

การออกแบบและทดสอบเครื่องผสมข้าวแนวนอนที่มีใบกวนแบบริบบอน

DESIGN AND TEST OF HORIZONTAL RICE MIXER WITH RIBBON STIRRING BLADE

วันที่รับ: 11 เมษายน 2565

วันที่แก้ไข: 6 มิถุนายน 2565

วันที่ตอบรับ: 9 มิถุนายน 2565

อำนาจ ตงติบ¹ และ พงษ์ธร วิจิตรกุล^{1*}

Amnad Tongtib¹ and Pongtorn Wichitkul^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

¹Department of Energy Management Engineering,

Faculty of Industrial Technology,

Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000

*Corresponding author e-mail: W.pongtorn@gmail.com



บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องผสมข้าวแนวนอนที่มีใบกวนแบบริบบอน และทดสอบหาความเร็วและเวลาที่เหมาะสมในการผสมข้าวสารของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี ตำบลบ้านหม้อ อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดอุดรดิตถ์ ในการออกแบบตัวเครื่องผสมแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นตัวถังผสม ส่วนที่สองเป็นชุดใบกวนเส้นแถบขดเป็นเกลียวสองชั้น ส่วนที่สามเป็นชุดมอเตอร์ที่ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองไปยังเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งชุดมอเตอร์สามารถกำหนดความเร็วและทิศทางในการหมุนของการผสมผ่านชุดควบคุม ในการทดสอบใช้ข้าวจำนวน 200 กิโลกรัม โดยมีสัดส่วนของข้าวหอมมะลิที่มีสีข้าวกับข้าวหัดหิมชุมแพที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ในอัตราส่วน 3:1 จากนั้นทำการทดสอบที่ความเร็วอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 เฮิร์ตซ์ (คิดเป็น 21.75, 29 และ 36.25 รอบต่อนาที ตามลำดับ) โดยการใส่ลูกปัดสีส้มขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 5,000 ลูก เป็นตัวแทนของข้าวที่ผสม ผลที่ได้ถูกนำไปแปรค่าเป็นสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation: CV) ซึ่งใช้เวลาในการผสม 300, 180 และ 30 วินาที ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายน้อยกว่าร้อยละ 30 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปสร้างสมการเพื่อประเมินค่าที่ทำให้การผสมมีค่า CV น้อยกว่าร้อยละ 30 พบว่าใช้เวลาผสม 277, 165 และ 7 วินาทีตามลำดับ ผลของการออกแบบเครื่องผสมข้าวและการทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้

ในการผสมที่เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตที่แรงงานคนเท่ากันและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: การออกแบบเครื่องผสมข้าวแวนอน, ใบกวนริบบอน, สัมประสิทธิ์การกระจาย



Abstract

This research article aims to design a horizontal rice mixer with ribbon stirring blade, and to test the suitable speed and time for mixing of rice in Thongdee Agricultural Processing Community Enterprise in Ban Mor Sub-district, Pichai District, Uttaradit Province. The design of the mixer was divided into three main parts including the first part was a mixer tank. The second part was a ribbon stirring blade which was a double helix. The final part was a motor which functioned to transfer energy to rotary shaft of ribbon stirring blade. The main motor operated through a control unit that could set the speed and rotation direction of the mixer. In the mixing test to determine the mixing speed and time for mixing, 200 kg with red seed coat of White Hom Mali rice and Tum Tim Chum Phae was used at the ratio of 3:1. Then, a test was performed at three inverter frequencies of 15, 20 and 25 Hz (accounted for 21.75, 29 and 36.25 rpm, respectively) by using 5,000 orange beads of 5 mm diameter as representation of the mixed rice. The results were converted into the coefficient of variation (CV) as a criterion for mixing which took durations of mixing including 300, 180 and 30 seconds, respectively with the coefficient of variation of less than 30%. The data obtained from the experiment was used to create an equation to assess the value that caused the mixing to have the distribution coefficient in the acceptable range ($CV \leq 30\%$), and it revealed the time of mixing at 277, 165 and 7 seconds, respectively. The results of the rice mixer design and testing to determine the appropriate mixing speed and time could help increase the production capacity of the same labor and it could reduce the use of electricity accordingly.

Keywords: Horizontal Rice Mixer Design, Ribbon Stirring Blade, Coefficient of Variation



บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งใช้ในการส่งออกและยังใช้บริโภคภายในประเทศ โดยข้าวในประเทศไทยมีหลากหลายประเภท เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า เป็นต้น แต่ละสายพันธุ์นั้นจะมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกันออกไป เช่น รูปทรง ขนาด หรือสีของเมล็ดข้าว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้าวสารหลังจากการสีนึ่งเปลือกออกจะมีสีขาว แต่ก็มีบางชนิดที่มีสีต่างกันไป เช่น ข้าวเจ้าเหลืองที่มีสีของเมล็ดข้าวเป็นสีเหลืองเข้มออกไปทางน้ำตาล ข้าวหอมปทุมที่มีสีเหลืองอ่อน หรือข้าวทับทิมชุมแพที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง เป็นต้น ในกระบวนการผลิตข้าวนั้นแบ่งเป็น การปลูก การแปรรูป และการจำหน่าย ในส่วนของการแปรรูปเป็นกระบวนการที่สำคัญก่อนการนำไปจำหน่ายซึ่งมีขั้นตอนหลัก คือ การสี การผสม และการบรรจุภัณฑ์ โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีกระบวนการและวัตถุประสงค์ที่ต่างกันไป ในส่วนของการผสมนั้นเป็นการนำข้าวที่ต่างสายพันธุ์กันมาผสมให้เข้ากันเพื่อเพิ่มตลาดให้กับผู้จัดจำหน่าย โดยการนำข้าวที่มีราคาสูงมาผสมกับข้าวที่มีราคาต่ำทำให้ราคาของข้าวผสมลดลงและยังช่วยปรับในเรื่องของความนุ่มของข้าวเมื่อหุงแล้วให้เหมาะกับลูกค้าบางกลุ่ม ในการผสมข้าวนั้นมีหลายวิธีในการผสม ซึ่งขึ้นอยู่กับบริบทและเป้าหมาย เช่น ในโรงสีจะใช้เครื่องผสมขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตสูงเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละครั้ง แต่ในครัวเรือน หมู่บ้าน รวมไปถึงกลุ่มวิสาหกิจชุมชนนั้นไม่สามารถที่จะใช้เครื่องผสมขนาดใหญ่ได้ ซึ่งในปัจจุบันใช้วิธีการผสมแบบต่าง ๆ เช่น การเทใส่ถังแล้วเขย่าหรือกวน หรือการเทใส่กะละมังขนาดใหญ่โดยใช้มือคนกวนที่เป็นวิธีใช้แรงงานคนในการผสม โดยที่วิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี ตำบลบ้านหม้อ อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ใช้แรงงาน 3-4 คน ในการผสมข้าวสาร ซึ่งได้ปริมาณเฉลี่ย 800 กิโลกรัมต่อวัน (คิดเป็นกำลังการผลิต 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อคน) ซึ่งไม่ทันต่อการผลิต และวิธีดังกล่าวทำให้เกิดความเสียหายของเมล็ดข้าวและไม่สามารถผสมเข้ากันได้อย่างสม่ำเสมอจึงเกิดความเสียหายเนื่องจากลูกค้าขอคืนสินค้า เป็นต้น (อังกาบ บุญสูง, 2563)

