



ศึกษาการปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วย

กระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว

Study on Surface Improvement of the Fixed Mold for Wear Resistance

by Salt Bath Nitrocarburizing Hardening Process

ชาญยุทธ ตระกุลสรณคมน์^{1*}

Chanyut Trakunsaranakom^{1*}

(Received: January 26, 2019; Revised: October 18, 2019; Accepted: November 25, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวแม่พิมพ์ให้มีความแข็งแรงมากขึ้นเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้แม่พิมพ์จำนวน 12 ชิ้น และแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ คือ 1) แม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการชุบแข็ง จำนวน 4 ชิ้น และ 2) แม่พิมพ์ที่ได้ผ่านการชุบแข็งโดยการใช้อ่างเกลือหลอมเหลว อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที จำนวน 4 ชิ้น และ 300 นาที จำนวน 4 ชิ้น การวัดค่าความแข็งลึกของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง Vickers hardness tester โดยวัดค่าความแข็งลึกที่ทุก ๆ ระยะ 0.01 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 12 จุด ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งผิวที่สูงสุดที่ระยะ 0.01 มิลลิเมตร ที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที และ 300 นาที ซึ่งค่าความแข็งที่วัดได้ประมาณ 580 HV และ 590 HV ตามลำดับ แม่พิมพ์แต่ละชิ้นต้องผ่านการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 5 ตัน เพื่อทดสอบการสึกหรอของแม่พิมพ์ ผลการวิจัยพบว่าแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการชุบแข็งมีการสึกหรอแบบขดลีที่เกิดจากการที่ผิวโลหะมาเสียดสีกัน แม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการชุบแข็งมีอัตราการสึกหรอ 0.68 มิลลิเมตร และแม่พิมพ์ที่ได้ผ่านการชุบแข็งโดยการใช้อ่างเกลือหลอมเหลว ที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที และ 300 นาที มีอัตราการสึกหรอ 0.28 มิลลิเมตร และ 0.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ: แม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เหล็กกล้า การสึกหรอ กรรมวิธีการชุบแข็ง

¹วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครราชสีมา, มหาวิทยาลัยนครราชสีมาชนครินทร์

¹Naradhiwat College of Agriculture and Technology, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: chanyut.kmutnb@gmail.com



Abstract

This research aimed to study on the surface improvement of the fixed mold for wear resistance by salt bath nitrocarburizing hardening process. It improved the properties of the mold surface to become more stiffness to suitable for pelletizing of organic fertilizer. This research was conducted using 12 pieces of mold and divided into 2 groups as follows: 1) the 4 pieces of mold were not hardened and 2) the 4 pieces were hardened by salt bath nitrocarburizing hardening process with 580 degree Celsius at 180 minutes, and the 4 pieces at 300 minutes. According to Vickers hardness tester, the hardness depth measurement for every 0.01 millimeters 12 points, showed the specimen at the highest surface hardness at distances 0.01 millimeters. It took time for hardening at 180 minutes and 300 minutes which the hardness at 580 HV and 590 HV respectively. Each mold had to pass the pelletizing of organic fertilizer about 5 tons for wear of mold test. The results showed that the mold without being hardened had abrasion wear caused by the metal surface friction, appeared a wear rate of 0.68 millimeters. The molds that were hardened by salt bath nitrocarburizing hardening process at 180 and 300 minutes had a wear rate of 0.28 mm. and 0.23 mm. respectively.

Keywords: Fertilizer mold, Steel, Wear, Process hardening

บทนำ

ตามที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้มีโครงการ “หนึ่งอำเภอ หนึ่งโรงปุ๋ย” (Sasanarakit, 2006) เพื่อให้กลุ่มเกษตรกรสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ใช้เอง โดยได้มีโครงการดังกล่าวกระจายทุกภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เป็นสถาบันหนึ่งที่ได้รับโครงการดังกล่าว ซึ่งในปัจจุบันมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ได้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงตามสูตรของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการงานฟาร์มพืชของมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ อาทิเช่น สวนยางพารา สวนปาล์มน้ำมัน สวนลองกอง และพืชอื่น ๆ การผลิตเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เป็นกระบวนการอัดมูลสัตว์ที่เป็นผงให้เป็นเม็ด โดยผ่านแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์แล้วทำการตากแดดหรือฟิงลมเพื่อให้เม็ดปุ๋ยอินทรีย์แห้งหรือให้เหลือความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำปุ๋ยอินทรีย์ที่มาสวมกับปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้สูตรตามความต้องการของพืชแต่ละชนิด กระบวนการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว พบว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอบแบบจัดสี (Ratnui, 2006) ซึ่งเกิดจากการที่ผิวโลหะมาเสียดสีกัน และแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้ผลิตขึ้นเป็นเหล็กคาร์บอนต่ำ หรือที่เรียกว่า เหล็กกล้า SS 400 (Wattanasiyakul, 2006) โดยได้



