

การพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติ

The development of a semi-automatic extrusion machine for producing the plant pots from coffee grounds

ชาคริต ศรีทอง¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มสตรีสหกรณ์เกษตรกรคลองหลวง (คลองสอง) การสร้างข้อกำหนดเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติสร้างจากความต้องการของผู้ใช้ ได้แก่ 1 เครื่องสามารถผลิตกระถางได้ครั้งละ 2 ใบ 2 ระยะเวลาการกดอัดอยู่ในช่วงระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ 0.1 วินาที 3 แรงกดอัดกระถางอยู่ในช่วง 50 – 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 4 ระบบรักษาความปลอดภัยของเครื่อง ใช้หลักการทำงานตามแบบวิศวกรรมความปลอดภัย 5 อัตรากำลังการผลิตเฉลี่ยกระถางโดยเฉลี่ย 4 ใบ ต่อ 1 นาที การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางทดสอบจากหลักการออกแบบการทดลอง(DOE) ซึ่งกำหนดการทดสอบ 2 หัวข้อหลักได้แก่ ทดสอบการย่อยสลายในดิน และการย่อยสลายในน้ำ ซึ่งกำหนดปัจจัยของการทดสอบ 3 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัยที่ 1 น้ำหนักของกากกาแฟ ปัจจัยที่ 2 ตัวประสาน ปัจจัยที่ 3 แรงอัด ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เครื่องเกิดประสิทธิภาพการผลิตเหมาะสมที่สุด คือ ใช้กากกาแฟขนาด 155 กรัม ตัวประสาน 55 กรัม และใช้แรงกดอัดขนาด 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งสามารถทนต่อการย่อยสลายในดินได้ 44 วัน และทนต่อการย่อยสลายในน้ำได้ 24 วัน ในระยะเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาที่ไม่มีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช

คำสำคัญ: เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ กระถางกากกาแฟ การออกแบบการทดลอง

Abstract

This research aimed to fulfill the needs of Farm Women Group Association Klongluang (Klong2). The first step was to convert the needs of users to be the requirements in constructing semi-automatic extrusion machine. These requirements were indicated; 1) machine could produce two flowerpots at once. 2) extrusion time could be started from 0.1 second upward. 3) extrusion force was between 50 – 50,000 pounds/inch². 4) the machine provided the safety system by applying the safety engineering method. These were using two hands simultaneously in controlling the machine and providing the emergency button. 5) production rate was average 4 flowerpots per 1 minute. Next step, performance testing of this semi-automatic extrusion machine was tested with Design of Experiment technique (DOE). This testing consisted of two main issues which were the degradability in soil and water. Three testing factors were identified; weight of coffee grounds, chemical bond, and extrusion force. As a result, it showed that the most effective factor of production was 155 grams of coffee grounds, 55 grams of chemical bond, and 1,500 pounds per inch² of extrusion force. It could degraded in soil about 44 days and degrade in water about 24 days. This period had no effect with the growth of plants.

Keywords: semi-automatic extrusion machine, coffee grounds plant pots, Design of Experiment

1. บทนำ

จากที่ผู้วิจัยได้นำการเรียนการสอนในรายวิชาการวางแผนและควบคุมการผลิตมาบูรณาการกับการบริการวิชาการ โดยให้บริการกับกลุ่มสตรีสหกรณ์เกษตรกรคลองหลวง (คลองสอง) ผู้วิจัยพบว่าในการผลิตสินค้าของกลุ่มฯ นั้นมีเสียเหลือจากการผลิตจำนวนมาก เช่น กากกา กากกาแพ เศษพริก เศษเห็ด เป็นต้น ทางผู้วิจัยจึงนำเศษเหลือใช้มาผลิตเป็นสินค้าเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือใช้ดังกล่าว โดยพบว่ากากกาแพสามารถนำมาใช้ผลิตกระถางดอกไม้ที่สามารถย่อยสลายในดินได้ [8] และสามารถสร้างรายได้เสริมให้กับกลุ่มฯ โดยผลิตเป็นสินค้ากระถางเพาะชำจากกากกาแพที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่ได้กำไรสูง ถูกค่าที่ซื้อให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจำนวนมาก แต่ทางกลุ่มฯ ไม่สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของลูกค้าเนื่องจากขั้นตอนในการอัดขึ้นรูปจำเป็นต้องใช้แรงงานคนอย่างน้อย 2 คน ทำการกดอัดเพื่อขึ้นรูปกระถาง และต้องใช้เวลาในการผลิตนาน จำนวนของเสียที่เกิดจากการผลิตจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าวทางกลุ่มฯ จึงได้ปรึกษาผู้วิจัยเพื่อต้องการเพิ่มผลผลิต โดยได้นำหลักการของการออกแบบด้วยทฤษฎี Quality Function Deployment (QFD) มาประยุกต์ใช้เพื่อทำการออกแบบและออกแบบการทดลองโดยใช้ตัวแปร คือ ปริมาณของกากกาแพ (กรัม) ต่อ ปริมาณของตัวประสาน (กรัม) ต่อ แรงอัดตามการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อทำการทดสอบเครื่อง