เครื่องผสมทั่วไปมี 2 ลักษณะที่ใช้ คือ ตัวถังเป็นแบบแนวตั้ง และแบบแนวนอน ในแบบแรกเป็นเครื่องผสมที่ตัวถังเป็นแบบแนวตั้งที่ใช้ผสมวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น เครื่องผสมอาหารสัตว์ แบบแนวตั้ง (Balami et al., 2013) ที่ใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ข้าวโพดบด แป้งมันสำปะหลัง และข้าวโพดปอกเปลือก ผสมเข้าด้วยกันด้วยใบกวนที่มีลักษณะเป็นเกลียว หรือถังผสมแนวตั้งที่มีสองชั้นที่ใช้ในการผสมอาหารปลา (Olanayan & Odewole, 2013) โดยวัตถุดิบจะถูกใบกวนผสมดันขึ้นด้านบนและตกลงในชั้นนอกไหลลงสู่ก้นถังผสมอีกที นอกจากนี้ยังมีถังผสมแนวตั้งที่ใช้ใบกวนที่เป็นเกลียวมีดตัดย่อยและทำการผสมหญ้าหมักเพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยไปพร้อมกัน (Mocera & Soma, 2018) เครื่องผสมที่กล่าวมานั้นเป็นลักษณะการส่งกำลัง

จากมอเตอร์เพื่อให้ใบกวนหมุนผสมวัตถุดิบ แต่ก็ยังมีถึงผสมแนวตั้งอีกแบบที่ไม่ใช้ใบกวน แต่จะให้การหมุนตัวถึงผสมโดยหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาสลับกันไปมา วัสดุที่ได้จากการผสมมีลักษณะคลุกเคล้าเข้ากันดีสามารถนำออกจากถังได้ง่าย (ศุภกิตต์ สายสุนทร และคนอื่น ๆ, 2553) ถึงผสมแนวตั้งกล่าวมีข้อดี คือ การระบายวัตถุดิบออก เนื่องจากวัตถุดิบจะไหลจากด้านบนลงสู่ก้นถัง แต่ยังมีวัตถุดิบบางส่วนที่ตกค้างอยู่ที่ขอบของก้นถัง แบบที่สองเป็นเครื่องผสมที่มีตัวถังแวนอน ลักษณะการทำงานทั่วไปจะใช้เพลลาในการหมุน ใบกวนซึ่งจะแตกต่างกันออกไป เช่น ใบกวนที่ใช้เหล็กเส้นเชื่อมติดกับเพลลา (ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม และคนอื่น ๆ, 2559; Makange et al., 2016) หรือเป็นแบบเกลียวที่มีทิศทางการลำเลียงต่างกัน (สุวรรณ หอมหวาน และวิขมา โพธิ์ทอง, 2554; Adebukola & Patrick, 2019; Okolie et al., 2021) ลักษณะใบกวนดังกล่าวทำให้การผสมวัตถุดิบความหนาแน่นสูงได้ดี แต่เกิดปัญหาคือการผสมใช้เวลานานเนื่องจากใบกวนมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมีรูปแบบของใบกวนที่มี 2 ชั้น ที่มีลักษณะเป็นเรียบอน (อภิชาติ ศรีชาติ และคนอื่น ๆ, 2562) โดยที่ใบเกลียวมีช่องว่างระหว่างเพลลาซับกับเกลียวจึงช่วยผสมวัตถุดิบให้ดีขึ้น แต่ก็มีข้อเสียคือใบกวนไม่แข็งแรงจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นและความหนืดสูง ดังนั้นเมื่อนำลักษณะของถังผสมและใบกวนมา พบว่าถึงผสมแบบแวนอนที่ใช้ใบกวนแบบเรียบอนเหมาะสำหรับการผสมวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นและความหนืดที่ไม่สูงมากนัก จึงเป็นแนวคิดในการนำไปใช้ผสมข้าว

จากการศึกษาการออกแบบเครื่องผสมชนิดต่าง ๆ จึงเป็นแนวคิดในการออกแบบเครื่องผสมข้าวแวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน ซึ่งในการทดสอบการผสมของข้าวจะใช้สัมประสิทธิ์การกระจายเป็นเกณฑ์ในการบอกถึงความสามารถในการผสม โดยจะทำการทดสอบผสมข้าวสารที่ได้จากการปลูกในพื้นที่ตำบลบ้านหม้อ อำเภอฟิชัย จังหวัดอุดรธานี โดยการรวมกลุ่มเป็นวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี (สหกรณ์การเกษตรบ้านหม้อ จำกัด) ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะถูกใช้เป็นข้อมูลในการใช้เครื่องผสมที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพของการผสม รวมไปถึงการประหยัดพลังงานซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผสมข้าวได้



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอนสำหรับผสมข้าวสารของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี ตำบลบ้านหม้อ อำเภอฟิชัย จังหวัดอุดรดิติ
2. เพื่อทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสมของเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอนสำหรับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี ตำบลบ้านหม้อ อำเภอฟิชัย จังหวัดอุดรดิติ

