

การพัฒนาเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน  
สำหรับกลุ่มแปรรูปอาหารในครัวเรือน  
Development of Machine Making Khai Mod Rin Rice Powder  
for Household Food Processing Group

ปริญญา หม่อมพิบูลย์<sup>1</sup> และอนูรักษ์ ตรีเพชร<sup>1\*</sup>  
Parinya Mompiboon<sup>1</sup> and Anurak Tripatch<sup>1\*</sup>

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์ต้นแบบเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนสำหรับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไข่มดรีน อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช เครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนประกอบด้วย โครงสร้างเครื่องทำนมผง ห้องทำแห้ง ชุดทำละออง และชุดแยกอนุภาคผงออกจากอากาศ เครื่องทำนมผงมีลักษณะเฉพาะคือ มีกำลังการผลิตเหมาะสม สะดวก ใช้งานง่าย ในระดับครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน สามารถขนย้ายได้โดยรถกระบะ ผลการศึกษาการทดสอบเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนสรุปได้ว่าเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนมีสมรรถนะการผลิตประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนจะมีจุดคุ้มทุนที่ 6.6 ปี หรือที่กำลังการผลิตประมาณ 23,220 กิโลกรัม

**คำสำคัญ:** เครื่องทำนมผง ชุดทำละออง ข้าวไข่มดรีน

---

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

\* Corresponding author e-mail: anurak\_tri@nstru.ac.th

Received: 5 October 2021, Revised: 3 December 2021, Accepted: 7 December 2021

## Abstract

The objective of research is to invent a prototype of the milk powder making machine for Khai Mod Rin Rice farmer group, Hua Sai district, Nakhon Si Thammarat province. The milk powder machine consists of the machine frame, the drying chamber, the atomization set and the particle collector. The machines is characterized by suitable production capacity at the enterprise level, easy to use and can be transported by a pickup truck. The results showed that the machine has a production capacity of approximately 1.2 kg/hr. Therefore, the payback period of machine was 6.6 year or production capacity for machine was 23,220 kg.

**Keywords:** Milk powder making machine, Atomization set, Khai Mod Rin rice

## บทนำ

อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช มีสภาพดินเป็นดินเหนียว เหมาะแก่การประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว พริก ปาล์ม น้ำมัน โดยข้าวไข่มดรีนเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนครศรีธรรมราช มีลักษณะเมล็ดเล็กยาวเรียวยาวเหมือนไข่มดรีน เมล็ดข้าวเปลือกมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ 2.50 x 9.47 x 1.90 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ 2.0 x 6.9 x 1.7 มิลลิเมตร ผลผลิตจากข้าว ได้แก่ ข้าวหนึ่งข้าวกล้องงอก น้่านมข้าว เป็นต้น ซึ่งน้่านมข้าวมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ดื่มนมวัว กลูเตน นมถั่วไม่ได้ เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ย่อยแลคโตสในนม กระบวนการผลิตน้่านมข้าว มีดังนี้ 1) อบข้าวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง 2) นำข้าวกล้องบดละเอียดเป็นผงด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง และร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 80 เมตร 3) ผสมน้ำได้น้่านมข้าว กรองด้วยผ้าขาวบางสองชั้น จนได้น้่านมข้าว 4) เติมน้่านมเอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล 5) เติมโปรตีน เติมน้ำมันจากนม สารที่ช่วยให้น้่านมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับรสชาติโดยเติมเจลาติน หรือเติมน้ำตาล 6) เข้าเครื่องโฮมจีในเซอร์ ทำให้ไขมันเล็ก ๆ แยกตัวกระจายในน้่านม ไม่เกิดการแยกชั้นในภายหลัง 7) ต้มพาสเจอร์ไลซ์ และ 8) บรรจุลงขวดทำให้เย็น แช่ตู้เย็นได้ประมาณ 1 เดือน (จุฑามาศ และเฉลิมพล, 2553; จุฑามาศ และเฉลิมพล, 2558)