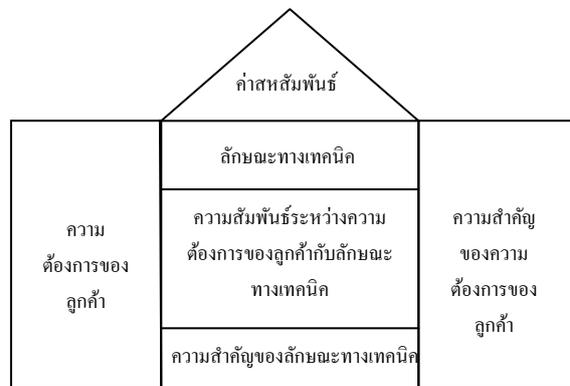
ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางที่ทำจากกากกาแพให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มสตรีสหกรณ์เกษตรกรคลองหลวง (คลองสอง)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า

การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า (Quality Function Deployment หรือ QFD) คือเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบ โดยระบุความต้องการของผู้ใช้และประเมิน

การออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยปฏิบัติการเปลี่ยนความต้องการของผู้ใช้ไปเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ และ ข้อกำหนดที่จำเป็นในการผลิต ถือได้ว่า QFD เป็นกระบวนการเชิงระบบ (Systematic Process) สำหรับใช้เป็นพลังขับเคลื่อน เพื่อมุ่งเน้นตรงไปยังความต้องการของผู้ใช้ให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ หรือ ทำให้เกินกว่าที่ผู้ใช้คาดหวัง [3] QFD มีทั้งหมด 4 เฟส ประกอบด้วย เฟสที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ เฟสที่ 2 การออกแบบผลิตภัณฑ์ เฟสที่ 3 การวางแผนการผลิต เฟสที่ 4 การวางแผนปฏิบัติการผลิต [3] ในการทำ QFD ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์คือใช้ บ้านแห่งคุณภาพ (House of quality) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บ้านแห่งคุณภาพ (House of quality)

House of quality ประกอบด้วย [5]

- กำหนดด้านซ้าย (Customer Requirement) เป็นสิ่งที่ผู้ใช้คาดหวังว่าจะได้จากผลิตภัณฑ์
- กำหนดด้านขวา (Prioritize Customer Requirement) ด้านขวาเป็นการจัดลำดับความสำคัญของสิ่งที่ผู้ใช้ต้องการ (Planning Matrix) แยกออกเป็นหมวดหมู่ เช่น การทดสอบของผู้ใช้ การให้คะแนนจุดขาย เป็นต้น
- เพดานห้อง (Technical Descriptors) หรือชั้นสอง เป็นรายละเอียดเชิงเทคนิค (Technical Descriptor หรือ Voice of the Organization) ที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ในเชิงคุณสมบัติเฉพาะ ข้อกำหนด การออกแบบ ตัวแปรต่าง ๆ ทางด้านวิศวกรรม

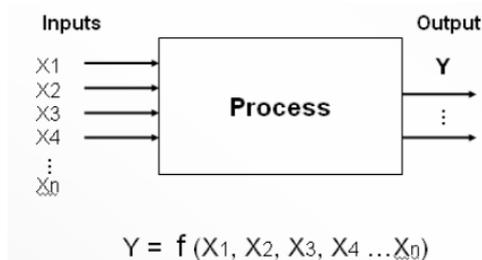
ง) ภายในห้อง หรือ ตัวบ้าน เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าและรายละเอียดเชิงเทคนิค หรือกล่าวง่าย ๆ ว่าเป็นการแปลความต้องการของลูกค้า ให้เป็นคุณสมบัติจำเพาะทางวิศวกรรม

จ) หลังคาบ้าน (Interrelationship Between Technical Descriptors) ใช้แสดงความสัมพันธ์ภายในระหว่างรายละเอียดทางเทคนิค ต่าง ๆ เป็นการนำเสนอความเหมือนกันความแตกต่างในเชิงเทคนิคของรายละเอียดที่กำหนดขึ้น

ฉ) พื้นห้อง (Prioritized Technical Descriptors) หรือ พื้นบ้านเป็นรายละเอียดเชิงเทคนิคที่ถูกจัดลำดับความสำคัญ ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบกับคู่แข่งอัตราความยากง่าย คุณค่าของจุดมุ่งหมาย