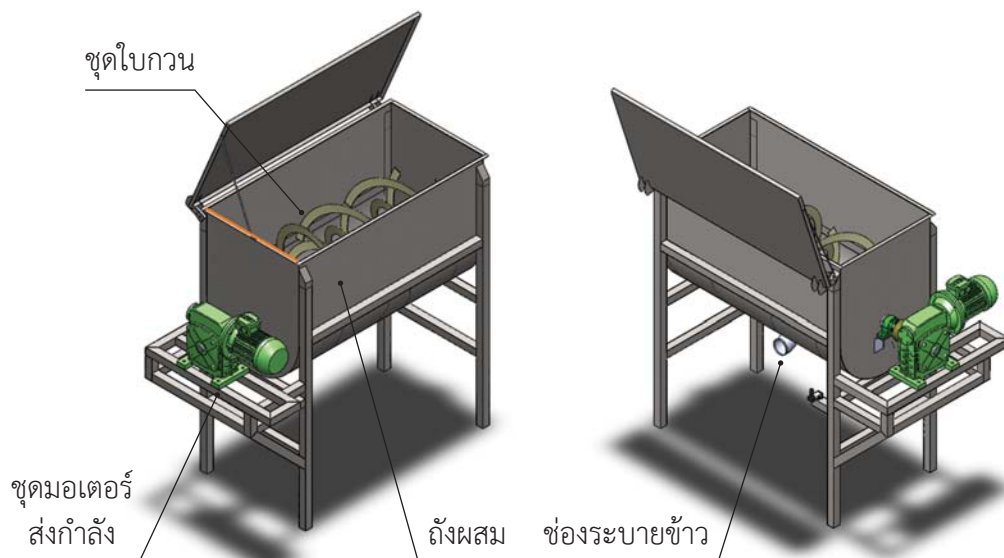


วิธีดำเนินการวิจัย

การทำวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการออกแบบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอนซึ่งเป็นการออกแบบทางวิศวกรรม และส่วนที่สองเป็นการทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสมซึ่งเป็นการใช้ความรู้ทางสถิติในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

1. การออกแบบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน

เครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ถังผสม ชุดใบกวน และชุดมอเตอร์ส่งกำลัง ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 ส่วนประกอบของเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน

ถังผสมมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปผสมของสี่เหลี่ยมผืนผ้ากับครึ่งวงกลม ซึ่งมีความจุ 500 กิโลกรัม ตามความต้องการของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดีและสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ที่จำกัดได้ ชุดใบกวนมีลักษณะเป็นเส้นแถบขดเป็นเกลียวสองชั้น (ชั้นนอกและชั้นใน) เกลียวชั้นนอกแบ่งเป็นสองช่วงที่มีทิศทางการตรงกันข้าม และเกลียวชั้นในแบ่งเป็นสองช่วงเช่นกันแต่มีทิศทางการตรงกันข้ามกับเกลียวชั้นนอก ความจุของการลำเลียงวัสดุของใบเกลียวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$Q = abV_m \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ ความจุของการลำเลียง (kg/s) a คือ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของวัสดุลำเลียง (m^2) b คือ ความหนาแน่นรวมของวัสดุที่ลำเลียง (kg/m^3) และ V_m คือ ความเร็วเฉลี่ยของวัสดุที่ถูกลำเลียง (m/s) ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2)

$$V_m = N_m D_r \quad (2)$$

เมื่อ N_m คือ ความเร็วรอบของการกวน (rad/s) และ D_r คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว (m) และแรงที่ใช้ในการเคลื่อนวัสดุหาได้จากสมการที่ (3)

$$F_L = \mu Q V_m \quad (3)$$

เมื่อ F_L คือ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนวัสดุ (N) L คือ ระยะทางในการลำเลียง (m) μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน จากนั้นสามารถหากำลังของมอเตอร์ได้จากสมการที่ (4)

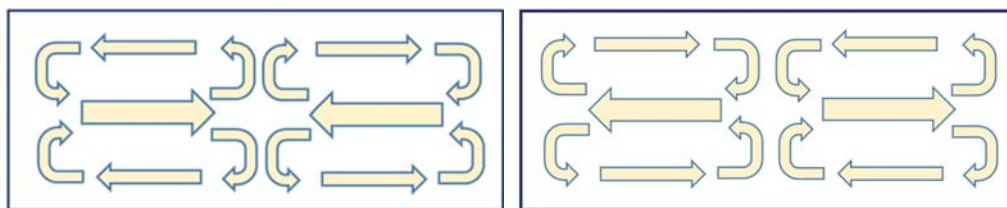
$$P = F_L V_m \quad (4)$$

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ผสมข้าว (Watt, W) จากนั้นพิจารณาตัวแปรที่ใช้ออกแบบแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ

ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ							Q (kg/s)	P (W)
a (m ²)	b (kg/m ³)	V_m (m/s)	N_m (rad/s)	D_r		μ		
				ชั้นนอก	ชั้นใน			
0.7171	750	4.33	7.59	0.346	0.225	0.2	2,329	8,733

โดยที่ a คือ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่ใบกวนลำเลียงวัสดุ b คือ ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของข้าวสารที่ใช้ผสม N_m คือ ความเร็วรอบของการกวน D_r คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวซึ่งมีทั้งชั้นนอกและชั้นใน และ μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งเมื่อแทนค่าในสมการที่ (1) สามารถหาค่าความจุของการลำเลียงได้ คือ 2,329 กิโลกรัมต่อวินาที โดยค่าดังกล่าวเป็นส่วนที่บอกถึงการกระจายตัวของการผสม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่เฉลี่ยที่ของใบกวนและความเร็วรอบของการกวน และเมื่อแทนค่าในสมการที่ (4) สามารถหากำลังของมอเตอร์ได้ คือ 8,733 วัตต์ โดยในการออกแบบเลือกมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า ที่ผ่านอัตราทด 20:1 ทำให้มีกำลัง 74,570 วัตต์ ซึ่งเพียงพอในสำหรับการใช้งานผสมข้าวสารในส่วนของถังผสมและชุดใบกวนทำจากสแตนเลสเกรดอาหาร และชุดใบกวนทำการหมุนกวนโดยที่สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านชุดควบคุม (Inverter) ด้วยความถี่อินเวอร์เตอร์ในหน่วยเฮิร์ตซ์ (Hz) ในการกวนผสมข้าวใบกวนชั้นในจะหมุนกวนข้าวให้ชนกันบริเวณกึ่งกลางของถังกวน ในขณะที่ใบกวนวงนอกจะกวนข้าวออกจากกัน ดังแสดงในภาพ 2 (ก) และเมื่อต้องการนำข้าวออกจากถังผสมจะใช้ทิศทางการหมุนกวนตรงกันข้ามกับในกรณีแรก ลักษณะทิศทางการนำข้าวออกจากถัง แสดงในภาพ 2 (ข)



