสัมผัสดีและมีอัตราการผลิตสูงขึ้น.

จากการทดลองทั้ง 21 ครั้ง ได้หาความละเอียดและความหนาแน่นปรากฏของแฉียงผสมที่ใช้ทุกการทดลองและแสดงผลไว้ที่ตารางที่ 15 เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการเตรียมแฉียงผสมเพื่อใช้ในการผลิตต่อไป ได้มีการเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ทุกการทดลองในช่วงที่เครื่องมีสภาวะการทำงานที่คงที่ (steady state) แล้วนำไปวิเคราะห์และประเมินลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 16 และ 17. นอกจากนี้ได้มีรูปแสดงรูปร่าง สี และลักษณะของฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทุกการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5-25. ผลจากการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิของการฟองตัวควรอยู่ในช่วง 150°-165° ซ. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแฉียงผสมทุกสูตรจะมีค่าอัตราส่วนการ

ตารางที่ 15. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งผสมสูตรที่ 1-13

การทดลองที่	สูตรแป้งผสม	คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์						ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตพบ
		อัตราส่วนการพองตัว	การดูดซึมน้ำ (%)	ความหนาแน่นปรากฏ (ก./ซม. ³)	ความหนาแน่น (ก./ซม. ³)	ความชื้น (%)	โปรตีนโดยน้ำหนักแห้ง (%)	
1	G:R:M = 40:25:35	3.700	330	0.055	0.1635	9.75	15.4	กรอบ, พองอากาศค่อนข้างใหญ่, สุกไม่เสมอ
2	G:R:M:C = 30:20:35:15	3.510	450	0.083	0.1144	8.70	15.9	กรอบค่อนข้างแข็ง, พองอากาศดี, สุกไม่เสมอ
3	G:R:M:C = 30:20:35:10	3.291	380	0.103	0.1333	8.97	16.8	เหมือนการทดลองที่ 2
4	G:R:M:C = 30:20:45:5	2.940	310	0.115	0.1500	8.90	15.7	กรอบ, พองอากาศดี, สุกไม่เสมอ
5	G:R:M:S = 30:20:40:10	3.183	380	0.113	0.2250	11.1	20.7	เหมือนการทดลองที่ 4
6	G:R:K:S = 30:20:25:25	2.740	275	0.1588	0.2222	10.2	23.9	แข็ง, พองอากาศดีมาก, สุกไม่เสมอ
7	G:R:M:S = 30:20:35:15	2.896	400	0.0800	0.085	7.0	21.8	เหมือนการทดลองที่ 4
8	G:R:M:CS = 30:20:40:10	3.029	370	0.0791	0.200	8.3	15.7	เหมือนการทดลองที่ 4
9	G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2	3.109	395	0.0827	0.112	10.2	15.2	เหมือนการทดลองที่ 4

ตารางที่ 15. (ต่อ)

การทดสอบ	สูตรแบ่งผสม	คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์						ลักษณะทางกายภาพสิ่งแวดล้อม
		อัตราส่วน การพองตัว	การดูดซึมน้ำ (%)	ความหนา- แน่นปรากฏ (ก./ซม. ³)	ความหนา- แน่น (ก./ซม. ³)	ความชื้น (%)	ปริมาตรโดย น้ำหนักแห้ง (%)	
10	M:CS = 50:50	3.658	350	0.0615	0.080	9.4	14.9	กรอบ, พองอากาศใหญ่มาก, สุกเสมอ
11	S:CS = 35:65	2.991	385	0.0924	0.129	8.3	17.9	กรอบ, สุกค่อนข้างเสมอ, ผิวไม่ค่อยเรียบ
12	M:T = 70:30	4.136	315	0.0581	0.088	9.7	20.5	กรอบ, พองอากาศใหญ่, สุกค่อนข้างเสมอ, ผิวไม่เรียบ
13	M:T = 80:20	3.958	290	0.0825	0.106	8.9	23.5	ค่อนข้างแข็ง, พองอากาศใหญ่, สุกไม่เสมอ, ผิวไม่ค่อยเรียบ

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 20

ตารางที่ 16. สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่ 14-21

การทดลอง ที่	สูตรแป้งผสม	สมบัติของผลิตภัณฑ์						ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตพบ
		อัตราส่วน การพองตัว	การดูดซึมน้ำ (%)	ความหนาแน่น ปรากฏ (ก./ซม. ³)	ความหนาแน่น (ก./ซม. ³)	ความชื้น (%)	โปรตีนโดยน้ำหนัก แห้ง (%)	
14	M:T ₇ = 50:50	2.262	370	0.0533	0.091	8.0	15.07	กรอบอรรอย, พองอากาศดีมาก, รูปร่างบิดเป็นเกลียว กรอบดีมาก, อร่อย, พองอากาศเล็กน้อย, รูปร่างค่อนข้าง ข้างเสมอ แต่ค่อนข้างเล็ก กรอบ, อร่อยดี, รูปร่างเสมอดี แต่พองมาก, พองอากาศใหญ่ กรอบ, อร่อยดี, พองอากาศดีมาก, รูปร่างไม่สวย บิดเป็นเกลียว, ผิวไม่ค่อยเรียบ กรอบน้อยเมื่ออัดสุกใหม่ ๆ, กรอบใช้ได้เมื่อเย็น, ผิวไม่เรียบ, สุกเสมอดี
15	G:R:M:FG = 30:20:40:10	2.400	285	0.0560	0.088	7.1	16.43	
16	G:R:M:FG = 30:20:40:10	4.112	425	0.0479	0.073	7.4	16.43	
17	M:T ₅ = 50:50 \bar{N}	2.426	540	0.0610	0.083	9.3	14.95	
18	M:TT = 50:50	2.113	510	0.0733	0.090	8.4	14.70	

ตารางที่ 16. (ต่อ)

การทดลอง ที่	สูตรแป้งผสม	สมบัติของผลิตภัณฑ์						ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตพบ
		อัตราส่วน การพองตัว	การดูดซึมน้ำ (%)	ความหนาแน่น ปรากฏ (ก./ซม. ³)	ความหนาแน่น (ก./ซม. ³)	ความชื้น (%)	โปรตีนโดยน้ำหนัก แห้ง (%)	
19	M:T ₅ = 50:50 \checkmark	2.926	465	0.0448	0.064	7.8	14.95	กรอบ, อร่อย, พองอากาศดี, ผิวเรียบ, รูปร่างดี, สุกเสมอกันมาก
20	T ₅ = 100 \checkmark	2.029	370	0.0580	0.094	8.2	0.60	กรอบน้อยเมื่อสุกใหม่ๆ, กรอบใช้ได้เมื่อเย็น, ไม่อร่อย, สุกเสมอดี, รูปร่างไม่สวย, ผิวไม่ค่อยเรียบ
21	M:T ₃ = 50:50 \checkmark	2.110	395	0.0765	0.1026	8.05	14.95	กรอบ, อร่อยใช้ได้เมื่อเย็น, สุกสม่ำเสมอ, พองอากาศละเอียดใช้ได้, รูปร่างยังงออยู่

ก/ มั้บคแห้งมีกลิ่นเปรี้ยว \checkmark / มั้บคแห้งไม่มกลิ่นเปรี้ยวและบดด้วย Hammer mill

ข/ มั้บคแห้งบดด้วย Hammer mill

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 20

ตารางที่ 17. ความละเอียดและความหนาแน่นปรากฏของแป้งผสมสูตรที่ใช้ในการทดลองที่ 1-21

การทดลองที่	สูตรแป้งผสม	น้ำหนักแป้งผสมที่คำนวณตะแกรงขนาดต่าง ๆ (%)								ความหนาแน่นปรากฏ (ก./ซม. ³)
		16 mesh	30 mesh	60 mesh	80 mesh	120 mesh	150 mesh	> 150 mesh	รวม	
1	G:R:M: = 40:25:35	0.0	11.4	44.5	7.2	6.4	3.6	26.9	100	0.71
2	G:R:M:C = 30:20:35:15	0.1	9.5	41.8	8.8	6.4	4.2	29.2	100	0.62
3	G:R:M:C = 30:20:40:10	0.1	9.8	41.5	13.1	6.1	2.2	27.2	100	0.62
4	G:R:M:C = 30:20:45:5	0.0	9.4	40.3	12.1	3.4	2.8	32.2	100	0.72
5	G:R:M:S = 30:20:40:10	0.0	11.0	49.0	14.1	3.7	2.5	19.7	100	0.74
6	G:R:M:S = 30:20:25:25	0.1	10.9	49.9	13.3	2.8	2.5	20.5	100	0.72
7	G:R:M:S = 30:20:35:15	0.1	9.7	43.9	13.9	4.8	3.4	24.2	100	0.72
8	G:R:M:CS = 30:20:40:10	0.1	10.1	40.8	13.7	4.3	2.0	29.0	100	0.70
9	G:R:M:CS:CH = 30:20:32:10:2	0.1	9.5	37.2	9.7	5.0	2.5	36.0	100	0.67
10	M:CS = 50:50	0.1	3.9	10.7	12.1	6.4	2.9	63.9	100	0.52
11	S:CS = 35:65	0.0	5.1	20.3	59.5	9.1	0.6	5.0	100	0.58
12	M:T = 70:30	0.0	5.5	15.1	4.0	5.9	3.2	66.3	100	0.55
13	M:T = 80:20	0.0	6.7	16.8	4.3	5.4	3.0	63.8	100	0.54
14	M:T ₇ = 50:50	0.1	5.3	12.5	12.0	6.3	3.1	60.7	100	0.48
15	G:R:M:FG = 30:20:40:10(1)	0.1	19.3	35.9	42.9	1.6	0.2	-	100	0.75
16	G:R:M:FG = 30:20:40:10(2)	0.4	21.3	38.4	39.0	0.9	-	-	100	0.80
17	M:T ₅ = 50:50 ^{ก/}	0.6	10.6	18.5	66.7	0.9	1.6	1.1	100	0.55
18	M:TT = 50:50	-	10.7	28.0	60.6	0.1	0.4	0.2	100	0.46
19	M:T ₅ = 50:50 ^{ข/}	0.8	9.4	15.3	53.8	8.4	7.1	5.2	100	0.58
20	T ₅ = 100 ^{ข/}	-	7.1	36.0	54.8	0.5	1.0	0.6	100	0.49
21	M:T ₃ = 50:50 ^{ข/}	0.5	8.0	31.2	8.0	3.0	3.3	46.0	100	0.55

