

การพัฒนาและทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบเครื่องผสมวัสดุปลูกและบรรจุกระถาง สำหรับการผลิตพืชโรงเรือน

Development and performance test of a prototype of a growing substrate mixing and pot filling machine for greenhouse crops production

วันรัฐ अबดุลลาการิม^{1*}, เซาว์ อินทร์ประสิทธิ์² และ วิชัย หมอชาติ¹

Wanrat Abdullakasim^{1*}, Chouw Inprasit² and Wichai Moyadee¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

²ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

²Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องผสมวัสดุปลูกและบรรจุกระถางสำหรับการผลิตพืชโรงเรือน เครื่องผสมที่ออกแบบมี
การทำงานเป็นแบบกะ มีปริมาตรบรรจุของถึงผสม 0.5 ลบ.ม. ใช้ใบกวนแบบใบพาย หมุนด้วยความเร็วรอบ 36 รอบ/นาที สามารถใช้
กับวัสดุปลูก 4 ชนิดคือ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ แกลบดิบ และผงถ่านแกลบ เครื่องผสมมีระบบสกรูลำเลียงวัสดุปลูกที่ผสมแล้ว
ขึ้นมาบรรจุใส่กระถางและลำเลียงด้วยสายพานลำเลียงเพื่อส่งเข้าโรงเรือน การทดสอบความต้องการกำลังขับที่ปริมาตรวัสดุ 25%, 50%
และ 75% ของปริมาตรสูงสุด และที่ความเร็วรอบเพลาใบกวน 24, 36 และ 48 รอบ/นาที พบว่าสำหรับวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด มีความ
ต้องการกำลังขับที่แปรผันตรงกับปริมาตรวัสดุในถังผสมความเร็วรอบใบกวนที่เหมาะสมเท่ากับ 36 รอบ/นาทีที่ต้องการกำลังขับ 1.63
กิโลวัตต์ โดยผงถ่านแกลบเป็นวัสดุปลูกที่ต้องการกำลังขับสูงสุด การทดสอบสมรรถนะการผสมพบว่าเครื่องผสมมีอัตราเร็วในการผสม
เข้ากันได้ดีในเวลา 2 นาที และจะผสมเข้ากันได้ดีที่สุดที่สัปดาห์ภายในเวลา 5 นาที ได้ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรต่ำสุดเท่ากับ 11.06% และค่า
ดัชนีการผสมสูงสุดเท่ากับ 0.99 เครื่องต้นแบบมีอัตราการบรรจุกระถางขนาด 10 ลิตร 360 กระถาง/ชม. ที่การผสมกะละ 5 นาที
คำสำคัญ: เครื่องผสม; เครื่องบรรจุกระถาง; วัสดุปลูก; พืชโรงเรือน

ABSTRACT: The objective of this study was to develop a substrate mixing and pot filling machine for greenhouse crops production. A batch-type mixer with a capacity of 0.5 m³ has been developed. The paddle-type agitator rotating at 36 rpm was used. Four types of growing substrates were used, including coir dust, chopped coconut bract, rice husk, and rice husk charcoal. The mixer has a screw conveyor for elevating the mixed substrates to the pot filling unit equipped with a belt conveyor. Experiments at substrate volumes of 25%, 50% and 75% of full capacity, and the paddle rotating speeds of 24, 36 and 48 rpm resulted in that the power requirement linearly correlated with the substrate volume. The optimal paddle shaft speed was 36 rpm, rendering a power requirement of 1.63 kW, and the rice husk charcoal consumed highest power. Testing indicated that the substrates were uniformly blended in 2 min and best mixed within 5 min with a coefficient of variation of 11.06% and a mixing index of 0.99. The fill rate for 10-L pots was 360 pots/h at a mixing time of 5 min/batch.

Keywords: mixer; pot filler; growing substrate; greenhouse crops

* Corresponding author: fengwra@ku.ac.th

Received: date May 27, 2021; Accepted: date May 3, 2022; Published: date June 30, 2022

บทนำ

ปัจจุบันการผลิตพืชในโรงเรือนมีแนวโน้มได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นทั่วโลก (FAO, 2017) แม้ว่าอาจยังไม่แพร่หลายสำหรับบางประเทศในทวีปเอเชียและแปซิฟิก แต่ก็มียุคเกษตรกรรมเริ่มพัฒนาโรงเรือนต้นตุน้ำสำหรับปลูกพืชร่วมกับการใช้ระบบน้ำหยด (FAO, 2020) ในประเทศไทยการปลูกพืชโรงเรือนได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับความต้องการของพืช สามารถควบคุมวัชพืช โรคและแมลงได้ง่าย ลดการใช้น้ำและสารเคมี ทำให้สามารถผลิตพืชมูลค่าสูงที่ให้ผลตอบแทนต่อพื้นที่สูง ซึ่งอาจจะเป็นการปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต ผลิตเมล็ดพันธุ์ หรือผลิตต้นกล้าจำหน่าย บุญทริกา และคณะ (2562) ศึกษารายได้และค่าใช้จ่ายการปลูกเมล่อนของเกษตรกรในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าเกษตรกรมีรายได้สุทธิหลังหักค่าใช้จ่ายจากการทำฟาร์มเมล่อนขนาดเล็กเฉลี่ยสูงถึง 201,354 บาท/รอบเก็บเกี่ยวนอกจากนั้นการปลูกพืชโรงเรือนยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะในการผลิตได้ เช่น การพัฒนาโรงเรือนปลูกพืชควบคุมอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย (พรรณวิภา และคณะ, 2558) และการควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบพ่นหมอก (เฉลิมชาติ, 2560)

สำหรับการผลิตพืชโรงเรือนแบบใช้วัสดุปลูก คุณภาพของผลผลิตขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก เช่น ความหนาแน่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความพรุน ความเสถียรต่อการย่อยสลาย และสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ความเป็นกรดต่างความสามารถในการนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนกับไนโตรเจน เป็นต้น วัสดุปลูกพืชโรงเรือนมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น พีทมอส เปลือกไม้สับ ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว แกลบ ผงถ่าน และสารอนินทรีย์ เช่น เวอร์มิคูไลต์ เพอร์ไลต์ ดินเผา ไยหิน และพอลิสไตรีน เป็นต้น (Goldammer, 2019) Nguyen and Wang (2017) ศึกษาวัสดุเพาะกล้าเมล่อน (*Cucumis melo* L.) 4 ชนิด ได้แก่ ก้อนเห็ดเก่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ปุ๋ยคอก และขุยมะพร้าว ที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน พบว่าการใช้ก้อนเห็ดเก่า 50% ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน 30% และขุยมะพร้าว 20% ให้ผลดีที่สุด Wang et al. (2016) ศึกษาสมบัติของวัสดุปลูกขุยมะพร้าว พีทมอส เพอร์ไลต์ และแกลบ ในอัตราส่วนผสมแตกต่างกันในการปลูกสตรอเบอรี่ (*Fragaria ananassa*) พบว่าการใช้ขุยมะพร้าว 100% ส่งผลให้สตรอเบอรี่มีขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักแห้ง และผลผลิตสูงที่สุด และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการปลูกในดิน

การผสมขุยมะพร้าว 50% โดยปริมาตรลงในวัสดุปลูกผสมจากถ่านแกลบ แกลบดิบ ทราวย และปุ๋ยหมัก สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น โดยลดความหนาแน่น เพิ่มความพรุน ช่องว่างขนาดเล็ก และประสิทธิภาพการใช้น้ำของดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta*) และถ้าเพิ่มอัตราส่วนขุยมะพร้าวเป็น 75% จะช่วยลดการชะล้างไนเตรตและฟอสเฟสในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นด้วย(ธนาภานต์ และ ภาณุพล, 2556; Hongpakdee and Ruamrungsri, 2015) Jankauskiene et al. (2015) พบว่าการใช้ไยหินเป็นวัสดุปลูกส่งผลให้มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) มีน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าการใช้ขุยมะพร้าว ในขณะที่มะเขือเทศที่ปลูกในขุยมะพร้าวให้ผลผลิตรวมถึงมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่า ส่วนอัตราการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับพันธุ์

