



## การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องล้างไข่เค็มพอกดินแบบแปรงขัดทรงกระบอก

## A Study of the Suitable Conditions for Salted Eggs Washing Machine with Polishing Cylinder Brushes

อาทิตย์ พวงสมบัติ<sup>1\*</sup>, แก้วกานต์ พวงสมบัติ<sup>1</sup>

Arthit Phuangsombut<sup>1\*</sup>, Kaewkarn Phuangsombut<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

\*Corresponding author: Tel: 081-9283684, Fax: 034-351-896, E-mail: fengatp@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

เครื่องล้างไข่เค็มถูกพัฒนาขึ้น มีโครงสร้างขนาดความกว้าง 50 cm ความยาว 80 cm และความสูง 113 cm การออกแบบกลไกสำหรับกระบวนการล้างไข่เค็มประกอบด้วยชุดเกลียวลำเลียงหุ้มด้วยแผ่นล้างจานเพื่อลำเลียงไข่เค็มเข้าสู่กระบวนการล้าง และชุดแปรงขัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm และยาว 70 cm จำนวน 2 ชุด ทำหน้าที่เป็นตัวขัดและทำความสะอาดดินที่พอกไข่เค็ม ซึ่งด้านบนจะมีการสเปรย์น้ำตลอดทั้งกระบวนการเพื่อช่วยให้ล้างได้ง่ายขึ้น โดยทำการทดสอบปัจจัยในการล้างอยู่ 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบของแปรงขัดทรงกระบอก ปริมาณน้ำที่ใช้ และ ทิศทางการหมุนของแปรงขัด จากการทดสอบพบว่า ความเร็วของแปรงขัดที่สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการล้างดินสอพองและประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มมีค่าสูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไข่เค็มมากขึ้นมีผลต่อปริมาณดินสอพองที่ล้างได้ และทำให้จำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาดมีแนวโน้มน้อยลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทิศทางการหมุนของแปรงขัดมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไข่เค็มที่ไม่สะอาดหลังล้าง ปัจจัยที่ดีที่สุดในการล้างไข่เค็มด้วยเครื่องต้นแบบ คือ ความเร็วรอบของแปรงขัดที่ 10 rpm ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ  $300 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  และ ทิศการหมุนของแปรงขัดตัวที่สองหมุนในทิศทางเดียวกันกับแปรงขัดตัวที่หนึ่ง ซึ่งมีประสิทธิภาพการล้างดินสอพองเท่ากับ 100 % และ ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มเท่ากับ 96.67%

คำสำคัญ: ไข่เค็ม, เครื่องล้างไข่เค็มพอกดิน, แปรงขัดทรงกระบอก

### Abstract

The salted egg washing machine was developed having the structure with width of 60 cm, length of 100 cm and 113 cm in height. The design of mechanisms in the washing process consisted of a screw conveyor covered with dish washing sheet to transport salted eggs to the washing process and two nylon roller brushes with diameter of 8 cm and length of 70 cm for polishing and cleaning the dirt sticking around the salted egg surface. The top of the washing machine was sprayed with water throughout the process to promote easy washing. Three factors were tested which included the speed of the nylon roller brushes, the volume of water used in process and rotation direction of the nylon roller brushes. The resultant tests showed that the higher the speed of the nylon roller brushes, the higher the performance of cleaning marl and the washing efficiency of salted eggs. The higher quantity of water used to wash eggs affected the amount of chalk being washed and resulted in lower number of uncleaned salted eggs but not significantly different statistically. The direction of rotation of the nylon roller brushes had an effect on the percentage of uncleaned salted eggs after washing process. The best conditions of washing the salted egg with the washing machine were the speed of the nylon roller brushes at 10 rpm, the volume of water to use in process at  $300 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  and the rotating direction of the primary polishing roller brush in the same direction as the secondary polishing roller brush which provided the washing efficiency of marl equal to 100% and the efficiency of cleaning salted eggs amounting to 96.67%.