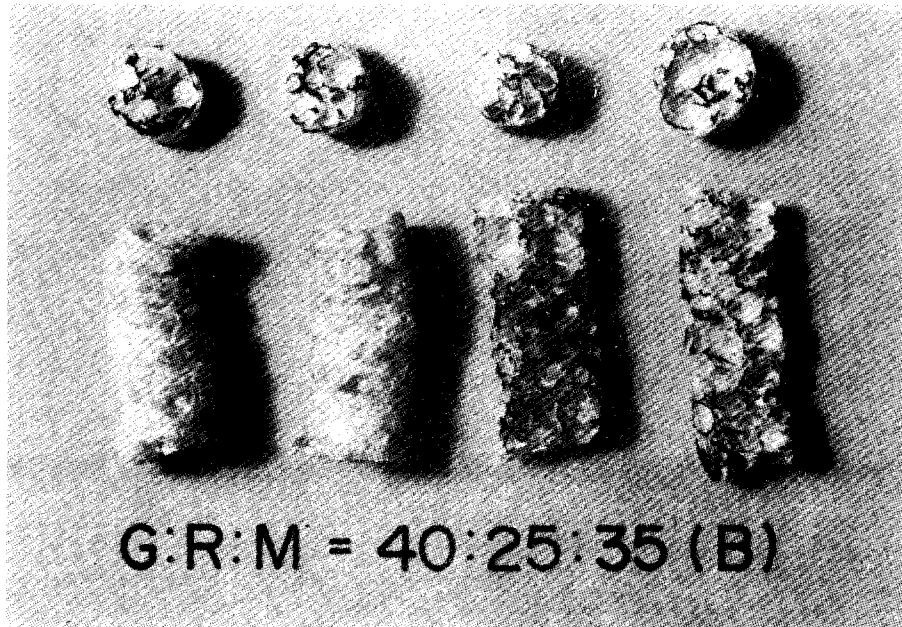
ก/ มัลลคแห่งมีกลินเปรียว

ข/ มัลลคแห่งไม่มีกลินเปรียวและบดด้วย

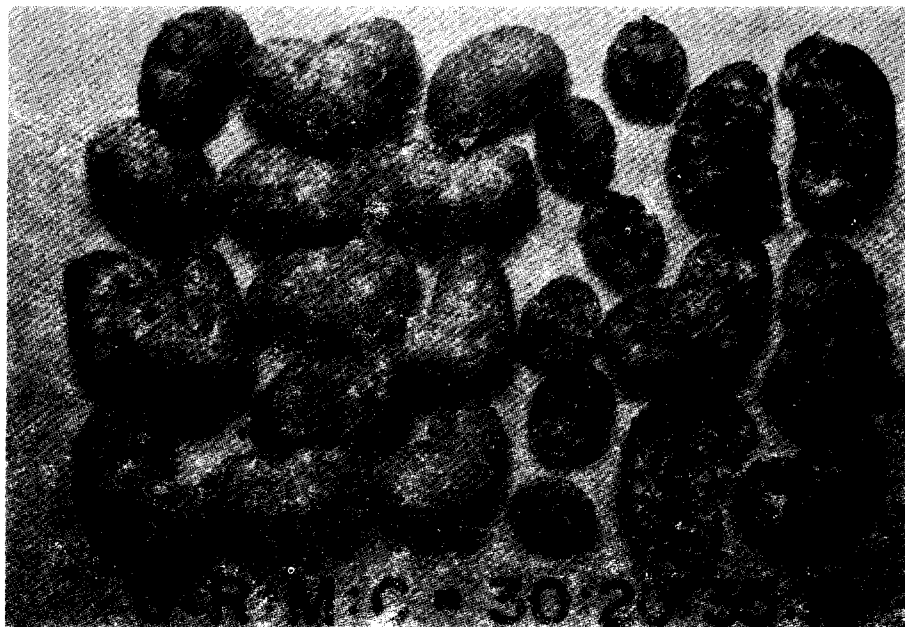
ค/ มัลลคแห่งบดด้วย Hammer mill

Hammer mill

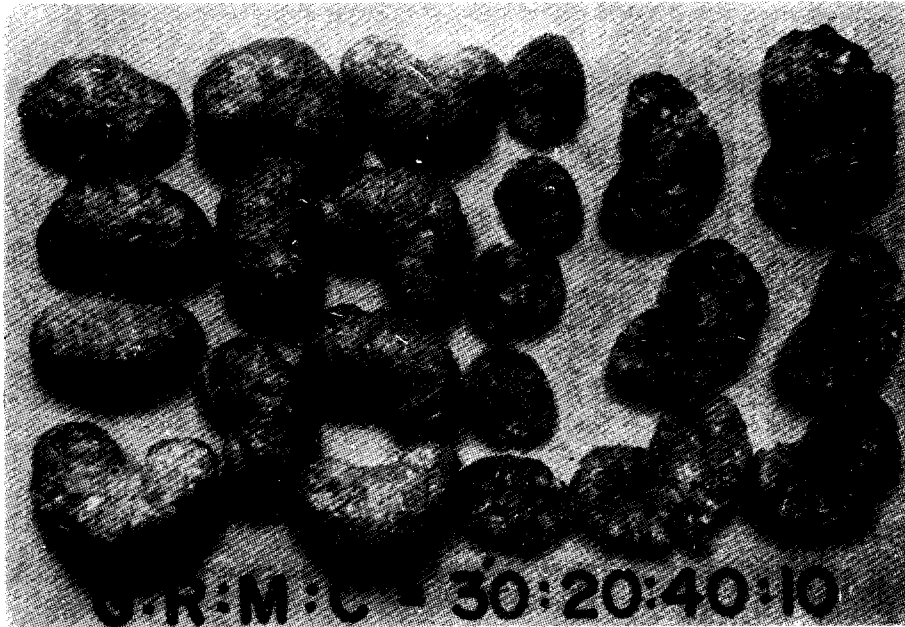
ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 22



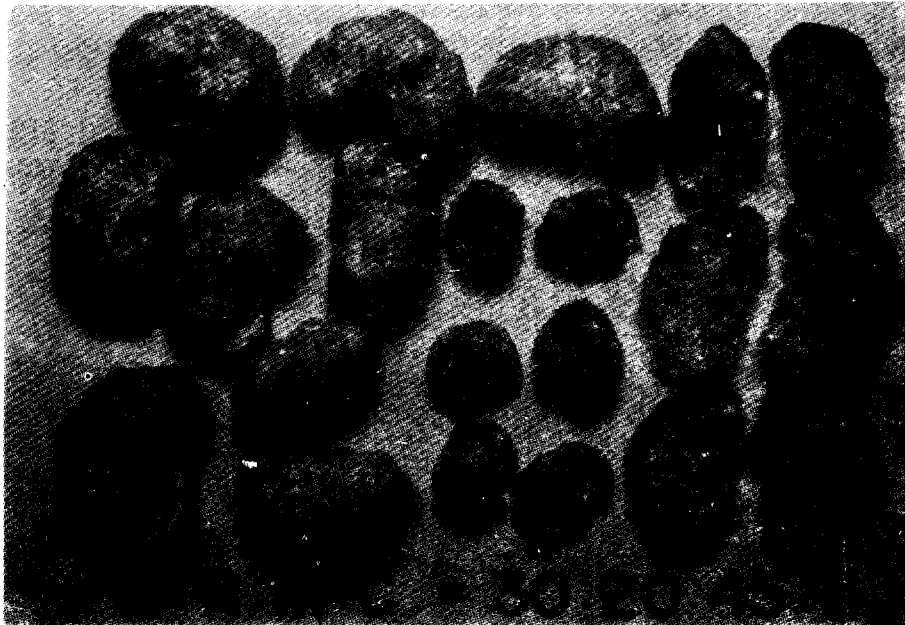
รูปที่ 5. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M = 40:25:35$.



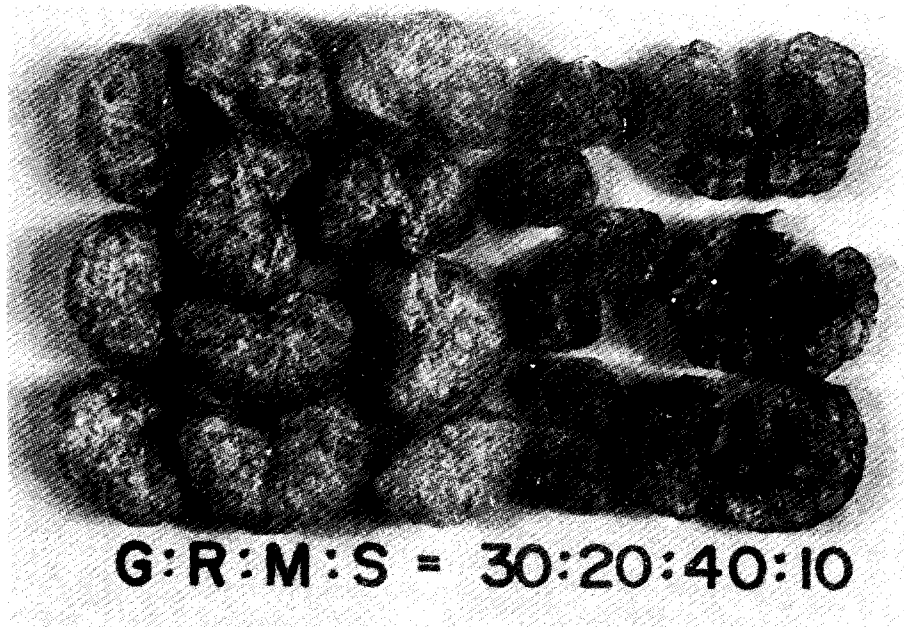
รูปที่ 6. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:C = 30:20:35:15$.