ในต่างประเทศมีการใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติในขั้นตอนต่าง ๆ ในระบบผลิตพืชโรงเรือน ตั้งแต่การผสมวัสดุปลูก การบรรจุวัสดุปลูกในภาชนะ การเตรียมเมล็ดพันธุ์หรือกิ่งพันธุ์ การเพาะกล้าและอนุบาลกล้า การให้ปุ๋ยและน้ำ การควบคุมสภาวะภายในโรงเรือน และการเก็บเกี่ยว (Coker et al., 2010) อย่างไรก็ตาม ในการผลิตพืชโรงเรือนในประเทศยังคงขาดแคลนเทคโนโลยีเครื่องจักรกลที่สามารถทุนแรงและทำงานเป็นระบบ รวมถึงขั้นตอนการผสมวัสดุปลูกและบรรจุภาชนะปลูกยังคงอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก หรืออาศัยเครื่องจักรกลที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้การขยายขนาดธุรกิจและการแข่งขันเป็นไปได้ยาก ในด้านการวิจัยพัฒนาเครื่องผสม อภิชาติ และคณะ (2562) พัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบบริบบอนสองชั้นที่สามารถให้ความสม่ำเสมอพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การผันแปรเท่ากับ 28.6% ที่เวลา 210 วินาที ศุภกิตต์ และคณะ (2553) พัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุน ขนาด 0.1 ลบ.ม. ใช้เวลาในการผสม 20 นาที พินิจ และคณะ (2558) พัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย พบว่าการใช้แม่ปุ๋ยที่มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันจะช่วยให้การผสมมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ปัจจุบันมีผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องผสมสำหรับดิน ปุ๋ย หรืออาหารสัตว์ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดบรรจุตั้งแต่ 0.15–1 ลบ.ม. ในทางอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมเกษตร อาหารและยา มีการวิจัยพัฒนาเครื่อง

ผสมที่สามารถนำหลักการมาประยุกต์ใช้ รัชดา และคณะ (2555) ประเมินประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบเครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิด ธิบบอน โดยพิจารณาความสม่ำเสมอของการผสมตามเกณฑ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2553) ที่กำหนดให้ค่า สัมประสิทธิ์การผันแปรไม่เกิน 20% Bridgwater (2012) ได้อธิบายไว้อย่างครอบคลุมเกี่ยวกับหลักการผสมด้วยวิธีทางกลสำหรับวัสดุที่ ลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็กหรือเป็นเม็ด (Granular materials) ที่สำคัญมี 3 กลไก คือนำพาวัสดุ (Convection) การแพร่ (Diffusion) และการเฉือน (Shear) และยังได้อธิบายเกี่ยวกับเครื่องผสมชนิดต่าง ๆ เช่น ชนิดถังหมุน ซึ่งมีทั้งแบบถังทรงกระบอกตรงศูนย์และเอียง ศูนย์ ถังหมุนแบบกรวยคู่ และแบบรูปตัววี และเครื่องผสมชนิดใช้อุปกรณ์การกวน (Rotor) เช่น แบบธิบบอน และแบบใบพาย เป็นต้น นอกจากนี้ยังอธิบายวิธีประเมินประสิทธิภาพของการผสมโดยพิจารณาจากความผันแปรของตัวอย่างและดัชนีการผสม

อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องผสมทางการเกษตรที่ผลิตภายในประเทศและจำหน่ายโดยทั่วไปในท้องตลาดมักไม่ปรากฏรายงาน ข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องจากผู้ผลิตเท่าใดนัก และเครื่องผสมวัสดุปลูกในปัจจุบันยังไม่มียุทธวิธีและลำเลียง ภาระงานที่รองรับการผลิตพืชไร่เรือนได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบเครื่องผสมวัสดุปลูกและบรรจุกระถาง ขนาดความจุ 0.5 ลบ.ม.ที่สามารถผสมวัสดุปลูกที่นิยมใช้ในการปลูกพืชไร่เรือน 4 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ แกลบดิบ และผงถ่าน แกลบ พร้อมบรรจุวัสดุปลูกที่ผสมแล้วลงภาชนะปลูกหรือภาชนะปลูกเพื่อลำเลียงเข้าสู่ไร่เรือนและจัดการในขั้นตอนต่อไป

วิธีการศึกษา

วัสดุปลูกและสมบัติทางกายภาพ

วัสดุปลูกที่อยู่ในขอบเขตของการศึกษานี้มี 4 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ แกลบดิบ และผงถ่านแกลบเพราะเป็น วัสดุที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผลิตพืชไร่เรือน (วันรัฐ และคณะ, 2563) ในการศึกษาได้นำวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิดมาจากไร่เรือนปลูกพืช ทดลองของภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำมาทดสอบหาความชื้นฐานแห้งความหนาแน่นรวม สภาพเปียก และความหนาแน่นรวมสภาพแห้งชนิดละ 3 ตัวอย่าง แล้วทำการทดสอบด้วยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีสมบัติทางกายภาพดังแสดงใน Table 1

Table 1 Physical properties of the growing substrates used in the experiment

Substrate	Moisture content(d.b.) (%)	Wet bulk density (kg/m ³)	Dry bulk density (kg/m ³)
Coir dust	19.9	95.6	81.3
Chopped coconut bract	38.4	48.5	33.1
Rice husk	11.2	110.2	88.7
Rice husk charcoal	64.4	376.9	160.8

การออกแบบเครื่องต้นแบบ

เครื่องผสมวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานเป็นแบบกะ (Batch) (Figure 1) มีส่วนประกอบสำคัญคือถังผสมขนาดความจุ 0.5 ลบ.ม.ใบกวนผสมเป็นแบบใบพาย (Paddle) จำนวน 14 ใบ ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ขนาด 4 กิโลวัตต์ผ่านชุดเพื่อง ทดกำลัง ทำให้ใบกวนหมุนด้วยความเร็วรอบ 36 รอบ/นาทีที่ระบบการบรรจุกระถางประกอบด้วยสกรูลำเลียงติดตั้งอยู่ด้านข้างถังผสม โดยวางเอียงทำมุม 70° กับแนวระดับ เส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรูมีขนาด 15 ซม.ระยะพิทช์ 10 ซม.มุมเลี้ยว 19° ขับด้วยมอเตอร์ 3 เฟส 220 โวลต์ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ผ่านชุดเพื่องทดกำลัง สกรูลำเลียงหมุนด้วยความเร็วรอบสูงสุด 198.4 รอบ/นาทีและสามารถปรับลด ความเร็วรอบได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ (Figure 2) ตัวเรือนของสกรูลำเลียงออกแบบเป็นขั้นประกอบ 3 ชั้น สามารถถอดประกอบได้เมื่อมีการ

ติดขัดของวัสดุหรือเมื่อต้องการบำรุงรักษาวัสดุปลูกที่ผสมเข้ากันแล้วจะถูกสุกรูลำเลียงขึ้นไปด้านบนและปล่อยลงสู่กระถางผ่านทางช่องปล่อย ระบบการลำเลียงกระถางประกอบด้วยสายพานลำเลียงหน้ากว้าง 40 ซม. มีมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์ ขับลูกกลิ้งสายพานผ่านเฟืองโซ่ทำให้สายพานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงเส้นสูงสุด 0.134 ม./วินาที และสามารถปรับลดความเร็วได้ด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อให้สัมพันธ์กับปริมาณบรรจุของกระถาง (Figure 3) ระบบลำเลียงกระถางมีชุดลูกกลิ้งแรงปัดซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์ ผ่านเฟืองทด ทำให้แรงปัดหมุนด้วยความเร็วรอบ 36 รอบ/นาทีคงที่ ทำหน้าที่ปิดวัสดุปลูกส่วนเกินบริเวณปากกระถางให้เรียบก่อนปล่อยออกจากระบบลำเลียง ชุดลูกกลิ้งแรงปัดสามารถปรับระดับความสูงได้ระหว่าง 5-35 ซม. เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของถาดเพาะกล้าหรือกระถางที่จะบรรจุ

