

การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดระบบเพลเลทมิลล์ให้ทำงานร่วมกับเครื่องผสมแบบเพลานอนโดยใช้เครื่องต้นกำลังร่วมกัน

Development of Integrating a Fertilizer Pellet Compressing Machine into a Horizontal Axle Mixer by Using One Power Engine

วสันต์ ศรีเมือง* และ ธวัชชัย ประมวลรัมย์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต. ในเมือง อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทร 0-4423-3000 ต่อ 3410 โทรสาร 0-4423-3052 *อีเมลล์ wasansrimuang@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์แบบเพลเลทมิลล์ให้ทำงานร่วมกับเครื่องผสมแบบเพลานอน ซึ่งใช้เครื่องยนต์ต้นกำลังเดียวขนาด 11 แรงม้า ใช้ความเร็วรอบสูงสุดขณะทำงาน 1600 รอบต่อนาที ความเร็วรอบในการอัด 213 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของเพลผสม 29 รอบต่อนาที โดยใช้หัวอัดที่เป็นแบบลูกกลิ้งคู่เพื่อสมดุลแรงเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบริ่งด้วย หัวอัดที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ทำการเจาะรูล้อมรอบ ซึ่งรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 15 แถว แต่ละแถวห่างกัน 7 มิลลิเมตร และมีสายพานลำเลียงเพื่อใช้ในการลำเลียงปุ๋ยที่ผ่านการผสมเสร็จแล้วไปยังชุดหัวอัด ซึ่งขนาดของสายพานกว้าง 300 มิลลิเมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.13 เมตรต่อวินาที ในการทดลองได้ทำการทดลองเพื่อหาส่วนผสมระหว่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการตีป่นต่อน้ำที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณคงที่ 1 กิโลกรัม ส่วนปุ๋ยอินทรีย์เริ่มจาก 3, 2.5, 2, 1.5 และ 1 กิโลกรัม และในขณะเดียวกันได้เปลี่ยนความเร็วรอบ 1400, 1600, 1800 และ 2000 รอบต่อนาที จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการตีป่นต่อน้ำที่เหมาะสม คือ 2 : 1 ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที โดยให้ลักษณะของเม็ดปุ๋ยมีความยาวเฉลี่ย 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5.5 มิลลิเมตร และมีความหนาแน่น (ขณะเปียก) เฉลี่ย 2.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการผลิตเฉลี่ย 258 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ก่อนนำไปตากแห้ง) มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

คำสำคัญ : เครื่องอัด เครื่องผสม

Abstract

The research was purposed to development and design of pellet organic fertilizer machine work with horizontal axis mixing machine by using single power engine 11 horse power with the

maximum operation of round speed 1600 rounds per minute, compressing round speed 213 rounds per minute and mixing axis of round speed 29 rounds per minute. Using compressing head of twin rollers was to power balance of effective bearing. The diameter of compressing head were 300 millimeters, to make a hole around which this size of hole were 5 millimeters for 15 rows, but each row were width 7 millimeters and it has driving conveying belt to bring fertilizer passed mixing to compressing head. The width of conveying belt was 300 millimeters and it moved with the velocity 0.13 meter per second. In the part of test to find mixer between compressing organic fertilizer to appropriate water, a fixed water quantity at 1 kilogram, organic fertilizer 3, 2.5, 2, 1.5 and 1 kilogram and varied the round speed to 1400, 1600, 1800 and 2000 rounds per minute. It found that the mixing ratio between the organic fertilizers to appropriately water 2 : 1, at 1600 rounds per minute which was a proper round speed. The length of the compressed fertilizer pellet average 10 millimeters, diameters average 5.5 millimeters and the density (wet) average 2.8 gram per cubic centimeter. Beside that it found that production rate averaged 258 kilogram per hour (before dry), and the fuel consumption averaged 1.6 cubic centimeter per minute.

Key word : Compressing machine, Mixing machine

1. คำนำ

เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีอาชีพในภาคเกษตรกรรม ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการทำเกษตรกรรมคือ ดิน ซึ่งคุณภาพของดินจะเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลสำเร็จในการทำเกษตรกรรม การปรับปรุงคุณภาพของดินจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก