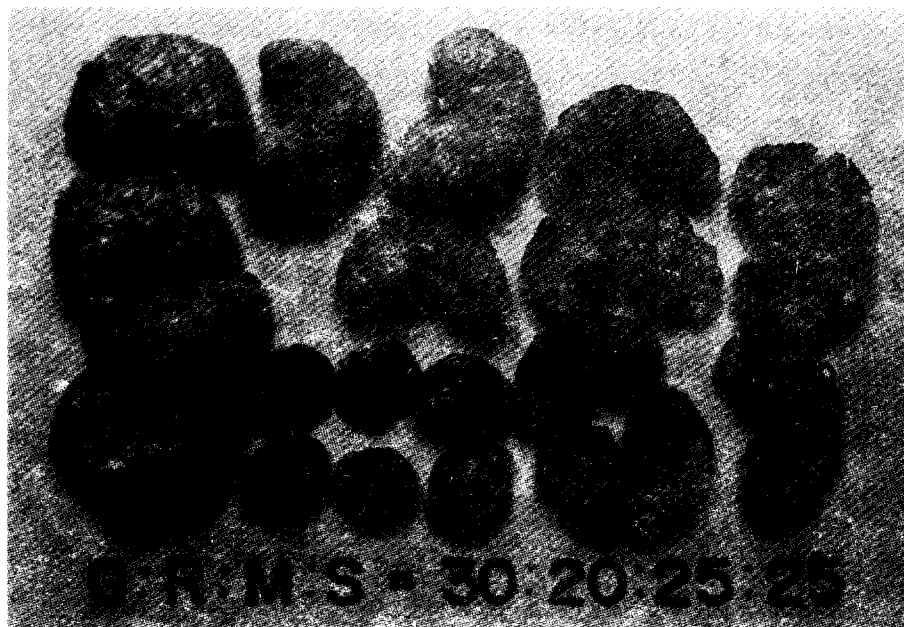
รูปที่ 7. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:C = 30:20:40:10$.



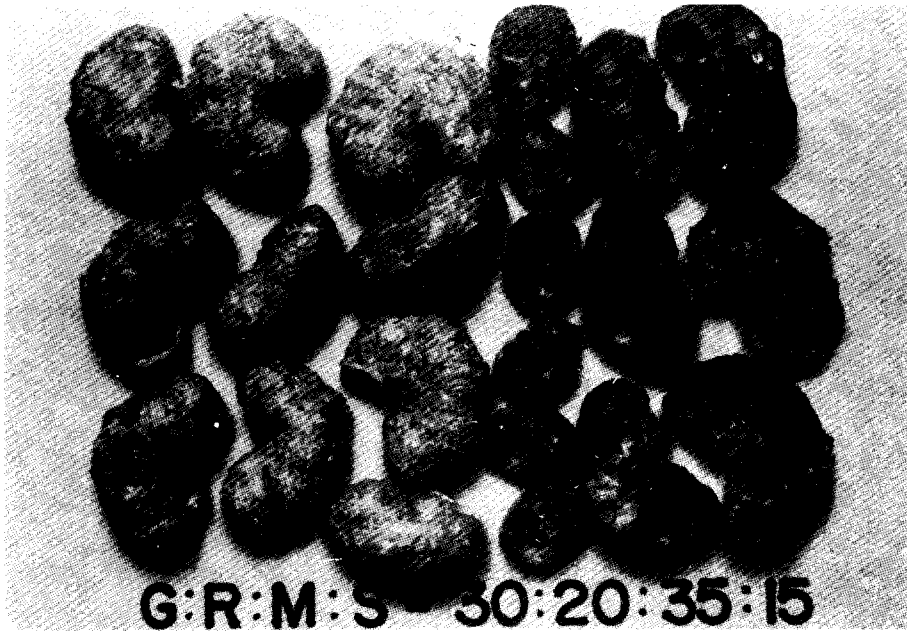
รูปที่ 8. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:C = 30:20:45:5$.



รูปที่ 9. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตรังไข่ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายใน
ผลิตรังไข่ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:S = 30:20:40:10$.



รูปที่ 10. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตรังไข่ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายใน
ผลิตรังไข่ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:S = 30:20:25:25$.



รูปที่ 11. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตรักันต์ตลอดจนลักษณะพองอากาศภายใน
ผลิตรักันต์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:S = 30:20:35:15$.



รูปที่ 12. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตรักันต์ตลอดจนลักษณะพองอากาศภายใน
ผลิตรักันต์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:CS = 30:20:40:10$.

พองตัวอยู่ในเกณฑ์ถึงดีมาก คือ 1.50 ถึง 3.0 (Van Zuilichem et al. 1977), การ
 ถูกขีมน้ำอยู่ในเกณฑ์สูงคือ > 270 (Van Zuilichem et al. 1977). ความชื้นของผลิต-
 ภัณฑ์ที่อยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงไม่ดี คือ 6 ถึง > 8 (Van Zuilichem et al. 1977).
 ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็น โดยเฉพาะขนาดของพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์, ความกรอบและ
 รูปร่างจะมีความแตกต่างกันไป ทั้งขึ้นอยู่กับสูตรของแป้งผสมซึ่งพอสรุปได้ดังนี้คือ แป้งผสมสูตร
 $G:R:M = 40:25:35$ ซึ่งมีราคา 10.63 บาทต่อกก. และปริมาณโปรตีน 15.4% โดยน้ำ-
 หนักแห้ง จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ค่อนข้างใหญ่ (ดังแสดงในการทดลอง
 ที่ 1, ตารางที่ 15 และรูปที่ 5). การลดขนาดของพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ลง ได้ทดลอง
 ใช้เมล็ดข้าวโพด (maize) ฝักบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh แล้วผสมกับแป้งข้าว-
 เหนียว, แป้งข้าวเจ้า และถั่วเขียวคุดโดยมีอัตราส่วนดังนี้ $G:R:M:C = 30:20:35:15$,
 $30:20:40:10$, $30:20:45:5$, พบว่าข้าวโพดสามารถลดขนาดของพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์
 ลงให้มีขนาดพอเหมาะ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองสวยแต่เนื้อสัมผัสมีลักษณะแข็งเมื่อใช้ข้าวโพดใน
 ปริมาณสูงคือ 15-10%, เมื่อใช้เพียง 5% จะได้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ, ขนาดพองอากาศ
 ภายในผลิตภัณฑ์กำลังดี (ดังแสดงในการทดลองที่ 2-4 ตารางที่ 15 และรูปที่ 6-8). แป้งผสม
 สูตรที่ให้เมล็ดข้าวโพดบด 5% นี้มีราคา 11.67 บาทต่อกก. และ ปริมาณโปรตีน 15.7%
 โดยน้ำหนักแห้ง. นอกจากนี้ได้ใช้กากถั่วเหลืองจากโรงงานนำมามาผสมในแป้งผสมเพื่อช่วยลด
 ขนาดของพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ลงคือแป้งผสม $G:R:M:S = 30:20:40:10$,
 $30:20:25:25$, $30:20:35:15$, พบว่าการใช้กากถั่วเหลือง 10% และ 15% จะได้ผลิตภัณฑ์ที่
 เหมือนการใช้เมล็ดข้าวโพดบด 5%. ส่วนการใช้กากถั่วเหลือง 25% ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัส
 ที่แข็ง (ดังแสดงในการทดลองที่ 5-7, ตารางที่ 16 และรูปที่ 9-11). ดังนั้นสูตรแป้งผสมที่
 เหมาะสมสำหรับการปนกากถั่วเหลืองคือ $G:R:M:S = 30:20:35:15$ และ
 $30:20:35:10$ ซึ่งมีราคา 11.27-11.62 บาทต่อกก. และปริมาณโปรตีน 21.8-20.7%
 โดยน้ำหนักแห้ง. สำหรับการทดลองที่ 8 ในตารางที่ 16 เป็นการทดลองนำแป้งข้าวโพดมาผสม
 โดยใช้อัตราส่วน $G:R:M:CS = 30:20:40:10$ ซึ่งมีราคา 11.62 บาท และปริมาณ
 โปรตีน 15.7% โดยน้ำหนักแห้ง, พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ และ
 เนื้อสัมผัสดีเช่นเดียวกับการใช้เมล็ดข้าวโพดบด 5% หรือกากถั่วเหลือง 15% (ดังแสดงในรูปที่
 12). นอกจากนี้ได้ทดลองเพิ่มสีน้ำตาลให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผงช็อกโกแลตผสมลงไป 2%
 ในสูตร $G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2$ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้นออกสีน้ำตาล แต่
 ลักษณะพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ และเนื้อสัมผัสยังคงดีเหมือนเดิม (ดังแสดงในการทดลองที่
 9, ตารางที่ 15 และรูปที่ 13). การผสมผงช็อกโกแลตนี้ทำให้ราคาแป้งผสมสูงขึ้นเป็น
 13.32 บาทต่อกิโลกรัมและมีปริมาณโปรตีน 15.7% โดยน้ำหนักแห้ง.

