

## การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก

จาริณี จงปลื้มปิติ\* และ พลเทพ เวงสูงเนิน

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

## บทคัดย่อ

เครื่องคัดแยกข้าวตอกเพื่อให้ได้ข้าวตอกขนาดใหญ่สำหรับทำกระยาสารที่มีหลักการทำงานเป็นตะแกรงโยก 3 ชั้น มีมิติ 600 mm x 1600 mm x 530 mm ประกอบด้วยชั้นที่ 1 เป็นตะแกรงรูกกลมขนาด 6 mm ข้าวตอกที่มีขนาดใหญ่จะไหลบนตะแกรงชั้นนี้แล้วออกไปยังช่องทางออก แต่ข้าวตอกที่มีขนาดเล็กกว่าจะร่วงลงสู่ตะแกรงชั้นที่ 2 ข้าวตอกหักและสิ่งเจือปนขนาดเล็กกว่า 5 mm จะไหลผ่านรูตะแกรงตกลงยังถาดรอง ชุดตะแกรงโยกนี้ยึดสายพานกับโครงเครื่องขนาด 1000 mm x 1600 mm x 1000 mm ส่งกำลังโดยมอเตอร์ขนาด 746 W ปัจจัยที่ใช้ทดลองได้แก่ ความเร็วตะแกรงโยก 5.80 m/s, 6.08 m/s และ 6.83 m/s และมุมเอียงของตะแกรงโยก 7 deg, 15 deg. และ 30 deg จากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s มุมเอียง 30 deg ได้สัดส่วนการคัดแยกข้าวตอกชั้นที่ 1, 2 เศษฝุ่นรวมสิ่งเจือปนและปริมาณการสูญเสีย คือ 92%, 3.52%, 4.65% และ 0.33% ตามลำดับ มีความสามารถในการคัดแยกต่ำกว่าการทดลองอื่น ๆ คือ 1.26 kg/hr แต่มีอัตราส่วนประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยสูง คือ 65.09%

คำสำคัญ: การคัดแยก ตะแกรงโยก ข้าวตอก และ กระยาสาร

\*ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: jarinee.jo@rmuti.ac.th

---

## Design and Build of Popped Rice Separate Machine

---

Jarinee Jongpluempiti\* and Ponthep Vengsungle

*Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand*

### Abstract

The lot of big popped rice is ingredient in Kayasart which sort by separator that consist of 3 layers' sieve dimension 600 mm x 1600 mm x 530 mm. The first layer is 6 mm of hole circle sieve which can move the big popped rice on the surface to exit channel but the thing less than 6 mm will though on the second layer that has 5 mm of hole circle sieve. The small popped rice and dust are separated pass to on the last layer.to on the last layer. The sieve set are fixed on the frame's dimension 1000 mm x 1600 mm x 1000 mm by belt that can transmission power by motor of 746 W. The variables of this study are sieve speeds; 5.80 m/s 6.08 m/s and 6.83 m/s, and the sieve inclines; 7 deg, 25 deg and 30 deg. It was found that, the variables are 6.83 m/s of sieve speed and incline of the sieve is 30 deg, which have popped proportions on the first layer, the second layer, impurities and loss amount around 92%, 3.52% 4.65% and 0.33%, respectively. In addition, the separation capacity of these variables is lower than other tests around 126 kg/hr but it has high efficiency is 65.09%.