Received: July 26, 2018

Revised: October 16, 2018

Accepted: November 2, 2018

Available online: February 4, 2019

## 1 บทนำ

ไข่เค็มเป็นการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง โดยการนำไข่ไปแช่ในน้ำเกลือหรือนำไปพอกด้วยวัสดุที่ผสมเกลือเพื่อให้เกลือซึมเข้าไปในเนื้อของไข่และทำให้สามารถเก็บไข่ไว้ได้นานขึ้น โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ไข่เป็ดในการทำไข่เค็มเพราะการเลี้ยงเป็ดจะมากว้างกว่าการเลี้ยงไก่และการทำนาของเกษตรกรตั้งแต่โบราณจนถึงปัจจุบัน การเลี้ยงเป็ดของเกษตรกรจึงยังพบเห็นอยู่ตามชนบทในประเทศไทย ซึ่งจะเลี้ยงครอบครัวละ 10-20 ตัว การเลี้ยงเป็ดส่วนใหญ่จะเลี้ยงแบบปล่อยทุ่ง เป็ดจะหาอาหารธรรมชาติในทุ่งนซึ่งมีจำพวก ปู ปลา หอย และจะเสริมอาหารด้วยข้าวเปลือก เกษตรกรผู้ผลิตไข่เป็ดจึงได้มีแนวความคิดเพิ่มมูลค่าผลผลิตเกษตรโดยการนำไข่เป็ดแปรรูปไปเป็นไข่เค็ม ในขั้นตอนการผลิตส่วนหนึ่งจะเสียเวลากับการทำความสะอาดและเป็นปัญหาให้กับเกษตรกรผู้ผลิตไข่เค็มคือ วิธีการทำความสะอาดส่วนใหญ่จะเป็นการใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งจะใช้เวลาในการทำทำความสะอาดมากเนื่องจากไข่เค็มผ่านกรรมวิธีในการผลิตที่ซับซ้อนโดยการใช้ดินค่อนข้างเหนียวหุ้มไข่เป็ดให้หนาประมาณ 2-5 mm แล้วเคลือบด้วยซีเมนต์อีกชั้นหนึ่ง จึงทำให้เวลาทำความสะอาดต้องใช้เวลามากจนไปถึงเกิดความสกปรกบริเวณที่ทำความสะอาด ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องล้างไข่เค็มออกมามากขึ้น โดย Suratpittaya School (2013) ได้ประดิษฐ์เครื่องล้างไข่เค็มโดยอาศัยหลักการของแรงเสียดทาน โดยนำแปรงที่ขัดเป็นรูปวงกลมวางไว้ภายในภาชนะและนำแปรงที่ขัดเป็นวงกลมอีกอันหนึ่งติดกับแกนหมุนและยึดกับฝาภาชนะและทำการหมุน Mewong et al., (2011) ได้ประดิษฐ์เครื่องล้างไข่ ซึ่งประกอบด้วย ระบบน้ำ ระบบราง และ ระบบแปรง ไข่จะถูกลำเลียงด้วยระบบรางเข้าสู่เครื่องและถูกทำความสะอาดโดยแปรงขัดและน้ำพ่นจากนั้นจะถูกลำเลียงออกสู่ด้านนอก Tiang et al., (2013) ได้ประดิษฐ์เครื่องล้างไข่ซึ่งประกอบไปด้วยแปรงขัด 2 ชุดอยู่ในหม้อ โดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังให้แปรงขัด ทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น Wutjanapaibool and Buddsen (2013) ได้ออกแบบชุดล้างไข่แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมอเตอร์ทำงานจะหมุนสายพานขับชุดรางลำเลียงไข่และมีการถ่ายทอดกำลังให้กับชุดแปรงทำความสะอาดทำให้ชุดแปรงทำความสะอาดหมุนตลอดเวลา ทำงานหมุนตามแนวแกนนอนตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของรางลำเลียง ในระหว่างที่ไข่เคลื่อนที่ผ่านชุดแปรงขัดจะมีน้ำฉีดพ่นลงมาเพื่อทำความสะอาด แต่ก็ยังพบว่าขั้นตอนในการทำทำความสะอาดยังจำเป็นต้องใช้เวลามาก และการทำงานจะเป็นการล้างแบบเป็นชุดๆ ไม่ต่อเนื่อง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาเครื่องล้างไข่เค็มในรูปแบบใหม่ ที่นำชุดเกลียวลำเลียงหุ้มด้วยแผ่นล้างจานมาใช้ลำเลียงและทำความสะอาดไข่เค็มไปพร้อมกัน ให้เครื่องล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทำการออกแบบและศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง

ล้างไข่เค็มที่ใช้ชุดเกลียวลำเลียงหุ้มด้วยแผ่นล้างจานร่วมกับชุดแปรงขัดทรงกระบอก

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ไข่เค็มดินสอพอง จำนวน 360 ฟอง จากอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดยคัดเลือกให้มีขนาดใกล้เคียงกัน ไข่เค็มพอกด้วยดินสอพองมีขนาดความกว้าง ( $D_{max}$ )  $52.5 \pm 0.218$  mm, ความยาว ( $L$ )  $63.8 \pm 0.272$  mm โดยวัดขนาดด้วย Digital Vernier caliper (Mishutoyo, Japan) (Figure 1) และ มีน้ำหนัก  $93.53 \pm 4.329$  g

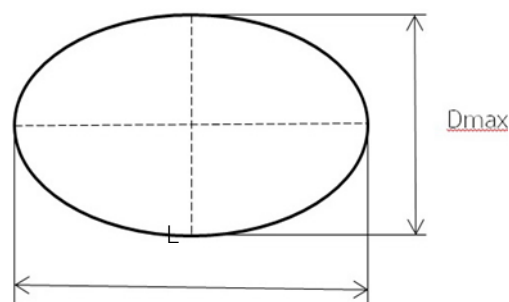


Figure 1 Dimension of salted eggs.

### 2.2 เครื่องล้างไข่เค็ม

เครื่องล้างไข่เค็ม (Figure 2) มีขนาดความกว้าง 50 cm ความยาว 80 cm และ ความสูง 113 cm ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ HP เป็นต้นกำลัง ซึ่งประกอบไปด้วย (1) ชุดเกลียวลำเลียงหุ้มด้วยแผ่นล้างจาน (2) ชุดแปรงขัดทรงกระบอก (3) ชุดต้นกำลังและระบบส่งกำลัง และ (4) ชุดสเปรย์น้ำ โดยมีหลักการทำงาน คือ มอเตอร์ทำงานหมุนสายพานขับเพลากลียวลำเลียงหุ้มด้วยแผ่นล้างจานและถ่ายทอดกำลังไปยังชุดแปรงขัดทรงกระบอกให้หมุน ซึ่งความเร็วรอบของชุดเกลียวลำเลียงหุ้มด้วยแผ่นล้างจานและชุดแปรงขัดทรงกระบอกมีความเร็วเท่ากัน จากนั้นนำไข่เค็มพอกดินสอพองใส่ทางช่องป้อน ไข่เค็มจะถูกลำเลียงด้วยเกลียวลำเลียงซึ่งด้านข้างมีชุดแปรงโรลเลอร์ทำความสะอาดจำนวน 2 ชุด ด้านบนของระบบลำเลียงจะมีน้ำสเปรย์ลงมาเพื่อช่วยล้างทำความสะอาด (Figure 3)

