



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การพัฒนาเครื่องอัดก้อนวัสดุเพาะเห็ดฟางแบบกึ่งอัตโนมัติ

Development of A Semi-Automatic Straw Mushroom Substrate Briquetting Machine

พลเทพ เวงสูงเนิน วารี ศรีสอน ขนิษฐา ชัยบรรดิษฐ์ และ จาริณี จงปลื้มปิติ*

Ponthep Vengsungnle Waree Srisorn Khanittha Chaibundit and Jarinee Jongpluempiti

สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Agricultural Machinery Engineering, Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

Received: 12 December 2019

Revised: 19 April 2021

Accepted: 23 May 2021

Available online: 14 June 2021

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องอัดก้อนวัสดุเพาะเห็ดฟางแบบกึ่งอัตโนมัติมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าต้นทุนในการผลิตและควบคุมคุณภาพของก้อนวัสดุเพาะให้ใกล้เคียงกันด้วยการใช้พีแอลซีควบคุมการทำงานของเครื่อง วัสดุเพาะเริ่มต้นมีความชื้นประมาณ 54 %wb ถูกเตรียมด้วยเครื่องย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 cm โดยมีตัวแปรที่ทดสอบคือแรงดันกระบอกอัด 3 4 และ 5 bar วัสดุเพาะเริ่มต้น 18 kg การทดสอบ 3 ซ้ำ ซึ่งในทางทฤษฎีจะต้องได้จำนวนก้อนทั้งสิ้น 30 bags โดยมีเกณฑ์ที่วัดคือค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.36-0.38 g/cm³ จากการทดสอบพบว่ามวลที่บรรจุได้ มวลสูญเสียและเวลามีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้แนวโน้มของค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นคือ 0.366±0.02, 0.371±0.02 และ 0.386±0.02 g/cm³ ตามลำดับ ค่าความสามารถในการอัดจะพิจารณาเพียงก้อนที่ผ่านเกณฑ์คือ 141±3 bag/hr, 188±2 bag/hr และ 138±3 bag/hr ตามลำดับ ในส่วนของประสิทธิภาพการอัดมีค่า 63.34%, 86.67% และ 66.67% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแรงงานคนที่มีค่าใช้จ่าย 0.5 Baht/bag กับเครื่องอัดที่แรงดัน 4 bar ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการอัดก้อนเชื้อวัสดุเพาะ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าประมาณ 0.21 Baht/bag จึงมีผลต่างของค่าใช้จ่ายลดลงประมาณ 10,485 Baht/Month ส่งผลให้มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 6 Month

คำสำคัญ: วัสดุเพาะเห็ดฟาง เครื่องอัดก้อน อัตโนมัติ

Abstract

The objectives for developing a semi-automatic straw mushroom briquetting machine were to reduce the production costs and control the similarity of products quality by using PLC to control the machine. The initial moisture content of the substrate was 54 %wb which was reduced to about 1 cm of size with the shredder machine. Initial pressure variables of pneumatic piston were 3, 4 and 5 bar. Experiments were done in triplicate, and every test had initial substrate of about 18 kg that, in theory, must produce about 30 bags. The metric value is density in the range of 0.36-0.38 g/cm³. The experiment found that in each pressure had similar mass in the bag, mass loss and compressed time. An increase in piston pressure resulted to a rising trend of the density at 0.366±0.02, 0.371±0.02 and 0.386±0.02 g/cm³. The compressive strength only considered the criteria of 141 ± 3 bag / hr, 188 ± 2 bag / hr and 138 ± 3 bag / hr. The efficiency of compression were 63.34%, 86.67% and 66.67% respectively. A comparison of the labor cost of 0.5 Baht / bag with the 4 bar pressure, which was the optimum condition, showed that the production cost was lower by about 0.21 Baht / bag, thus reducing the cost by approximately 10,485 Baht / month, resulting in a payback period of approximately 6 months.