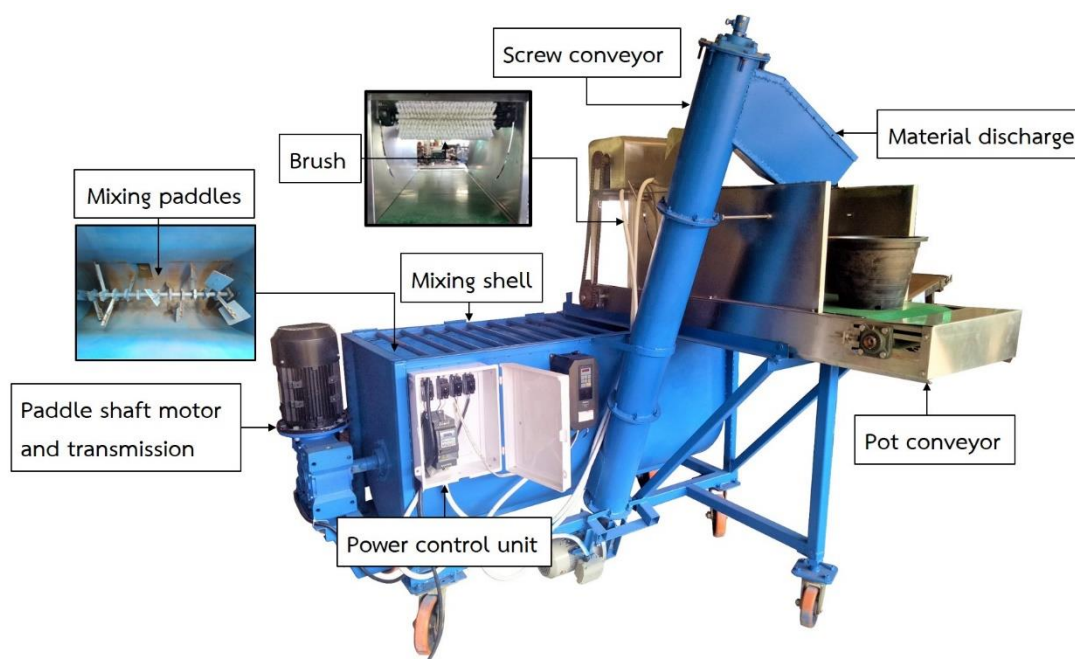


Figure 1 A prototype of the substrate mixer and pot filler developed

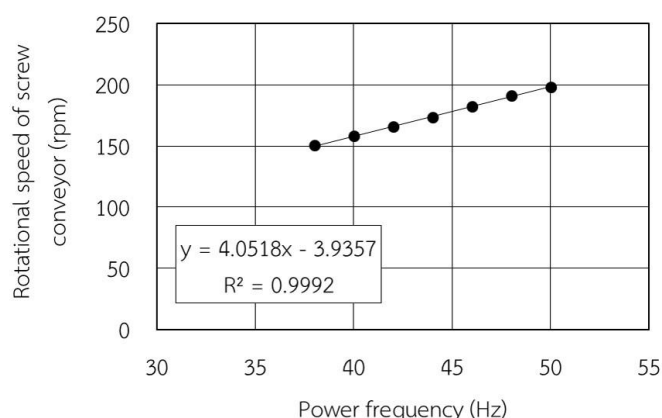


Figure 2 Relationship between rotational speed of the screw conveyor and the power frequency

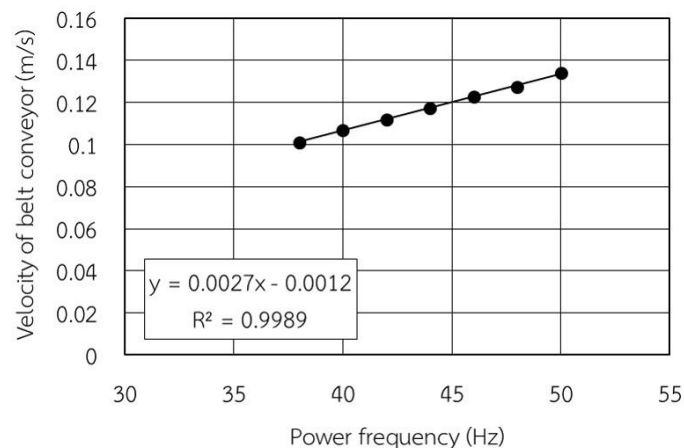


Figure 3 Relationship between velocity of the belt conveyor and the power frequency

การทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

การวัดแรงบิดและกำลัง

การวัดแรงบิดและกำลังขับเคลื่อนของเครื่องผสมวัสดุปลูก ทำโดยติดตั้งชุดวัดแรงบิดประกอบด้วยมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 5.5 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบ 1440 รอบ/นาทีส่งกำลังผ่านเพลาลูกเบี้ยวและขับเคลื่อนไปยังชุดปรับความเร็วรอบ Hydraulic speed variator (VAR-SPE) ซึ่งสามารถรองรับกำลังได้ 5.5 กิโลวัตต์และสามารถปรับความเร็วรอบได้ระหว่าง 0–1400 รอบ/นาทีส่งต่อกำลังไปยังอุปกรณ์วัดแรงบิด (Torque transducer, Kyowa, Japan) ที่สามารถวัดแรงบิดได้สูงสุด 500 นิวตันเมตรแล้วส่งต่อกำลังไปยังเพลาลูกเบี้ยวของเครื่องผสมวัสดุปลูกและในขณะที่เครื่องผสมทำงาน ทำการวัดความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)(Figure 4)

ค่าแรงบิดที่วัดได้จะถูกส่งผ่านสายสัญญาณเข้าสู่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger, EDX-100A, Kyowa, Japan) ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์พร้อมประมวลผลและแสดงผลในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม DCS-100A ซึ่งจากการสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด (T) ในหน่วยนิวตันเมตรกับค่าสัญญาณไมโครสเตรน (μ) ดังสมการที่ 1

$$T = 0.1628\mu \quad (1)$$

การทดลองวัดแรงบิดและกำลังใช้แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล $4 \times 3 \times 3$ โดยผันแปรพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ วัสดุปลูก 4 ชนิด ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยว 3 ระดับ คือ 24, 36 และ 48 รอบ/นาที และปริมาตรของวัสดุในถังผสม 3 ระดับ คือ 25%, 50% และ 75% ของปริมาตรบรรจุสูงสุดซึ่งตัวถังผสมนั้นได้ออกแบบให้มีปริมาตรบรรจุสูงสุด 0.5 ลบ.ม. ดังนั้นเมื่อคิดเป็นปริมาตรของวัสดุปลูกที่ทำการทดสอบจะได้เท่ากับ 0.125, 0.250 และ 0.375 ลบ.ม.ตามลำดับ โดยทำการทดลองทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงบิดและกำลังด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ร่วมกับ Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุด ($T_{\max}$) และแรงบิดต่ำสุด ($T_{\min}$) ที่วัดได้ในแต่ละทรีตเมนต์จะพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงบิดสูงสุด ($D_{\% \max}$) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2

$$D_{\% \max} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} \times 100 \quad (2)$$

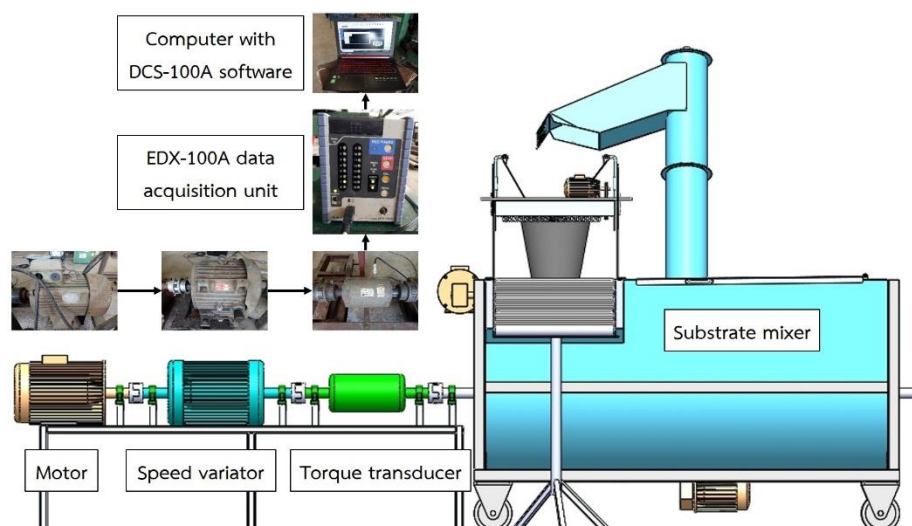


Figure 4 Instrumentation for torque and power measurement

การทดสอบสมรรถนะการผสม

สมรรถนะในการผสมพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการผสมและความสม่ำเสมอของวัสดุภายหลังการผสม ความสม่ำเสมอของการผสมประเมินได้จากพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ สัมประสิทธิ์การผันแปร(Coefficient of variation, CV) คิดเป็น % และดัชนีการผสม (Mixing Index) (ASAE Standards, 1998) อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ASAE S380, 1998 ไม่ได้ระบุเกณฑ์ค่า CV ที่ยอมรับได้อย่างไวชัดเจน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ปกติการผสมวัสดุทางการเกษตรจะยอมรับค่า CV ระหว่าง 10%–20% ในการศึกษาวิจัยการผสมวัสดุที่ผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอควรมีค่า CV ไม่เกิน 10% (Buckmaster et al., 2014) และค่าดัชนีการผสมเข้าใกล้ 1

