

สภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

Optimization of Liquid Removal from *Mesona Chinensis* Bentham Using a Centrifuge Machine

ผดุงศักดิ์ พลศักดิ์,¹ ศตวรรษ รากะรินทร์,¹ ทิพาพร คำแดง^{2*}

Padungsak Polsakkwa,¹ Satawat Rakarin,¹ Tipapon Khamdaeng^{2*}

Received: 9 March 2019 ; Revised: 17 May 2019 ; Accepted: 31 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง โดยได้ออกแบบเครื่องหมุนเหวี่ยงและจำลองการรับแรงของเพลาดำเนินโปรแกรม SolidWorks เพื่อนำไปออกแบบขนาดเพลาส่งกำลังตามมาตรฐานของ ASME จากนั้นสร้างและทดสอบเครื่อง โดยแปรความเร็วรอบเพลาลงเวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดตะแกรง และใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง จากการออกแบบพบว่าขนาดเพลาส่งกำลังที่ใช้สำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยงมีค่าเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ของตัวแปรความเร็วรอบเพลาลงเวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดตะแกรง อยู่ในรูปสมการพหุนามกำลังสอง และจากแบบจำลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงคือที่ ความเร็วรอบเพลาลง 810 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช ซึ่งภายใต้สภาวะนี้จะได้ปริมาณน้ำเจก๊วย 555.33 กรัม ต่อน้ำหนักกากเจก๊วยเริ่มต้น 1,000 กรัม

คำสำคัญ: กระบวนการแยก เครื่องหมุนเหวี่ยง เจก๊วย สภาวะที่เหมาะสม

Abstract

The aim of this research was to optimize the liquid removal from *Mesona chinensis* Bentham using a centrifuge machine. The centrifugal machine was properly designed in order to improve the liquid removal from *Mesona chinensis* Bentham. The power transmission shaft was designed and calculated based on the ASME standard. Stress of the power transmission shaft was simulated using the SolidWorks software program. The machine was built and tested. The shaft speed, time consumption and screen size were studied. The Box-Behnken design response surface method was used to determine the optimum operation of the centrifugal machine. The results showed that the power transmission shaft used for the machine was 25 mm. A quadratic polynomial equation was fitted. The optimal conditions of separation obtained from the model were found at the shaft speed of 810 rpm, time consumption of 90 s and screen size of 100-mesh which yielded 555.33 g of liquid separated from 1,000 g of initial *Mesona chinensis* Bentham solid.

Keywords: separation process, centrifuge machine, grass jelly, optimization

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50290

¹ Bachelor degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Nong Harn, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

* Corresponding author; Tipapon Khamdaeng, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Nong Harn, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand; E-mail: tipapon@mju.ac.th

บทนำ

เจก๊วย (Grass Jelly) ทำมาจากต้นเจก๊วย (*Mesona chinensis* Benthams) เป็นพืชล้มลุกประเภทคลุมดินต้นเล็กลักษณะคล้ายต้นสาระแนแต่ใบใหญ่กว่าและเรียวยาวแหลมเป็นพืชในตระกูลวงศ์มินต์ มีสรรพคุณทางยามากมาย เช่น ช่วยแก้ร้อนใน กระหายน้ำ ขับเสมหะ แก้กลิ้นไส้ เบื่ออาหาร ลดอาการกล้ามเนื้ออักเสบ ลดอาการตับอักเสบ ลดอาการไขข้ออักเสบ และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้หากนำต้นเจก๊วยมาต้มในน้ำเดือด แล้วนำน้ำเจก๊วยมาดื่มเป็นประจำจะช่วยลดอาการโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวาน^{2,3} จากสรรพคุณทางยาของเจก๊วยที่กล่าวมานั้น ทำให้มีผู้สนใจที่จะบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากต้นเจก๊วยเพิ่มมากขึ้น