(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่สำหรับการผสมข้าวในถังผสม

(ข) ทิศทางการเคลื่อนที่สำหรับการระบายข้าวออกจากถังผสม

ภาพ 2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของข้าวในการกวนผสม

2. การทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสม

การทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสมกับการทำงานในแต่ละครั้งจะใช้สัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation: CV) เป็นตัวเปรียบเทียบการกระจายตัวของการผสมข้าว โดยหาได้จาก

$$CV = \frac{S.D.}{\bar{X}} \times 100 \quad (5)$$

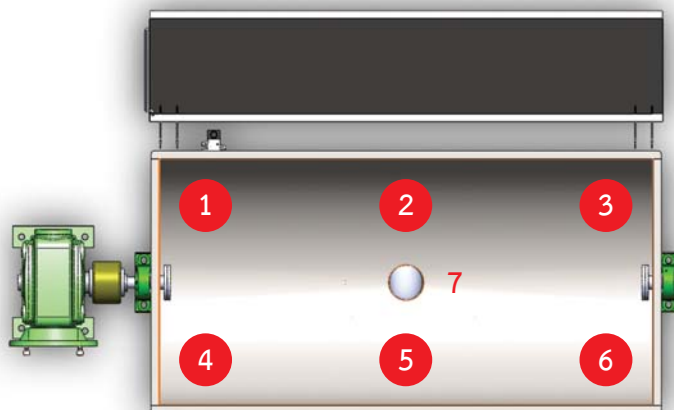
เมื่อ **CV** คือ สัมประสิทธิ์การกระจาย (%) **S.D.** คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งหาได้จากสมการที่ (6) $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

เมื่อ X_i คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน n คือ จำนวนข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวจะถูกใช้ในการวัดค่าการกระจายตัวของการกวนผสมข้าวด้วยความเร็วและเวลาที่ต่างกัน ซึ่งในการทดสอบจะใช้ลูกปัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เป็นตัวแทนของการกระจายตัวของเมล็ดข้าว เนื่องจากขนาดของลูกปัดใกล้เคียงกับขนาดเมล็ดข้าวที่มีความยาว 7 มิลลิเมตร แต่เล็กกว่าเพื่อที่จะสามารถคัดแยกได้ โดยใช้จำนวน 2,500 เมล็ดต่อข้าวสาร 100 กิโลกรัม เช่นเดียวกับงานวิจัยของอภิชาติ ศรีชาติ และคนอื่น ๆ (2562)

ในการทดสอบเริ่มจากการเทข้าวสารจำนวน 200 กิโลกรัม (ข้าวหอมมะลิ 150 กิโลกรัม ที่มีสีข้าว และข้าวทับทิมชุมแพที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง 50 กิโลกรัม) ลงในถังผสม และทำการเทลูกปัดสีส้มขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 5,000 เม็ด ลงในถังผสม จากนั้นทำการเปิดเครื่องผสมที่ความเร็ว 15, 20 และ 25 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ (คิดเป็น 21.75, 29 และ 36.25 รอบต่อนาที ตามลำดับ) ทำการเก็บตัวอย่างด้วยการใช้กระป๋องกลาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร โดยเก็บตัวอย่าง 6 ตำแหน่ง (แสดงในภาพ 3) ที่ความลึกจากผิวข้าวด้านบนลงไป 10 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละตำแหน่งห่างจากขอบของถังผสม 10 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างอีกหนึ่งตำแหน่งที่ช่องระบายข้าว โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 และ 540 วินาที ตามลำดับ หลังจากเก็บตัวอย่างที่ได้ในแต่ละจุดแล้ว ขั้นตอนมาเป็นการแยกลูกปัดออกจากข้าวโดยใช้ตะแกรงร่อนข้าวออกจนเหลือเพียงลูกปัด จากนั้นทำการนับลูกปัดที่ได้ในแต่ละตำแหน่ง และทำการบันทึกผลการทดลอง



ภาพ 3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง



ผลการวิจัย

จากการออกแบบและทดสอบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอนทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่าเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอนสามารถผสมข้าวสารที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและสีที่ต่างกันดี เป็นอย่างดี โดยผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลการออกแบบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน และผลการทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสม

1. ผลการออกแบบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน

ผลการออกแบบเครื่องผสมข้าวแฉวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบอน แสดงในภาพ 4 ซึ่งมีส่วนประกอบ คือ ตัวถัง ขนาด 500 กิโลกรัม ชุดใบกวนเรียบอน (ภาพ 4 (ข)) และชุดมอเตอร์ส่งกำลังที่มีขนาด 5 แรงม้า การทำงานของเครื่องผสมเริ่มจากการนำข้าวสารที่ต้องการผสมสองชนิดตามสัดส่วนที่ต้องการเทลงในถังผสม จากนั้นทำการเปิดเครื่องผสมที่ตู้ควบคุม ดังแสดงในภาพ 4 (ก) โดยกำหนดทิศทางด้วยการเคลื่อนที่ของใบกวนเพื่อทำการผสม (ภาพ 2 (ก)) และปรับความเร็วในการหมุนกวนในหน่วยเฮิร์ตซ์ตามที่ต้องการ เมื่อทำการผสมเสร็จ ข้าวที่ผสมแล้วจะถูกระบายออกที่ช่องบริเวณใต้ถัง (ภาพ 4 (ค)) ที่ช่องระบายนี้ถูกควบคุมการเปิด-ปิดโดยใช้กระบอกสูบดึงช่องระบายด้วยระบบนิวเมติกส์ จากนั้นทำการกลับทิศทางการเคลื่อนที่ของใบกวนเป็นแบบระบายข้าวออกจากถังผสม (ภาพ 2 (ข)) เพื่อนำข้าวส่วนที่เหลือในถังผสมออกให้หมด ลักษณะของข้าวหลังผสมแสดงในภาพ 4 (ง)