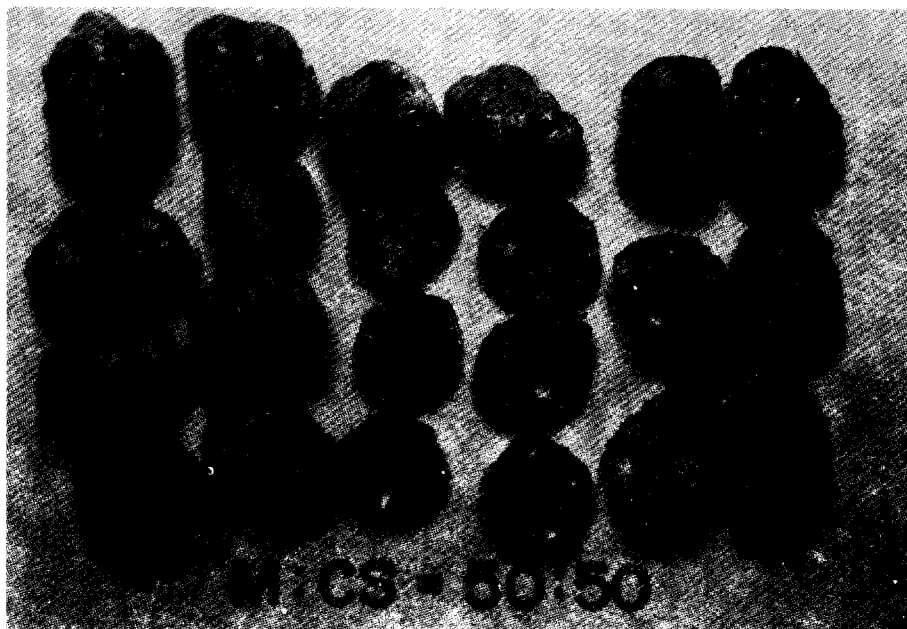
การทดลองที่ 10 และ 11 ในตารางที่ 15 เป็นการทดลองใช้แหล่งโปรตีนถั่วเขียวและถั่วเหลืองปนกับแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยใช้อัตราส่วนดังนี้คือ M:CS = 50:50, S:CS = 35:65. ผลการทดลองพบว่าแป้งผสมสูตร M:CS = 50:50 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ใหญ่, เนื้อสัมผัสกรอบ (ดังแสดงในรูปที่ 14). ส่วนการใช้กากถั่วเหลืองพบว่าแป้งผสมสูตร S:CS = 35:65 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ขนาดกำลังดี, เนื้อสัมผัสกรอบเช่นกันแต่ผิวไม่เรียบ (ดังแสดงในรูปที่ 15). จะเห็นว่าแป้งข้าวโพดให้ลักษณะที่ดีต่อผลิตภัณฑ์ แต่มีราคาแพงทำให้แป้งผสม M:CS = 50:50 และ S:CS = 35:65 มีราคาสูงถึง 18.00 และ 15.55 บาทต่อกิโลกรัม, ส่วนปริมาณโปรตีนมี 14.9% และ 17.9% (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ. ด้วยเหตุนี้จึงได้ทดลองใช้แป้งมันแทนแป้งข้าวโพดแล้วผสมกับถั่วเขียวบด โดยใช้อัตราส่วน 70:30 และ 80:20. ผลการทดลองพบว่าถ้าใช้ M:T = 70:30 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ใหญ่, เนื้อสัมผัสที่ไต่กรอบ, ผิวไม่เรียบ, และเมื่อใช้ถั่วเขียวมากขึ้นคือถึง 80% ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง, ฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ใหญ่ และผิวไม่ค่อยเรียบ (ดังแสดงในรูปที่ 16 และ 17).

การทดลองที่ 1-13 ในตารางที่ 15 ใช้ main screw ตัวเดียวกัน, จะเห็นว่าปริมาณสูตรของแป้งผสมให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกเสมอดี, บางสูตรของแป้งผสมให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกไม่เสมอ. เมื่อพิจารณาความละเอียดของแป้งที่ใช้ในการทดลองที่ 1-13 (ดังแสดงในตารางที่ 17) จะเห็นว่าแป้งผสมที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกไม่เสมอจะมีลักษณะหยาบกว่า คือ มีปริมาณแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า 60 mesh อยู่ 46.7-60.8%. ส่วนแป้งผสมที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกสม่ำเสมอจะมีความละเอียดมากคือ มีปริมาณแป้งที่มีขนาดเล็กกว่า 150 mesh อยู่มากกว่า 63%. สำหรับผลการวิเคราะห์ความละเอียดของการทดลองที่ 11 ในตารางที่ 17 นั้นไม่ถูกต้อง เข้าใจว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการวิเคราะห์เพราะแป้งข้าวโพด (CS) มีขนาดละเอียดมาก, ดังนั้นแป้งผสมในการทดลองที่ 11 นี้ จึงควรมีปริมาณส่วนใหญ่ที่มีขนาดเล็กกว่า 150 mesh.

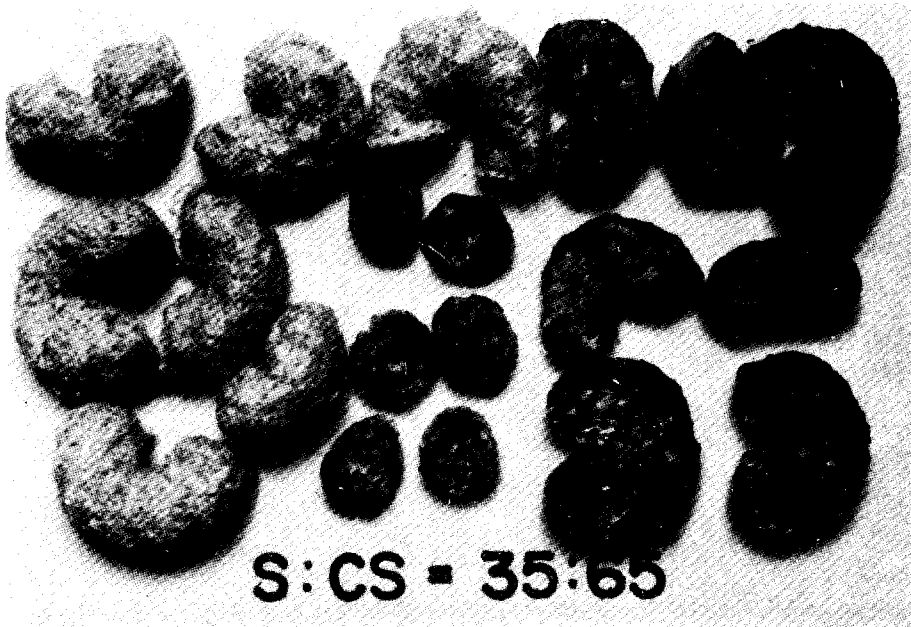
การทดลองที่ 14-21 ในตารางที่ 16 ใช้ main screw ที่มีการปรับปรุงโดยติดแกนในระหว่างเกลียวจำนวน 10 คัน เพื่อช่วยในการผสมแป้งและน้ำ. ผลการทดลองพบว่าในการทดลองทุกครั้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทุกสูตรแป้งผสม มีความสุกสม่ำเสมอ และเมื่อพิจารณาจากความละเอียดของแป้งผสมที่ใช้ในตารางที่ 17 พบว่า ไม่ว่าแป้งผสมจะมีความหยาบหรือความละเอียดเป็นอย่างไร ก็สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกสม่ำเสมอได้, แสดงว่าความละเอียดของแป้งไม่มีผลต่อความสุกไม่สม่ำเสมอ แต่สาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดปัญหาการสุกไม่สม่ำเสมอคือการผสมกันไม่ทั่วถึงของแป้งผสมและน้ำในตัว main screw.



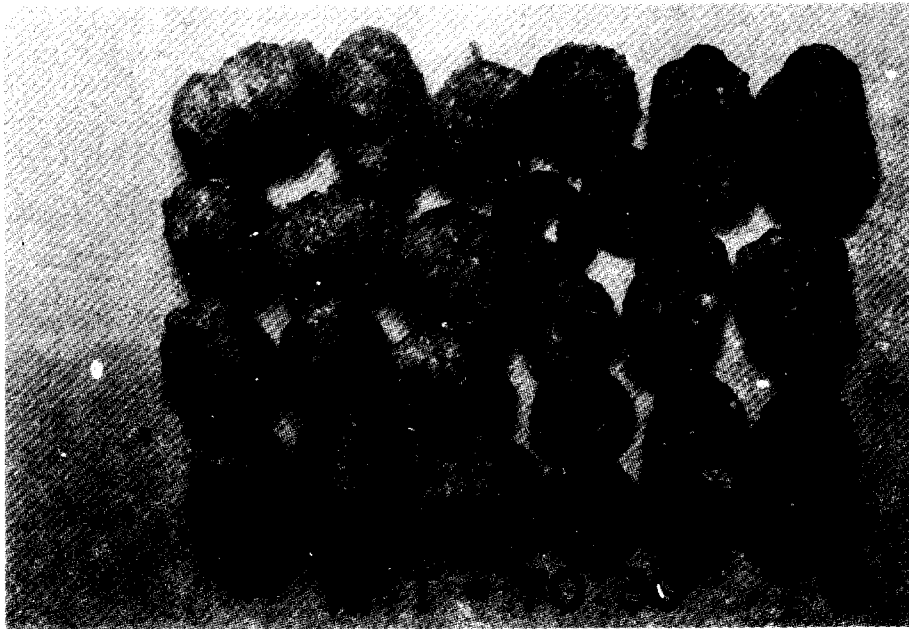
รูปที่ 13. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:CS:CH = 30:20:38:10:2$.