ตรวจสอบจำนวนปริมาณของชาตุคาร์บอนด้วยเครื่องสเปกโตรสโคป (Wattanasiyakul, 2006) และพบว่าแม่พิมพ์ไม่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง ซึ่งทำให้แม่พิมพ์มีการสึกหรออย่างรุนแรง มีผลทำให้คุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการอัดเม็ดเกิดการเสียรูป ซึ่งมีลักษณะเป็นผงเกิดขึ้น เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ไปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นผงอยู่ชั้นล่างของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดขาดประสิทธิภาพของการผสมปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมีได้

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวสำหรับแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพความแข็งแรงผิวของแม่พิมพ์มีผลทำให้แม่พิมพ์มีความทนต่อการสึกหรอมากขึ้น อีกทั้งสามารถรักษาสภาพเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการและสามารถยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตลอดจนสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีการชุบแข็งของแม่พิมพ์แบบยึดติด
2. เพื่อศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบยึดติด
3. เพื่อศึกษาการลดต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

วิธีการวิจัย

การศึกษาปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการมุ่งเน้นศึกษากรรมวิธีการชุบแข็งและศึกษาการสึกหรอ การผลิตเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้ทำการผลิต ณ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครราชสีมา มหาวิทยาลัยนครราชสีมาชนครินทร์ โดยใช้ระยะเวลาดำเนินการตลอดจนการทดลองวิจัย 6 เดือน ซึ่งได้มีรูปภาพเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นภาพแสดงเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเป็นด้านหน้าของตัวเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากเป็นด้านการผลิตอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ แม่พิมพ์ถูกยึดติดกับโครงสร้างหลักและมีลูกกลิ้งอยู่ด้านในแม่พิมพ์เป็นจำนวน 2 ลูก โดยลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก จะถูกบังคับด้วยแกนเพลาลูกเบี้ยวซึ่งในขณะทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เพลาลูกเบี้ยวจะหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และมูลสัตว์จะถูกส่งด้วยสกรูเกลียวที่อยู่ด้านหลังของแม่พิมพ์เข้ามาในตัวแม่พิมพ์ จากนั้นลูกกลิ้งจะทำหน้าที่อัดมูลสัตว์ผ่านแม่พิมพ์ให้เป็นเม็ดต่อไป



ภาพที่ 1 Organic fertilizer pellet machine

การศึกษาปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยัดตักสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวสามารถจำแนกขั้นตอนการดำเนินการได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. นำแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้งานอยู่มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี โดยใช้กรรมวิธีตรวจสอบด้วยสเปกโตรสโคป (Wattanasriyakul, 2006) เพื่อหาจำนวนปริมาณของธาตุคาร์บอนและการเลือกกรรมวิธีการชุบแข็งของเหล็กกล้าที่เหมาะสม จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุสำหรับการผลิตแม่พิมพ์ พบว่าวัสดุเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.25 % หรือที่เรียกทั่วไปว่าเหล็กกล้าโครงสร้าง (Steel Structure 400) (Zhou et al., 2017) ซึ่งค่าทางเคมีที่ได้จากการตรวจสอบได้แสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Chemical ingredients and the mechanical properties of steel structure 400 (SS 400)

Chemical ingredients	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%Ti	%Nb
	0.076	0.388	0.242	0.018	0.013	0.079	0.005	0.028	0.007	0.001	0.004
Mechanical properties	Ultimate tensile strength (MPa)			Yield strength (MPa)			Elongation (%)				
	434			245			21				

2. ศึกษากรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวกับคุณสมบัติของวัสดุที่เหมาะสม จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุ พบว่าวัสดุที่ใช้สำหรับผลิตแม่พิมพ์เป็นเหล็กกล้าโครงสร้าง SS 400 ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพผิวแข็งได้ด้วยกระบวนการกรรมวิธีชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว (Salt



bath Nitrocarburizing) (Tolouei-rad & Lichter, 2016; Sathirachinda, 2010; (Senthilkumar & Ajiboye, 2012) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ใช้บ่อเกลือ โดยนำชิ้นงานไปทำการให้ความร้อนแล้วทำการชุบแข็ง กรรมวิธีนี้นับว่าเป็นกรรมวิธีการชุบแข็งที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถลดการเสียรูปของแม่พิมพ์ในขณะทำการชุบแข็ง (Kumar et al., 2016; Ismail et al., 2016; Carvajala et al., 2017) และที่สำคัญมีค่าใช้จ่ายถูกกว่ากรรมวิธีการชุบแข็งแบบอื่น ซึ่งได้มีรูปภาพแม่พิมพ์ก่อนผ่านการชุบแข็ง ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งเป็นแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ยังไม่ผ่านการชุบแข็ง โดยได้ทำการทาสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิม



ภาพที่ 2 Mold of organic fertilizer before hardening

3. นำแม่พิมพ์และชิ้นทดสอบไปผ่านกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว มีขั้นตอนดังนี้