โดยสามารถปฏิบัติด้วยการไถพรวนดิน การให้น้ำรวมถึงการใส่ปุ๋ย ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อดีคือ จะช่วยปรับปรุงและรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินไว้ แต่เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวม ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งและไม่สะดวกในการใช้งานเนื่องจากการฟุ้งกระจายของปุ๋ย รวมไปถึงกลิ่นอันไม่พึงประสงค์และแมลงรบกวน จึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ไม่เป็นที่นิยมใช้ แนวทางการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์ จึงน่าจะเป็นแนวทางการแปรรูปเพื่อให้สะดวกในการใช้งานและการขนส่ง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งจะเป็นการพัฒนาการใช้ทรัพยากรในยุคเศรษฐกิจพอเพียงเพียงแนวทางหนึ่ง นอกจากนั้นยังเป็นการลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมจากกลิ่นและแมลงรบกวนไปในตัวและหากสามารถนำไปจำหน่ายก็จะเป็นรายได้แก่เกษตรกรอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันนี้ก็ได้มีการแปรรูปปุ๋ยอินทรีย์ โดยกระบวนการแปรรูปปุ๋ยอินทรีย์นั้น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้ทำการเสนอกระบวนการผลิตดังนี้ นำส่วนผสมทั้งหมดและนำมาใส่ในเครื่องผสมแล้วผสมให้เข้ากัน หลังจากทำการคลุกเคล้าส่วนผสมด้วยเครื่องผสมให้เข้ากันดีแล้ว จะใช้แรงงานคนในการขนย้ายส่วนผสมเข้าสู่เครื่องอัดเม็ด ทำให้ต้องใช้แรงงานคนมากและสิ้นเปลืองเวลาในขั้นตอนการผลิตนี้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดแรงงานคนและเวลาในการผลิต ผู้ทำวิจัยจึงได้นำเครื่องผสมและเครื่องอัดเม็ด มารวมเป็นชุดเดียวกันเพื่อลดขั้นตอนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ดังนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย วว. (2546) [1] ได้สร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เครื่องดังกล่าวประกอบด้วยเครื่องย่นดีเซลขนาด 11 แรงม้า และหัวตัดมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3–5 มิลลิเมตร สามารถอัดปุ๋ยได้ชั่วโมงละ 150 กิโลกรัม และได้สร้างเครื่องที่ใช้ในการผสมวัตถุดิบต่างๆ แบบเพลานวนอน เพื่อผสมให้วัตถุดิบต่างๆ ในกระบวนการผลิตปุ๋ยเข้ากันได้ดี เครื่องผสมดังกล่าวมีลักษณะเป็นใบกวนใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า ไฟฟ้า 220 โวลต์ พร้อมสวิทช์ต่างๆ ควบคุมการทำงาน

บรรจงศรี จีระวิพลารณ และคณะ (2541) [2] ได้พัฒนาเครื่องอัดปุ๋ยอินทรีย์ จากต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่ออัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เป็นถังผสมแกนนอนภายในติดตั้งใบกวน 7 ใบ เกลียวลาลึกลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มายังอุปกรณ์อัดเม็ดที่ดัดแปลงมาจากเครื่องบดเอนกประสงค์แบบมินิเซอร์ โดยติดตั้งอุปกรณ์ตัดปุ๋ยที่ผ่านการอัดให้เป็นเม็ดที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นหน้าแวน ต้นกำลังขนาด 1 แรงม้า ถ่ายทอดกำลังผ่านสายพานและล้อสายพาน ได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 10 มิลลิเมตร เครื่องอัดปุ๋ยอินทรีย์นี้สามารถอัดเม็ดปุ๋ยได้ 54 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพิ่มความหนาแน่นขึ้นเป็น 2.04 เท่า ต่อมาเฉลิมชัย สุขประเสริฐและบัณฑิตนาทประยูร (2544) [3] ได้พัฒนาเครื่องอัดเม็ดมูลสัตว์ โดยพัฒนาและปรับปรุงข้อบกพร่องของเครื่องอัดเม็ดมูลสัตว์เครื่องต้นแบบ ซึ่งเครื่องอัดเม็ดมูลสัตว์ที่พัฒนามีความสูง 90 เซนติเมตร มีถังผสมแกนนอนภายในเป็นเพลากวนแบบซี่กวนติดเกลียวลาลึกลงเพื่อเพิ่มแรงอัดลงช่องออกของมูลสัตว์ที่ผสมมายังชุดป้อนวัสดุลง 3 ใบ ระยะห่างแต่ละใบ 120 องศา เครื่องอัดเม็ดแบบมินิเซอร์ จะติดตั้งอุปกรณ์ตัดปุ๋ยที่ผ่าน

การอัดให้เป็นเม็ดที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นหน้าแวน มีต้นกำลังขนาด 1 แรงม้า ถ่ายทอดกำลังส่งผ่านสายพาน พูลี่ และเฟืองโซ่ เพลาลมผสมวัสดุมีความเร็ว 40 รอบต่อนาที และใช้ความเร็วในการอัดเม็ด 100 รอบต่อนาที อัตราส่วนผสมมูลสัตว์ต่อน้ำ 2 : 1 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาผสม 7 นาที ได้อัตราการผลิตเฉลี่ย 89.23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้ความชื้นในการผสม 50 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเม็ดปุ๋ยมีความหนาแน่น 1.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 1.48 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.72 เซนติเมตร

จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีใช้กันอยู่ยังไม่เหมาะสมต่อการใช้งานมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านเครื่องต้นกำลัง ปัจจุบันเครื่องผสมมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน ซึ่งไม่สะดวกในชนบท ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุในการทำวิจัยในครั้งนี้ โดยเน้นการออกแบบระบบส่งกำลังเครื่องอัดให้ทำงานร่วมกับเครื่องผสมโดยใช้ต้นกำลังเดียวกันและเป็นต้นกำลังเดิมของเครื่องอัด รวมทั้งใช้วัสดุที่สร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องเป็นวัสดุที่มีทั่วไปตามท้องตลาด (จังหวัดนครราชสีมา) ซึ่งทำให้สะดวกในการสร้างและบำรุงรักษา

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 พัฒนาเครื่องอัดเม็ดระบบเพลาลมให้ทำงานร่วมกับเครื่องผสมแบบเพลากวนนอน
- 2.2 หาอัตราส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์กับน้ำที่เหมาะสมสำหรับการอัดเม็ด
- 2.3 ประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องที่ได้จากการพัฒนา

