เครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่ใช้พลังงานต่ำ

A Prototype Machine for Producing Pellet Organic Fertilizer Using Low Energy

ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์[(1)] ทวีพงษ์ พ้องเสียง สุทธิพงษ์ ไชยมงคุณ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขามเรียง กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150
โทร. 0-43754316 โทรสาร 0-43754316 E-mail: wsongchai@yahoo.com[(1)]
Songchai Wiriyaumpaiwong, Thaweepong Pongseang, Suttipong Chaimongkun
Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khamreang, Kuntarawichai, Mahasarakham, 44150
Tel: 0-43754316 Fax: 0-43754316 E-mail: wsongchai@yahoo.com[(1)]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกษตรกรเริ่มสนใจการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีกันมากขึ้น เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีราคาถูกกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่ใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากเครื่องผลิตปุ๋ยเม็ดส่วนใหญ่มักจะใช้พลังงานค่อนข้างสูง เครื่องต้นแบบนี้ใช้มอเตอร์ต้นกำลังเพียง 1 แรงม้า และทดรอบด้วยล้อสายพานเพื่อเพิ่มแรงบิดให้กับเพลาลูกรีด จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมโดยมวลของผงปุ๋ยกับน้ำที่นำมารีดเป็นเม็ดที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยเม็ดอยู่ที่ 1 ต่อ 0.4 กำลังการผลิตปุ๋ยเม็ดของเครื่องต้นแบบโดยเฉลี่ย 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความสิ้นเปลืองพลังงานขณะที่มีภาระการทำงานโดยเฉลี่ย 545.6 วัตต์ นอกจากนี้การวิเคราะห์เศษฐศาสตร์ทั้งต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเปรียบเทียบกับเครื่องผลิตปุ๋ยเม็ดที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง เบื้องต้นพบว่าต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่า ในขณะที่กำลังการผลิตต่ำกว่าเครื่องผลิตปุ๋ยเม็ดที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง ระยะเวลาคืนทุนใกล้เคียงกัน

Abstract

At present, Farmers have been more interested to use the organic fertilizer for replacing the chemical fertilizer because it is cheaper. Thus, this research are developed the prototype of pellet organic fertilizer machine using low energy, since the most of pellet fertilizer machines need high energy consumption. This prototype uses only a motor of 1 hp and reduces the speed of motor by pulley for increasing the torque of roller shaft. The experimental results showed that the suitable ratio of fertilizer powder and water for pellet, by mass, is 1:0.4. The capacity of production of prototype is approximately 72 kg/h and the loading energy consumption is about 545.6 W. In addition, the economic analysis of both investment and operating costs is compared with the machine using diesel-engine driving. Basically, it illustrated that the investment and operating costs are lower while the capacity of production is lower than the machine using diesel-engine driving. The payback period of both machines is similar.

สัญลักษณ์

C = ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของเพลาขับกับเพลาตาม (เมตร)
Cm = ตัวประกอบการกระตุก (Shock)
Ct = ตัวประกอบความล้า (Fatigue)
d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา (เมตร)
D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานขับ (เมตร)
D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตาม (เมตร)
L = ความยาวของสายพาน (เมตร)
M = โมเมนต์ดัดที่หน้าตัดวิกฤติ (นิวตัน.เมตร)
N_1 = ความเร็วรอบเพลาขับ (รอบต่อนาที)
N_2 = ความเร็วรอบเพลาตาม (รอบต่อนาที)
Sy = Yield Strength (นิวตันต่อตารางเมตร)
T = โมเมนต์บิดที่หน้าตัดวิกฤติ (นิวตัน.เมตร)
τ_p = Shear Strength (นิวตันต่อตารางเมตร)