3.1 นำแม่พิมพ์และชิ้นทดสอบมาอบในเตาอบและให้ความร้อนประมาณ 550 องศาเซลเซียส

3.2 นำแม่พิมพ์และชิ้นทดสอบทำการจุ่มชุบในอ่างเกลือไซยาไนด์ที่หลอมเหลว ผิวของเหล็กจะดูดซึมธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน โดยมีส่วนประกอบของสารการชุบในอ่างเกลือหลอมเหลวประกอบด้วย โซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) 30% โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 40% โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 30% (Purwaningrum et al., 2018) ซึ่งจะใช้อุณหภูมิในการจุ่มชุบในอ่างเกลือหลอมเหลว ที่ 580 องศาเซลเซียส โดยแบ่งใช้เวลาในการจุ่มชุบแม่พิมพ์ 180 นาที และ 300 นาที (Manat Sathirachinda, 2010) ซึ่งใช้แม่พิมพ์ตามเวลาการจุ่มชุบละ 4 ชิ้น

3.3 นำแม่พิมพ์มาทำการชุบแข็ง หรือที่เรียกว่า Quench เพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่มีค่าความแข็งที่ต้องการ ซึ่งมีรูปภาพแม่พิมพ์หลังการชุบแข็ง ดังแสดงในภาพที่ 3



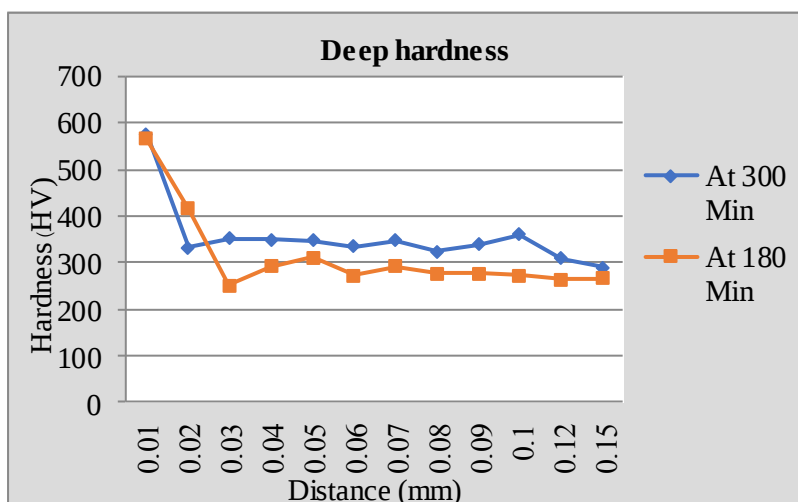
ภาพที่ 3 Mold of organic fertilizer after hardening

จากภาพที่ 3 แสดงแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะนำชิ้นทดสอบมาทำการวัดค่าความแข็งลึกด้วยเครื่องวัดความแข็งที่มีชื่อว่า Vickers hardness tester โดยจะใช้หัวกดเพชรทรงพีรามิด (Diamond pyramid) กดบนชิ้นงานจนเกิดรอยกดเป็นรูป pyramid ขนาดสี่เหลี่ยม ซึ่งมีขั้นตอนของการวัดค่าความแข็งลึกของแม่พิมพ์ ดังนี้

ก. นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 180 นาที และ 300 นาที จำนวน 2 ชิ้น ไปทำความสะอาด โดยการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อให้สารที่ติดกับชิ้นทดสอบหลุดง่ายขึ้น

ข. นำชิ้นทดสอบทำการวัดค่าความแข็งลึกด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง (Vickers hardness test) ซึ่งใช้แรงกดบนชิ้นงาน 60 kgf. โดยได้วัดค่าความแข็งลึกทุก ๆ ระยะ 0.01 มิลลิเมตร จำนวน 12 จุด

ค. นำค่าวัดความแข็งลึกไปทำการพล็อตกราฟ โดยมีค่าความแข็งลึกจำนวน 2 เส้น คือ เส้นที่ใช้เวลา 180 นาที และ 300 นาที ซึ่งได้มีผลการวัดค่าความแข็งลึก ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 Deep hardness of the salt bath nitrocarburizing process 580 °C at 180 minutes and 300 minutes



จากภาพที่ 4 แสดงผลการวัดค่าความแข็งแรงของแม่พิมพ์ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 180 นาที และ 300 นาที โดยแกน X แสดงระยะการวัดค่าความแข็งแรงเป็นมิลลิเมตร และแกน Y แสดงค่าความแข็งแรงมีหน่วยเป็น HV ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงของแม่พิมพ์ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 180 นาที มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าการชุบแข็งที่ใช้เวลา 300 นาที ตามลำดับ

4. นำแม่พิมพ์ที่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งไปทดลองอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยแม่พิมพ์แต่ละตัวจะทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 5 ดัน เพื่อหาค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์

แผนการวิจัย

การศึกษาปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว มีดังนี้

1. นำแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็ง จำนวน 4 ชิ้น ไปทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละชิ้นจะได้รับการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณการผลิตที่จำนวน 5 ดัน และทำการวัดค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ทุก ๆ ปริมาณการผลิตที่จำนวน 1 ดัน

2. นำแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที (Kumar et al., 2016; Senthilkumar & Ajiboye, 2012; Zhou et al., 2017) จำนวน 4 ชิ้น ไปทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละชิ้นจะได้รับการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณการผลิตที่จำนวน 5 ดัน และทำการวัดค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ทุก ๆ ปริมาณการผลิตที่จำนวน 1 ดัน

3. นำแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิที่ 580 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที (Kumar et al., 2016; Senthilkumar & Ajiboye, 2012; Zhou et al., 2017) จำนวน 4 ชิ้น ไปทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละชิ้นจะได้รับการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณการผลิตที่จำนวน 5 ดัน และทำการวัดค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ทุก ๆ ปริมาณการผลิตที่จำนวน 1 ดัน

การเก็บข้อมูล

การศึกษาปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว มีดังนี้

1. วัดค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ในตำแหน่งด้านลูกกลิ้งเสียดสีกับหน้าสัมผัสตรงกลางของแม่พิมพ์ โดยได้ระบุตำแหน่งการวัดการสึกหรอของแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 Position for measuring wear of mold.

จากภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งการวัดค่าการสึกหรอหน้าสัมผัสของแม่พิมพ์ที่ทำมุม 280 องศา (Somnuk Wattanasakyul, 2006) เนื่องจากมีแรงกระทำมากที่สุด โดยลูกกลิ้งอัดเม็ดปุ๋ยจะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งวิธีการวัดค่าการสึกหรอหน้าสัมผัสของแม่พิมพ์จะใช้ไม้บรรทัดเหล็กทับบนหน้าสัมผัสแล้วใช้ฟีนเลอร์เกจเลียบไม้บรรทัดเหล็กและจดบันทึกค่าการสึกหรอหน้าสัมผัสของแม่พิมพ์ สาเหตุที่เลือกใช้บรรทัดเหล็กประกอบการวัดค่าการสึกหรอหน้าสัมผัสของแม่พิมพ์ เนื่องจากว่าขอบด้านในและด้านนอกของแม่พิมพ์จะไม่มี การสึกหรอ หรือ ไม่มีการสัมผัสของลูกกลิ้ง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าการสึกหรอของหน้าสัมผัสแม่พิมพ์ทุก ๆ ปริมาณการผลิตที่จำนวน 1 ตัน ซึ่งค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ไม่ผ่านการชุบแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Wear rate of mold has not been hardening process

mold	Product (ton)/Wear rate (mm)				
	1 ton	2 ton	3 ton	4 ton	5 ton
1	2	3.8	5	6.1	6.8
2	2.2	3.4	4.8	6	6.8
3	2	3.3	5.1	6.2	6.9
4	2	3.6	4.9	6.3	6.8
Wear Average (mm)	2	3.5	4.9	6.1	6.8

จากตารางที่ 2 แสดงอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการชุบแข็ง โดยแม่พิมพ์จำนวน 4 ชิ้น ได้ทดลองอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เป็นปริมาณผลผลิตจำนวน 5 ตัน จะเห็นได้ว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดการสึกหรอจัดในรูปแบบ error bar ดังแสดงในรูปภาพที่ 6



ภาพที่ 6 An error bar for wear rate of the mold non hardening.

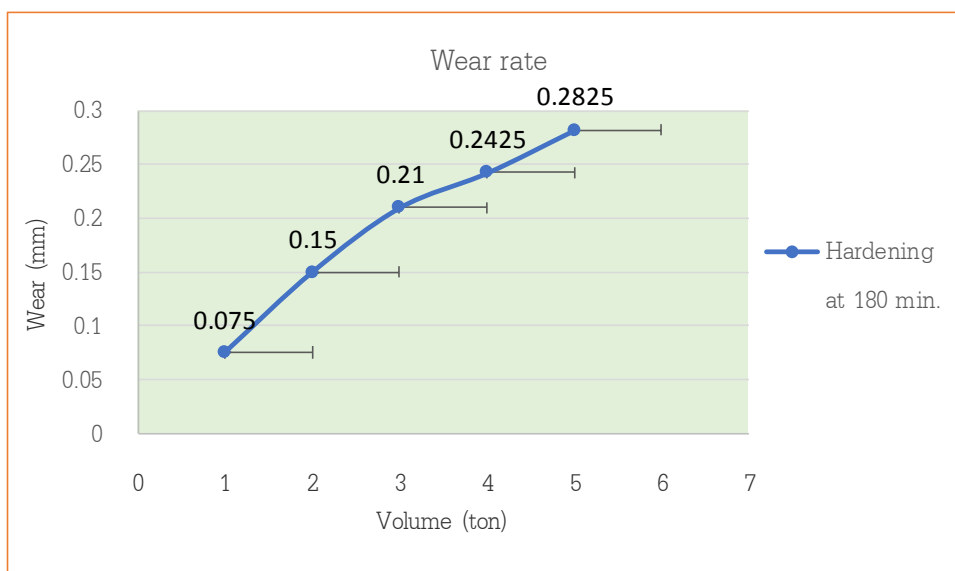
จากภาพที่ 6 แสดงอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการชุบแข็ง ซึ่งเป็นการจัดค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบ error bar โดยแกน X แสดงปริมาณผลผลิตมีหน่วยเป็นตัน และแกน Y แสดงการสึกหรอของแม่พิมพ์มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์แตกต่างกัน โดยเฉพาะช่วงปริมาณผลผลิตที่จำนวน 4 ถึง 5 ตัน จะมีการแนวโน้มการสึกหรอมากกว่าปริมาณผลผลิตที่จำนวน 1 ถึง 4 ตัน เนื่องจากผิวสัมผัสของแม่พิมพ์ที่ได้กระทำกับลูกกลิ้งอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาลดลง จึงทำให้ค่าความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดลง โดยมีค่าการสึกหรอปริมาณผลผลิตที่จำนวน 1 2 3 4 และ 5 ตัน มีค่าการสึกหรอในรูปแบบ error bar มีค่าการสึกหรอดังนี้ 2.05 3.525 4.95 6.15 และ 6.825 มิลลิเมตร ตามลำดับ และแสดงค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ได้ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 The wear rate of mold through processed salt bath nitrocarburizing 580 °C at 180 minutes

