



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย การออกแบบระบบบอบแห้งเศษพืชเหลือใช้งานจากงานเกษตรกรรม
เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรี น่วมจิตร และคณะ

25 พฤศจิกายน 2558

สัญญาเลขที่ RDG5750049

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การออกแบบระบบอบแห้งเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมเพื่อผลิตเป็น
เชื้อเพลิงชีวมวล

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---|---|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรี น่วมจิตร
Asst. Prof. Montree Nuamchit | ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 2. ดร.อนุชา วัฒนาภา
Dr.Anucha Watanapa | ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. นายพิสิษฐ์ ศรีน้อย
Mr.Phisit Srinoi | สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตกาฬสินธุ์ |

ชุดโครงการ การวิจัยด้านวิสาหกิจชุมชน และวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)
สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

แบบสรุปผู้บริหาร

[Executive Summary]

ความเป็นมา

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ต่างๆ ไปจากธรรมชาติ ที่จะสะสมพลังงานเก็บเอาไว้ในตัวของมันเอง และสามารถนำพลังงานของมันที่เก็บสะสมเอาไว้มาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างของสารอินทรีย์เหล่านั้น เช่น เศษหญ้า เศษไม้ ที่เหลือทิ้งจากการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชี้อ้อย ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย เป็นต้น การนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมมาใช้ประโยชน์โดยตรงนั้นสามารถทำได้ยาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ มีขนาดเล็กไม่สม่ำเสมอ มีความชื้นสูงและมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บและขนส่งมาก สิ้นเปลืองพลังงาน และค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการแปรรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดด้วยแรงดันสูงทำให้มีความหนาแน่นสูง และมีขนาดเล็กทำให้สามารถที่จะนำระบบการป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถกำหนดปริมาณของเชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำ ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูง และสามารถควบคุมได้ กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการบดย่อยเศษ ขั้นตอนการบดไล่ความชื้น ขั้นตอนการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ในกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ขนาดชีวมวล ปกติแล้วขนาดชีวมวลยิ่งเล็กก็จะยิ่งง่ายต่อการอัดเม็ดและเพิ่มความหนาแน่นให้มากขึ้นได้ง่าย และปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นในวัตถุดิบชีวมวลเป็นปัจจัยในการเพิ่มความหนาแน่น เนื่องด้วยความชื้นช่วยในการถ่ายเทความร้อน หากมีปริมาณความชื้นต่ำเกินไปก็จะทำให้การเพิ่มความหนาแน่นทำได้ยากเพราะการถ่ายเทความร้อนไม่ดี นอกจากนี้ความชื้นมีส่วนช่วยในการสร้างพันธะระหว่างเนื้อชีวมวล ขณะอัด แต่หากมีความชื้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดไอน้ำและการระเบิดขึ้นได้ระหว่างการอัดแน่น โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปควรอยู่ระหว่าง 8-15 เปอร์เซ็นต์

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบระบบอบแห้งเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม ซึ่งเป็นโครงการย่อยของแผนงานวิจัยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม ที่บูรณาการกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ใช้ลมร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG เพื่อให้เป็นเทคโนโลยีของคนไทยเหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบและมีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ รวมทั้งจะช่วยลดต้นทุนและปัญหาการขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานผลิตที่มีขนาดใหญ่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมุ่งเน้นให้เป็นเครื่องจักรต้นแบบนำร่องที่สามารถใช้งานได้จริง มีราคาไม่สูงมาก ผลิตโดยเทคโนโลยีของคนไทย สะดวกต่อการปฏิบัติงานและชุมชนสามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ และเหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่ม

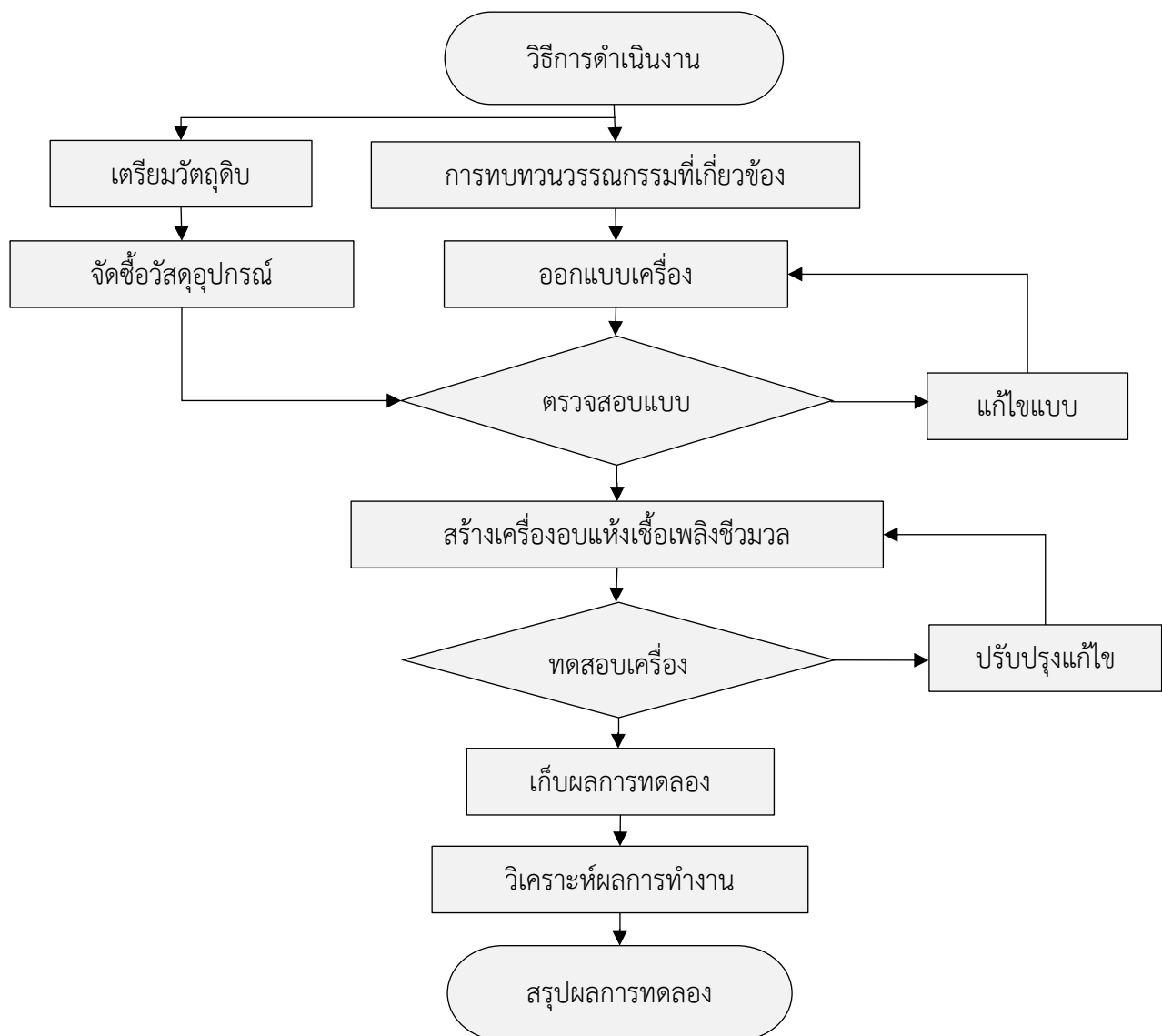
วิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบและมีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ รวมทั้งจะช่วยลดต้นทุนและปัญหาการขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานผลิตที่มีขนาดใหญ่

2. เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีความชื้นอยู่ระหว่าง 8% - 15%

3. เพื่อลดเวลาในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และรองรับการใช้พลังงานชีวมวลที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัย เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม สำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลและหารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล การออกแบบเครื่องอบแห้ง และการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน สามารถสรุปวิธีการดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน

ผลการค้นพบตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มุ่งเน้น ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล จากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม สำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง โดยการทำงานของเครื่องอาศัย ลมร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG และดูดความร้อนเข้าไปในตัวถังด้วยพัดลมโบลเวอร์ ด้านในของตัวถังถูกออกแบบให้มีชุดใบกวน ใช้แหล่งต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 5 แรงม้า อุปกรณ์ควบคุม การทำงานประกอบด้วย สวิตช์เปิดปิด หลอดไฟแสดงการทำงาน แมกเนติกคอนแทคเตอร์ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ตั้งอุณหภูมิ อุปกรณ์จุดติดไฟอัตโนมัติ และระบบเตือนภัยด้วยเสียงในกรณีที่หัวจ่ายก๊าซ ไม่ทำงานหรือหยุดจ่าย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอบแห้งฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกกล้วยเปลือก และขี้เลื่อย ที่ผ่านการบดย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ที่ระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทดสอบ 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งและให้ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 15 % ซึ่งผลการสอบได้ดังนี้

จากผลการทดสอบ พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ (0.05) โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 7 - 9 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 10 - 17 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 29 - 34 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 35 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 60 - 65 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 67 - 76 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบด้วยเช่นกัน และปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น, กำลังการผลิตลดลง, และค่าพลังพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งหรือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นเริ่มต้น เนื่องจากในการทดสอบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซ LPG ค่อนข้างคงที่

ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลบางส่วน ข้อมูลการออกแบบและสร้างเครื่องอาจไม่ครอบคลุม เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และหากต้องการการทำงานที่เต็มความสามารถควรเพิ่มเติมในส่วนของชุดให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง
2. สามารถเปลี่ยนการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG มาเป็นการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของชีวมวลด้วยกระบวนการ Gasification

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ และกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ให้กับกลุ่มเกษตรกร องค์กรการบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ ให้มีความเข้าใจและเห็นถึงศักยภาพของเศษชีวมวล เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพ และได้เล็งเห็นถึงช่องทางการเพิ่มรายได้
2. เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, 4-6 พฤศจิกายน 2558

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล หนึ่งในนั้นคือปริมาณความชื้นที่ตกค้างอยู่ในชีวมวล หากมีปริมาณความชื้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดไอน้ำและเกิดการระเบิดขึ้นได้ระหว่างการอัดขึ้นรูป โครงการนี้มุ่งเน้น ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล จากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม สำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก การทำงานของเครื่องอาศัยลมร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG และดูดความร้อนเข้าไปในตัวถังด้วยพัดลมโบลเวอร์ ด้านในของตัวถังถูกออกแบบให้มีชุดใบกวน ใช้แหล่งต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 5 แรงม้า โดยทำการทดสอบอบแห้งฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย ที่ผ่านการบดย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ที่ระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทดสอบ 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งและให้ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 15 % ซึ่งผลการทดสอบได้ดังนี้ จากผลการทดสอบปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20% ใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 7-9 นาที, มีกำลังการผลิต 162-175 kg/hr, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 25 % ใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 10-17 นาที, มีกำลังการผลิต 114-150 kg/hr, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 30 % ใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 29-34 นาที, มีกำลังการผลิต 68-77 kg/hr, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 35 % ใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 60-65 นาที, มีกำลังการผลิต 40-43 kg/hr, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40% ใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 67-76 นาที, มีกำลังการผลิต 35-39 kg/hr, ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ

กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล, เครื่องอบแห้งชีวมวล

Abstract

In the process of producing biomass fuel pellet, there are many factors that determine the quality of biomass pellet. One of them is moisture content remains within raw materials. If there is a high moisture content, it will results in steam and explode during pelletization. This project focuses on the design of biomass drying machine using agricultural waste to produce biomass fuel pellet in order to pave the way for biomass fuel pellet factory in community enterprise and small businesses. The machine works by using hot air from LPG consumption and pull hot air into a container using blower. Inside the machine, there is an agitator powered by alternating current electric motor with 5 horse power. The machine is tested by drying 4 raw. They are rice straw, corn cob, soybean hull, and sawdust. All the materials have been grinded to the size that is less than 7 ml with moisture content starting at 20, 25, 30, 35, and 40%. The test uses heat temperature at 70 °C in order to find an appropriate time in drying that can yield moisture content not more than 15 %. The results of the test reveal that high moisture content require more drying time. When moisture content is at 20%, drying time is at 7-9 mins with 162-175 kg/hr production capacity. When moisture content is at 25%, drying time is at 10-17 mins with 114-150 kg/hr production capacity. When moisture content is at 35%, drying time is at 60-65 mins with 40-43 kg/hr production capacity. When moisture content is at 40%, drying time is at 67-76 mins with 35-39 kg/hr production capacity. All of this depends on the type of raw materials.

Keyword: biomass fuel pellet production process, biomass drying machine

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2557 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง และให้เครื่องมือสำหรับเก็บผลการทดลอง

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนจนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสดำเนินการวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	3
2.2 การอบแห้ง	5
2.3 เครื่องอบแห้ง	8
2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	11
2.5 การออกแบบทางวิศวกรรม	11
2.6 เครื่องฟืนไฟ (Burner)	12
2.7 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	14
2.8 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	15
2.9 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	24
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	24
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล	25
3.3 การทดสอบ	31
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	35
4.1 ผลการทดสอบอบแห้งชีวมวล	35
4.2 การวิเคราะห์	36
4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ	38
4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องอบแห้งชีวมวล	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งาน	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข กิจกรรมการดำเนินงาน	51
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบ	60
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ต้นทุน	65
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณ	68
ภาคผนวก ฉ ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และกิจกรรมที่วางแผนไว้	70
ภาคผนวก ช แบบเครื่องอบแห้งชีวมวล	72
ภาคผนวก ซ การเผยแพร่ผลงานงานวิจัย	88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง	8
3.1	แสดงชิ้นส่วนเครื่องอบแห้งชีวมวล	26
3.2	คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องอบแห้งชีวมวล	28
3.3	ตารางบันทึกผลการทดลองอบแห้งชีวมวล	33
4.1	สมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลจากการอบแห้งฟางข้าวที่ระดับความชื้นเริ่มต้นต่างๆ	37
4.2	เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับเครื่องแห้งในงานวิจัยอื่น	40

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องอบแห้งโรตารี (Rotary Dryer) แบบช่องเดี่ยว	9
2.2	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความร้อนที่ทางออกเมื่ออากาศร้อนไหลผ่านถึงทรงกระบอก	10
2.3	ลักษณะต่างๆ ของเครื่องฟนไฟ	13
2.4	วงจรเทอร์โมคัปเปิ้ล	14
2.5	เทอร์โมคัปเปิ้ลลักษณะต่างๆ	14
2.6	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	15
2.7	โครงมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	15
2.8	แกนเหล็กสเตเตอร์และขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	16
2.9	การพันขดลวดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบแลป (Lap Winding)	16
2.10	ฝาปิดหัวท้าย	17
2.11	การเกิดแรงบิดที่ตัวนำของโรเตอร์	17
2.12	การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์พันขดลวด	18
2.13	การควบคุมโดยใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์	19
2.14	โครงสร้างภายในของสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับและการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัส	20
2.15	สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับแบบต่างๆ และสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า	20
2.16	สวิตช์แบบเลือกและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า	20
2.17	หลอดไฟสัญญาณและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า	21
2.18	ส่วนประกอบและสัญลักษณ์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์	21
2.19	การทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์	22
2.20	โอเวอร์โหลดแบบอาศัยความร้อนและสัญลักษณ์	23
2.21	อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร	23
3.1	แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน	24
3.2	โครงสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล	25
3.3	ลักษณะรูปทรงของตัวถัง	28
3.4	เครื่องอบแห้งชีวมวล	31
4.1	กราฟแสดงผลการทดสอบค่าความชื้นเฉลี่ยหลังการอบแห้งฟางข้าว ก) ชังข้าวโพด ข) เปลือกถั่วเหลือง ค) และซีเลื่อย ง)	35
4.2	กราฟแสดงระยะเวลาในการอบแห้งฟางข้าว ก), ชังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค) และซีเลื่อย ง) เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์	36
4.3	กราฟการผลิตรที่ปริมาณความชื้นที่ต่างกันของฟางข้าว ก), ชังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค) และซีเลื่อย ง) (ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์)	37
4.4	ผลการทดสอบความแปรปรวนสองทาง	38
4.5	กราฟ Residual Plots	39

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CO_2	คาร์บอนไดออกไซด์
d	มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีน้ำขึ้น
f	ความถี่
h	ความสูงของทรงกระบอก
LPG	ก๊าซหุงต้ม (Liquid Petroleum Gas)
LSU	ถังอบเมล็ดพืชแบบมีการผสมกันของเมล็ดพืช
M_d	ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน
Meq	ความชื้นสมดุล
M_t	โมเมนต์บิด Nm
M_w	ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน
N	ความเร็วรอบของเพลามีหน่วยเป็นรอบต่อนาที
N_1	อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ
N_2	อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม
N_s	ความเร็วซิงโครนัส
P	กำลังที่เพลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW)
P	จำนวนข้อแม่เหล็ก
r	รัศมีของวงกลม
rpm	รอบต่อนาที
T	โมเมนต์แรงบิดมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร
τ_{xy}	ความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงบิด N/m^2
w	มวลของวัสดุ (kg)
Z_1	จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ
Z_2	จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ต่างๆ ไปจากธรรมชาติ ที่จะสะสมพลังงานเก็บเอาไว้ในตัวของมันเอง และสามารถนำพลังงานของมันที่เก็บสะสมเอาไว้มาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างของสารอินทรีย์เหล่านั้น เช่น เศษหญ้า เศษไม้ ที่เหลือทิ้งจากการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชี้อ้อย ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย เป็นต้น การนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมมาใช้ประโยชน์โดยตรงนั้นสามารถทำได้ยาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ มีขนาดเล็กไม่สม่ำเสมอ มีความชื้นสูงและมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บและขนส่งมากสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการแปรรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดด้วยแรงดันสูงทำให้มีความหนาแน่นสูง [1] และมีขนาดเล็กทำให้สามารถที่จะนำระบบการป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถกำหนดปริมาณของเชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำ ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูง และสามารถควบคุมได้ กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนการบดย่อยเศษ ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ในกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ขนาดชีวมวล ปกติแล้วขนาดชีวมวลยิ่งเล็กก็จะยิ่งง่ายต่อการอัดเม็ดและเพิ่มความหนาแน่นให้มากขึ้นได้ง่าย และปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นในวัตถุดิบชีวมวลเป็นปัจจัยในการเพิ่มความหนาแน่น เนื่องด้วยความชื้นช่วยในการถ่ายเทความร้อน หากมีปริมาณความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้การเพิ่มความหนาแน่นทำได้ยากเพราะการถ่ายเทความร้อนไม่ดี นอกจากนี้ความชื้นมีส่วนช่วยในการสร้างพันธะระหว่างเนื้อชีวมวลขณะอัด แต่หากมีความชื้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดไอน้ำและการระเบิดขึ้นได้ระหว่างการอัดแน่น [2] โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปควรอยู่ระหว่าง 8-15 เปอร์เซ็นต์

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบระบบอบแห้งเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม ซึ่งเป็นโครงการย่อยของแผนงานวิจัยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม ที่บูรณาการกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ใช้ลมร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG เพื่อให้เป็นเทคโนโลยีของคนไทยเหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบและมีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ รวมทั้งจะช่วยลดต้นทุนและปัญหาการขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานผลิตที่มีขนาดใหญ่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมุ่งเน้นให้เป็นเครื่องจักรต้นแบบนำร่องที่สามารถใช้งานได้จริง มีราคาไม่สูงมาก ผลิตโดยเทคโนโลยีของคนไทย สะดวกต่อการปฏิบัติงานและชุมชนสามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ และเหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบและมีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ รวมทั้งจะช่วยลดต้นทุนและปัญหาการขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานผลิตที่มีขนาดใหญ่

1.2.2 เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมี ความชื้นอยู่ระหว่าง 8% - 15%

1.2.3 เพื่อลดเวลาในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และรองรับการใช้พลังงานชีวมวลที่เพิ่มขึ้น ในอนาคต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เครื่องจักรอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม โดยมุ่งเน้นให้เป็น เครื่องจักรต้นแบบนำร่องที่สามารถ ใช้งานได้ง่าย มีราคาไม่สูงมาก ผลิตโดยเทคโนโลยีของคนไทย สะดวกต่อการปฏิบัติงานและชุมชนสามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ และเหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำ ร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับ แหล่งวัตถุดิบและมีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ รวมทั้งจะช่วยลดต้นทุนและปัญหาการขนส่งวัตถุดิบสู่ โรงงานผลิตที่มีขนาดใหญ่

1.3.2 ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม รวมทั้งเป็นการสร้างโอกาส และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรมีช่องทางจำหน่ายเศษพืชนอกเหนือจากการจำหน่ายผลผลิตโดยตรง

1.3.3 ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ และเทคโนโลยีของกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ให้กับ กลุ่มเกษตรกรได้มีความเข้าใจ และเห็นถึงศักยภาพของเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม เพื่อผลิต เป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพ และได้เล็งเห็นถึงช่องทางการเพิ่มรายได้ บริหารจัดเก็บเศษพืช เหลือใช้อย่างเป็นระบบและเตรียมพร้อมสำหรับการจำหน่าย และถ่ายทอดเทคโนโลยี และนวัตกรรม ให้กับกลุ่มผู้ประกอบการ, นักธุรกิจ และนักวิชาการ ได้มีความเข้าใจเทคโนโลยีการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง ชีวมวล เข้าใจถึงกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และส่งเสริมให้เกิดโอกาสในการใช้เทคโนโลยี จากงานวิจัยสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ และจัดตั้งกลุ่มธุรกิจเพื่อผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

1.3.4 ส่งเสริมการสร้างงานในชุมชน และส่งเสริมให้เกิดการกระจายการลงทุน และสร้าง รายได้ให้กับชุมชนทุกภาคส่วนที่ประกอบอาชีพหลักเกษตรกรรม ส่งผลดีต่อระบบสังคมและครอบครัว ลดการมุ่งเข้าไปประกอบอาชีพในเขตอุตสาหกรรมที่สำคัญ ที่มีแต่ความแออัดและมลพิษ ส่งผลให้ คุณภาพชีวิตของประชากรดีขึ้น

1.3.5 ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น เพราะเกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากชีวมวล จะนำเงินส่วนนี้ไปใช้ จ่ายหมุนเวียนในท้องถิ่น ทำให้เกิดการบริโภคในระบบห่วงโซ่อุปสงค์อุปทาน และเกิดการหมุนเวียน ในระบบเศรษฐกิจ

1.3.6 การใช้มวลชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ การเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงชีวมวลมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่การปลูกทดแทนขึ้นมาหมุนเวียนตาม วัฏจักรจะทำให้พืชเกษตรกรรมเหล่านั้นดูดซึ่มกลับเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาเพื่อใช้ ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และยังปล่อยก๊าซออกซิเจนให้แก่บรรยากาศโลกด้วย ช่วยสร้าง พลังงานทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลและช่วยรักษาสีเขียวแวดล้อมไปในขณะเดียวกัน รวมทั้ง ส่งเสริมการพัฒนากระบวนการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจสำหรับพลังงานชีวมวลอย่างยั่งยืน

1.3.7 สร้างความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ และช่วยลดการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิง จากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นการลดการรั่วไหลของเงินตราออกนอกประเทศ ด้วยการใชพลังงานชีวมวล จากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

ในการสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม เพื่อผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลนี้จะต้องมีการรวบรวมข้อมูลในการจัดทำอาทิ เช่น การเลือกใช้วัสดุและชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ ที่จะต้องใช้ให้ถูกกับสิ่งที่ออกแบบทั้งนี้รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เป็นประโยชน์และทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็น

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 พุทธินันท์ จารุวัฒน์ และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งเนื้อลำไยแบบที่ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งแบบมีการเปลี่ยนอุณหภูมิในการอบแห้ง 2 ช่วงคืออุณหภูมิสูงในช่วงแรกและลดอุณหภูมิลงในช่วงที่สองตามความชื้นที่ลดลงของผลิตภัณฑ์ สามารถอบผลลำไยสดได้ 1,300 กิโลกรัม/วัน เครื่องอบแห้งต้นแบบประกอบด้วยห้องอบแห้ง 2 ชุดคือชุดห้องอบแห้งอุณหภูมิสูงและชุดห้องอบแห้งอุณหภูมิต่ำ สามารถอบแห้งเนื้อลำไยในรถเข็นแต่ละคันได้ภายในระยะเวลา 7.5 ชั่วโมงโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ห้องอบอุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมงและห้องอบอุณหภูมิต่ำ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 ชั่วโมงตามลำดับ อุปกรณ์ให้ความร้อนประกอบด้วย ชุดหัวเตาเซรามิคซึ่งเมื่อถูกเผาจะให้พลังงานความร้อนสูงและชุดหัวหล่อก๊าซ ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ชุดพัดลมเป็นชนิดไหลตัดแกน มีปริมาณลมขณะทำงาน 56.63 ลูกบาศก์เมตร/นาที่

2.1.2 เสกสรรค์ วณยางคึกกุล และคณะ [4] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไล่ความชื้นในยอดใบชาโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นตัวให้ความร้อนซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบขดลวด ซึ่งจะทำการวิเคราะห์การลดลงของความชื้น และลักษณะสีของยอดใบชา ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นค่าความชื้นที่ลดลงในกรณีของขดลวดจะอยู่ที่ประมาณ 1.77 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง ส่วนของรังสีอินฟราเรดนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 2.01 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง ลักษณะสีของใบชาที่ผ่านการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดนั้นจะมีสีที่ใกล้เคียงกันกับตอนก่อนอบ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้จากทางโรงงาน

2.1.3 ผศ.ดร.ฉัตรชัย นิยมล [5] ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำสำหรับลดความชื้นข้าวเปลือกในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ ห้องอบแห้ง พัดลมแรงดันสูง ชุดทำความร้อน โกลบวาล์ว สายพานป้อนวัสดุ โซโคเลน จากการทดสอบพบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีโดยไม่เกิดปัญหาใดๆ หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ ซึ่งพบว่า เครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ 3.4 - 7.7 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ภายในระยะเวลา 1.8 - 2.42 วินาที และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทย

2.1.4 อาทิตย์ ฉัตรสุวรรณ และวิสิษฐศักดิ์ บุญแท้ [6] ได้ทำการพัฒนาการสร้างเครื่องคว้ข้าวโพดโดยควบคุมความร้อน (Heater) ด้วยระบบไฟฟ้า จากผลการดำเนินงานการสร้างเครื่องคว้ข้าวโพด คือ เครื่องสามารถควบคุมความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า การนำเครื่องคว้ข้าวโพดที่คณะผู้จัดทำขึ้นมาวิเคราะห์ พบว่า จุดคุ้มทุนเท่ากับ 2,687 ถุง และจากการหาตัวแปรสำคัญในการแตกตัวของ

เมล็ดข้าวโพด คือ อุณหภูมิ ปริมาณเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ และเวลา ค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องคั่วข้าวโพดของคณะผู้จัดทำ คือ ที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณเมล็ดข้าวโพด 100 กรัม ที่เวลา 60 นาที

2.1.5 อัมพรชัย วิไลแก้ว และคณะ [7] ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบพริก ซึ่งสามารถดำเนินการผลิตได้ทั้งแบบใช้แสงแดดและการใช้พลังงานไฟฟ้า การดำเนินการสร้างเครื่องอบพริกได้ออกแบบเครื่องอบพริก เป็นเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับกับพลังงานขดลวดความร้อน ประกอบด้วย ตู้อบหรือห้องอบ และชุดเก็บความร้อน ซึ่งตู้อบนี้สามารถอบพริกสดจำนวน 50 กิโลกรัม สามารถบรรจุได้ 20 ถาด ผึ่งห้องอบด้านบนและด้านข้างใช้วัสดุเป็นโพลีพลาสติกใสเพื่อรับแสงอาทิตย์ ชุดเก็บความร้อนมีลักษณะเป็นกล่องปิดทาสีดำ ด้านบนใช้แผ่นโพลีพลาสติกใส บรรจุแท่งเหล็กทาสีดำ ทำการให้ความร้อนสลับกันระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานขดลวดความร้อนจากผลการทดสอบเครื่องอบพริก โดยใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ทำการอบพริกสดจำนวน 50 กิโลกรัม ที่มีค่าความชื้นก่อนอบ 820 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดระดับความชื้นให้เหลือ 13 เปอร์เซ็นต์ (ที่ 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นจุดที่เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้) เวลาที่ใช้ในการอบเท่ากับ 21 ชั่วโมง ผลที่ได้พริกแห้งจำนวน 14.2 กิโลกรัม คิดเป็น 28.4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักก่อนทำการอบ