การแปรรูปเจก๊วยให้ได้ปริมาณที่มากพอเพื่อให้ทันตามความต้องการของผู้บริโภคจะต้องอาศัยแรงงานคนในกระบวนการเป็นจำนวนมากและใช้เวลานานโดยเฉพาะขั้นตอนการกรองแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยผ้าขาวบางซึ่งต้องทำซ้ำสามรอบจึงจะได้น้ำเจก๊วยที่มีคุณภาพดีไว้สำหรับผลิตเจก๊วยแปรรูปในขั้นตอนต่อไป เพราะถ้ากรองผ้าขาวบางไม่ดีเนื้อเจก๊วยที่ผลิตออกมาจะมีเศษของต้นเจก๊วยผสมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบกับการทำงานของแรงงานคนอาจเกิดความเหนื่อยล้าและควบคุมความสะอาดได้ยาก ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ผลิตออกมามีคุณภาพไม่คงที่

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความต้องการที่จะออกแบบและสร้างเครื่องหมุนเหวี่ยงและหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงนี้ เพื่อเอาไว้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการใช้ในการแยกน้ำจากกากเจก๊วยในอุตสาหกรรมขนาดย่อมและอุตสาหกรรมในครัวเรือน จากการศึกษที่ผ่านมา ได้มีการรายงานถึงผลของตัวแปรของกระบวนการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อการแปรรูปอาหารและเครื่องดื่มมากมาย⁴⁻⁷ พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณที่หมุนเหวี่ยงได้คือ ขนาดของตะแกรงกรอง ความเร็วรอบ และเวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง

ดังนั้นการสร้างเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้ หากทราบสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงในการแยกน้ำจากกากเจก๊วย ก็จะช่วยลดเวลาและลดการใช้แรงงานคนในขั้นตอนการกรองผ้าขาวบางลง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการกรองให้ดียิ่งขึ้นและช่วยลดปริมาณเศษของต้นเจก๊วยในเนื้อเจก๊วยให้น้อยลง ในด้านการผลิต การสร้างเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้ทางโรงงานผลิตเจก๊วย

แปรรูปได้ทันตามความต้องการของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องหมุนเหวี่ยงและหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจก๊วยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

วิธีการวิจัย

การออกแบบเครื่องหมุนเหวี่ยง

การออกแบบโครงสร้างของเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะเน้นให้มีความสมดุล เพราะในการทำงานถ้าเครื่องหมุนเหวี่ยงไม่มีความสมดุลก็จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นและอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้ อีกทั้งโครงสร้างของเครื่องต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของมอเตอร์หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องแยกน้ำจากกากเจก๊วยด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแสดงใน Figure 1

เครื่องหมุนเหวี่ยงประกอบด้วย (1) ตัวถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร พร้อมฝาปิด (2) ตะแกรงกรอง (3) ตะลึงลูกลื่น (4) เฟลาง์กำลัง (5) ล้อสายพาน (6) สายพาน (7) มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 แรงม้า ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ และ (8) โครงสร้างรับแรง โดยที่ตะแกรงกรองจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกและมี 2 ชั้น ซึ่งตะแกรงชั้นนอกจะเป็นตะแกรงที่เชื่อมติดอยู่กับเฟลาง์กำลังและมีการเคลื่อนที่แบบหมุนไปพร้อมกันกับเฟลาง์กำลัง ส่วนตะแกรงชั้นในจะถูกยึดติดกับตะแกรงชั้นนอกและสามารถถอดเปลี่ยนเพื่อปรับขนาดของตะแกรงได้ วัสดุที่ใช้ทำตะแกรงคือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

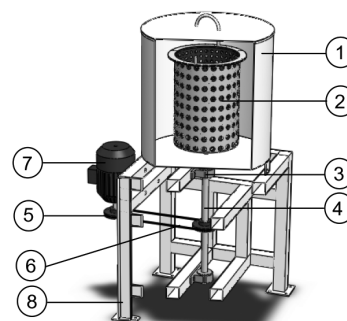


Figure 1 Structure and component of centrifuge machine

การออกแบบเฟลาง์กำลัง

การออกแบบเฟลาง์กำลังจะใช้โปรแกรม Solid-Works Simulation เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยจะจำลองการรับภาระแรงต่าง ๆ ของเฟลาง์กำลังแล้วพิจารณาเลือก