1. บทนำ

คุณภาพของดินเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะชี้ผลสำเร็จในการทำเกษตรกรรม การปรับปรุงคุณภาพดินจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากซึ่งรวมถึงการใส่ปุ๋ยซึ่งมีให้เลือกใช้ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ ปัจจุบันพื้นที่การทำเกษตรกรรมส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยทั่วไปยังขาดธาตุอาหารหลักของพืช คือไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ซึ่งทำให้พื้นที่การทำเกษตรกรรมมีศักยภาพในการผลิตต่ำ เพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณมากและรวดเร็ว เกษตรกรจึงหันมาใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้เกิดผลเสียตามมา คือ การใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มในอัตราสูงกลับทำให้รายได้ของเกษตรกรต่ำลง เพราะราคาปุ๋ยเคมีแพงและเกิดปัญหาด้านอื่นๆ ตามมา เช่น ดินจืด ดินแข็งตัว ไถพรวนยาก ปัญหาของการระบาดของโรคและแมลงต่างๆและปัญหาสารเคมีตกค้างในร่างกายเมื่อรับประทานผลิตผลทางการเกษตรที่มีสารเคมีสะสมอยู่ ดังนั้นการแปรรูปมูลสัตว์ให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เม็ดจะสามารถช่วยลดมลภาวะในดินแล้วยังทำให้ดินร่วนซุยและช่วยลดปัญหาการระบาดของโรคและแมลง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้นโดยปราศจากสารเคมีตกค้างซึ่งจะเป็นผลดีกับเกษตรกรและผู้บริโภคอีกด้วย งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มีกำลังการผลิตไม่มากนักและใช้กำลังงานสูง เช่น เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบมินเซอร์มี

กำลังการผลิตโดยเฉลี่ย 79 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้าเป็นต้นกำลัง [2] เครื่องผลิตเม็ดปุ๋ยแบบจานปั้นมีกำลังการผลิตโดยเฉลี่ย 62 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 6 แรงม้า [3] เครื่องรีดเม็ดปุ๋ยมีกำลังการผลิตโดยเฉลี่ย 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 แรงม้า [4] เป็นต้น การพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดจึงยังน่าสนใจอยู่มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคิดพัฒนาสร้างเครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่ใช้พลังงานต่ำ เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่มีราคาถูกและมีระยะเวลาคืนทุนสั้น

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ผงปุ๋ยที่นำทดสอบเป็นปุ๋ยมูลวัวที่ผสมน้ำหมักชีวภาพแบบสำเร็จจากเกษตรกร ผงปุ๋ยจะถูกป้อนเข้าเครื่องแล้วลำเลียงผงปุ๋ยด้วยเกลียวลำเลียงเข้าห้องรีดทรงกระบอกเจาะรู ลูกรีดจะรีดผงปุ๋ยผ่านรูของทรงกระบอกออกมาแล้วมีใบมีดตัดได้เป็นปุ๋ยเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 มิลลิเมตร

2.2 การทดสอบหาแรงกดและความเค้นที่เกิดขึ้นกับปุ๋ย

นำปุ๋ยอินทรีย์ผสมน้ำที่อัตราส่วนโดยมวล (ปุ๋ยต่อน้ำ) 1: 0.3 1 : 0.4 1 : 0.5 และ 1 : 0.6 ตามลำดับ ไปทดสอบหาแรงกดที่ลูกรีดกระทำต่อปุ๋ยด้วยเครื่องทดสอบแรงกดแบบไร้ขีดจำกัด (Unconfined Compressive Strength) การทดสอบหาแรงกดนี้ดัดแปลงมาจากการทดสอบหาแรงกดของดินตามมาตรฐาน ASTM D 2166-85 [1]

2.3 การคำนวณหาขนาดของเพลารีดและเพลาทดกำลัง

นำค่าแรงกดที่ลูกรีดกระทำต่อปุ๋ยมาเขียน Free Body Diagram (FBD) และคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำกับชุดเพลารีดและโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำกับชุดเพลาทดกำลัง และคำนวณหาขนาดเพลารีดและเพลาทดกำลังตามหลักการออกแบบเพลาของ ASME Code ดังสมการที่ 1

$$d = \left\{ 5.1/\tau_p \left\{ (CmM)^2 + (CtT)^2 \right\}^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (1)$$