2.1.6 วิบูลย์ เทเพนทร์ และคณะ [8] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวโพดเป็นแบบไหลผสมหมุนเวียน มีความสามารถในการทำงานประมาณ 100 ตัน/วัน โดยลดความชื้นจาก 28 - 30 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 18 เปอร์เซ็นต์ ชุดเครื่องอบแห้ง ประกอบด้วยหลุมเทข้าวโพดและกะพ้อ ลำเลียงข้าวโพดเข้าชุดทำความสะอาดแบบตุ๋นโรยและตะแกรงโยก มีความสามารถในการทำงาน 15 ตัน/ชั่วโมง ข้าวโพดที่ทำความสะอาดแล้วจะถูกลำเลียงเข้าถังอบ โดยใช้กะพ้อ ถังอบเมล็ดพืชแบบมีการผสมกันของเมล็ดพืช (LSU) ขนาดบรรจุข้าวโพดได้ถึงละประมาณ 13 ตัน จำนวน 2 ถัง โดยแต่ละถังจะมีความจุในช่วงลดความชื้น 7.7 ตัน และในช่วงถึงพัก 5.3 ตัน ใช้พัดลมแบบไหลตาม แนวแกน ติดชุดดักฝุ่นและชุดเก็บเสียงถึงละ 2 ชุด ด้านล่างของถังอบมีชุดปรับอัตราการไหลของเมล็ดพืช ขณะลดความชื้น และเกลี่ยลำเลียงเมล็ดพืชออกจากถังอบ ชุดกำเนิดลมร้อนใช้ซึ่งข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงแบบให้ความร้อนทางอ้อม ผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell and Tubes มีประสิทธิภาพเตา 28.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ซึ่งข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงและ 46.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ใช้พื้นที่ในการติดตั้ง $2 \times 2.5 \times 22.5$ ตร.ม. และมอเตอร์ไฟฟ้ารวม 70.35 กิโลวัตต์ ผลการทดสอบการลดความชื้นข้าวโพดจาก 24 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 15.6 เปอร์เซ็นต์ ได้ภายใน 5.7 ชั่วโมง ซึ่งรวมระยะเวลาในการบรรจุและถ่ายเมล็ดข้าวโพดออกจากถังจำนวน 2.7 ชั่วโมง มีอัตราการลดความชื้นเฉลี่ย 2.8 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง อัตราการระเหยน้ำ 982 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.694 กิโลวัตต์/ตัน ต่อความชื้นที่ลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนทั้งหมด 25.6 เปอร์เซ็นต์ และใช้ซึ่งข้าวโพด 613 กิโลกรัม/ชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้ารวม 4.18 บาท/ตัน ต่อความชื้นที่ลดลง 1 เปอร์เซ็นต์

2.1.7 อิศเรศ วรรณทร [9] ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพูนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาจำลองรูปแบบการศึกษาจะใช้แบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์แบบสาม จากผลการวิเคราะห์การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าผลของอุณหภูมิในการอบที่อุณหภูมิสูง จะมีอัตราการลดความชื้นและการกระจายตัวของอุณหภูมิในการอบได้ดี

2.1.8 ขวลิต รุ่งอิทธิวงศ์ และคณะ [10] ได้ทำการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแข็ง (Pellet) เนื่องจากต้นทุนพลังงานจากชีวมวลยังมีราคาถูกเทียบกับต้นทุนพลังงานจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเตา การสร้างมูลค่าเพิ่มจากชีวมวล ยังช่วยลดการเผาทำลายทิ้งทำให้เกิดภาวะโลกร้อน และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนลดการนำเข้าใช้เชื้อเพลิง ทั้งนี้ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด สามารถขายได้ในราคาตันละ 3,000 - 4,000 บาท ใช้ประมาณ 150,000 บาท ประกอบด้วยเครื่องจักรสำหรับบดและอัดเม็ดเชื้อเพลิงแบบเคลื่อนที่ได้ โดยนำชีวมวลจากยอดและใบอ้อยในไรโดยปกติจะมีความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ มาบดให้มีความละเอียดประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตร ก่อนลำเลียงต่อไปยังเครื่องอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงด้วยลม

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งไล่ความชื้นเศษพืชเหลือจากการเกษตรเพื่อผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าปริมาณเศษพืชที่ใช้ในการอบ อุณหภูมิที่ใช้ เวลาที่ใช้ และความชื้นเริ่มต้นของเศษพืชที่ผ่านการบดย่อยมา มีผลต่อกระบวนการการอบแห้งไล่ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไล่ความชื้นมีผลต่อการอัตราการลดลงของความชื้น เช่น ถ้ามีอุณหภูมิที่สูงอัตราการลดลงของความชื้นจะเร็วขึ้นจากรายงานผลการวิจัยในการศึกษาหาจุดคุ้มทุน ผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรใช้ก๊าซ LPG ในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อน เพราะสามารถหาได้ง่าย และง่ายต่อการซ่อมบำรุง ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้ในชุมชนต้นแบบ และยังสามารถนำไปต่อยอดโดยการเปลี่ยนก๊าซ LPG เป็นไบโอแก๊สจากธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยให้ลดต้นทุนในการผลิตได้ในปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษากระบวนการอบแห้งเศษพืชเหลือจากงานเกษตรกรรม เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความชื้นที่เหมาะสม และสามารถนำไปขึ้นรูปอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 การอบแห้ง [11]

ในการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยที่การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกจากผิววัสดุ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate) ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง (Falling drying rate) การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอัตราการอบแห้งเทียบกับเวลาภายใต้อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศคงที่ ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่าความชื้นวิกฤต วัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งในการอบแห้งจะอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลง และการเคลื่อนที่ของน้ำส่วนมากจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งผลจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้นที่เป็นลักษณะการแพร่ของน้ำภายในวัสดุ

2.2.1 อัตราการอบแห้ง

คืออัตราการลดความชื้นออกจากวัสดุที่เปลี่ยนไปตามเวลา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุกับอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ การถ่ายเทความร้อน

ร้อนและมวล จะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น เมื่อน้ำเกาะที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมากและความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศที่มีความหนาแน่นลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการอบแห้งจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุ และกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น และเมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นอัมตัวที่ผิววัสดุ และอัตราส่วนความชื้นของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลมากขึ้น ซึ่งตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ การถ่ายเทความร้อนและมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะผิวด้านนั้น แต่เกิดภายในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดย ความต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น และสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น และมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย

2.2.2 ความชื้นในวัสดุ (Moisture Content, Meq)

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลวัสดุขึ้นหรือมวลวัสดุแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก เป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ และความชื้นมาตรฐานแห้ง เป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักแห้งของวัสดุ ดังความชื้นต่อไปนี้

1) ความชื้นมาตรฐานเปียก

ความชื้นมาตรฐานเปียกเป็นที่นิยมใช้ในการค้าโดยทั่วไป หาได้จากอัตราส่วนของมวล

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)

w คือ มวลของวัสดุ (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีความชื้น (kg)

2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นแบบนี้จะนิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยในการคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้งที่ทั่วเกือบคงที่นี้ เพราะผลิตภัณฑ์ต่างๆ เป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหารทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย ดังสมการต่อไปนี้

ความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพราะมวลแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดการอบแห้ง

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง,เศษส่วน
	w	คือ มวลของวัสดุ (kg)
	d	คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีน้ำ

2.2.3 ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, Meq)

ความชื้นสมดุล (Meq) เมื่อทำการอบแห้งวัสดุ โดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำจนถึงจุดๆ หนึ่ง ซึ่งวัสดุจะมีความชื้นคงที่ โดยที่ความชื้นของวัสดุ ในขณะนั้นจะมีความดันไอน้ำเท่ากับความดันไอน้ำของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุจะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ เรียกความชื้นค่านี้ว่า ความชื้นสมดุล โดยค่าความชื้นสมดุลนี้ขึ้นกับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และชนิดของวัสดุ

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

สภาวะการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการดำเนินงานและการควบคุมสภาวะภายนอกที่สำคัญ และมีผลต่ออัตราการอบแห้งวัสดุได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน และน้ำหนักของวัสดุอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การสลับตำแหน่งของภาชนะบรรจุวัสดุขณะทำการอบแห้ง ขนาดของชิ้นวัสดุอบแห้ง

1) อุณหภูมิของลมร้อน อุณหภูมิของการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในขณะอบแห้ง มีผลต่ออัตราการอบแห้งเป็นอย่างมาก ในกรณีการอบแห้งวัสดุที่ความเร็วลมร้อนคงที่ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกกับกระเปาะแห้งของอากาศร้อน ดังนั้นอัตราการอบแห้งมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าสูงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าต่ำสุด ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแห้งเท่านั้น ส่วนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงวัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้น ถ้าอุณหภูมิ ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

2) ความเร็วของลมร้อน ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อนความเร็วของลมร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้ง เนื่องจากความเร็วของลมร้อนจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ดังนั้นถ้าปัจจัยอื่นๆ คงที่การอบแห้งที่ความเร็วลมร้อนสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

3) ความชื้นของลมร้อน ในกรณีที่มีความชื้นของลมร้อนสูงจะทำให้ความสามารถในการดึงน้ำในวัสดุอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของลมร้อนลดลง นั่นคืออัตราการอบแห้งจะลดลงด้วย และในทางทฤษฎีสามารถที่จะควบคุมความชื้นของลมร้อนได้ โดยการควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้ว กับอากาศแวดล้อม ซึ่งหากเพิ่มการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมมากเกินไป จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งจะลดลง

4) ความหนาของชิ้นวัสดุ ความหนาของวัสดุไม่มีผลต่อวัสดุในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ แต่มีผลต่อวัสดุช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยความหนาของชิ้นวัสดุจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งเกิดจากการแพร่ของน้ำจากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุลดลง ดังนั้นการอบแห้งต้องกำหนดความหนาของชิ้นวัสดุที่เหมาะสมด้วย

5) ปัจจัยอื่นๆ นอกจากอุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์และความหนาของชิ้นวัสดุอบแห้งแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น การสลับตำแหน่งของภาชนะบรรจุวัสดุขณะทำการอบแห้งขนาดของชิ้นวัสดุอบแห้ง

2.3 เครื่องอบแห้ง

องค์ประกอบของการอบแห้งจะประกอบไปด้วย แหล่งพลังงานความร้อน, พัฒนาการพาความร้อน, และถึงอบวัสดุ ซึ่งในส่วนของการเลือกใช้หรือการออกแบบเครื่องอบแห้ง จะต้องพิจารณาถึงวัสดุที่ต้องการนำมาอบแห้ง ซึ่งวัสดุนั้นมีจำนวนมากเนื่องจากเครื่องลดความชื้นนั้นมีหลายรูปแบบ ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวแนวทางการพิจารณาการเลือกและออกแบบเครื่องลดความชื้น การเลือกใช้ชนิดของเครื่องอบแห้งนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆประการ เช่นลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง การประหยัดพลังงาน ต้นทุนและการคืนทุน เครื่องอบแห้งที่นิยมใช้มีอยู่หลายประเภทจำแนกตามลักษณะของเครื่องอบแห้งออกเป็นกลุ่มหลักตามลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

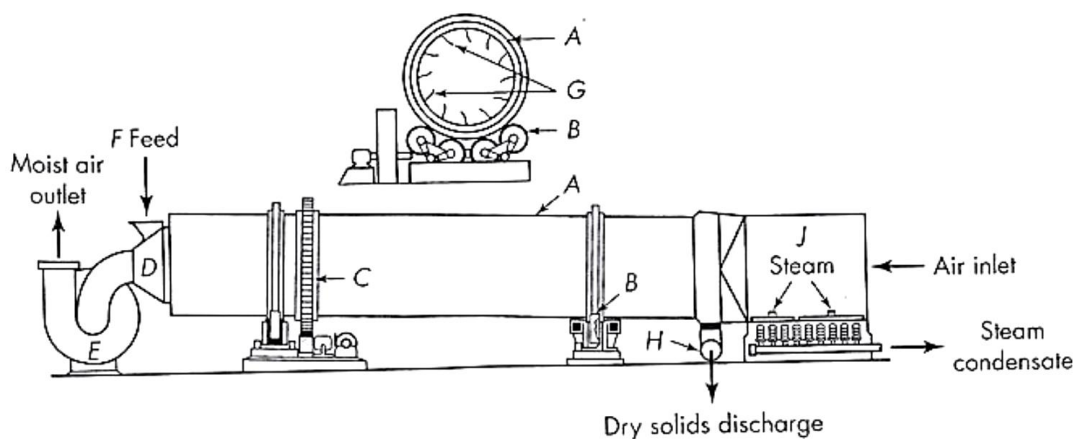
ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง [12]

Mode of Heat Transfer	Dryers	
	Batch operation	Continuous operation
Convection	Kiln dryer, Cabinet dryer Heat pump dryer	Tunnel dryer, Conveyor dryer Spray dryer, Heat pump dryer Fluidized bed dryer
Convection	Heat-shelf dryer	Drum dryer
Convection	Agitated pan dryer	Drum dryer
Radiation	Infrared dryer	
Internal generation of heat	Microwave oven	Dielectric continuous dryer Microwave tunnel
Mixed	Shelf dryer	Rotary dryer

2.3.1 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีหลายชนิด แต่นิยมใช้สำหรับอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลมีลักษณะเป็นแบบช่องเดี่ยวที่รับสัมผัสความร้อนโดยตรง ดังแสดงใน รูปที่ 2.1 โดยหลักการทำงานจะใช้ลมร้อนสัมผัสกับวัสดุที่อบโดยตรงภายในตัวถังที่หมุน การหมุนของตัวถังทรงกระบอกจะอาศัยใบพาช่วยโรยวัสดุอบผ่านกระแสนอากาศร้อนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุอบแห้งกับกระแสนอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการลดความชื้นที่อุณหภูมิจะต่อตรงเข้าไปในเครื่องอบแห้งโดยตรงและอีกด้านหนึ่งจะติดตั้งหัวเผาหรือเครื่องทำความร้อน

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ ตัวเครื่องอบแห้งจะทำด้วยถังทรงกระบอกหมุนวางเอียงกับแนวราบเล็กน้อย วัสดุไหลเข้าทางปลายด้านสูงแล้วไหลออกที่ปลายด้านต่ำของถัง ภายในตัวถังทรงกระบอกจะมีแผ่นครีบทำหน้าที่ตักวัสดุจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบนแล้วไหลตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงพร้อมๆ กับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในขณะเดียวกันลมร้อนจะไหลเข้ามาในถังทรงกระบอกเพื่อทำหน้าที่ลดความชื้นจากตัววัสดุในขณะที่วัสดุไหลตกลงมาทำให้การถ่ายเทความร้อนและความชื้นเป็นอย่างรวดเร็ว [13]



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งโรตารี (Rotary Dryer) แบบช่องเดี่ยว[13]

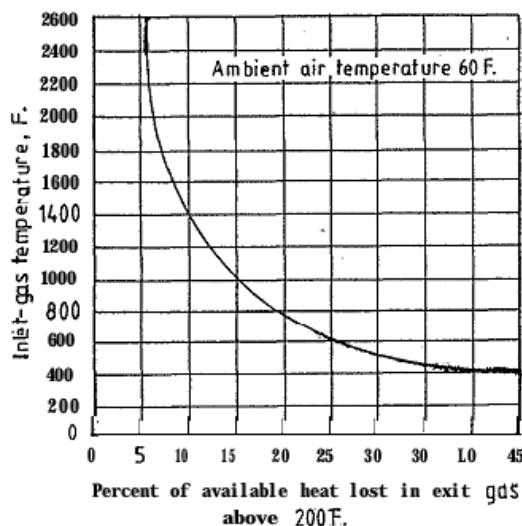
ลักษณะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี มีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องอบแห้งแบบรวดเร็ว (Flash Dryer) คือส่วนที่วัสดุอบแห้งแขวนลอยอยู่ในอากาศ กับเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer) คือส่วนที่ไม่ถูกตัวตักตักขึ้นไป เวลาที่วัสดุอยู่ภายในเครื่องอบแห้ง (Residence Time) โดยเครื่องอบแห้งแบบหมุนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 นาที ถึง 2 ชั่วโมง โดยเครื่องอบแห้งนี้จะสามารถรับวัสดุอบแห้งได้ประมาณ 5 -15 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรถัง

สำหรับลักษณะการไหลของอากาศอบแห้งนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบไหลตาม (Co-current Flow) โดยวัสดุและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกัน และแบบไหลสวนทาง (Counter-current Flow) อากาศอบแห้งจะไหลสวนทิศกับการไหลของวัสดุ การเลือกใช้ลักษณะการไหลของอากาศแบบนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยวัสดุที่ไวต่อความเสียหายเนื่องจากความร้อนควรจะใช้การไหลแบบตาม แต่หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในเชิงความร้อนการอบแห้งแบบไหลสวนทางจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

การไหลแบบตามกัน (Co-current Flow) อากาศร้อนทางเข้าจะสัมผัสกับวัสดุอบแห้งที่เปียก ดังนั้นอุณหภูมิของวัสดุยังคงอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่ และเมื่อเวลาผ่านไปความชื้นของวัสดุจะเริ่มลดลง

การไหลแบบสวนทางกัน (Counter-current Flow) วัสดุที่อบแห้งจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่ทางออก การไหลแบบนี้จะมีประโยชน์ถ้าต้องการให้วัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิสูง แต่จะต้องไม่สูงเกินไปที่จะทำให้วัสดุแห้งเปลี่ยนคุณสมบัติ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนพบว่าความร้อนที่สูญเสียจากกระแสอากาศร้อนที่ทางออกเมื่อไหลผ่านเครื่องอบแห้งชนิดให้ความร้อนโดยตรงหนึ่งเที่ยว ดังแสดงใน รูปที่ 2.2 จากกราฟจะเห็นว่าเมื่ออากาศร้อนที่ทางเข้าอุณหภูมิ 1,400 องศาฟาเรนไฮต์ ประมาณ 10 % ของความร้อนที่ต้องสูญเสียไปกับอากาศที่ทางออก ซึ่งการสูญเสียของอากาศร้อนนี้สามารถที่จะนำกลับใช้ใหม่ได้เพื่อลดการสูญเสียความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน โดยทั่วไปอุณหภูมิอากาศร้อนที่ไหลผ่านหนึ่งเที่ยวจะลดลงเหลือ 350-400 องศาฟาเรนไฮต์ ก่อนที่จะนำกระแสอากาศร้อนผ่านในเที่ยวที่สอง ซึ่งมีการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จากความร้อนทางเข้า



รูปที่ 2.2 เปอร์เซ็นการสูญเสียความร้อนที่ทางออกเมื่ออากาศร้อนไหลผ่านถังทรงกระบอก[14]

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

1) ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

- การขยายขนาดจากห้องทดลองหรือจากข้อมูลทำได้ง่าย และเป็นเครื่องอบแห้งที่เสียดาย
- สามารถลดความชื้นของวัสดุได้ตามต้องการ เพราะเราสามารถเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการอบได้
- ราคาต้นทุนไม่สูงมากนัก
- สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้ใกล้เคียงกับที่ต้องการแต่จะควบคุมได้ไม่ดีเท่ากับเครื่องอบแห้งแบบ Fluidized-bed
- สามารถใช้ได้ทั้งอบแห้ง และเผาในเครื่องเดียวกัน
- สามารถเลือกระบบการไหลของอากาศได้ทั้งแบบไหลตาม หรือแบบไหลสวนทาง ขึ้นกับว่าแบบไหนจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากัน

2) ข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

- การป้องกันไม่ให้อากาศร้อนรั่วเป็นไปได้อย่างยาก
- ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก
- ในการอบแห้งจะเกิดฝุ่นและถูกพัดพามากับอากาศ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดฝุ่นเพิ่มขึ้น
- เครื่องอบแห้งแบบหมุนมีน้ำหนักมาก

2.3.2 การเคลื่อนที่ของอนุภาค

ในเครื่องอบแห้งแบบหมุนนอกจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลแล้วยังมีกระบวนการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในถังอบ ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลของ Flight action, Kiln action และความเร็วลม โดยทั้งสามชนิดเป็นอิสระต่อกัน Flight action เป็นผลจากการที่อนุภาคถูกตักด้วยตัวตัก (Flights) จากส่วนต่ำสุดของถังทรงกระบอกไปยังส่วนที่สูงกว่า และตก

ลงมาที่ส่วนล่างของถังทรงกระบอกในระหว่างที่อุณหภูมิตกลงมากก็จะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเนื่องจากความชื้นของถังทรงกระบอกด้วย

Kiln action เกิดจากอนุภาคที่ไม่ได้ถูกตักขึ้นไปด้วยตัวตัก (Flights) แต่จะเกิดการขยับเขยื้อนหรือกลิ้งอยู่ด้านล่างของถังทรงกระบอกรวมทั้งการกระดอนของอนุภาคเมื่ออนุภาคตกจากตัวตักลงสู่ด้านล่างการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปด้านหน้า เนื่องจากความชื้นของถังทรงกระบอก Kiln action จะมีผลมากเมื่อตัวตัก ตักได้น้อย

ความเร็วลม เมื่อความเร็วลมมากขึ้น แรงที่ใช้พัดพาอนุภาคจะมากขึ้นด้วย กรณีที่เป็น การเคลื่อนที่แบบไหลตามอากาศร้อนอนุภาคจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ถ้ากรณีที่ไหลสวนทางกับอากาศร้อนอนุภาคจะเคลื่อนที่ได้ช้าลง

2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) คือค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kg-water เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Specific Energy Consumption, SEC} = \frac{E}{m_{pi} - m_{pf}} \quad (2.3)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

E คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (MJ)

m_{pi} คือ น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ (kg)

m_{pf} คือ น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ (kg)

2.5 การออกแบบทางวิศวกรรม [15]

ในการออกแบบต้องทำอย่างละเอียดมีการแก้ปัญหา หลักการระหว่างขั้นตอนของความคิดผู้ออกแบบต้องตัดสินใจออกแบบโครงการ (การเตรียมโดยเข้าใจขั้นตอนของงาน) การออกแบบรูปแบบเบื้องต้น (รูปร่างส่วนประกอบและวัตถุดิบ) และกระบวนการผลิต การแก้ไขปัญหา ทางด้านเทคโนโลยีและทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นของสำคัญ การออกแบบต้องอาศัยการจำลองโครงสร้างเข้ามาช่วย เพื่อให้การออกแบบมีประสิทธิภาพ สามารถสื่อถึงความคิดของผู้ที่ออกแบบสิ่งนั้นๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจได้

กล่าวอีกในหนึ่งโครงการซึ่งถูกพัฒนาต้องตรวจสอบความทนทาน, การผลิต, การประกอบ ราคารวมไปถึงการเตรียมการผลิตในขั้นสุดท้าย ไม่เหมือนการออกแบบเกี่ยวกับแนวคิด การออกแบบเกี่ยวกับจำนวน ซึ่งเป็นการแก้ไข การวิเคราะห์ และการสังเคราะห์อย่างต่อเนื่อง และส่วนประกอบซึ่งกันและกัน อธิบายได้ว่าทำไมวิธีการค้นหาปัญหาและการประเมินค่าต้องสัมพันธ์กับวิธีการทำให้ลักษณะความผิดพลาดนั้นเห็นได้ง่ายขึ้น (ความผิดพลาดในการออกแบบ) การสะสมของสิ่งแปลกปลอมบนวัตถุดิบ กระบวนการผลิต มาตรฐานที่มีความเกี่ยวข้องต่างๆ มากมาย ดังนี้

2.5.1 แนวคิดในการออกแบบรูปร่างของงาน การออกแบบเป็นการถ่ายทอดความคิดออกมาเป็นรูปร่าง คือ ความพยายามที่จะทำให้บรรลุผลของความคิดนั้นปรากฏเป็นรูปร่างที่มีความเหมาะสม

และกระบวนการในการออกแบบ การวิเคราะห์งาน ความปลอดภัย การผลิต การประกอบ การคำนวณ การบำรุงรักษา การคืนสภาพ และราคา

เกี่ยวกับปัจจัยเหล่านี้ ผู้ออกแบบต้องคิดถึงความสัมพันธ์ในหลายๆ ด้าน เพราะผู้ออกแบบต้องเผชิญกับปัญหาต่างๆ มากมาย (การพิสูจน์ความจริง และการตรวจสอบแก้ไข) ปัญหาต่างๆ ต้องได้รับการแก้ไขอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วโดยไม่คำนึงถึงว่า จะต้องทำการแก้ไขสักกี่ครั้ง แต่ต้องทำการแก้ไขอย่างต่อเนื่องจนปัญหานั้นสามารถแก้ไขได้สำเร็จ เพราะนั่นคือสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการออกแบบในลำดับแรกๆ เลยก็ว่าได้ เพราะถ้าปัญหาไม่ถูกแก้ไข การที่จะดำเนินการต่อไปก็จะทำไม่ได้ ทำให้งานขาดตอนไม่ต่อเนื่อง การออกแบบก็จะประสบกับปัญหาต่างๆ มากมาย

2.5.2 กฎพื้นฐานของการออกแบบ

กฎพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบการทำให้เป็นรูปร่างขึ้นมานั้น ถ้าปัญหานั้นไม่ได้รับการแก้ไข ปัญหานั้นก็จะเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และอาจทำให้งานมีปัญหาจนไม่สามารถแก้ไขได้ในเวลาอันสั้น จนอาจทำให้งานที่ท่อยุ่กันเกิดความล้มเหลวได้

1) ความชัดเจน (Clarity) คือ ความชัดเจนของฟังก์ชันหรือปราศจากความหมายที่คลุมเครือในการออกแบบ ทำให้สะดวกในการคาดการณ์ว่าผลิตภัณฑ์จะออกมาอย่างไร มีราคาสูงหรือไม่

2) ความเรียบง่าย (Simplicity) เกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์ ส่วนประกอบจำนวนมากมาย และรูปร่างสิ่งที่เรียบง่ายถูกผลิตขึ้นอย่างมากมายและรวดเร็ว

2.5.3 ความปลอดภัย (Safety) ปัญหาของความแข็งแรง ความเชื่อถือได้ การป้องกันอุบัติเหตุ การป้องกันจากสภาพแวดล้อม การออกแบบเพื่อความสะดวก การรวมเข้าด้วยกันของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ และงานที่ต้องการราคา และคุณภาพ ของการประกอบขึ้นอยู่กับชนิดและการคำนวณ โครงร่างของผลิตภัณฑ์ และชนิดของการผลิต

2.5.4 การออกแบบโครงร่าง

- 1) โครงสร้าง
- 2) การลดวัสดุ
- 3) การทำให้ได้มาตรฐาน

2.5.5 การออกแบบส่วนประกอบ

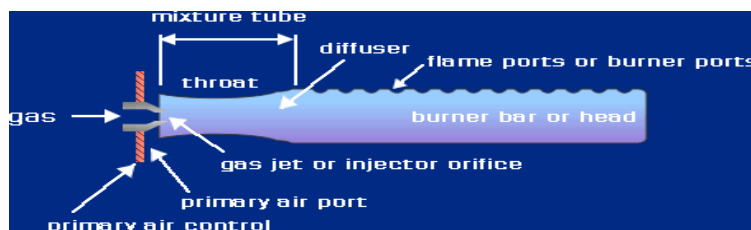
- 1) การลดขนาด
- 2) ทำให้ได้มาตรฐาน

2.5.6 การเลือกวัสดุที่จะนำมาประกอบ

- 1) สามารถใช้งานได้
- 2) สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก

2.6 เครื่องพ่นไฟ (Burner) [16]

เครื่องพ่นไฟ (Burner) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สันดาปเชื้อเพลิงกับอากาศ ในสัดส่วนที่เหมาะสม และทำให้เกิดเปลวไฟและพลังงานความร้อน เพื่อนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น ให้ความร้อนกับหม้อน้ำอุตสาหกรรม, ให้ความร้อนในห้องอบ, ใช้เผาขยะ เป็นต้น เครื่องพ่นไฟ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะต่างๆ ของเครื่องพ่นไฟ [16]