ผลิตภัณฑ์นมผงเป็นทางเลือกหนึ่งในการถนอมอาหาร เนื่องจากปริมาณเครื่องมือและระยะเวลาการเก็บน้่านมมีจำกัด แปรรูปโดยผ่านการฆ่าเชื้อและระเหยน้่านมออกจากน้่านม จนได้เป็นผลิตภัณฑ์นมผงที่มีคุณภาพดี มีคุณค่าทางโภชนาการ กระบวนการผลิตนมผง ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพน้่านมดิบ การปรับมาตรฐาน การพาสเจอร์ไรซ์ และการทำแห้งระบบฉีดพ่นฝอย โดยระบบฉีดพ่นฝอยเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมนม น้่านมจะถูกพ่นเป็นละอองฝอย และสัมผัสกับลมร้อนในห้องทำแห้ง ทำให้น้่านมถูกดึงออกจากสารละลาย สารละลายจึงเข้มข้น จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์นมผง อุณหภูมิลมร้อนอยู่ในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส ลักษณะทิศทางการไหลลมร้อน ได้แก่ 1) ลมร้อนไหลทิศทางเดียวกับน้่านม คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะดีกว่า แต่จะมีค่าใช้จ่ายต้นทุน

พลังงานความร้อนสูง 2) ลมร้อนไหลสวนทิศทางการกับน้ำนม จะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและมวล ช่วยประหยัดพลังงาน แต่อาจส่งผลให้เคซีนในนมผงสูญเสียสภาพธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยมีจุดเด่นกว่าการทำแห้งรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจาก ระยะเวลาการผลิตสั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีคุณภาพดี (โพธิ์ทอง, 2563; ระวิน, 2556; Kuriakose and Anandharamakrishnan, 2010; Ozmen and Langrish, 2002)

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น กลุ่มวิจัยจึงพัฒนาเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน โดยเลือกใช้เทคโนโลยีการทำแห้งระบบฉีดพ่นฝอย ชนิดหัวฉีดแรงดันสูง เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน มีขนาดเหมาะสม สามารถขนย้ายด้วยรถกระบะ และเคลื่อนย้ายบรรจุในโรงเรือนวิสาหกิจชุมชน เหมาะสมสำหรับกลุ่มเกษตรกร และเป็นการสร้างโอกาสการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากข้าวไข่มดรีน ในรูปแบบนมผง เป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภคอาหารและเป็นสารตั้งต้นในการประกอบอาหาร

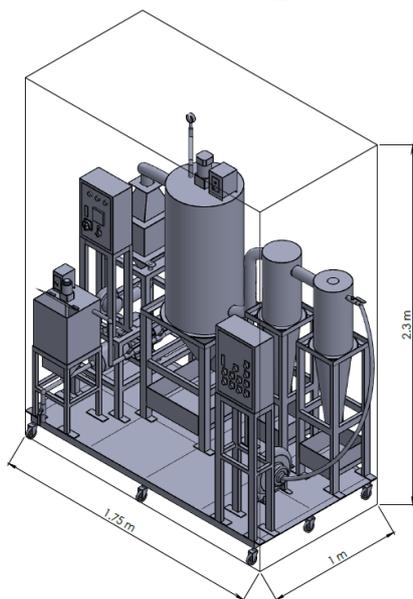
### วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการออกแบบ ประดิษฐ์ และทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ประกอบด้วย ขั้นตอนดังต่อไปนี้

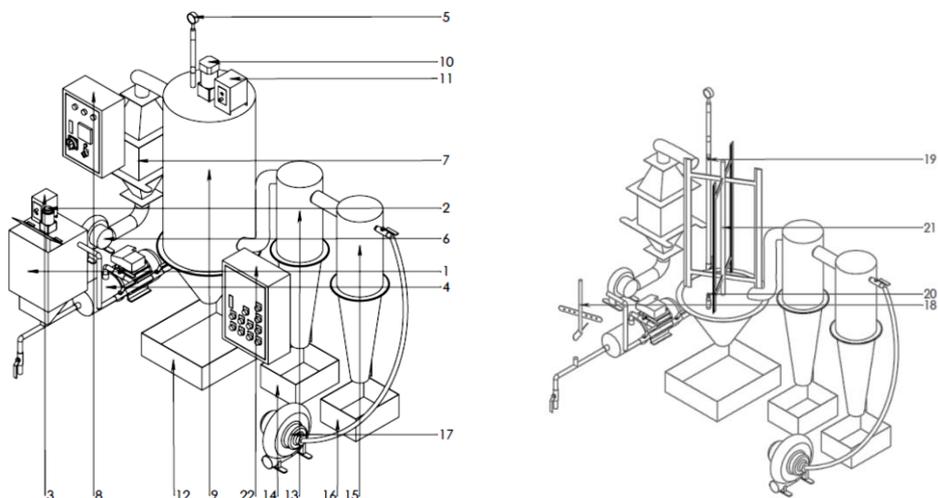
#### 1. การออกแบบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