mold	Product (ton)/Wear rate (mm)				
	1 ton	2 ton	3 ton	4 ton	5 ton
1	0.08	0.15	0.21	0.25	0.29
2	0.07	0.14	0.21	0.24	0.28
3	0.07	0.15	0.21	0.24	0.28
4	0.08	0.16	0.21	0.24	0.28
Wear Average (mm)	0.075	0.15	0.21	0.24	0.28



จากตารางที่ 3 แสดงอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที โดยแม่พิมพ์จำนวน 4 ชิ้น และได้ทดลองอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เป็นปริมาณผลผลิตจำนวน 5 ตัน จะเห็นได้ว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดการสึกหรอจัดในรูปแบบ error bar ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 An error bar for wear rate of the mold through processed salt bath nitrocarburizing 580 °C at 180 minutes

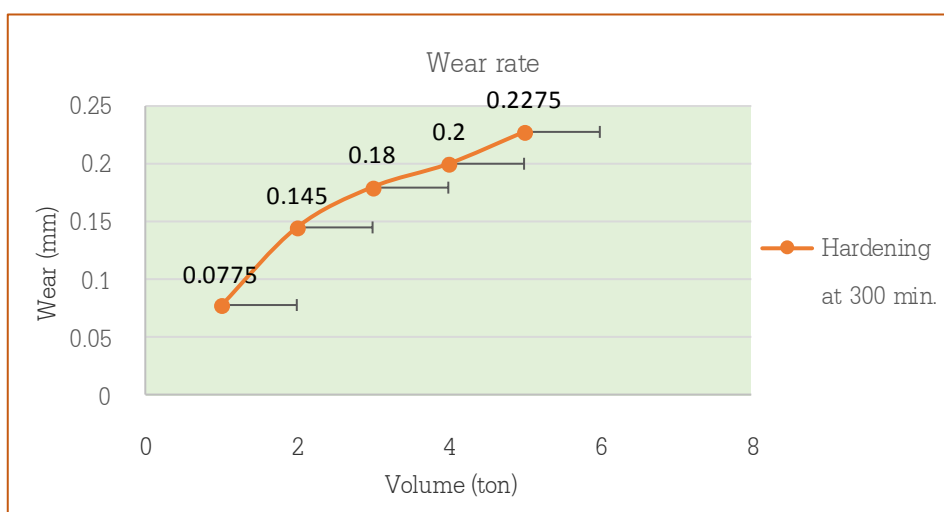
จากภาพที่ 7 แสดงอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ได้ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที ซึ่งเป็นการจัดค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบ error bar โดยแกน X แสดงปริมาณผลผลิตมีหน่วยเป็นตัน และแกน Y แสดงการสึกหรอของแม่พิมพ์มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าจะมีอัตราการสึกหรอที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะช่วงปริมาณผลผลิตที่จำนวน 4 ถึง 5 ตัน จะมีการแนวโน้มการสึกหรอมากกว่าปริมาณผลผลิตที่จำนวน 1 ถึง 3 ตัน เนื่องจากผิวสัมผัสของแม่พิมพ์ที่ได้กระทำกับลูกกลิ้งอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาลดลง จึงทำให้ค่าความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดลง โดยมีค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ปริมาณการผลิตที่จำนวน 1 2 3 4 และ 5 ตัน มีค่าอัตราการสึกหรอดังนี้ 0.075 0.15 0.21 0.2425 และ 0.2825 มิลลิเมตร ตามลำดับ และแม่พิมพ์ที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที ผลการทดสอบการสึกหรอ ดังแสดงในตารางที่ 4