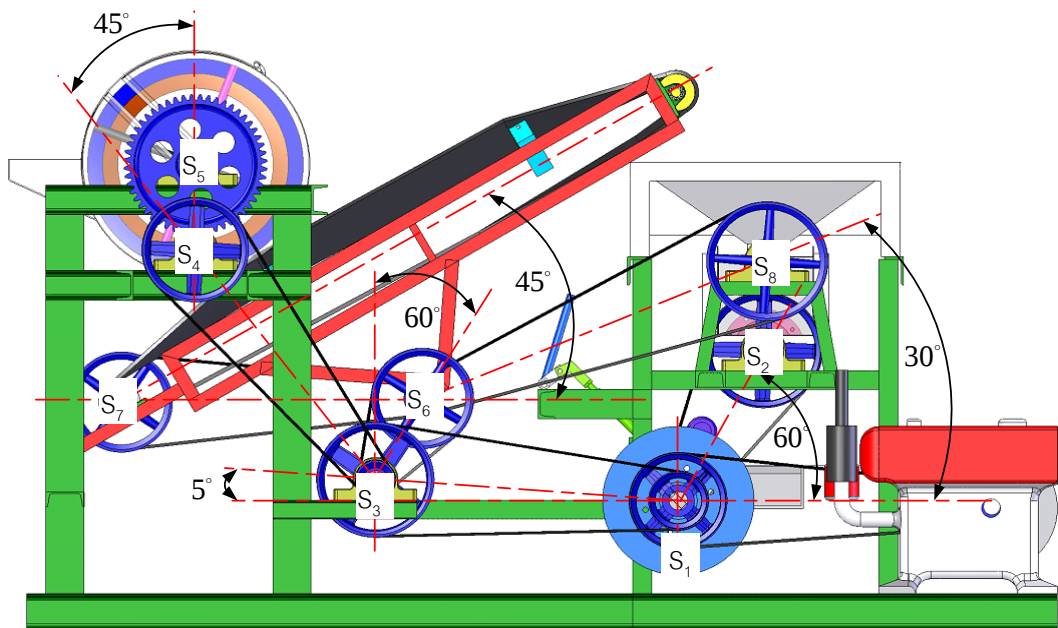
3. ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ให้ทำงานร่วมกันได้โดยใช้ต้นกำลังร่วมกัน มีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

- 3.1 ใช้เครื่องย่นดีเซลขนาด 11 แรงม้า จำนวนหนึ่งเครื่อง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน
- 3.2 ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำจากมูลของโคที่ผ่านการตีป็นเป็นปุ๋ยสำหรับการทดลอง
- 3.3 เครื่องที่ได้จากการพัฒนาสามารถผลิตเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้ไม่ต่ำกว่า 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- 3.4 ขนาดของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการอัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-7 มิลลิเมตร และยาว 8-12 มิลลิเมตร

4. การคำนวณและการออกแบบ

ในการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดแบบเพลาลมให้ทำงานร่วมกับเครื่องผสมแบบเพลากวนนอนโดยใช้ต้นกำลังเดียวกัน ได้อ้างอิงข้อมูลในการออกแบบจาก วว. เป็นหลัก ซึ่งการออกแบบจะเริ่มจากการคำนวณหาความเร็วรอบของแต่ละเพลาลม จากนั้นคำนวณหาแรงบิดที่กระทำกับเพลาลมเพื่อหาขนาดของเพลาลมส่งกำลัง แล้วจึงนำกำลังขับเคลื่อนและความเร็วรอบไปใช้ในการเลือกขนาดและจำนวนของสายพาน ซึ่งในการคำนวณนั้นจะเป็นขั้นเป็นตอนและจะต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ดังนี้



รูปที่ 1 ส่วนประกอบและระบบส่งกำลังของเครื่องอัดและผสมเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

4.1 การคำนวณอัตราทดและความเร็วรอบ

ในการคำนวณอัตราทดและความเร็วรอบนี้ ได้ใช้ข้อมูลของเครื่องยนต์คูโบต้า 11 แรงม้า ซึ่งที่ความเร็วรอบของต้นกำลังเท่ากับ 1600 รอบต่อนาที จะให้แรงบิดสูงสุดที่ 4 กิโลกรัม-เมตร (39.24 นิวตัน-เมตร) โดยนำค่านี้มาใช้ในการคำนวณและพิจารณาหาความเร็วรอบของเฟลาและขนาดของล้อสายพานต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องและลักษณะของการติดตั้งล้อสายพานและมุมที่ล้อสายพานกระทำกับแนวระดับซึ่งเป็นมุมที่มีผลต่อการคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดในเฟลา การคำนวณเริ่มต้นที่ความเร็วรอบของเฟลาหลักของชุดอัดเม็ด (เฟลาชุดที่ 1) ส่งกำลังต่อไปสองทางคือ ส่วนแรกส่งไปถึงเฟลาของหัวอัด (เฟลาชุดที่ 2) และอีกส่วนต่อไปยังเฟลาชุดผสม (เฟลาชุดที่ 5) โดยผ่านเฟลาชุดที่ 3 และ 4 ในการคำนวณอัตราทด (i) และความเร็วรอบจะใช้สมการ ดังนี้

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

เมื่อ D_1 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตาม

D_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานขับ

n_1 คือความเร็วรอบของล้อสายพานตาม

n_2 คือความเร็วรอบของล้อสายพานขับ

4.2 การคำนวณหาขนาดเฟลา

ในการออกแบบเฟลาได้ใช้ทฤษฎีตามโค้ดของ ASME B106.1M-1985 [4] และใช้วัสดุทำเฟลาชนิดเดียวกันทั้งหมด (St 42) เนื่องจากเป็นการง่ายต่อการคำนวณและยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อ