**Keywords:** Separation, Sieve, Popped rice and Kayasart

---

\* Corresponding author: E-mail: jarinee.jo@rmuti.ac.th

## บทนำ

ข้าวตอกเป็นผลิตภัณฑ์การแปรรูปข้าวด้วยการคั่วข้าวเปลือกที่แห้งสนิทแล้ว เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ส่วนของแป้งที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแป้งสุกและเกิดแรงดันให้เปลือกแตกแล้วเมล็ดข้าวสีขาวจะบาน (Wattanukul *et al.*, 2013) เป็นภูมิปัญญาที่จะแปรรูปข้าวให้เก็บรักษาได้นานขึ้น และยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเนื่องจากมีเยื่อหุ้มเมล็ดยังคงติดอยู่ในเมล็ดข้าวส่งผลให้ใยอาหารสูงกว่าธัญพืชชนิดอื่น 2-5 เท่า นอกจากนี้ยังมีโปรตีนไขมัน และเกลือแร่ปนอยู่ ภายในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะเป็นแป้งที่สุกด้วยความร้อน สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย การใช้ประโยชน์จากข้าวตอก ได้แก่ การถวายพระในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมของชาวนาใต้ ขนมห่วงน้ำกะทิ ขนมห่วงข้าวตอกโบราณ เป็นต้น ในปัจจุบันเกษตรกรที่แปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวตอกได้ทำการคั่วข้าวเปลือกโดยใช้กระทะใบใหญ่ ๆ คนกลับไปมาจนกระทั่งเมล็ดข้าวบานออกแล้วจึงตักออกจากกระทะรอให้เย็นแล้วบรรจุลงถุง แล้วส่งต่อไปยังโรงงานกระยาสารในกิโลกรัมละ 40 บาท ซึ่งข้าวตอกที่ในถุงไม่มีการทำความสะอาดและคัดแยกขนาดก่อน แต่สำหรับโรงงานกระยาสารจะใช้ขนาดของข้าวตอกที่มีขนาดดอกโตเท่านั้นเนื่องจากจะทำให้กระยาสารทongsวย นำรับประทาน ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องทำการคัดด้วยมือตามที่ต้องการของโรงงาน แต่อย่างไรก็ตามมาตรฐานการคัดแยกด้วยคนยังไม่ได้มาตรฐานและสิ้นเปลืองเวลา รวมถึงต้องใช้แรงงานคนอีกจำนวนหนึ่ง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนามาจากข้าวมีหลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือข้าวพอง (Puffed rice) และข้าวตอก (Popped rice) โดยกรรมวิธีในการทำข้าวตอกและข้าวพองมีขั้นตอนที่แตกต่างกันทำให้คุณลักษณะแตกต่างกันด้วย ข้าวพองจะใช้วิธีการแช่ข้าวแล้วนำไปทอด ส่วนข้าวตอกจะให้ความร้อนโดยการคั่วข้าวเปลือกเพื่อให้ข้าวภายในเกิดการแตกตัวขึ้น (Wikhow, 2017) หรืออาจใช้ไมโครเวฟในการทำให้ข้าวแตกก็ได้ (Swarnakar *et al.*, 2014) ในการทำข้าวตอกนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวที่นำมาใช้ในการทำ ประเทศไทยมักนำเอาข้าวเหนียวมาใช้ในการทำข้าวตอก ส่วนต่างประเทศมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของการขยายตัวของข้าวตอกต่อสายพันธุ์ของข้าว Bhatupadya *et al.*

(2008) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของข้าวตอกที่มาจากข้าวเปลือกต่างสายพันธุ์กัน ซึ่งแต่ละสายพันธุ์ให้สัดส่วนของการแตก และการขยายตัวที่แตกต่างกัน สาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการขยายตัวของข้าวตอกคือความชื้น (Song and Eckhoff, 1994) งานวิจัยของ Shimoni *et al.* (2002) แสดงให้เห็นว่าหากปริมาณความชื้นสูงจะทำให้ปริมาตรการขยายตัวของข้าวตอกมีค่าต่ำ ซึ่งในการขยายตัวนั้นจะยังคงเหลือเปลือกข้าว และข้าวที่มีอนุภาคขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ได้อยู่ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกเอาสิ่งเหล่านี้ออกก่อนการจำหน่ายหรือบริโภค หากไม่มีการคัดแยกเสียก่อนจะส่งผลให้ราคาจำหน่ายต่ำกว่าข้าวตอกที่มีการคัดขนาดอยู่ 40%

ดังนั้นจากเหตุผลที่ผ่านมาจึงเป็นที่มาของแนวคิดออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดข้าวตอกเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวตอกให้สูงขึ้นและตรงกับการใช้งานของการแปรรูปแต่ละชนิด อีกทั้งยังเป็นการลดเวลาและแรงงานคนในการคัดแยกอีกด้วย

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวิธีดำเนินการวิจัยหลัก 3 ส่วนคือ การศึกษาคุณลักษณะของข้าวตอก การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก และการออกแบบการทดลอง โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