(ก) ลักษณะตัวเครื่อง



(ข) ลักษณะใบกวนริบบอน



(ค) การระบายข้าวออกที่ช่องใต้ถัง



(ง) ลักษณะข้าวหลังผสม

ภาพ 4 เครื่องผสมข้าวแวนอนที่มีใบกวนแบบริบบอน

2. ผลการทดสอบหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสม

จากผลการออกแบบเครื่องผสมข้าวแวนอนที่มีใบกวนแบบริบบอน ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการผสมข้าวด้วยความถี่อินเวอร์เตอร์ (ความเร็วของใบกวน) 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 เฮิร์ตซ์ โดยเก็บค่าตัวอย่าง 7 ตำแหน่ง ที่เวลา 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 และ 540 วินาที ตามลำดับ การเก็บตัวอย่างแสดงในภาพ 5 (ก) และ (ข) ผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแสดงในภาพ 5 (ค) และ (ง) จากนั้นนำค่าลูกบัตที่ได้ไปคำนวณหาค่า *S.D.* และ *CV* ในสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ โดยในผลการทดสอบได้ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย ซึ่งผลที่ได้แสดงในตาราง 2, 3 และ 4

(ก) เก็บตัวอย่าง
ด้านบน(ข) เก็บตัวอย่าง
ใต้ถัง(ค) ตัวอย่างที่เก็บ
ทั้ง 7 ตำแหน่ง(ง) จำนวนลูกปัด
ทั้ง 7 ตำแหน่ง

ภาพ 5 ผลการเก็บตัวอย่างและการนับจำนวนลูกปัดที่ได้

ตาราง 2 ผลการทดสอบและการแปรค่าที่ความเร็วมอเตอร์ 15 เฮิร์ตซ์ (21.75 rpm)

เวลา (วินาที)	จำนวนลูกปัด (เฉลี่ย 3 ครั้ง) ที่ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (ลูก)						ช่อง ระบาย ใต้ถัง	$\bar{X}$	S.D.	CV (%)
	ตำแหน่ง ที่ 1	ตำแหน่ง ที่ 2	ตำแหน่ง ที่ 3	ตำแหน่ง ที่ 4	ตำแหน่ง ที่ 5	ตำแหน่ง ที่ 6				
30	6.00	25.67	8.33	13.67	15.67	4.67	23.00	13.86	8.20	59.16
60	5.00	22.67	13.33	9.00	25.33	19.33	35.67	18.62	10.48	56.28
120	7.00	27.67	13.00	9.67	22.00	19.00	35.00	19.05	10.06	52.80
180	16.00	30.67	11.33	13.00	28.00	19.67	37.67	22.33	9.93	44.47
240	19.00	29.33	13.00	15.67	32.33	20.00	33.67	23.29	8.36	35.90
300	19.00	23.00	20.33	32.67	33.00	23.00	23.33	24.90	5.65	22.70
360	19.00	29.33	17.67	20.67	27.33	22.67	33.00	24.24	5.75	23.72
420	23.67	30.33	23.67	19.67	27.67	25.00	29.67	25.67	3.79	14.76
480	22.33	29.67	19.67	25.33	29.67	23.33	32.33	26.05	4.62	17.73
540	24.33	30.67	21.67	30.33	30.33	21.67	33.00	26.67	4.61	17.29

ตาราง 3 ผลการทดสอบและการแปรค่าที่ความเร็วมอเตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ (29 rpm)

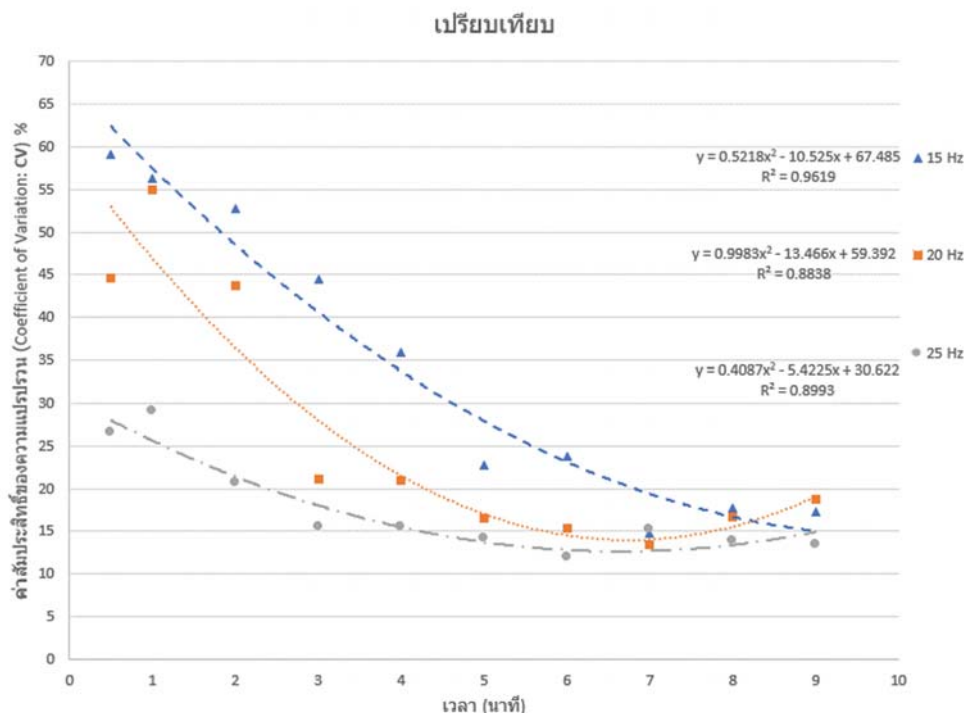
เวลา (วินาที)	จำนวนลูกปัด (เฉลี่ย 3 ครั้ง) ที่ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (ลูก)						ช่อง ระบาย ใต้ถัง	$\bar{X}$	S.D.	CV (%)
	ตำแหน่ง ที่ 1	ตำแหน่ง ที่ 2	ตำแหน่ง ที่ 3	ตำแหน่ง ที่ 4	ตำแหน่ง ที่ 5	ตำแหน่ง ที่ 6				
30	16.67	14.00	12.67	22.67	9.67	10.67	30.33	16.67	7.43	44.57