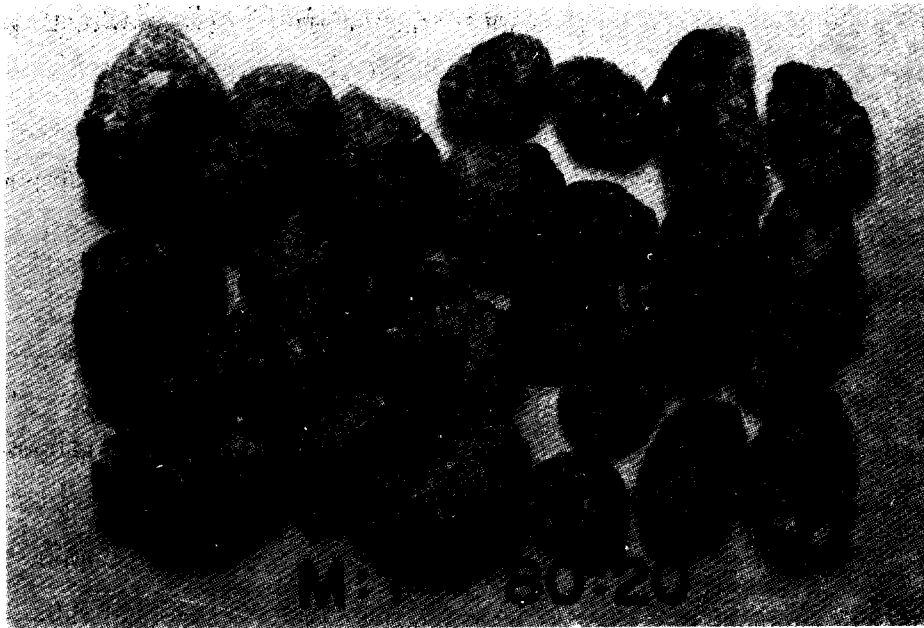
รูปที่ 14. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:CS = 50:50$.



รูปที่ 15. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $S:CS = 35:65$.



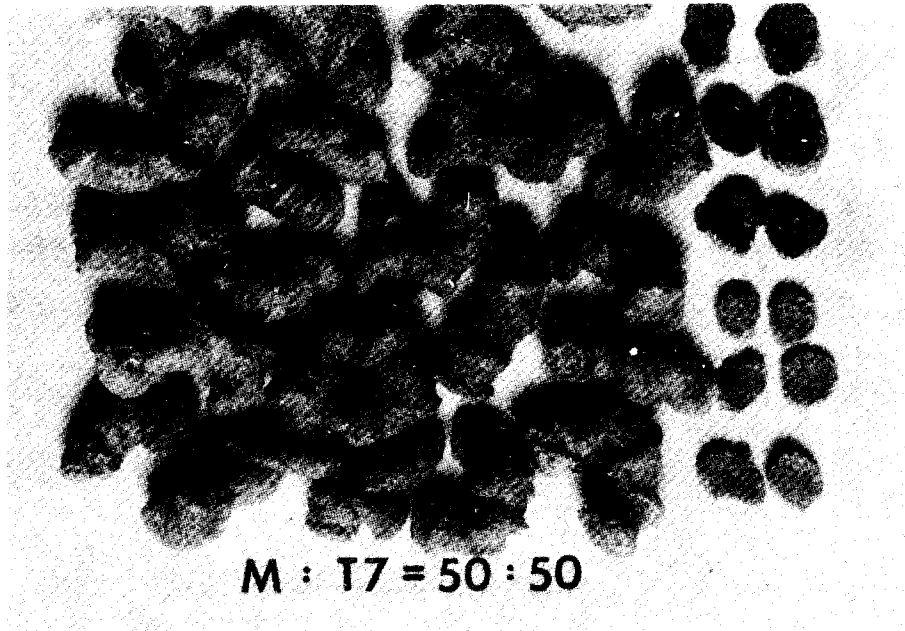
รูปที่ 16. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T = 70:30$.



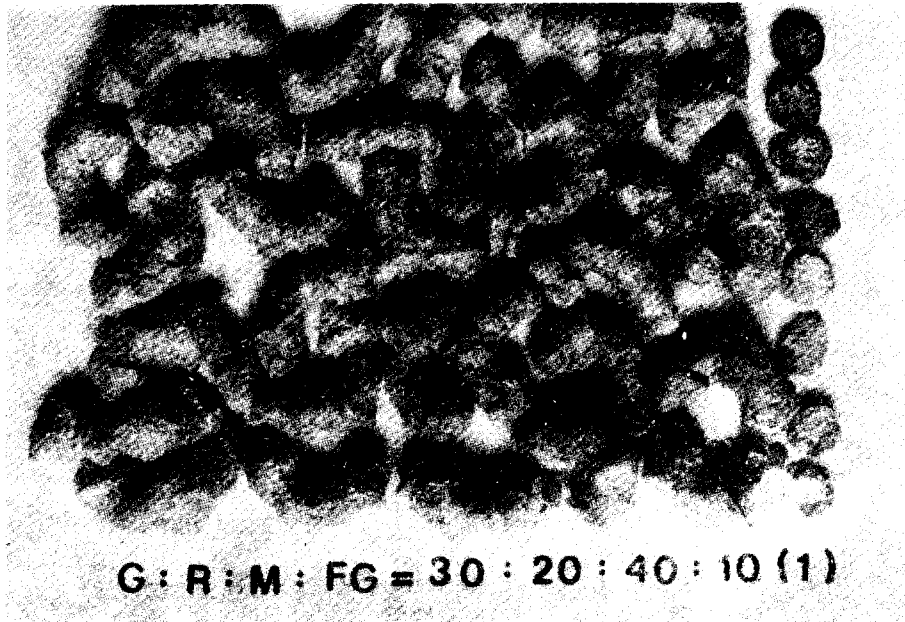
รูปที่ 17. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร M:T = 80:20.

การทดลองที่ 14-21, ในตารางที่ 16 ส่วนใหญ่จะเป็นการทดลองเพื่อคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งซึ่งผ่านการหมักคือ มันสำปะหลังบดแห้งซึ่งหมักมาแล้ว 7 1/2, 5 1/2, และ 3 1/2 วัน ใช้ตัวย่อว่า T₇, T₅, และ T₃ ตามลำดับ. นอกจากนี้มีการทดลองใช้ข้าวเหนียวหมักบดแห้ง (FG) โดยผสมกับถั่วเขียวบดในอัตราส่วน 50%. ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ อร่อยทุกสูตรและมีลักษณะพองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ (ดังแสดงในรูป 18, 19, 20, 21, 23 และ 25). นอกจากนี้มีการใช้แป้งท้าวายม่อมมาทดลองผสมกับถั่วเขียวบดในอัตราส่วน M:TT = 50:50, พบว่าเนื้อสัมผัสกรอบน้อย, ผิวไม่ค่อยเรียบ, พองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ละเอียด (ดังแสดงในการทดลองที่ 18 ตารางที่ 16 และรูปที่ 22), อีกทั้งได้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งมันสำปะ ๓ พบว่าเนื้อสัมผัสกรอบน้อย, ไม่อร่อย, ผิวไม่ค่อยเรียบ, พองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ใช้ได้ (ดังแสดงในการทดลองที่ 20 ตารางที่ 16 และรูปที่ 24).

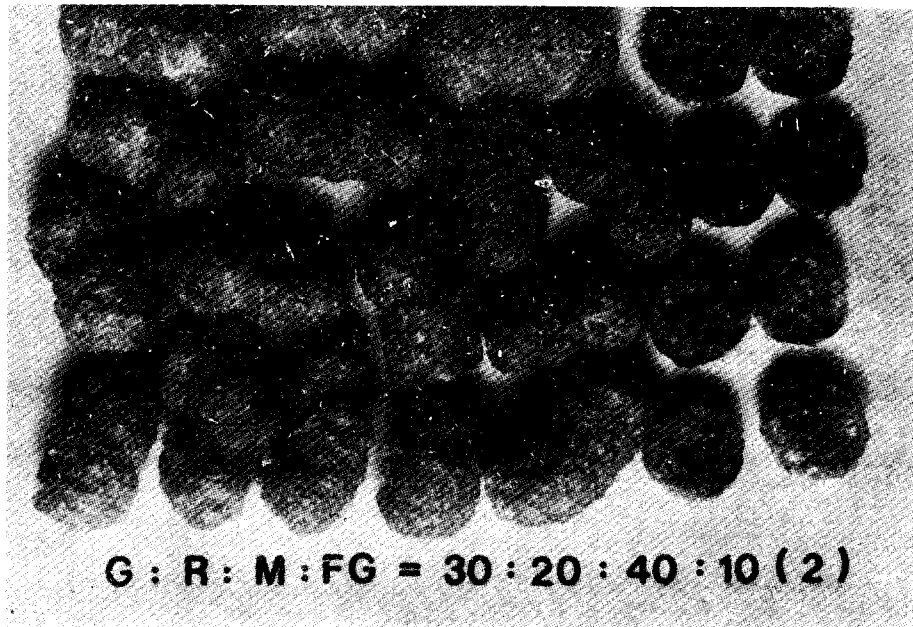
ให้นำผลิตภัณฑ์จากการทดลองที่ 14, ตารางที่ 16 ซึ่งใช้แป้งผสม M:T₇ = 50:50 มาเคลือบรสต่าง ๆ คือ รสกุ้งเผ็ดมัน, รสกาแพ และรสซ็อกโกแลต ตามสูตรที่ใช้เคลือบดังแสดงในตารางที่ 18. สำหรับรสกุ้งเผ็ดมันมี 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 ใช้แป้งมันสำปะของแม่ประนอม และสูตรที่ 2 ใช้แป้งมันสำปะของพันท้ายนรสิงห์, ผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวที่เคลือบด้วยรสกุ้งเผ็ดมันสูตรที่ 2 ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่ 19, ตารางที่ 16 คือสูตร M:T₅ = 50:50. ผลการชิมพบว่ารสกุ้งเผ็ดมันทั้งสองสูตรได้คะแนนยอมรับสูงกว่ารสกาแพและรสซ็อกโกแลต, แต่สูตรรสกุ้งเผ็ดมันที่ใช้แป้งมันสำปะของพันท้ายนรสิงห์จะได้รับความนิยมมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากรสกุ้งเผ็ดมันสูตรที่ 2 นี้มีความเผ็ดน้อยกว่าและมีกลิ่นหอมเครื่องเทศมากกว่าสูตรที่ 1. ส่วนรสกาแพและซ็อกโกแลตยังต้องปรับปรุงทั้งกลิ่นและรส, สำหรับรูปร่างและเนื้อสัมผัส คะแนนจะต่ำในทุกรส ทั้งนี้เพราะรูปร่างที่ไม่สวยและไม่แน่นอน ซึ่งได้จากการใช้แป้งผสมสูตร M:T₇ = 50:50. แต่รูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสูตร M:T₅ = 50:50 จะมีคะแนนดีกว่า ทั้งนี้เพราะมีรูปร่างสม่ำเสมอและโปร่งมากกว่า (ดังแสดงในตารางที่ 19). ผลการชิมดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองขายผลิตภัณฑ์ทั้งสามรสที่งานเทศกาลโคมไฟที่กรมพาณิชย์สัมพันธ์ ถนนรัชดาภิเษก ระหว่างวันที่ 17-26 มีนาคม 2532 คือรสกุ้งเผ็ดมันขายดีกว่ารสกาแพและซ็อกโกแลตทั้งนี้อาจเป็นเพราะความแปลกใหม่ของรสชาติ.