วัสดุในการทำเฟลาด้วย เนื่องจากต้องการให้แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เฟลาผสม (เฟลาชุดที่ 5) ให้มีแรงบิดมากในขณะผสม ดังนั้นจึงออกแบบให้ความเร็วรอบของเฟลาผสมต่ำ (29 รอบต่อนาที) สำหรับการคำนวณขนาดของเฟลา (d) จะใช้สมการดังนี้

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

เมื่อ C_m คือตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t คือตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

T คือแรงบิดที่เกิดขึ้นกับเฟลา

M คือโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเฟลา

τ_d คือค่าความเค้นเฉือนในการออกแบบ

ในเบื้องต้นได้ทำการวัดแรงบิดที่เฟลาต่างๆ ด้วยประแจวัดแรงบิดจากเครื่องของ วว. เพื่อนำค่าที่ได้นี้เป็นข้อมูลในการออกแบบเฟลาต่างๆต่อไป จากการวัดพบว่าเฟลาหัวอัดต้องการแรงบิด 113 นิวตัน-เมตร เฟลาผสมต้องการแรงบิด 170 นิวตัน-เมตร เฟลาสายพานลำเลียงต้องการแรงบิด 39.24 นิวตัน-เมตร และเฟลาสกรูลำเลียงต้องการแรงบิด 9.81 นิวตัน-เมตร จากนั้นคำนวณหาขนาดของเฟลาโดยพิจารณาร่วมกับขนาดของล้อสายพานต่างๆ เฟลาของสกรูลำเลียง (เฟลาชุดที่ 8) เลือกใช้ความเร็วรอบ 21 รอบต่อนาที ก็เพื่อป้องกันไม่ให้ปุ๋ยถูกลำเลียงลงไปให้หัวอัดเร็วเกินไปซึ่งอาจทำให้หัวอัดนั้นอัดปุ๋ยไม่ทัน และกำหนดให้เฟลาหัวอัดหมุนด้วยความเร็วรอบ 213 รอบต่อนาที (ตามข้อมูลเครื่องผสมของ วว.) ในส่วนของความเร็วรอบของเฟลาสายพานลำเลียงต้องการให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วที่ไม่สูงเกินไปที่ป้องกันไม่ให้ปุ๋ยที่ผ่านการผสม

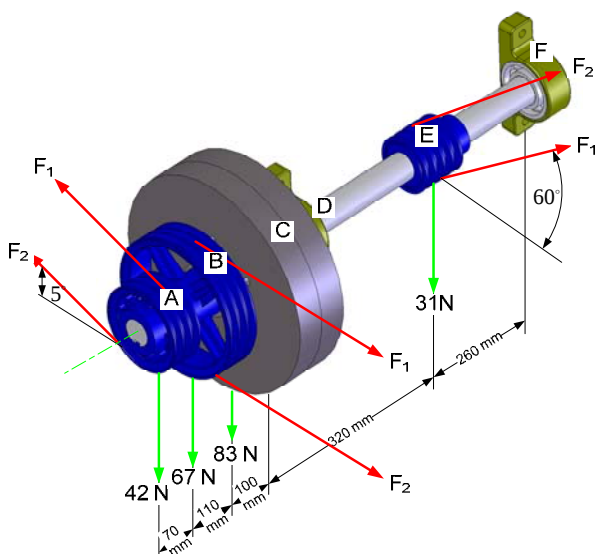
แล้วนั้นไม่เกิดการกระเด็นออกจากสายพาน และคำนวณหาความเร็วรอบของเพลาชุดที่ 6 ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบ 90 รอบต่อนาที การเลือกขนาดของล้อสายพานได้ใช้ตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975 (E) และ ISO/R 253-1962 (E) ซึ่งระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (D_p) ของล้อสายพานลิมเป็นมิลลิเมตร ในส่วนของเพลาสมมันต้องพิจารณาเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าถ้าต้องการให้ความเร็วรอบเริ่มต้นที่ 1600 รอบต่อนาที ลดลงไปเป็นความเร็วรอบ 29 รอบต่อนาที จากการพิจารณา

ตารางที่ 1 ขนาดของเพลาลูกและความเร็วรอบ

เพลาลูก	d (มิลลิเมตร)	n (รอบต่อนาที)
เพลาลูกชุดหัวอัด (S_1)	40	640
เพลาลูกชุดหัวอัด (S_2)	35	213
เพลาลูกชุดของชุดผสม (S_3)	40	320
เพลาลูกชุดของชุดผสม (S_4)	25	115
เพลาลูกชุดผสม (S_5)	35	29
เพลาลูกชุดสายพานลำเลียง (S_6)	15	90
เพลาลูกชุดสายพานลำเลียง (S_7)	30	25
เพลาลูกชุดลำเลียง (S_8)	15	21

พบว่า ถ้าหากว่าเลือกใช้เป็นล้อสายพานจะทำให้ได้ขนาดของล้อสายพานที่มีขนาดใหญ่เกินไป จึงแก้ไขโดยการเลือกใช้เฟืองทดแบบเฟืองฟันตรง ทั้งนี้การเลือกใช้ขนาดของอัตราทดและความเร็วรอบได้พิจารณาถึงขนาดและราคาของล้อสายพานด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้าหากใช้ล้อสายพานที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองและมีน้ำหนักมากยากต่อการเคลื่อนย้าย หลังจากที่ได้ทำการเลือกขนาดของล้อสายพานและเฟืองแล้ว จึงคำนวณหาความเร็วรอบของเพลาลูก ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 1