1.1 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนออกแบบให้มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง ประมาณ  $1 \times 1.75 \times 2.3$  เมตร แสดงดังภาพที่ 1 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดตำแหน่งติดตั้ง ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ดังเช่นงานวิจัยของ วรพงศ์ และคณะ (2564)

1.2 ห้องทำแห้ง (drying chamber) ออกแบบและประดิษฐ์ตามความสามารถของการกระจายอนุภาคของหัวฉีดแรงดันสูง โดยกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร มีความสูงรวมประมาณ 4.5 เมตร ประกอบด้วยความสูงทรงกระบอก 1.5 เมตร และความสูงกรวยประมาณ 1 เมตร กรวยทำมุม 60 องศา แสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนที่ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบเครื่องทำน้ผงข้าวไข่มดรีน



ภาพที่ 3 คุณสมบัติปั้มน้ำแรงดันสูง ยี่ห้อ EBARA รุ่น MATRIX 5 -9T/2.2 M

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องทำน้ผงข้าวไข่มดรีนตามภาพที่ 2

ลำดับที่	รายการ	ลำดับที่	รายการ
1	ถังป้อนน้ำนม	12	ภาชนะที่ 1
2	มอเตอร์ขับใบกวนของถังน้ำนม	13	อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศไซโคลน ที่ 1
3	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ	14	ภาชนะที่ 2
4	ปั้มน้ำแรงดันสูง	15	อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศไซโคลน ที่ 2
5	เกจวัดความดัน	16	ภาชนะที่ 3
6	พัดลมโบลเวอร์ตัวที่ 1	17	พัดลมโบลเวอร์ตัวที่ 2
7	ห้องทำความร้อนฮีตเตอร์	18	ใบกวนของถังป้อนน้ำนม
8	ชุดควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์	19	หัวฉีดแรงดันสูงด้านบน
9	ห้องทำแห้ง	20	หัวฉีดแรงดันสูงด้านล่าง
10	มอเตอร์ขับใบกวนของห้องทำแห้ง	21	ใบกวนของห้องทำแห้ง
11	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ขับใบกวนของห้องทำแห้ง	22	ตู้ควบคุมไฟฟ้า

1.3 จัดหาและติดตั้งปั้มน้ำสแตนเลสแรงดันสูงขนาด 10 บาร์ ยี่ห้อ EBARA รุ่น MATRIX 5-9T/2.2 M ซึ่งมีเฮดน้ำสูงสุด 104 เมตร ให้อัตราการไหลสูงที่สุด 130 ลิตรต่อนาที คุณลักษณะปั้มน้ำแรงดันสูงแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 เพื่อใช้งานร่วมกับหัวฉีดแรงดันสูงรุ่น AMB Series จำหน่ายโดยบริษัท อินเทอร์เน็ตสเปร์รี่ จำกัด ซึ่งมีความสามารถสเปร์รี่อะตอมไมเซชันที่ความดันไม่น้อยกว่า 7 บาร์ แสดงดังภาพที่ 2

1.4 อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศไซโคลน (cyclone) จำนวน 2 ชุด ออกแบบและประดิษฐ์ตามขนาดมาตรฐาน โดยกำหนดให้ขนาดตัวไซโคลนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร เพื่อให้ไซโคลนมีขนาดเหมาะสมสำหรับติดตั้งอยู่ในเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน แสดงดังภาพที่ 2 ตารางที่ 2 และภาพที่ 4

1.5 ออกแบบและประดิษฐ์ถังป้อนวัตถุดิบน้ำนมข้าว ขนาดประมาณ 50 ลิตร พร้อมติดตั้งใบกวน มอเตอร์ และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ แสดงดังภาพที่ 2

1.6 ออกแบบและประดิษฐ์ห้องทำความร้อนฮีตเตอร์ และติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 4.5 กิโลวัตต์ ซึ่งประกอบด้วย ฮีตเตอร์รุ่น UL35cm 220V ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด สวนหลวง เอ็นจิเนียริง จำนวน 3 ชุด แสดงดังภาพที่ 2

1.7 ออกแบบและประดิษฐ์ตู้ควบคุมไฟฟ้า สำหรับกำลังไฟฟ้าประมาณ 5 กิโลวัตต์ แสดงดังภาพที่ 2 สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดฮีตเตอร์ปั้มน้ำแรงดันสูง พัดลมโบลเวอร์ มอเตอร์ห้องทำแห้ง และมอเตอร์ถังน้ำนม

1.8 ติดตั้งเกจวัดความดัน แสดงดังภาพที่ 2

1.9 ติดตั้งตู้ควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 2 พร้อมทดสอบ สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดไม่น้อยกว่า 180 องศาเซลเซียส