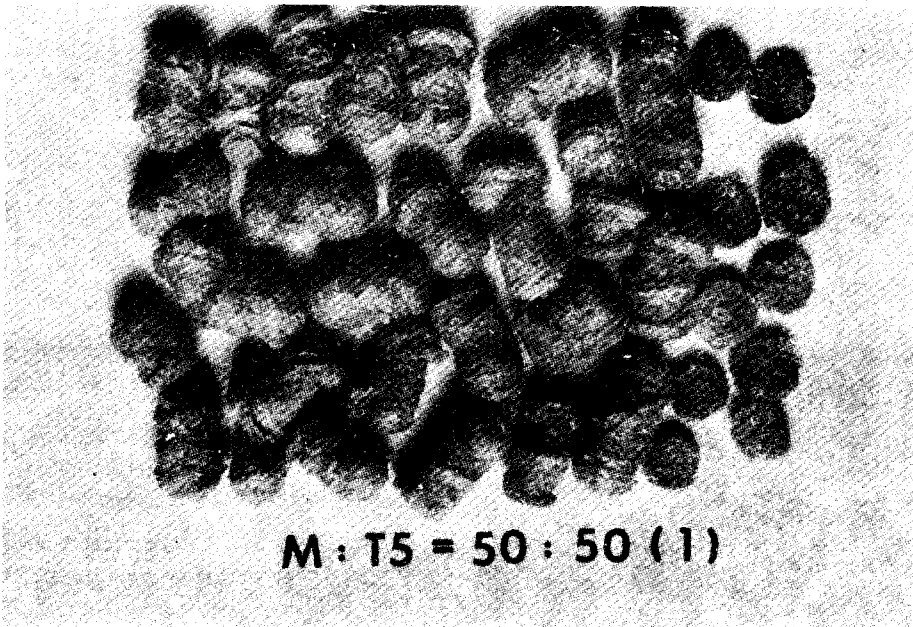
รูปที่ 18. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_7 = 50:50$.



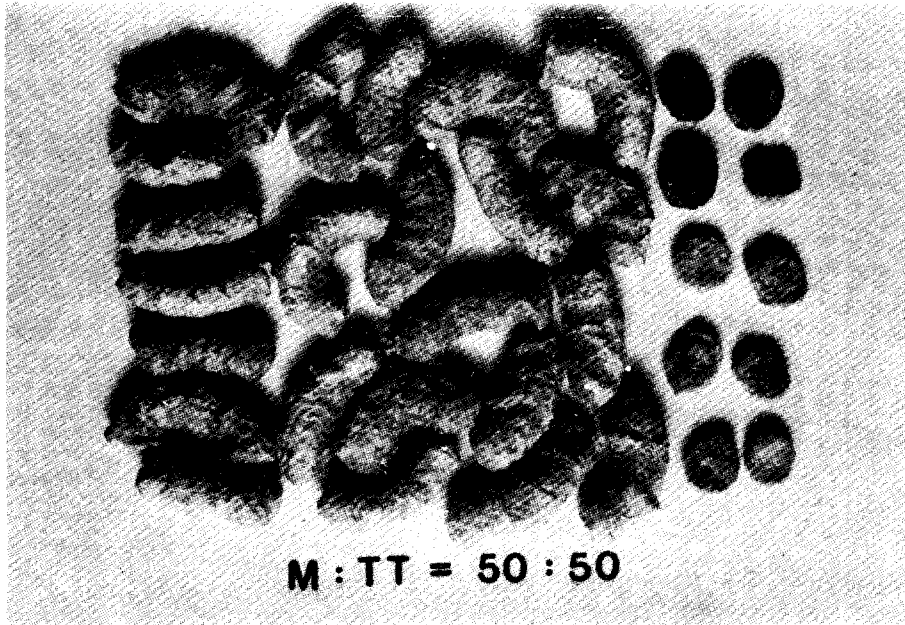
รูปที่ 19. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:FG = 30:20:40:10 (1)$.



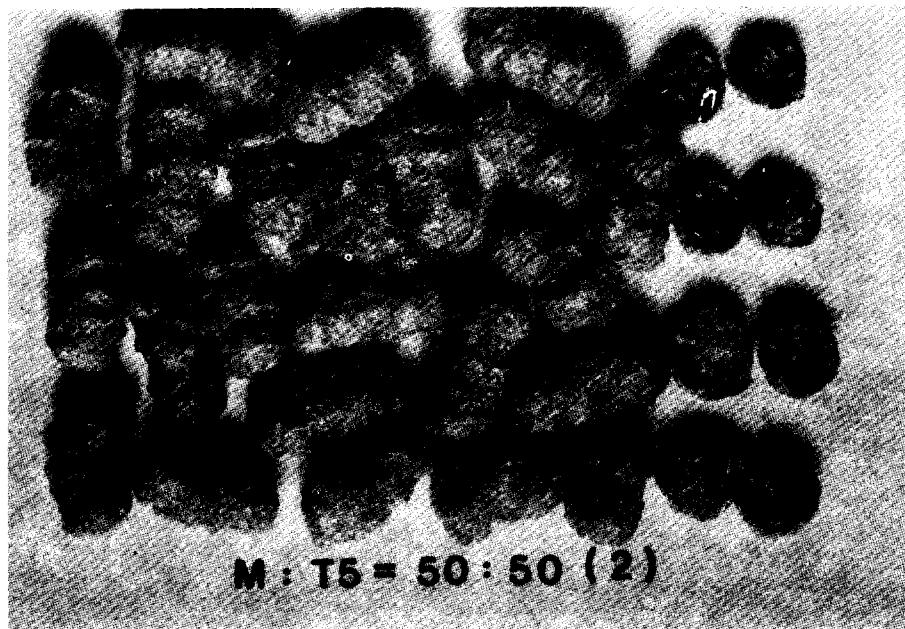
รูปที่ 20. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตรังไข่ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายใน
ผลิตรังไข่ ซึ่งได้จากสูตร $G:R:M:FG = 30:20:40:10$ (2).



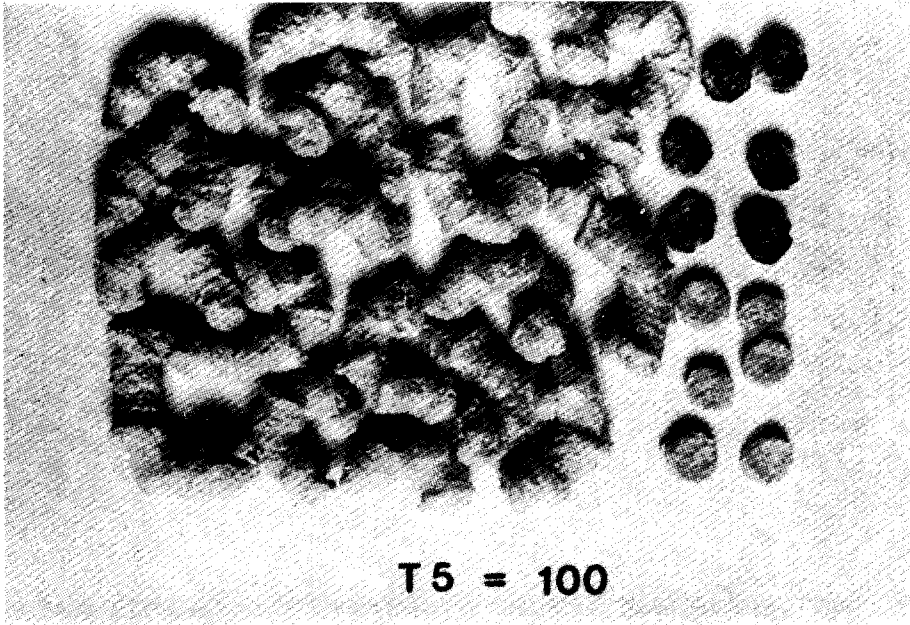
รูปที่ 21. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตรังไข่ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายใน
ผลิตรังไข่ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_5 = 50:50$ (1).