ขนาดเพลลาที่สามารถรับแรงกระทำได้ โดยที่เพลลาไม่เกิดการเสียหาย เมื่อได้ขนาดเพลลาที่ต้องการจากการจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks แล้ว ก็จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME⁸ แล้วจึงพิจารณาเลือกขนาดเพลลาที่เหมาะสม โดยวัสดุเพลลาที่เลือกใช้คือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดเพลลาส่งกำลัง มีดังนี้

1) แรงบิด (T)

$$T = \frac{W_P}{2\pi n} \quad (1)$$

เมื่อ W_P คือ กำลังมอเตอร์ (วัตต์)
 n คือ ความเร็วรอบเพลลา (รอบต่อวินาที)

2) แรงดึงจากสายพาน

2.1) แรงดึงสายพานขณะส่งกำลัง (F)

$$F = \frac{W_P}{v} \quad (2)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วสายพาน (เมตรต่อวินาที)

2.2) แรงดึงสายพานขึ้นต้น (F_1)

$$F_1 = (k_1 F + Z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

เมื่อ k_1 คือ ตัวประกอบการใช้งาน

k_2 คือ ตัวประกอบสายพาน

Z คือ จำนวนสายพาน (เส้น)

α คือ มุมสัมผัส (องศา)

โดยโมเมนต์ตัด (M) จะคำนวณจากแรงดึงจากสายพานที่คำนวณได้จากสมการ (3)

3) ขนาดเพลลา (d)

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} ((C_t T)^2 + (C_m M)^2)^{1/2} \quad (4)$$

เมื่อ C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

τ_d คือ ความเค้นเฉือนใช้งาน (นิวตันต่อตารางเมตร)

โดย $\tau_d = 0.3\sigma_y$

σ_y คือ ความเค้นจุดคราก (นิวตันต่อตารางเมตร)

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างเงาแก้วเพื่อใช้ในการทดสอบ จะเริ่มจากนำต้นเงาแก้วแห้งมาล้างทำความสะอาดและสะเด็ดน้ำออก เตรียมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.45 จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้มาต้มรวมกับต้นเงาแก้วแห้งโดยใช้สารละลายปริมาณ 24 เท่าของน้ำหนักต้นเงาแก้วแห้ง ต้มด้วยอุณหภูมิปานกลางโดยควบคุมอุณหภูมิในการต้มให้คงที่อยู่ที่ 95 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการต้มประมาณ 3 ชั่วโมง ในการทดสอบหมุนเหวี่ยงแต่ละครั้ง

จะใช้กากเงาแก้วเริ่มต้น 1,000 กรัม ซึ่งเป็นต้นเงาแก้วที่ได้จากการต้มและสะเด็ดน้ำออกแล้วเท่านั้น ในส่วนที่เป็นน้ำจะไม่นำมาทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยง

การทดสอบการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงจะใช้วิธีการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ซึ่งจากการออกแบบการทดลองจะได้ช่วงความเร็วรอบเพลลาที่ต้องการคือ 450 750 และ 1,050 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยงคือ 30 60 และ 90 วินาที และขนาดตะแกรงคือ 100 250 และ 400 เมช (ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ต้องการศึกษาแสดงใน Table 1) จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองและวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องแยกน้ำจากกากเงาแก้วด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะพิจารณาจากปริมาณน้ำเงาแก้วที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงและปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเงาแก้ว โดยที่ประสิทธิภาพการแยกน้ำจากกากเงาแก้วของเครื่องหมุนเหวี่ยงจะคำนวณจากน้ำหนักของน้ำเงาแก้วที่หมุนเหวี่ยงได้น้ำหนักกากเงาแก้วเริ่มต้น 1,000 กรัม

Table 1 Independent variables and levels

Independent variables	Coded variables	Levels		
		-1	0	1
Speed (rpm)	X_1	450	750	1,050
Time (s)	X_2	30	60	90
Screen size (mesh)	X_3	100	250	400