2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) เป็นเครื่องมือคุณภาพที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรม โดยการออกแบบการทดลองหรือ DOE เป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่า ตัวแปร (Input) อย่างมีจุดหมาย โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ คุณลักษณะด้านคุณภาพของกระบวนการ (Output) ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการและผลผลิต

จากรูปที่ 2 พบว่ากระบวนการมีปัจจัย หรือ Input ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลอง ต้องการที่จะทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X ต่างๆ โดยพยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด [2]

3. วิธีดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ช่วงการทำงาน ช่วงที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้อัตโนมัติผลิตจากกากกาแฟ ช่วงที่ 2 นำข้อมูลเบื้องต้นจากช่วงที่ 1 มาทำการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษ ด้วยทฤษฎี Quality Function Deployment (QFD) [3] และช่วงที่ 3 หลังจากได้แบบของเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้อัตโนมัติผลิตจากกากกาแฟแล้วทำการผลิตเครื่องและนำกระดาษที่ได้จากการผลิต ซึ่งกำหนดการทดสอบ 2 หัวข้อหลัก ออกแบบการทดลองโดยทดสอบการย่อยสลายในดินและการย่อยสลายในน้ำ ซึ่งกำหนดปัจจัยการทดสอบ 3 ปัจจัยได้แก่ ใช้ตัวแปร คือ ปริมาณของกากกาแฟ (กรัม) ต่อ ปริมาณของตัวประสาน (กรัม) ต่อ แรงอัด ตามการออกแบบการทดลอง (DOE) และทำปรับแก้ตัวแปรต่างๆ ให้สอดคล้องกับคุณภาพของกระดาษที่ผลิตจากกากกาแฟ, กากชา และทำการทดสอบซ้ำ

ช่วงที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบด้วยทฤษฎี Quality Function Deployment (QFD)

- ทำการศึกษาการอัดขึ้นรูปกระดาษที่ทำจากกากกาแฟ แบบต่างๆ ในปัจจุบัน

- ทำ Focus Group โดยใช้ตัวแทน ประชากร โดยให้ละกันทั้งหญิงและชายใน 1 กลุ่มซึ่งมีตัวแทนประมาณ 3-4 คน ทำการสนทนาในหัวข้อต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอัดขึ้นรูปกระดาษ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- นำปัญหาที่พบในการทำ Focus Group มาใช้ งานในการหาความต้องการในการสร้างเครื่องอัดขึ้นรูป โดยผลจากการสัมภาษณ์ได้ผลออกมาเป็นรูปแบบของข้อมูลดิบ

ช่วงที่ 2 เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 ผู้ขั้นตอนการทำ QFD เพื่อทำการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้อัตโนมัติผลิตจากกากกาแฟ และทำการผลิตเครื่องให้ตรงตามแบบ

ช่วงที่ 3 เป็นขั้นตอนการทดสอบกระถางกาแฟที่ผลิตจากเครื่องต้นแบบ

- ออกแบบการทดลองโดยใช้ตัวแปร คือ ปริมาณของกากกาแฟ (กรัม) ต่อ ปริมาณของตัวประสาน (กรัม) ต่อ แรงอัด ตามการออกแบบการทดลอง (DOE)

- ศึกษาและทดลองระยะเวลาในการย่อยสลายในดิน (วัน) และความทนทานต่อน้ำของกระถาง

- เก็บข้อมูลการย่อยสลายในดิน (วัน) และความทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำ

ขั้นตอนการปรับปรุงเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ

- ทดสอบการผลิต และประเมินคุณภาพของเครื่องขึ้นรูปกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ

- ปรับแก้ตัวแปรต่างๆ เช่น ปริมาณของกากกาแฟ (กรัม) ต่อ ปริมาณของตัวประสาน (กรัม) ต่อ แรงอัดการปรับให้ได้อัตราส่วนที่ทำให้คุณภาพของกระถางสามารถทนต่อการย่อยสลายในดินประมาณ 43-45 วัน และทนต่อการย่อยสลายในน้ำประมาณ 22-24 ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืชตามการทดลองของ Sritong C. และคณะ [8]