การทดลองทำโดยใช้ขุยมะพร้าวกับแกลบดิบในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของวัสดุปลูกในการผสม โดยบรรจุขุยมะพร้าวปริมาตร 0.125 ลบ.ม. ลงที่ตำแหน่งขอบด้านหนึ่งของถังผสม (ตำแหน่งที่ 1) และบรรจุแกลบดิบปริมาตร 0.125 ลบ.ม. เท่ากันลงที่บริเวณขอบอีกด้านหนึ่งของถัง (ตำแหน่งที่ 4) (Figure 5) ทำให้ได้ปริมาตรรวม 0.25 ลบ.ม. คิดเป็น 50% ของปริมาตรสูงสุด จากนั้นเดินเครื่องผสมให้ทำการผสมวัสดุทั้งสองเป็นเวลา 10 นาที โดยในระหว่างการผสมมีการหยุดเครื่องเพื่อสู่วัสดุปลูกในถังผสมเป็นระยะด้วยภาชนะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม. ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าวัสดุปลูกทั้ง 2 เริ่มผสมเข้ากันได้ดีในช่วง 2 นาทีแรก ดังนั้นในการทดลองเก็บข้อมูลจึงทำการสู่วัสดุในช่วง 2 นาทีแรก ทุก ๆ 15 วินาที ส่วนในช่วงนาทีที่ 2 ถึง 10 จะทำการสู่วัสดุทุก ๆ 1 นาทีโดยแต่ละครั้งจะสู่วัสดุอย่างทั่วถึง 4 ตัวอย่างที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดความยาวของถังดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นนำวัสดุผสมไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM ขนาด 0.850 มม. เพื่อแยกวัสดุทั้งสองออกจากกัน นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาสัดส่วนการผสมโดยน้ำหนัก โดยในการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยปริมาตรเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักสามารถทำได้โดยอาศัยข้อมูลความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งที่ได้ศึกษาไว้ข้างต้น

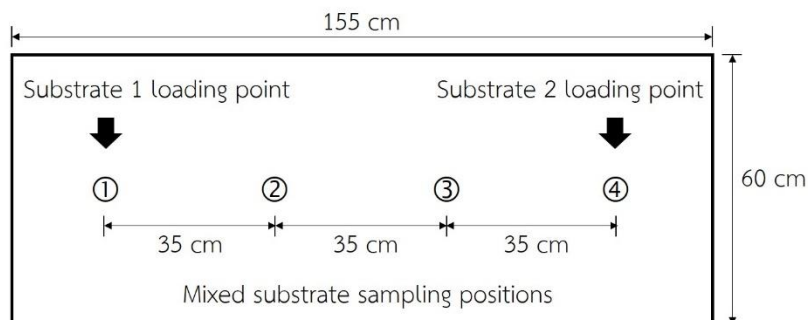


Figure 5 Substrate sampling positions in the evaluation of mixing uniformity

จากการสุ่มตัวอย่างวัสดุผสมข้างต้น นำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรได้จาก

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหาได้จาก

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

และ $\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ย หาได้จาก

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

โดยที่ x_i คืออัตราส่วนของวัสดุ x ในตัวอย่างที่ i , และ n คือจำนวนตัวอย่าง

ดัชนีการผสม (M) หาได้จาก

$$M = \frac{s_0^2 - s}{s_0^2 - s_r^2} \quad (6)$$

เมื่อ s_0^2 คือความแปรปรวนเริ่มต้นของวัสดุ p ซึ่งคำนวณได้จาก

$$s_0^2 = p(1-p) \quad (7)$$

และ

$$p + q = 1 \quad (8)$$

โดยที่ p คืออัตราส่วนของวัสดุ p ในของผสม, q คืออัตราส่วนของวัสดุ q ในของผสม, s_r^2 คือความแปรปรวนสมบูรณ์ หาได้จาก

$$s_r^2 = \frac{p(1-p)}{N} = \frac{s_0^2}{N} \quad (9)$$

เมื่อ N คือจำนวนอนุภาคของวัสดุ (เท่ากับ ∞)

การทดสอบสมรรถนะในการบรรจุกระถาง

การทดสอบหาอัตราการป้อนวัสดุของสกรูลำเลียง

ตัวแปรสำคัญที่กำหนดอัตราเร็วในการบรรจุกระถางขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนวัสดุของสกรูลำเลียง อัตราการลำเลียงทางทฤษฎีคำนวณได้จาก

$$q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{\phi \cdot P \cdot \omega \cdot \rho \cdot c}{60} \quad (10)$$

เมื่อ q คือ อัตราการลำเลียง (กก./วินาที), D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู (ม.), d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาสกรู (ม.), ϕ คือ แฟกเตอร์การลำเลียง, ρ คือ ความหนาแน่นรวมของวัสดุ (กก./ลบ.ม.), P คือ ระยะพิทช์ของสกรู (ม.), ω คือ ความเร็วรอบสกรู (รอบ/นาที), และ c คือ แฟกเตอร์ความเอียงของสกรูลำเลียง

เมื่อทราบอัตราการป้อนวัสดุจะสามารถหาเวลาทั้งหมด (t) ที่ต้องใช้ในการผสมและบรรจุกระถางได้จากสมการ

$$n_p = \frac{60 \nabla_m q t_c}{\nabla_p (t_m q + \nabla_m \rho)} \quad (11)$$

เมื่อ n_p คือ จำนวนกระถางทั้งหมดที่บรรจุได้, t_c คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผสมและบรรจุภาชนะ (นาที), t_m คือ เวลาที่ใช้ในการผสมวัสดุแต่ละกะ (วินาที), ρ คือ ความหนาแน่นรวมของวัสดุ (กก./ลบ.ม.), ∇_p คือ ปริมาตรกระถาง (ลบ.ม.), ∇_m คือ ปริมาตรถังผสม (ลบ.ม.), q คือ อัตราการป้อนวัสดุ (กก./วินาที)

อย่างไรก็ตาม การทำงานจริงของเครื่องอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี ดังนั้นจึงทำการทดสอบหาอัตราการลำเลียงจริงของสกรูลำเลียงสำหรับวัสดุปลูกแต่ละชนิดทำโดยเดินเครื่องผสมวัสดุปลูกให้ใบกวนทำงาน เปิดสวิตช์สกรูลำเลียงให้วัสดุปลูกเคลื่อนออกมาทางช่องปล่อยวัสดุ นำภาชนะมารองรับที่บริเวณช่องปล่อยพร้อมจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา นำไปชั่งน้ำหนักวัสดุด้วยเครื่องชั่ง แล้วนำมาคำนวณอัตราการลำเลียงจริง (q_a) จาก

$$q_a = \frac{m}{t_c} \quad (12)$$

เมื่อ m คือ มวลของวัสดุปลูกที่ลำเลียงได้ภายในระยะเวลาที่สังเกต (กก.) และ t_c คือ ระยะเวลาที่สังเกต (วินาที) แล้วจึงนำมาหาประสิทธิภาพของสกรูลำเลียง (η_c) เป็นเปอร์เซ็นต์ได้จาก

$$\eta_c = \frac{q_a}{q} \times 100 \quad (13)$$

การทดลองทำโดยผันแปรความเร็วรอบ 4 ระดับ โดยปรับอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบที่ความถี่กระแส 38, 42, 46 และ 50 เฮิร์ตซ์ซึ่งจะทำให้สกรูลำเลียงมีความเร็วรอบ 150.4, 166.2, 182.1, และ 198.4 รอบ/นาที ตามลำดับ แต่ละความเร็วรอบทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ นำมาหาค่าเฉลี่ยและทำเช่นเดียวกันสำหรับวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด

การทดสอบความเที่ยงตรงของปริมาณวัสดุปลูกในกระถาง

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงของปริมาณวัสดุที่เครื่องผสมจ่ายออกมาเพื่อบรรจุลงในกระถาง ณ สถานะการทำงานหนึ่งๆ ที่ปรับตั้งไว้การทดลองทำโดยเปิดเครื่องผสมให้ทำงาน ที่อัตราการลำเลียงของสกรูลำเลียงสูงสุดคือที่ 198.4 รอบ/นาที ใช้กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 27 ซม. ก้นกระถาง 19.5 ซม. สูง 23 ซม. ความจุปริมาตร 10 ลิตร โดยวางกระถางลงบนสายพานลำเลียงให้เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องไปรองรับวัสดุปลูกลงในกระถางจำนวน 10 กระถาง นำไปชั่งน้ำหนัก ความเที่ยงตรงของปริมาณวัสดุจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรซึ่งค่า $CV \leq 10\%$ จึงจะถือว่าปริมาณวัสดุมีความเที่ยงตรงการทดลองทำที่ความเร็วสายพาน 4 ระดับโดยปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่กระแส 38, 42, 46 และ 50 เฮิร์ตซ์ทำให้สายพานมีความเร็วเชิงเส้น 0.10, 0.11, 0.12 และ 0.13 ม./วินาทีตามลำดับ และทำเช่นเดียวกันสำหรับวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด

ผลการศึกษาและวิจารณ์

แรงบิดและกำลัง

จากการทดสอบวัดแรงบิดและกำลังที่ต้องการในการกวนผสมวัสดุปลูก 4 ชนิด คือ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ แกลบ และผงถ่านแกลบ โดยแปรผันปริมาตรของวัสดุในถังผสม 3 ระดับคือ 25%, 50%, และ 75% ของปริมาตรบรรจุสูงสุดของถัง (Full capacity) ที่ความเร็วรอบของเพลากับกวน 3 ระดับคือ 24, 36, และ 48 รอบ/นาที ได้กราฟสัญญาณดังตัวอย่างใน Figure 6 สังเกตว่าค่าแรงบิดของเพลากับกวนมีการผันแปรสูงต่ำในขณะที่เพลากวน เนื่องจากใบกวนแต่ละใบอาจจะไม่ได้สัมผัสกับวัสดุปลูกตลอดเวลา เพลากับกวนจะต้องการแรงบิดสูงในขณะที่ใบกวนสัมผัสกับวัสดุปลูกที่อยู่ด้านล่างของถัง และแรงบิดจะมีค่าต่ำลงเมื่อใบกวนเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไม่

สัมพันธ์กับวัสดุปลูก ลักษณะดังกล่าวจะสังเกตได้ชัดเจนเมื่อปริมาตรวัสดุน้อย เช่นที่ปริมาตรวัสดุ 25% เพลาใบกวนจะมีช่วงคาบเวลา (t) ที่สัมผัสวัสดุน้อย เมื่อเพิ่มปริมาตรบรรจุ เช่น ที่ 75% ความผันแปรของแรงบิดจะลดลงเนื่องจากใบกวนมีคาบเวลาที่สัมผัสกับวัสดุมากขึ้นความผันแปรของแรงบิดเมื่อพิจารณาจากผลต่างของค่าแรงบิดสูงสุด ($T_{\max}$) และแรงบิดต่ำสุด ($T_{\min}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงบิดสูงสุด ($D_{\% \max}$) ตามสมการที่ 12 พบว่ามีค่าเท่ากับ 96.51%, 73.68% และ 71.09% ที่ปริมาตรวัสดุ 25%, 50% และ 75% ตามลำดับแนวโน้มการลดลงของความผันแปรของแรงบิดนี้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับปริมาตรวัสดุในถังผสม ($R^2 = 0.8256$) (Figure 7)

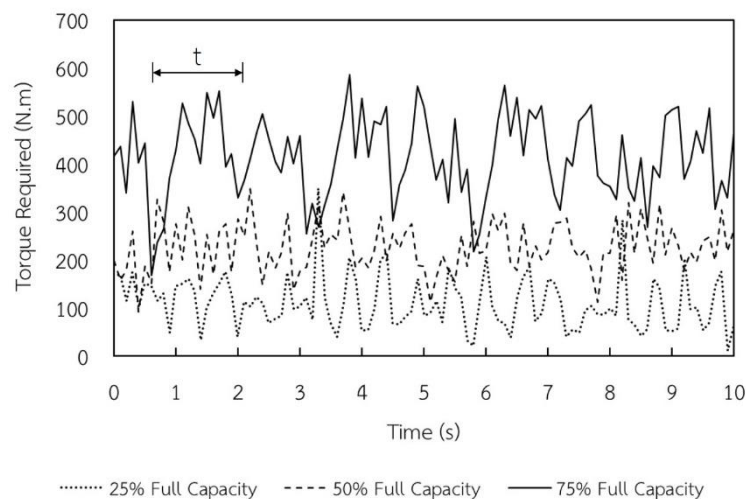


Figure 6 Characteristic of torque requirement during the mixing process

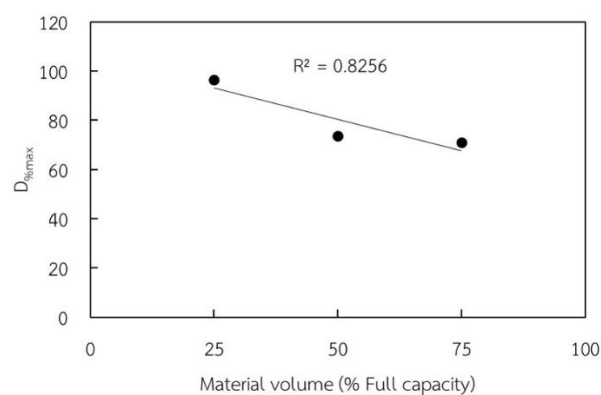


Figure 7 Relationship between torque difference and material volume

Figure 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรวัสดุในถังผสมและความเร็วรอบใบกวนกับแรงบิด พบว่าสำหรับวัสดุทั้ง 4 ชนิด มีความต้องการแรงบิดสูงขึ้นเมื่อปริมาตรวัสดุในถังผสมมากขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ของการแปรผันเป็นเส้นตรง สังเกตได้ว่าผงถ่านแกลบเป็นวัสดุปลูกที่ต้องการแรงบิดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ที่บรรจุด้วยปริมาตรและความเร็วรอบเท่ากัน เป็นเพราะผงถ่านแกลบมีความหนาแน่นมากที่สุดจากวัสดุทั้ง 4 ชนิด เมื่อนำค่าแรงบิดที่วัดได้มาคำนวณกำลังขับ (Figure 9) พบว่าสำหรับวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด มีความต้องการกำลังขับแปรผันเป็นเส้นตรงกับปริมาตรของวัสดุปลูกในถังผสม และความต้องการกำลังขับมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพลากวนสูงขึ้น โดยผงถ่านแกลบเป็นวัสดุปลูกที่ต้องการกำลังขับสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ โดยค่ากำลังขับสูงสุดที่วัดได้คือ 2.13 กิโลวัตต์ผลการวัดแรงบิดและกำลังขับนี้จึงทำให้สามารถกำหนดขนาดของมอเตอร์ต้นกำลังได้เท่ากับ 4 กิโลวัตต์