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design ได้ศึกษาปัจจัยของตัวแปร 3 ตัว คือ ความเร็วรอบเพลลา เวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดตะแกรง ตัวแปรละ 3 ระดับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณน้ำเงาแก้วที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงและสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเงาแก้วโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) ซึ่งลักษณะของแบบจำลองการถดถอยมีทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้

1) สมการเชิงเส้น (Linear Model)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i \quad (5)$$

2) สมการกำลังสอง (Quadratic Model)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^p \beta_{ii} X_i^2 \quad (6)$$

3) สมการปฏิสัมพันธ์ (Interaction)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j \quad (7)$$

เมื่อ

Y คือ ผลการตอบสนอง ได้แก่ ปริมาณน้ำเน่าก๊วย

 X_i, X_j คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่ศึกษา β_0 คือ ค่าคงที่สมการ β_i, β_j คือ สัมประสิทธิ์ Linear Model β_{ii}, β_{jj} คือ สัมประสิทธิ์ Quadratic Model β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ Interaction

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ในการวิจัยคือ การวิเคราะห์แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูล จะคำนวณโดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new Multiple Range Test; DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การจำลองการรับแรงของเพลาส่งกำลัง

ในการเลือกขนาดเพลานำมาใช้ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าให้กับเครื่องหมุนเหวี่ยง จะใช้วิธีการคำนวณหาขนาดเพลาดตามโค้ดของ ASME และใช้โปรแกรม SolidWorks ทำการจำลองการรับแรงของเพลาส่งกำลังเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกขนาดเพลานำ โดยในการจำลองการรับแรงของเพลาส่งกำลัง กำหนดค่าภาระแรงกระทำบนเพลาส่งกำลังจากการคำนวณโดยใช้สมการ (1)-(3) ซึ่งมีค่าภาระแรงดังนี้คือ แรงบิดเท่ากับ 100

นิวตันเมตร แรงดึงจากสายพาน 500 นิวตัน โมเมนต์ดัดเท่ากับ 37.5 นิวตันเมตร แรงกดเท่ากับ 200 นิวตัน (คิดจากผลรวมของน้ำหนักตะแกรงและน้ำหนักกากเน่าก๊วย) และคิดแรงเนื่องจากน้ำหนักเพลาส่งกำลังที่ใช้ในการคำนวณแสดงดัง Figure 2

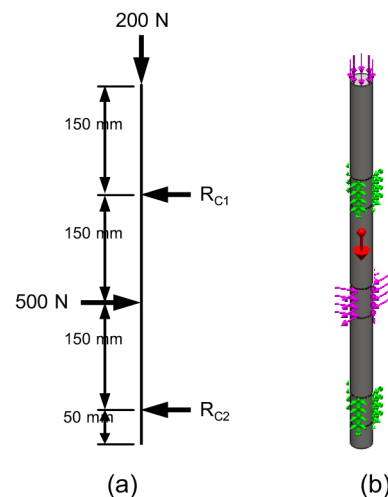


Figure 2 (a) Free body diagram of power transmission shaft and (b) Loads and boundary conditions shown in SolidWorks

กำหนดวัสดุเพลานำเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่มีค่าความเค้นจุดคราก (Yield Strength) เท่ากับ 206.81 เมกะปาสคาล จากการจำลองการรับแรงของเพลาส่งกำลังขนาดแตกต่างกัน ได้แก่ 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 มิลลิเมตร ที่มีความยาว 500 มิลลิเมตร พบว่าเพลานำที่มีขนาด 20 มิลลิเมตร ขึ้นไปสามารถรับแรงจากแรงกระทำทั้งหมดได้โดยไม่เกิดการเสียหาย โดยสังเกตจากค่า Von Mises stress และค่า Factor of safety ดังแสดงใน Table 2 และพบว่าการจัดสูงสุดบนเพลาส่งกำลัง (Displacement) จะมีค่าน้อยลงเมื่อขนาดเพลานำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการจัดสูงสุดนั้นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่ติดตั้งสายพาน ดังแสดงใน Figure 3(b) และ 3(d)

Table 2 Von Mises stress, displacement, and safety factor of shaft with different sizes