ในส่วนของการคำนวณหาความเค้นดัดของเพลาลูก ขอยกตัวอย่างการคำนวณเพลาลูกชุดหัวอัด (เพลาลูกชุดที่ 1) ซึ่งเป็นเพลาลูกที่ทำหน้าที่แบ่งกำลังและแรงบิดไปยังเพลาลูกชุดที่ 2 (S_2) และชุดที่ 3 (S_3) แรงต่างๆ ที่กระทำบนเพลาลูกชุดหัวอัดแสดงดังนี้ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แรงต่างๆ ที่กระทำบนเพลาลูกชุดหัวอัด

4.3 การคำนวณหา กำลังงานที่เพลาลูก

เมื่อทราบความเร็วรอบและแรงบิดของเพลาลูก สามารถคำนวณหา กำลังงานที่เกิดขึ้นในเพลาลูกได้ดังนี้

$$P = \frac{2\pi Tn}{(60)(746)} \quad (3)$$

เมื่อ P คือกำลังงาน (แรงแม่)

T คือแรงบิด (นิวตัน-เมตร)

n คือความเร็วรอบของเพลาลูก (รอบต่อนาที)

4.4 การคำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลาลูก

เมื่อทำการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในเพลาลูกโดยทำการพิจารณาจากแรงต่างๆ ที่กระทำกับเพลาลูก โดยทำการแบ่งการพิจารณาเป็นสองระนาบ คือแนวนอนกับแนวตั้ง จากนั้นทำการคำนวณหาโมเมนต์สูงสุดได้จากสมการ

$$M = \sqrt{(M_H)^2 + (M_V)^2} \quad (4)$$

เมื่อ M คือโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับเพลาลูก (นิวตัน-เมตร)

M_H คือโมเมนต์ดัดสูงสุดในแนวนอน (นิวตัน-เมตร)

M_V คือโมเมนต์ดัดสูงสุดในแนวตั้ง (นิวตัน-เมตร)

การคำนวณเริ่มต้นที่การกำหนดค่าแรงบิด (ได้จากข้อมูลสมรรถนะของเครื่องยนต์จากผู้ผลิต) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 39.24 นิวตัน-เมตร จากนั้นกำหนดให้อัตราส่วนความตึงของสายพาน $F_1 / F_2 = 3$ และเลือกขนาดของล้อสายพาน D_{eng} เท่ากับ 100 มิลลิเมตร จะได้

$$T_{eng} = (F_1 - F_2)(D_{eng} / 2)$$

$$T_{eng} = (2F_2)(D_{eng} / 2)$$

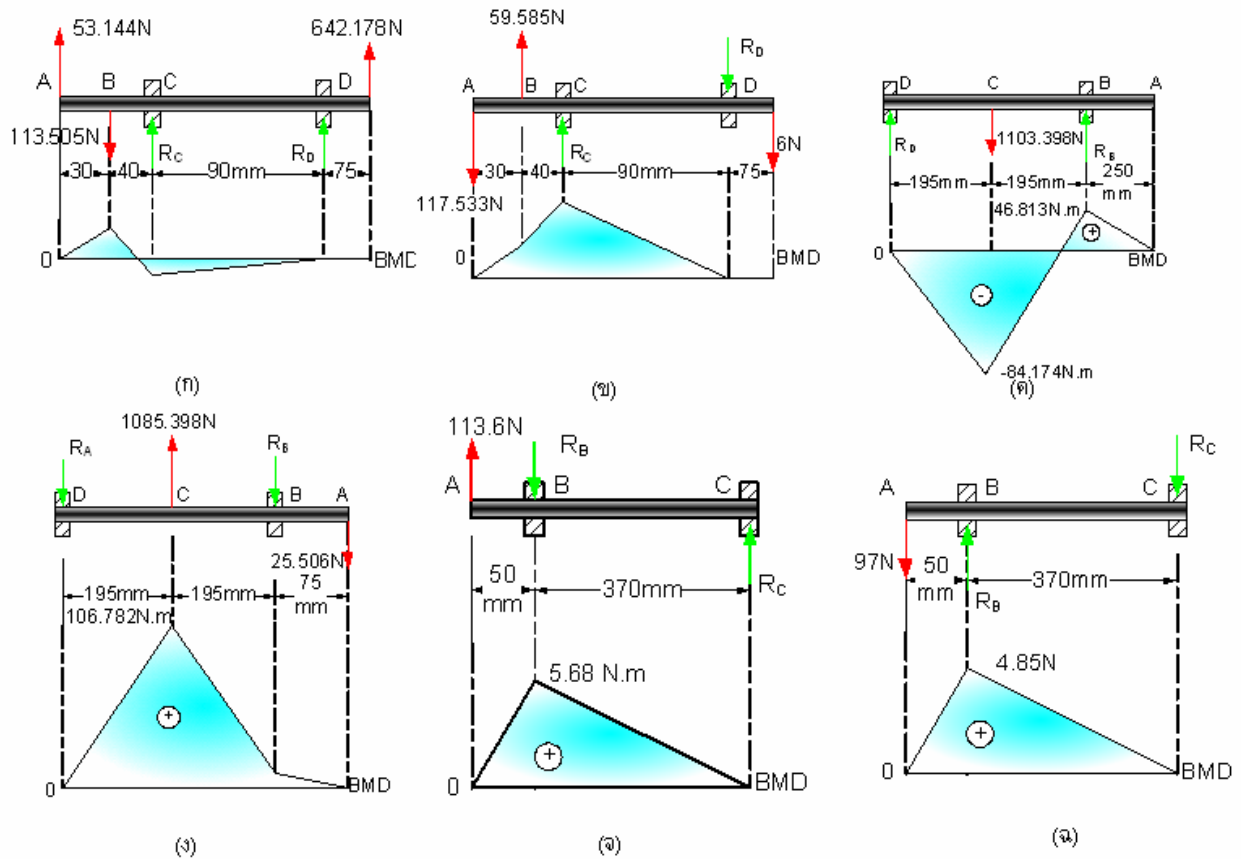
$$39.24 \text{ N.m} = (2F_2)(0.1 \text{ m} / 2)$$