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติใน **Table 2** แสดงให้เห็นว่า ชนิดของวัสดุปลูกและปริมาตรวัสดุปลูกในถังผสมส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อทั้งแรงบิดและกำลัง โดยวัสดุที่ต้องการแรงบิดและกำลังสูงสุดคือ ผงถ่านแกลบ รองลงมาคือ กาบมะพร้าวสับ ขุยมะพร้าว และแกลบดิบ ตามลำดับ สำหรับอิทธิพลของความเร็วรอบเพลาลูกกลิ้งนั้น พบว่าค่าแรงบิดที่ความเร็วรอบ 24 และ 36 rpm นั้นไม่แตกต่างกัน แต่ค่าแรงบิดจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความเร็วรอบ 48 rpm ส่วนกำลังขับที่ต้องการนั้นพบว่ามีความสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามความเร็วรอบเพลาลูกกลิ้งทั้ง 3 ระดับ การออกแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องผสมในการศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกความเร็วรอบเพลาลูกกลิ้งที่ 36 rpm เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่สูงที่สุดที่คาดว่าจะทำให้วัสดุปลูกสามารถผสมเข้ากันได้เร็วที่สุดโดยไม่ทำให้แรงบิดสูงเกินไป

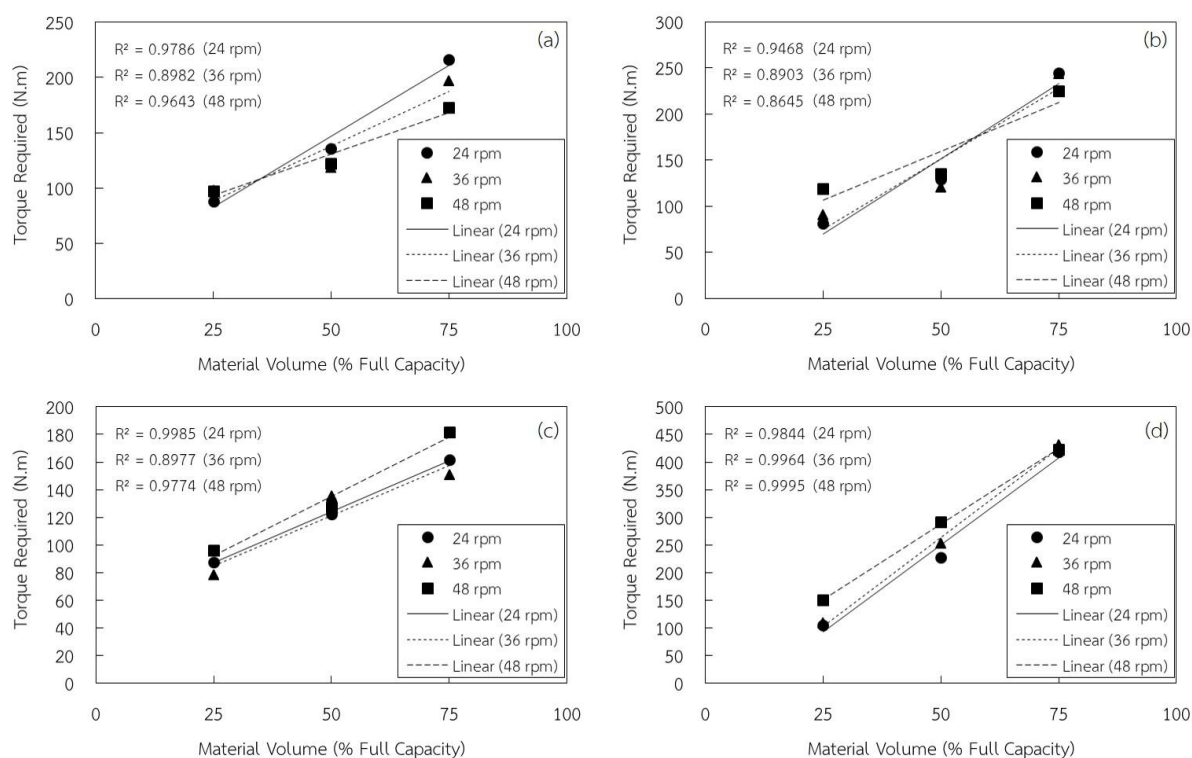


Figure 8 Effects of substrate type, material volume, and rotational speed of the mixing paddle on torque requirement for: (a) coir dust, (b) chopped coconut bract, (c) rice husk, and (d) rice husk charcoal

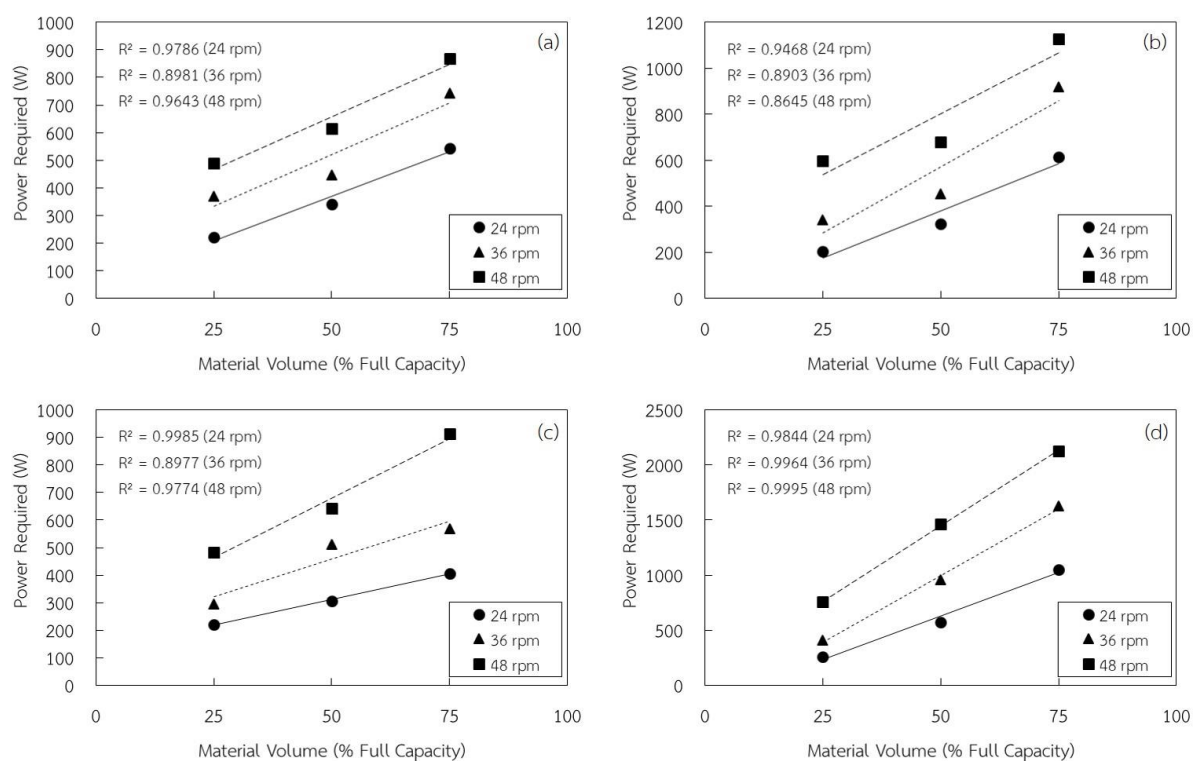


Figure 9 Effects of substrate type, material volume, and rotational speed of the mixing paddle on power requirement for: (a) coir dust, (b) chopped coconut bract, (c) rice husk, and (d) rice husk charcoal

Table 2 Effects of substrate type, filling volume, and rotational speed of paddles on torque and power required

Substrate type	Torque (N.m)	Power (W)
Coir dust	138.51±45.06 b	515.41± 196.03 b
Chopped coconut bract	154.27± 63.10 c	584.98± 287.29 c
Rice husk	126.90± 35.43 a	483.09± 210.50 a
Rice husk charcoal	267.76± 128.20 d	1025.30± 590.87 d
Filling volume (% Full capacity)		
25	100.05± 19.85 a	387.75± 166.26 a
50	160.06± 59.60 b	609.97± 318.65 b
75	255.47± 103.80 c	958.91± 479.39 c
Rotational speed of paddles (rpm)		
24	168.17± 94.74 a	422.64± 238.10 a
36	168.95± 97.95 a	636.91± 369.26 b
48	178.47± 93.40 b	897.06± 469.43 c