เวลา (วินาที)	จำนวนลูกปัด (เฉลี่ย 3 ครั้ง) ที่ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (ลูก)							$\bar{X}$	S.D.	CV (%)
	ตำแหน่ง ที่ 1	ตำแหน่ง ที่ 2	ตำแหน่ง ที่ 3	ตำแหน่ง ที่ 4	ตำแหน่ง ที่ 5	ตำแหน่ง ที่ 6	ช่อง ระบาย ใต้ถัง			
60	12.67	16.33	9.00	15.00	18.33	10.00	36.33	16.81	9.23	54.91
120	9.67	22.33	11.67	9.67	22.67	14.00	31.33	17.86	7.81	43.73
180	15.00	16.67	12.00	16.00	18.00	13.67	22.67	16.29	3.43	21.05
240	18.33	25.00	17.00	19.00	26.33	19.33	28.67	21.95	4.60	20.96
300	26.67	29.67	20.67	24.67	31.33	24.00	33.33	27.19	4.48	16.48
360	26.33	28.00	20.67	27.33	34.00	26.33	31.67	27.76	4.26	15.35
420	24.67	35.00	24.33	27.33	28.00	25.00	29.00	27.62	3.72	13.47
480	21.33	31.67	26.00	30.33	32.33	24.33	34.33	28.62	4.78	16.70
540	26.33	37.33	23.67	26.00	36.67	27.67	26.67	29.19	5.47	18.74

ตาราง 4 ผลการทดสอบและการแปรค่าที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 25 เฮิร์ตซ์ (36.25 rpm)

เวลา (วินาที)	จำนวนลูกปัด (เฉลี่ย 3 ครั้ง) ที่ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (ลูก)							$\bar{X}$	S.D.	CV (%)
	ตำแหน่ง ที่ 1	ตำแหน่ง ที่ 2	ตำแหน่ง ที่ 3	ตำแหน่ง ที่ 4	ตำแหน่ง ที่ 5	ตำแหน่ง ที่ 6	ช่อง ระบาย ใต้ถัง			
30	18.67	24.33	10.67	23.67	21.67	14.33	22.33	19.38	5.14	26.52
60	16.00	25.00	21.33	20.33	30.00	20.67	37.00	24.33	7.08	29.09
120	19.67	27.33	20.33	22.67	30.67	25.33	34.00	25.71	5.33	20.73
180	25.00	30.67	27.33	24.33	28.67	23.33	33.67	27.57	3.72	13.49
240	21.67	31.33	27.00	26.33	32.67	25.00	33.33	28.19	4.36	15.47
300	26.00	31.33	22.33	23.67	32.33	28.00	31.00	27.81	3.95	14.20
360	26.67	33.00	25.67	26.33	30.33	27.33	34.33	29.10	3.48	11.96
420	24.33	34.33	26.33	30.00	33.00	27.33	37.00	30.33	4.63	15.27
480	29.67	35.33	26.00	29.00	35.33	26.67	36.00	31.14	4.32	13.87
540	28.67	31.67	28.33	39.00	29.67	35.00	38.00	32.90	4.44	13.50

จากผลการทดสอบในตาราง 2, 3 และ 4 นำค่า CV และเวลาที่ใช้ในการผสมของแต่ละความถี่อินเวอร์เตอร์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์แสดงในภาพ 6



ภาพ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการผสม กับสัมประสิทธิ์การกระจายของแต่ละความถี่อินเวอร์เตอร์



อภิปรายผลการวิจัย

สำหรับผลการผสมข้าวที่คณะวิจัยได้ทดสอบการผสมที่ปริมาณ 200 กิโลกรัม เนื่องจากในการใช้งานจริงคณะวิจัยได้นำเครื่องผสมไปใช้กับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี (สหกรณ์การเกษตรบ้านหม้อ จำกัด อำเภอฟิชัย จังหวัดอุดรธานี) ซึ่งเป็นผู้ทำการแปรรูปและจัดจำหน่ายข้าวสารขนาดเล็ก โดยในการผสมแต่ละครั้งผู้ใช้ต้องการผสมเพื่อบรรจุใส่ถุงจำหน่าย บรรจุภัณฑ์ข้าวสารมีขนาด 15 กิโลกรัม เป็นหลัก โดยมีเป้าหมายในการผสมต่อครั้งได้ 10 ถุง ทำให้ในการใช้งานเครื่องเพื่อผสมแต่ละครั้งต้องใช้ปริมาณมากกว่า 150 กิโลกรัม จึงเป็นสาเหตุในการทดสอบได้ทำการผสมที่ปริมาณ 200 กิโลกรัม ในส่วนของการทำงานของเครื่องผสมข้าวแวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบ ซึ่งมีลักษณะดังและใบกวนเช่นเดียวกับอภิชาติ ศรีชาติ และคนอื่น ๆ (2562) การทำงานแบ่งเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ การผสมและการระบายข้าวออก ในส่วนของการผสมชุดใบกวนชั้นในจะทำการกวนข้าวให้ผสมกันบริเวณกลางถึง ในขณะที่ชุดใบกวนชั้นนอกจะทำการกวนข้าวออกจากกลางถึง ซึ่งการทำงานดังกล่าวช่วยทำให้การกระจายตัวของข้าวเป็นไปอย่างทั่วถึง แต่ในการระบาย

ข้าวออกนั้นต้องทำการกลับทิศการหมุนของใบกวนซึ่งทำให้ชุดใบกวนขึ้นนอกทำการกวาดข้าวเข้าสู่บริเวณกลางถังผสมซึ่งมีช่องระบายอยู่ จากนั้นเมื่อทำการเปิดช่องระบายข้าวจึงถูกส่งออกจากถังไปยังภาชนะที่รองรับ แต่เมื่อใช้งานเครื่องผสมไประยะเวลาหนึ่งพบว่ามีเศษเมล็ดข้าวได้เข้าไปอยู่ที่ช่องเปิด-ปิดการระบาย ทำให้ไม่สามารถเปิดช่องระบายได้อย่างเต็มที่ จึงเป็นเหตุให้ใช้เวลาในการระบายข้าวออกจากถังนาน ดังนั้นหลังการใช้งานเครื่องผสมทุกครั้งต้องทำความสะอาด ตรวจสอบเช็คช่องระบายว่ามีเมล็ดข้าวค้างไว้หรือไม่ เพื่อที่ในการใช้งานครั้งต่อไปจะไม่เกิดปัญหาและไม่เสียเวลาในการระบายข้าวออกจากถังผสมนานเกินไป