$$F_2 = 392.4 \text{ N} \text{ และ } F_1 = 3F_2 = 1177.2 \text{ N}$$

เมื่อทราบค่าแรงตึงบนล้อสายพานแล้ว ต่อไปนำค่าที่ได้นี้ไปคำนวณหา ค่าแรงบิดที่ล้อสายพาน D_B โดยที่ขนาดของ $D_B = 250$ มิลลิเมตร

$$T_B = (1177.2 - 392.4) \text{ N}(0.25 \text{ m} / 2) = 98.1 \text{ N.m}$$

จากนั้นนำค่าแรงบิดที่ได้นี้ไปคำนวณหา กำลังงาน โดยใช้สมการ (3) ซึ่งกำลังขับที่เพลาลูกผสม เพลาลูกชุดลำเลียง และเพลาลูกชุดสายพานลำเลียง มีค่าเท่ากับ 0.69, 0.03 และ 0.14 แรงแม่ ตามลำดับ ซึ่งรวมกันแล้วได้เท่ากับ 0.85 แรงแม่ ดังนั้นกำลังที่ต้องส่งไปยังล้อสายพาน D_B ต้องไม่น้อยกว่า 0.85 แรงแม่ และเมื่อความเร็วรอบของเพลาลูกชุดหัวอัดมีค่า

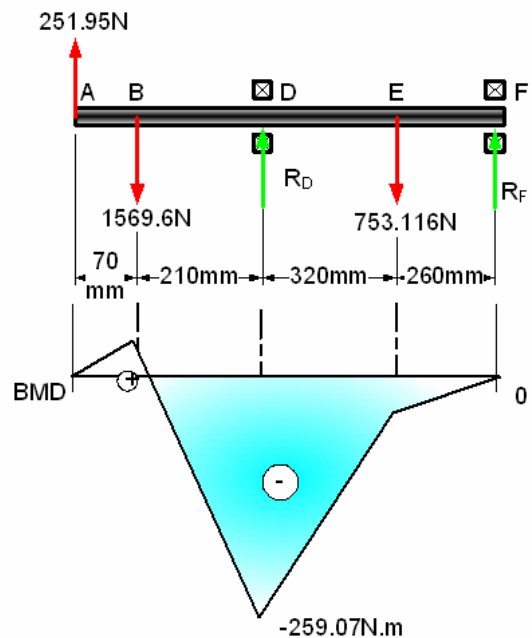


รูปที่ 3 โมเมนต์ดัดของเพลาดังกล่าว ของเครื่องอัดและผสมเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
(ก) และ (ข) เพลาทรงรอบชุดสายพานลำเลียง (ค) และ (ง) เพลาชับสายพานลำเลียง (จ) และ (ฉ) เพลาสกรูลำเลียง

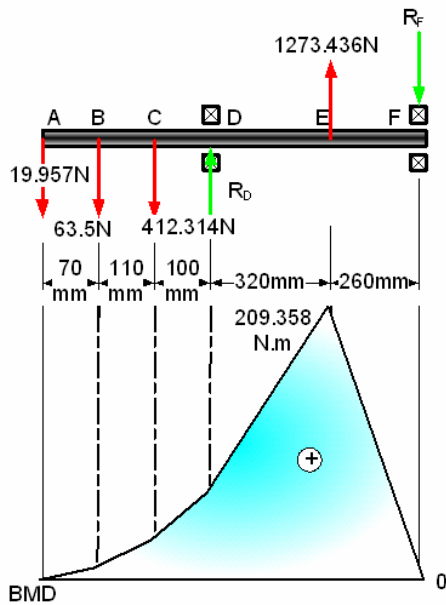
เท่ากับ 640 รอบต่อนาที จะได้ $T_A = 9.1$ นิวตัน-เมตร จากนั้นคำนวณหาค่า F_{2A} และ F_{1A} ซึ่งได้เท่ากับ 63.23 และ 189.68 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ ต่อไปทำการรวมแรงบนล้อสายพาน D_A ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} F_A &= F_1 + F_2 = 189.68 + 63.23 = 252.91 \text{ N} \\ F_{A,H} &= F_A \cos 5^\circ = 252.91 \cos 5^\circ = 251.95 \text{ N} \\ F_{A,V} &= F_A \sin 5^\circ - W_A = 252.91 \sin 5^\circ - 42 \text{ N} \\ &= 19.96 \text{ N} \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันคำนวณค่า $F_B, F_{B,H}, F_{B,V}, F_E, F_{E,H}$ และ $F_{E,V}$ ซึ่งค่าที่ได้แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนเพลาดังกล่าว ซึ่งผลการคำนวณค่าโมเมนต์ดัดสรุปได้ว่า โมเมนต์ดัดในเพลานี้ที่จุด D มีค่า $M_{D,H}$ และ $M_{D,V}$ มีค่าเท่ากับ -259.07 และ 59.53 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ และโมเมนต์ดัดในเพลานี้ที่จุด E มีค่า $M_{E,H}$ และ $M_{E,V}$ มีค่าเท่ากับ -8.10 และ 209.36 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ จากนั้นคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำกับเพลาดังนี้