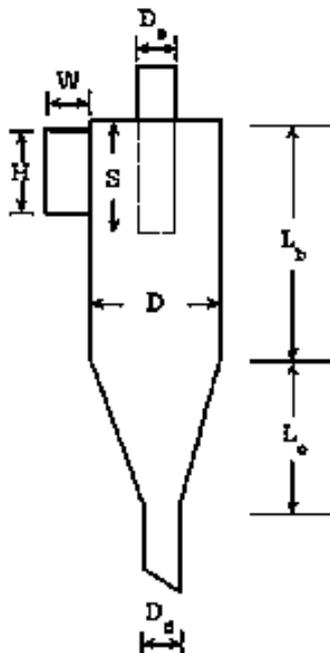
1.10 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนที่ประกอบเสร็จสิ้น แสดงดังภาพที่ 5

## 2. ส่วนประกอบของเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

อุปกรณ์ส่วนประกอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนแสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1

## 3. วิธีการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

ข้าวไข่มดรีนที่รับซื้อจากกลุ่มเกษตรกรมีค่าความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ นำมาผลิตเป็นวัตถุดิบน้ำนมข้าวไข่มดรีน ซึ่งมีเนื้ออาหารประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้สำหรับทดสอบ



ภาพที่ 4 ตัวแปรสำหรับออกแบบอุปกรณ์ไซโคลน (จิรวัดน์, 2560)



ภาพที่ 5 เครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนที่สร้างเสร็จสิ้นและผ่านการหุ้มฉนวน

ตารางที่ 2 ตัวแปรสำหรับออกแบบอุปกรณ์ไฮโคลน (จิรวัดน์, 2560)

ตัวแปร	ประเภทไฮโคลน					การเพิ่ม ประสิทธิภาพ	เลือกสูตร สำหรับ ออกแบบ	ขนาดเหมาะสม ตามสูตร (เซนติเมตร)	จัดสร้างตามขนาดท่อ มาตรฐาน (เซนติเมตร)
	ประสิทธิภาพสูง		ทั่วไป		ประสิทธิภาพสูง และทั่วไป				
1. ขนาดตัวไฮโคลน (D)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0D	-	1.0D	25	∅ 25
2. ความสูงท่อทางเข้า (H)	0.5	0.44	0.5	0.5	0.44D-0.5D	ลดขนาด	0.5D	12.5	∅ 7.62 (3 นิ้ว)
3. ความกว้างท่อทางเข้า (W)	0.2	0.21	0.25	0.25	0.2D-0.25D	ลดขนาด	0.2D	5	∅ 7.62 (3 นิ้ว)
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของ ท่อทางออกแก๊ส (De)	0.5	0.4	0.55	0.55	0.4D-0.5D	ลดขนาด	0.4D	10	∅ 7.62 (3 นิ้ว)
5. ความยาวท่อทางออก ของแก๊ส (S)	0.5	0.5	0.625	0.6	0.5D-0.625D	-	0.5D	12.5	12.5
6. ความยาวของส่วน กระบอก (Lb)	1.5	1.4	2.0	1.75	1.4D-2.0D	เพิ่มขนาด	2.0D	50	50
7. ความยาวของส่วนกรวย (Le)	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0D-2.5D	เพิ่มขนาด	2.5D	62.5	62.5
8. เส้นผ่านศูนย์กลางของ ท่อทางออกอนุภาค (Dd)	0.375	0.4	0.25	0.4	0.25D-0.4D	-	0.3D	10	∅ 7.62 (3 นิ้ว)

## ผลการวิจัย และการอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ด้วยการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน (lower flow) และการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง (upper flow) โดยเปลี่ยนแปลงขนาดรูหัวฉีด อัตราการไหล และความดันของการป้อนน้ำนมข้าว ความเร็วลมและอุณหภูมิของลมร้อน และรายงานผลการป้อนน้ำนมข้าวที่อุณหภูมิห้อง และการอุ่นน้ำนมข้าวก่อนการป้อน (preheat) แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

จากตารางที่ 3 และ 4 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด (มิลลิเมตร) ที่มีขนาดเล็กจะช่วยให้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์นมผงที่ได้รับมีลักษณะเป็นผงได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้นมผงที่ได้มีความแห้งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลและความดันของการป้อนน้ำนมข้าวที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้น้ำนมข้าวแตกตัวเป็นอะตอมในอากาศได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการเป็นผงของน้ำนมข้าว