## 1. การศึกษาคุณลักษณะของข้าวตอก

การศึกษาคูณลักษณะของข้าวตอกจะนำข้าวตอกมาจากโรงงานผลิตกระยาสารที่คัดแยกมาแล้วตามขนาดของแต่ละชั้น สุ่มตัวอย่างข้าวตอกแต่ละชั้นจำนวนชั้นละ 100 เมล็ด มาศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ คือ มวล ความกว้าง ความยาว และความหนา โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่ออธิบายค่าของตัวแปรต่าง ๆ ทั้งหมด (Peck *et al.*, 2016)

## 2. การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก

หลักการการทำงานของเครื่องคล้ายกับการทำงานของเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกแบบตะแกรงโยก (Plansifter) (Wimberly, 1983) โดยอาศัยหลักการของการสั่นสะเทือนเพื่อให้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันแยกออกจาก

กันในแต่ละชั้น (Bhattacharya and Ali, 2015) ซึ่งจะมีทั้งแบบแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กไปสู่อนุภาคขนาดใหญ่โดยเรียงจากบนลงล่าง (Sultanbawa *et al.*, 2001) และแบบแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ไปสู่อนุภาคขนาดเล็กโดยเรียงจากบนลงล่าง (Al-Mogahwi and Baker, 2008) สมการที่ใช้ในการทำนายสมมูลมวลของตะแกรงโยกแบบนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$I = O + T \quad (1)$$

โดยที่

- $I$  = Input flow rate to the sieve kg/s
- $O$  = Overtails flow rate kg/s
- $T$  = Undertails flow rate of through kg/s

ในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังเชื่อมต่อกับเพลลา ซึ่งบนเพลลายึดกับชุดลูกเบี้ยว (Eccentric sheave) ที่ยึดกับแขนส่งกำลังที่ติดกับตะแกรง ซึ่งเป็นชุดที่ทำให้เกิดการโยกของตะแกรงโดยอาศัยหลักการเอียงศูนย์ (Stephenson, 2013) ชุดตะแกรงประกอบด้วย ชั้นแรกทำการคัดแยกข้าวตอกที่มีขนาดใหญ่หรือดอกโต ชั้นที่สองคัดแยกขนาดของข้าวตอกที่เล็กกว่า และชั้นที่สามเป็นถาดรองเศษข้าวตอกที่หักและสิ่งเจือปนขนาดเล็ก แสดงดัง Fig. 1 ตำแหน่งที่ 1 คือถังใส่ข้าวตอกและมีลิ้นเปิดปิดให้ข้าวตอกไหลมาตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นชุดตะแกรงโยก เมื่อชุดต้นกำลังที่ตำแหน่งที่ 3 ทำงานโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง วัสดุทั้งหมดก็จะเคลื่อนที่ออกไปยังช่องทางออกในตำแหน่งที่ 4

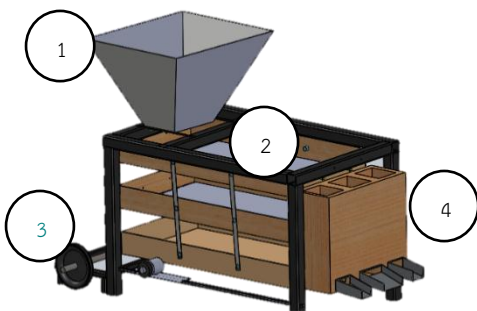


Fig. 1 Popped rice separator

1) การออกแบเพลลาจะใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่คิดความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่จะเกิดขึ้น

บนเพลลาซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิติศาสตร์ ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาใน Fig. 2

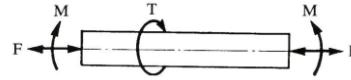


Fig. 2 Force on shaft

เพลลาเป็นแบบเพลลาตันจะได้ความเค้นดึงหรือกด ความเค้นดัด และความเค้นเฉือนดังสมการที่ (2), (3) และ (4) ตามลำดับ (Budynas and Nisbett, 2011)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{M_c}{I} \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\tau_r}{J} \quad (4)$$

โดยที่

- $\sigma$  = Stress Pa
- $\sigma_{max}$  = Maximum bending stress Pa
- $\tau_{max}$  = Maximum shear stress Pa
- $F$  = Load N
- $A$  = Area  $m^2$
- $M$  = Moment N.m
- $c$  = Distance from the neutral axis m
- $I$  = Second-area moment  $m^4$
- $T$  = Torque N.m
- $r$  = Radius m
- $J$  = Polar second moment of area  $m^4$