Keywords: Straw mushroom substrate: Briquetting machine: Automatic

1. บทนำ

เห็ดฟางข้าว straw mushroom) มีชื่อในทางวิทยาศาสตร์คือ *Volvariella volvacea* หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเห็ดฟางหรือเห็ดจีน [1] ซึ่งเป็นหนึ่งในเห็ดที่ปลูกกันมากที่สุดในเข (ตร้อนและเขตร้อนชื้น [2] โดยทั่วไปเห็ดเหล่านี้จะมีอายุการเก็บรักษาที่จำกัดมากเช่นเดียวกับผักและผลไม้หลายชนิดที่มักจะเน่าเสียง่าย จึงไม่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาในระยะยาว เห็ดชนิดนี้สามารถปลูกได้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าวต่าง ๆ หยวกกล้วย เศษซากกาแฟ ผุ่นขี้เลื่อย เป็นต้น [3] นอกจากนี้ยังสามารถปลูกด้วยเศษฟ้ายได้ดีและยังพบว่าก้อนเชื้อเห็ดที่เหลือจะเป็นแหล่งสารอาหารอินทรีย์ที่ดีอีกด้วย [4] สำหรับการเพาะเห็ดฟางในโรงเรือนระบบปิดมีต้นทุนการผลิต 266,223 บาทต่อไร่ต่อปี ผลตอบแทน 346,752 บาทต่อไร่ต่อปี คิดเป็นผลตอบแทนสุทธิ 80,528 บาทต่อไร่ต่อปี [5] การเพาะปลูกเห็ดฟางด้วยเศษฟ้ายซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานทอผ้ายังเป็นวัสดุปลูกที่ให้ผลผลิตมากกว่าขี้เลื่อยอีกด้วย [6] การเตรียมวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟางด้วยเศษฟ้ายเริ่มจากการนำเศษฟ้ายมาแช่น้ำให้ชุ่ม ในขณะเดียวกันก็ทำการหมักเปลือกถั่วเขียวในน้ำเพื่อให้เกิดการย่อยสลายเป็นปุ๋ยในระดับหนึ่ง แล้วจึงนำเศษฟ้ายหมักและเปลือกถั่วเขียวหมัก ปุ๋ย และแร่ภูเขาไฟ มาผสมกันให้เท่ากันแล้วทำการหมักทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 4 day โดยในแต่ละวันจะต้องทำการกลับกองของส่วนผสมนี้เพื่อไม่ให้ด้านล่างของกองมีอุณหภูมิสูงมากเกินไป เมื่อหมักส่วนผสมทั้งหมดหรือที่เรียกว่า วัสดุเพาะเชื้อเห็ดได้ตามที่กำหนดแล้วจึงนำมาบรรจุลงถุงพลาสติกและใส่คอขวดตามด้วยสำลีปิดจุกให้เรียบร้อย หลังจากนั้น

นำไปฆ่าเชื้อโรคด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 90 °C เป็นเวลา 5 hr. เมื่อนึ่งเสร็จเรียบร้อยแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงจนกว่าจะมีอุณหภูมิเท่ากับสิ่งแวดล้อม จึงนำมาหยอดเชื้อเห็ดในห่องปลอดเชื้อแล้วทำการปล่อยให้เชื้อเดินเต็มก้อนในห่อที่อับแสงและปราศจากการระบายอากาศ เมื่อเชื้อเห็ดเดินเต็มก้อนแล้วจึงนำไปเปิดดอกตามแต่ละวิธีที่เกษตรกรนิยมปลูก เช่น ในโรงเรือน ในตะกร้า บนกองตึ๋ย เป็นต้น

ในกระบวนการบรรจุลงถุงพลาสติกจะต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากในการนำวัสดุเพาะใส่ถุงและต้องออกแรงอัดให้แน่นจนเต็มถุงหรือมีน้ำหนักต่อก้อนอยู่ในช่วง 500-600 g ส่งผลให้เสียเวลาในการอัดก้อน แรงงานเกิดความเมื่อยล้า ไม่ทันต่อความต้องการของเกษตรกร และคุณภาพของก้อนเชื้อเห็ดไม่สม่ำเสมอ ซึ่งปัจจุบันการอัดก้อนเชื้อเห็ดได้มีการสร้างเครื่องอัดขึ้นมาเพื่อช่วยลดเวลา เพิ่มกำลังการผลิต และมีความสม่ำเสมอของแรงอัดทำให้ได้ก้อนเห็ดขนาดและความหนาแน่นใกล้เคียงกัน [7] ซึ่งมีนักวิจัยได้สร้างเครื่องอัดก้อนที่มีการพัฒนาให้มีกลไกไม่มากนักเพื่อเอื้อต่อการผลิตแบบครัวเรือนโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังแล้วส่งถ่ายกำลังผ่านสายพานไปยังจานเหวี่ยงเพื่อขับเคลื่อนกระบอกลดให้ขึ้นลงตามรอบที่กำหนดและใช้เวลาในการอัดก้อนน้อยที่สุด 1.40 min [8] แล้วเพิ่มจำนวนกระบอกลดเป็น 3 กระบอก และควบคุมการทำงานให้เป็นอัตโนมัติด้วยมอเตอร์ต้นกำลังแล้วส่งกำลังไปยังข้อเหวี่ยงเพื่ออัดแบบอัตโนมัติ [9] สามารถเพิ่มอุปกรณ์ทุนแรงแบบใช้เท้าเหยียบเพื่อลดแรงงานคนและค่าใช้จ่ายได้ อีกทั้งยังมีการเพิ่มประสิทธิภาพการอัดเชื้อเห็ดให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันด้วยระบบไฮดรอลิกส์ และเพิ่มการผลิตก้อนด้วยเครื่องอัดแปดสถานี นอกจากนี้ยังมี