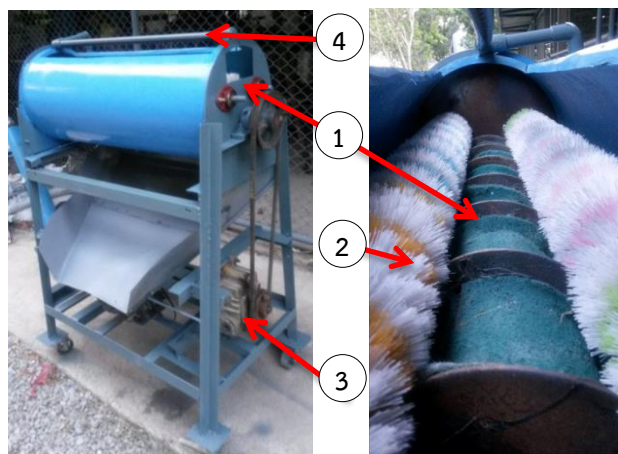


Figure 2 The schematic diagram of salted eggs washing machine with rotating cylinder brushes.



Figure 3 The operating of salted egg washing machine.

### 2.3 วิธีการทดลอง

การทดสอบมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้ 1) ความเร็วรอบของแปรงขัดทรงกระบอก (SORB) จากการทดสอบเบื้องต้นเมื่อใช้ความเร็วรอบแปรงขัดทรงกระบอกที่ 8 9 10 และ 11 rpm และใช้ปริมาณน้ำล้างเท่ากันพบว่าจำนวนไข่ที่ล้างสะอาดมีค่าน้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 8 9 และ 10 rpm เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไข่เค็มในขณะที่ล้างเร็วขึ้นจึงทำให้ระยะเวลาในการล้างไข่น้อยลงจึงส่งผลทำให้ไข่ล้างไม่สะอาดเมื่อถึงช่องทางออก จึงเลือกใช้ความเร็วรอบของแปรงขัดทรงกระบอก ที่ 8, 9 และ 10 rpm และ 2) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (VOL) จากการทดลองเบื้องต้นปริมาณน้ำที่ใช้ 250 300 และ 350 cm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้มากกว่า 300 cm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ส่งผลให้ปริมาณไข่ที่ล้างสะอาดมีมากขึ้น และเป็นการล้างไข่สะอาดในช่วงแรกซึ่งแปรงขัดเทียบจะไม่ได้ทำการขัดทำความสะอาดไข่เค็มจึงเป็นการล้างโดยใช้ปริมาณน้ำมากกว่าการใช้แปรงขัดและยังทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ค่อนข้างสูงจึงเลือกใช้ปริมาณน้ำในการทดลอง 2 ระดับ คือ 250 และ 300 cm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> โดยทดสอบเปรียบเทียบภายใต้การทำงานของเครื่องเมื่อกำหนดให้ทิศทางหมุนของแปรงขัดทรงกระบอกเป็นหมุนทิศทางเดียวกัน (RSD) และ แปรงขัดหมุนสวนทางกัน (ROD) แสดงใน Figure 4 ในการทดสอบใช้ไข่เค็ม ครั้งละ 10 ฟอง ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

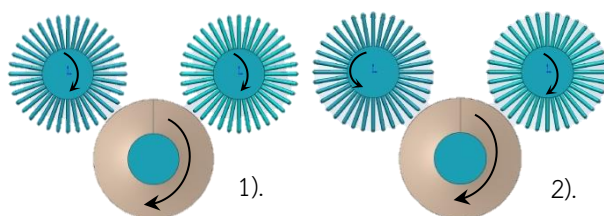


Figure 4 The direction of rotation of the nylon roller brushes.

### 2.4 การประเมินประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม

การประเมินประสิทธิภาพการล้างดำเนินการโดยการนำเอาไข่เค็มพอกดินสอพองมาซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนล้างและเมื่อผ่านกระบวนการล้างด้วยเครื่องล้างแล้วนำมาผึ่งให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำความสะอาดไข่เค็มอีกครั้งด้วยมือเปล่าเพื่อเอาดินสอพองออกให้หมดแล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักไข่เค็มเริ่มต้น และนำมาคำนวณหาตัวแปรที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบ ดังนี้