ตารางที่ 4 Wear rate of mold through processed salt bath nitrocarburizing 580 °C at 300 minutes

mold	Product (ton)/Wear rate (mm)				
	1 ton	2 ton	3 ton	4 ton	5 ton
1	0.08	0.15	0.18	0.20	0.23
2	0.07	0.14	0.17	0.19	0.22
3	0.08	0.15	0.18	0.21	0.23
4	0.08	0.14	0.19	0.20	0.23
Wear Average (mm)	0.08	0.14	0.18	0.20	0.22

จากตารางที่ 4 แสดงอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที โดยแม่พิมพ์จำนวน 4 ชิ้น และได้ทดลองอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เป็นปริมาณผลผลิตจำนวน 5 ตัน จะเห็นได้ว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดการสึกหรอจัดในรูปแบบ error bar ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 Error bar for wear rate of the mold through processed salt bath nitrocarburizing 580 °C at 300 minutes

จากภาพที่ 8 แสดงอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ได้ผ่านการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ณ อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที ซึ่งเป็นการจัดค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบ error bar โดยแกน X แสดงปริมาณผลผลิตมีหน่วยเป็นตัน และแกน Y แสดงการสึกหรอของแม่พิมพ์มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าจะมีอัตราการสึกหรอที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะช่วงปริมาณผลผลิตที่จำนวน 3 ถึง 5 ตัน จะมีการแนวโน้มการสึกหรอมากกว่าปริมาณผลผลิตที่จำนวน 1 ถึง 2 ตัน



เนื่องจากผิวสัมผัสของแม่พิมพ์ที่ได้กระทำกับลูกกลิ้งอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์มีความหนาลดลง จึงทำให้ค่าความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดลง โดยมีค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ปริมาณการผลิตที่จำนวน 1 2 3 4 และ 5 ตัน มีค่าอัตราการสึกหรอดังนี้ 0.0775 0.145 0.18 0.2 และ 0.2275 มิลลิเมตร ตามลำดับ

5. นำค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์มาเปรียบเทียบ จากการทดลองอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ตามปริมาณการผลิตจำนวน 5 ตัน ในแต่ละครั้ง ระหว่างแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งกับแม่พิมพ์ที่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 และ 300 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสึกหรอที่แตกต่างกัน

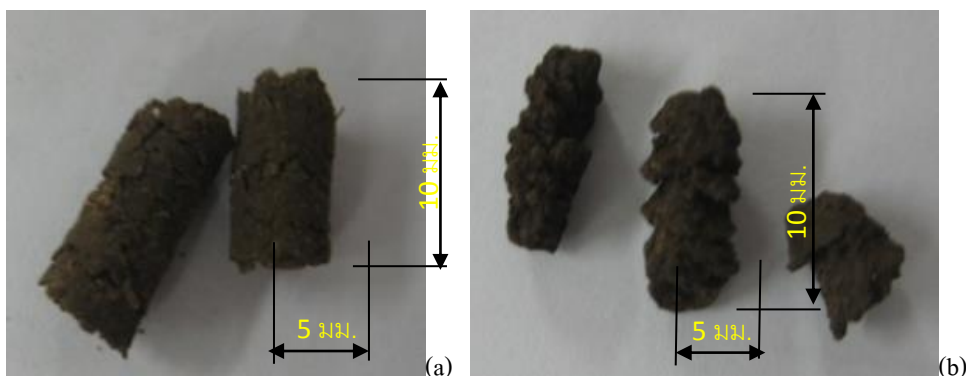
ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสำหรับด้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว มีผลดังนี้

1. ผลการศึกษาแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็ง พบว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอแบบขัดลี (Ratnui, 2006) ซึ่งสามารถทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่มีการเสียรูป ของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เป็นจำนวน 0.5 ตัน ซึ่งนับว่ามีการสึกหรอของแม่พิมพ์อย่างรุนแรง ซึ่งเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เกิดการเสียรูปจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ใหม่ทันที เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับการผลิตรอบใหม่เป็นการเสียเวลาในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก

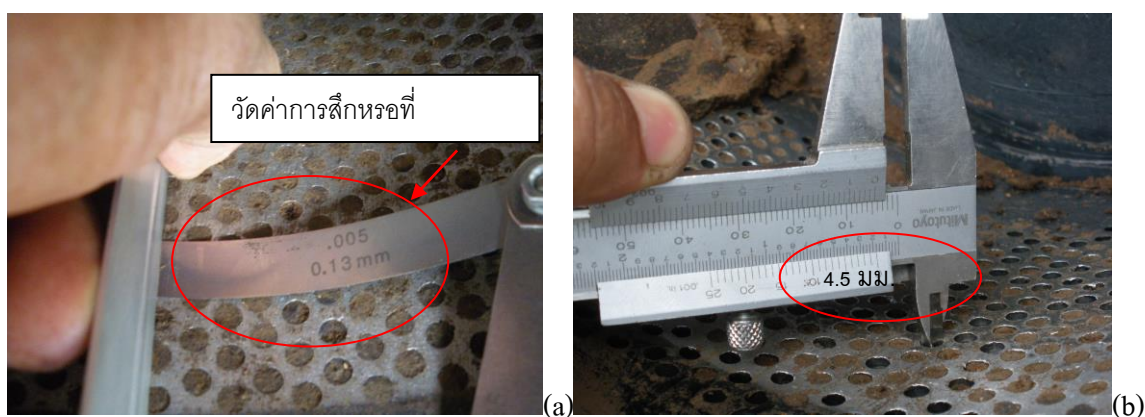
2. ผลการศึกษาแม่พิมพ์ที่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที พบว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอแบบขัดลี (Ratnui, 2006) ซึ่งสามารถอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เสียรูปเป็นปริมาณผลผลิตที่มีมากกว่าจำนวน 5 ตัน เนื่องจากยังสามารถรักษาคุณภาพเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าการสึกหรอที่ปริมาณผลผลิตจำนวน 5 ตัน เป็น 0.28 มิลลิเมตร และค่าความแข็งลึกต่ำกว่า 250 HV ที่ระยะ 0.28 มิลลิเมตร

3. ผลการศึกษาแม่พิมพ์ที่ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวอุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที พบว่าแม่พิมพ์มีการสึกหรอแบบขัดลี (Ratnui, 2006) ซึ่งสามารถทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เสียรูปเป็นปริมาณผลผลิตที่มีมากกว่าจำนวน 5 ตัน เนื่องจากยังสามารถรักษาคุณภาพเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าการสึกหรอที่ปริมาณผลผลิตจำนวน 5 ตัน เป็น 0.22 มิลลิเมตร และค่าความแข็งลึกมีค่าต่ำกว่า 230 HV ที่ระยะ 0.23 มิลลิเมตร ซึ่งมีแนวโน้มจะสามารถอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่มีการเสียรูปของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์มากกว่า 20 ตัน ลักษณะขนาดและรูปร่างของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการอัด ได้แสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 Sample of fertilizer from the experiment

จากภาพที่ 9 แสดงขนาดและรูปร่างของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป ลักษณะและรูปร่างของเม็ดปุ๋ยที่ดีและความสมบูรณ์ของเม็ดปุ๋ยมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต ด้านคุณภาพของปุ๋ยเชิงการนำไปใช้งานและด้านการพาณิชย์ ซึ่งภาพที่ 9(a) เป็นเม็ดปุ๋ยที่ได้จากการทดลองอัดเม็ดปุ๋ยที่แม่พิมพ์ยังคงสภาพ (ภาพไม่เปลี่ยนแปลง) ภาพที่ 9(b) เม็ดปุ๋ยที่เสียรูปที่เกิดจากการที่รูของแม่พิมพ์เสียรูป ซึ่งแม่พิมพ์จะเกิดการเสียรูปด้านสัมผัสกับลูกกลิ้งที่อยู่ด้านในของแม่พิมพ์ ได้แสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 Example wear of the mold

ภาพที่ 10(a) แสดงตัวอย่างการวัดค่าการสึกหรอของหน้าสัมผัสแม่พิมพ์ที่มีการสึกหรออันเนื่องมาจากแรงกดของลูกกลิ้งกับปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้มีการวัดการสึกหรอหน้าสัมผัสแม่พิมพ์ด้านขวาที่ทำมุม 280 องศา เนื่องจากเป็นช่วงบริเวณที่ลูกกลิ้งได้ให้น้ำหนักในการอัดเม็ดปุ๋ยที่มากกระทบบแม่พิมพ์มากที่สุด วิธีการวัดโดยใช้ไม้บรรทัดเหล็กกับฟินเลอร์เกจในการวัดค่าการสึกหรอของหน้าสัมผัสแม่พิมพ์ สาเหตุที่เลือกใช้ไม้บรรทัดเหล็กเป็นเครื่องมือในการประกอบวัดค่าการสึกหรอเพราะว่าด้านข้างของหน้าสัมผัสแม่พิมพ์จะไม่มีการสึกหรอ เนื่องจากการไม่มีการสัมผัสของลูกกลิ้งอัดเม็ดปุ๋ย จาก



การวัดพบว่าหน้าสัมผัสแม่พิมพ์มีการสึกหรอที่มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ และภาพที่ 10(b) แสดงการวัดขนาดของรูแม่พิมพ์ของหน้าสัมผัสแม่พิมพ์ ซึ่งพบว่าขนาดของรูแม่พิมพ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและขนาดของรูสำหรับอัดเม็ดปุ๋ยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร

อภิปรายผล

ผลที่ได้จากการปรับปรุงผิวแข็งของแม่พิมพ์แบบยึดติดด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว จะเห็นได้ว่าแม่พิมพ์ที่ได้ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวอุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที สามารถอัดปุ๋ยอินทรีย์ให้เป็นเม็ดโดยไม่มีการเสียรูปของเม็ดปุ๋ยได้ดีที่สุด และสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงจากเดิมเป็น 58% เมื่อเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ที่ผ่านการชุบแข็งที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 180 นาที สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงจากเดิมเป็น 57% และแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว จะไม่สามารถยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ได้ นอกจากนี้แม่พิมพ์ที่ได้ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ อันเนื่องจากการเปลี่ยนแม่พิมพ์บ่อย ๆ ในขณะที่ทำการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ในปัจจุบันประเทศไทยยังมีโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์อีกหลายแห่งที่ยังประสบปัญหาเกี่ยวกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ โดยส่วนใหญ่แล้วได้พบเห็นในกลุ่มเกษตรกรที่ไม่ได้มีการคัดแยกเศษขยะ เศษหินและทรายที่มาปนเปื้อนกับปุ๋ยอินทรีย์ก่อนที่จะผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ใช้เองโดยมิได้คำนึงถึงด้านการพาณิชย์ นอกจากนี้แล้ว ได้มีกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อการพาณิชย์ที่สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มของตนเอง งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนะต่อกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยการใช้เครื่องจักรลักษณะที่เป็นแม่พิมพ์อัดเม็ด ให้มีการคัดแยกจำพวกเศษโลหะ พลาสติก หิน ทราย ตลอดจนวัตถุอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อแม่พิมพ์ โดยวิธีการคัดแยกให้ได้วัตถุดิบสำหรับผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้มีความบริสุทธิ์ที่สุดเท่าที่จะทำได้ อีกทั้งได้แนะนำวิธีการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์ก่อนที่แม่พิมพ์จะเกิดความเสียหาย ตลอดจนวิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักรกลและแม่พิมพ์ให้มีความพร้อมต่อการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

สรุป

ผลการศึกษากรรมวิธีการชุบแข็งสำหรับแม่พิมพ์อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์แบบยึดติด พบว่าแม่พิมพ์ที่ได้ผ่านกรรมวิธีชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว (salt bath nitrocarburizing hardening process) อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาในการชุบแข็ง 300 นาที สามารถเพิ่มอายุการใช้งานได้ถึง 3 เท่าต่อการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ 5 ตัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบระหว่างแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการชุบแข็งกับ



แม่พิมพ์ที่ผ่านการชุบแข็ง ผลการเปรียบเทียบได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 Detailed comparison of mold

Detailed	Non-Hardening process	Hardening process
Price (THB)	5,000.00	5,500.00
Production volume (tons)	0.5	> 5
Used the mold per 5 tons (pieces)	3	1
Mold price per 5 tons (Baht)	15,000.00	5,500.00
Reduce mold cost per 5 tons (Baht)	9,500.00	

ข้อเสนอแนะ

1. กลุ่มเกษตรกรควรเลือกใช้แม่พิมพ์ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาการชุบแข็ง 300 นาที
2. กลุ่มเกษตรกรต้องมีการคัดแยกเศษวัสดุต่าง ๆ เพื่อให้วัสดุที่จะผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้มีความสะอาดเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับแม่พิมพ์และเครื่องจักรกล
3. กลุ่มเกษตรกรควรทำความสะอาดและบำรุงรักษาแม่พิมพ์และเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

รายการอ้างอิง (References)

- Carvajala, L et al. (2017) *Monitoring Heat Treatments in Steels by a Non Destructive Ultrasonic Method*. Materials Researc
- Ismail, N.M.et al. (2016) *The Effect of Heat Treatment on the Hardness and Impact Properties of Medium Carbon Steel*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering
- Kumar, A.et al. (2016) Heat Treatment Parameter Optimization Using Taguchi Technique. *International Journal of Scientific Research and Education*, 4(10)
- Properties of Medium Carbon Steel, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(2) : 143-152
- Purwaningrum, Y et al. (2018) Heat Treatment, Mechanical Properties and Microstructure of T-Joint Steel Arc Welded. *Applied Mechanics and Materials Submitted*. 876 : 36-40



- Ratnui, S (2006) Introduction to lubrication engineering. King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok. (In Thai).
- Tolouei-rad, M & Lichter, E (2016) The Heat Treatment Analysis of E100 Case Hardening Steel". *Journal of Engineering Science and Technology* 11,(3) : 407 – 415.
- Sasanarakit, S (2006) *Production technology and prototype factory produce high quality organic fertilizer*. 1st edition. Samut Prakan: Printing Company Limited, Fertilizer Technology Center, Research institute Science and Technology of Thailand (TISTR). (In Thai).
- Sathirachinda, M (2553) *Iron plating engineering* 2nd Edition. Bangkok: Chulalongkorn Printing Factory. (In Thai).
- Senthilkumar, T & Ajiboye, T. K. (2012) Effect of Heat Treatment Processes on the Mechanical
- Zhou, M et al. (2017) *Bainitic Transformation and Properties of Low Carbon Carbide-Free Bainitic Steels with Cr Addition*. Metals