การพัฒนาสกรูอัดก้อนวัสดุเพาะเห็ดให้มีความชื้นของ
ท่อที่เรียวยาวเพื่อให้ก้อนเชื้อมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
[10]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่าสกรูอัดก้อน
วัสดุเพาะเห็ดสามารถใช้เครื่องได้และมีข้อดีหลาย
อย่างเช่น เพิ่มผลผลิต ความหนาแน่นสม่ำเสมอ และ
สามารถลดการระคายเคืองแรงงานคนได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิด
เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดวัสดุเพาะเห็ดให้พอ
แบบกึ่งอัตโนมัติแบบ 4 กระบอกตวงที่สวม
ถุงพลาสติกด้วยคน ควบคุมปริมาณวัสดุเพาะด้วย
เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ หมุนกระบอกตวงด้วยมอเตอร์
ไฟฟ้าและอัดด้วยกระบอกสูบนิวแมติกส์ ซึ่งทุก
ขั้นตอนจะทำงานด้วยการควบคุมของโปรแกรมใน
ระบบพีแอลซี แต่เครื่องอัดที่มีในปัจจุบันส่วนใหญ่จะ
เป็นการอัดวัสดุเพาะที่ทำมาจากขี้เลื่อย ใน
ขณะเดียวกันถ้าเป็นวัสดุเพาะที่ทำมาจากเปลือกผัก
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หากทำให้มีขนาดเล็กก่อนจะ
สามารถอัดเป็นก้อนได้ดีกว่าไม่หั่นย่อย [11] จึงต้อง
เตรียมวัสดุเพาะก่อนบรรจุลงถุงให้มีขนาดเล็กเพื่อให้
สะดวกในการอัดก้อน

2. การออกแบบและสร้างเครื่องอัด

2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของก้อนเชื้อเห็ด ฟาง

ก้อนเชื้อเห็ดฟางที่ทำการศึกษาคือเป็นของ
ผู้ประกอบการผลิตก้อนเชื้อเห็ดจำหน่ายที่บ้านหนอง
ไม้ตาย อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดนครราชสีมา พบว่าวัสดุ
เพาะมีส่วนผสมของขี้เถ้า 17% เปลือกถั่วเหลือง 75%
มูลสัตว์ 5% ดินภูเขาไฟ 3% บรรจุลงถุงพลาสติก
สำหรับทำก้อนเชื้อขนาด 7" x 12" มวลหลังบรรจุวัสดุ
เพาะแล้วประมาณ 500-600 g/bag ความสูง

ประมาณ 17-18 cm เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อน
ประมาณ 10-11 cm และมีความหนาแน่น
ประมาณ 0.378 g/cm^3 หรืออยู่ในช่วง $0.36-0.38$
 g/cm^3 ด้วยแรงงานคนอัดใช้เวลา 28.8 sec/bags

2.2 การออกแบบกระบอกตวง

กระบอกตวงวัสดุเพาะทำจากท่อสแตนเลสขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm เนื่องจากขนาดถุงพลาสติก
มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11 cm คำนวณความสูงจาก
สมการที่ (1) ความหนาแน่นเฉลี่ยที่ 0.378 g/cm^3 และ
น้ำหนักวัสดุเพาะสูงสุด 600 g

$$h = \frac{m}{\rho \pi r^2} \quad (1)$$

โดยที่

h	= ความสูง	(cm)
m	= มวล	(g)
ρ	= ความหนาแน่น	(g/cm^3)
r	= รัศมีวงกลม	(cm)

จะได้ว่าความสูงของก้อนเชื้อเห็ดหลังอัดแล้วไม่ควรเกิน
20 cm เมื่อนำวัสดุเพาะที่การลดขนาดประมาณ 1 cm
มาชั่งมวลให้ได้ 600 g จะต้องใช้ท่อยาว 40 cm และเมื่อ
ทำการลบความสูงหลังอัดจะเหลือท่อยาว 20 cm แต่
ต้องทำการเผื่อระยะช่องเพื่อให้เซนเซอร์จับวัตถุและ
เชื่อมติดกับแผ่นประคองด้านบนได้จึงต้องเพิ่มความ
ยาวท่อ 5 cm ดังนั้นกระบอกตวงควรมีความยาว 45 cm

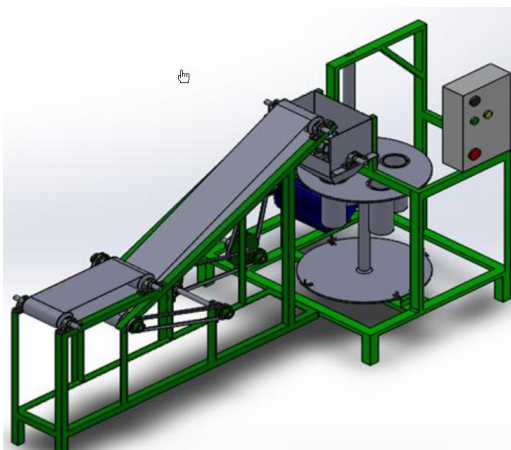
2.3 การออกแบบกระบอกนิวแมติกส์

กระบอกสูบลูกสูบที่เลือกใช้มีการทำงานสองทิศทางซึ่ง
ทำหน้าที่กดอัดวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟางให้มีความ
หนาแน่นมากขึ้น โดยเปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็น
พลังงานกลและมีการทำงานในแนวเส้นตรง มีระยะชัก
50 cm จึงเลือกใช้กระบอกที่มีความยาว 50 cm