Size (mm)	Von Mises stress (MPa)	Displacement (mm)	Factor of safety (-)
5	6,580.75	11.22	0.031
10	1,261.46	0.914	0.164
15	480.32	0.224	0.431
20	174.05	0.085	1.188
25	138.03	0.041	1.498
30	48.278	0.023	4.284
35	38.622	0.014	5.355
40	22.363	0.009	9.248

จากการคำนวณขนาดเพลตามโค้ดของ ASME โดยใช้สมการ (4) และการจำลองการรับแรงของเพลด้วยโปรแกรม SolidWorks (Fig. 3) จะพบว่าเพลที่มีขนาดตั้งแต่ 20 มิลลิเมตร ขึ้นไปจะสามารถรับแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเพลได้โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่เพลที่มีขนาด 20 มิลลิเมตร จะมีค่า Factor

of safety ไม่ถึง 1.2 ซึ่งน้อยเกินไปสำหรับการนำไปใช้งานจริง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เพลสังกาลังขนาด 25 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่า Factor of safety เท่ากับ 1.5 โดยขนาดเพล 25 มิลลิเมตรนี้มีขนาดที่ไม่ใหญ่จนเกินไปและเหมาะสมในการนำไปสร้างเพื่อใช้งานจริง

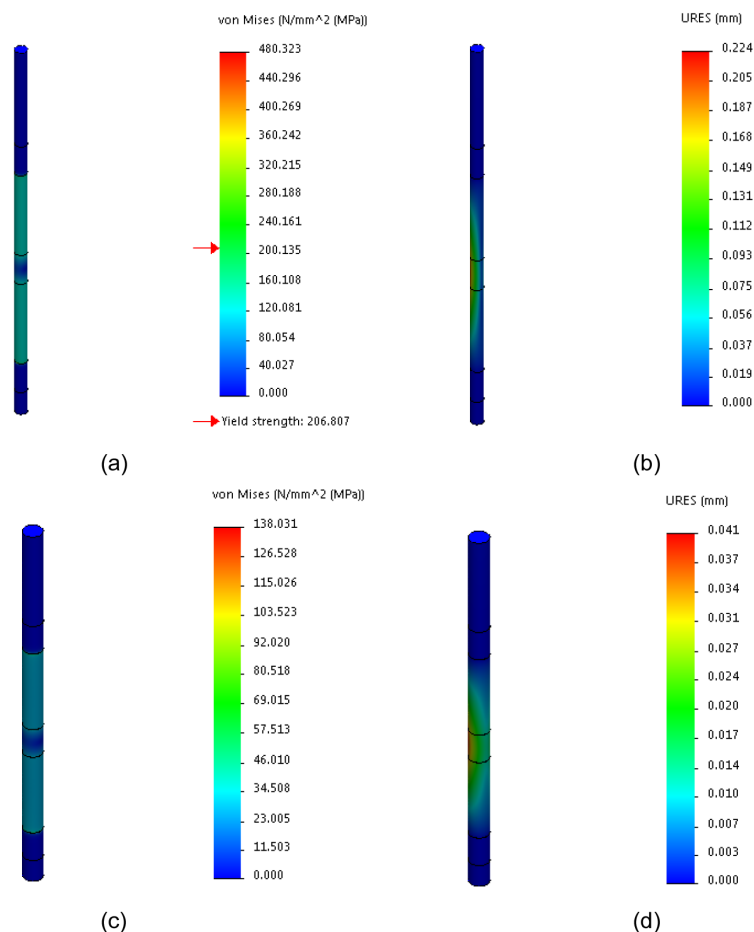


Figure 3 Von Mises stress and displacement of power transmission shaft with size of (a) and (b) 15 mm and (c) and (d) 25 mm