จากผลการทดสอบการผสมข้าวสารที่ความเร็วในการผสมที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปการกระจายตัวของข้าวสารที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบมีแนวโน้มที่ลดลงทั้งหมด ดังแสดงในภาพ 6 แต่ที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ ที่เวลา 60 วินาที ค่า CV มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับที่เวลา 30 วินาที และค่อย ๆ ลดลงในเวลาต่อมา สาเหตุดังกล่าวเกิดจากในช่วงแรกของการผสมลูกปัดที่ใช้เป็นตัวแทนยังกระจุกอยู่ในบางตำแหน่ง ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปลูกปัดจะเริ่มกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและค่า CV มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจน ลักษณะการผสมดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้จากการผสมที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ต่ำ (ความเร็วต่ำ) ซึ่งสอดคล้องกับการผสมที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 15 เฮิร์ตซ์ คือ ที่เวลา 60 และ 120 วินาที ค่า CV ที่ได้มีค่าไม่ต่างกันมากนัก แต่เมื่อเวลาผ่านไปแนวโน้มของการกระจายตัวของลูกปัดนั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของความถี่อินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบโดยใช้การกระจายตัวของการผสมที่ CV น้อยกว่าร้อยละ 30 เป็นเกณฑ์ พบว่าการผสมที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 15 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 300 วินาที ในการผสมที่ทำให้ค่า CV ต่ำกว่าร้อยละ 30 และเมื่อเวลาหลังจากเวลา 360 วินาที ค่า CV ยังคงมีค่าอยู่เกณฑ์ที่กำหนดโดยมีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 14.76 ที่เวลา 420 วินาที ถัดมาที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ พบว่าใช้เวลาในการผสม 180 วินาที ทำให้ CV อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดโดยมีค่าร้อยละ 21.05 และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 540 วินาที ค่า CV ยังคงอยู่ในเกณฑ์โดยมีค่าน้อยที่สุดคือร้อยละ 13.47 ที่เวลา 420 วินาที และสุดท้ายที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 25 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลาในการผสม 30 วินาที ที่ทำให้ค่า CV อยู่ในเกณฑ์โดยมีค่าร้อยละ 26.52 แต่จะเห็นได้ว่าที่เวลา 60 วินาที ค่า CV มีค่าสูงขึ้นเป็นร้อยละ 29.09 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ ที่ค่า CV มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับที่เวลา 30 วินาที และค่อย ๆ ลดลงในเวลาต่อมา แต่ในกรณีความถี่อินเวอร์เตอร์ 25 เฮิร์ตซ์ มีค่า CV ที่สูงขึ้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดโดยมีค่าร้อยละ 29.09 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสามารถบอกได้ว่าที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 25 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลาในการผสม 30 วินาที ที่ทำให้การผสมอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัย

ของอเดบูโคล่า และแพทริก (Adebukola & Patrick, 2019) ที่มีกระบวนการทดสอบและหาค่า CV เดียวกัน แต่ในงานวิจัยดังกล่าวใช้ผสมอาหารสัตว์ (ข้าวโพดบดและถั่วลิสงบด) พบว่าเมื่อความเร็วของเครื่องผสมเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการผสมจะลดลง จากนั้นเมื่อพิจารณาสมการที่ได้จากการประมาณค่าของข้อมูลการกระจายตัวของข้าวกับเวลาที่ใช้ผสมที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ทั้งสามด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (แสดงในภาพ 6) และใช้การกระจายตัวที่มีค่า CV เท่ากับร้อยละ 30 ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการผสม พบว่าเครื่องผสมใช้เวลาในการผสม 277, 165 และ 7 วินาที สำหรับความถี่อินเวอร์เตอร์ 15, 20 และ 25 เฮิรตซ์ ตามลำดับ ซึ่งในการผสมข้าวสารด้วยเครื่องผสมจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที สำหรับการเทข้าวลงในถังผสมและระบายข้าวออกจากถังผสมโดยใช้แรงงานที่ 2 คน และเมื่อคิดเป็นการผสมหนึ่งรอบ จะใช้เวลาประมาณ 20, 18 และ 16 นาที คิดเป็นกำลังการผลิต 300, 333.84 และ 375 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อคน สำหรับความถี่อินเวอร์เตอร์ 15, 20 และ 25 เฮิรตซ์ ตามลำดับ เมื่อนำผลที่ได้ไปเทียบกำลังการผลิตด้วยแรงคน (25 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อคน) พบว่ามีค่าดีกว่าถึง 12, 13.35 และ 15 เท่า ตามลำดับ ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าการผสมข้าวสารด้วยเครื่องผสมก่อนที่ผู้วิจัยจะเข้าไปทดสอบ ทางวิสาหกิจชุมชนได้ใช้งานเครื่องที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิรตซ์ ที่เวลาผสม 5 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 นาที ชี้ให้เห็นว่าสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 40



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทความวิจัยนี้ได้มีการออกแบบเครื่องผสมข้าวแวนอนที่มีใบกวนแบบเรียบขน ตัวเครื่องผสมมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ถังผสมแวนอน ชุดใบกวนแบบเรียบขน และชุดมอเตอร์ส่งกำลัง ตัวถังผสมและชุดใบกวนทำจากสแตนเลสเกรดอาหาร (Stainless 304) โดยถังผสมมีหน้าตัดเป็นรูปผสมของสี่เหลี่ยมผืนผ้าและครึ่งวงกลม ซึ่งมีความจุ 500 กิโลกรัม ใบกวนที่ใช้ผสมแบ่งเป็นเกลียวสองชั้น คือ เกลียวชั้นนอก และเกลียวชั้นใน ซึ่งแต่ละชั้นแบ่งเป็นสองช่วงที่มีทิศทางของเกลียวตรงกันข้ามทำให้เกิดการกวนผสมได้เป็นอย่างดี ส่วนของชุดมอเตอร์ส่งกำลังถูกสั่งการทำงานจากกล่องควบคุมที่สามารถควบคุมได้ทั้งความเร็วและทิศทางการหมุน ซึ่งมีสองทิศทำให้ในการทำงานของเครื่องแบ่งเป็นทิศทางของการผสมและทิศทางในการระบายข้าวออก โดยผ่านช่องระบายที่อยู่บริเวณกึ่งกลางด้านล่างของถังผสม จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อหาความเร็วและเวลาที่ใช้ในการผสม โดยทดสอบความเร็วในการหมุนกวนด้วยการปรับความถี่อินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ คือ 15, 20, และ 25 เฮิรตซ์ ตามลำดับ (คิดเป็น 21.75, 29 และ 36.25 รอบต่อนาที ตามลำดับ) โดยในการทดสอบ