4. ผลการวิจัย

ผลการทดลองในช่วงที่ 1 จากการศึกษา งานวิจัยของ Tontabtimthong และคณะ (2007) พบว่า ส่วนผสมของการทำกระถางดอกไม้จากเศษเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้ เปลือกมะพร้าว 150 กรัม โดยเลือก เฉพาะใยมะพร้าว ผสมกับกาว 50 กรัม และใช้แรงกด ด้วยระบบ ไฮดรอลิก เพื่อผลิตกระถางขนาด 6 นิ้ว [9] นอกจากนี้ยังพบว่า การวิจัยเพื่อผลิตกระถางต้นไม้จาก เศษกระดาษโดยผสมกับผงชอล์กและอัดขึ้นรูปแม่พิมพ์ โดยใช้กาวเป็นส่วนผสมในการยึดติดกันของโครงสร้าง [6] และในการศึกษาการใช้เศษเหลือใช้ทางการเกษตรมา ผลิตกระถางนำเศษขี้เลื่อย แกลบ มะพร้าว ฝูย และดิน โดยมีอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน และมีส่วนผสมกาวเป็นตัว ประสานเพื่อยึดส่วนผสมต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยขึ้นรูป ด้วยวิธีการอัด จากการศึกษาของงานวิจัยต่างๆ พบว่า

ส่วนผสมสำคัญในการยึดโครงสร้างให้ติดกันคือกาว [7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ส่วนผสมที่เป็นตัวประสานคือ กาว นอกจากนี้ยังพบว่า การขึ้นรูปของเศษเหลือใช้ต่างๆ ให้สามารถขึ้นรูปได้คงทนต้องใช้แรงอัดที่มีแรงสูง จึง จำเป็นต้องใช้การกดอัดด้วยระบบไฮดรอลิก

ผลการทดลองในช่วงที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

4.1 ผลการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มสตรีสหกรณ์ เกษตรกรคลองหลวง (คลองสอง)

การทำ Focus Group ใช้กลุ่มเป้าหมายจากกลุ่ม สตรีสหกรณ์เกษตรกรคลองหลวง (คลองสอง) ที่ เป็น ผู้ผลิตกระถาง จำนวน 4 คน ประกอบด้วยผู้ชาย 1 คน ผู้หญิง 3 คน โดยใช้ปัญหาจาก วิทยาลัยการอาชีพด่าน ซ้าย ที่ได้เคยทดลองการนำเศษวัสดุมาทำกระถาง [4] ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 1 วัน โดยทำการเก็บ ข้อมูลที่ห้องประชุมที่ทำการสตรีสหกรณ์เกษตรกรคลอง หลวง (คลองสอง)

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 พบว่า มีความสอดคล้องกับ ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง และคณะ [1] ที่พบว่า การอัดกระถางที่ได้จากเศษวัสดุ จำเป็นต้องใช้ค่าแรงอัดที่มีความแตกต่างกันตามชนิด ของเศษวัสดุและปริมาณ

ตารางที่ 1 การแปรความต้องการของผู้ใช้ให้อยู่ในรูป ข้อกำหนดของการสร้างเครื่อง

ความต้องการของผู้ใช้	ข้อกำหนดของการสร้างเครื่อง
- เครื่องอัดขึ้นรูปกระถาง สามารถกำหนดขนาด แรงได้เนื่องจากวัสดุที่ใช้ ทำมีหลายชนิด - สามารถอัดขึ้นรูป กระถางได้หลายๆ ในแต่ละครั้ง - เครื่องอัดขึ้นรูปกระถาง สามารถใช้ได้กับวัสดุดิบ หลากๆชนิด	การปรับค่าแรงในการกด อัด และจำนวนในการ ผลิต

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ความต้องการของผู้ใช้	ข้อกำหนดของการสร้างเครื่อง
- สามารถกำหนดเวลาในการกดแช่ได้เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำมีหลายชนิด - สามารถนำกระถางออกจากแม่พิมพ์ได้โดยง่าย - เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายๆชนิด	การตั้งเวลาในการกดอัดและความสะดวกในการใช้งาน
- จำนวนคนที่ใช้เครื่องไม่เกิน 3 คน และผู้หญิงสามารถใช้เครื่องเองได้	จำนวนผู้ควบคุมเครื่อง
- ไม่เกิดอันตรายขณะใช้งาน - ในการอัดขึ้นรูปกระถางจะต้องไม่เกิดการผิครูป หรือ กากกาแฟและกากชาไม่ติดกัน	ระบบป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ และการป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์

4.2 ผลการวิเคราะห์ QFD

จากการเก็บข้อมูลของการทำ Focus Group สามารถนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ house of quality โดยนำข้อมูลที่นำมาพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3

จากการวิเคราะห์พบว่าความต้องการที่ต้องการพัฒนาเครื่อง 5 ลำดับความสำคัญ ได้แก่

1. แรงกดอัดกระถางอยู่ในช่วง 50 – 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
2. กำหนดระยะเวลาการกดอัดในช่วงระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ 1 วินาที
3. ระบบรักษาความปลอดภัยของเครื่อง ใช้หลักการทำงานตามแบบวิศวกรรมความปลอดภัยโดยใช้ 2 มือควบคุมการทำงาน และมีปุ่มฉุกเฉินสำหรับการหยุดการทำงานได้ทันที
4. เครื่องสามารถทำการผลิตกระถางได้ครั้งละ 2 ใบ
5. อัตราค่าลังการผลิตเฉลี่ยกระถางโดยเฉลี่ย 4 ใบ ต่อ 1 นาที