ประเภทของเครื่องพ่นไฟ แบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ตามชนิดเชื้อเพลิง

2.6.1 OIL BURNER เชื้อเพลิงเป็นของเหลว เช่น น้ำมันเตา, น้ำมันดีเซล นิยมใช้กันมาก เพราะน้ำมันเตาราคาถูก หลักการของการทำงานคือ ให้น้ำมันแตกตัวมากที่สุดเพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสมบูรณ์ที่สุด แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการกระจายน้ำมันที่หัวฉีด

1) Air Atomizing ใช้ลมแรงดันประมาณ 9 - 20 Psi ในการผสมกับเชื้อเพลิงเหลวในห้องเผาไหม้เพื่อให้ น้ำมันแตกตัวรวมกับอากาศ และได้ประสิทธิภาพสูงสุดระบบนี้ต้องใช้ก๊าซ LPG นำร่องในช่วงจุดเริ่มต้น นิยมใช้ในบอยเลอร์ของสหรัฐอเมริกา

2) Pressure Atomizing ใช้ปั๊มน้ำมันแรงดันสูง สูบอัดน้ำมันให้เป็นฝอย ด้วยแรงดัน 10 - 30 bar เนื่องจากน้ำมันถูกฉีดเป็นฝอยละอองเล็กมาก จึงสามารถจุดลุกไหม้ได้ โดยไม่ต้องใช้ Gas จุดนำร่อง เครื่องพ่นไฟชนิดนี้ ผู้ผลิตบางราย สามารถปรับ Primary Air ที่ Combustion head เพื่อปรับอากาศส่วนเกินได้ จึงทำให้มีประสิทธิภาพ การเผาไหม้ที่ดี (Excess Air ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และ CO₂ ประมาณ 13.5 เปอร์เซ็นต์) นิยมใช้ในบอยเลอร์ของประเทศทางยุโรป

3) Rotary Cup ไม่ใช้หัวฉีดเหมือน 2 แบบแรก แต่จะใช้ลูกถ้วยเหวี่ยง (Rotary Cup) ที่ความเร็วรอบสูงมาก เพื่อให้น้ำมันแตกตัวเป็นฝอย ฝอยละอองของน้ำมันแบบนี้ จะไม่ละเอียดเท่า 2 แบบแรก เพราะแรงอัดของน้ำมันไม่สูงมาก

2.6.2 GAS BURNER เชื้อเพลิงที่ใช้ในบ้านเรามี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ Natural Gas และ LPG Gas ให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด เนื่องจากสามารถให้ CO₂ ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ Flue Gas ตัวแปรที่มีผลต่อการเตรียมเชื้อเพลิงก่อนเข้าห้องเผาไหม้ มีน้อยมาก (คุณภาพเชื้อเพลิงสม่ำเสมอ) ให้มลพิษและเขม่าจากการเผาไหม้น้อยสุดในจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้ง 3 ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ จะมีระบบป้องกันการรั่วของก๊าซก่อนเข้าห้องเผาไหม้ เช่น Double Solenoid Valve (วาล์วไฟฟ้าปิดก๊าส 2 ชั้น) Valve Proving (ตัวเช็คการรั่วไหลของหน้าสัมผัสวาล์วไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ) เป็นต้น และสามารถทดสอบการรั่วของก๊าซได้โดยใช้ระบบ Sound Ness Test ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ ไม่ยุ่งยากเหมือนกับระบบน้ำมัน ซึ่งชนิดต่างๆ ของ Gas Burner มีดังนี้

- 1) ชนิด Low Pressure Gas (0 - 50 mbar) / Atmospheric Air
- 2) ชนิด High Pressure Gas (2 bar) / Atmospheric Air
- 3) ชนิด Pressure Air (25 mbar) / Low Pressure Gas หรือ Air Blast (Psi)
- 4) ชนิด Pressure Air / Pressure Gas
- 5) ชนิดอื่นๆ ได้แก่ Already Mix, Premix, Partial Premix

2.6.3 DUAL BURNER เป็นเครื่องพ่นไฟที่สามารถใช้ได้ทั้งน้ำมันเหลว และก๊าซ ในเครื่องเดียวกัน ใช้ระบบ Magnetic Clutch ในการปลดและตอปั๊มน้ำมันเตา เข้าในระบบ กรณีสับ-เปลี่ยนเชื้อเพลิง ซึ่งค่อนข้างง่ายมาก ระบบจะเหมือนกับนำ Oil และ Gas Burner มาใช้รวมกัน โดยแยกท่อ

น้ำมัน และก๊าซ เป็น 2 ท่อ สะดวกในกรณีเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งมีปัญหา แต่ราคาแพงกว่า 2 ชนิดแรกมาก

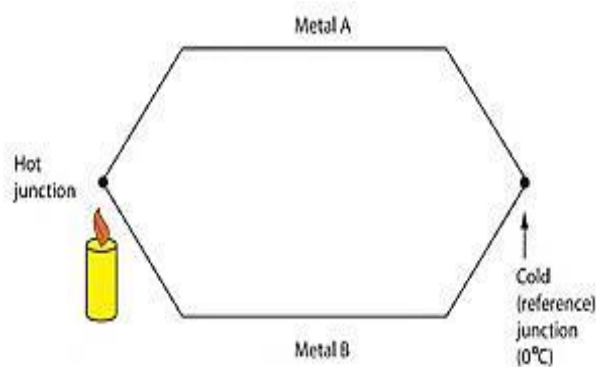
2.7 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ [17]

2.7.1 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ

จะเป็นตัวที่วัดอุณหภูมิและแปลงสัญญาณอุณหภูมินั้น เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งมี 2 ชนิดคือ สัญญาณที่เป็น แรงดัน และ ความต้านทาน เพื่อส่งไปให้ตัวควบคุมอุณหภูมิอีกทีหนึ่ง ตัววัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

2.7.2 เทอร์โมคัปเปิ้ล

ส่วนประกอบของตัววัดอุณหภูมิชนิดนี้ ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกัน ถูกนำมาเชื่อมปลายเข้าด้วยกันทั้ง 2 ข้าง โดยใช้หลักการที่ว่า ถ้าทั้งสองข้าง มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เมื่อใดจะเกิดแรงดันปริมาณน้อยๆ (มิลลิโวลต์) ขึ้น ซึ่งเรียกว่า Electromotive force (emf) ระดับของแรงดันที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่นำมาทำเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดนั้นๆ วงจรเทอร์โมคัปเปิ้ล ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรเทอร์โมคัปเปิ้ล [17]

จากรูป เทอร์โมคัปเปิ้ลจะมี 2 จุดต่อ คือ จุดต่อด้านร้อน (Hot junction) และจุดต่อด้านเย็น (Cold junction) Hot junction จะเป็นส่วนที่ใช้วัดอุณหภูมิที่เราต้องการ ส่วน Cold junction จะถูกต่อเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิ วงจรขดเชยของจุดต่อด้านเย็น เทอร์โมคัปเปิ้ลลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เทอร์โมคัปเปิ้ลลักษณะต่างๆ [17]

2.8 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [18]

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 2.6 โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก มีข้อดี คือ ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้การสูญเสียเนื่องจากความฝืดมีค่าน้อย มีตัวประกอบกำลังสูง การบำรุงรักษาต่อการเริ่มต้นทำได้ไม่ยาก ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ สร้างง่าย ทนทาน ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูงแต่มีข้อเสียได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้ยาก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ที่โรเตอร์โดยตรง แต่ได้จากการเหนี่ยวนำ (Induction) จึงนิยมเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

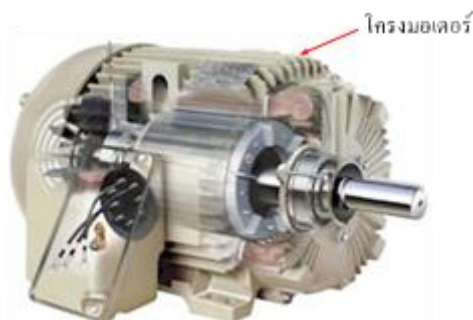
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage Rotor) และโรเตอร์แบบพันขดลวด (Wound Rotor) มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้จะมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ แต่จะแตกต่างกันเฉพาะส่วนที่เคลื่อนที่เท่านั้น



รูปที่ 2.6 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [18]

2.8.1 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) โครงมอเตอร์ (Frame) ทำจากเหล็กหล่อเหนียว หรือเหล็กเหนียวเป็นรูปทรงกระบอกกลวงมีฐานเป็นขาตั้ง ด้านข้างตัวมอเตอร์จะมีกล่องสำหรับต่อสายไฟ (Terminal Box) โครงทำหน้าที่จับยึดแกนเหล็กที่พันขดลวดให้แน่นอยู่กับที่ และรองรับน้ำหนักทั้งหมดของมอเตอร์ที่ผิวด้านนอกของโครงจะออกแบบให้มีครีบกั้น เพื่อช่วยในการระบายความร้อนของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [18]

2) แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator core) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ อัดซ้อนกันและยึดติดเข้ากับโครงของมอเตอร์ มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก และด้านในทำเป็นสล็อตไว้สำหรับพันขดลวด นอกจากนี้แกนเหล็กยังทำหน้าที่เป็นทางเดินของวงจรแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แกนเหล็กสเตเตอร์และขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [18]

3) ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) ซึ่งเป็นขดลวดทองแดงที่พันอยู่ในสล็อตของแกนเหล็กสเตเตอร์ และเป็นลวดทองแดงที่เคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้าอย่างดี เมื่อพันเสร็จแล้วจะอาบด้วยน้ำมันวานิชและอบให้แห้งอีกครั้งหนึ่ง

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สเตเตอร์มีขดลวดพันอยู่ 3 ชุด หรือ 3 เฟส ซึ่งแต่ละเฟสจะทำมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า และขดลวดแต่ละเฟสจะต่ออนุกรมกันเหมือนกับขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ละเฟสมีกลุ่มของขดลวดอีก เช่น มอเตอร์ที่มี 36 สล็อต (Slot) 4 ขั้วแม่เหล็ก (Pole) 3 เฟส (Phase) จำนวนสล็อตต่อขั้ว (Slot/Pole) จะมีค่าเท่ากับ 9 สล็อต ดังนั้น จำนวนกลุ่มของขดลวดในหนึ่งขั้วแม่เหล็กต้องเท่ากับ 9 ชุด และแบ่งจำนวนกลุ่มของขดลวดต่อหนึ่งเฟสจะมีค่าเป็น 3 ชุด ในการพันขดลวดทั้งสามชุดของแต่ละเฟสนี้จะพันลงสล็อตเรียงกันไป 3 สล็อต และการพันขดลวดทั้ง 9 ชุดในหนึ่งขั้วจะพันเรียงกันไป 9 สล็อต ดังรูปที่ 2.9

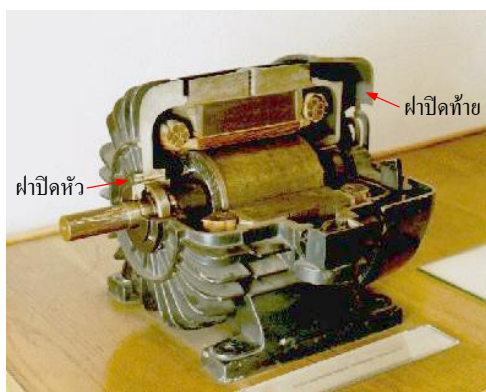


(ก). กลุ่มของขดลวดต่อเฟส (ข). กลุ่มของขดลวด 3 เฟสต่อหนึ่งขั้ว

รูปที่ 2.9 การพันขดลวดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบแลป (Lap Winding) [18]

เมื่อพันขดลวดจนครบทั้ง 36 ชุดแล้ว จะสังเกตเห็นว่าในหนึ่งสล็อตจะมีขดลวด 2 ชุด ซึ่งเป็นด้านของขดลวดที่ต่างกัน เรียกว่า การพันขดลวดแบบสองชั้น (Two Layer) เป็นที่นิยมพันกันโดยทั่วไป เนื่องจากลักษณะการพันขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์จะเหมือนกับขดลวดอาร์เมเจอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งระยะพิตช์ (Pitch) ของขดลวดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ ขดลวดที่มีระยะพิตช์เต็ม (Full Pitch) และระยะพิตช์เศษส่วน (Fractional Pitch or Short Pitch)

4) ฝาปิดหัวท้าย (End Plate) ทำจากเหล็กหล่อเหนียวหรือเหล็กเหนียว ฝาปิดนี้จะถูกยึดติดอยู่กับโครงมอเตอร์ด้วยสลักเกลียว มีแปรงอยู่ตรงกลางสำหรับรองรับเพลลา เพื่อให้โรเตอร์ หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลางพอดี ดังรูปที่ 2.10

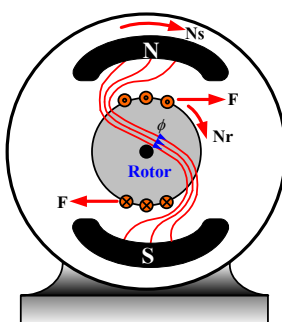


รูปที่ 2.10 ฝาปิดหัวท้าย [18]

2.8.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

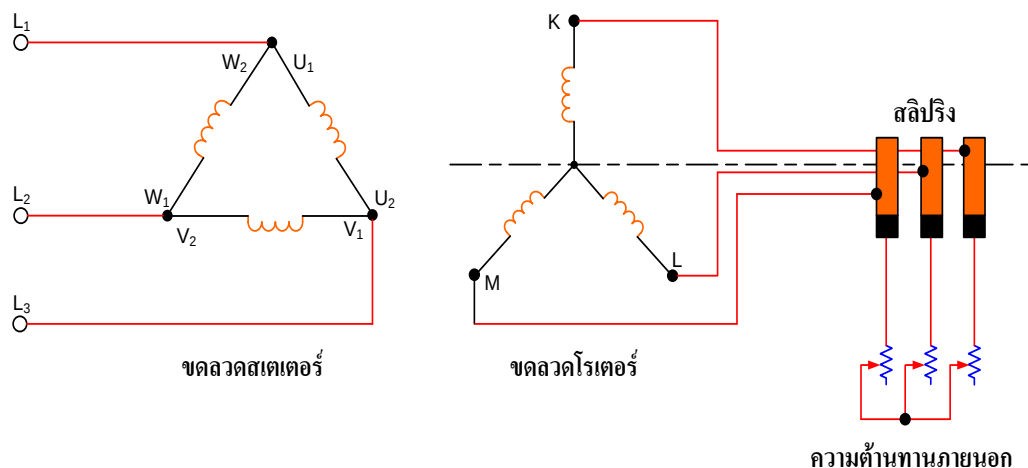
เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ โดยจะหมุนติดกับตัวนำโรเตอร์ที่วางอยู่ในสลอตที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำของโรเตอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับเส้น แสงแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวนำ และทำให้โรเตอร์หมุนไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ ซึ่งการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนและการเกิดแรงบิดที่โรเตอร์ได้อธิบายไว้ในหน่วยที่ 1 แล้ว

1) การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ด้วยความเร็วซิงโครนัส (N_s) สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะเคลื่อนที่ตัดขดลวดที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำบนโรเตอร์ แต่ตัวนำบนโรเตอร์นี้ได้ถูกลัดวงจรไว้ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลที่ตัวนำนี้ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์เกิดชั่วเหวและชั่วไต้ขึ้นในโรเตอร์เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ ดังรูปที่ 2.11 และทำให้โรเตอร์หมุนไปได้และมีทิศทางตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์



รูปที่ 2.11 การเกิดแรงบิดที่ตัวนำของโรเตอร์ [18]

2) การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบฟันขดลวด อาศัยหลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ และทำให้โรเตอร์หมุนไปได้นั้นจะเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์กรงกระรอก จะแตกต่างกันเฉพาะตอนเริ่มเดินมอเตอร์เท่านั้น



รูปที่ 2.12 การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์พันขดลวด [18]

จากรูปที่ 2.12 ขณะเริ่มเดินมอเตอร์ต้องปรับความต้านทานภายนอกไว้ที่ตำแหน่งมีค่าความต้านทานสูงสุด จะทำให้ได้ค่าแรงบิดเริ่มเดินมีค่าสูงสุด กระแสเริ่มเดินจะลดลง และเมื่อความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆ ลดความต้านทานภายนอกลง ขณะเดียวกันมอเตอร์จะมีอัตรา การหมุนเร็วขึ้น และเมื่อลดความต้านทานภายนอกจนหมดสลิตปริงจะถูกลัดวงจร ขณะนี้มอเตอร์จะมีความเร็วสูงสุด

2.8.3 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เมื่อพิจารณาจากสมการของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนจะได้

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ rpm} \quad (2.4)$$

เมื่อ P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก
 f = ความถี่

จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรอยู่ 2 ตัว ที่ทำให้ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนหรือความเร็วเชิงโคโรนัสเปลี่ยนแปลงได้ คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) และความถี่ (f) ของแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับมอเตอร์

สำหรับจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นปฏิกิริยาผกผันกับความเร็วเชิงโคโรนัส คือ เมื่อจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก ความเร็วเชิงโคโรนัสจะน้อย แต่เมื่อจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อยความเร็วเชิงโคโรนัสจะมาก การปรับความเร็วรอบด้วยวิธีนี้มี 2 แบบคือแบบคอนสแตนต์ทอร์ค กับแบบใช้ขดลวดหลายชุด การเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็ก ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นๆ ไม่เรียบสม่ำเสมอ

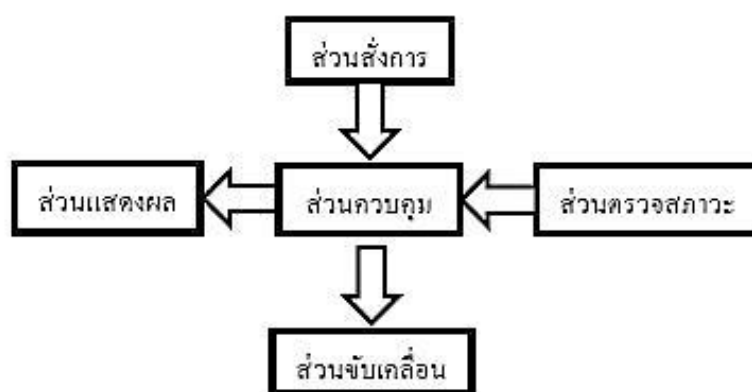
ส่วนความถี่จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเร็วเชิงโคโรนัส เมื่อความถี่มาก ความเร็วเชิงโคโรนัสจะมากตาม ในทางตรงกันข้ามถ้าความถี่ลดลงความเร็วเชิงโคโรนัสก็จะลดลงด้วย การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยวิธีนี้ โดยการใช้อินเวอร์เตอร์ในการเริ่มเดินมอเตอร์ สามารถปรับความถี่หรืออัตราส่วน V/f ได้ตามต้องการ ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ สามารถปรับเพิ่มและลดแรงบิดได้อีกด้วยซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันจะเป็นแบบ Pulse width modulation (PWM)

2.9 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า [19]

ปัจจุบันนี้ขบวนการผลิตในโรงงานหรือการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในเครื่องจักรกลต่างๆ จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเป็นส่วนใหญ่เพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่หาง่ายมีความสะดวกในการใช้งานฉะนั้นการออกแบบเพื่อควบคุมมอเตอร์ให้เป็นไปตามขบวนการหรือการเคลื่อนที่ของงานที่คิดไว้จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้สำหรับความหมายของการควบคุมมอเตอร์ (Motor Control) คือการบังคับให้มอเตอร์ทำงานให้ได้ตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้องค์ประกอบของการควบคุมจะประกอบด้วย 5 องค์ประกอบแสดงดังรูปที่ 2.13 โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่และอุปกรณ์ประกอบดังนี้

2.9.1 องค์ประกอบของการควบคุม

- 1) ส่วนสั่งการ เป็นส่วนที่จะสั่งให้เกิดการทำงานโดยอุปกรณ์ในส่วนนี้ ได้แก่ สวิตช์
- 2) ส่วนตรวจสอบสถานะ เป็นส่วนที่บอกถึงสถานะการทำงานเพื่อส่งข้อมูลให้กับส่วนควบคุม อุปกรณ์ในส่วนนี้ ได้แก่ ลิมิทสวิตช์ สวิตช์ลัมเพส พร็อกซิมิตี้สวิตช์ เป็นต้น
- 3) ส่วนขับเคลื่อน เป็นส่วนที่จะทำให้ทำงานตามที่ต้องการ เช่น มอเตอร์ขับเคลื่อน
- 4) ส่วนแสดงผล เป็นส่วนที่แสดงสถานะการทำงานโดยอุปกรณ์ในส่วนนี้ ได้แก่ หลอดแสดงผลตัวเลขแสดงผล และหน้าจอแสดงผล เป็นต้น
- 5) ส่วนควบคุม เป็นส่วนหัวใจหลักที่ทำให้การทำงานเป็นไปตามที่ต้องการโดยรับข้อมูลจากส่วนสั่งการ และส่วนตรวจสอบสถานะ และสั่งให้ส่วนขับเคลื่อนทำงานตามที่ต้องการรวมทั้งแสดงการทำงานที่ส่วนแสดงผล ในส่วนควบคุมจะกล่าวเฉพาะการควบคุมแบบที่ใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) และแบบที่ใช้ Programmable Logic Control (PLC)



รูปที่ 2.13 การควบคุมโดยใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ [19]

การควบคุมโดยใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ เป็นการควบคุมมอเตอร์จำนวนไม่มากเพราะถ้าใช้ควบคุมมอเตอร์หลายๆตัว การต่อจะค่อนข้างยุ่งยาก การควบคุมที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็น การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งจะกล่าวถึงอุปกรณ์และสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ในการควบคุมมอเตอร์และตัวอย่างวงจรการควบคุม

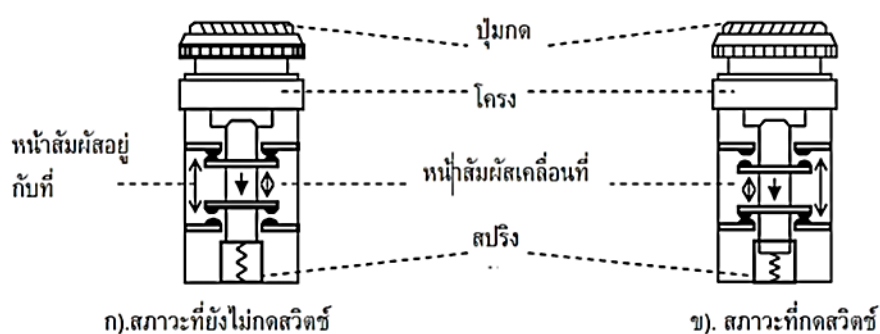
2.9.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ (Control Devices of Motor Control) [19]

1) สวิตช์ (Switch)

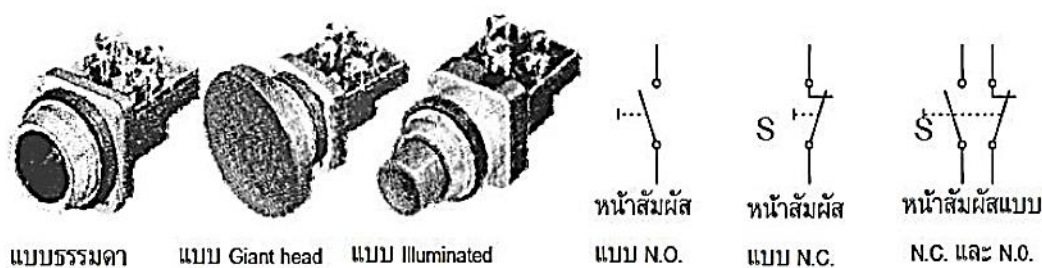
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการ Start และ Stop หรือการเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงาน ของวงจรตัวอย่าง ชนิดของสวิตช์ที่ใช้ในงานควบคุม คือ สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ (Pushbutton)

Switch) เมื่อกดสวิตช์หน้าสัมผัส(Contact) จะเปลี่ยนสถานะ และเมื่อปล่อยมือหน้าสัมผัสจะกลับสู่สถานะเดิม ภายในตัวสวิตช์จะมีหน้าสัมผัสที่เป็นแบบปกติเปิด (Normally Open: N.O.) และปกติปิด (Normally Closed: N.C.) ดังรูปที่ 2.14 และแบ่งสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

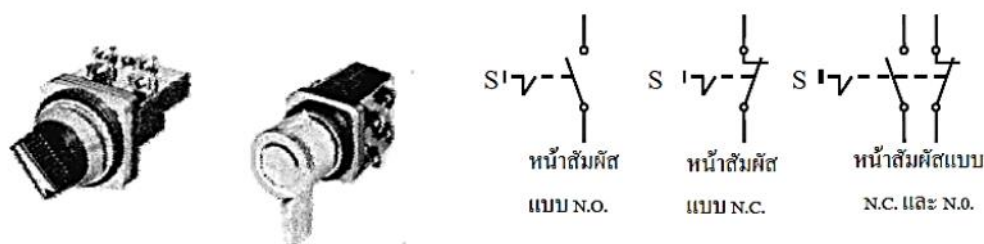
- แบบธรรมดา ปุ่มกดมีลักษณะเป็นหัวกลม มีสปริงที่ปุ่ม เพื่อช่วยต่อการสังเกต
- แบบ Giant Head มีหัวใหญ่เหมาะสำหรับใช้เป็นสวิตช์ฉุกเฉิน (Emergency Switch)
- แบบ Illuminated Pushbutton มีหลอดสัญญาณเพื่อแสดงให้ทราบว่างจรกำลังทำงาน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 โครงสร้างภายในของสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับและการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัส [19]



รูปที่ 2.15 สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับแบบต่างๆ และสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า [19]

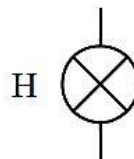


รูปที่ 2.16 สวิตช์แบบเลือกและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า [19]

- สวิตช์แบบเลือก (Selector Switch) เมื่อปิดสวิตช์หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนสถานะ และถ้าต้องการให้หน้าสัมผัสกลับสู่สภาวะเดิมต้องบิดกลับ ดังรูปที่ 2.16

2) หลอดไฟสัญญาณ (Pilot Light)

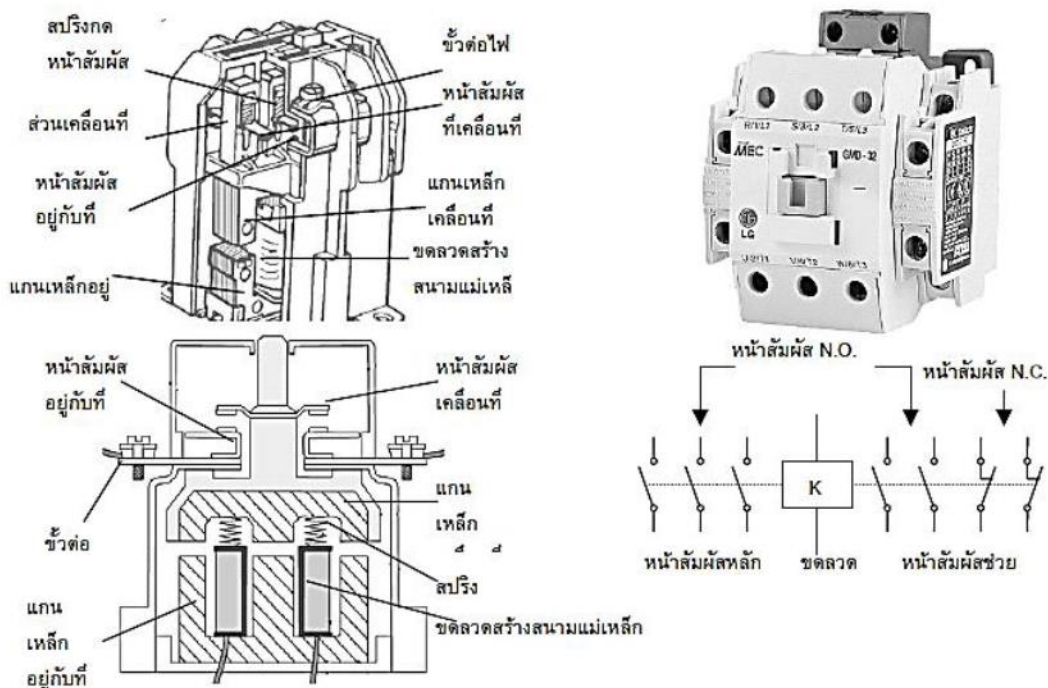
หลอดไฟสัญญาณ เป็นหลอดที่ใช้บอกสถานะในการทำงาน การเลือกใช้อาจดูที่สีเพื่อแสดงสถานะที่ต่างกัน เช่น หลอดสีเขียวแสดงมอเตอร์ทำงาน หลอดสีแดงแสดงมอเตอร์หยุด ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หลอดไฟสัญญาณและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า [19]

3) แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)

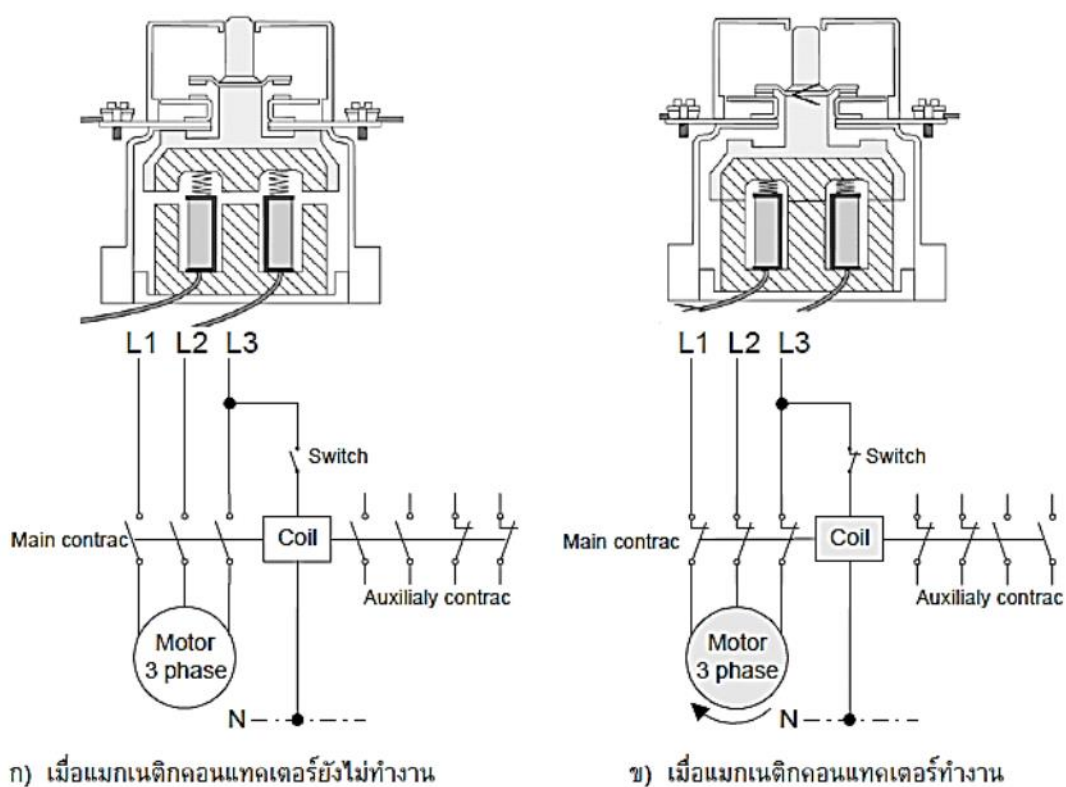
แมกเนติกคอนแทคเตอร์ หรือเรียกว่าคอนแทคเตอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ตัดหรือต่อวงจรเหมือนกับสวิตช์ทั่วไป แต่การตัดหรือต่อวงจรจะอาศัยอำนาจแม่เหล็กในการทำให้หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ โดยส่วนประกอบและสัญลักษณ์ของคอนแทคเตอร์ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบและสัญลักษณ์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ [19]

จากรูปคอนแทคเตอร์ ประกอบด้วย ส่วนที่เคลื่อนที่กับส่วนที่อยู่กับที่ โดยมีหน้าสัมผัสติดอยู่ ซึ่งหน้าสัมผัสจะมีทั้งที่เป็นปกติเปิดและปกติปิด และอีกส่วนคือขดลวดที่จะสร้างสนามแม่เหล็กสำหรับการทำงาน ดังรูปที่ 2.19 เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กไหลคล้อยแกนเหล็กส่วนที่อยู่กับที่ไปดูดแกนเหล็กอีกส่วนให้เคลื่อนที่มาติด เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนสถานะพร้อมๆกันทั้งหมด หน้าสัมผัสจะประกอบด้วย หน้าสัมผัสหลักและหน้าสัมผัสช่วย

- หน้าสัมผัสหลัก (Main Contact) เป็นหน้าสัมผัสที่ใช้เปิดและปิดการไหลผ่านของกระแสจากแหล่งจ่ายไปที่มอเตอร์หรือในส่วนที่มีกระแสในปริมาณมาก หน้าสัมผัสหลักเป็นตัวควบคุมการเปิดและปิดวงจรหลัก (Main Circuit) โดยหน้าสัมผัสส่วนใหญ่เป็นแบบปกติเปิด (N.O)
- หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contact) เป็นหน้าสัมผัสที่ใช้เปิด-ปิดวงจรที่มีปริมาณกระแสน้อยกว่าหน้าสัมผัสหลัก หน้าสัมผัสช่วยใช้ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดของคอนแทคเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของคอนแทคเตอร์ในวงจรควบคุม (Control Circuit) โดยที่หน้าสัมผัสช่วยจะมีทั้งแบบปกติเปิดและแบบปกติปิด



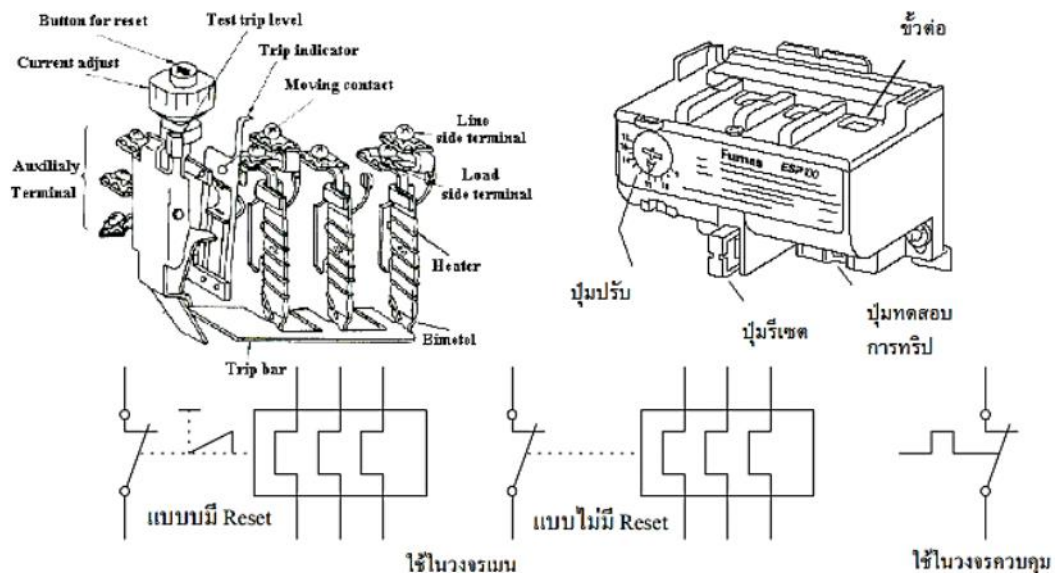
รูปที่ 2.19 การทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ [19]

4) อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overload Protection)

มอเตอร์ที่ใช้งานอาจเกิดกระแสไหลเกินกว่าอัตรากระแสพิกัด (Full Load Current)

อันเนื่องมาจากโหลดที่ใช้มอเตอร์อุตสาหกรรมมีมากเกินกำลังของตัวมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้ามาไม่ครบเฟสทำให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสมากขึ้นเมื่อกระแสไหลในปริมาณมากจะเป็นสาเหตุทำให้ขดลวดมอเตอร์ร้อนและไหม้ในที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต้องมีการต่ออุปกรณ์ที่จะป้องกันกระแสเกินไว้ โดยถ้ามีกระแสเกินมอเตอร์ต้องหยุดการทำงานทันที และทำการตรวจสอบก่อนที่จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานอีกครั้ง สำหรับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน หรือเรียกว่าโอเวอร์โหลด มีหลายชนิดในที่นี่จะกล่าวถึง แบบที่ใช้แผ่น Bimetal ซึ่งอาศัยความร้อนจากกระแสไหลผ่านโลหะ 2 ชนิด หรือใช้ขดลวดความร้อนที่ต่ออนุกรมกับโหลดพันอยู่กับแผ่นไบเมทัล เมื่อมีกระแสไหลในปริมาณมากจะทำให้แผ่นไบเมทัลร้อนและโก่งตัวไปดันให้คันส่งเคลื่อนที่ไปดันหน้าสัมผัสควบคุมให้จากออก ดังรูปที่ 2.20 ซึ่ง โอเวอร์โหลดแบ่งตามการคืนสภาวะได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

- แบบไม่มี Reset แบบนี้เวลาไบเมทัลเย็นตัวลงหน้าสัมผัสจะกลับมาอยู่ที่เดิม
- แบบมี Reset แบบนี้ถ้าต้องการให้หน้าสัมผัสกลับที่เดิมต้องกดปุ่ม Reset ก่อน



รูปที่ 2.20 โอเวอร์โหลดแบบอาศัยความร้อนและสัญลักษณ์ [19]

5) อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร

เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้เพื่อป้องกันการลัดวงจร อาจจะใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยมีโครงสร้างและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร [19]

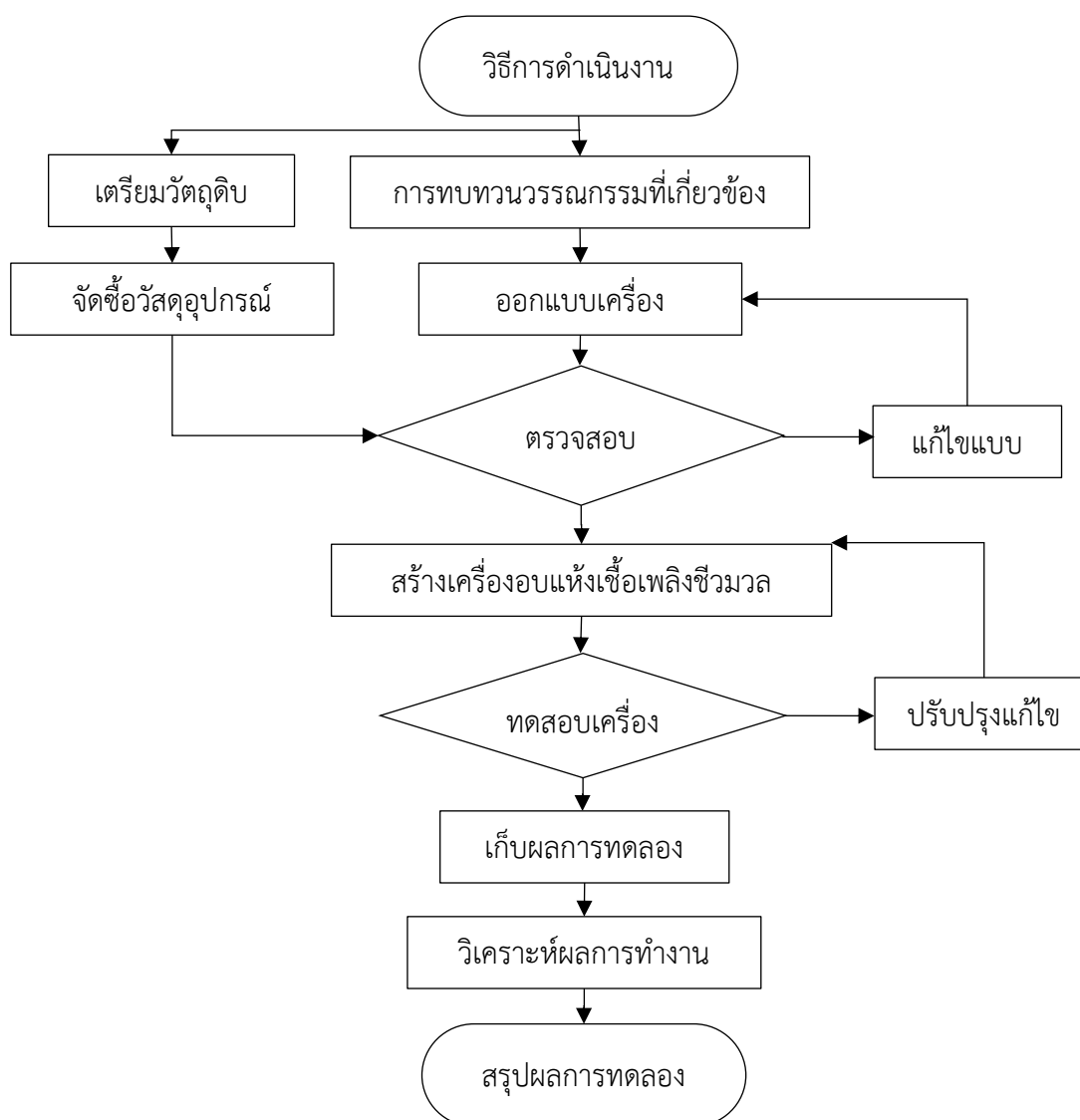
บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในการทำงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ จำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการวางแผนดำเนินงานและขั้นตอนอย่างชัดเจน เพื่อป้องกันความผิดพลาดระหว่างการดำเนินงานและทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่น

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัย เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม สำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลและหารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล การออกแบบเครื่องอบแห้ง และการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน โดยมีการวางแผนขั้นตอนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3.1



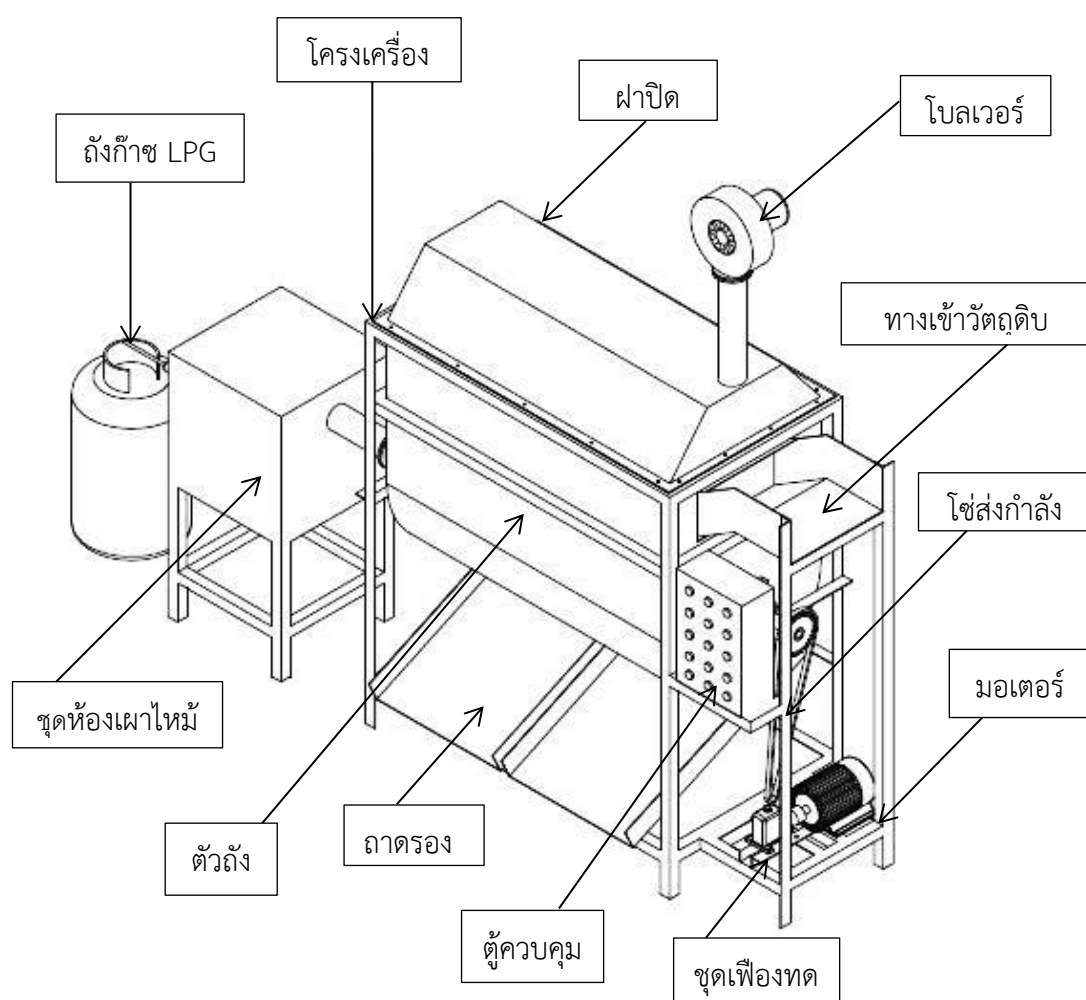
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาข้อมูล รายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อให้ได้เครื่องอบแห้งชีวมวลที่ใช้งานได้ง่าย มีราคาไม่สูงมาก สะดวกต่อการปฏิบัติงานและชุมชนสามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ มีเหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก

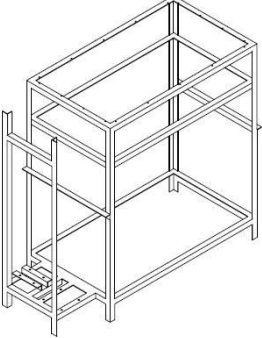
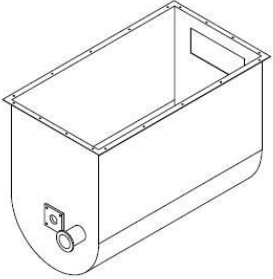
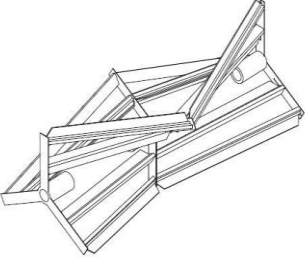
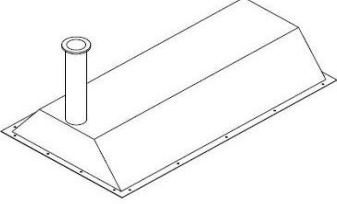
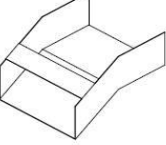
3.2.1 การออกแบบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครื่องอบแห้งชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม ดังรูปที่ 3.2 โดยออกแบบการทำงานของเครื่องอบแห้งชีวมวลอาศัยลมร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG และดูดความร้อนเข้าไปในตัวถังเพื่อทำการไล่ความชื้นในวัตถุดิบ ด้านในของตัวถังถูกออกแบบให้มีชุดใบกวนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวหมุนเพื่อกระจายวัตถุดิบได้อย่างทั่วถึง ทำให้สามารถไล่ความชื้นที่สะสมอยู่ในวัตถุดิบได้เร็วขึ้น ชิ้นส่วนและคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องอบแห้งชีวมวลแสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

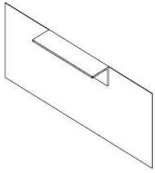
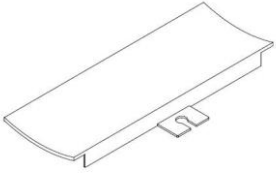
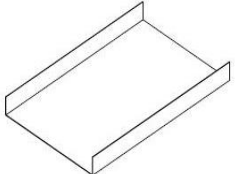
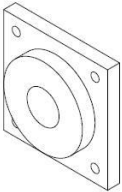
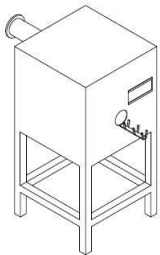


รูปที่ 3.2 โครงสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล

ตารางที่ 3.1 แสดงชิ้นส่วนเครื่องอบแห้งชีวมวล

ชั้นที่	รูปชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	ขนาดชิ้นส่วน (mm)	วัสดุ	หน้าที่
1		โครงเครื่อง	922 x 2,100 x 1,850	SS400	รองรับ ตัวถัง เพลลา และใบกวน
2		ตัวถัง	890 x 1,660 x 1,153	SS400	รองรับ วัตถุดิบที่ จะทำการ อบไล่ ความชื้น
3		ใบกวน	795 x 1,460 x 795	SS400	กวนและ กระจาย เศษชีวมวล
4		ฝาลัง	890 x 1,580 x 752	SS400	ป้องกันเศษ ชีวมวล กระเด็น ออกและ เป็นที่ติดตั้ง โบลเวอร์
5		ทางเข้า	492 x 578 x 370	SS400	เป็นช่องใส่ วัตถุดิบ

ตารางที่ 3.1 แสดงชิ้นส่วนเครื่องอบแห้งชีวมวล (ต่อ)

ชั้นที่	รูปชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	ขนาดชิ้นส่วน (mm)	วัสดุ	หน้าที่
6		ฝาปิด ทางเข้า	202 x 492 x 55	SS400	เป็นฝาปิด เปิดทางเข้า
7		ฝาปิด ทางออก	310 x 690 x 50	SS400	เป็นฝาปิด เปิดทาง ออก
8		ถาดรอง	656 x 1,040 x 100	SS400	รองเศษ วัตถุดิบ
9		บูช	165 x 165 x 39	SS400	เป็นตัว รองรับ เพลลา
10		เพลลา	50 x 1,850	S45C	เป็นตัวสวม ใบกวนให้ ขับเคลื่อน
11		ห้องเผา ไหม้	600 x 1,100 x 1,220	SS400	เป็นห้อง สำหรับเผา ไหม้ก๊าซ LPG

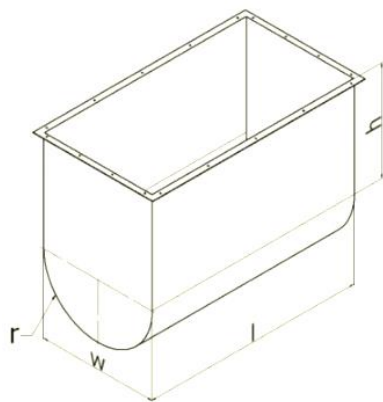
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องอบแห้งชีวมวล

รายละเอียด	คุณลักษณะ
Capacity	150 kg/hr
Motor.	1 HP 50 Hz 380 V
Fan Motor.	0.5 HP 50 Hz 380 V
Air inlet temperature (Max)	100 °C
Dimension (W x L x H)	100 x 210 x 180 cm.
Weight	500 kg.

3.2.2 การออกแบบชิ้นส่วนและการคำนวณ

1) การคำนวณปริมาตรตัวถัง

จากการทดสอบความหนาแน่นของวัตถุดิบที่ผ่านการบดย่อยพบว่า วัตถุดิบมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 150 – 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเพื่อให้ได้ขนาดของตัวถังที่สามารถอบแห้งชีวมวลที่มีปริมาณหลังการอบแห้ง 50 กิโลกรัม ที่ความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบตัวถังด้านบนเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ด้านล่างตัวถังมีรูปทรงครึ่งทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งปริมาตรของตัวถังจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนโดยประมาณ ส่วนที่ 1 เป็นปริมาตรสำหรับป้อนวัตถุดิบ ในที่นี่ได้กำหนดส่วนที่ 1 ให้เป็นด้านล่างของตัวถังที่มีรูปทรงครึ่งทรงกระบอก อีก 2 ส่วนที่เหลือกำหนดให้เป็นพื้นที่สำหรับระบายความชื้น ซึ่งสามารถคำนวณปริมาตรของตัวถังได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 ลักษณะรูปทรงของตัวถัง

$$\text{จากสมการ } V = m / \rho \quad (3.1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุดิบ (m^3)

m คือ มวลรวมของวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้งใน 1 ครั้ง (kg)

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุดิบ (kg/m^3)

$$\text{เนื่องจาก } m = 50 \text{ kg}$$

$$\rho = 150 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\therefore V = (50 \text{ kg}) / (150 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

$$= 0.333 \text{ m}^3$$

ดังนั้น ด้านล่างของตัวถังที่มีรูปทรงครึ่งวงกลม ควรมีปริมาตรอย่างน้อย 0.333 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถกำหนดขนาดรัศมี (r) เท่ากับ 0.4 เมตร ความยาว (l) เท่ากับ 1.5 เมตร

- คำนวณปริมาตรด้านล่างของตัวถังที่มีรูปทรงครึ่งทรงกระบอก

$$\text{จากสมการ } V_1 = [(\pi \times r^2 \times l) / 2] \quad (3.2)$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรด้านล่างของตัวถังที่มีรูปทรงครึ่งทรงกระบอก (m^3)

r คือ รัศมีของตัวถัง (m)

l คือ ความยาวของตัวถัง (m)

$$\text{เนื่องจาก } r = 0.4 \text{ m}$$

$$l = 1.5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_1 &= [\pi \times (0.4 \text{ m})^2 \times (1.5 \text{ m})] / 2 \\ &= 0.377 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรด้านบนตัวถังที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ควรมีปริมาตรอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของ ด้านล่างตัวถังที่มีรูปทรงครึ่งวงกลม ซึ่งสามารถกำหนดขนาดความกว้าง (w) เท่ากับ 0.8 เมตร ความยาว (l) เท่ากับ 1.5 เมตร ความสูง (h) เท่ากับ 0.75 เมตร

- คำนวณปริมาตรตัวถังด้านบนที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม

$$\text{จากสมการ } V_2 = w \times l \times h \quad (3.3)$$

เมื่อ V_2 คือ ปริมาตรตัวถังด้านบนที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม (m^3)

w คือ ความกว้าง (m)

l คือ ความยาว (m)

h คือ ความสูง (m)

$$\text{เนื่องจาก } w = 0.8 \text{ m}$$

$$l = 1.5 \text{ m}$$

$$h = 0.75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_2 &= (0.8 \text{ m}) \times (1.5 \text{ m}) \times (0.75 \text{ m}) \\ &= 0.9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาตรตัวถัง} &= (0.377 \text{ m}^3) + (0.9 \text{ m}^3) \\ &= 1.277 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

นอกเหนือจากการนำปริมาณการอบในแต่ละครั้งและความหนาแน่นของวัตถุดิบมาเป็นเกณฑ์ ในการกำหนดขนาดของตัวถังแล้ว ผู้วิจัยยังใช้หลักความเหมาะสมในการใช้พื้นที่สำหรับการจัดวาง เครื่องจักรมาเป็นเกณฑ์ในการออกแบบและกำหนดขนาดตัวถัง

2) การคำนวณหาค่ากำลังขับใบกวน

เพื่อทดสอบหาแรงบิดที่ทำให้ใบกวนหมุนขณะที่มีวัตถุติดอยู่ในตัวถัง ผู้วิจัยได้นำประแจวัดแรงบิด (Torque wrench) มาทำการทดลองหมุนใบกวนเพื่อวัดแรงบิดที่เกิดขึ้น ซึ่งแรงบิดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 125 นิวตันเมตร ดังนั้นสามารถคำนวณกำลังขับใบกวนได้ ดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ } P = [2 \times \pi \times T \times n_2] / 60 \quad (3.4)$$

เมื่อ T คือ โมเมนต์บิดในแกนใบกวน (N.m)

n_2 คือ ความเร็วรอบของใบกวน (rpm)

$$\text{เนื่องจาก } T = 125 \text{ N.m}$$

$$n_2 = 25 \text{ rpm (คิดที่อัตราทด 1/60 สำหรับมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 1,450 rpm)}$$

$$\begin{aligned} \therefore P &= [2 \pi (67 \text{ N.m})(25 \text{ rpm})] / 60 \\ &= 327.249 \text{ W} \\ &= 0.438 \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้น จากการคำนวณที่ผ่านมาข้างต้นจึงควรเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเป็นแหล่งต้นกำลังสำหรับชุดใบกวนวัตถุที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 0.438 แรงม้า ถึงสามารถรองรับภาระงานที่เกิดขึ้นได้