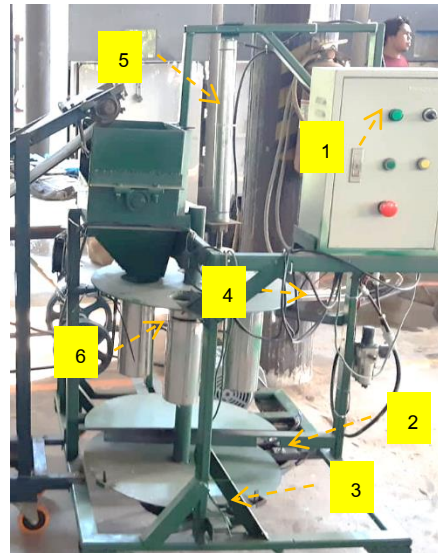
เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm และที่ปลายก้านสูบมีแท่งพลาสติกชุปเปอร์ลินหนา 5 cm

2.4 การออกแบบระบบควบคุมด้วยพีแอลซี

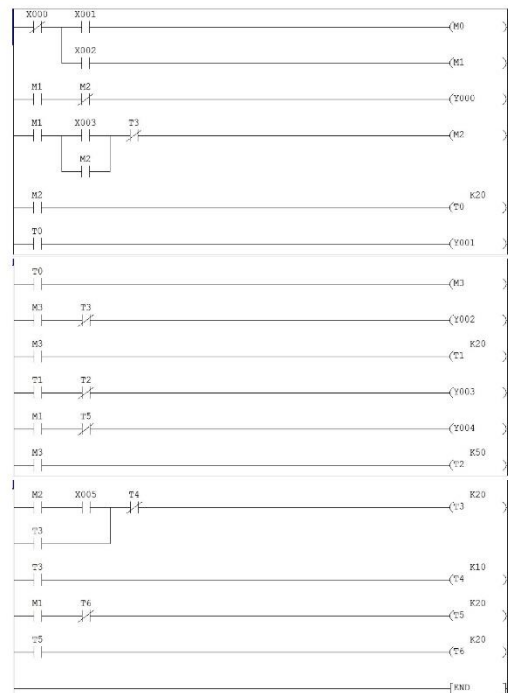
เมื่อทำการออกแบบเครื่องดังรูปที่ 1 และสร้างเครื่องพร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์แล้วแสดงดังรูปที่ 2 ทำการออกแบบระบบควบคุมอุปกรณ์โดยใช้ภาษา Ladder ในโปรแกรมพีแอลซีดังรูปที่ 3 และมีการแสดงตัวแปรตามตารางที่ 1 ให้มีการทำงานตามลำดับขั้น โดยมีมอเตอร์หมุน กระบอกนิวแมติกส์เบรกกระบอกตวง และกระบอกนิวแมติกส์อัดวัสดุเพาะ มีกระบวนการทำงานดังนี้ เมื่อทำการเปิดสวิทช์ระบบ (1) มอเตอร์หมุนชุดกระบอกตวงทำงาน (2) ขณะเดียวกันเซนเซอร์จับตำแหน่ง (3) ตรงตามที่ตั้งไว้แล้ว จะส่งผลให้มอเตอร์หยุดหมุนและจะส่งการต่อให้กระบอกเบรกทำงาน (4) เพื่อจับกระบอกตวงไม่ให้เคลื่อนที่เมื่อกระบอกอัด (5) เลื่อนลงอัดวัสดุเพาะพร้อมกับกระบอกตวงจะบรรจุวัสดุเพาะเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุทำงาน (6) จะส่งการให้มอเตอร์หมุนทำงาน ส่งผลให้ก้อนเชื้อเห็ดที่ถูกอัดแล้วหมุนมาตรงตำแหน่งนำออก แล้วระบบก็จะทำงานวนรอบเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1 แบบเครื่องย่อยพร้อมอัดก้อนเชื้อเห็ดฟาง



รูปที่ 2 เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดฟาง



รูปที่ 3 วงจรโปรแกรมการควบคุมเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดฟางด้วย PLC

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการควบคุมโดยใช้ภาษา Ladder ในโปรแกรมพีแอลซี

ประเภท	ตัวแปร	คำสั่ง
Input	X000	เริ่มต้น
	X001	ระบบสั่งการด้วยคน
	X002	ระบบอัตโนมัติ
	X003	เซนเซอร์ตรวจจับโลหะส่งสัญญาณไปยัง Y000
	X005	เซนเซอร์แสงส่งสัญญาณไปยัง Y002
Output	Y000	สั่งให้มอเตอร์หมุนเปลี่ยนกระบอกทำงาน
	Y001	สั่งให้มอเตอร์หมุนเปลี่ยนกระบอกหยุดทำงานและสั่งให้กระบอกเบรกดันออก
	Y002	สั่งกระบอกเบรกถอยกลับ
	Y003	สั่งให้กระบอกอัดทำงาน
	Y004	สั่งให้พัดลมเป่าเศษฝ้าย
Timer	T0	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้มอเตอร์หมุนเปลี่ยนกระบอกทำงาน
	T1	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้กระบอกอัดดันออก
	T2	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้กระบอกอัดถอยกลับ
	T3	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้กระบอกเบรกถอยกลับ
	T4	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้มอเตอร์หมุนเปลี่ยนกระบอกหยุดทำงาน