2) การหากำลังของมอเตอร์เพื่อเป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่หาได้จากสมการที่ (5)

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60 \times 1000} \quad (5)$$

3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ สำหรับเพลลารับความเค้นดัด สำหรับเพลลารับความ

เค้นเนียน และสำหรับเพลารับความเค้นตัดและเนียน ดังสมการที่ (6), (7) และ (8) ตามลำดับ

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot \alpha_b}{\pi \cdot \alpha_d}} \quad (6)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot \alpha_t}{\pi \cdot \tau_d}} \quad (7)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_d} \cdot \left[ (M \cdot \alpha_b)^2 + (T \cdot \alpha_t)^2 \right]^{1/2}} \quad (8)$$

4) ตะแกรงโยกทำหน้าที่ในการคัดแยกวัสดุที่มีขนาดต่าง ๆ โดยทั่วไปชุดตะแกรงจะประกอบด้วยหลาย ๆ ชั้น โดยถูกติดตั้งเข้ากับข้อเหวี่ยงทำให้ตะแกรงเคลื่อนที่ไปมาทำให้เกิดความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ของตะแกรงโยกและทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนที่ในขณะเดียวกันก็ช่วยให้วัสดุกระจายตัวลงสู่ตะแกรงอย่างสม่ำเสมอ

5) มุมเอียงตะแกรง ทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ในการหา มุมเอียงแบบสถิตในการหาการไหลของเมล็ดข้าวตอกโดยใช้วัสดุพื้นผิวสัมผัสคือแผ่นเหล็กทึบ

### 3. การออกแบบการทดลอง

การทดลองเครื่องคัดแยกข้าวตอกจะนำข้าวตอกมาจากโรงงานผลิตกระยาสารที่ยังไม่ได้คัดแยกมาแบ่งเป็นตัวอย่างละ 3 ข้ำ แล้วทำการคัดแยกตามขนาดของแต่ละชั้นด้วยแรงงานคน ต่อไปจึงนำตัวอย่างที่คัดแยกด้วยคนไปทำการคัดแยกด้วยเครื่องอีกครั้ง โดยมีตัวแปรที่ทดลองคือความเร็วตะแกรงโยกของมอเตอร์และมุมเอียงของตะแกรงโยกแสดงดัง Fig. 3 เก็บข้อมูลของตัวแปรตามคือเวลาการคัดแยกและมวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละชั้น หลังจากนั้นคำนวณออกมาเป็นค่าชี้วัดคือความสามารถในการคัดแยกดังสมการที่ (9) และอัตราส่วนประสิทธิภาพของการคัดแยกดังสมการที่ (10)

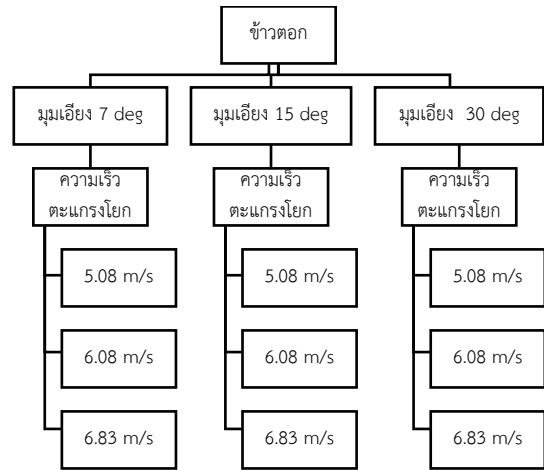


Fig. 3 Experimental plan of popped rice separation

$$cap_{sep} = \frac{m_{sep}}{t_{sep}} \quad (9)$$

$$eff_{sep} = \frac{machine_{sep}}{labor_{sep}} \times 100 \quad (10)$$

โดยที่

- cap<sub>sep</sub> = machine capacity kg/hr
- m<sub>sep</sub> = Total mass of separation kg
- t<sub>sep</sub> = Time of separation hr
- eff<sub>sep</sub> = Efficiency of separation %
- labor<sub>sep</sub> = Mass of labor separation kg
- mach<sub>sep</sub> = Mass of machine separation kg

### ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 1. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาประกอบด้วย ผลคุณลักษณะของข้าวตอก ผลการสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก ผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยแรงงานคน และผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยเครื่องโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 1.1 ผลคุณลักษณะของข้าวตอก

การวัดลักษณะของข้าวตอกโดยใช้เวอร์เนียร์ ซึ่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล และหามุมเอียงด้วยการไหลลงแผ่นเหล็ก จากการสุ่มตัวอย่าง 100 เมล็ดได้ผลดัง Table 1 จะเห็นว่าขนาดของข้าวตอกชั้นที่ 1 หรือข้าวตอกดอกโต ดัง Fig. 4 และ ชั้นที่ 2 หรือข้าวตอกตกเกรดดัง Fig. 5 ซึ่งมี

ขนาดต่างกันไม่มากนัก ส่วนใหญ่แล้วข้าวตอกชั้นที่ 1 จะเป็นข้าวตอกที่ตอกบานเต็มที่เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งสังเกตได้ว่าเป็นตอกที่มีความหนาแน่นของเมล็ดต่ำกว่าชั้นที่ 2 ที่มีส่วนที่ยังบานไม่เต็มที่และบางส่วนยังมีแกลบติดมากับข้าวตอกด้วย ซึ่งชาวบ้านเรียกข้าวตอกชนิดนี้ว่า “คาบตอก” มีลักษณะแสดงดัง Fig. 6

**Table 1** Properties of popped rice

| Popped rice | Mass (g) | Length (mm) | Thicknes s (mm) | Width (mm) | Incline (deg) |
|-------------|----------|-------------|-----------------|------------|---------------|
| Layer 1     | 18.40    | 11.48       | 3.95            | 7.20       | 31.05         |
| Layer 2     | 19.54    | 10.49       | 4.13            | 5.38       |               |



**Fig. 4** Big popped rice that passed the firsts sieve



**Fig. 5** Fell grade of popped rice or passed the second sieve



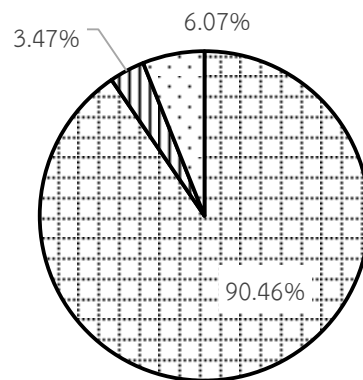
**Fig. 6** Popped rice with husk

**1.2 ผลการสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก**

ตะแกรงโยกมีขนาดความกว้าง 600 mm ยาว 1600 mm และสูง 530 mm ชั้นที่ 1 นับจากชั้นบนเป็นตะแกรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง 6 mm ชั้นที่ 2 เป็นตะแกรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm และชั้นล่างสุดเป็นถาดรอง โดยที่ผนังของแต่ละชั้นทำด้วยแผ่นไม้หนา 3 mm ส่วนโครงตะแกรงทำจากเหล็กฉาก 25.4 mm x 25.4 mm หนา 2 mm โครงสร้างเครื่องมีมิติด้านกว้าง 1000 mm ยาว 1600 mm และสูง 1000 mm โดยใช้เหล็กกล่อง 38 mm x 38 mm หนา 3 mm เป็นโครงสร้างหลัง ถังป้อน มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 650 x 850 x 400 mm มุมเอียงของถังประมาณ 54.30 deg และบริเวณช่องปล่อยข้าวตอกมีขนาด 8 x 8 mm และมีลิ้นปิดเปิดควบคุมอัตราการไหล ชุดต้นกำลังประกอบด้วย ลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ระยะแขน 300 mm แกนเพลลาต่อเข้ากับพูลเลย์ขนาด 356 mm ซึ่งส่งกำลังผ่านสายพานด้วยมอเตอร์ขนาด 746 W

**1.3 ผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยแรงงานคน**

เป็นการสู่มข้าวตอกที่ซื้อมาจากเกษตรกรเพื่อนำมาคัดแยกด้วยมือเพื่อเลือกขนาดตอกโตสำหรับทำกระยาสารท โดยการใช้แรงงานคนคัดแยกด้วยมือพบว่าข้าวตอกตอกโตมีสัดส่วน 90.46% ข้าวตอกตอกเกรด 3.47% นอกจากนี้ยังมีข้าวตอกคาบตอก เศษฝุ่นและสิ่งเจือปนในสัดส่วน 6.07% แสดงดัง Fig. 7