โดยผลจากการแปลความต้องการของผู้ใช้ที่ได้จากเครื่องมือ house of quality สามารถสร้างข้อกำหนดในการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติ ได้ดัง รูปที่ 4

ความต้องการของผู้ใช้		IMP	Co-Relationship						คะแนนเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	คะแนนที่ต้องการหลังการปรับปรุง	ระดับในการปรับปรุง	ทุนในการปรับปรุง
			○	○	○	○	○	○				
กดขึ้นรูป	ต้องการให้เครื่องอัดสามารถกำหนดขนาดวงรีได้	8.60	9	1	1	0	3	1.00	5.00	5.00	43.00	
	ต้องการให้ทำกระถางได้มาทุก ใบแต่ละครั้ง	7.90	9	1	0	0	9	2.00	5.00	2.50	19.75	
กดขึ้นรูป	ต้องการให้กำหนดเวลาในการกดแช่ได้	8.55	3	9	1	0	3	1.00	5.00	5.00	42.75	
	ต้องการเครื่องอัดสามารถใช้ได้กับวัสดุขึ้นรูปหลายชนิด	8.50	3	3	0	0	0	1.00	4.00	4.00	34.00	
กดขึ้นรูป	ต้องการให้ไม่เกิดกระถางผิครูป หรือ กากกาแฟและกากชาไม่ติดกัน	8.10	3	1	0	0	0	2.00	4.00	2.00	16.20	
	ต้องการให้ไม่เกิดอันตรายขณะใช้งาน	8.50	3	1	9	0	0	1.00	5.00	5.00	42.50	
กดขึ้นรูป	ต้องการใช้งานได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก	8.40	3	1	3	9	3	2.00	4.00	2.00	16.80	
	ต้องการให้ปากกระถางออกจากแม่พิมพ์ได้โดยง่าย	8.50	1	0	3	9	3	2.00	4.00	2.00	17.00	
ความต้องการทางเทคนิคอย่างละเอียด			ตั้งแรงอัดได้ 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	กดขึ้นรูปได้ครั้งละ 1 ใบต่อ 1 วินาที	ใช้วัตถุดิบจากกากกาแฟกึ่งอัตโนมัติ	ปรับขนาดแม่พิมพ์	เพิ่มพื้นที่					
ระดับความสัมพันธ์ในการปรับปรุง			1039	625	569.7	304.2	536.4					
สรุปอันดับเทคนิคในการปรับปรุง			1	2	3	5	4					

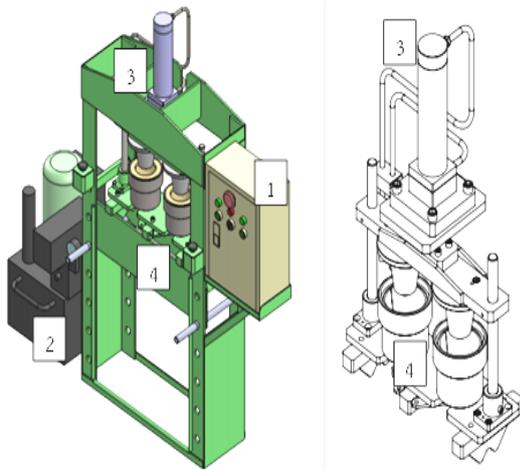
รูปที่ 3 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ house of quality

จากต้นแบบของเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องหลักๆ 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ส่วนควบคุมเครื่องทั้งหมด ประกอบด้วย

- 1.1 ส่วนเปิด/ปิดเครื่อง
- 1.2 ส่วนควบคุมระยะเวลาการกดอัด
- 1.3 ส่วนควบคุมแรงที่ใช้ในการกดอัด
- 1.4 ส่วนของการหยุดเดินเครื่องโดยทันทีเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

เกิดเหตุฉุกเฉิน

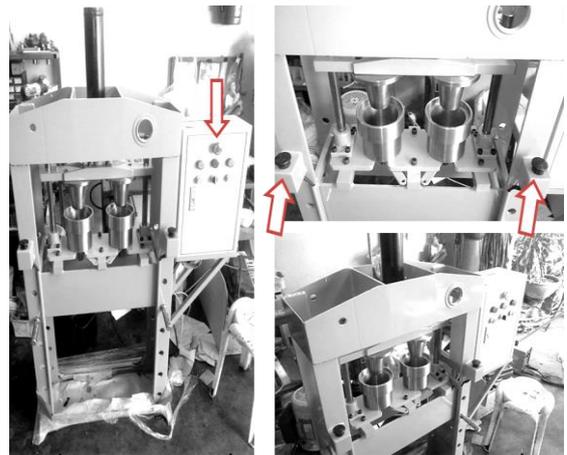


รูปที่ 4 แบบของเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติ

ส่วนที่ 2 ส่วนระบบไฮดรอลิก ประกอบด้วยปั้มน้ำมันไฮดรอลิก ถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิก และส่วนควบคุมระบบไฮดรอลิก