ประเภท	ตัวแปร	คำสั่ง
	T5	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้พัดลมเป่าเศษฝ้ายทำงาน
	T6	ตั้งเวลาหน่วงและสั่งให้พัดลมเป่าเศษฝ้ายหยุดทำงาน
Relay	M0	สั่งให้ระบบสั่งการด้วยคนทำงาน
	M1	สั่งให้ Y004 ทำงาน
	M2	สั่งให้ T0 และ T3 ทำงาน
	M3	สั่งให้ T1 และ T2 ทำงาน

3. การเตรียมวัสดุและการทดสอบ

3.1 การเตรียมวัสดุเพาะ

วัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟางนำมาจากโรงงานผลิตก้อนเชื้อเห็ดฟางที่ได้ทำการผสมและหมักพร้อมที่จะบรรจุลงถุงในวันต่อไปมาทำการลดขนาดหรือการทำให้เส้นใยไม่จับกลุ่มกันด้วยเครื่องย่อย เมื่อย่อยแล้วจะมีขนาดประมาณ 1 cm แล้วทำการควบคุมความชื้นด้วยการกำด้วยมือหากแบมือแล้วยังจับตัวเป็นก้อนถือว่าใช้ได้ ซึ่งเมื่อนำวัสดุเดียวกันนี้มาอบเพื่อหาความชื้นพบว่าวัสดุเพาะก่อนบรรจุถุงมีความชื้นประมาณ 54 % และต้องควบคุมความชื้นด้วยการเติมน้ำให้ได้หรือตากแดดให้มีความชื้นใกล้เคียงกันทุกการทดสอบ

3.2 การทดสอบ

การทดสอบมีตัวแปรในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรต้น คือ ความดันลมที่ส่งไปยังกระบอกอัด 3 ระดับ 3 4 และ 5 bar

2. ตัวแปรตาม คือ เวลาอัด มวล ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และจำนวนก้อน

3. ตัวแปรควบคุม คือ มวลเริ่มต้น 18 kg ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 54 % และอัตราการป้อนวัสดุเพาะ 27 g/s หรือ 98 kg/hr

4. ค่าชี้วัด คือ ก้อนที่ผ่านและไม่ผ่าน มวลสูญเสียความสามารถในการอัด และประสิทธิภาพในการอัด

ก้อนที่ผ่านต้องอยู่ในเกณฑ์ของค่าที่ยอมรับได้จากโรงงานดังนี้ ความสูงประมาณ 17-18 cm เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนประมาณ 10-11 cm แต่สิ่งที่เน้นคือมวลและความหนาแน่น ซึ่งมวลหลังบรรจุวัสดุเพาะแล้วประมาณ 550-600 g/bag และมีความหนาแน่นประมาณ 0.378 g/cm^3 หรืออยู่ในช่วง $0.360\text{-}0.380 \text{ g/cm}^3$

ร้อยละมวลสูญเสีย คำนวณได้จากมวลเริ่มต้นลบด้วยมวลที่บรรจุลงถุงได้ ดังสมการที่ (2)

$$m_l = \frac{m_b}{m_t} \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่

$$m_l = \text{มวลสูญเสีย} \quad (\%)$$

$$m_b = \text{มวลบรรจุลงถุงได้} \quad (\text{g})$$

$$m_t = \text{มวลเริ่มต้น} \quad (\text{g})$$

ความสามารถในการอัด คำนวณจากจำนวนก้อนที่ผ่านเทียบกับเวลาทั้งหมด ดังสมการที่ (3)

$$cap_{comp} = \frac{bag_p}{t_t} \quad (3)$$

โดยที่

$$cap_{comp} = \text{ความสามารถในการอัด} \quad (\text{bag/hr})$$

$$bag_p = \text{จำนวนถุงที่ผ่าน} \quad (\text{bag})$$

$$t_t = \text{เวลาทั้งหมด} \quad (\text{hr})$$

ประสิทธิภาพในการอัด คำนวณได้จากจำนวนก้อนที่ผ่านเทียบกับจำนวนก้อนทางทฤษฎี หรือประมาณมวลที่บรรจุได้เทียบกับมวลทางทฤษฎี (มวลทางทฤษฎี 18 kg ต้องได้จำนวนทางทฤษฎี 30 ก้อน) ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$eff_{comp} = \frac{bag_p}{bag_{the}} \times 100\% \quad (4)$$