รูปที่ 22. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:TT = 50:50$.



รูปที่ 23. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลึกภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลึกภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_5 = 50:50 (2)$.



รูปที่ 24. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $T_5 = 100$.



รูปที่ 25. แสดงลักษณะรูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์ตลอดจนลักษณะฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากสูตร $M:T_3 = 50:50$.

ตารางที่ 18. สูตรเคลือบขนมขี้เควดรสต่าง ๆ

ส่วนประกอบ	สูตรเคลือบ	รสกุ้งเผ็ดมัน	รสกุ้งเผ็ดมัน	ส่วนประกอบ	รสกาแฟ	รสช็อกโกแลต
	I	II	(กรัม)		(กรัม)	
น้ำจิ้มไก่ของ				น้ำตาล	350	350
- แป้งระนอง	400	-		เกลือ	5	5
- พันท้ายนรสิงห์	-	350		นมผง	50	50
น้ำตาล	350	350		กาแฟ	20	
เกลือ	35	40		ช็อกโกแลต	-	20
ผงชูรส	5	5		น้ำ	300	300
กุ้ง	15	15		มาการีน	100	100
น้ำ	200	100		C.M.C (4.0 %)	110	110
C.M.C (3.5 %)	150	250		กลั่นกาแฟ	2 มล.	-
				กลั่นช็อกโกแลต	-	2 มล.
เคี้ยวเอาน้ำออก	200	110		เคี้ยวเอาน้ำออก	200	200
น้ำหนักที่ได้	955	1000		น้ำหนักที่ได้	735	735
ความหนืดที่อุณหภูมิ 60° ซ. (เช่นตีพอยส์ต่อวินาที)	1177	-		ความหนืดที่อุณหภูมิ 60° ซ. (เช่นตีพอยส์ ต่อวินาที)	3987	4333
การเคลือบใช้ ขนมขี้เควดต่อ น้ำเคลือบ	1:1	1:1		การเคลือบใช้ ขนมขี้เควดต่อ น้ำเคลือบ	1:1	1:1

ที่มา : จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 25

ตารางที่ 19. ผลการแจกชิมขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากแป้งผสมสูตร M:T₇ = 50:50
 โดยใช้ น้ำเคลือบรสต่าง ๆ

ขนมขบเคี้ยว	คะแนนชิม				
	รส	รส	กลิ่น	รส	ลักษณะ เนื้อสัมผัสและรูปร่าง
น้ำจิ้มไก่ I	6.70	5.50	6.07	5.59	6.47
น้ำจิ้มไก่ II	6.44	6.00	6.50	6.72	6.93
กาแฟ	6.00	5.70	5.90	5.60	5.90
ซ็อกโกแลต	5.75	5.65	5.45	5.50	5.65

ที่มา จากสมุดบันทึกการทดลอง เล่มที่ 570 หน้า 21

5) บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงเครื่อง

1. ลดความเร็วรอบของ main screw จาก 500 รอบต่อนาทีเป็น 405 รอบต่อนาที เพื่อให้การควบคุมเครื่องง่ายขึ้น.
2. เปลี่ยนตำแหน่งป้อนน้ำที่เข้าผสมกับแป้งในสกรู หันขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการอุดตันของรู น้ำเข้า อันเนื่อง มาจาก back pressure ของโคภายใน screw.
3. เปลี่ยนระบบใบกวนภายใน hopper ให้มีความเร็วรอบสูงขึ้น โดยใช้เฟืองโซ่ที่ต่อทด จาก feed screw ในอัตราส่วน 1:3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้อนแป้งเข้าสู่ main screw.
4. ลด clearance ระหว่าง feed screw กับ barrel ของ feed screw โดยการเสริมท่อครึ่งวงกลมเข้าไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้อนแป้งเข้าสู่ main screw.
5. เพิ่มความดันน้ำจาก 5.7 กก/ซม.^2 เป็น 7.2 กก/ซม.^2
6. เปลี่ยนตัว main screw โดยการติดแกนเข้าไปในช่วง pitch, pitch ละ 3 แกน รวมทั้งหมด 10 แกน เพื่อปรับปรุงการสึกของขนมอบเคี้ยวให้สม่ำเสมอ.

ผลการปรับปรุงเครื่องดังกล่าวทำให้สามารถผลิตขนมขบเคี้ยวได้เป็นระยะเวลาต่อเนื่องนานหลายชั่วโมง โดยสามารถใช้แป้งทั้งชนิดหยาบและละเอียด คือมีความละเอียดขนาด $< 60 \text{ mesh}$ มากกว่า 50% และแป้งที่มีความละเอียดขนาด $> 150 \text{ mesh}$ มากกว่า 60% ตามลำดับ. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสุกสม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิที่เกิดการพองตัวอยู่ในระหว่าง $150^\circ - 165^\circ \text{ ซ.}$, ส่วนสภาวะการทำงานของเครื่องมีดังนี้คือ ความเร็วรอบของ feed screw 580-900 รอบต่อนาที, แรงดันน้ำป้อนเข้าเครื่อง 7.2 กก/ซม.^2 , อัตราการป้อนน้ำคือ 0.031-0.082 ลิตรต่อนาที, ความชื้นโด ที่ได้จากการคำนวณอยู่ในช่วง 14.45-19.24%, อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์คือ 46-97 กก.ต่อชั่วโมง, สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดต่อหนึ่งกิโลกรัมผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.24-0.36 กิโลวัตต์ชั่วโมง. งานที่ควรวิจัยต่อไปคือ ลดค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ โดย

วิธีที่ 1 เพิ่มอัตราการผลิตซึ่งน่าจะทำได้ เพราะขณะนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบถูกถ่ายไปอยู่ที่น้ำหล่อเย็น 47.5-78.0% โดยเพิ่มอัตราการป้อนแฉ่งจะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบถูกถ่ายไปในผลิตภัณฑ์มากกว่าที่น้ำหล่อเย็น, นอกจากนี้จากข้อมูลความชื้นของผลิตภัณฑ์เห็นว่าอยู่ในช่วง 7.1-8.9% หากไม่มีการผิดพลาดในการวิเคราะห์. Van Zuilichem et al. (1977) ถือว่าค่านี้อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ถึงไม่ดี. ดังนั้นการเพิ่มอัตราการป้อนแฉ่งโดยไม่เพิ่มอัตราการป้อนน้ำผสมจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยลงด้วย, ความเร็วรวมสูงสุดของ feed screw คือ 1,500 รอบ แต่ขณะใช้อยู่ในช่วง 580-900 รอบต่อนาที. วิธีที่ 2 หาทางลดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องขณะที่ยังไม่ป้อนแฉ่งและน้ำ.

การปรับปรุงสูตรแฉ่งผสม

การแก้ปัญหาฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ที่ใหญ่เกินไปในสูตรเดิมคือ G:R:M = 40:25:35 โดยการใช้ข้าวโพดคดและกากถั่วเหลืองในปริมาณ 5% และ 10-15% ตามลำดับ, สูตรที่ใช้ได้คือ G:R:M:C = 30:20:45:5 และ G:R:M:S = 30:20:40:10 และ 30:20:35:15. นอกจากนี้มีการใช้ข้าวเหนียวหมักในปริมาณ 10% ซึ่งให้ผลดีกับผลิตภัณฑ์เช่นกัน, สูตรที่ใช้ได้คือ G:R:M:FG = 30:20:40:10. อีกทั้งมีการใช้มันสำปะหลังคดแห้งปนถั่วเขียวคั่วในอัตราส่วน 50% พบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบร่อนและมีฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ดี. เมื่อพิจารณาในแง่ราคาพบว่าแฉ่งดังกล่าวทั้ง 5 สูตร มีราคาอยู่ในช่วง 11.27-12.50 บาทต่อกิโลกรัม และมีโปรตีนอยู่ในช่วง 15.0-21.8%. สิ่งที่น่าสนใจต่อไปคือ การใช้แฉ่งมัน 10% ปนในสูตรแรกคือ G:R:M:T = 30:20:40:10 เพราะได้มีการทดลองสูตรดังกล่าวนี้แต่ใช้แฉ่งข้าวโพดแทนแฉ่งมันซึ่งผลิตภัณฑ์ได้มีลักษณะดี แต่ราคาแฉ่งผสมจะแพง เพราะแฉ่งข้าวโพดมีราคาแพงมาก, ดังนั้นหากใช้แฉ่งมันสำปะหลังแทนแฉ่งข้าวโพดจะทำให้แฉ่งผสมมีราคา 11.02 บาทต่อกิโลกรัม และมีโปรตีน 15.68% โดยน้ำหนักแห้ง, สำหรับผลการยอมรับผลิตภัณฑ์สำเร็จนั้นขึ้นอยู่กับรสชาติหรือความอร่อยของตัวเคลือบ และตัวขนมขบเคี้ยว. ในส่วนหลังนี้ควรมีการประเมินโดยวัดดัชนีการละลายน้ำ ซึ่งในรายงานนี้ไม่มีการวิเคราะห์ไว้, ดังนั้นในการทดลองต่อไปควรมีการวิเคราะห์ค่านี้ด้วย. ในรายงานนี้มีการแจกชิมผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่วเขียวและมันสำปะหลังหมัก 7 วัน และ 5 วัน โดยเคลือบรสกุ้งเผ็ดมัน กาแฟ และช็อกโกแลต, ผลการชิมสรุปว่ารสกุ้งเผ็ดมันเป็นที่นิยมกว่ากาแฟและช็อกโกแลต ส่วนความกรอบใช้ได้แต่ต้องปรับปรุงรูปร่างซึ่งไม่สม่ำเสมอ.