□ ข้าวตอกตอกโต ■ ข้าวตอกตอกเกรด ▨ เศษฝุ่นและสิ่งเจือปน

**Fig. 7** Separation popped rice by labor

1.4 ผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยเครื่องคัดแยก

การคัดแยกข้าวตอกด้วยเครื่องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตะแกรงโยกและมุมเอียงของตะแกรงจากชั้นที่ 1 พบว่าที่มุมเอียง 30 deg สำหรับทุกความเร็วตะแกรงโยกสามารถคัดแยกได้สัดส่วนข้าวตอกดอกโต 85% - 93% แสดงดัง

Fig. 8 แต่สำหรับความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s ไม่เหมาะสมกับมุมเอียงของตะแกรงที่มีค่าน้อย เนื่องจากไม่สามารถทำให้ข้าวตอกเคลื่อนที่ไปทางช่องออกได้จึงเหลือที่ติดค้างอยู่บนตะแกรงจำนวนมาก สำหรับข้าวตอกตกเกรดหรือข้าวตอกที่ไหลผ่านรูตะแกรงกลม 6 mm ลงมาสู่ตะแกรงชั้นที่ 2 ซึ่งจะเป็นสัดส่วนที่แปรตามสัดส่วนชั้นที่ 1 กล่าวคือหากที่ตะแกรงชั้นที่ 1 มีข้าวตอกไหลออกที่ช่องทางออกมาก จำนวนข้าวตอกตกเกรดก็จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งผลที่ได้จากการคัดแยกอยู่ในช่วงประมาณ 2% - 4%

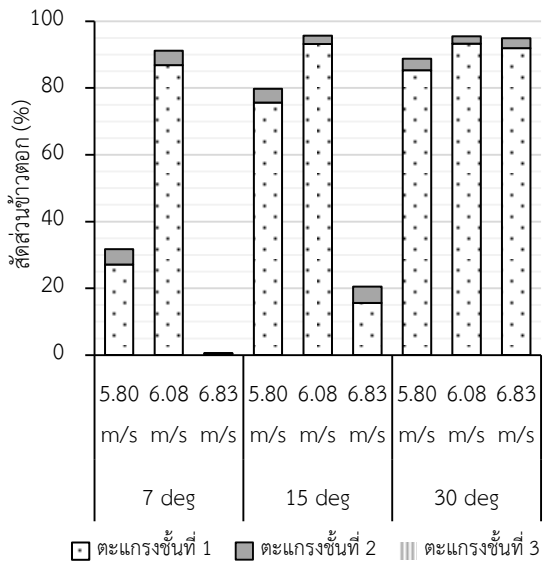


Fig. 8 Proportion of popped rice

ในส่วนของข้าวตอกที่แตกหักและสิ่งเจือปนจะตกสู่ถาดรองชั้นที่ 3 ซึ่งมีค่าน้อยมาก สำหรับความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s ที่มุมเอียง 7 deg เนื่องจากความเร็วตะแกรงโยกมีค่าน้อยมาก จึงส่งผลให้ไม่มีการไหลของข้าวตอกและติดอยู่กับเครื่องจำนวนมาก ดัง

Fig. 9 แต่สำหรับมุมเอียง 30 deg ทุกความเร็วของตะแกรงโยกสามารถคัดแยกสิ่งเจือปนได้ดี