$$eff_{comp} = \frac{m_b}{m_{the}} \times 100\% \quad (5)$$

โดยที่

$$eff_{comp} = \text{ความสามารถในการอัด} \quad (\text{bag/hr})$$

$$bag_p = \text{จำนวนถุงที่ผ่าน} \quad (\text{bag})$$

$$bag_{the} = \text{จำนวนถุงทางทฤษฎี} \quad (\text{bag})$$

$$m_b = \text{มวลบรรจุลงถุงได้} \quad (\text{g})$$

$$m_{the} = \text{มวลทางทฤษฎี} \quad (\text{g})$$

4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

4.1 การอัดก้อนวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟาง

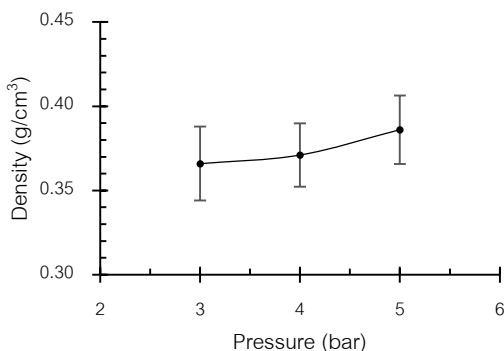
จากการอัดวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟางจำนวน 18 kg ซึ่งทางทฤษฎีจะบรรจุวัสดุเพาะได้ถุงละ 600 g รวมทั้งสิ้นจะได้ 30 bags ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ ได้ผลของความสูง (h) เส้นผ่านศูนย์กลาง (Dai.) มวลที่บรรจุได้ (m_{bag}) มวลสูญเสีย (m_{loss}) เวลาต่อก้อน (t) เวลารวม (t_t) ก้อนที่ผ่าน (bag_p) และก้อนทั้งหมดที่อัดได้ (bag_t) แสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าที่ความดัน 3, 4 และ 5 bar มีความสูงของก้อนใกล้เคียงกันคือ 17.41 ± 0.25 , 17.29 ± 0.24 และ $17.13 \pm 0.12 \text{ cm}$ ตามลำดับ เส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 10.57±0.24, 10.61±0.20 และ 10.69±0.23 cm ตามลำดับ มวลที่บรรจุลงถุงอยู่ระหว่าง 551.03±13.61, 566.65±14.36 และ 589.79±16.40 g ตามลำดับ ในส่วนของเวลาการอัดต่อกันจะมีค่าอยู่ในช่วง 20.35±0.42, 20.75±0.34 และ 21.81±0.47 s/bag ตามลำดับ และมีเวลารวมในการทดสอบต่อเนื้อ 18 kg ใช้เวลา 610.49±9.04, 622.51±7.53 และ 654.16±10.03 s ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการอัดก้อนวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟาง

P (bar)	3	4	5
h (cm)	17.41±0.25	17.29±0.24	17.13±0.12
Dia. (cm)	10.57±0.24	10.61±0.20	10.69±0.23
m ₀ (g/bag)	551.03±13.16	566.65±14.36	589.79±16.40
m ₁ (g/bag)	38.98±2.39	30.21±2.73	33.36±2.19
t ₁ (s)	610.49±9.04	622.51±7.53	654.16±10.03
t (s/bag)	20.35±0.42	20.75±0.34	21.81±0.47
bag _p (bag)	19	26	20
bag _g (bag)	30	30	30

จากรูปที่ 4 เมื่อค่าแรงดันเพิ่มจาก 3 4 และ 5 bar มีผลของค่าความหนาแน่นในการอัดก้อนเชื้อเห็ดฟาง 0.366±0.02, 0.371±0.02 และ 0.386±0.02 g/cm³ ตามลำดับ



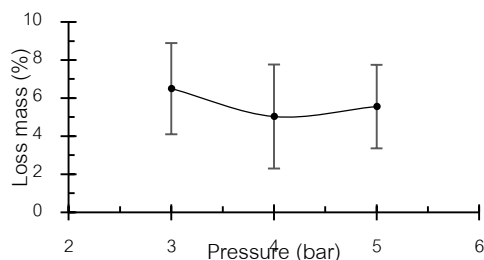
รูปที่ 4 ผลความหนาแน่นในการอัดก้อน

ซึ่งจากการสอบถามผู้ประกอบการทำให้ทราบว่าค่าความหนาแน่นจะมีผลต่อการเดินเชื้อของเห็ดฟาง

หากแน่นมากเกินไปเชื้อจะกระจายได้ยากมีผลต่อผลผลิตที่ออกปริมาณน้อย จึงเน้นค่าวัดผลที่ความหนาแน่นเป็นหลักคืออยู่ในช่วง 0.36-0.38 g/cm³ โดยที่ความดันลมเข้ากระบอกอัด 3 bar จะอัดได้ก้อนวัสดุเพาะที่มีความหนาแน่นต่ำจึงมีก้อนที่ผ่านเกณฑ์ 19 bags ในขณะที่เดียวกันที่ความดัน 5 bar จะมีความหนาแน่นสูงมีก้อนที่ผ่านเกณฑ์ 20 bags และที่ความดัน 4 bar จะมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้มากที่สุดส่งผลให้มีจำนวนก้อนที่ผ่านเกณฑ์มากที่สุด 26 bags