*Values of torque and power in the table are mean ± standard deviation. Means within a category followed by the same letter are not different at 0.05 significance level according to Duncan's multiple ranges test

สมรรถนะในการผสม

สมรรถนะในการผสมของเครื่องผสมวัสดุปลูกพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัวคือ ความเร็วในการผสม (Mixing time) และความสม่ำเสมอของวัสดุภายหลังผสม (Uniformity) ซึ่งความสม่ำเสมอของวัสดุผสมนี้พิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การผันแปรและดัชนีการผสม วัสดุที่ผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอควรมีค่า CV ไม่เกิน 10% (Buckmaster et al., 2014) และค่าดัชนีการผสมเข้าใกล้ 1 ผลจากการทดสอบเครื่องต้นแบบโดยทดลองผสมวัสดุปลูก 2 ชนิดคือ ขุยมะพร้าวกับแกลบดิบในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรพบว่าวัสดุสามารถผสมเข้ากันได้ดีภายในเวลาประมาณ 2 นาที แม้ว่าจะบรรจุวัสดุแต่ละชนิดที่ขอบคนละด้านของถังผสม แต่ใบกวนสามารถพาวัสดุทั้งสองให้เคลื่อนเข้าสู่บริเวณตรงกลางของถังและผสมเข้ากันได้ จาก Figure 10a จะเห็นว่าค่า CV สูงสุดมีค่า 74.23% จากนั้นเมื่อเครื่องผสมเริ่มทำงานค่า CV จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 2 นาทีแรก และค่า CV จะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 11.06% ที่เวลาประมาณ 5 นาที ในทำนองเดียวกันค่าดัชนีการผสมสูงสุดที่ได้มีค่า 0.99 ที่เวลา 5 นาที (Figure 10b)

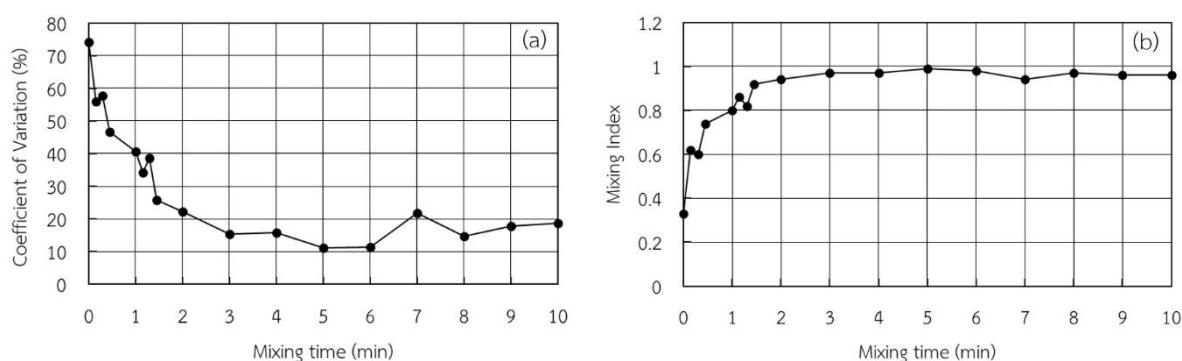


Figure 10 Mixing time required as considered from: (a) CV, and (b) Mixing index

เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทำงาน of เครื่องผสมในงานวิจัยก่อนหน้านี้ Wilcox and Unruh (1986) ให้ข้อสังเกตว่าการบรรจุวัสดุในถังผสมมากเกินไปจะทำให้สมรรถนะการผสมลดลง สำหรับเครื่องผสมแนวนอนควรบรรจุให้ระดับของวัสดุต่ำกว่าใบกวนอย่างน้อย 5-8 ซม. ความเร็วรอบใบกวนที่ต่ำเกินไปจะทำให้การเคลื่อนตัวของวัสดุมาผสมกันไม่ได้ดี ความเร็วรอบใบกวนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 30-40 รอบ/นาที ซึ่งในการศึกษานี้ได้ออกแบบที่ความเร็วรอบ 36 รอบ/นาที สอดคล้องกัน และทำให้เครื่องผสมไม่สิ้นเปลืองกำลังมากเกินไป ในขณะที่ยังคงสามารถผสมเข้าได้ภายในเวลาที่ต้องการนอกจากนั้นสำหรับเครื่องผสมแบบใบพาย การจัดวางตำแหน่งและการปรับตั้งมุมองศาของใบพายจะมีผลอย่างมากต่อสมรรถนะในการผสม ซึ่งต้องการการทดสอบสำหรับการออกแบบแต่กรณี

ในด้านความสม่ำเสมอของวัสดุหลังผสม Buckmaster et al. (2014) ได้ทดสอบเครื่องผสมอาหารสัตว์ (TMR) แบบรีล (Reel-type) และแบบใบพาย (Paddle-type) โดยใช้วัสดุทดสอบ (Tracer) หลายชนิด ได้แก่ เมล็ดข้าวโพด ถั่วดำ ถั่วขาว เมล็ดฝ้าย และตำแหน่งการวางวัสดุทดสอบที่แตกต่างกัน พบว่าสำหรับเครื่องผสมแบบใบพายที่ใช้ผสมวัสดุที่มีความยาวไม่มาก ทั้งชนิดและตำแหน่งการวางวัสดุทดสอบไม่ส่งผลต่อค่า CV ส่วนเครื่องผสมแบบรีล พบว่าในการผสมวัสดุที่มีความยาวมากกว่า 19 มม. ชนิดของวัสดุทดสอบมีผลต่อค่า CV โดยวัสดุทดสอบที่มีความมันลื่น เช่น เมล็ดข้าวโพด ถั่วดำ และถั่วขาว อาจให้ค่า CV สูงถึง 33% ในขณะที่วัสดุทดสอบที่มีความเสียดทานสูงอย่างเมล็ดฝ้ายจะให้ค่า CV เพียง 18% ซึ่งวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ก็เป็นวัสดุที่มีความเสียดทานค่อนข้างสูงเช่นกัน และให้ความสม่ำเสมอของวัสดุหลังผสมคิดเป็นค่า CV ต่ำสุดเท่ากับ 11.06%

สมรรถนะในการบรรจุกระถาง

อัตราการป้อนวัสดุของสกรูลำเลียง

ผลการทดสอบอัตราการลำเลียงของสกรูลำเลียงแสดงดัง Figure 12 พบว่าอัตราการลำเลียงของผงถ่านแกลบและแกลบดิบจะแปรผันตรงกับความเร็วรอบสกรูอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนอัตราการลำเลียงขุยมะพร้าวกับกาบมะพร้าวสับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม

ความเร็วรอบสกรูเช่นกัน แต่ความสัมพันธ์ไม่มีนัยสำคัญ Table3 เปรียบเทียบอัตราการลำเลียงจริงกับอัตราการลำเลียงทางทฤษฎีที่ความเร็วรอบสกรูสูงสุด สังเกตได้ว่าอัตราการลำเลียงจริงของวัสดุทั้ง 4 ชนิด ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี โดยขุยมะพร้าวและผงถ่านแกลบมีประสิทธิภาพการลำเลียงค่อนข้างต่ำ อาจเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคที่เล็กละเอียด รวมถึงสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ความหนาแน่น รูปร่าง ความเสียดทานระหว่างอนุภาคด้วย

จากระยะเวลาในการผสมและอัตราการป้อนวัสดุที่ทดสอบได้ เมื่อนำมาหาอัตราการทำงานของเครื่องทั้งการผสมและบรรจุ กระถางขนาด 10 ลิตร ตามสมการที่ 11 จะได้อัตราการทำงานประมาณ 360 กระถาง/ชม.