สภาวะที่เหมาะสมของการหมุนเหวี่ยง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัว คือ ความเร็วรอบเพลลา (X_1) เวลาในการหมุนเหวี่ยง (X_2) และขนาดของตะแกรงที่ใช้เป็นตัวกรอง (X_3) ซึ่งกำหนดค่าตัวแปรเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) จากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design เพื่อศึกษาผลของปัจจัยหรือตัวแปรที่มีต่อการแยกน้ำจากกากเจกัวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง พบว่าปริมาณน้ำเจกัวที่ได้หมุนเหวี่ยงได้และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเจกัวแสดงดัง Table 3 จากนั้นวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้ด้วยเทคนิคทางสถิติที่เรียกว่า วิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการหมุนเหวี่ยงและปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ ปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้และปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเจกัวเป็นข้อมูลที่น่าสนใจในการ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) แผนการทดลองเป็นแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new Multiple Range Test; DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูล จาก Table 3 ปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้สูงสุด ได้จากการทดลองที่ความเร็วรอบเพลลา 750 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช โดยจากน้ำหนักกากเจกัวเริ่มต้น 1,000 กรัม จะได้ปริมาณน้ำเจกัว 553.0 ± 12.23 กรัม และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเจกัว $1.498 \pm 0.1\%$

การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในการหมุนเหวี่ยงต่อปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ สามารถใช้วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองในการวิเคราะห์ผลในรูปของ Contour plot และ Surface plot ดังแสดงใน Figure 4(a)-(c)

Table 3 Centrifuge variables and experimental data of centrifuged liquid and total solid yields

Speed (rpm)	Time (s)	Screen size (mesh)	Centrifuged liquid yield (g)	Total solid yield (%)
X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
450	30	250	$339.0^a \pm 19.40$	$1.700^c \pm 0.1$
1,050	30	250	$492.3^{ij} \pm 11.25$	$1.598^{bc} \pm 0.0$
450	90	250	$420.5^{bc} \pm 18.5$	$1.698^c \pm 0.1$
1,050	90	250	$526.5^k \pm 11.5$	$1.595^{bc} \pm 0.0$
450	60	100	$430.3^{cd} \pm 10.75$	$1.498^{ab} \pm 0.1$
1,050	60	100	$439.5^{cd} \pm 8.45$	$1.698^c \pm 0.1$
450	60	400	$403.5^b \pm 7.54$	$1.399^a \pm 0.0$
1,050	60	400	$443.5^{de} \pm 9.03$	$1.598^{bc} \pm 0.0$
750	30	100	$448.3^{def} \pm 6.25$	$1.600^{bc} \pm 0.0$
750	90	100	$553.0^l \pm 12.23$	$1.498^{ab} \pm 0.1$
750	30	400	$485.5^{hij} \pm 13.34$	$1.603^{bc} \pm 0.0$
750	90	400	$470.5^{fgh} \pm 12.67$	$1.602^{bc} \pm 0.2$
750	60	250	$475.3^{ghi} \pm 16.50$	$1.600^{bc} \pm 0.0$
750	60	250	$503.3^l \pm 8.25$	$1.697^c \pm 0.1$
750	60	250	$462.0^{efg} \pm 10.04$	$1.402^a \pm 0.2$

Notes: Data are expressed as mean $\pm$ STD. Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$)

Figure 4(a) แสดงผลของความเร็วยรอบเพลลาที่มีต่อปริมาณน้ำเจกัวที่หมุนเหวี่ยงได้ โดยพบว่าปริมาณน้ำเจกัวจะมีค่ามากที่สุดที่ความเร็วรอบเพลลา 810 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าแปรผันตรงกับความเร็วรอบในช่วง 450 ถึง 810 รอบ

ต่อนาที⁵ แต่ถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 810 ถึง 1,050 รอบต่อนาที จะพบว่าปริมาณน้ำเจกัวที่ได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเครื่องหมุนเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็วที่สูงขึ้น เครื่องจะเกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้นเนื่องจากความไม่สมดุล