รูปที่ 4 โมเมนต์ดัดในเพลาลูกชุดหัวอัดแวนอน



รูปที่ 5 โมเมนต์ดัดในเพลาลูกชุดหัวอัดแนวตั้ง

$$M_D = \sqrt{(M_{DH})^2 + (M_{DV})^2}$$

$$M_D = \sqrt{(-259.07)^2 + (59.53)^2} = 265.82 \text{ N.m}$$

$$M_E = \sqrt{(M_{EH})^2 + (M_{EV})^2}$$

$$M_E = \sqrt{(-8.10)^2 + (209.36)^2} = 209.52 \text{ N.m}$$

ดังนั้นโมเมนต์ดัดที่กระทำกับเพลานี้จะเกิดขึ้นสูงสุด ณ จุด D ซึ่งมีค่าเท่ากับ 265.82 นิวตันเมตร และนำค่าโมเมนต์ดัดที่ได้ไปคำนวณหาค่าขนาดของเพลาลูก (ใช้สมการ (2)) จะได้ $d = 36.38$ มิลลิเมตร และทำการเลือกใช้ขนาดเพลาลูกเท่ากับ 40 มิลลิเมตร และในทำนองเดียวกันผลการคำนวณหาขนาดโมเมนต์ดัดของเพลาลูกต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3 และขนาดของเพลาลูกกับความเร็วยกต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

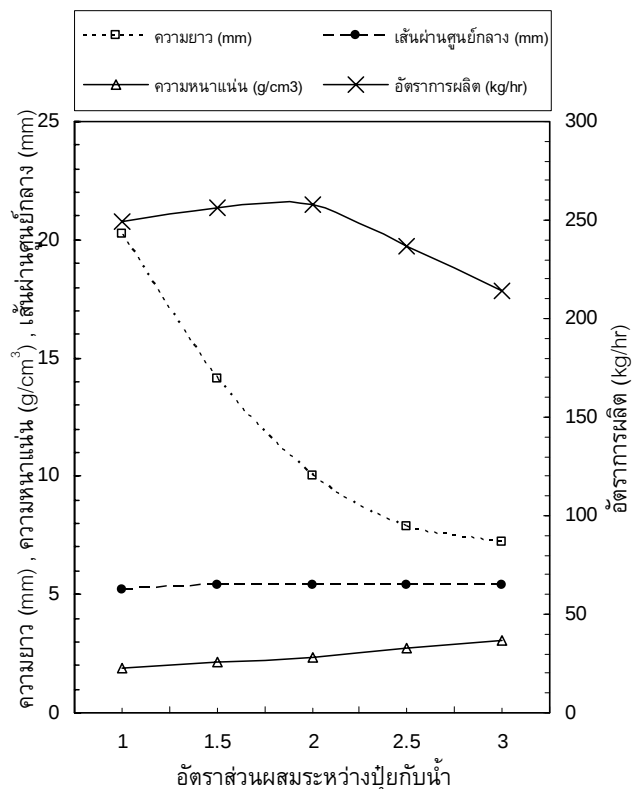
5. การทดลองเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

การทดลองเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้วัตถุดิบเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการตีป่น ซึ่งใช้สัดส่วนของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการตีป่นกับน้ำเป็นสัดส่วน (โดยมวล) คือปุ๋ยอินทรีย์ 3 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 1 กิโลกรัม ซึ่งได้เปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1400, 1600, 1800 และ 2000 รอบต่อนาที หลังจากที่ได้จัดเตรียมอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว เริ่มทดลองโดยทำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และน้ำตามสัดส่วนที่กำหนดลงในถังผสม แล้วทำการผสม หลังจากส่วนผสมเข้ากันดีแล้วซึ่งใช้เวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นเปิดปั๊มที่ผสมเสร็จลงสู่ชุดสายพานลำเลียงเพื่อส่งไปยังหัวอัดเม็ด ก็จะได้เม็ดปุ๋ยออกมา และทำการสุ่มตัวอย่างเม็ดปุ๋ยที่ได้ไปชั่งมวล วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเม็ดปุ๋ยเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่อัดได้ จากนั้นนำภาชนะมาตวงเม็ดปุ๋ยที่ถูกอัดออกจากหัวอัดพร้อมกับการจับเวลา 1 นาที และนำปุ๋ยที่ได้จากการตวงไปชั่งมวล เพื่อคำนวณหาอัตราการผลิต จากนั้นนำ

เม็ดปุ๋ยที่ได้ไปตากแดดประมาณ 4 - 6 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดปุ๋ยแห้งและป้องกันการเกิดเชื้อรา และทำการเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับน้ำเป็น 2.5:1, 2:1, 1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ นอกจากนี้ในขณะที่ทำการทดลองยังได้ทำการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วย