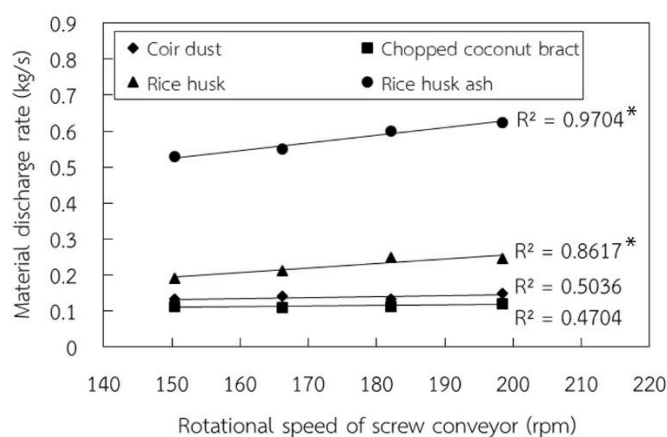


Figure 12 Actual material discharge rate of screw conveyor at different rotational speeds

Table 3 Discharge efficiency of screw conveyor

Substrate	Discharge rate(kg/s)		
	Theoretical	Actual	Efficiency (%)
Coir dust	0.240	0.149	62.19
Chopped coconut bract	0.122	0.121	99.36
Rice husk	0.277	0.245	88.48
Rice husk charcoal	0.946	0.624	65.97

ความเที่ยงตรงของปริมาณวัสดุในกระถาง

จากการทดสอบให้เครื่องผสมปล่อยบรรจุวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิดลงในกระถางที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องบนสายพานลำเลียงจำนวน 10 กระถางแล้วนำแต่ละกระถางมาชั่งน้ำหนัก พบว่าปริมาณวัสดุปลูกในแต่ละกระถางมีความเที่ยงตรง โดยมีค่า CV ต่ำกว่า 10% สำหรับวัสดุปลูกทุกชนิด และที่ความเร็วสายพานลำเลียงกระถางทั้ง 4 ระดับ (Table 4)

Table 4 Coefficient of variation of potted substrate weight

Pot conveyor speed (m/s)	Coefficient of variation (%)			
	Coir dust	Chopped coconut bract	Rice husk	Rice husk charcoal
0.10	5.67	2.85	5.99	3.53
0.11	4.67	8.40	6.89	4.86
0.12	5.12	4.22	6.69	3.27
0.13	9.32	8.40	1.96	2.70

สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบเครื่องผสมวัสดุปลูกแบบใบพายขนาดความจุ 0.5 ลบ.ม. ที่มีการทำงานเป็นแบบกะโดยสามารถผสมวัสดุปลูกพร้อมบรรจุกระถางสำหรับการผลิตพืชโรงเรือน การทดสอบสมรรถนะพบว่าความเร็วรอบใบกวนที่เหมาะสมเท่ากับ 36 rpmมีความต้องการกำลังขับ 1.63 กิโลวัตต์ โดยผงถ่านกลบเป็นวัสดุที่ต้องการกำลังสูงที่สุด รองลงมาคือ กาบมะพร้าวสับ ขุยมะพร้าว และแกลบดิบ ตามลำดับ การทดสอบสมรรถนะการผสมพบว่าใช้เวลาในการผสมให้วัสดุเข้ากันได้ดีภายในเวลา 5 นาที ได้ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรต่ำสุดเท่ากับ 11.06% ค่าดัชนีการผสมสูงสุดเท่ากับ 0.99 และปริมาณวัสดุที่บรรจุลงในแต่ละกระถางมีความเที่ยงตรงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรต่ำกว่า 10% สำหรับวัสดุทุกชนิดเครื่องต้นแบบสามารถทำการผสมและบรรจุกระถางขนาด 10 ลิตรได้ในอัตรา 360 กระถาง/ชม.

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมชาติ เสาวรัง. 2560. การควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบพ่นหมอก. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- ธนาภานต์ อรัญพล และภานุพล หงษ์ภักดี. 2556. ผลของการเติมขุยมะพร้าวลงในวัสดุปลูกต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำของดาวเรืองที่ผลิตเป็นไม้ดอกกระถาง. วารสารแก่นเกษตร.41(ฉบับพิเศษ 1): 549–555.
- บุญทริกา ไกรระจ่าง, กัญญิญา จิตรมั่ง, จันทนิภา ขุนอินทร์, ซาลินี สุนทรารชุน, นริณี เพ็ชรศิริ, ดวงใจ ต้นดีวัตรกุล และสุรพล จิตธินา. 2563. เปรียบเทียบรายได้และค่าใช้จ่ายการปลูกเมล่อนและผักไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนของเกษตรกรในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารแก่นเกษตร.48(ฉบับพิเศษ 1): 719–726.
- พรรณวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกรธกล้า และปิจิราวุธ เวียงจันทา. 2558. โรงเรือนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย. น. 454–458. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16 เรื่องมุมมองของวิศวกรรมเกษตรและอาหารที่มีต่ออนาคตที่ยั่งยืน 17–19 มีนาคม 2558. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค, กรุงเทพมหานคร.
- พินิจ จิรคกุล, วิชัย โภกานกุล, อัครพล เสนาณรงค์, อุชฎา สุขจันทร์, ตฤณสิษฐ์ จงสุขไว, เวียง อากรซี, อนุชา เขาวโซติ, สิทธิชัย ดาศรี และอุทัย ธาณี. 2558. การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรมวิชาการเกษตร.

- รัชดา พวงจันทร์แดง, ประมวล ศรีกาหลง, และวริทธิ์ อารีกุล. 2555. การประเมินประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหั่วฉีดยา. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30(3): 59–67.
- วันรัฐ อับดุลลาฮาซิม, วรพจน์ ศตเดชากุล, ธิติพงศ์ โพธิ์สุทธิ, ศุภธิดา อับดุลลาฮาซิม, และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2563. ระบบจัดการการปลูกพืชในโรงเรือน. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยทุนอุดหนุนสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน).
- ศุภกิตต์ สายสุนทร, ปณณธร ภัทรสถาพรกุล, วิณา ขาสียุทธ, เยาวลักษณ์ พัสตุ และนรินทร์ จันทวงศ์. 2553. การพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุน. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 41: 25–28.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา 2553. คู่มือพัฒนาผู้ประกอบการเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน. นนทบุรี.
- อภิชาติ ศรีชาติ, วีระพล แก้วก่า และกวีพงษ์ หงษ์ทอง. 2562. การพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แวนอนด้วยใบกวน 2 ชั้น. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ. 5: 38–48.
- ASAE Standards. 1998. ASAE S380 DEC95: Test procedure to measure mixing ability of portable farm batch mixers. ASABE, St. Joseph, Michigan.
- Bridgwater, J. 2012. Mixing of powders and granular materials by mechanical means — A perspective. Particuology. 10: 397–427.
- Buckmaster, D.R., D. Wang, and H. Wang. 2014. Assessing uniformity of total mixed rations. Applied Engineering in Agriculture. 30(5): 1–6.
- FAO. 2017. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries. FAO Plant Production and Protection Paper 230. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- FAO. 2020. Leveraging innovation and technology for food and agriculture in Asia and the Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok.
- Coker, R.Y., B.C. Posadas, S.A. Langlois, P.R. Knight, and C.H. Coker. 2010. Current mechanization practices among greenhouse operations. p. 4148. In Proceedings of the 2010 ASHS Conference, 31 July – 5 August 2010, Palm Desert, CA.
- Goldammer, T. 2019. Greenhouse Management: A Guide to Operations and Technology. Apex Publishers, U.S.A.
- Hongpakdee, P., and S. Ruamrungsri. 2015. Water use efficiency, nutrient leaching, and growth in potted marigolds affected by coconut coir dust amended in substrate media. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 56: 27–35.
- Jankauskiene, J., A. Brazaityte, and P. Viškelis. 2015. Effect of different growing substrates on physiological processes, productivity and quality of tomato in soilless culture. P. 99–124. In: Md. Asaduzzaman. Soilless Culture: Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops. IntechOpen, London.
- Nguyen, V. T., and C.H. Wang. 2017. Use of organic materials as growing media for honeydew melon seedlings in organic agriculture. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48: 2137–2147.
- Wang, D., M.Z. Gabriel, D. Legard, and T. Sjulín. 2016. Characteristics of growing media mixes and application for open-field production of strawberry (*Fragaria ananassa*). Scientia Horticulturae. 198: 294–303.
- Wilcox, R.A., and D.L. Unruh. 1986. Feed mixing times and feed mixers. Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan. 829: 1–11.