เอกสารอ้างอิง

- Bertch, E.E. 1972. Snack Food and Method of Producing Same. U.S. Patent 3 703, 378.
- Bhumiratana, Amara 1980. ASEAN Workshop of Extruder Technology. Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, Jan. 14-25.
- Feldberg, C. 1969. Extruded starch-based snacks. Cereal Sci. Today. 14 (6) 211.
- Harper, J.M. 1981. Extrusion of foods. Florida, CRC Press Inc. Vol. 1-2.
- Kellor, R.L. 1974. Defatted soy flour and grits, J. Am. Oil Chesh. Soc., 51 (1), 77A.
- Kwon, T.W. and Cheigh, H.S. 1985. Wongseong country nutrition program in Korea. Korea Advanced Institute of Science and Technology, Meals for Millions/Freedom from Hunger Foundation.
- Maga, J.A. and Lorenz, K. 1978. Sensory and functional properties of extruded corn-soy blends. Lebensn. Wiss. Technol. 11, 185.
- Matz, S.A. 1984. Snack Food Technology. 2nd ed., Westport, Connecticut. AVI Publishing Company, Inc.
- Mercier, C. and Feillet, P. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. Cereal Chem. 52 (3) 283.

Molina, M.R., Bressani, R., Cuevas, R., Gudial, H. and Chavin, V. 1978. Effects of processing variables on some physio-chemical characteristic and quality of high protein foods. AICLE Symp. Ser., 74 (172), 153.

Rossen, J.L., and Milter, R.C. 1973. Food extrusion. Food Technology, 27 (8) : 46-53, Aug.

Smith, P. 1971. The functions and utilization of starch in extruded foods. In :Symposium on Extrusion : Process and Product Development, Central State Section, Am. ASSOC. Cereal Chem. St. Paul. Minn.

The Yokohama Industrial Institute 1984. Industrial Plant Guide: Snack Food Making Plant. Yokohama, Japan.

Van Zuilichem, D.J., Stop, W., and Withan, I. 1977. Texturization of soya with a single-screw extruder. Paper presented at Eur. Semi. Extrusion Cooking of Food, Paris, January 12.

Wilson, D.E. 1979. Low cost extrusion cookers. Second International Workshop Proceedings, Kilimanjaro Hotel, Dar es Salaam, Tanzania, Jan. 15-18.

ภาคผนวกที่ 1

วิธีการคำนวณค่า sensible heat

กำหนดให้ใช้ค่า specific heat ของโด มีค่า specific heat ของ pet food ซึ่งเป็น function กับความชื้นโด (X_m)

$$\text{ตามสมการ } C_p = 2.72X_m + 1.55 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad \text{----- 1}$$

(จาก Harper, J.M. 1981. vol. 1 p. 182)

วิธีการคำนวณสามารถทำตามลำดับขั้นตอนได้ดังนี้คือ :

1. คำนวณหา total flow (m°), ที่มีความชื้น X_m ที่ผ่านเครื่องอัดสุกแบบเกลียว

$$m^\circ = \frac{P(1-X_p) + W}{(1-X_F)} \text{ kg/hr} \quad \text{----- 2}$$

จากการทดลองจะได้ค่า

$$\begin{aligned} X_p &= \text{ความชื้นในผลิตภัณฑ์} \\ P &= \text{อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น } X_p \text{ (กก./ชม.)} \\ W &= \text{อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าผสมกับแป้งในเครื่อง (กก./ชม.)} \\ X_F &= \text{ความชื้นของแป้งผสมที่ป้อนเข้าเครื่อง} \end{aligned}$$

2. คำนวณหาความชื้นในโด (X_m)

$$X_m = \frac{m^\circ - P(1-X_p)}{m^\circ} \quad \text{----- 3}$$

3. คำนวณหาปริมาณความร้อนที่โดได้รับจนกระทั่งถึงอุณหภูมิตามที่ทดลอง (Q_d)

$$Q_d = m^\circ C_p \Delta T + P(1-X_p) \Delta H^\circ \quad \text{----- 4}$$

กำหนดให้ ΔH° = endothermic heat of gelatinization

ในที่นี้ใช้ค่า ΔH° = 15 KJ/kg โดยดัดแปลงมาจากตารางที่ 1 หน้า 47 (Harper, J. M. 1981, vol. 1)

4. คำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำหล่อเย็นได้รับ (q_w)

$$q_w = m_w C_p \Delta T \quad \text{----- 5}$$

เมื่อ m_w = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น (กก./วินาที)
 C_p = ความจุความร้อนของน้ำ (kcal/กก.°ซ.) = 1 kcal/กก.°ซ.

ตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลการทดลองที่ใช้แก๊สผสมสูตรที่ 5

G:R:M:S	=	30:20:40:10
อัตราการผลิตขนมขบเคี้ยว (p)	=	51.80 กก./ชม.
ความชื้นของขนมขบเคี้ยว (X_p)	=	11.1 %
ความชื้นของแก๊สผสม (X_F)	=	13.4 %
อัตราการป้อนน้ำเข้าผสมกับแก๊ส	=	0.095 ลิตร/นาที
	=	5.7 กก./ชม.
อุณหภูมิที่เกิดการพองตัว	=	165°ซ.
อุณหภูมิห้อง	=	29.8°ซ.
อุณหภูมิน้ำที่หล่อเย็น	=	29.0°ซ.
อุณหภูมิน้ำที่ออกที่หัว	=	37°ซ.
อัตราการไหลออกของน้ำที่หัว	=	5.04 ลิตร/นาที
อุณหภูมิน้ำที่ออกส่วนปลาย	=	30.2°ซ.
อัตราการไหลออกของน้ำส่วนปลาย	=	3.50 ลิตร/นาที

จากสมการที่ 2 :

$$m = \frac{51.85 (1-0.111) + 5.7}{(1-0.134)}$$

$$m = \frac{46.0947 + 5.7}{0.866}$$

∴ $m = 58.9271$ กก./ชม.

แทนค่า m' ลงในสมการที่ 3

$$X_m = \frac{m' - p(1-X_p)}{m'}$$

$$X_m = \frac{58.9271 - 46.0947}{58.9271}$$

$$X_m = 0.2178$$

แทนค่า X_m ลงในสมการที่ 1

$$C_p = 2.72 \times 0.2178 + 1.55$$

$$C_p = 2.1424$$

แทนค่า C_p ลงในสมการที่ 4

$$q_d = \frac{58.9217 \times 2.1424 (165 - 29.8)}{3600} + \frac{51.85 (1 - 0.111) (15)}{3600} \text{ KJ/sec.}$$

$$q_d = 4.740 + 0.1921 = 4.9329 \text{ KJ/sec.}$$

$$= 4.9329 \text{ กิโลวัตต์}$$

จากสมการที่ 5

$$q_w = \frac{(5.04) (1) (37 - 29) \times 4.186}{60} + \frac{(3.50) (1) (30.2 - 29) \times 4.186}{60} \text{ KJ/sec.}$$

$$= 2.8130 + 0.2932 = 3.1060 \text{ กิโลวัตต์}$$

$$\therefore \text{ปริมาณความร้อนทั้งหมด} = q_d + q_w = 4.9329 + 3.1060 = 8.0389 \text{ กิโลวัตต์}$$

ภาคผนวกที่ 2

วิธีการคำนวณหาค่า total energy ต่อ กก. ของผลิตภัณฑ์,
net specific energy ต่อ กก. ผลิตภัณฑ์, และ energy conversion

ตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลการทดลองที่ใช้แบ่งผสมสูตรที่ 5

G:R:M:S = 30:20:40:10 จากการทดลองได้ข้อมูลดังนี้

total ampere ที่ใช้ = 25.8 แอมแปร์

และอัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์ (P) = 51.85 กก./ชม.

1. การหาค่า total energy ต่อ กก. ของผลิตภัณฑ์

จากสมการ $P = \sqrt{3} VI \cos \theta$ วัตต์

กำหนดให้ $\cos \theta = 1$

ดังนั้น $P = \frac{\sqrt{3} (380)(25.8) 1}{1000} = 16.981$ กิโลวัตต์

total energy ต่อ กก. ผลิตภัณฑ์ = $\frac{16.981}{51.85} = 0.3275$ กิโลวัตต์-ชม.
กก.

2. การหาค่า net specific energy/กก. ของผลิตภัณฑ์

จากการทดลองได้ข้อมูลดังนี้คือ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับ main screw ขณะ load = 21.6 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับ main screw ขณะไม่มี load = 11.0 แอมแปร์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขณะ load = $\sqrt{3} VI \cos \theta$ วัตต์

= $\frac{\sqrt{3} (380) (21.6) 1}{1000}$ กิโลวัตต์

= 14.2167 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขณะไม่มี load = $\sqrt{3} VI \cos \theta$ วัตต์

= $\frac{\sqrt{3} (380) (1) 1}{1000}$ กิโลวัตต์

= 7.2400 กิโลวัตต์

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น net specific energy ที่ใช้} &= 14.2167 - 7.2400 \\ &= 6.9764 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

$$\text{และ net specific energy ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์} = \frac{6.9764}{51.85} = 0.1346 \frac{\text{กิโลวัตต์-ชม.}}{\text{กก.}}$$

3. การหาค่า total energy conversion และ net energy conversion

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ main screw ใช้ขณะที่มี load} = 14.2167 \text{ กิโลวัตต์}$$

$$\text{ส่วนพลังงานความร้อนที่โค และน้ำได้รับ} = 8.0389 \text{ กิโลวัตต์}$$

(sensible heat)

$$\therefore \text{total energy conversion} = \frac{8.0389 \times 100}{14.2167} = 56.55\%$$

$$\therefore \text{net specific energy ที่ใช้} = 6.9769 \text{ กิโลวัตต์}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น net energy conversion} &= \frac{8.0389 \times 100}{6.9767} = 115.2\% \end{aligned}$$