- 1). ประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง (%) จากสมการ (1)
- 2). ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม (%) จากสมการ (2)
- 3). ปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้างเฉลี่ย จากสมการ (3)
- 4). ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด จากสมการ (4)
- 5). ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง จากสมการ (5)

$$\text{ประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง} = \frac{\text{นน.ไข่เค็มก่อนล้าง} - \text{นน.ไข่เค็มหลังล้าง}}{\text{นน.ไข่เค็มก่อนล้าง} - \text{นน.ไข่เค็มก่อนพอกดินสอพอง}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม} = \frac{\text{ไข่เค็มสะอาด (ฟอง)}}{\text{ไข่เค็มทั้งหมด (ฟอง)}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{ปริมาณดินสอพองติดค้างเฉลี่ย} = \frac{\text{น้ำหนักดินสอพองคงเหลือหลังล้าง (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่เค็มทั้งหมดหลังล้าง} - \text{จำนวนไข่แตก (ฟอง)}} \quad (3)$$

$$\text{ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด} = \frac{\text{จำนวนไข่เค็มไม่สะอาดหลังล้าง (ฟอง)}}{\text{จำนวนไข่เค็มทั้งหมดหลังล้าง (ฟอง)}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง} = \frac{\text{จำนวนไข่เค็มแตก (ฟอง)}}{\text{จำนวนไข่เค็มทั้งหมดหลังล้าง (ฟอง)}} \times 100 \quad (5)$$

### 2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของเครื่องจากปัจจัยต่างๆ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA (Analysis of variance) ซึ่งเริ่มจากการทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality test) และทดสอบความแตกต่างของค่าความผันแปรด้วย Homogeneities of Variance Test วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) คือ ความเร็วรอบการหมุนของ

แปรปรวนของทรงกระบอก และ ปริมาณน้ำที่ใช้ ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง, ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม ปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้างเฉลี่ย ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด และร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง กำหนดให้ค่า  $F$  - test มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธี Duncan's multiple-range test แบบ Two way ANOVA

ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกปัจจัยที่เหมาะสมนั้นมีปัญหาเนื่องจากค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการประเมินเปรียบเทียบเลือกปัจจัยมีหลายค่าทำให้การสรุปเลือกปัจจัยที่เหมาะสมเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบและเลือกปัจจัยที่มีผลกับการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Principal Component Analysis (PCA) เพื่อสร้างค่าประสิทธิภาพรวมเพียงค่าเดียวจากค่าประสิทธิภาพเดิมทั้งหมดเพื่อให้สามารถสรุปได้ชัดเจน (Krishna et al., 2002) ในการวิเคราะห์นำค่าประเมินเดิมมาทำ Standardized และเปลี่ยนเป็นตัวแปรใหม่ คือ ค่าประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง (Zecm), ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม (Zecs) ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด (Zucs) และ ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง (Zbke) แล้วทำการสร้าง Linear Combination ของตัวแปร เพื่อหาค่า factor score ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปัจจัยที่ดีที่สุดในการทดลอง โดยค่า Factor score นี้เป็นค่าประสิทธิภาพรวมที่เป็นตัวแทนค่าประสิทธิภาพเดิมทั้งหมด

### 3 ผลและวิจารณ์

ในการทดลองแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม สำหรับการทดสอบการหมุนของแปรงขัดทรงกระบอกในทิศทางเดียวกัน 1 กลุ่ม และตรงกันข้ามอีก 1 กลุ่ม เพื่อหาทิศทางการหมุนของแปรงขัดทรงกระบอกที่เหมาะสม โดยใช้ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 180 ฟอง ทำการวัดลักษณะทางกายภาพ คือ ขนาดความกว้าง (Dmax), ความยาว (L) และ น้ำหนัก โดยลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 1 จากการทดสอบพบว่าลักษณะไข่เค็มพอกดินสอพองหลังล้างจะมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ 1) ไข่เค็มสะอาด 2) ไข่เค็มไม่สะอาด 3) ไข่เค็มแตก (มีรอยร้าวที่เปลือก) ดังแสดงใน Figure 5

จากการวิเคราะห์ Two way ANOVA สำหรับศึกษาอิทธิพลของความเร็วน้ำและปริมาณน้ำที่มีต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพแต่ละค่าพบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างปัจจัยทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 3.1 ผลของความเร็วน้ำของแปรงขัด

พบว่าอิทธิพลของความเร็วน้ำของแปรงขัดทรงกระบอกในการทดสอบที่มีต่อประสิทธิภาพในการล้างดินสอพองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งในการทดสอบแบบแปรงขัดทรงกระบอกหมุนทิศทางเดียวกัน และตรงข้ามกัน ซึ่งประสิทธิภาพในการล้าง

ดินสอพองจะไม่นำไข่เค็มที่แตกมาคำนวณ ดังแสดงใน Table 2 และ Table 3 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 98.10 - 100 % และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปรับความเร็วน้ำรอบสูงขึ้นซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้ปริมาณน้ำเท่ากับ  $300 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  และ ผลของความเร็วน้ำรอบ 9 rpm ที่ปริมาณ  $250 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  ทั้งสองทิศทางการหมุน พบว่าประสิทธิภาพในการล้างดินสอพองลดลง อาจเป็นผลมาจากตัวอย่างของไข่เค็มที่มีปริมาณการพอกดินสอพองไม่เท่ากันแต่เมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ประสิทธิภาพในการล้างดินสอพองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 6) และ ประสิทธิภาพในการล้างไข่เค็มมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อปรับความเร็วน้ำรอบสูงขึ้น และ ที่ความเร็วน้ำรอบ 9 rpm มีประสิทธิภาพในการล้างไข่เค็มลดลงซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณการพอกดินสอพองไม่เท่ากันแต่เมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ประสิทธิภาพในการล้างดินสอพองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 7) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 73.33 - 96.67 % (Table 4 และ 5)

ปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้างพบว่าที่ความเร็วน้ำรอบที่ 10 rpm ให้ค่าปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้างดีที่สุดทั้งในการทดสอบแบบแปรงขัดทรงกระบอกหมุนทิศทางเดียวกัน และตรงข้ามกัน ซึ่งมีค่าอยู่ที่  $0.00 - 0.14 \text{ g sample}^{-1}$  (Table 2 และ 3)

ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาดพบว่าที่ความเร็วน้ำรอบที่ 10 rpm ให้ค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ที่  $0.03 - 6.67\%$  และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วน้ำรอบมากขึ้น (Figure 9) และ ทิศทางการหมุนของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้างพบว่าทุกเงื่อนไขมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ที่  $0.00 - 10.00\%$  (Table 4 และ 5)

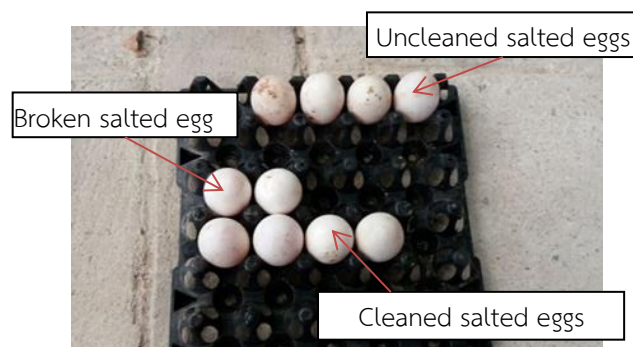


Figure 5 Salted egg after the washing process.

#### 3.2 ผลของปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างไข่เค็ม

จากการทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้  $250$  และ  $300 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง และ ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มในแต่ละปัจจัยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นดังแสดงใน Figure 6 และ Figure 8 ส่วนผลการทดสอบที่ปริมาณน้ำ  $250 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  การหมุนของแปรงขัดแบบหมุนสวนทางกัน พบว่า มีแนวโน้มประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มลดลงเมื่อความเร็วน้ำรอบเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากทิศทางการหมุนของแปรงขัดทรงกระบอกเมื่อหมุนเร็วขึ้นจะทำให้ไข่เค็มถูกขัดและลอยขึ้นส่งผลให้ถูกขัดน้อยลง แต่เมื่อ

เปลี่ยนปริมาณน้ำที่  $300 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$  เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากขึ้น ทำให้ลดการลอยขึ้นของไข่เค็มและช่วยชะล้างได้มากขึ้น (Figure 8) และเมื่อพิจารณาปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้าง และ ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด พบว่ามีค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งในการทดสอบแบบแปรงขัดทรงกระบอกหมุนทิศทางเดียวกัน และตรงข้ามกัน แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการใช้น้ำมากขึ้น (Figure 7 และ Figure 9) และพบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ไม่มีผลต่อร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง

### 3.3 ผลของทิศทางการหมุนของแปรงขัด

จากการทดสอบทิศทางการหมุนแปรงขัดทรงกระบอกในทิศทางเดียวกัน และหมุนสวนทาง เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม พบว่า ทิศทางการหมุนแปรงขัดทรงกระบอกในทิศทางเดียวกันมีแนวโน้มที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการหมุนสวนทางกัน เมื่อพิจารณาปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้าง และ จำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด พบว่า ทิศทางการหมุนแปรงขัดทรงกระบอกในทิศทางเดียวกันมีแนวโน้มที่สามารถลดปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้าง และ ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาดได้ดีกว่าการหมุนสวนทางกัน และ ทิศทางการหมุนแปรงขัดทรงกระบอกมีผลต่อร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง จาก Table 4 และ Table 5 ปริมาณน้ำ  $250 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$

เมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการแตกของไข่เค็มมากขึ้น ซึ่งการหมุนสวนทางกันจะมีค่าร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้างมากกว่าการหมุนทิศทางเดียวกัน และ ปริมาณน้ำ  $300 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$  มีค่าร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้างไม่แตกต่างกันทางสถิติ

### 3.4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องล้างไข่เค็ม

จากการสร้างตัวแปรใหม่หรือ Factor score ที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องล้างไข่เค็มโดยการวิเคราะห์แบบ PCA ซึ่งตัวแปรประเมินประสิทธิภาพรวมที่สร้างขึ้นคำนวณได้จากสมการ Linear combination โดยอาศัยข้อมูลการประเมินเดิม 4 ค่า คือ ประสิทธิภาพการล้างดินสอพอง, ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็ม, ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาด และ ร้อยละของจำนวนไข่เค็มที่แตกหลังล้าง และเขียนอยู่ในรูปของสมการทำนายค่า Factor score ดังนี้  $F = (0.306)Z_{ecm} + (0.331)Z_{ecs} + (0.298)Z_{ucs} + (0.213)Z_{bke}$  จากการวิเคราะห์พบว่าค่า Factor score ของกลุ่มปัจจัยแต่ละแบบที่สูงที่สุดคือ เงื่อนไขที่ทิศทางการหมุนของแปรงขัดทรงกระบอกแบบหมุนทิศทางเดียวกัน, ปริมาณน้ำที่ใช้  $300 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$  และ ความเร็วรอบของแปรงขัดทรงกระบอก เท่ากับ 10 rpm มีค่า Factor score เท่ากับ 1.35 จึงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด ดังแสดงใน Table 6

Table 1 Descriptive physical properties of salted eggs.