3) การคำนวณขนาดเพลาส่งกำลังสำหรับชุดใบกวน

เพื่อหาขนาดเพลาส่งกำลังที่เหมาะสม สามารถรับภาระแรงที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุเหล็ก S45C หรือเทียบเท่า AISI 1045 พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงครากเท่ากับ 434.37 MPa [20] และแรงที่กระทำต่อเพลาส่งกำลังเท่ากับ 125 N.m

• การคำนวณความเคียดเฉือนสูงสุดของวัสดุเพลาส่ง

$$\text{จากสมการ } \tau_{\max} = S_y / 2N_y \quad (3.5)$$

เมื่อ $\tau_{\max}$ คือ ความเคียดเฉือนสูงสุด (MPa)

S_y คือ ความต้านทานแรงดึงคราก (MPa)

N_y คือ ค่าความปลอดภัย

$$\text{เนื่องจาก } S_y = 434.37 \text{ MPa (ความต้านทานแรงดึงคราก ของวัสดุ S45C หรือเทียบเท่า AISI 1045) [20]}$$

$$N_y = 2$$

$$\begin{aligned} \therefore \tau_{\max} &= [434.37 \text{ MPa} / (2 \times 2)] \\ &= 108.6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดเพลาส่งโรเตอร์ ได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ } T = (\pi \times D^3 \times \tau) / 16 \quad (3.6)$$

$$\text{หรือ } D = [(16 \times T_{\max}) / (\pi \times \tau)]^{1/3}$$

เมื่อ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาส่งกำลัง (มิลลิเมตร)

T คือ โมเมนต์บิดของเพลาส่งกำลัง (N.m)

$\tau_{\max}$ คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด (MPa)

$$\text{เนื่องจาก } T = 125 \text{ N.m}$$

$$\tau_{\max} = 108.6 \text{ MPa}$$

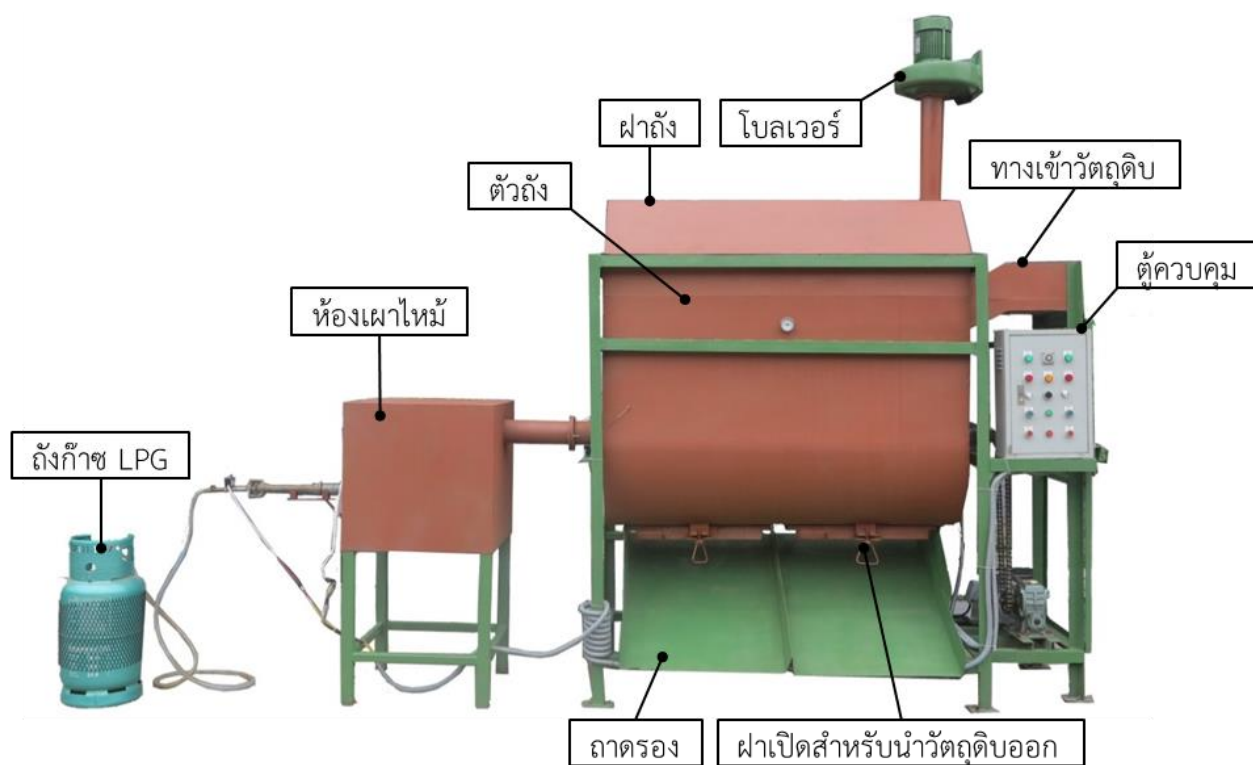
$$\therefore D = [16 (125 \text{ N.m}) / \pi (108.6 \text{ MPa})]^{1/3}$$

$$= 18.031 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นจากการคำนวณที่ผ่านมาข้างต้น จึงควรเลือกใช้เพลาส่งกำลังที่ผลิตจากวัสดุเกรด S45C ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 18.031 มิลลิเมตร จึงจะสามารถรองรับภาระที่เกิดขึ้นในการกวนวัตถุดิบได้

3.2.3 การสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล

หลังจากทำการออกแบบเครื่องเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการสั่งซื้อวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล และได้ดำเนินการสร้างเครื่องตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งชีวมวล

3.3 การทดสอบ

การทดสอบเครื่องอบแห้งซีวมวล ผู้วิจัยได้เตรียมฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย ที่ผ่านการบดย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 7 มิลลิเมตร จำนวน 50 กิโลกรัม ที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้น 15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบ 1 ครั้ง จากนั้นนำมาเพิ่มปริมาณความชื้นด้วยน้ำ (คิดตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก) ตามเงื่อนไขที่กำหนดในการทดสอบ ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นที่ 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทดสอบ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของใบกวน 25 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการอบแห้ง 60 นาที เวลาในการป้อนวัตถุดิบและนำวัตถุดิบออกจากตัวถัง 10 นาที

3.3.1 การเก็บผล

เก็บตัวอย่างวัตถุดิบทุกๆ 10 นาที จำนวน 5 ตัวอย่าง จนครบ 60 นาที และนำไปวัดปริมาณความชื้นในวัตถุดิบที่เก็บได้ในแต่ละช่วงเวลา การทดสอบปริมาณความชื้น ผู้วิจัยใช้มาตรฐาน ASTM D 3173 ในการทดสอบประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้ ผลการทดสอบความชื้นจะบันทึกดังตารางที่ 3.3

1) เครื่องมือ

- เตาอบ (Oven)
- ถ้วย (Crucible)
- โถดูดความชื้น (Desiccators)

2) วิธีการทดสอบ

- นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดห่อด้วยกระดาษฟอยล์ไปอบเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นตัวในโถดูดความชื้น (Desiccators) 30 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนัก
- ใส่ตัวอย่างประมาณ 2 g จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (W1)
- นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) 30 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W2) บันทึกน้ำหนัก

3) คำนวณปริมาณความชื้นจากสมการที่ 3.7

$$\text{จากสมการ } M = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (g)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (g)

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการทดลองอบแห้งชีวมวล

ความชื้นเริ่มต้น	เวลา (นาทึ)	ความชื้นหลังการอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์)					ความชื้นเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
		1	2	3	4	5	
20%	10	x	x	x	x	x	x
	20	x	x	x	x	x	x
	30	x	x	x	x	x	x
	40	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	x	x
	60	x	x	x	x	x	x
25%	10	x	x	x	x	x	x
	20	x	x	x	x	x	x
	30	x	x	x	x	x	x
	40	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	x	x
	60	x	x	x	x	x	x
30%	10	x	x	x	x	x	x
	20	x	x	x	x	x	x
	30	x	x	x	x	x	x
	40	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	x	x
	60	x	x	x	x	x	x
35%	10	x	x	x	x	x	x
	20	x	x	x	x	x	x
	30	x	x	x	x	x	x
	40	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	x	x
	60	x	x	x	x	x	x
40%	10	x	x	x	x	x	x
	20	x	x	x	x	x	x
	30	x	x	x	x	x	x
	40	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	x	x
	60	x	x	x	x	x	x

3.3.2 การประเมินสมรรถนะ

การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวล โดยทำการประเมินจากอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) คัดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง

$$\text{จากสมการ } DR = \frac{m_{pi} - m_{pf}}{t} \quad (3.8)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/hr)
 m_{pi} คือ น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ (kg)
 m_{pf} คือ น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ (kg)
 t คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

การประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งในรูปของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) คือ ค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kgwater ซึ่ง คัดจากพลังงานไฟฟ้า และพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ซึ่งมีค่าความร้อน (HHV) 49.7 MJ/kg [21]

$$\text{จากสมการ } SEC = \frac{E}{m_{pi} - m_{pf}} \quad (3.9)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)
 E คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (MJ)

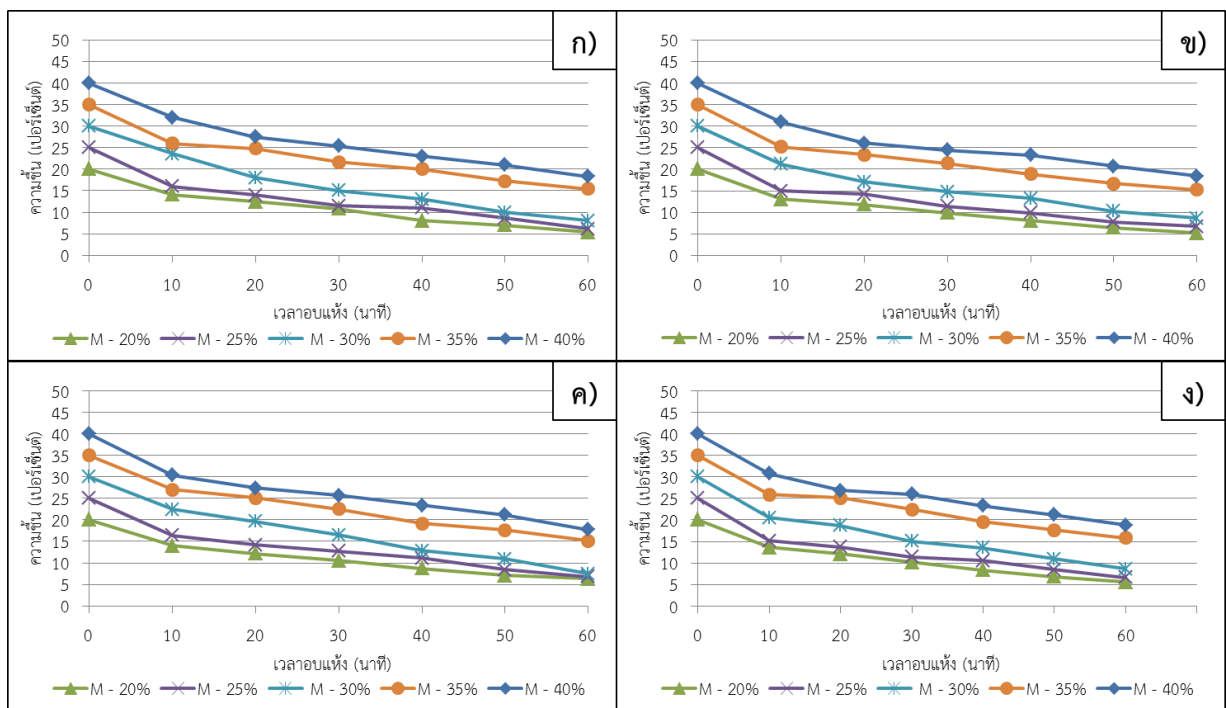
บทที่ 4

ผลการดำเนินการและการวิเคราะห์

จากขั้นตอนการดำเนินงานที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 เมื่อดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลจนเสร็จสิ้นแล้วนั้น จำเป็นต้องมีการดำเนินการทดสอบเครื่องอบแห้งชีวมวล ซึ่งรายละเอียดและเงื่อนไขการทดสอบแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบอบแห้งชีวมวล

จากการทดสอบอบแห้งชีวมวล โดยการนำฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อยมาเป็นวัตถุดิบในการทดสอบ เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับนำไปทำการอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1

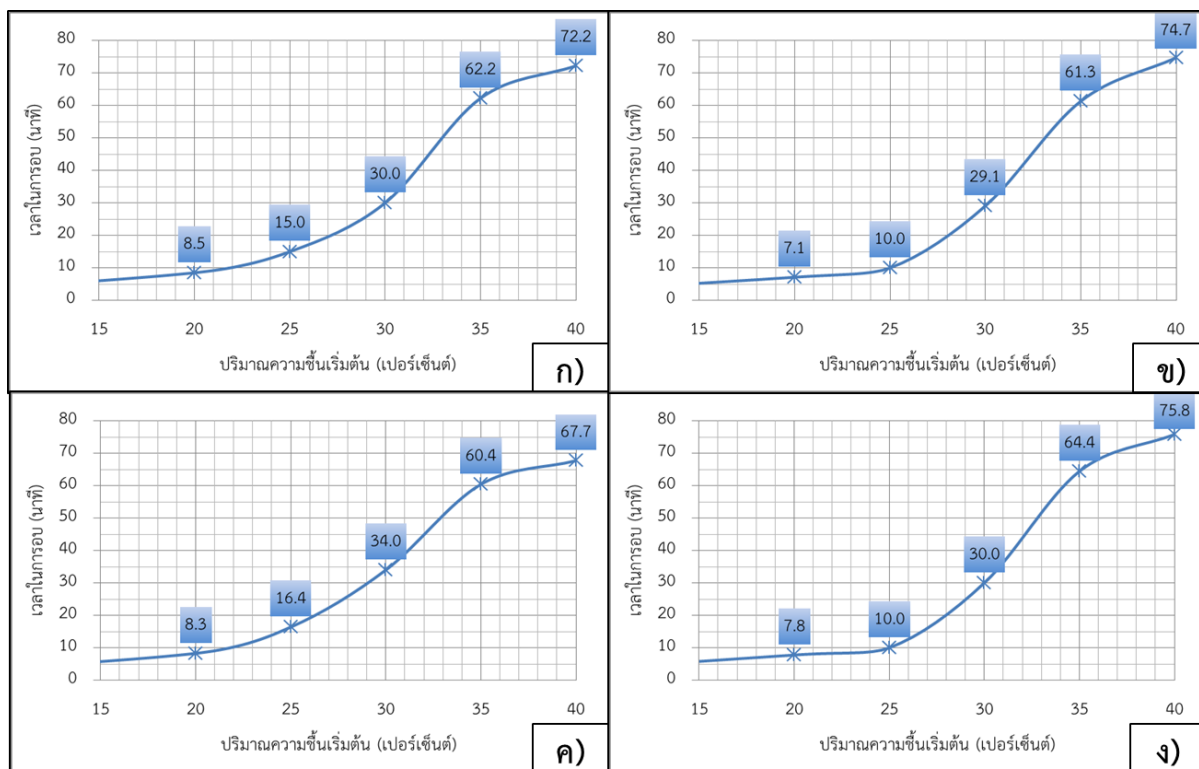


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าความชื้นเฉลี่ยหลังการอบแห้งฟางข้าว ก) ชังข้าวโพด ข) เปลือกถั่วเหลือง ค) และซีลี้อย ง)

จากการทดสอบอบแห้งชีวมวลที่มีความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการอบอย่างเห็นได้ชัด จากรูปที่ 4.1 ก) ฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาอบแห้งที่เวลาอบ 10 นาที่ พบว่าปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 32 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาอบ 20 นาที่ ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 27.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาอบ 30 นาที่ ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 25.4 เปอร์เซ็นต์ เวลาอบ 40 นาที่ ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 23 เปอร์เซ็นต์ เวลาอบ 50 นาที่ ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 21 เปอร์เซ็นต์ และเวลาอบ 60 นาที่

ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 18.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณความชื้นลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ที่พบว่าปริมาณความชื้นแปรผกผันตามเวลา เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบอบแห้งค่อนข้างคงที่

4.2 การวิเคราะห์



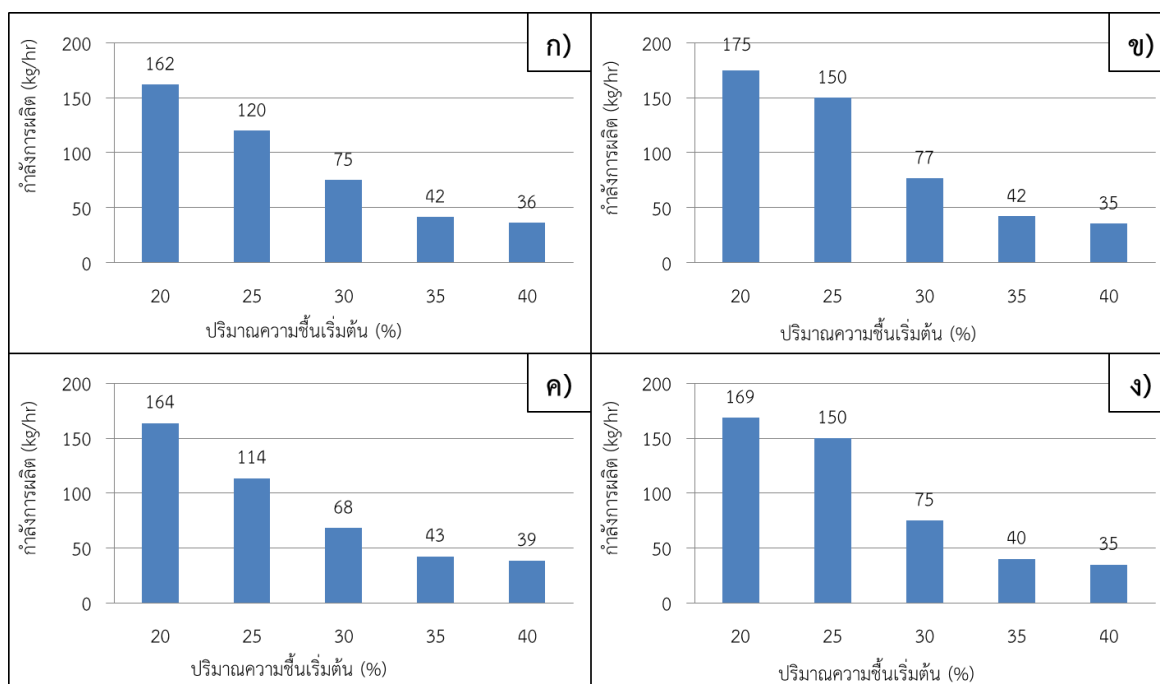
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงระยะเวลาในการอบแห้งฟางข้าว ก), ซังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค) และซีเลียด ง) เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟแสดงระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ต่างกัน จากรูปที่ 4.2 ก) พบว่าฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 9 นาที หากฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 30 นาที หากฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 72 นาที ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ายิ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีมากก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งมากขึ้นด้วย และที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่เท่ากัน วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดใช้เวลาในการอบแห้งแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้น เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลผู้วิจัยจึงนำผลการทดลองการอบแห้งฟางข้าวมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลจากการอบแห้งฟางข้าวที่ระดับความชื้นเริ่มต้นต่างๆ

รายการ	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น				
	20%	25%	30%	35%	40%
ปริมาณวัตถุดิบก่อนอบ (kg)	60.00	62.5	65.00	67.50	70.00
ปริมาณวัตถุดิบหลังอบ (kg)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
ความชื้นหลังอบ (%)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
อุณหภูมิ (°C)	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
เวลา (min)	8.5	15.0	30.0	62.2	72.2
ปริมาณแก๊สที่ใช้ในการอบ (kg)	0.13	0.17	0.50	1.07	1.26
อัตราการอบแห้ง; DR (kg/hr)	76.9	75.0	30.0	16.3	15.8
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ; SEC (MJ/kg)	0.90	1.19	2.15	3.85	3.92

จากตารางผลการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลได้ โดยพบว่าที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการอบแห้งมากที่สุด คือ 76.9 kg/hr และค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งหรือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าน้อยที่สุด คือ 0.90 MJ/kg ทั้งนี้เกิดจากปริมาณน้ำหรือความชื้นในวัตถุดิบน้อยทำให้ความสามารถในการอบแห้งมีมาก ดังที่กล่าวในข้างต้นว่ายิ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีมากก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งมากขึ้นด้วย และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งก็จะลดลง ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในการทดสอบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซ LPG ค่อนข้างคงที่ซึ่งหากใช้เวลาเพิ่มขึ้นก็จะให้พลังงานเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.3 กราฟกำลังการผลิตที่ปริมาณความชื้นที่ต่างกันของฟางข้าว ก), ชังข้าวโพด ข), เหลือง ค) และชี้อยู่ยง ง) (ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์)

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง และส่งผลต่อกำลังการผลิตของเครื่องอบแห้งชีวมวล ดังรูปที่ 4.3 ก) พบว่าหากฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมีกำลังการผลิต 162 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หากฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมีกำลังการผลิตลดลงเหลือ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เช่นเดียวกันกับซังข้าวโพดดังรูปที่ 4.3 ข) ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมีกำลังการผลิต 175 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หากซังข้าวโพดมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมีกำลังการผลิตลดลงเหลือ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นเริ่มต้น ดังนั้น ในการเตรียมหรือเก็บรวบรวมวัตถุดิบที่เป็นของเสียจากงานเกษตรกรรมควรตรวจสอบก่อนว่ามีปริมาณความชื้นเริ่มต้นมากน้อยเพียงใด หากปริมาณความชื้นในวัตถุดิบมีมากเกินไปอาจนำไปลดความชื้นด้วยวิธีอื่นก่อน เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

จากผลการทดสอบเครื่องอบแห้งชีวมวลที่ได้ทำการอบแห้งซ้ำแล้ว และเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณความชื้นหลังการอบแห้ง ดังตารางที่ ค.4 - นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยวิธีความแปรปรวนสองทาง (Two Way Anova) ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อทดสอบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อปริมาณความชื้นแต่ละช่วงเวลาหรือไม่ และทดสอบว่าเวลาในการอบมีผลต่อปริมาณความชื้นหรือไม่ ที่นัยสำคัญ (α) 0.05

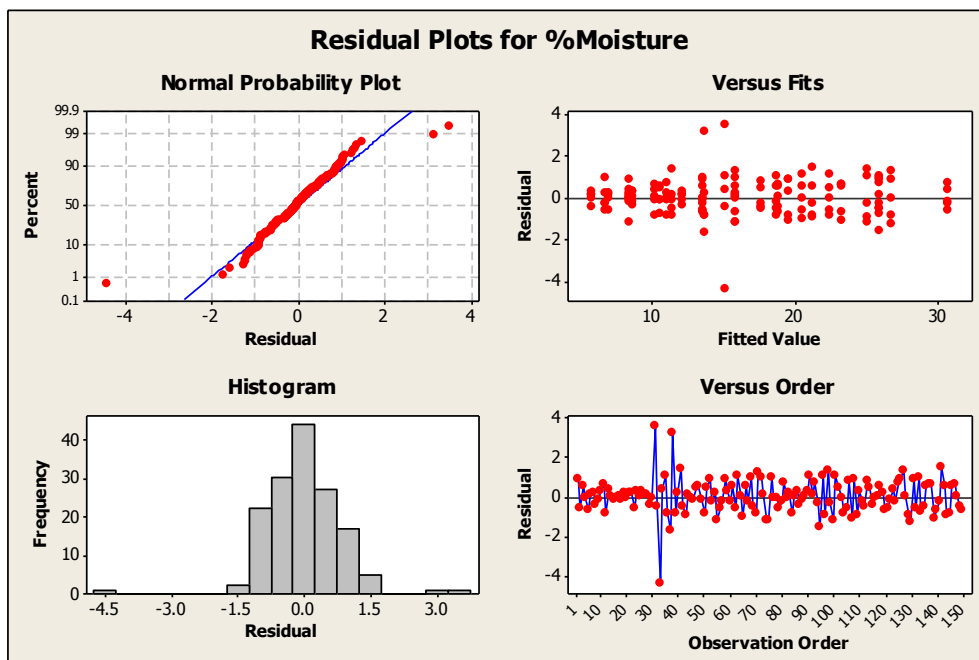
Two-way ANOVA: %Moisture versus Initial moisture, Time

Source	DF	SS	MS	F	P
Initial moisture	4	5038.17	1259.54	1397.08	0.000
Time	5	1819.67	363.93	403.67	0.000
Interaction	20	63.35	3.17	3.51	0.000
Error	120	108.19	0.90		
Total	149	7029.37			

S = 0.9495 R-Sq = 98.46% R-Sq(adj) = 98.09%

รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบความแปรปรวนสองทาง

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น (Initial moisture) P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.000 < 0.05$) ซึ่งหมายความว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อปริมาณความชื้นแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และค่าเวลาในการอบ (Time) P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.000 < 0.05$) ซึ่งหมายความว่าเวลาในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นที่ทำการอบแห้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4.5 กราฟ Residual Plots

จากรูปที่ 4.5 กราฟ Normal probability plot พบว่าค่าเศษเหลือมีลักษณะการกระจายที่เป็นปกติ จุดของเศษเหลือมีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง มีเพียงบางจุดที่กระจายตัวผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บผลการทดสอบ

จากกราฟ Residuals versus the fitted values พบว่าการกระจายตัวของค่าเศษเหลือมีลักษณะที่ต่างกัน มีการกระจายตัวแบบอิสระทั้งทางบวกและทางลบ และมีการกระจายแบบสุ่มอย่างสม่ำเสมอ

จากกราฟ Residuals versus order พบว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวของจุดเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวเริ่มต้น

จากกราฟ Histogram of the residuals พบว่าฮิสโตแกรมเป็นรูปประฆังคว่ำสมมาตร แสดงว่าผลการทดสอบมีการกระจายตัวเป็นปกติ

4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องอบแห้งชีวมวล

การวิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องอบแห้งชีวมวลกับเครื่องอบแห้งในงานวิจัยอื่น เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการทำงานและประสิทธิภาพในการอบแห้ง โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบเครื่องอบแห้งชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับ ผลการทดลองในงานวิจัย การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ[21], การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน[22], เครื่องอบแห้งมันเส้นโดยใช้ความร้อนจากวัสดุชีวมวลต้นแบบ [23] ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าเครื่องอบแห้งชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีสมรรถนะดีกว่าเครื่องอบแห้งในงานวิจัยอื่น เปรียบเทียบที่ความสามารถในการอบแห้งหรืออัตราการอบแห้งมีค่าสูงกว่าเครื่องอบแห้งในงานวิจัยอื่น และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งมีค่าต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับเครื่องแห้งในงานวิจัยอื่น

รายละเอียด	เครื่องอบแห้งชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น	เครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ	เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน	เครื่องอบแห้งมันเส้นแบบหมุนโดยใช้ความร้อนจากชีวมวลต้นแบบ
เชื้อเพลิง	LPG	LPG	LPG	ชีวมวล
ปริมาณวัตถุดิบก่อนอบ (kg)	70	100	40	40
อุณหภูมิ (°C)	70	110	80	70
ปริมาณวัตถุดิบหลังอบ (kg)	50	44.31	-	20.1
ความชื้นก่อนอบ (%)	40	60.39	80	60
ความชื้นหลังอบ (%)	15	10.61	~10	10.3
เวลา (min)	75.4	360	90	45
ปริมาณแก๊สที่ใช้ในการอบ (kg)	1.25	11.60	2.10	-
อัตราการอบแห้ง (kg/hr)	15.92	9.28	7.68	5.3
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)	4.05	10.86	5.65	11.7