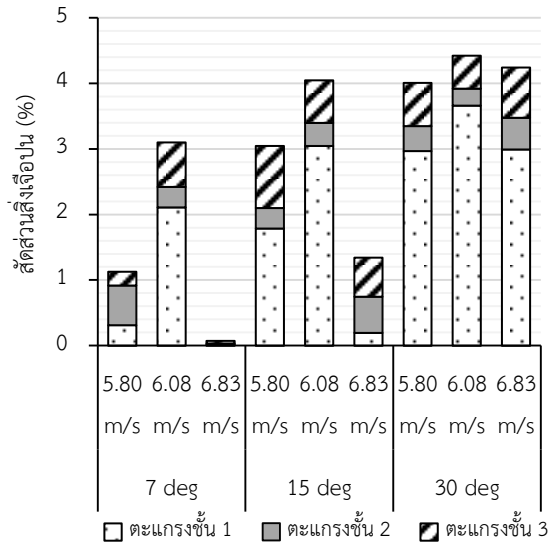


Fig. 9 Proportion of impurity

ค่าปริมาณการสูญเสียหมายถึง ปริมาณข้าวตอกที่ไม่สามารถคัดแยกออกมาได้หรือเป็นข้าวตอกที่ตกค้างบนตะแกรงและติดที่รูตะแกรง ในการคัดแยกข้าวตอกจะเห็นว่าที่มุมเอียง 7 deg ทุก ๆ ความเร็วตะแกรงโยกจะมีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากความเร็วของตะแกรงโยกและมุมเอียงไม่สัมพันธ์กัน แต่แนวโน้มของมุมเอียง 7 deg และ 15 deg มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ ที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.08 m/s จะมีสัดส่วนปริมาณสูญเสียที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วตะแกรงโยกอื่น ๆ ในขณะเดียวกันที่มุมเอียง 30 องศา มีแนวโน้มการสูญเสียลดลงเมื่อความเร็วตะแกรงโยกเพิ่มกั้ดัง Table 2 เมื่อพิจารณาความสามารถในการคัดแยกข้าวตอกดัง Table 2 จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการคัดแยกสูงสุดที่ความเร็วตะแกรงโยก 1161 m/s มุมเอียง 15 deg ประมาณ 6 kg/hr ซึ่งความสามารถของการคัดแยกที่มุมเอียง 30 deg มีความสามารถต่ำเนื่องจากว่าใช้เวลาในการคัดแยกนานกว่า เพราะข้าวตอกยังมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง แต่ที่มุมเอียง 7 deg ไม่มีการเคลื่อนที่ของข้าวตอกจึงต้องหยุดเวลาในการทดลองเร็วกว่าจึงทำให้ความสามารถสูงเมื่อเทียบกับปริมาณข้าวตอกที่เท่ากัน

**Table 2** Loss and separation capacity

| Incline (deg) | Sieve velocity (m/s) | Loss (%) | Separation capacity (kg/hr) |
|---------------|----------------------|----------|-----------------------------|
| 7             | 5.80                 | 67.19    | 0.29                        |
|               | 6.08                 | 5.78     | 0.99                        |
|               | 6.83                 | 99.37    | 0.02                        |
| 15            | 5.80                 | 17.17    | 1.82                        |
|               | 6.08                 | 0.24     | 5.58                        |
|               | 6.83                 | 78.15    | 0.22                        |
| 30            | 5.80                 | 7.19     | 4.67                        |
|               | 6.08                 | 0.12     | 0.61                        |
|               | 6.83                 | 0.33     | 1.26                        |

อัตราส่วนประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยของเครื่องได้ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างการคัดแยกด้วยเครื่องกับการคัดแยกด้วยแรงงานคน จะเห็นได้ว่าที่มุมเอียง 30 deg สำหรับทุกความเร็วตะแกรงโยกมีประสิทธิภาพการคัดแยกใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 60% -65% แต่ประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลองชุดนี้คือที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.08 m/s มุมเอียง 7 deg ซึ่งมีค่า 65.31% (Table 3)

**Table 3** Separation efficiency ratio

| Incline (deg) | Sieve velocity (m/s) | Efficiency ratio (%) |         |         |
|---------------|----------------------|----------------------|---------|---------|
|               |                      | layer 1              | layer 2 | average |
| 7             | 5.80                 | 29.93                | 37.35   | 33.64   |
|               | 6.08                 | 96.01                | 34.62   | 65.31   |
|               | 6.83                 | 0.48                 | 0.94    | 0.71    |
| 15            | 5.80                 | 83.60                | 33.73   | 58.66   |
|               | 6.08                 | 103.02               | 20.45   | 61.74   |
|               | 6.83                 | 17.22                | 40.02   | 28.62   |
| 30            | 5.80                 | 94.29                | 28.43   | 61.36   |
|               | 6.08                 | 103.06               | 18.1    | 60.58   |
|               | 6.83                 | 101.59               | 28.59   | 65.09   |