ใช้ข้าวสารผสมในอัตราส่วน 3:1 คือ ผสมด้วยข้าวหอมมะลิที่มีสีข้าว 150 กิโลกรัม กับข้าว หักทิมชุมแพที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง 50 กิโลกรัม รวมเป็น 200 กิโลกรัม และใช้ลูกปัดสีส้มขนาด 5 มิลลิเมตร เป็นตัวแทนของเมล็ดข้าวที่ผสม ผลที่ได้ถูกนำไปแปรค่าเป็นสัมประสิทธิ์การกระจาย โดยค่าที่ได้น้อยกว่าร้อยละ 30 ใช้เวลา 300, 180 และ 30 วินาที สำหรับความถี่อินเวอร์เตอร์ 15, 20 และ 25 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาที่ใช้ผสมกับสัมประสิทธิ์การกระจายตัว สามารถประมาณเส้นกราฟเป็นสมการพหุนาม กำลังสองและนำไปวิเคราะห์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการผสมที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายอยู่ ในช่วงที่รับได้ (CV น้อยกว่าร้อยละ 30) ใช้เวลาในการผสม 277, 165 และ 7 วินาที สำหรับ ความถี่อินเวอร์เตอร์ 15, 20 และ 25 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ผลที่ได้ทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 12, 13.35 และ 15 เท่า ในด้านของการใช้แรงงานคน และประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง ร้อยละ 40 ที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าที่ระดับความถี่อินเวอร์เตอร์ 25 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลาในการผสม 30 วินาที ซึ่งใช้เวลาน้อยที่สุด แต่ในการใช้งานจริงนั้นชุดมอเตอร์ส่งกำลังได้เริ่มต้นทำงาน โดยความเร็วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงที่ตั้งไว้ นั่นคือช่วงระยะเวลาที่เริ่มทำงานสั้นเมื่อทำการผสม เสร็จจึงทำการหยุดการทำงาน ในส่วนนี้จะมีผลกับอายุการใช้งานของชุดมอเตอร์ส่งกำลัง นอกจากนี้ที่ความเร็วในการผสมสูงขึ้นจะมีผลต่อการแตกหักเสียหายของเมล็ดข้าว ดังนั้น ในการใช้งานจริงผู้วิจัยแนะนำให้ใช้ที่ระดับความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ โดยใช้เวลาในการ ผสม 165 วินาที หรือประมาณ 3 นาที

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการออกแบบใบกวนยังมีแง่มุมของการปรับขนาดความกว้างของเส้นแถบที่ขด เป็นเกลียว จำนวนของใบเกลียว รวมไปถึงระยะห่างของแต่ละเกลียว ค่าดังกล่าวเป็นการเพิ่ม พื้นที่ของใบกวนซึ่งส่งผลกับความจุของการลำเลียง (Q) ที่เมื่อเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของ การผสมจะมีค่าดีขึ้น โดยในการออกแบบอาจใช้วิธีการสร้างแบบจำลองของชุดใบเกลียวและ ถังผสมเพื่อทดสอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) และทำการ หาลักษณะการกระจายตัวของการผสมที่ดีที่สุด แต่ต้องคำนึงถึงกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ (P) ที่จะต้องเพียงพอต่อการใช้งาน



กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการแผนงานพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชนในพื้นที่ ประจำปี 2564 และวิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี (สหกรณ์การเกษตรบ้านหม้อ จำกัด) อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และวัตถุดิบในการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้



เอกสารอ้างอิง

- ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, วิทยา อิมสำราญ, พิทักษ์ บุญไทย, และสุภา สีสนมาก. (2559). เครื่องผสมพร้อมกับอัดเม็ดปุ๋ย. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3 จังหวัดขอนแก่น* (น. 14–22). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศุภกิตต์ สายสุนทร, ปณณธร ภัทรสถาพรกุล, วิภา ซาลิยุทธ, เยาวลักษณ์ พัสดู, และนรินทร์ จันทวงศ์. (2553). การพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 3(1), 25–28.
- สุวรรณ หอมหวาน และวัชมา โพธิ์ทอง. (2554). การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตอาหารที่เอ็มอาร์ สำหรับฟาร์มโคนมขนาดเล็ก. *วิทยาสารกำแพงแสน*, 9(1), 13–26.
- อภิชาติ ศรีชาติ, วีระพล แก้วก่า, และกวีพงษ์ หงส์ทอง. (2562). การพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แวนอนด้วยใบกวน 2 ชั้น. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 5(2), 38–48.
- อังกาบ บุญสูง. (2563). *การพัฒนากระบวนการผสมข้าวพิษณุโลก 80สู่การส่งเสริมทางการตลาดของข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำ (Thai Low GI Rice) วิสาหกิจชุมชนแปรรูปการเกษตรทองดี (สหกรณ์การเกษตรบ้านหม้อ จำกัด)*. อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.
- Adebukola, A. A., & Patrick, O. A. (2019). Development and evaluation of a fish feed mixer. *Agricultural Engineering international: The CIGR Journal*, 21(3), 226–233.
- Balami, A. A., Adgidzi, D., & Mua'zu, A. (2013). Development and testing of an animal feed mixing machine. *International Journal of Basic and Applied Science*, 1(3), 491–503.
- Makange, N. R., Parmar, R. P., & Sungwa, N. (2016). Design and fabrication of an animal feed mixing machine. *Advances in Life Sciences*, 5(9), 3710–3715.

- Mocera, F., & Soma, A. (2018). Working cycle requirements for an electrified architecture of a vertical feed mixer vehicle. In *AIAS 2018 International Conference on Stress Analysis* (pp. 213–223).
- Okolie, P. C., Obika, E. N., Oluwadare, B. S., Azaka, O. A., & Okolie, U. O. (2021). Steel work design, production and analysis of a fish feed mixing machine. *Heliyon*, 7(8), e07658.
- Olaniyan, A. M., & Odewole, M. M. (2013). Design and development of a livestock feed mixer with spring-controlled packaging unit. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 9, 43–55.