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานโครงการเริ่มจากการวางแผน ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล ตามแผนงานและขั้นตอนการดำเนินการต่างๆ ที่ได้วางเอาไว้ในหัวข้อที่ 3.1 ดังนั้นเพื่อประมวลสรุปผลการดำเนินโครงการและเสนอข้อแนะในการดำเนินงานต่อยอดเพิ่มเติมไว้หลายประการดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการนี้มุ่งเน้น ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล จากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม สำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง โดยการทำงานของเครื่องอาศัยความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG และดูดความร้อนเข้าไปในตัวถังด้วยพัดลมโบลเวอร์ ด้านในของตัวถังถูกออกแบบให้มีชุดใบกวน ใช้แหล่งต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 5 แรงม้า อุปกรณ์ควบคุมการทำงานประกอบด้วย สวิตช์เปิดปิด หลอดไฟแสดงการทำงาน แมกเนติกคอนแทคเตอร์ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ตั้งอุณหภูมิ อุปกรณ์จุดติดไฟอัตโนมัติ และระบบเตือนภัยด้วยเสียงในกรณีที่หัวจ่ายก๊าซไม่ทำงานหรือหยุดจ่าย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอบแห้งฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื้อย ที่ผ่านการบดย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ที่ระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทดสอบ 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งและให้ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 15 % ซึ่งผลการสอบได้ดังนี้

จากผลการทดสอบ พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ (0.05) โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 7 - 9 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 10 - 17 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 29 - 34 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 35 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 60 - 65 นาที ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 67 - 76 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบด้วยเช่นกัน และปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น, กำลังการผลิตลดลง, และค่าพลังพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งหรือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นเริ่มต้น เนื่องจากในการทดสอบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซ LPG ค่อนข้างคงที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวลบางส่วน ข้อมูลการออกแบบและสร้างเครื่องอาจไม่ครอบคลุม เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และหากต้องการการทำงานที่เต็มความสามารถควรเพิ่มเติมในส่วนของชุดให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง

5.2.2 สามารถเปลี่ยนการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG มาเป็นการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของชีวมวลด้วยกระบวนการ Gasification

5.2.3 ควรมีการตรวจสอบเครื่องอบแห้งชีวมวลก่อนใช้งานเสมอ เพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วของก๊าซ

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน,กระทรวงพลังงาน. นโยบายพลังงาน. วรสาร. ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS102.pdf>
- [2] นคร ทิพย์วงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 34-43
- [3] พุทธิธินันท์ จารุวัฒน์ และคณะ. 2551. ปริญญานิพนธ์ **ศึกษาวิจัยเครื่องอบแห้งลำไยแบบต่อเนื่อง**. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.
- [4] เสกสรรค์ วนยางค์กุล, ศักดิ์เกษม คมขำ, ฤทธิชัย บุญทาศรี และสรพรเพชญ์ บุญชัย. 2551.**เครื่องอบแห้งไล่ความชื้น ในยอโตใบชาโดยรังสีอินฟราเรด**.ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเชียงราย.
- [5] ฉัตรชัย นิยมล. 2554. **เครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำสำหรับลดความชื้นข้าวเปลือก**. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [6] อาทิตย์ ฉัตรสุวรรณ และวิสิษฐ์ศักดิ์ บุญแท้. 2552. **สร้างเครื่องคว้ข้าวโพดโดยควบคุมความร้อน HEATER ระบบไฟฟ้า**. ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] อัมพรชัย วิไลแก้ว และคณะ. 2552. **การออกแบบและสร้างเครื่องอบไล่ความชื้นแบบ 2 ระบบ**. ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [8] วิบูลย์ เทเพนทร์ และคณะ. 2539. **วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้ง และวิธีการลดความชื้นข้าวโพดที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ**. ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [9] อิศเรศ วรธนทร. 2554. **การศึกษาการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพูนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล**. ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [10] ขวลิต รุ่งอิทธิวงศ์และคณะ. **เครื่องบดและอัดเม็ดชีวมวลเชื้อเพลิงแข็งแบบเคลื่อนที่ได้ตามแหล่งวัตถุดิบ**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.kmutnb.ac.th/news_detail.php?kmutnb = dHh0Tm89VFZSTmVrMTNQVDA9JmNhdGU9VFZFOVBRPT0mYmFjaz1ZbTFXTTJONU5YZGhTRUU5JnBhZ2U9VFZFOVBRPT0%3D. (7 พฤษภาคม 2558)
- [11] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] สมบัติ ขอวิวัฒนา (2529). **กรรมวิธีการอบแห้ง**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 284 น.
- [13] สมชาติ ไสภณณฤกษ์ (2540). **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [14] ทีมา (Sloan, C.E., 1967), (Chemical Engineering, Vol.74, No.14 New York, McGraw-Hill
- [15] วโรตม ตูจินดา. 2550. **การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมทางวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

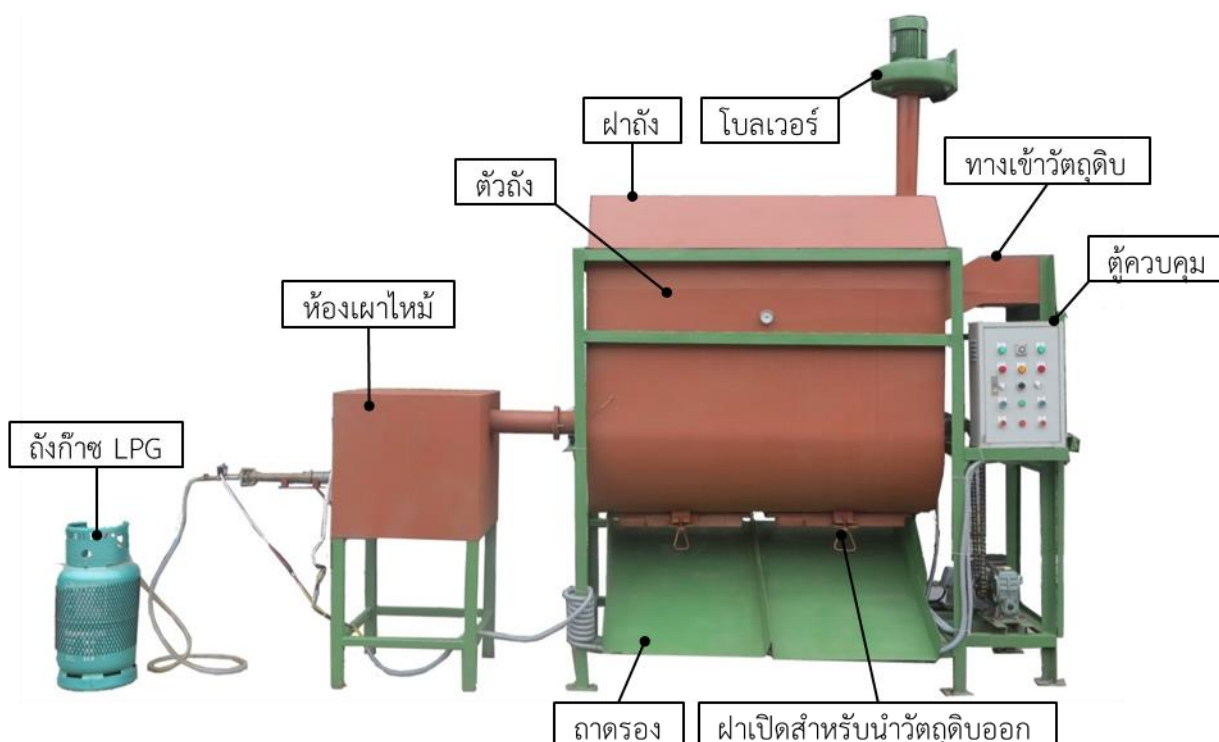
- [16] **ประเภทของเครื่องพ่นไฟ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://pttinternet.pttplc.com/csc_gas/csc_ind/utilization/burner.asp. (29 กันยายน 2556).
- [17] **การควบคุมอุณหภูมิ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.siaminstrument.com>. (28 กันยายน 2556).
- [18] ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. 2551. **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [19] เกชา ชีระโกเมน. 2551. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.
- [20] Richard Gordon Budynas, J. Keith Nisbett. 2008. **Shigley's Mechanical Engineering Design.** McGraw-Hill
- [21] สมบัติทั่วไปของ LPG. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/mithdynamite/lpg-khux-xari/khunsmbati-thawpi-khxng-lpg>
- [22] ธนรัช มุขพันธ์ และคณะ. 2552. **การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ.** การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6
- [23] วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, และ วีรชัย อัจหาญ. 2555. **การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
- [24] เรืองชัย อินทวงค์, และ จักกฤชณ์ ศิริแก้ว. 2555. **เครื่องอบแห้งมันเส้นโดยใช้ความร้อนจากวัสดุชีวมวลต้นแบบ.** ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [25] อัตราค่าไฟฟ้า – การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ออนไลน์] <https://www.pea.co.th/Documents/Rate2012.pdf> (เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม 2558)
- [26] **ราคาก๊าซหุงต้ม ปตท 15 กิโลกรัม.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=9580000009004>. (8 พฤษภาคม 2558).

ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งาน

คู่มือการใช้งาน

เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

เครื่องอบแห้งชีวมวล ออกแบบให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริง และเลือกใช้วัสดุที่ผ่านการบดย่อยแล้ว หลักทฤษฎีในการออกแบบเครื่องใช้หลักการอบโดยใช้ความร้อนและใบกวนเพื่อทำการหมุนให้วัสดุกระจายตัว เพื่อสามารถลดความชื้นได้รวดเร็วขึ้น การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ และการสร้างเครื่องได้กล่าวอยู่ในบทที่ 3 เครื่องอบแห้งชีวมวลมีขนาด 2,052 X 922 X 2,605 มิลลิเมตร ลักษณะเครื่องอบแห้งชีวมวลและส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 เครื่องอบแห้งชีวมวล

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่อง

- ชุดตู้ควบคุมไฟฟ้า
 - หมายเลข 1 ไฟแสดงสถานะมอเตอร์ทำงาน
 - หมายเลข 2 ไฟแสดงสถานะโบลเวอร์ทำงาน
 - หมายเลข 3 ไฟแสดงสถานะการหยุดทำงานของมอเตอร์
 - หมายเลข 4 ไฟแสดงสถานะการหยุดทำงานของโบลเวอร์
 - หมายเลข 5 ไฟแสดงกำลังจุดไฟ
 - หมายเลข 6 ไฟแสดงเมื่อทำการจุดติดไฟแล้ว
 - หมายเลข 7 ปุ่มเปิดการทำงานของมอเตอร์
 - หมายเลข 8 ปุ่มเปิดการทำงานของโบลเวอร์

หมายเลข 9 ปุ่มปิดการทำงานของมอเตอร์

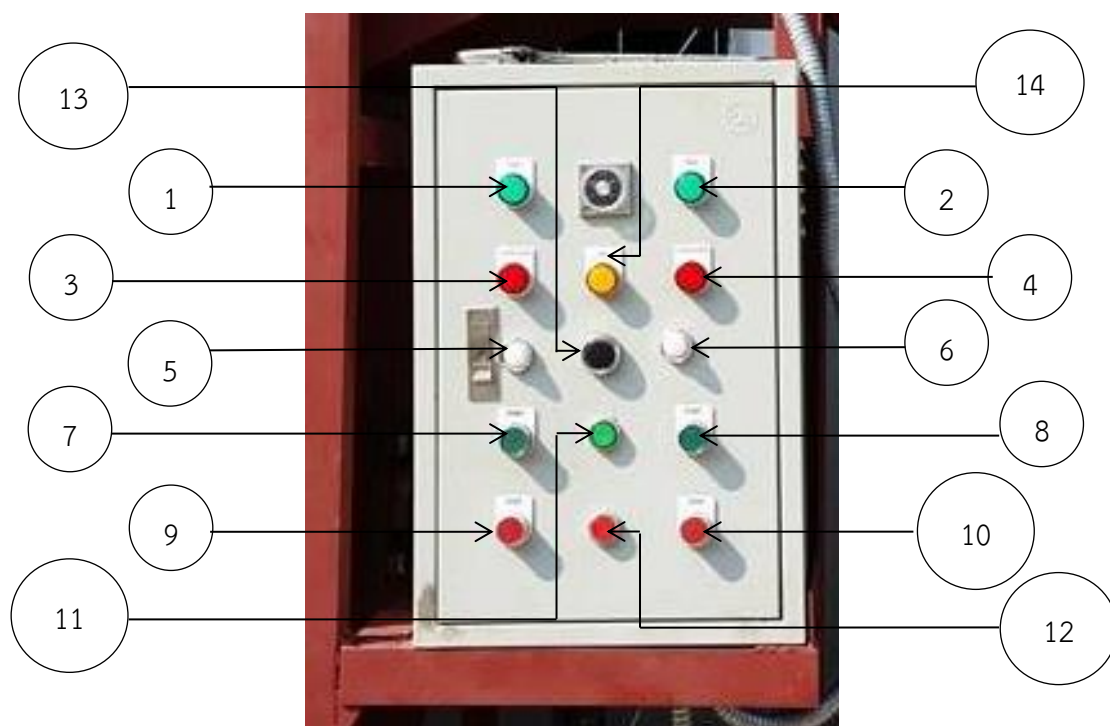
หมายเลข 10 ปุ่มปิดการทำงานของโบลเวอร์

หมายเลข 11 ปุ่มจุดไฟและเปิดการทำงานของก๊าซ

หมายเลข 12 ปุ่มตัดการทำงานของก๊าซ

หมายเลข 13 สัญญาณเตือน

หมายเลข 14 แสดงสถานะตู้ควบคุมพร้อมทำงาน



รูปที่ ก.2 แสดงชุดตู้ควบคุมไฟฟ้า

2. ชุดขับเคลื่อน

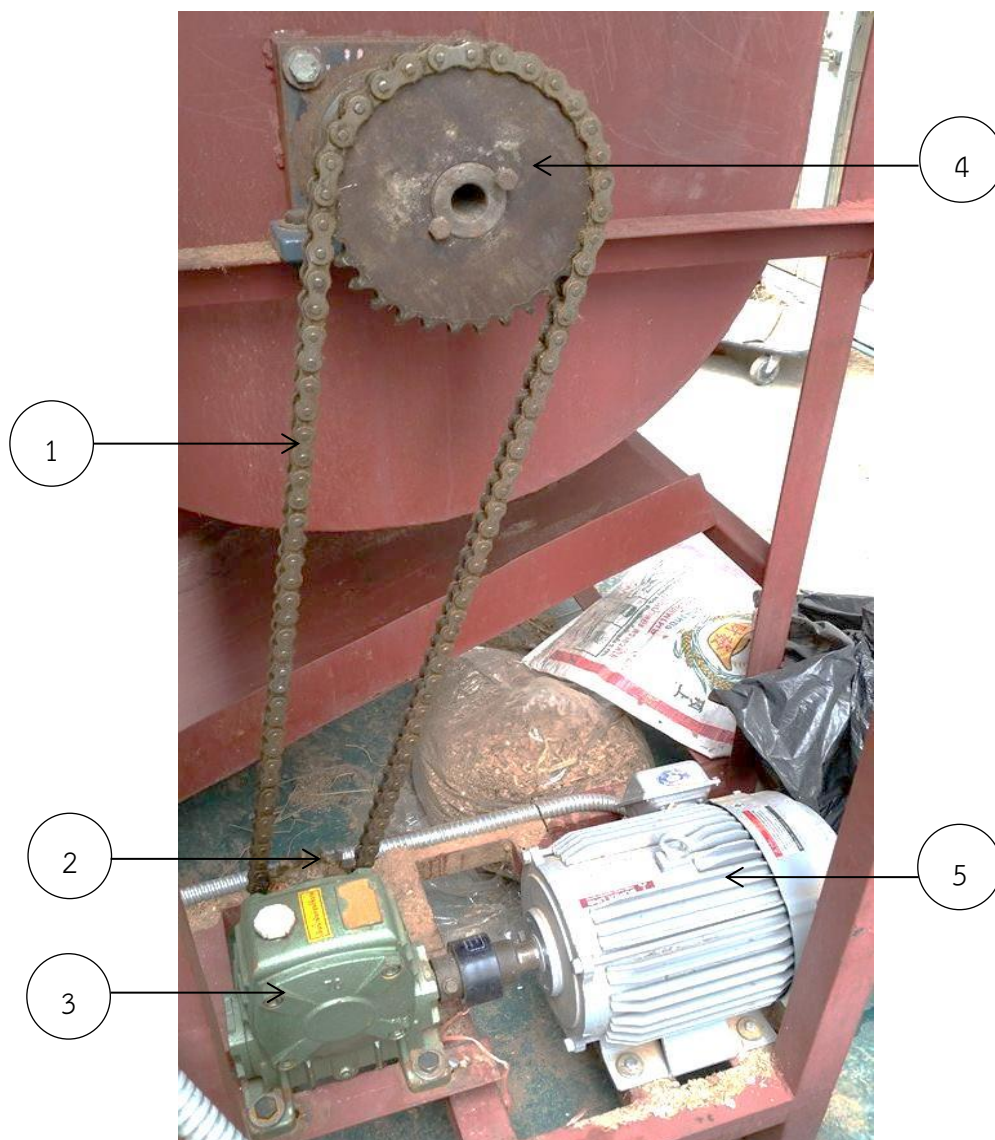
หมายเลข 1 โซ่ ทำหน้าที่ส่งกำลัง เพื่อให้เพลาลม

หมายเลข 2 สเตอร์ตัวขับ ทำหน้าที่ส่งพลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ผ่านโซ่ไปยังสเตอร์ตัวตามที่ตั้งอยู่กับเพลาลม ทำให้เพลาลม

หมายเลข 3 เฟืองทด ทำหน้าที่ลดจำนวนรอบมอเตอร์ให้ช้าลง

หมายเลข 4 สเตอร์ตัวตาม ทำหน้าที่ส่งพลังขับเคลื่อนให้เพลาลม

หมายเลข 5 มอเตอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับเคลื่อนชุดใบกวาด โดยผ่านเฟืองทดก่อนเพื่อลดจำนวนรอบให้ช้าลง



รูปที่ ก.3 แสดงชุดขับเคลื่อน

3. ชุดให้ความร้อน

หมายเลข 1 หัวสปาร์ก ทำหน้าที่จุดติดแก๊สอัตโนมัติ

หมายเลข 2 หัวเบรินเนอร์ ทำหน้าที่เผาไหม้แก๊สเพื่อให้ความร้อน

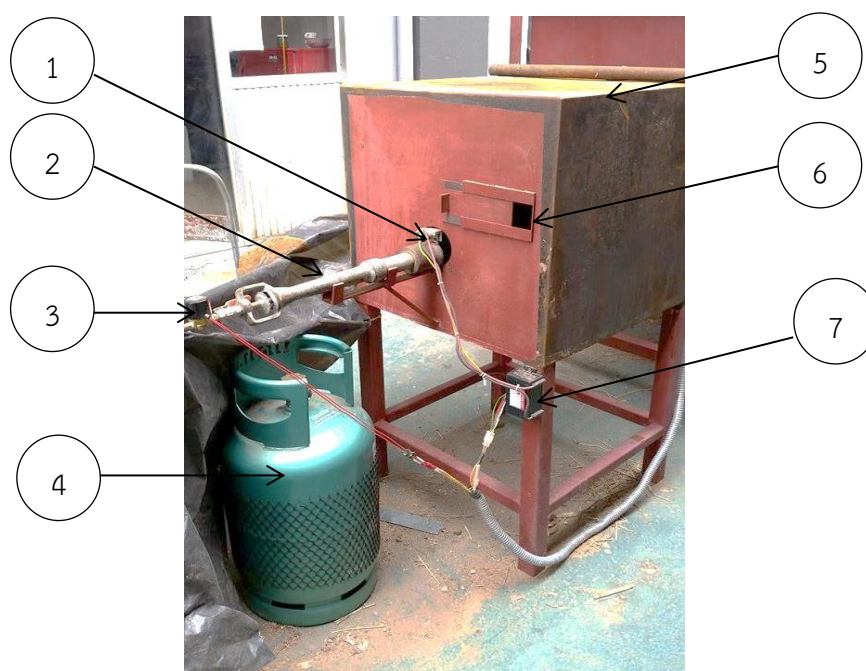
หมายเลข 3 โซลินอยล์วาว ทำหน้าที่ ปิด - เปิด แก๊สอัตโนมัติ

หมายเลข 4 แก๊ส LPG ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

หมายเลข 5 ห้องเผาไหม้ ทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ ให้ความร้อนเพื่อส่งผ่านความร้อนเข้าไปยังเครื่องอบแห้งชีวมวล

หมายเลข 6 ช่องสำหรับ ปิด - เปิด อากาศ ทำหน้าที่ ปิด - เปิด เพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปเพียงพอและทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์

หมายเลข 7 กล่องควบคุมการจุดไฟ ทำหน้าที่ควบคุมการจุดติดอัตโนมัติของหัวสปาร์ก



รูปที่ ก.4 ชุดให้ความร้อน



รูปที่ ก.5 ชุดให้ความร้อนหมายเลข 1



รูปที่ ก.6 ชุดให้ความร้อนหมายเลข 3

4 โบล์เวอร์ ทำหน้าที่ดูดลมร้อนจากห้องเผาไหม้ ผ่านเข้าเครื่องอบซีเมนต์และนำความชื้นออกสู่ภายนอกเครื่อง



รูปที่ ก.7 โบล์เวอร์

ขั้นตอนการทำงาน

1. เสียบบล็อก
2. ทำการเปิดวาล์วที่ถังแก๊ส
3. กดปุ่มจุดไฟที่ตู้ควบคุม
4. กดปุ่มเปิดโบล์เวอร์
5. รอให้ได้อุณหภูมิที่ 90 องศา
6. ใส่วัตถุดิบ
7. กดปุ่มเปิดมอเตอร์
8. รอให้ได้เวลาที่กำหนดไว้
9. ปิดการทำงานทั้งระบบ
10. นำวัตถุดิบออก

ข้อควรระวัง

1. การตั้งถังแก๊สไม่ควรตั้งในที่ชื้นแฉะ เพราะจะทำให้ถังแก๊สเป็นสนิม และห้ามตะแคงถังหรือคว่ำถังอย่างเด็ดขาด
2. ติดตั้งในที่อากาศถ่ายเทสะดวก ห่างจากเตาอย่างน้อย 1.5 เมตร และห่างจากอุปกรณ์ที่อาจทำให้เกิดประกายไฟ
3. หลังจากการใช้แก๊สแล้วทุกครั้ง ให้ปิดวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย ควรปิดวาล์วที่หัวถังก่อนแล้วจึงปิดที่เตาแก๊สเพื่อลดความดันแก๊สที่ค้างอยู่ในท่อแก๊สให้หมดไป

4. หมั่นตรวจรอยรั่วโดยใช้น้ำสบู่ทาตามสายยางและรอยต่อทุกจุด หากมีฟองสบู่ผุดขึ้นมา ให้รีบปิดวาล์วที่ถึงก๊าซแล้วรีบแจ้งช่างจากร้านค้าก๊าซโดยด่วน

5. กรณีก๊าซรั่ว เราจะได้กลิ่นก๊าซ ให้ปฏิบัติดังนี้

1) รีบปิดวาล์วก๊าซที่หัวถังก๊าซและที่เตาก๊าซทันที

2) รีบเปิดประตูหน้าต่างให้มีการระบายอากาศให้ก๊าซที่รั่วเจือจางลง

3) กรณีถึงก๊าซรั่วให้ย้ายถังอย่างระมัดระวังไปวางไว้ที่กลางสนามแล้วใช้ผ้าขนหนู ชุบน้ำ ห่อหุ้มบริเวณที่รั่วและฉีดน้ำโซลให้ถึงเย็นตลอดเวลา จนกว่าก๊าซจะหมดถึง หรือช่างจากร้านค้าก๊าซมาถึง

6. อย่าสัมผัสตู้เผาโดยตรงเพราะมีการเผาไหม้อุณหภูมิ ทำให้ตัวถังมีความร้อนมาก จะทำให้ผิวหนังพุพองได้

7. อย่าให้ตู้ควบคุม โบเวอร์และมอเตอร์โดนน้ำ เพราะจะทำให้เกิดไฟฟ้าช็อต เกิดความเสียหายแก่ตู้ควบคุมโบเวอร์และมอเตอร์ได้

8. ปิดฝาให้เรียบร้อยในขณะที่เครื่องทำงาน เพื่อรักษาความร้อนในตัวถัง

9. ทุกครั้งที่ใช้งานเสร็จให้ทำการสับเบรกเกอร์ที่ตู้ควบคุมก่อน แล้วจึงถอดปลั๊กแล้วเก็บทำความสะอาด

10. ในขณะที่ทำการเทวัตุดิบ ใส่เข้าเครื่องให้ทำการหยุดการทำงานของใบกวนก่อน เมื่อใส่วัตุดิบเสร็จแล้วจึงทำการเดินเครื่องต่อ

11. ถ้ามีสัญญาณเตือนว่าไม่มีการจุดติดของไฟ ให้รีบทำการปิดวาล์วแก๊สทันที

ภาคผนวก ข
กิจกรรมการดำเนินงาน

1. การสร้างเครื่อง

1.1 โครงเครื่องและตัวถัง นำเหล็กฉาก SS400 ขนาด 50 X 50 X 4 มิลลิเมตร ทำการตัดให้ได้ความยาวตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ แล้วนำมาเชื่อมประกอบเป็นโครงเครื่อง ดังรูปที่ ข.1 ก) เพื่อทำหน้าที่รับน้ำหนักตัวถังและเป็นที่ติดตั้งชุดขับเคลื่อน รวมทั้งชิ้นส่วนๆ อื่น จากนั้นนำตัวถังที่ทำจากเหล็กแผ่น SS400 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ตัดโค้งให้ได้ตามรัศมี 400 มิลลิเมตร มาเชื่อมประกอบเข้ากับโครงเครื่องดังรูปที่ ข.1 ข) และสร้างช่องทางเข้าสำหรับป้อนวัตถุดิบ โดยมีขนาดความกว้างเท่ากับ 490 มิลลิเมตร ความสูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร พร้อมทั้งสร้างทางออกและถาดรองวัตถุดิบสำหรับปล่อยวัตถุดิบออกจากตัวถัง



ก)



ข)

รูปที่ ข.1 โครงเครื่องและตัวถัง

1.2 ฝาถัง นำเหล็กแผ่น SS400 ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร มาตัดให้ได้ตามท่อกแบบไว้ แล้วทำการเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ ข.2 (ก) จากนั้นเจาะรูด้านบนฝาถังเพื่อสำหรับติดตั้งท่อระบายความชื้น ดังรูปที่ ข.2 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.2 ฝาปิด

1.3 ชุดใบกวน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ผู้วิจัยได้ออกแบบชุดใบกวนช่วยให้เพิ่มความสามารถในการกระจายตัววัตถุดิบได้อย่างทั่วถึงทำให้สามารถไล่ความชื้นที่สะสม

อยู่ในวัตถุดิบได้เร็วขึ้น ชุดไบกวนประกอบด้วยไบกวน ดังรูปที่ ข.3 และเพลลา ดังรูปที่ ข.4 โดยไบกวน ทำจากเหล็ก SS400 มีรัศมีในการกววน 300 มิลลิเมตร ความยาว 1,356 มิลลิเมตร ออกแบบให้มีการ กวน 2 ทิศทาง ไบกวนด้านในจะกววนให้วัตถุดิบไหลออกด้านข้าง ไบกวนด้านนอกจะกววนวัตถุดิบไหล เข้ามาที่กึ่งกลางตัวถัง ซึ่งไบกวนมีดุมที่เจาะรูตรงกลางเพื่อสวมเข้ากับเพลลา ในส่วนของเพลลาทำจาก เหล็ก S45C ทำการกลึงจนได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความยาว 1,944 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.3 ไบกวน



รูปที่ ข.4 เเพลลา

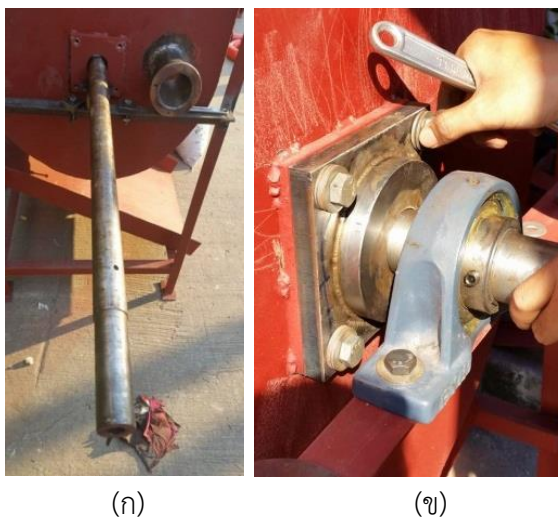
1.4 ห้องเผาไหม้ นำเหล็กแผ่นบาง ความหนา 3 มิลลิเมตร มาตัดให้ได้ตามขนาดที่กำหนด แล้วนำมาเชื่อมประกอบเป็นห้องเผาไหม้ขนาด 600 X 600 X 600 มิลลิเมตร จากนั้นนำเหล็กกล่อง ขนาด 50 X 50 X 3 มิลลิเมตร มาเชื่อมประกอบเข้ากับห้องเผาไหม้เพื่อให้สูงจากพื้น 500 มิลลิเมตร เจาะรูด้านหน้าสำหรับติดตั้งชุด เบรินเนอร์ และเจาะรูด้านหลังสำหรับต่อท่อลมร้อนเข้ากับตัวถัง ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 ห้องเผาไหม้