ตัวแปรอัตราการป้อนลมร้อน ความเร็วลม และอุณหภูมิของลมร้อนที่สูงขึ้น จะช่วยให้น้ำนมข้าวกลายเป็นผงได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลมาจากเมื่อลมร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นอากาศขยายตัว สามารถที่จะรับความชื้นจากห้องทำแห้งได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแผนภูมิไซโครเมตริก และมีส่วนช่วยเพิ่มสมรรถนะเครื่องทำนมผงให้ทำนมผงได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับอุณหภูมิน้ำนมข้าวเริ่มต้นในถังป้อนจะมีส่วนสำคัญอย่างมาก เนื่องจากการทดลองที่อุณหภูมิห้องที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะไม่สามารถผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนได้ แต่เมื่อทดสอบเพิ่มเติม โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำนมข้าวเริ่มต้นในถังป้อนให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าน้ำนมข้าวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะสามารถผลิตน้ำนมข้าวไข่มดรีนได้อย่างชัดเจน เนื่องมาจากน้ำนมข้าวต้องการรับพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นอีกไม่มาก จนกระทั่งน้ำในน้ำนมข้าวถึงจุดเดือดน้ำ 100 องศาเซลเซียส น้ำในน้ำนมข้าวจึงระเหยกลายเป็นไอ ส่วนน้ำนมก็จะกลายเป็นนมผง

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในภาชนะที่ 1 2 และ 3 พบว่าภาชนะที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะอยู่ในรูปน้ำนมปนนมผงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ กลุ่มวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน โดยการพัฒนาให้ภาชนะที่ 1 เปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบถังพักน้ำนม (water vessel) และสูบน้ำนมวนกลับ (water circulation) ไปยังถังป้อนน้ำนมในรูปแบบการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนให้ดียิ่งขึ้น

สำหรับการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งหัวฉีดใน 2 ลักษณะ คือ การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน และการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง ต่างก็มีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ด้วยการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน โดยอุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ อุณหภูมิห้อง

ขนาดรูหัวฉีด (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อนน้ำนมข้าว		อัตราการป้อนนมร้อน		คุณลักษณะผลิตภัณฑ์นมผงที่ได้รับ		
	อัตราการไหลประมาณ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความดัน ประมาณ (บาร์)	ความเร็วลมประมาณ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)	อุณหภูมิประมาณ (องศาเซลเซียส)	ภาชนะที่ 1	ภาชนะที่ 2	ภาชนะที่ 3
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับอุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส หรือ 60 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20 3.45 หรือ 3.69	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.30	6.60 7.12 หรือ 7.66	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.40	10.57 11.39 หรือ 12.23	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.25	3.69	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.30	6.60	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมชุ่น	นมผงเปียก	-
0.30	6.60	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.30	7.12	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมชุ่น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมชุ่น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	-
0.40	10.57	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมชุ่น	-	-
0.40	11.39	8	0.2 หรือ 0.3	140	น้ำนมชุ่น	-	-
0.40	11.39	8	0.4	140	น้ำนมชุ่นปนผง	-	-
0.40	11.39	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	-	-
0.40	12.23	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมชุ่น	-	-
0.40	12.23	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	-	-

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน ด้วยการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง โดยอุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ อุณหภูมิห้อง

ขนาดรูหัวฉีด (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อนน้ำนมข้าว		อัตราการป้อนลมร้อน		คุณลักษณะผลิตภัณฑ์นมผงที่ได้รับ		
	อัตราการไหลประมาณ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความดัน ประมาณ (บาร์)	ความเร็วลมประมาณ (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)	อุณหภูมิประมาณ (องศาเซลเซียส)	ภาษาชนะที่ 1	ภาษาชนะที่ 2	ภาษาชนะที่ 3
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับอุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส หรือ 60 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20 3.45 หรือ 3.69	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.30	6.60 7.12 หรือ 7.66	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
0.40	10.57 11.39 หรือ 12.23	7 8 หรือ 9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนม	-	-
อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส							
0.25	3.20	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	-
0.25	3.20	7	0.2	160	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	-
0.25	3.20	7	0.3 หรือ 0.4	160	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.20	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	นมผง
0.25	3.45	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.25	3.69	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงแห้ง	-
0.25	3.69	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงแห้ง	นมผง
0.30	6.60	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 160 หรือ 180	น้ำนมชุ่น	-	-
0.30	7.12	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมชุ่น	-	-
0.30	7.12	8	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมชุ่น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	140	น้ำนมชุ่น	นมผงเปียก	-
0.30	7.66	9	0.2 0.3 หรือ 0.4	160 หรือ 180	น้ำนมชุ่นปนผง	นมผงเปียก	-
0.40	10.57	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	140 หรือ 160	น้ำนมชุ่น	-	-
0.40	10.57	7	0.2 0.3 หรือ 0.4	180	น้ำนมชุ่นปนผง	-	-

1) การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน จะช่วยเพิ่มระยะเวลาการเคลื่อนที่ของน้ำนมที่แตกตัวเป็นอะตอม เพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนความร้อน น้ำนมจะพุ่งขึ้นด้านบนและตกลงมาด้านล่างตามแรงโน้มถ่วง มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ไปกลับเพิ่มระยะเวลาการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนความร้อน 2 เท่า ซึ่งจะช่วยให้ น้ำนมข้าวแห้งตัวกลายเป็นผงได้ดียิ่งขึ้น แต่จะมีจุดด้อยคือหัวฉีดอุดตันได้ง่าย เนื่องจากนมผงข้าวไซมดรีนที่แห้งกลางอากาศอาจตกลงบนหัวฉีดทำให้หัวฉีดอุดตัน จึงต้องถอดประกอบห้องทำแห้งและล้างหัวฉีดบ่อย ๆ

2) การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง ยังไม่พบปัญหาการอุดตันเนื่องจาก น้ำนมข้าวที่แห้งกลายเป็นนมผงตกลงสู่ด้านล่างลงในภาชนะ แต่ระยะทางการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะไปในทิศทางเดียว คือตกลงสู่ด้านล่าง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์นมผงที่มีปริมาณน้อย จากข้อสังเกตดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาต่อยอดเครื่องทำนมผงข้าวไซมดรีน ในรูปแบบการฉีดเฉียงจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยที่จะสามารถปรับเปลี่ยนนมหัวฉีดให้มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ของของไหลหรือน้ำนมข้าวในรูปแบบวิถีโค้งตามแรงโน้มถ่วง หรือการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ (motion of a projectile) ซึ่งจะได้ข้อดีของการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน เพิ่มระยะเวลาการเคลื่อนที่ของน้ำนมที่แตกตัวเป็นอะตอม และการฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านบนฉีดลงด้านล่าง จะช่วยลดปัญหาหัวฉีดอุดตัน โดยออกแบบให้รูปทรงห้องทำแห้งให้อยู่ในลักษณะแนวนอน หรือแนวเอียง ดังเช่นงานวิจัยการตรวจสอบสเปรย์เชื้อเพลิง ซึ่งได้รายงานวามุมสเปรย์จะส่งผลต่อการแตกตัวเป็นละอองฝอยของเชื้อเพลิงเหลว (เอกชัย และคณะ, 2558)

อีกวิธีการที่จะเพิ่มความสามารถของการพัฒนาต่อยอดเครื่องทำนมผงข้าวไซมดรีนคือการเปลี่ยนแปลงหัวฉีดแรงดันสูงให้เป็นหัวฉีดแบบจานเหวี่ยง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำนม (โพธิ์ทอง, 2563) แต่มีข้อเสียคือต้องเพิ่มอุปกรณ์เครื่องอัดไอ และอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อส่งลมอัดที่สะอาดไปเหวี่ยงหัวฉีดให้กระจายละอองฝอยของน้ำนมให้แตกตัว และต้องเพิ่มปริมาตรรูปทรงเครื่องหรือพื้นที่ติดตั้งหรือจัดเก็บเครื่อง ทำให้ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ ไม่เป็นที่ต้องการของวิสาหกิจชุมชน กลุ่มเกษตรกรที่มีอาคารประกอบกิจการขนาดเล็ก

จากการวิพากษ์วิจารณ์ข้างต้นนำไปสู่แนวคิดการพัฒนาออกแบบระบบควบคุมหัวฉีดให้หัวฉีดฉีดเป็นจังหวะ (batch) แทนการฉีดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้ความชื้นสะสมในห้องทำแห้งไม่สูงมากจนเกินไป ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถของเครื่องทำนมผงข้าวไซมดรีน ดังเช่นระบบหัวฉีด PGM FI ที่สามารถควบคุมการฉีดเป็นจังหวะ (ปิยะวัฒน์ และเดชชาติ, 2559) และถ้าสามารถทำแห้งได้ตั้งแต่ภาชนะที่ 1 ก็จะไม่ต้องเปลี่ยนแปลงภาชนะที่ 1 ให้เป็นรูปแบบถังพักน้ำนม และยิ่งช่วยลดขนาดเครื่องทำนมผง ซึ่งตรงตามวิสาหกิจชุมชน กลุ่มเกษตรกรต้องการ