4.2 ร้อยละมวลสูญเสีย

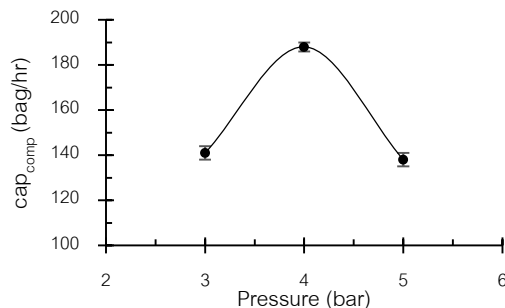
การบรรจุวัสดุลงกระบอกตวงจะมีเซนเซอร์ตรวจจับปริมาณวัตถุขณะที่กระบอกหมุนไปยังตำแหน่งต่อไปจะมีวัสดุเพาะตกลงมาบริเวณภาดหมุนด้านบน ส่งผลให้มีมวลที่สูญเสียดังรูปที่ 5 เห็นได้ว่าเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น 3 4 และ 5 bar มีค่าเฉลี่ยของมวลสูญเสียต่อถุงใกล้เคียงกันคือ 6.50±2.39%, 5.04±2.73% และ 5.56±2.19% ของมวลเริ่มต้น (18 kg) หรือมีค่า 38.98±2.39, 30.21±2.73 และ 33.36±2.19 g/bag แต่ความดันไม่ได้มีผลโดยตรงกับการสูญเสีย แต่ขึ้นอยู่กับกลุ่มวัสดุเพาะที่ตกลงในกระบอกทำให้มีมุมกองที่ต่างกันส่งผลต่อค่าระดับของเซนเซอร์ตรวจจับได้ต่างกัน



รูปที่ 5 ผลร้อยละมวลสูญเสีย

4.3 ความสามารถในการอัดวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟาง

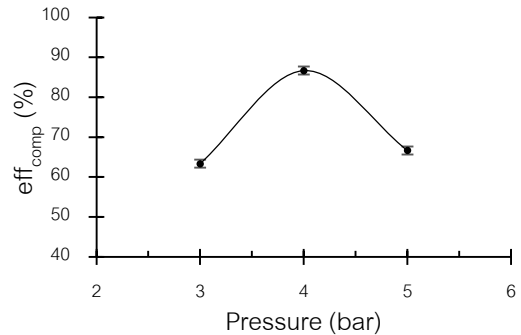
ความสามารถในการอัดจะพิจารณาจากจำนวนก้อนที่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งจากข้อมูลเฉลี่ยทำให้ทราบว่าเวลาในการอัดของแต่ละความดันมีค่าใกล้เคียงกันแต่จำนวนก้อนที่ผ่านเกณฑ์ต่างกัน สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถกับความดันดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าที่ความดันลม 4 bar มีจำนวนก้อนที่ผ่านเกณฑ์มากที่สุดจึงมีค่าความสามารถสูงที่สุดคือ 188 ± 2 bag/hr ในขณะที่ 3 bar และ 5 bar มีค่าใกล้เคียงกันคือ 141 ± 3 bag/hr และ 138 ± 3 bag/hr ตามลำดับ



รูปที่ 6 ผลความสามารถในการอัดก้อน

4.4 ประสิทธิภาพในการอัดวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟาง

จากการทดสอบการอัดนำข้อมูลของมวลที่บรรจุได้เทียบกับมวลทางทฤษฎี และจำนวนถุงวัสดุเพาะที่ผ่านเกณฑ์เทียบกับจำนวนถุงทางทฤษฎี สามารถแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการอัดเทียบกับความดันแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 7 ผลประสิทธิภาพในการอัดก้อน

จากข้อมูลเฉลี่ยของมวลที่บรรจุได้ในแต่ละความดันแตกต่างกันน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์สามารถตรวจจับค่าได้ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาจำนวนก้อนเชื้อเห็ดฟางที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละระดับซึ่งประสิทธิภาพการอัดก้อนที่มีค่าสูงสุด 86.67% ที่ความดันกระบอกอัด 4 bar สำหรับความดัน 3 bar ยังไม่สามารถอัดก้อนให้ได้ความหนาแน่นตามที่ต้องการขณะเดียวกันหากความดันที่ใช้อัดมีค่ามากเกินไปก็จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นที่มากเกินไปทำให้เชื้อเห็ดกระจายได้ช้าและผลผลิตเห็ดฟางอาจได้ปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์

4.5 การคำนวณจุดคุ้มทุน

เครื่องย่อยพร้อมอัดวัสดุเพาะเชื้อเห็ดฟางมีต้นกำลัง 2 ส่วนคือ ป้อนขนาด 373 W และมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 hp หรือ 2,238 W ทำการทดสอบแรงดัน 3 4 และ 5 bar มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานต่อก้อน 0.0147, 0.0150 และ 0.0158 kWh/bag ตามลำดับ และเมื่อคำนวณค่าไฟฟ้า 6 Baht/kWh จะมีค่าใช้จ่ายต่อก้อน 0.0886, 0.0902 และ 0.0949 Baht/bag

ในส่วนของแรงงานคนที่มีความเร็วในการบรรจุก้อนสูงสุดคือ 125 bags/hr. หรือ 1,000 bags/day (8 hr./day) จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 0.5 Baht/bag