2 การประกอบเครื่องอบแห้งชีวมวล

2.1 นำชุดไบกวน ประกอบเข้ากับตัวถัง โดยการนำไบกวนวางในตัวถังแล้วสวมเพลลาจาก ด้านนอกตัวถัง ดังรูปที่ ข.6 ก) และติดตั้งชุดลูกปืนและบูช โดยการสวมบูชเข้ากับเพลลาและทำการยึด เข้ากับตัวถังด้วยสกรู เมื่อทำการติดบูชเรียบร้อยแล้ว นำลูกปืนสวมกับเพลลาและทำการติดตั้งกับโครง เครื่อง เพื่อรองรับน้ำหนักและการหมุนของไบกวน ดังรูปที่ ข.6 ข)



รูปที่ ข.6 ประกอบเพลลาและไบกวน

2.2 ติดตั้งชุดลมร้อน โดยนำห้องเผาไหม้ต่อเข้ากับตัวถัง และติดตั้งหัวเบิร์นเนอร์และโซลิ นอยด์วาล์วซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเปิด ปิดก๊าซ LPG ซึ่งติดตั้งเข้ากับห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 ติดตั้งชุดลมร้อน

2.3 นำฝาลังมาประกอบเข้ากับตัวถัง จากนั้นนำโบลเวอร์มาติดตั้งบริเวณท่อลมออก เพื่อทำ การดูดลมร้อน ดังรูปที่ ข.8



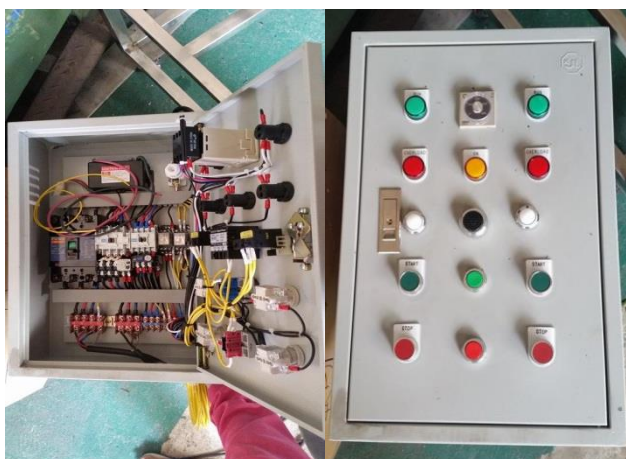
รูปที่ ข.8 การประกอบฝาถังและติดตั้งโบลเวอร์

2.4 ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า และตู้ควบคุม นำมอเตอร์ขนาด 5HP 3 เฟส ต่อเข้าเฟืองทดอัตราทด 1 ต่อ 60 ด้วยคัปปลิ่ง เพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนชุดใบกวน ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า

2.5 ติดตั้งตู้ควบคุมไฟฟ้า เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งชีวมวล ประกอบด้วย แมกเนติกคอนแทคเตอร์ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน สวิตช์เปิดปิด หลอดไฟแสดงการทำงาน อุปกรณ์ตั้งอุณหภูมิ อุปกรณ์จุดติดไฟอัตโนมัติ ดังรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.10 ตู้ควบคุมไฟฟ้า

2.6 ทำสีเครื่องอบแห้งชีวมวล ดังรูปที่ ข.11



รูปที่ ข.11 เครื่องอบแห้งชีวมวล

3 การเตรียมวัตถุดิบ



รูปที่ ข.12 ชั่งน้ำหนักขี้เลื่อย



รูปที่ ข.13 เพิ่มความชื้น



รูปที่ ข.14 นำชี้เลื่อยใส่เครื่องอบ



รูปที่ ข.15 เก็บตัวอย่างชี้เลื่อย

4 การทดสอบ



รูปที่ ข.16 นำแผ่นฟอยล์มาพับเป็นถ้วย



รูปที่ ข.17 นำถ้วยฟอยล์เข้าเตาอบ และนำถ้วยฟอยล์ออกจากเตาอบ



รูปที่ ข.18 ชั่งน้ำหนักถ้วยฟอยล์



รูปที่ ข.19 นำขี้เลื่อยใส่ถ้วยฟอยด์และชั่งน้ำหนัก และนำเข้าเตาอบ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ ข.20 เมื่อนำออกมาจากเตาอบ นำมาใส่ในโถสุญญากาศ ใช้เวลา 30 นาที



รูปที่ ข.21 นำออกจากโถสุญญากาศแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และจดค่าน้ำหนักที่ได้

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบ

ตารางที่ ค.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบอบแห้งฟางข้าว

ความชื้น เริ่มต้น (%)	เวลา (นาทื)	ความชื้นหลังการอบ (%)					ค่าเฉลี่ย ความชื้น (%)
		1	2	3	4	5	
20	10	14.4	14.4	14.11	13.7	13.9	14.1
	20	12.5	12.4	12.3	12.8	12.6	12.5
	30	11.1	10.5	10.8	10.5	11.2	10.8
	40	7.9	8.4	7.8	7.5	8.3	8.0
	50	7.1	7.0	6.3	7.1	6.9	6.9
	60	5.5	5.2	5.8	5.2	5.1	5.4
25	10	15.7	16.5	16.2	15.3	16.1	16.0
	20	13.8	13.9	14.4	14.1	13.8	14.0
	30	12.8	9.7	10.5	12.5	12.1	11.5
	40	10.9	11.6	11.8	10.9	9.7	11.0
	50	9.4	8.1	9.2	8.5	7.8	8.6
	60	6.0	5.4	7.2	5.9	5.8	6.1
30	10	23.8	24.5	24.7	21.4	23.6	23.6
	20	19.1	18.1	17.5	18.2	17.3	18.0
	30	16.2	15.4	14.9	14.3	14.2	15.0
	40	14.0	12.5	13.1	13.0	12.5	13.0
	50	10.7	10.5	9.2	10.1	9.4	10.0
	60	8.4	7.3	8.1	7.5	8.6	8.0
35	10	26.8	26.3	25.4	25.7	26.0	26.0
	20	25.2	24.2	24.5	24.9	25.0	24.8
	30	21.6	20.9	22.4	22.6	20.9	21.7
	40	20.4	19.5	20.4	20.1	19.8	20.0
	50	16.6	17.4	18.1	16.8	17.2	17.2
	60	14.8	15.9	15.7	14.8	15.8	15.4
40	10	32.8	33.1	30.2	31.6	32.5	32.0
	20	28.4	28.1	27.7	26.4	27.1	27.5
	30	25.3	24.7	26.2	25.2	25.9	25.5
	40	23.4	22.7	22.3	22.7	23.8	23.0
	50	20.6	21.8	21.1	20.0	21.5	21.0
	60	18.3	19.0	18.6	17.4	18.2	18.3

ตารางที่ ค.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบอบแห้งซังข้าวโพด

ความชื้นเริ่มต้น (%)	เวลา (นาทีก)	ความชื้นหลังการอบ (%)					ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)
		1	2	3	4	5	
20	10	13.0	14.2	12.5	13.1	12.4	13.0
	20	12.4	11.7	12.2	10.9	11.8	11.8
	30	10.2	9.5	9.6	10.4	9.7	9.9
	40	7.6	8.2	8.1	9.0	7.8	8.1
	50	6.3	6.5	6.3	6.1	7.0	6.4
	60	5.3	4.8	5.7	4.9	5.1	5.2
25	10	16.0	14.4	14.7	15.0	15.1	15.0
	20	14.5	13.7	14.6	13.9	14.5	14.2
	30	11.8	11.9	10.9	10.8	11.5	11.4
	40	9.8	10.2	9.6	9.5	10.2	9.9
	50	7.8	8.3	7.2	8.5	7.2	7.8
	60	7.0	5.9	6.6	7.2	6.8	6.7
30	10	23.1	21.3	20.4	20.1	20.9	21.2
	20	17.8	18.4	16.1	16.2	17.0	17.1
	30	15.5	14.5	14.9	14.7	14.3	14.8
	40	13.1	13.5	13.2	13.0	13.3	13.2
	50	9.7	10.9	10.5	10.9	9.5	10.3
	60	9.0	8.7	8.2	8.3	8.6	8.6
35	10	24.6	25.1	26.1	24.7	25.5	25.2
	20	23.2	23.7	24.0	22.9	23.0	23.4
	30	21.5	21.8	20.5	22.1	20.9	21.4
	40	18.6	17.6	19.3	19.7	19.2	18.9
	50	17.0	17.2	16.4	17.1	16.0	16.7
	60	15.8	14.9	14.6	15.7	15.2	15.2
40	10	32.1	33.0	29.5	29.6	31.0	31.0
	20	26.8	25.8	26.1	26.0	25.6	26.1
	30	24.9	24.4	24.0	24.2	24.5	24.4
	40	23.9	24.0	23.7	22.5	22.3	23.3
	50	21.0	19.7	21.8	21.1	20.0	20.7
	60	18.2	17.9	18.7	18.2	19.1	18.4

ตารางที่ ค.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบอบแห้งซีเมนต์

ความชื้นเริ่มต้น (%)	เวลา (นาทีก)	ความชื้นหลังการอบ (%)					ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)
		1	2	3	4	5	
20	10	13.5	15.3	14.1	13.5	13.6	14.0
	20	13.6	12.4	10.7	11.6	12.6	12.2
	30	11.5	9.4	10.6	11.2	9.8	10.5
	40	9.1	9.4	8.6	8.3	8.2	8.7
	50	6.9	7.2	6.8	7.6	6.9	7.1
	60	6.8	6.0	6.7	4.5	7.6	6.3
25	10	16.4	17.0	15.8	16.9	15.8	16.4
	20	14.1	14.0	15.2	13.7	14.1	14.2
	30	13.8	12.9	11.7	13.4	11.9	12.7
	40	11.5	11.1	11.5	10.5	10.8	11.1
	50	9.3	8.8	8.6	8.2	7.2	8.4
	60	6.0	6.9	7.1	6.4	7.8	6.8
30	10	22.5	23.0	21.7	21.2	23.6	22.4
	20	18.3	21.1	19.7	20.1	18.9	19.6
	30	16.9	17.2	16.4	16.4	15.7	16.5
	40	13.4	13.2	12.5	13.0	12.1	12.8
	50	11.7	11.0	11.5	10.1	10.0	10.9
	60	7.0	7.3	6.5	9.7	6.8	7.5
35	10	27.0	28.1	28.3	26.4	25.4	27.0
	20	26.2	24.4	24.4	25.4	25.0	25.1
	30	23.0	23.2	20.4	23.6	22.4	22.5
	40	19.0	18.9	20.3	18.9	19.1	19.2
	50	17.3	17.4	18.5	18.0	17.0	17.6
	60	15.4	14.3	14.9	15.0	16.0	15.1
40	10	31.1	29.6	31.5	29.6	30.3	30.4
	20	28.8	28.7	26.5	25.9	27.1	27.4
	30	26.7	25.1	26.9	25.3	24.5	25.7
	40	23.7	24.3	24.0	22.4	22.8	23.4
	50	22.7	20.0	21.4	21.3	20.4	21.2
	60	19.0	18.1	16.9	17.4	17.2	17.7

ตารางที่ ค.4 ตารางบันทึกผลการทดสอบบ่อแห้งซีล้อย

ความชื้น เริ่มต้น (%)	เวลา (นาท)	ความชื้นหลังการอบ (%)					ค่าเฉลี่ย ความชื้น (%)
		1	2	3	4	5	
20	10	14.5	13.0	14.1	13.5	12.9	13.6
	20	12.2	12.3	11.7	12.0	12.4	12.1
	30	10.8	9.4	10.6	10.2	10.1	10.2
	40	8.3	8.4	8.2	8.6	8.3	8.4
	50	7.1	7.0	6.3	7.1	6.9	6.9
	60	5.9	5.8	5.8	5.2	5.6	5.7
25	10	18.6	14.6	10.7	15.4	16.1	15.1
	20	12.9	12.0	16.9	12.9	14.0	13.7
	30	12.8	10.9	10.5	11.6	11.3	11.4
	40	10.5	11.1	11.2	10.5	9.8	10.6
	50	8.8	9.3	8.2	8.6	7.2	8.1
	60	6.0	6.4	7.6	6.9	6.4	6.6
30	10	21.1	20.0	21.7	20.6	19.6	20.6
	20	19.3	18.5	19.7	18.2	17.9	18.7
	30	17.1	16.8	15.9	14.7	14.7	15.8
	40	14.5	13.5	13.5	13.0	13.3	13.6
	50	11.7	10.9	11.2	10.1	11.0	11.0
	60	9.0	8.3	8.5	8.7	8.9	8.7
35	10	27.0	26.1	26.7	25.7	24.4	26.0
	20	26.2	24.2	26.5	24.9	24.0	25.2
	30	23.6	22.9	22.4	21.6	21.9	21.5
	40	20.4	18.5	20.4	18.7	19.8	19.6
	50	17.4	17.2	18.4	18.1	17.2	17.7
	60	15.8	15.9	16.4	16.0	15.2	15.9
40	10	30.2	30.6	31.2	30.6	31.5	30.8
	20	27.7	28.1	26.8	26.0	25.6	26.8
	30	26.9	25.4	27.0	25.2	25.5	26.0
	40	23.9	24.0	24.0	22.3	22.7	23.3
	50	21.0	22.7	21.8	20.3	20.4	21.2
	60	19.3	19.5	18.9	18.4	18.2	18.8

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการลงทุน และการบริหารจัดการด้านกระบวนการผลิต ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ดังนี้

ต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล สามารถแบ่งค่าใช้จ่ายต่างๆออกเป็น 2 ส่วนคือ ดังนี้

1) ราคาทำเครื่อง และส่วนประกอบต่างๆ

1.1 ตัวถัง, โครงเครื่อง ฝาปิดด้านบน, ถาดรองวัตถุดิบ	55,000 บาท
1.2 ชุดใบกวน	25,000 บาท
1.3 ห้องเผาไหม้	7,000 บาท

2) อุปกรณ์ประกอบเครื่อง

2.1 มอเตอร์ 3 เฟส 5 แรงม้า	6,500 บาท
2.2 ชุดเฟืองทด	5000 บาท
2.3 พัดลมโบลเวอร์	7,500 บาท
2.4 โซ่ส่งกำลัง	1200 บาท
2.5 ตู้ควบคุม	15,000 บาท
2.6 ถังแก๊ส	2,400 บาท
2.7 หัวเผาไหม้แก๊ส, ถังจุกติดอัตโนมัติ	4,000 บาท
2.8 สายไฟ ขนาดต่างๆ	15,000 บาท
2.9 ชิ้นส่วนมาตรฐาน	500 บาท
2.10 ค่าสี	2,000 บาท

รวม 146,100 บาท

ต้นทุนในการผลิต

1) อัตราค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าคิดจากอัตราค่าไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก ที่อัตราปกติ โดยมีแรงดันไฟฟ้าในโรงงานอยู่ระหว่าง 22-33 กิโลโวลต์ มีอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า 3.4230 บาท/หน่วย [25] เนื่องจากเครื่องอบแห้งชีวมวลใช้มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า และ 0.5 แรงม้า ดังนั้นการคำนวณหาอัตราการใช้ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{มอเตอร์ขนาด 5.5 แรงม้า} &= 5.5 \times 746 = 4,103 \text{ วัตต์} \\
 \text{ไฟฟ้า 1 หน่วย} &= \text{ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ ใน 1 ชั่วโมง} \\
 \text{ดังนั้น ค่าไฟฟ้าในการทำงาน 1 ชั่วโมง} &= (4,103 \text{ วัตต์} / 1,000 \text{ วัตต์}) \times 3.4230 \text{ บาท/หน่วย} \\
 \therefore &= 14.045 \text{ บาท/ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

2) ราคาเชื้อเพลิง

คณะผู้จัดทำดำเนินการทดสอบหาค่าใช้จ่ายในการรอบไล่ความชื้นของเครื่องอบแห้งชีวมวล ใช้เวลาในการรอบไล่ความชื้น 1 ชั่วโมง สิ้นเปลืองก๊าซ LPG ในการอบ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยก๊าซ LPG 1 ถัง น้ำหนัก 15 กิโลกรัม ราคา 395 บาท [26] ดังนั้น

$$15 \text{ กิโลกรัม} = 395 \text{ บาท}$$

$$1 \text{ กิโลกรัม} = 395/15$$

$$1 \text{ กิโลกรัม} = 26.33 \text{ บาท}$$

3) ค่าแรงงาน

ในกระบวนการบดย่อยชีวมวล ใช้คนงานในการควบคุมเครื่องบดย่อยชีวมวล 1 คน มีค่าแรงงาน 300 บาท/วัน ตามอัตราค่าจ้างขั้นต่ำ

ภาคผนวก จ
ตัวอย่างการคำนวณ

1. ปริมาณความชื้น

จากการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ 1.8 กรัม พบว่ามีน้ำหนักถั่วและตัวอย่างก่อนอบ 3.4 กรัม

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

$$M = \frac{3.4g - 3.2}{1.6} \times 100$$

$$\therefore = 11.1\%$$

2. อัตราการอบแห้ง

จากการทดสอบอบแห้งชีวมวลที่น้ำหนักก่อนการอบ 70 กิโลกรัม ทำการอบแห้งที่ระยะเวลา 75.4 นาที มีน้ำหนักหลังการอบแห้ง 50 กิโลกรัม

$$DR = \frac{m_{pi} - m_{pf}}{t}$$

$$DR = \frac{70 \text{ kg} - 50 \text{ kg}}{1.2 \text{ hr}}$$

$$\therefore = 16.60 \text{ MJ / kg}$$

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

จากการทดสอบอบแห้งชีวมวลที่น้ำหนักก่อนการอบ 70 กิโลกรัม ทำการอบแห้งที่ระยะเวลา 75.4 min มีน้ำหนักหลังการอบแห้ง 50 กิโลกรัม โดยเครื่องอบแห้งชีวมวลใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 hp และ 0.5 hp ใช้พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG 1.25 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อน (HHV) 49.7 MJ/kg [20]

$$\text{พลังงานความร้อนจากก๊าซ LPG} = 49.7 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 1.20 \text{ kg}$$

$$\therefore = 59.789 \text{ MJ}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = 5.5 \text{ hp} \times 1.20 \text{ hr}$$

$$\therefore = 17.718 \text{ MJ}$$

$$SEC = \frac{E_2}{m_{pi} - m_{pf}}$$

$$SEC = \frac{59.789 \text{ MJ} + 17.718 \text{ MJ}}{70 \text{ kg} - 50 \text{ kg}}$$

$$\therefore = 3.88 \text{ MJ}$$

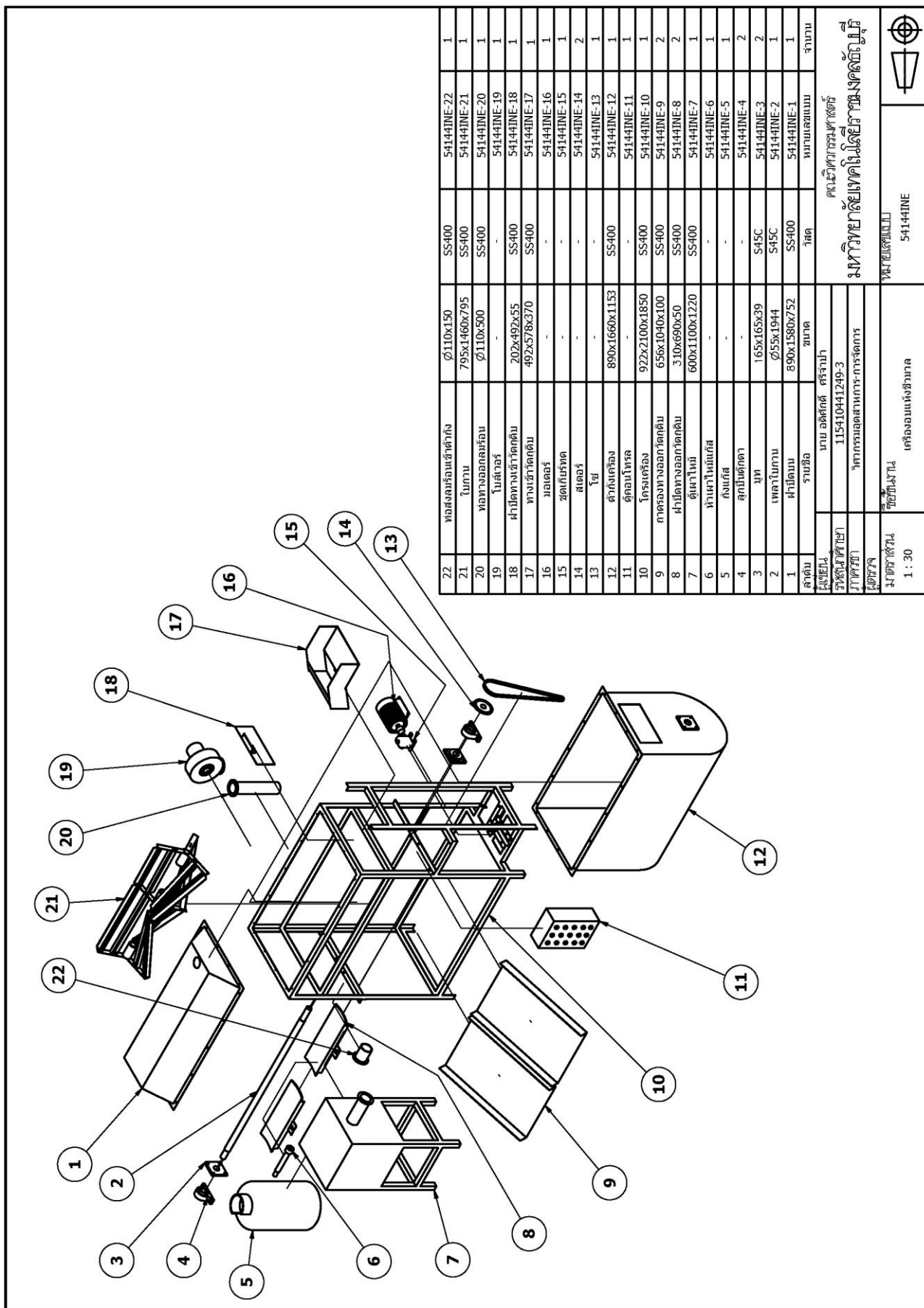
ภาคผนวก ฉ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และกิจกรรมที่วางแผนไว้

ตารางที่ ๑.1 เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และกิจกรรมที่วางแผนไว้

ระยะ เวลา	กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ (%)	ผลที่ได้
เดือน 1-2	- ค้นหาข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และ ออกแบบเครื่องอบแห้งชีวมวล	100 (%)	- ข้อมูลอ้างอิงการออกแบบเครื่องอบ แห้งชีวมวล และโมเดลต้นแบบ เครื่องอบแห้งชีวมวล
เดือน 3-6	- ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล	100 (%)	- โมเดลต้นแบบเครื่องอบแห้งชีวมวล และเครื่องอบแห้งชีวมวล
เดือน 7-12	- ทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพ เครื่องอบแห้งชีวมวล - เผยแพร่ผลงานวิจัย โดยการจัดสัมมนา ให้กับกลุ่มเป้าหมาย และดำเนินการจัดทำ บทความวิชาการเพื่อเผยแพร่ในงาน ประชุมวิชาการ/วารสารทาง วิชาการ	100 (%)	- เครื่องอบแห้งชีวมวล, กระบวนการ อบแห้งชีวมวล - เผยแพร่ผลงานงานวิจัย ในการ ประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบ พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8