**2. วิจารณ์ผลการวิจัย**

การศึกษาเกี่ยวกับการทำความสะอาดและการคัดแยกข้าวตอก ความสัมพันธ์ของความเร็วการโยกของตะแกรงและมุมเอียงของตะแกรงต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม อีกทั้งยังคงต้องศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนของข้าวตอกด้วยเพื่อให้ผลการทำความสะอาดและคัดแยกได้ผลดี นอกจากนี้หากมีการนำระบบของไซโคลนมาช่วยดักฝุ่นอาจทำให้ผลการคัดแยกดีขึ้นได้

**สรุปผลการวิจัย**

การคัดแยกข้าวตอกขนาดใหญ่สำหรับการทำกระยาสารด้วยการคัดแยกด้วยเครื่องได้ผลของประสิทธิภาพในการคัดแยกน้อยกว่าการคัดแยกด้วยแรงงานคน ซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของความเร็วตะแกรงโยกและมุมเอียงของตะแกรงโยก ซึ่งความสัมพันธ์ที่ดีสำหรับการทดลองนี้คือที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s มุมเอียง 30 degrees สามารถคัดแยกข้าวตอกชั้นที่ 1 ได้ค่อนข้างสูงคือ 91% และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพของการคัดแยกเฉลี่ย 65% อย่างไรก็ตาม ค่าที่เหมาะสมนี้ยังคงต้องมีการทดลองต่อ ในกรณีที่มีการไหลของความตอกอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตะแกรงโยกและมุมเอียงที่เหมาะสมต่อการทำงานจริง นอกจากนี้ยังคงต้องศึกษาอัตราการป้อนที่เหมาะสมและมีความสัมพันธ์กับความเร็วยกและมุมเอียงต่อไป

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องซึ่งขอขอบพระคุณโครงการ ทาเลนทิมอบิลิตี้ (Talent Mobility) ที่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ทุนสนับสนุน ขอขอบพระคุณ บริษัท ปรานีฟู้ด 2017 จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลอง



## References

- Al-Mogahwi, H. and Baker, C.G. 2008. Performance evaluation of mills and separators in a commercial flour mill. *Food Bioprod. Process.* 83(1): 25-35.
- Bhattacharya, K.R. and Ali, S.Z. 2015. *An introduction to rice-grain technology.* CRC Press: New Delhi.
- Bhatupadya, V.G., Bhat, R.S., Shenoy, V.V. and Salimath, P.M. 2008. Physico-chemical characterization of popping - special rice accessions. *Karnataka J. Agric. Sci.* 21(2): 184-186.
- Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. 2011. *Shigley's mechanical engineering design.* The McGraw-Hill Companies, Inc: New York.
- Peck, R., Olsen, C. and Devore, J.L. 2016. *Introduction to statistics and data analysis.* Cengage Learning: Massachusetts.
- Shimoni, E., Dirks, E.M. and Labuza, T.P. 2002. The relation between final popped volume of popcorn and thermal physical parameters. *Food Sci. Technol.* 34: 93-98.
- Song, A. and Eckhoff, S.R. 1994. Optimum popping moisture content. *Cereal Chem.* 71: 458-460.
- Stephenson, J.H. 2013. *Fram engines and how to run them.* Skyhorse Publishing, Inc: New York.
- Sultanbawa, F.M., Owens, W. and Pandiella, S. 2001. A new approach to the prediction of particle separation by sieving in flour milling. *Food Bioprod. Process.* 79(4): 211-218.
- Swarnakar, A.K., Devi, M.K. and Das, S.K. 2014. Popping characteristics of paddy using microwave energy and optimization of process parameters. *Int. J. Food Studies.* 3: 45-59.
- Wattanukul, U., Sai, S. and Khoabaht, W. 2013. Effect of temperature on roast of Sungyod Phatthalung popped rice to nutritional values. *Proceeding of the 5<sup>th</sup> Rajamangala University of Technology National Conference.* July 15-16, 2013. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok.
- Wikihow. 2017. Wiki how to make puffed rice [online]. [Accessed October 10, 2016]. Available from: URL: <http://www.wikihow.com/Make-Puffed-Rice>.
- Wimberly, J.E. 1983. *Technical handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries.* International Rice Research Institute: Laguna.