สำหรับการทดสอบข้างต้นทั้งหมดนั้น สภาวะที่เหมาะสมคือ การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน โดยใช้หัวฉีดขนาด 0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อนเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำนมข้าวประมาณ 3.69 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความดัน 9 บาร์ อัตราการป้อนลมร้อนมีความเร็วลม 0.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะให้กำลังการผลิตนมผงข้าวไซมดรีนที่ภาชนะที่ 2 ประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งให้คุณลักษณะ

ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด และมีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะการทดสอบอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์นมผงข้าวไรซ์เบรอนด์ที่ได้รับมีค่าความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 6

การพิจารณาจุดคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในรูปแบบกำลังการผลิตของเครื่องทำนมผงจากข้าวไรซ์เบรอนด์ แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งสรุปได้ว่า ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำนมผงจากข้าวไรซ์เบรอนด์จะมีจุดคุ้มทุนเมื่อมีกำลังการผลิตประมาณ 23,220 กิโลกรัม

### สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไรซ์เบรอนด์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การฉีดพ่นฝอยจากหัวฉีดที่ติดตั้งด้านล่างฉีดขึ้นด้านบน โดยใช้หัวฉีดขนาด 0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิของน้ำนมข้าวที่ถึงป้อน 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำนมข้าวมีอัตราการไหลประมาณ 3.69 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความดัน 9 บาร์ และป้อนลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.4 ลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะให้สถานะการทดสอบที่ดีที่สุด โดยให้กำลังการผลิตนมผงข้าวไรซ์เบรอนด์ประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตนมผงข้าวไรซ์เบรอนด์

- (ก) ข้าวเปลือกไรซ์เบรอนด์      (ข) ข้าวสารไรซ์เบรอนด์      (ค) ข้าวไรซ์เบรอนด์ที่ผ่านการบด  
(ง) แป้งข้าวไรซ์เบรอนด์      (จ) น้ำนมข้าวไรซ์เบรอนด์      (ฉ) นมผงข้าวไรซ์เบรอนด์

## ตารางที่ 5 การพิจารณาจุดคุ้มทุนในรูปแบบกำลังการผลิตของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน

ต้นทุนคงที่	
วัสดุดิบสำหรับจัดสร้างเครื่องทำนมผง	ประมาณ 200,000 บาท
ค่าจ้างแรงงานพร้อมอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับจัดสร้างเครื่องทำนมผง	ประมาณ 100,000 บาท
ต้นทุนรวมสำหรับจัดสร้างเครื่องทำนมผง	300,000 บาท
ต้นทุนแปรผัน	
ราคาข้าวเปลือกไข่มดรีน	≈ 17 บาทต่อกิโลกรัม
ราคาข้าวสารไข่มดรีน	≈ 43 บาทต่อกิโลกรัม (ข้าวสาร 1 กิโลกรัม สืบจากข้าวเปลือก ≈ 2.5 กิโลกรัม)
ราคาจำหน่ายนํ้านมข้าว	≈ 45 บาทต่อกิโลกรัม (นํ้านมข้าว 1 กิโลกรัม ผลิตจากข้าวสาร ≈ 0.4 กิโลกรัม)
ราคาจำหน่ายนมผง (ราคาเพิ่มขึ้นประมาณ 40 บาท)	≈ 85 บาทต่อกิโลกรัม (นมผงข้าว 1 กิโลกรัม ผลิตจากนํ้านมข้าว ≈ 2.8 กิโลกรัม) (นมผงข้าว 1 กิโลกรัม ผลิตจากข้าวสาร ≈ 1.12 กิโลกรัม)
ค่าไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงตามปัจจัยไม่คงที่ ได้แก่	ค่าไฟฟ้า ประมาณการ 5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
- ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (ขึ้นกับช่วงการใช้งาน)	
- ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)	
- ค่าบริการรายเดือน (Ft)	
- ภาษีมูลค่าเพิ่ม (Ft)	
การเดินทางเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีน 1 ชั่วโมง ที่กำลังการผลิต 1.2 กิโลกรัม	ใช้พลังงานไฟฟ้า ≈ 6.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าไฟฟ้า 32.50 บาทต่อชั่วโมง
การเดินทางเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนที่กำลังการผลิต 1 กิโลกรัม	ค่าไฟฟ้า 27.08 บาทต่อกิโลกรัม
จุดคุ้มทุน	
กำลังการผลิต	≈ 23,220 กิโลกรัม
ระยะเวลาการคืนทุน	≈ 6.6 ปี (เดินเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง ที่กำลังการผลิต 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