| Experiments                                             | Number of Samples | Physical properties | Max    | Min   | Mean±SD       |
|---------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|--------|-------|---------------|
| Roller brushes rotating in the same direction (RSD)     | 180               | Weight (g)          | 102.33 | 88.2  | 93.53 ± 4.329 |
|                                                         |                   | L (cm)              | 7.17   | 6.1   | 6.38 ± 0.272  |
|                                                         |                   | Dmax (cm)           | 5.7    | 4.9   | 5.25 ± 0.218  |
| Roller brushes rotating in the opposite direction (ROD) | 180               | Weight (g)          | 113.26 | 86.66 | 93.53 ± 5.945 |
|                                                         |                   | L (cm)              | 6.93   | 6     | 6.36 ± 0.225  |
|                                                         |                   | Dmax (cm)           | 5.55   | 4.7   | 5.15 ± 0.196  |

Table 2 The efficiency of cleared marl of salted eggs washing machine with cylinder brush in the same direction.

| VOL<br>( $\text{cm}^3\text{s}^{-1}$ ) | SORB<br>(rpm) | Salted egg<br>(samples) | Salted egg before process |                       | Remaining weight<br>of marl (g sample <sup>-1</sup> ) | The efficiency of<br>cleaning marl (ecm) (%) |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                       |               |                         | Weight of egg (g)         | Weight of marl<br>(g) |                                                       |                                              |
| 250                                   | 8             | 30                      | 70.45±5.83                | 14.53±4.64            | 0.06±0.16 <sup>ns</sup>                               | 99.35±2.18 <sup>ns</sup>                     |
|                                       | 9             | 28                      | 69.46±5.81                | 11.80±5.23            | 0.10±0.28 <sup>ns</sup>                               | 98.48±4.53 <sup>ns</sup>                     |
|                                       | 10            | 29                      | 71.44±4.78                | 13.07±3.48            | 0.02±0.10 <sup>ns</sup>                               | 99.84±0.88 <sup>ns</sup>                     |
| 300                                   | 8             | 29                      | 69.38±5.27                | 13.12±5.94            | 0.04±0.17 <sup>ns</sup>                               | 99.44±2.12 <sup>ns</sup>                     |
|                                       | 9             | 28                      | 70.84±5.07                | 11.88±4.68            | 0.03±0.15 <sup>ns</sup>                               | 99.70±1.61 <sup>ns</sup>                     |
|                                       | 10            | 29                      | 70.07±4.96                | 12.50±4.24            | 0.00±0.00 <sup>ns</sup>                               | 100.00±0.00 <sup>ns</sup>                    |

Note: Volume of water in process (VOL) and speed of the nylon roller brush (SNRB).

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT.

Table 3 The efficiency of cleared marl of salted eggs washing machine with cylinder brush in the opposite direction.

| VOL<br>(cm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | SORB<br>(rpm) | Salted egg<br>(samples) | Salted egg before process |                       | Remaining weight<br>of marl (g sample <sup>-1</sup> ) | The efficiency of<br>cleaning marl (ecm) (%) |
|-------------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                           |               |                         | Weight of egg<br>(g)      | Weight of marl<br>(g) |                                                       |                                              |
| 250                                       | 8             | 28                      | 69.73±6.02                | 8.89±3.55             | 0.13±0.33 <sup>ns</sup>                               | 98.48±4.11 <sup>ns</sup>                     |
|                                           | 9             | 28                      | 69.47±5.92                | 10.14±5.75            | 0.17±0.46 <sup>ns</sup>                               | 96.45±11.55 <sup>ns</sup>                    |
|                                           | 10            | 27                      | 70.00±5.11                | 10.96±4.57            | 0.14±0.32 <sup>ns</sup>                               | 98.34±3.72 <sup>ns</sup>                     |
| 300                                       | 8             | 29                      | 67.77±4.88                | 8.07±3.01             | 0.12±0.24 <sup>ns</sup>                               | 98.10±4.26 <sup>ns</sup>                     |
|                                           | 9             | 29                      | 70.40±4.90                | 11.15±3.93            | 0.06±0.18 <sup>ns</sup>                               | 99.46±1.66 <sup>ns</sup>                     |
|                                           | 10            | 30                      | 70.96±5.44                | 12.89±3.90            | 0.03±0.12 <sup>ns</sup>                               | 99.78±1.01 <sup>ns</sup>                     |

Note: Volume of water in process (VOL) and speed of the nylon roller brush (SNRB).

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT.

Table 4 The efficiency of cleaning salted eggs of salted eggs washing machine with cylinder brush In the same direction.

| VOL<br>(cm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | SORB<br>(rpm) | Salted egg<br>(samples) | Salted egg before process |                      |                     | Uncleaned<br>salted egg<br>(ucs) (%) | Broken<br>salted egg<br>(bk) (%) | The efficiency of<br>cleaning salted<br>eggs (ecs) (%) |
|-------------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                           |               |                         | Clean<br>(samples)        | Unclean<br>(samples) | Broken<br>(samples) |                                      |                                  |                                                        |
| 250                                       | 8             | 30                      | 26                        | 4                    | 0                   | 13.33 <sup>ns</sup>                  | 0.00 <sup>ns</sup>               | 86.67 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 9             | 30                      | 24                        | 4                    | 2                   | 13.33 <sup>ns</sup>                  | 6.67 <sup>ns</sup>               | 80.00 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 10            | 30                      | 28                        | 1                    | 1                   | 3.33 <sup>ns</sup>                   | 3.33 <sup>ns</sup>               | 93.33 <sup>ns</sup>                                    |
| 300                                       | 8             | 30                      | 27                        | 2                    | 1                   | 6.67 <sup>ns</sup>                   | 3.33 <sup>ns</sup>               | 90.00 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 9             | 30                      | 27                        | 1                    | 2                   | 3.33 <sup>ns</sup>                   | 6.67 <sup>ns</sup>               | 90.00 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 10            | 30                      | 29                        | 0                    | 1                   | 0.00 <sup>ns</sup>                   | 3.33 <sup>ns</sup>               | 96.67 <sup>ns</sup>                                    |

Note: Volume of water in process (VOL) and speed of the nylon roller brush (SNRB).