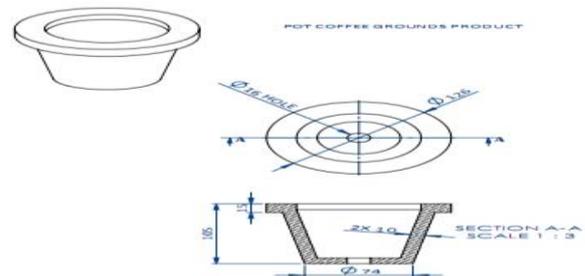
ส่วนที่ 3 ส่วนของกระบอกสูบไฮดรอลิก

ส่วนที่ 4 ส่วนของแม่พิมพ์กระถาง ในส่วนของแม่พิมพ์เพื่อให้สามารถถอดแบบได้ง่ายและไม่มีเศษกาแฟหรือเศษชา ติดในเวลาถอดแบบภายในจะเคลือบเงาด้านพลาสติกเพื่อไม่ให้เศษต่างๆติดกับแม่พิมพ์ และมีขนาดของแม่พิมพ์บริเวณด้านบนของกระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 126 มิลลิเมตร ขนาดด้านล่าง 74 มิลลิเมตร ความสูง 105 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 การพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติ

จากรูปที่ 5 บริเวณที่ถูกสรุขี้ คือ ระบบรักษาความปลอดภัยของเครื่อง ใช้หลักการทำงานตามแบบวิศวกรรมความปลอดภัยโดยใช้ 2 มือควบคุมการทำงาน และมีปุ่มฉุกเฉินสำหรับการหยุดการทำงานได้ทันที



รูปที่ 6 ขนาดของแม่พิมพ์กระถาง

4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วย DOE

การทดลองได้ออกแบบการทดลองได้ 3 ตัวแปร ตามการออกแบบการทดลอง [2] ดังนี้

- ออกแบบการทดลองโดยใช้ตัวแปร คือ ปริมาณของกากกาแฟ (กรัม) ต่อ ปริมาณของตัวประสาน (กรัม) ต่อ แรงอัด ตามการออกแบบการทดลอง (DOE) และนอกจากตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรในการทดลองแล้ว ต้องทำการทดลองในส่วนของความแข็งแรงของกระถางโดยศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติม 2 คุณลักษณะ ได้แก่

- ศึกษาและทดลองระยะเวลาในการย่อยสลายในดิน (วัน) และความทนทานต่อน้ำของกระถาง

- เก็บข้อมูลการย่อยสลายในดิน (วัน) และความทนทานต่อน้ำของกระถาง

การออกแบบการทดลองแบ่งเป็น 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 น้ำหนักของกากกาแฟ แบ่งเป็น 3 ระดับคือ 145 กรัม 150 กรัม 155 กรัม

ปัจจัยที่ 2 ตัวประสาน แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 45 กรัม 50 กรัม 55 กรัม

ปัจจัยที่ 3 แร่งอัด แบ่งเป็นสามระดับ คือ 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 1500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

โดยปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยทำการทดสอบการย่อยสลายในดิน และการย่อยสลายในน้ำ ซึ่งทำการทดลองทั้งสิ้น 53 ครั้งตั้งตัวอย่างการแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบการย่อยสลายในดิน และการทนทานต่อน้ำ โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย ในการทดสอบ

แบบที่	น้ำหนักกากกาแฟ (กรัม)	ตัวประสาน (กรัม)	แร่งอัด ปอนด์/ตารางนิ้ว	ย่อยสลายในดิน (วัน)	ทนทานต่อน้ำ (วัน)
25	155	55	1000	43	21
26	155	55	1500	44	24
27	155	55	2000	39	24

4.3.1 ผลการวิเคราะห์การทดลองการย่อยสลายในดิน กำหนดให้

A = ปริมาณน้ำหนักกากกาแฟ

B = ปริมาณของตัวประสาน

C = แร่งอัด

สรุปผลการวิเคราะห์เรื่องการย่อยสลายในดิน แสดงในตารางที่ 3 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณกากกาแฟมีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.00) < ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณกากกาแฟ ไม่มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

2. ปริมาณตัวประสานมีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.00) < ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณตัวประสาน ไม่มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

3. แร่งอัดมีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.00) < ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่า แร่งอัด ไม่มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

4. ปริมาณกากกาแฟและตัวประสาน มีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.97) > ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณกากกาแฟและตัวประสาน มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

5. ปริมาณกากกาแฟและแร่งอัด มีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value (0.99) > ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณกากกาแฟและแร่งอัด มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

6. ปริมาณตัวประสานและแร่งอัด มีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.14) > ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณตัวประสานและแร่งอัด มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

7. ปริมาณกากกาแฟ ปริมาณตัวประสานและแร่งอัด มีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.21) > ค่า α (0.05) จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณ

กากกาแฟ ปริมาณตัวประสานและแรงอัด มีผลต่อการย่อยสลายในดินของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

จากการวิเคราะห์ ข้อ 1 – ข้อ 3 สามารถสรุปได้ว่า ถ้าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยแยกเป็นปัจจัยเดียวจะไม่มีผลต่อการย่อยสลายในดิน

จากการวิเคราะห์ ข้อ 4 – ข้อ 7 แสดงว่าถ้ามีส่วนผสมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไปจะส่งผลต่อการย่อยสลายในดิน

4.3.2 ผลการวิเคราะห์การทดลองความทนทานต่อน้ำของกระถาง กำหนดให้

A = ปริมาณน้ำหนักกากกาแฟ

B = ปริมาณของตัวประสาน

C = แรงอัด

สรุปผลการวิเคราะห์เรื่องความทนทานต่อน้ำแสดงในตารางที่ 4 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณกากกาแฟมีผลต่อการย่อยสลายในดินหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.00) < ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณกากกาแฟ ไม่มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

2. ปริมาณตัวประสานมีผลต่อการทนทานต่อน้ำหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.00) < ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณตัวประสาน ไม่มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

3. แรงอัดมีผลต่อการทนทานต่อน้ำหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.00) < ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าแรงอัด ไม่มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

4. ปริมาณกากกาแฟและตัวประสาน มีผลต่อการทนทานต่อน้ำหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.87) > ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณกากกาแฟและตัวประสาน มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

5. ปริมาณกากกาแฟและแรงอัด มีผลต่อการทนทานต่อน้ำหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.90) > ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณกากกาแฟและแรงอัด มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

6. ปริมาณตัวประสานและแรงอัด มีผลต่อการทนทานต่อน้ำหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.14) > ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณตัวประสานและแรงอัด มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

7. ปริมาณกากกาแฟ ปริมาณตัวประสานและแรงอัด มีผลต่อการทนทานต่อน้ำหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า ค่า P-value(0.30) > ค่า $\alpha(0.05)$ จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถยอมรับ H_0 ได้ และสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณกากกาแฟ ปริมาณตัวประสานและแรงอัด มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของกระถางเพาะชำจากกากกาแฟ

จากการวิเคราะห์ ข้อ 1 – ข้อ 3 สามารถสรุปได้ว่า ถ้าปัจจัยทั้งสามปัจจัย แยกเป็นปัจจัยเดียวจะไม่มีผลต่อการทนทานต่อน้ำ

จากการวิเคราะห์ ข้อ 4 – ข้อ 7 แสดงว่าถ้ามีส่วนผสมระหว่างปัจจัยสองปัจจัยขึ้นไปจะส่งผลต่อการทนทานต่อน้ำ

จากการวิเคราะห์ด้วย DOE พบว่าปัจจัยที่มีความผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตกระถาง ใน 2 คุณลักษณะ คือ การย่อยสลายในดินและการทนต่อน้ำ พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญ ประกอบด้วย ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่

1. ปริมาณน้ำหนักกากกาแฟ

2. ปริมาณของตัวประสาน

3. แรงอัด

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การย่อยสลายในดิน

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P-value
A	2	74.039	74.039	37.019	24.89	0.000
B	2	53.371	53.371	26.685	16.11	0.000
C	2	813.534	813.534	406.767	253.98	0.000
A*B	4	0.442	0.442	0.112	0.06	0.972
A*C	4	0.186	0.186	0.045	0.03	0.998
B*C	4	11.021	11.021	2.736	1.78	0.141
A*B*C	8	17.701	17.701	2.113	1.41	0.212
Error	27	42.000	42.000	1.556		
Total	53	1036.571				