หมายเหตุ: - บทความนี้นำเสนอการทดสอบเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนระยะสั้น เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องฯ ยังไม่มีผลการทดสอบต่อเนื่องระยะยาว ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกพฤติกรรมการณ์สึกหรอ ของเครื่องฯ จึงไม่สามารถนำเสนอค่าซ่อมบำรุง และค่าเสื่อมราคาได้

2. ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำนมผงจากข้าวไข่มดรีนจะมีจุดคุ้มทุนที่ 6.6 ปี หรือที่กำลังการผลิตประมาณ 23,220 กิโลกรัม

### ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน เกิดแนวคิดในการพัฒนาต่อยอดเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน โดยมีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการติดตั้งหัวฉีด ในรูปแบบการติดตั้งหัวฉีดฉีดเฉียงทแยงมุมจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยที่จะสามารถปรับเปลี่ยนมุมหัวฉีด ให้มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ของของไหล (น้ำนมข้าวไข่มดรีน) ในรูปแบบวิถีโค้งตามแรงโน้มถ่วง หรือการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เพื่อเพิ่มระยะการเคลื่อนที่ของน้ำนมข้าวไข่ให้แตกตัวเป็นอะตอม และแก้ปัญหาหัวฉีดอุดตัน

2. การพัฒนาเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีนจากภาพที่ 5 โดยเปลี่ยนแปลงให้ภาชนะที่ 1 ที่วางอยู่ด้านล่างห้องทำแห้งเปลี่ยนแปลงเป็นถังพักน้ำนม และสูบลวนกลับไปยังถังป้อนน้ำนมในรูปแบบการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มสมรรถนะการผลิตนมผงข้าวไข่มดรีนให้ดียิ่งขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงหัวฉีดแรงดันสูง ให้เป็นหัวฉีดแบบจานเหวี่ยง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำนม

4. การพัฒนาออกแบบระบบควบคุมหัวฉีด ให้หัวฉีดฉีดเป็นจังหวะ แทนการฉีดแบบต่อเนื่อง เพื่อลดความชื้นสะสมในห้องทำแห้งไม่สูงมากเกินไป ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความสามารถของเครื่องทำนมผงข้าวไข่มดรีน

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ประจำปีงบประมาณ 2563 รหัสโครงการ มรภ. 005/2563

### เอกสารอ้างอิง

- จิรวัดน์ จิงเจริญสุขยิ่ง. (2560). การออกแบบไซโคลนโดยจำลองกระบวนการและการพิมพ์สามมิติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- จุฑามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงศ์. (2553). การหมักผลิตภัณฑ์คล้ายนมเปรี้ยวจากน้ำนมข้าวกล้องหอมมะลิ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 38(1), 87-95.
- จุฑามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงศ์. (2558). การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 43(3), 395-402.
- ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม และเดชชาติ เชิดชัย. (2559). การศึกษาและปรับปรุงกล่องควบคุมการทำงานเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวระบบหัวฉีดเพื่อใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ E85 เป็นเชื้อเพลิง. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 2(1), 33-46.

- โพธิ์ทอง ปรานีตพลกรัง. (2563). เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 12(2), 347-361.
- ระวิน สืบคำ. (2556). เทคโนโลยีการลดความชื้น. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 23(2), 500-512.
- วรพงศ์ บุญช่วยแทน ชาตรี หอมเขียว และวรรณพร ชีววุฒิมงคล. (2564). การพัฒนาเครื่องแยกน้ำและเส้นใยผลตาลโตนด. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 76-90.
- เอกชัย สุธีรศักดิ์ เพ็ชรพงษ์ สุกใส สราวุธ ฤทธิอร่าม ศรัณย์ โปสว่าง และอดิวิษญ์ สิริวิชัยกุล. (2558). การตรวจสอบสเปกตรัมเชิงเส้นและสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอล. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, 8(1), 1-14.
- Kuriakose, R. and Anandharamakrishnan, C. (2010). Computational fluid dynamics (CFD) applications in spray drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 21(8), 383-398.
- Ozmen, L. and Langrish, T.A.G. (2002). Comparison of glass transition temperature and sticky point temperature for skim milk powder. *Drying Technology*, 20(6), 1177-1192.