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT.

Table 5 The efficiency of cleaning salted eggs of salted eggs washing machine with cylinder brush in the opposite direction.

| VOL<br>(cm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | SORB<br>(rpm) | Salted egg<br>(samples) | Salted egg before process |                      |                     | Uncleaned<br>salted egg<br>(ucs) (%) | Broken<br>salted egg<br>(bk) (%) | The efficiency of<br>cleaning salted<br>eggs (ecs) (%) |
|-------------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                           |               |                         | Clean<br>(samples)        | Unclean<br>(samples) | Broken<br>(samples) |                                      |                                  |                                                        |
| 250                                       | 8             | 30                      | 24                        | 4                    | 2                   | 13.33 <sup>ns</sup>                  | 6.67 <sup>ns</sup>               | 80.00 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 9             | 30                      | 23                        | 5                    | 2                   | 16.33 <sup>ns</sup>                  | 6.67 <sup>ns</sup>               | 76.67 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 10            | 30                      | 22                        | 5                    | 3                   | 16.33 <sup>ns</sup>                  | 10.00 <sup>ns</sup>              | 73.33 <sup>ns</sup>                                    |
| 300                                       | 8             | 30                      | 22                        | 7                    | 1                   | 23.33 <sup>ns</sup>                  | 3.33 <sup>ns</sup>               | 73.33 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 9             | 30                      | 25                        | 4                    | 1                   | 13.33 <sup>ns</sup>                  | 3.33 <sup>ns</sup>               | 83.33 <sup>ns</sup>                                    |
|                                           | 10            | 30                      | 28                        | 2                    | 0                   | 6.67 <sup>ns</sup>                   | 0.00 <sup>ns</sup>               | 93.33 <sup>ns</sup>                                    |

Note: Volume of water in process (VOL) and speed of the nylon roller brush (SNRB).

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT.

Table 6 Comparison of principal component score (factor score) of all cases of combination of water volume and rotation speed.

| Direction  | Vol ( $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ ) | SORB (rpm) | Zecm           | Zucs           | Zbke           | Zecs           | Factor score |
|------------|-------------------------------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| RSD        | 250                                 | 8          | 0.38802        | -0.37655       | 1.50129        | 0.24059        | 0.41         |
| RSD        | 250                                 | 9          | -0.45945       | -0.37655       | -0.75191       | -0.58305       | -0.61        |
| RSD        | 250                                 | 10         | 0.86533        | 1.0977         | 0.37638        | 1.063          | 1.02         |
| RSD        | 300                                 | 8          | 0.47569        | 0.6053         | 0.37638        | 0.65179        | 0.62         |
| RSD        | 300                                 | 9          | 0.72896        | 1.0977         | -0.75191       | 0.65179        | 0.61         |
| <b>RSD</b> | <b>300</b>                          | <b>10</b>  | <b>1.02119</b> | <b>1.58863</b> | <b>0.37638</b> | <b>1.47544</b> | <b>1.35</b>  |
| ROD        | 250                                 | 8          | -0.45945       | -0.37655       | -0.75191       | -0.58305       | -0.61        |
| ROD        | 250                                 | 9          | -2.43689       | -0.81882       | -0.75191       | -0.99426       | -1.48        |
| ROD        | 250                                 | 10         | -0.59583       | -0.81882       | -1.87682       | -1.4067        | -1.29        |
| ROD        | 300                                 | 8          | -0.82961       | -1.8508        | 0.37638        | -1.4067        | -1.19        |
| ROD        | 300                                 | 9          | 0.49517        | -0.37655       | 0.37638        | -0.17185       | 0.06         |
| ROD        | 300                                 | 10         | 0.80689        | 0.6053         | 1.50129        | 1.063          | 1.10         |

Note: Roller brushes rotating in the same direction (RSD), roller brushes rotating in the opposite direction (ROD), standardized of the efficiency of cleaning marl (Zecm), standardized of uncleaned salted egg (Zucs), standardized of broken salted egg (Zbke) and standardized of the efficiency of cleaning salted eggs (Zecs)

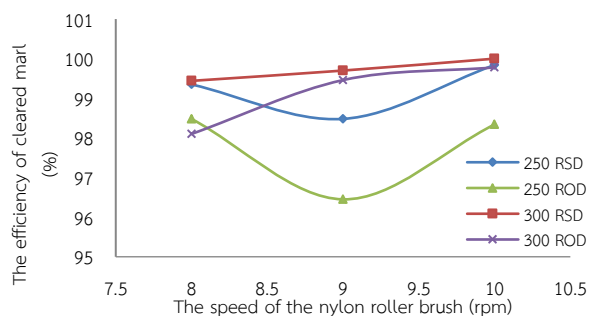


Figure 6 Relationship between efficiency of cleared marl and the speed of the nylon roller brush.