และทำให้แรงหนีศูนย์กลางมีค่าน้อยลง จึงเป็นเหตุทำให้ได้ปริมาณน้ำเจากวายน้อยลง

Figure 4(b) แสดงผลของขนาดตะแกรงที่มีต่อปริมาณน้ำเจากวายนี่หมุนเหวี่ยงได้ โดยพบว่าปริมาณน้ำเจากวายนี่หมุนเหวี่ยงได้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ขนาดตะแกรงค่าน้อย เนื่องจากขนาดตะแกรงค่าน้อยจะมีขนาดของรูตะแกรงที่ใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดตะแกรงค่ามาก ดังนั้นโอกาสที่น้ำเจากวายนี่และเศษต้นเจากวายนี่ที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงจะหลุดออกมาได้นั้นมีมากขึ้น แต่ถ้าเลือกใช้ตะแกรงขนาดต่ำกว่า 100 เมช ขนาดของเศษต้นเจากวายนี่อาจจะใหญ่เกินไปซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเจากวายนี่ ผลที่ได้สอดคล้องกับการเลือกขนาดตะแกรงในกระบวนการแปรรูปอาหารหรือเครื่องดื่มโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งขนาดตะแกรงจะต้องไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป และต้องมีความเหมาะสมกับกระบวนการแปรรูปนั้น ๆ^{5, 10}

Figure 4(c) แสดงผลของเวลาในการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อปริมาณน้ำเจากวายนี่หมุนเหวี่ยงได้ โดยพบว่าปริมาณน้ำเจากวายนี่จะมากขึ้นเมื่อใช้เวลาในการหมุนเหวี่ยงนานขึ้น แต่ต้องพิจารณาเรื่องของจุดคุ้มทุนด้วยเพราะถ้าใช้เวลาในการหมุนเหวี่ยงนานเกินไปอาจเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าและเวลาในการทำงานโดยไร้ประโยชน์

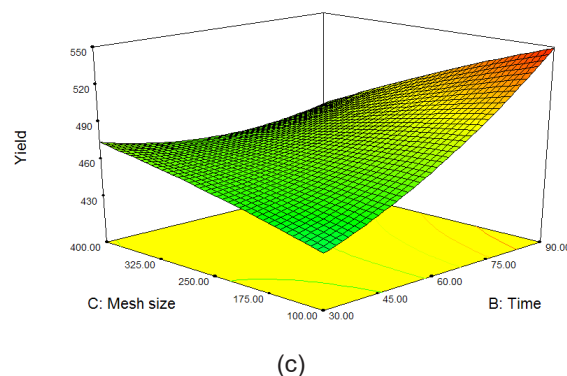
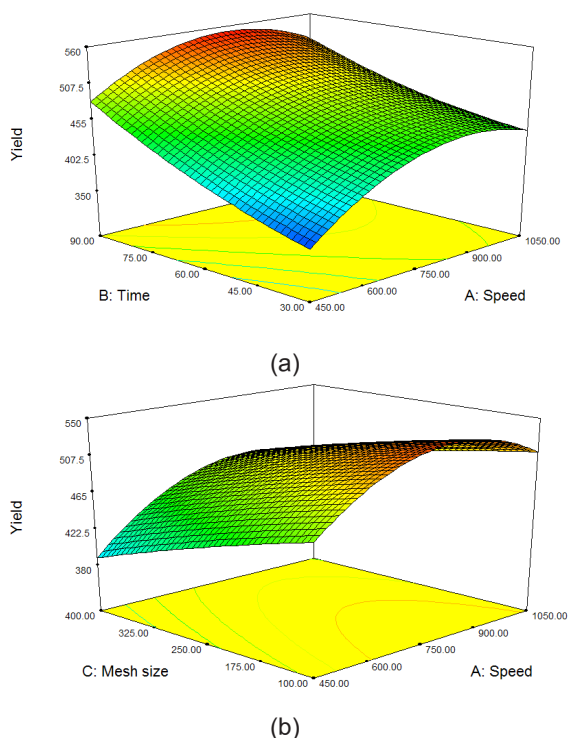


Figure 4 Surface plots of centrifuged liquid yield and variables of (a) shaft speed and time consumption, (b) screen size and shaft speed, and (c) time consumption and screen size