เมื่อ $\tau_p = 0.03Sy$

2.4 การคำนวณหาขนาดของล้อสายพานและความยาวสายพาน

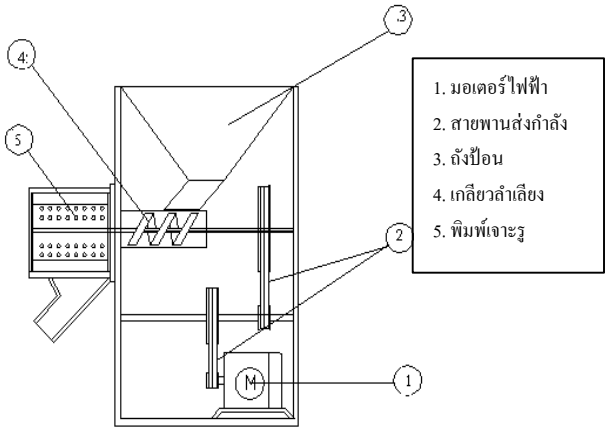
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานและความยาวของสายพานสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ [5]

$$N_2 = (D_1 \times N_1)/D_2 \quad (2)$$

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + (D_2 + D_1)/4C \quad (3)$$

2.5 วิธีการทดสอบเครื่องต้นแบบ

นำน้ำมาผสมเข้ากับปุ๋ยอินทรีย์ที่อัตราส่วนโดยมวลปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5 และ1:0.6 จากนั้นนำส่วนผสมใส่ลงในถังป้อน ปุ๋ยจะถูกลำเลียงเข้าพิมพ์ทรงกระบอกเจาะรูและลูกรีดด้วยเกลียวลำเลียงของเครื่องรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ดดังรูปที่ 1 และวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้นกำลังด้วยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบมือถือ บันทึกกระแสไฟฟ้าที่ใช้มวลของปุ๋ยเม็ดที่ผลิตได้ เวลาที่ใช้ในการผลิตและลักษณะปุ๋ยเม็ดที่ได้สำหรับแต่ละอัตราส่วนโดยมวลปุ๋ยต่อน้ำ



รูปที่ 1 แบบเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ด

3. ผลการทดลอง

3.1 อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำที่เหมาะสมในการรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ด

การทดลองรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ดจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 4อัตราส่วน คือ 1:0.3 1:0.4 1:0.5 และ1:0.6 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ด นอกจากนี้ยังทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ด้วย

(ก) อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.3

(ข) อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.4

(ค) อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.5

(ง) อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.6

รูปที่ 2 ภาพถ่ายปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการรีดเป็นเม็ดที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำแตกต่างกัน

การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ด โดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำเป็น 4 อัตราส่วน คือ 1:0.3 1:0.4 1:0.5 และ 1:0.6 จากการสังเกตลักษณะปุ๋ยเม็ดด้วยตาเปล่าและภาพถ่ายดังรูปที่ 2 พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.3 ปุ๋ยที่ผ่านการรีดเป็นเม็ดยังมีลักษณะเป็นผงปุ๋ยเป็นส่วนใหญ่ไม่ค่อยเป็นเม็ด ที่อัตราส่วน 1:0.4 ลักษณะของปุ๋ยเป็นเม็ดที่สม่ำเสมอแต่ละเม็ดไม่จับตัวกันเป็นก้อน ที่อัตราส่วน 1:0.5 ลักษณะของปุ๋ยเป็นเม็ดที่สม่ำเสมอพอสมควรและเม็ดปุ๋ยเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนบางส่วน และที่อัตราส่วน 1:0.6 ลักษณะของปุ๋ยแต่ละเม็ดที่ผลิตได้จะจับตัวกันเป็นก้อนมากขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ด คือ 1:0.4 เพราะอัตราส่วนผสมนี้ลักษณะของปุ๋ยที่ผลิตได้สม่ำเสมอและไม่จับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งไปสอดคล้องกับการใช้กระแสไฟฟ้ามากที่สุดที่ 3.1 แอมแปร์ ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 545.6 วัตต์ ดังตารางที่ 1 แสดงว่าที่อัตราส่วนผสม 1:0.4 การไหลตัวของปุ๋ยเข้าพิมพ์รีดเป็นเม็ดได้ดี ปริมาณปุ๋ยที่เข้าไปพิมพ์รีดมาก ทำให้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงที่สุด ถึงแม้ว่าอัตราส่วนนี้ใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงที่สุด แต่ก็ไม่แตกต่างจากอัตราส่วนอื่นมากนัก (3.0-3.1 แอมแปร์ และ 529.8-545.6 วัตต์) นอกจากนี้ปุ๋ยที่ผลิตได้ที่อัตราส่วน 1:0.4 มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างสม่ำเสมอและแต่ละเม็ดไม่จับตัวกันเป็นก้อน แสดงว่าความชื้นในปุ๋ยกำลังพอเหมาะไม่จับตัวกันเป็นก้อน