5.1 ลักษณะของเม็ดปุ๋ย

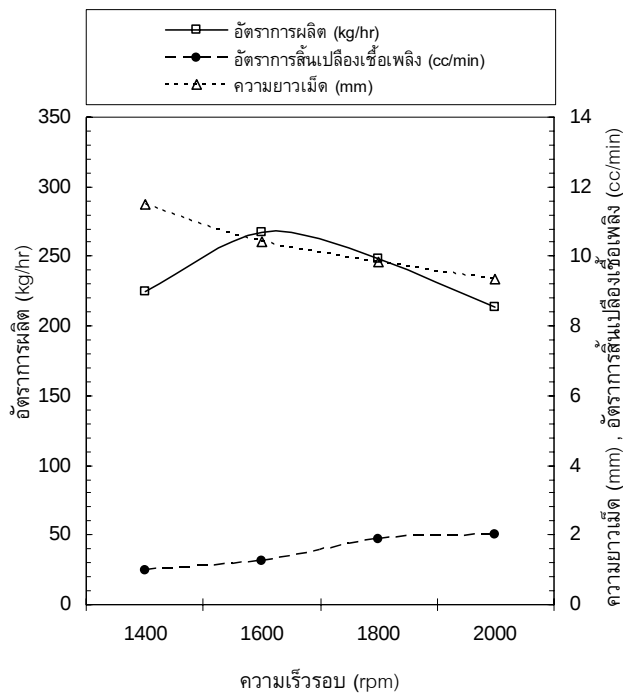
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของปุ๋ยกับน้ำเทียบกับความยาวเม็ดปุ๋ย เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาแน่น และอัตราการผลิต โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 รอบต่อนาที ความเร็วรอบในการผสม 29 รอบต่อนาที และความเร็วรอบหัวอัด 213 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่า เมื่อสัดส่วนปุ๋ยอินทรีย์มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความยาวของเม็ดปุ๋ยที่อัดได้สั้นลง ซึ่งจากการทดลองนี้ความยาวของเม็ดปุ๋ยจะอยู่ประมาณ 8-20 มิลลิเมตร สำหรับการชั่งมวลทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 เม็ดที่วัดขนาดเสร็จไปซึ่งจะทำให้ทราบมวลเฉลี่ยขณะเปียก จากการทดลองพบว่า เมื่อสัดส่วนของปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยเพิ่มขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนผสม 2:1 จะเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดจากอัตราส่วนผสมทั้งหมด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสม เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเม็ดปุ๋ย ความหนาแน่น และอัตราการผลิต

5.2 อัตราการผลิตของเครื่องอัดเม็ด

สำหรับการประเมินอัตราส่วนการผลิตนั้น ได้ทำการทดลองที่อัตราส่วนผสมปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำ 2:1 และเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1400, 1600, 1800 และ 2000 รอบต่อนาที ผลที่ได้จากการทดลองนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ดังแสดงดังนี้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเม็ดปุ๋ย อัตราการผลิต และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 7 พบว่าอัตราการผลิตเฉลี่ยสูงสุดเป็น 258 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 รอบต่อนาที ลักษณะของเม็ดปุ๋ยที่อัดได้มีความยาว 9-12 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมที่กว่าความเร็วรอบอื่นๆ จากทั้งหมดที่ได้ทำการทดลอง

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์สามารถสรุปได้ดังนี้ (1) ความเร็วรอบในการทดลองที่ 1600 รอบต่อนาที พบว่าเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมกว่ารอบอื่นๆ (2) ลักษณะของเม็ดปุ๋ยที่อัดได้มีความยาวเฉลี่ย 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5.5 มิลลิเมตร (3) อัตราการผลิตเท่ากับ 258 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ (4) เมื่อทำการอัดด้วยความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นด้วย โดยที่ความเร็วรอบในการทดลองสูงกว่า 1600 รอบต่อนาที ทำให้อัตราการผลิตลดลง นอกจากนี้การทดสอบอัตราส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำ สามารถสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

(1) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยที่อัดได้ พบว่าสัดส่วนของปุ๋ยอินทรีย์ที่มากขึ้นทำให้ความหนาแน่นของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

(2) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำกับอัตราการผลิตเม็ดปุ๋ย พบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำในสัดส่วน 1:1 ถึง 2:1 ทำให้อัตราการผลิตจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอัตราส่วนผสมปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำมากกว่า 2:1 แล้วจะทำให้อัตราการผลิตลดลง

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำกับความยาวของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าในสัดส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความยาวของเม็ดปุ๋ยลดลง

7. ความหมายของสัญลักษณ์

- d เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา (มิลลิเมตร)
- D เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพาน (มิลลิเมตร)
- i อัตราทด
- n ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)
- P กำลังงาน (แรงม้า)
- T แรงบิด (นิวตัน-เมตร)
- C ตัวประกอบความล่า
- M โมเมนต์ตັดบนเพลลา (นิวตัน-เมตร)
- F แรงตึงบนสายพาน (นิวตัน)
- S เพลลา
- R แรงปฏิกิริยา

สัญลักษณ์กรีก

- π พาย
- τ ความเค้นเฉือน (นิวตันต่อตารางเมตร)

ตัวห้อย

- l ตัวขับ
- 2 ตัวตาม
- d ค่าสำหรับการออกแบบ
- A, B, D, E จุดที่พิจารณา
- H ระนาบแนวนอน
- V ระนาบแนวตั้ง
- eng เครื่องยนต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ วช. ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว), 2546, "ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง".
- [2] บรรจงศรี จิระวิบูลวรรณ และคณะ, 2541, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. "การจัดการมูลสัตว์เพื่อสิ่งแวดล้อมชุมชน".
- [3] เฉลิมชัย สุขประเสริฐและบัณฑิต นาทประยุทธ์, 2544, "เครื่องอัดเม็ดมูลสัตว์", โครงการงานปริญญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] Robert L. Norton, 2006. "Machine Design an Integrate Approach", 3rd, Pearson Prentice Hall.