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณน้ำเจากวายนี่ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงและสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเจากวายนี่โดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง สมการจากแบบจำลองการถดถอยแบบ Full quadratic model สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเจากวายนี่หมุนเหวี่ยงได้ (Y_1) และตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความเร็วรอบเพลลา (X_1) เวลาในการหมุนเหวี่ยง (X_2) และขนาดของตะแกรง (X_3) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงในสมการ (8)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำเจากวายนี่ } (Y_1) = & 480.17 + 38.56X_1 + 25.69X_2 \\ & - 8.50X_3 - 11.81X_1^2 + 7.69X_2^2 - 29.94X_1X_3 - 47.86X_1X_2 \\ & + 12.26X_2X_3 - 3.11X_3^2 \quad (8) \end{aligned}$$

จากสมการพบว่าปริมาณน้ำเจากวายนี่มากที่สุดที่ได้จากสมการทำนาย คือ 555.33 กรัม (ต่อน้ำหนักกากเจากวายนี่เริ่มต้น 1,000 กรัม) ซึ่งคำนวณมาจากความเร็วรอบเพลลาที่ 810 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช

สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้ในการแยกน้ำจากกากเจากวายนี่ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำเจากวายนี่หมุนเหวี่ยงได้คือ ความเร็วรอบเพลลา เวลาในการหมุนเหวี่ยง และขนาดของตะแกรง วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) แบบ Box-Behnken

design ได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของการแยกน้ำจากกากเงี้ยวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ได้ออกแบบไว้ และสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยซึ่งอยู่ในรูปสมการพหุนามกำลังสอง โดยสภาวะที่เหมาะสมของการแยกน้ำจากกากเงี้ยวที่ได้จากแบบจำลองคือที่ ความเร็วรอบเพลลา 810 รอบต่อนาที เวลาในการหมุนเหวี่ยง 90 วินาที และขนาดตะแกรง 100 เมช ซึ่งภายใต้สภาวะนี้มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณน้ำเงี้ยว 555.33 กรัม (ต่อน้ำหนักกากเงี้ยวเริ่มต้น 1,000 กรัม) โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการแยกน้ำจากกากเงี้ยวของเครื่องหมุนเหวี่ยงเท่ากับ 55.53%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

1. วิกิพีเดีย. เงี้ยว (พืช) [Internet]. 2561. Available from: [https://th.wikipedia.org/wiki/เงี้ยว_\(พืช\)](https://th.wikipedia.org/wiki/เงี้ยว_(พืช)).
2. พีชเกษตร.คอม.เงี้ยว [Internet]. 2016. Available from: <https://puechkaset.com/เงี้ยว/>.
3. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. ประโยชน์ของเงี้ยว [Internet]. 2012. Available from: www.acfs.go.th.
4. Domingues RCC, Faria Junior SB, Silva RB, Cardoso VL, Reis MHM. Clarification of passion fruit juice with chitosan: Effects of coagulation process variables and comparison with centrifugation and enzymatic treatments. *Process Biochemistry*. 2012;47(3):467-71.
5. Noomhorm A, Tansakul A. Effect of pulper-finisher operation on quality of tomato juice and tomato puree. *Journal of Food Process Engineering*. 1992;15(4):229-39.
6. Sagu ST, Karmakar S, Nso EJ, De S. Primary clarification of banana juice extract by centrifugation and microfiltration. *Separation Science and Technology*. 2014;49(8):1156-69.
7. Yousefnezhad B, Mirsaeedghazi H, Arabhosseini A. Pretreatment of pomegranate and red beet juices by centrifugation before membrane clarification: A comparative study. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;41(2):e12765.
8. Nisbett K, G. Budynas R. Shigley's Mechanical Engineering Design, 10th Edition: McGraw-Hill Education; 2015.
9. ณรงค์ นิยมวิทย์, สุวรรณสิน ไสววงศ์. การผลิตเงี้ยวผง (*Mesona chinensis* Benth.) ใน: รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30 สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ สังคมศาสตร์ ศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2535. หน้า 325-35
10. Tansakul A, Noomhorm A, Bhumiratana S, Patmayothin N. Effect of pulper-finisher specifications on tomato juice characteristics. *ASEAN Food Journal*. 1992;7(1):56-8.