ผู้ประกอบการมีคำสั่งซื้อต่อเนื่องประมาณ 50,000 bags/Month เมื่อใช้แรงงานคนจะมีค่าใช้จ่าย 25,000 Baht/Month สำหรับการให้เครื่องย่อยพร้อมอัดเลือกที่ความดัน 4 bar เนื่องจากมีค่าที่ต่ำสุดในการทดสอบนี้ จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 17,015 Baht/Month ซึ่งประกอบด้วยค่าไฟฟ้า 4,515 Baht/Month และแรงงานในการสวมถุงเข้ากระบอกล้างและปิดปากถุง 0.2 Bath/bag หรือ 10,000 Baht/Month ดังนั้นจึงมีผลต่างระหว่างแรงงานคนและเครื่องประมาณ 10,485 Baht/Month หากเครื่องเครื่องย่อยพร้อมอัดมีมูลค่า 59,500 Baht จะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 6 เดือน

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

เครื่องอัดก้อนวัสดุเพาะเห็ดฟางแบบกึ่งอัตโนมัติมีการควบคุมการทำงานอัตโนมัติด้วยพีแอลซี การอัดที่แรงดัน 3.4 และ 5 bar วัสดุเพาะเริ่มต้น 18 kg สามารถอัดได้จำนวน 30 ก้อน ได้เท่ากัน โดยที่มีเวลาในการอัดต่อถุงใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่ค่าชีวัดคือความหนาแน่นในการอัดก้อนซึ่งอยู่ในช่วง 0.36-0.38 g/cm³ ซึ่งที่แรงดัน 4 bar มีก้อนวัสดุเพาะที่ผ่านเกณฑ์ค่าชีวัดมากที่สุดคือ 26 ก้อน ในขณะที่เดียวกันมีความสามารถสูงสุดคือ 188±2 bag/hr และมีประสิทธิภาพการอัดก้อนสูงสุด 86.67% สำหรับที่แรงดัน 3 bar มีก้อนวัสดุเพาะที่มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเกณฑ์ และที่แรงดัน 5 bar ก้อนวัสดุเพาะมีความหนาแน่นมากเกินไป ซึ่งจะมีผลต่อการเดินเชื้อของเห็ดที่ต้องใช้เวลานาน

สำหรับข้อเสนอแนะควรมีการปรับปรุงกลไกในการอัดก้อนวัสดุเพาะให้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเพื่อลดพื้นที่และอุปกรณ์ในการติดตั้ง อีกทั้งลดการใช้พลังงานจากปั๊มลม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ทุนอุดหนุนการวิจัยตามสัญญาเลขที่ NKR2561REVO40 และที่เชื้อเพื่อสถานที่ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahlawat OP, Tewari RP. Cultivation Technology of Paddy Straw Mushroom (Volvariella Volvacea). National Research Centre for Mushroom. Indian Council Agricultural Research. 2007; 213(1): 36.
- [2] Chen S, Ma D, Ge W, Buswell JA. Induction of Laccase Activity in the Edible Straw Mushroom, Volvariella Volvacea. FEMS Microbiology Letters. 2003; 218(1): 143-8.
- [3] Kamthan R, Tiwari I. Agricultural Wastes- Potential Substrates for Mushroom Cultivation. European Journal of Experimental Biology. 2017; 7(5): 31.

- [4] Kwak WS, Kim YI, Seok JS, Oh YK, Lee SM. Molasses and Microbial Inoculants Improve Fermentability and Silage Quality of Cotton Waste-Based Spent Mushroom Substrate. *Bioresource Technology*. 2009; 100(3): 1471–3.
- [5] Office of Agricultural Economics. *Agricultural Economics News*. (Internet). Press: 2019 [cited 2019 November 7]. Available from: <http://www.oae.go.th/>
- [6] Kwon H, Kim BS. *Cultivation Modes: Bag Cultivation. Mushroom Grower's Handbook 1: Oyster mushroom Cultivation*: 2004.
- [7] Saisin K, Saisin P. Design Construction and Efficiency of Press Equipment Mushroom Cube. *Vocational Education Innovation and Research Journal*. 2017; 1(1): 1–6.
- [8] Singhan K, Ninlawat S, Promlung N. The Development of Compressing Mushroom Grow Machine. *Journal of Innovative Technology Research*. 2017; 1(1): 119–29.
- [9] Pharanat C. Automatic Sawdust Pressing Machine for Mushroom Culture. *Rajabhat Maha Sarakham University Journal*. 2008; 2(1): 23–8.
- [10] Nukpook K, Rattanakam S, Thaitae S, Srijumpa N, Choengaksorn C. Development of Screw Press for Packing Corn Husk Substrate in Long Polythene Bag for Mushroom Cultivation. *Thai Agricultural Research Journal*. 2019; 37(1): 37–47.
- [11] Nukpook K. Study Equipment for Bagging Machine from Corn Shell in Long Shape for Mushroom Cultivation. Department of Agriculture. 2017.