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทนต่อน้ำ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P-value
A	2	56.686	56.686	28.343	19.04	0.000
B	2	65.341	65.341	32.670	24.22	0.000
C	2	756.114	756.114	378.056	219.46	0.000
A*B	4	0.419	0.419	0.098	0.05	0.872
A*C	4	0.334	0.334	0.056	0.04	0.899
B*C	4	12.676	12.676	3.019	1.67	0.135
A*B*C	8	19.091	19.091	2.454	1.55	0.298
Error	27	38.000	38.000	1.355		
Total	53	992.499				

ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน ถ้ามีการปรับปริมาณปัจจัยอย่างใดอย่างหนึ่ง จะส่งผลต่อคุณภาพกระถางโดยตรง จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคุณภาพการผลิตกระถางโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการย่อยสลายในดิน การทนต่อน้ำ และไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้โดยใช้ผลการทดลองจาก Sritong C. และคณะที่ทำการทดลองพบว่ากระถางที่ได้จากกากกาแฟควรมีระยะเวลาย่อยสลายในดินประมาณ 43 – 45 วัน และ ทนต่อน้ำประมาณ 23-25 วัน [8] พบว่าปริมาณปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระถาง อยู่ในารทดลองแบบที่ 26 ตามตารางที่ 2 โดยที่ผลสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ปริมาณน้ำหมักกากกาแฟ มีขนาด 155 กรัม

2. ปริมาณของตัวประสาน มีขนาด 55 กรัม

3. แรงอัด ใช้แรงกดอัดขนาด 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากกากกาแฟแบบกึ่งอัตโนมัติ มีความสามารถในการผลิตกระถางได้ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้และเมื่อทำการทดสอบผลผลิตที่ได้จากการทดสอบเครื่องพบว่าปัจจัยในการผลิตกระถางประกอบด้วย 3 ปัจจัยได้แก่ แรงกดอัด กากกาแฟ และตัวประสาน โดยความเหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำให้เครื่องผลิตกระถางมีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด คือการทดสอบในครั้งที่ 26 จาก ตารางที่ 2 โดยใช้แรงกดอัดขนาด 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้กากกาแฟขนาด 155

กรัม ตัวประสาน 55 กรัม ซึ่งพบว่าสามารถทนต่อการย่อยสลายในดินได้ 44 วัน และทนต่อการย่อยสลายในน้ำได้ 24 วัน ซึ่งในระยะเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมของพืชที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

ข้อจำกัดในการศึกษาครั้งนี้พบว่า กลุ่มสตรีสหกรณ์เกษตรกรคลองหลวง (คลองสอง) มีสมาชิกในกลุ่มส่วนใหญ่เป็นผู้หญิงสูงอายุ โดยอายุเฉลี่ยอยู่ประมาณ 60 ปี ดังนั้น ในการออกแบบเครื่องจำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก โดยเครื่องต้องสามารถใช้งานได้ง่าย และต้องมีขั้นตอนในการผลิตไม่ซับซ้อน และต้องมีระบบป้องกันอันตราย จึงส่งผลให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องระมัดระวังในการออกแบบเป็นพิเศษ

การศึกษาครั้งต่อไปผู้วิจัยควรพัฒนาจากรูปแบบการผลิต แบบกึ่งอัตโนมัติให้เป็นการผลิตแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพั่ง และจิระพล กลิ่นบุญ. 2550. การวิจัยกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร. วิทยานิพนธ์ คณะวิชาเทคโนโลยีเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- [2] ประเมศ ชูติมา, 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] เขาวรินทร์ รอดมณี, ระพี กาญจนะ. 2555. “การประยุกต์ใช้พืชซีเซตร่วมกับการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องดูดควันแบบไฟฟ้าสถิต” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี. ปีที่10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2555
- [4] วิทยาลัยการอาชีพด่านซ้าย, 2552. กระถางดอกไม้เศษวัสดุเหลือใช้ Leavings flowerpot. วิทยาลัยการอาชีพด่านซ้าย จังหวัดเลย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- [5] Chun-Yung-Chuang,2009. **Application of fuzzy QFD for knowledge acquisition in product desing. Master of engineering.** National Cheng Kung University,Taiwan
- [6] Kialek, W. 2010. **Flowerpot from natural materials.** Bangkaew Industrial and Community College Publisher
- [7] Sikaewseiw,C. **Full Factorial Design.** [online: 03/03/12]: http://www.statistics.ob.tc/Full_DOE.htm
- [8] Sritong,C. ,Kaewchur,P. and Sritong,O. 2012. **Developing flowerpot from coffee grounds using the design of experimental technique.** International proceedings of Economics Development and research 4-5 Bangkok
- [9] Tontabtimthon,P. ,Jinadith,M. , Boonpung,S. and Kinboon,J. 2007. **Research on creating flowerpot from agricultural residues.** Thesis, Rajamangala University of Technology, Bangkok.