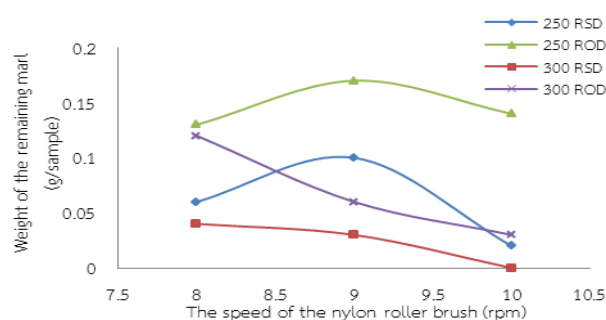


Figure 7 Relationship between Weight of the remaining marl and the speed of the nylon roller brush.

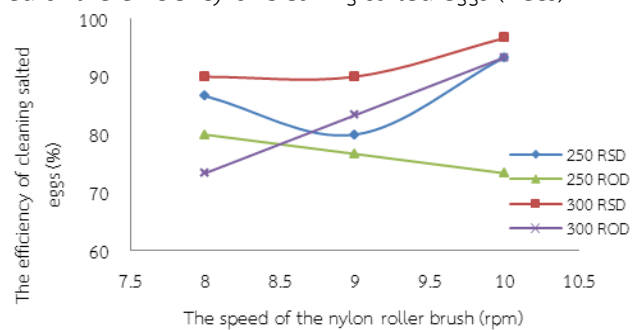


Figure 8 Relationship between the efficiency of cleaning salted eggs and the speed of the nylon roller brush.

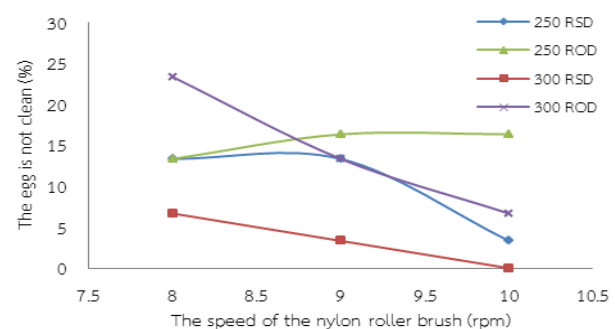


Figure 9 Relationship between the eggs is not clean after process and the speed of the nylon roller brush.

#### 4 สรุป

จากการออกแบบและทดสอบเครื่องล้างไข่เค็ม โดยทดสอบปัจจัยเบื้องต้น คือ ความเร็วรอบการหมุนของแปรงขัด และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างไข่เค็ม พบว่า ความเร็วของแปรงขัดที่สูงขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการล้างดินสอพองและประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มได้สมบูรณ์มีค่าสูงขึ้น

ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไข่เค็มมากขึ้นมีผลต่อปริมาณดินสอพองติดค้างหลังล้างไข่เค็มและจำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาดลดน้อยลง (เนื่องจากดินสอพองเมื่อแห้งสนิทจะแข็งและติดแน่นกับเปลือก จึงมีผลกับปริมาณน้ำที่ใช้) และทิศทางการหมุนของแปรงขัด มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไข่เค็มไม่สะอาดหลังล้าง แต่ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีผลต่อการแตกของไข่เค็มขณะทำการล้าง (เป็นผลมาจากการออกแบบระยะห่างระหว่างชุดแปรงขัดและชุดลำเลียงที่ไม่สม่ำเสมอ)

เงื่อนไขที่ดีที่สุดในการล้างไข่เค็มด้วยเครื่องต้น คือ ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ  $300 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  และ ความเร็วรอบของแปรงขัดที่ 10 rpm ภายใต้การทำงานด้วยทิศทางการหมุนของแปรงขัดตัวที่สองหมุนในทิศทางเดียวกันกับแปรงขัดตัวที่หนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพการล้างดินสอพองเท่ากับ 100% และ ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มสมบูรณ์เท่ากับ 96.67%

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนการวิจัย

## 6 เอกสารอ้างอิง

- Krishna, D., Mohan, S.R., Murthy, B.S.N. 2002. Performance Evaluation of Public Research Institutes Using. Principal Component Analysis. Journal of Sceintific and Insdustrial Research, 61, 940-947.
- Mewong, K., Jitnork, T., Komol, P. 2011. Egg washing machine. BrainChild TV3 . Available on: <http://brainchild.bectero.com/archive/invention-detail.php?pid=564>. Accessed on 22 September 2014. (In Thai).
- Suratpittaya School. 2013. Egg washing machine. BrainChild TV3 . Available at: <http://brainchild.bectero.com/content.php?vid=496> Accessed on 1 September 2018. (In Thai).
- Tiang, U.S., Phunupha, K., Nasorod, G., Singhachot, J., Sungchuay, C., Srivisad, C., Prayongsak, N., Nanthasuwana, D., Reuangnate, S., Ung, A.S. 2013. Egg washing machine. Ranong Technical College. Available at: <http://www.thaiinvention.net/detail.php?p=cHJvamVjdF9pZD02MjY4JmNmZ19pZD0xNSZjb21wZXRfaWQ9Mg==&cond=>. Accessed on 1 September 2018. (In Thai).
- Wutjanapaibool, N., Buddsen, S. 2013. Semi-Automatic Egg washing machine. Agricultural engineering project. Kasetsart University kamphaengsaen Campus. (In Thai).