ตารางที่ 1 กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามอเตอร์ที่ใช้ในการรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำแตกต่างกัน

อัตราส่วน ปุ๋ยต่อน้ำ (กิโลกรัม)	กระแส (แอมแปร์)	กำลังมอเตอร์(วัตต์)
1: 0.3	3.01	529.8
1: 0.4	3.10	545.6
1: 0.5	3.06	538.6
1: 0.6	3.04	535.0

3.2 ผลการทดสอบหาแรงกดของปุ๋ยอินทรีย์

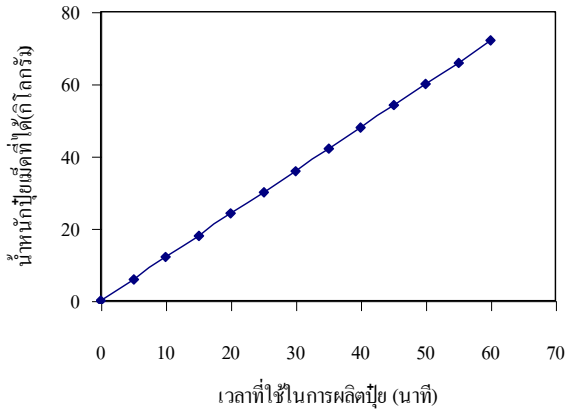
จากผลการทดสอบแรงกดและความเค้นของปุ๋ยที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำแตกต่างกันดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้แรงกดที่กระทำกับปุ๋ยและความเค้นที่เกิดขึ้นกับปุ๋ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (15.2-16.8 N และ 15.8-17.5 kN/m^2) ซึ่งผลการทดสอบขัดแย้งกับการใช้กระแสไฟฟ้าในตารางที่ 1 เพราะที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.4 ใช้กระแสไฟฟ้าสูงที่สุด จากผลการทดสอบแรงกดและความเค้นของปุ๋ยสามารถอธิบายได้ว่าแรงที่ลูกรีดกระทำกับปุ๋ยไม่น่าจะแตกต่างกันกันมากนัก เมื่ออัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นปัจจัยที่ทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.4 น่าจะเกิดจากปริมาณปุ๋ยที่ถูกลำเลียงเข้าไปรีดเป็นเม็ดมากขึ้นหรือการไหลตัวของปุ๋ยที่เข้าเครื่องรีดด้วยเกลียวลำเลียงดีที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงกดและความเค้นของปุ๋ยที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำแตกต่างกัน

อัตราส่วน ปุ๋ยต่อน้ำ (กิโลกรัม)	แรงกดที่กระทำกับปุ๋ย (N)	ความเค้นที่เกิดขึ้นกับปุ๋ย (kN/m^2)
1: 0.3	15.2	15.8
1: 0.4	15.7	16.3
1: 0.5	16.6	17.3
1: 0.6	16.8	17.5

3.3 กำลังการผลิตของเครื่องรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ด

การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ดจะทดสอบหาน้ำหนักปุ๋ยเม็ดที่ผลิตได้ในช่วงเวลา 60 นาที ที่อัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำ 1:0.4 จากรูปที่ 3 พบว่าเครื่องรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ดสามารถผลิตปุ๋ยเม็ดได้ 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 3 ผลการทดสอบหากำลังการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ด

3.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ค่าใช้จ่ายของเครื่องรีดปุ๋ยอินทรีย์เม็ด

ตารางที่ 3 เป็นการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น [4] เมื่อพิจารณากำลังการผลิตจะเห็นว่าเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังมีกำลังการผลิตต่ำกว่าเครื่องที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต้นทุนเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตต่อหนึ่งหน่วยการผลิต (ต้นทุนค่าไฟฟ้าหรือน้ำมันดีเซล) เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเล็กน้อย หากมีการลงทุนระยะยาว จะเห็นว่าระยะเวลาคืนทุนเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าใกล้เคียงกับเครื่องที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล อย่างไรก็ตามหากมีการพัฒนาเครื่องต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้น คาดว่าระยะเวลาคืนทุนน่าจะสั้นลงกว่าเครื่องต้นแบบนี้

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบระหว่างเครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ยเม็ดที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังกับเครื่องผลิตปุ๋ยเม็ดที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง

หัวเรื่อง	เครื่องผลิตปุ๋ยเม็ดที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง (งานวิจัยนี้)	เครื่องผลิตปุ๋ยเม็ดที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง [4]
กำลังการผลิต (กิโลกรัมต่อชม.)	72	150
ต้นทุนเครื่องผลิตปุ๋ยเม็ด (บาท)	20,000	32,000
ต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปุ๋ยเม็ด (บาทต่อปี)	492,687	1,026,432
ค่าใช้จ่ายในการดำเนิน การผลิต (บาทต่อปี)	5,761	14,373
รายได้จากการขายปุ๋ยเม็ด (บาทต่อปี)	760,320	1,584,000
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	2.1	2.1

หมายเหตุ อัตราดอกเบี้ยที่ใช้คิดสำหรับต้นทุนเป็น 8 % ต่อปี ราคาวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปุ๋ยเท่ากับ 3 บาทต่อกิโลกรัม และราคาขายปุ๋ยอินทรีย์เม็ดเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลกรัม

4. สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองเครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ด พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของปุ๋ยต่อน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ด คือ 1:0.4 เนื่องจากอัตราส่วนผสมนี้ให้เม็ดปุ๋ยขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอไม่เกาะรวมกันเป็นก้อน เมื่อทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องต้นแบบที่อัตราส่วนผสมนี้สามารถผลิตเม็ดปุ๋ยได้โดยเฉลี่ย 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้กำลังงานสูงสุดที่ 545.6 วัตต์ จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องต้นแบบมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.1 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาคืนทุนของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่มีขายอยู่ในปัจจุบัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้เงินสนับสนุนการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM Annual Book of ASTM Standards, “Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil”, ASTM D2166-85, 1981.

2. บรรจงศรี จีระวิพูลวรรณ, ทนงศักดิ์ แสงวัฒนาชัย และ ลำไย โกวิทยาการ. “การจัดการมูลสัตว์เพื่อสิ่งแวดล้อมชนบท,” วิศวกรรมสาร ม.ข. 27(3): 61-77; กรกฎาคม-กันยายน 2543.

3. ชาช่าง. “เครื่องจักรในกระบวนการผลิตปุ๋ยเม็ด,” เทคโนโลยีชาวบ้าน. 13(256): 17; 1 กุมภาพันธ์ 2544.

4. ณัฐกิตติ์ ธรรมเจริญ. “เครื่องอัดเม็ดปุ๋ย,” นิตยสารไม่ลองไม่รู้. 3(19): 84-85; กุมภาพันธ์ 2546.

5. จำลอง ลิ้มตระกูล. การออกแบบเครื่องจักรกล 2. หน้า 7-11.