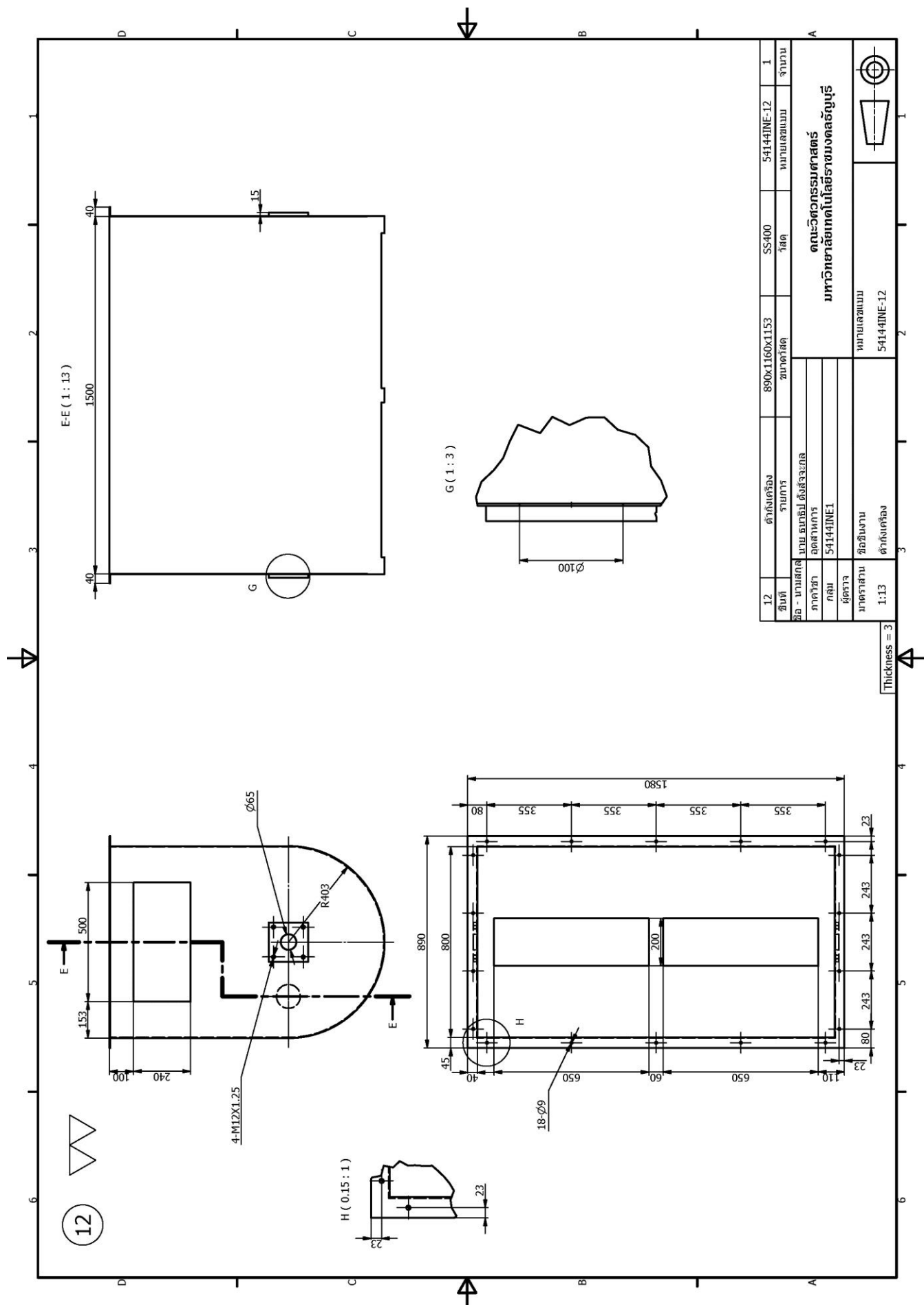
ภาคผนวก ข
แบบเครื่องอบแห้งชีวมวล

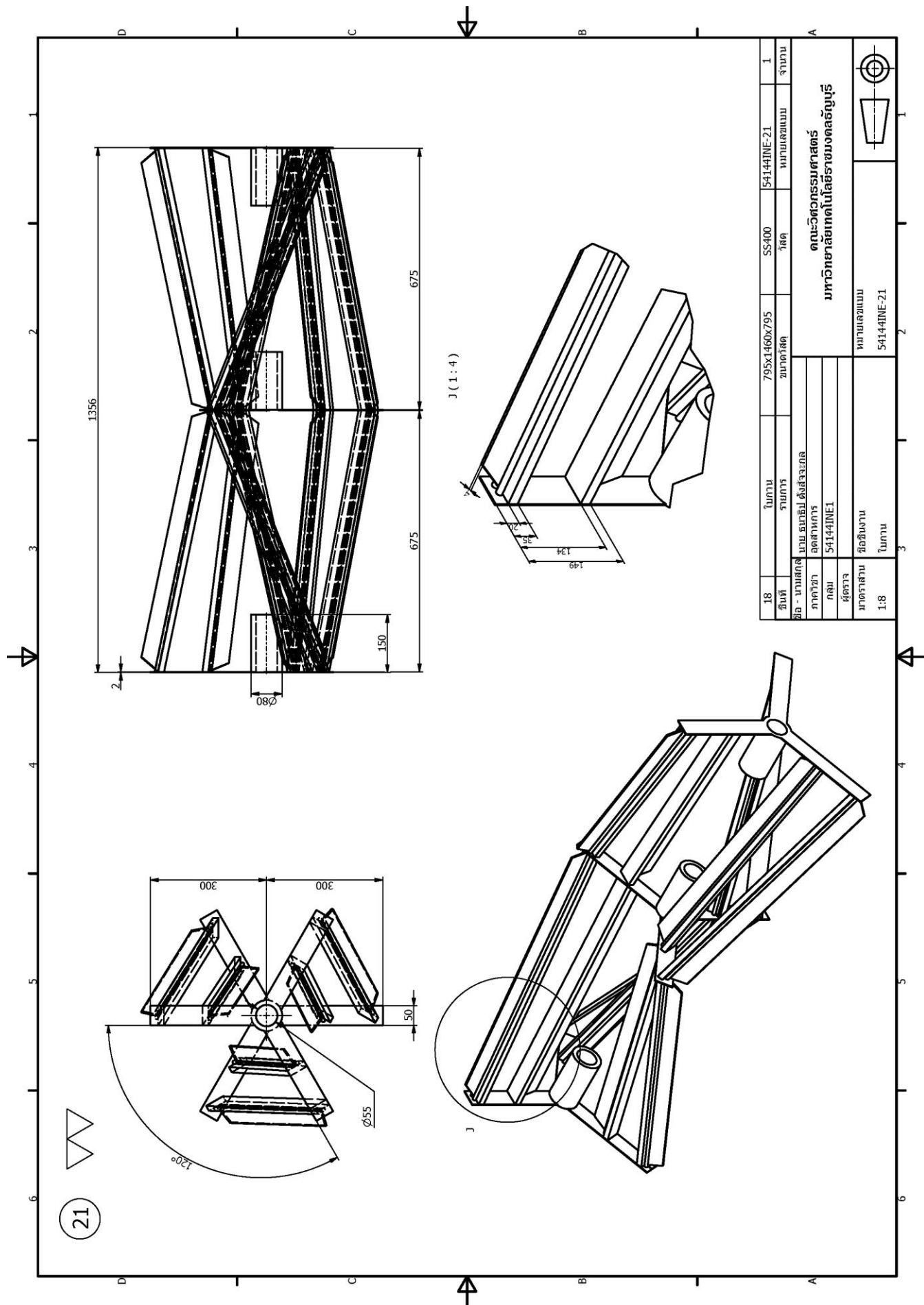


22	ท่อส่งลมร้อนเข้าตัวถัง	Ø110x150	SS400	54144INE-22	1
21	ใบถ่าน	795x1460x795	SS400	54144INE-21	1
20	ท่อทางออกลมร้อน	Ø110x500	SS400	54144INE-20	1
19	ใบสไลด์	-	-	54144INE-19	1
18	ฝาปิดทางเข้าท่อคอดัม	202x492x55	SS400	54144INE-18	1
17	ทางเข้าท่อคอดัม	492x578x370	SS400	54144INE-17	1
16	มอเตอร์	-	-	54144INE-16	1
15	ชุดเกียร์ทด	-	-	54144INE-15	1
14	สกรู	-	-	54144INE-14	2
13	ใบ	-	-	54144INE-13	1
12	ตัวถังเครื่อง	890x1660x1153	SS400	54144INE-12	1
11	โครงเหล็ก	-	-	54144INE-11	1
10	โครงเครื่อง	922x2100x1850	SS400	54144INE-10	1
9	ถาดรองทางออกท่อคอดัม	656x1040x100	SS400	54144INE-9	2
8	ฝาปิดทางออกท่อคอดัม	310x690x50	SS400	54144INE-8	2
7	ตุ้มน้ำไนท์	600x1100x1220	SS400	54144INE-7	1
6	หัวน้ำไนท์	-	-	54144INE-6	1
5	ถังเก็บ	-	-	54144INE-5	1
4	ลูกปัดเตา	-	-	54144INE-4	2
3	บุท	165x165x39	S45C	54144INE-3	2
2	เพลานำถ่าน	Ø25x1944	S45C	54144INE-2	1
1	ฝาปิดบน	890x1580x752	SS400	54144INE-1	1
ส่วนตัว	รายละเอียด	ขนาด	วัสดุ	หมายเหตุ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย อธิศักดิ์ ศรีงาม			คณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์	
ตรวจสอบ	115410441249-3			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ภาคศึกษา	วิทยาการคอมพิวเตอร์-การจัดการ				
ผู้ตรวจ					
มาตรฐาน	1 : 30				



54144INE

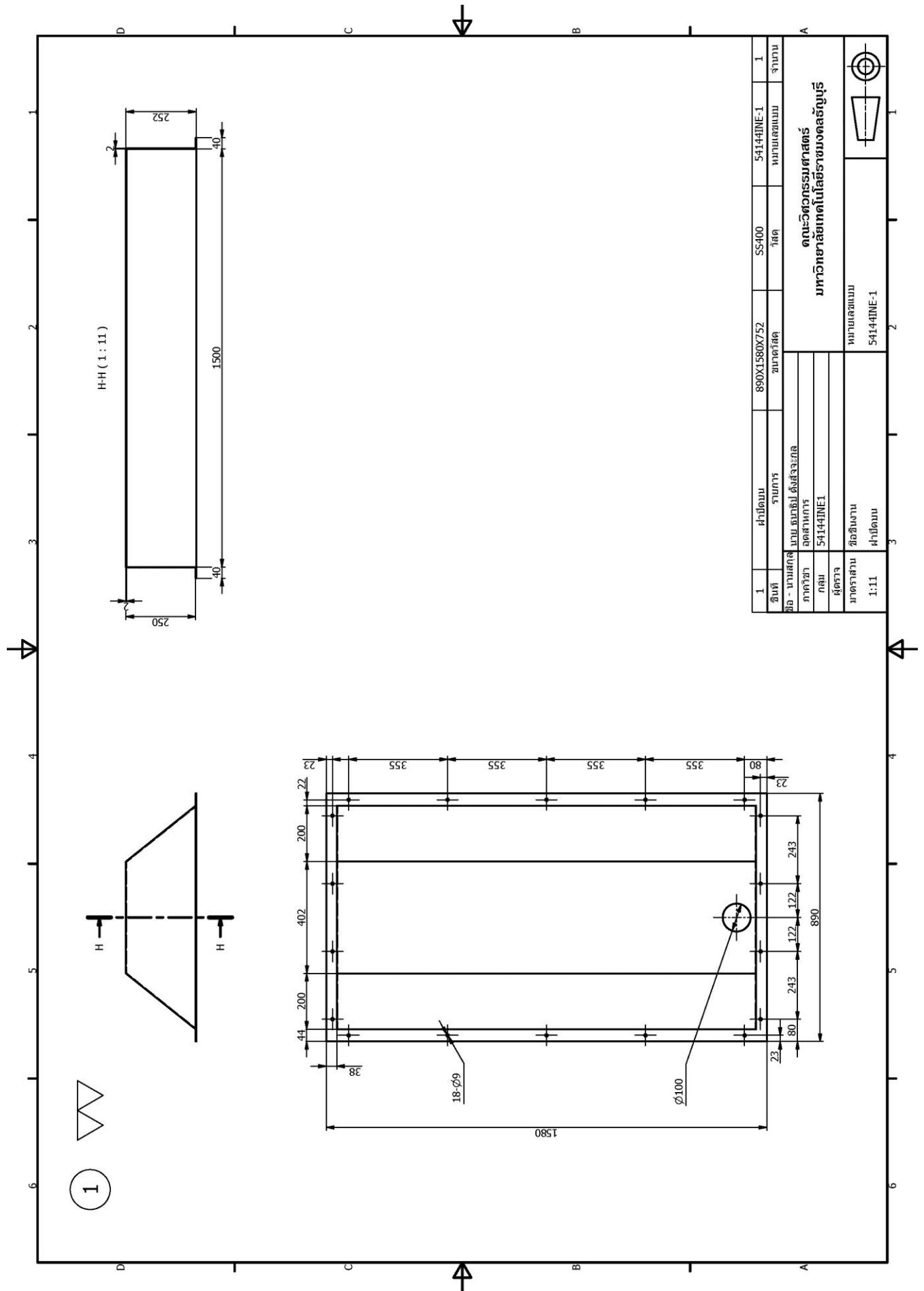


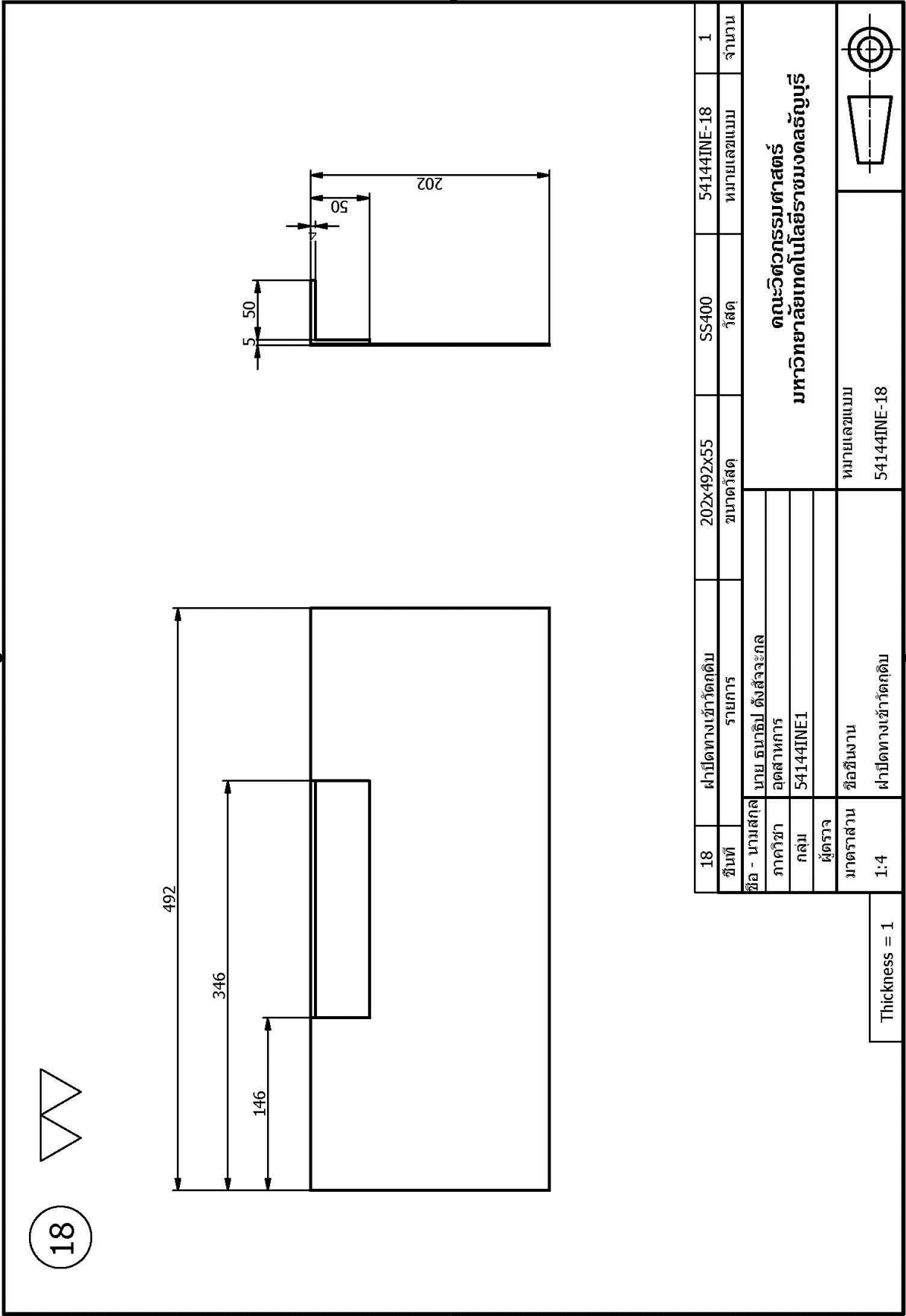


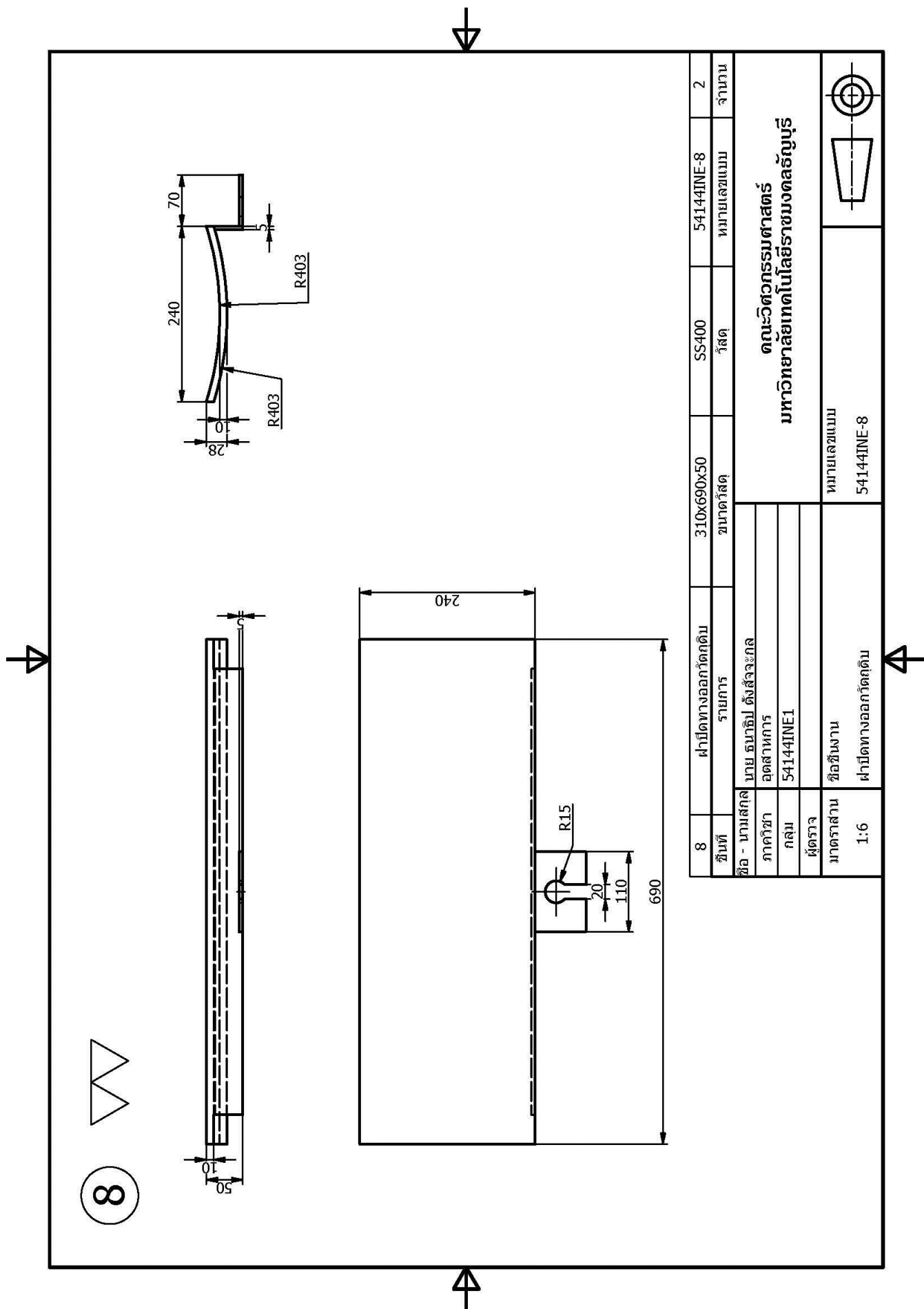
18	ใบงาน	795x1460x795	SS-400	54144INE-21	1
ชื่อ - นามสกุล	นาย อภิสิทธิ์ ดั่งสิงห์กุล	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	ขนาดแบบ	จำนวน
ภาควิชา	สถาปัตย์	ออกแบบ			
กลุ่ม	54144INE1				
ผู้ตรวจ					
มาตรฐาน	ชื่อสินค้า	ขนาดแบบ			
1:8	ใบงาน	54144INE-21			

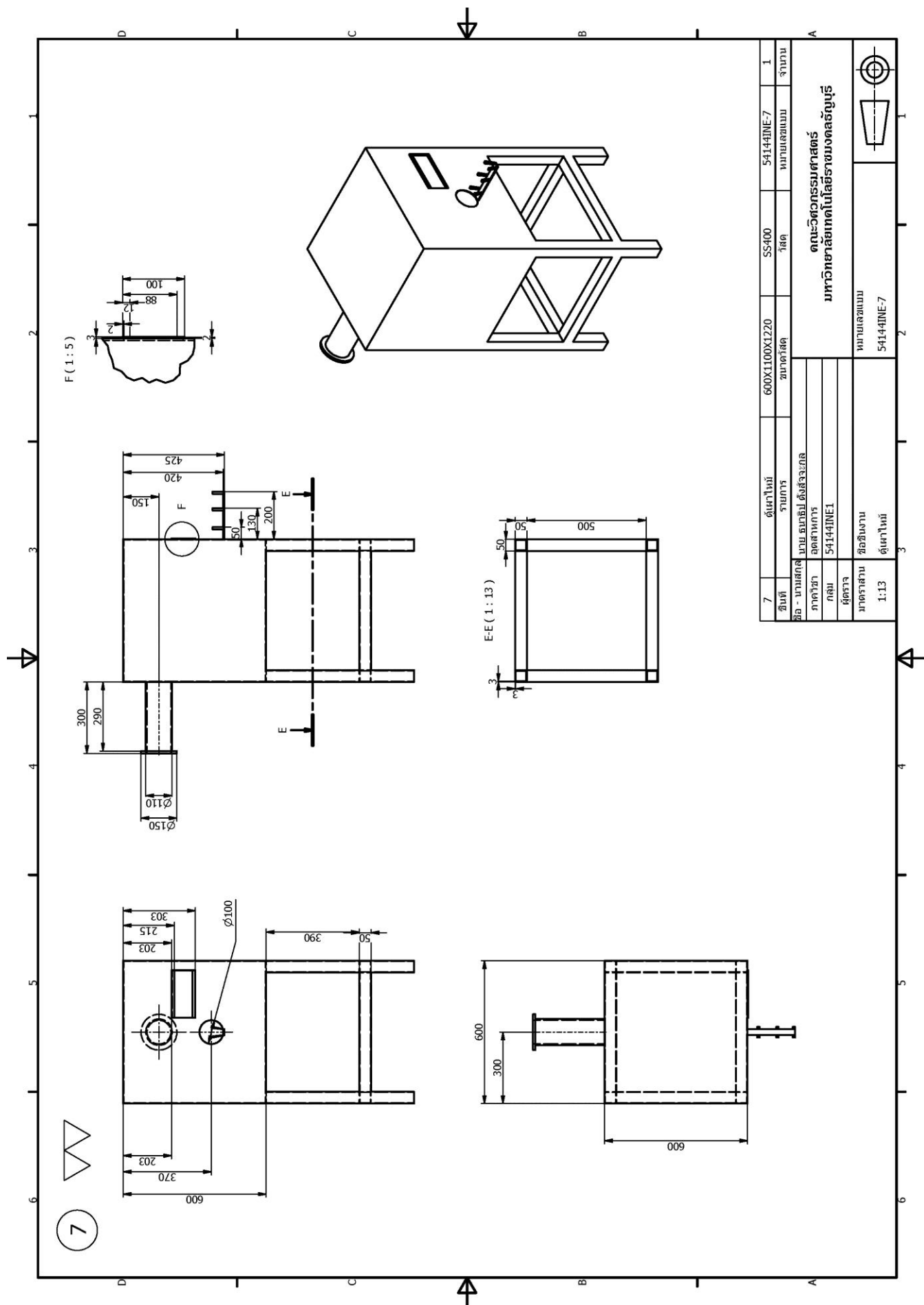
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

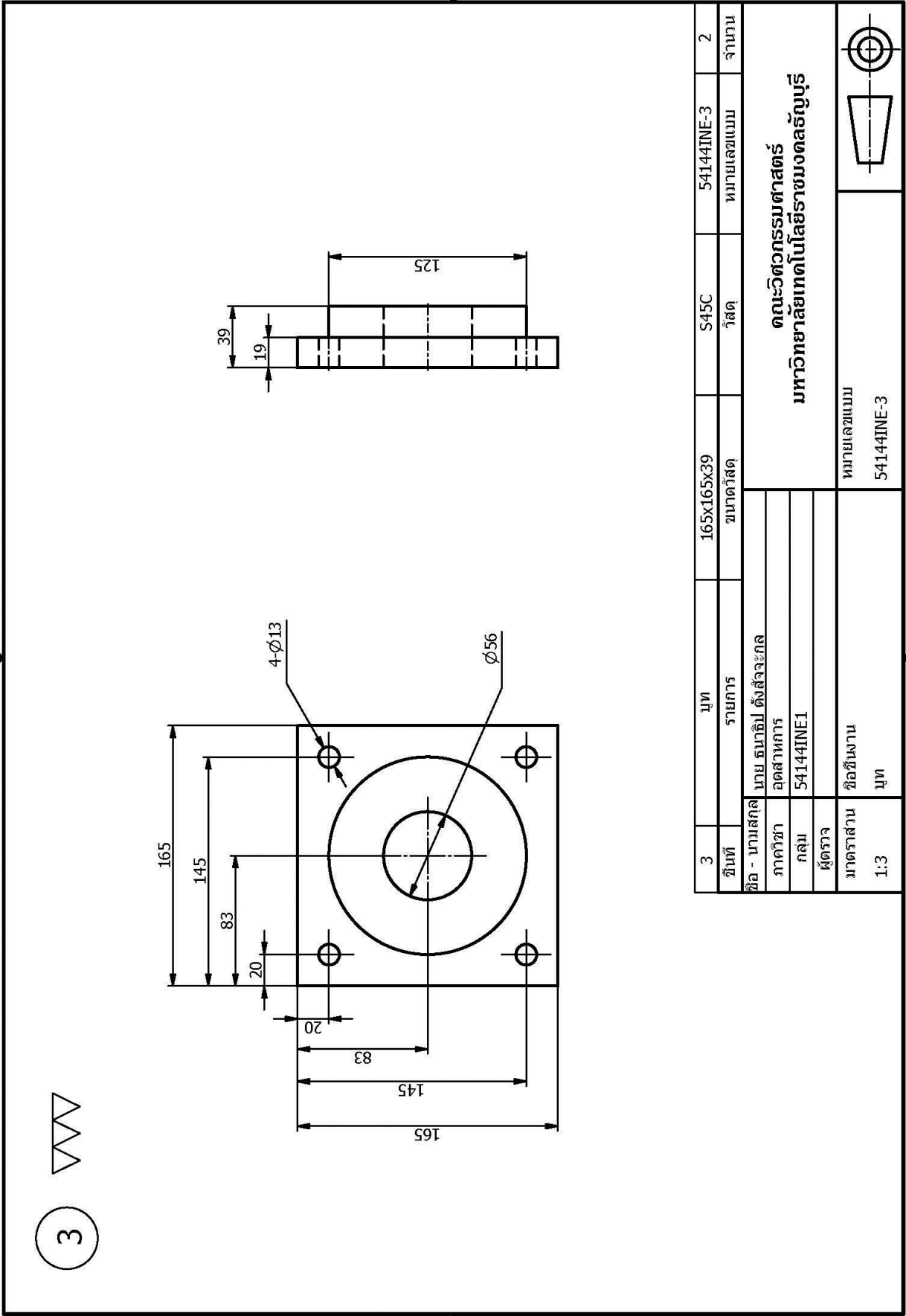


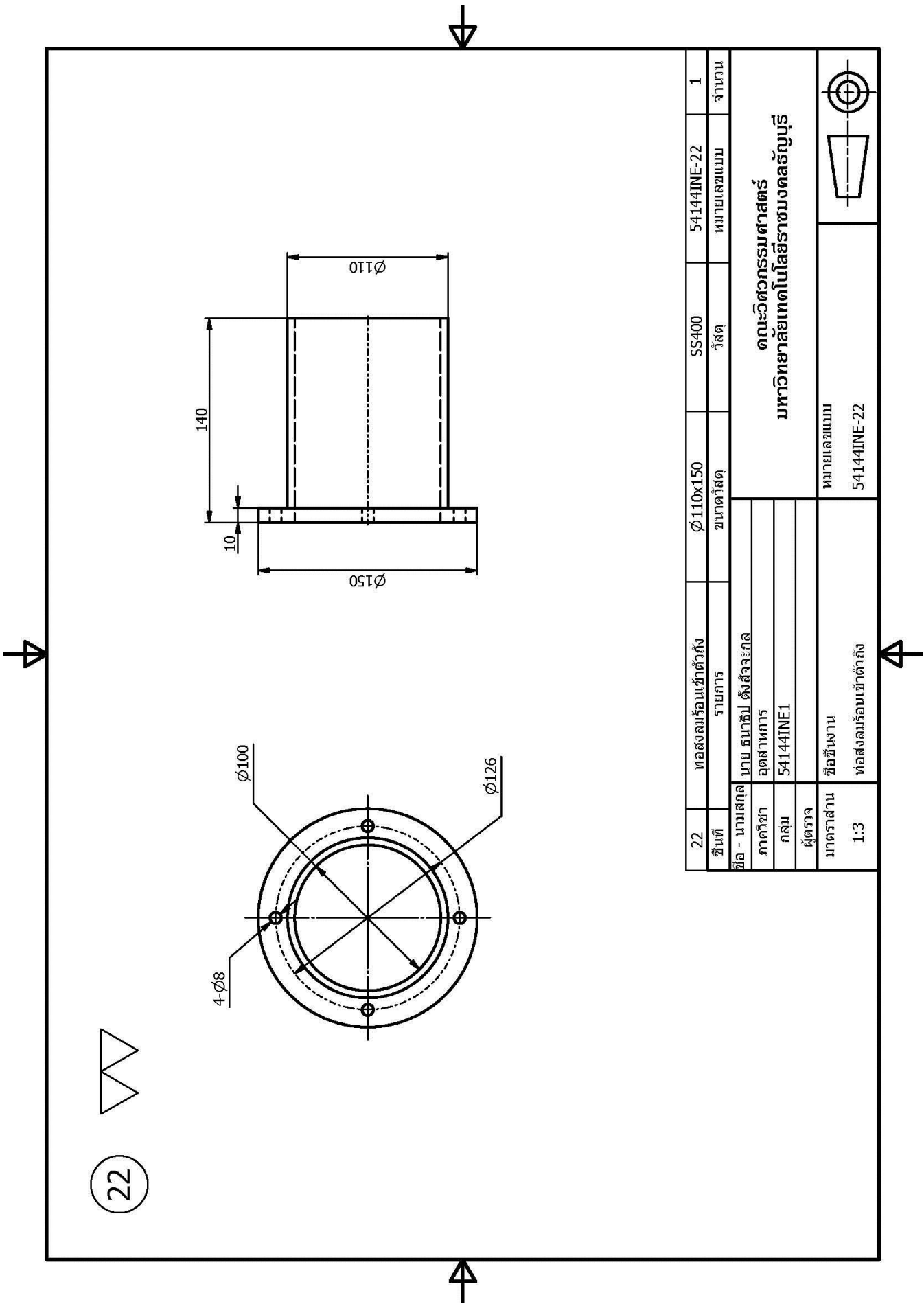


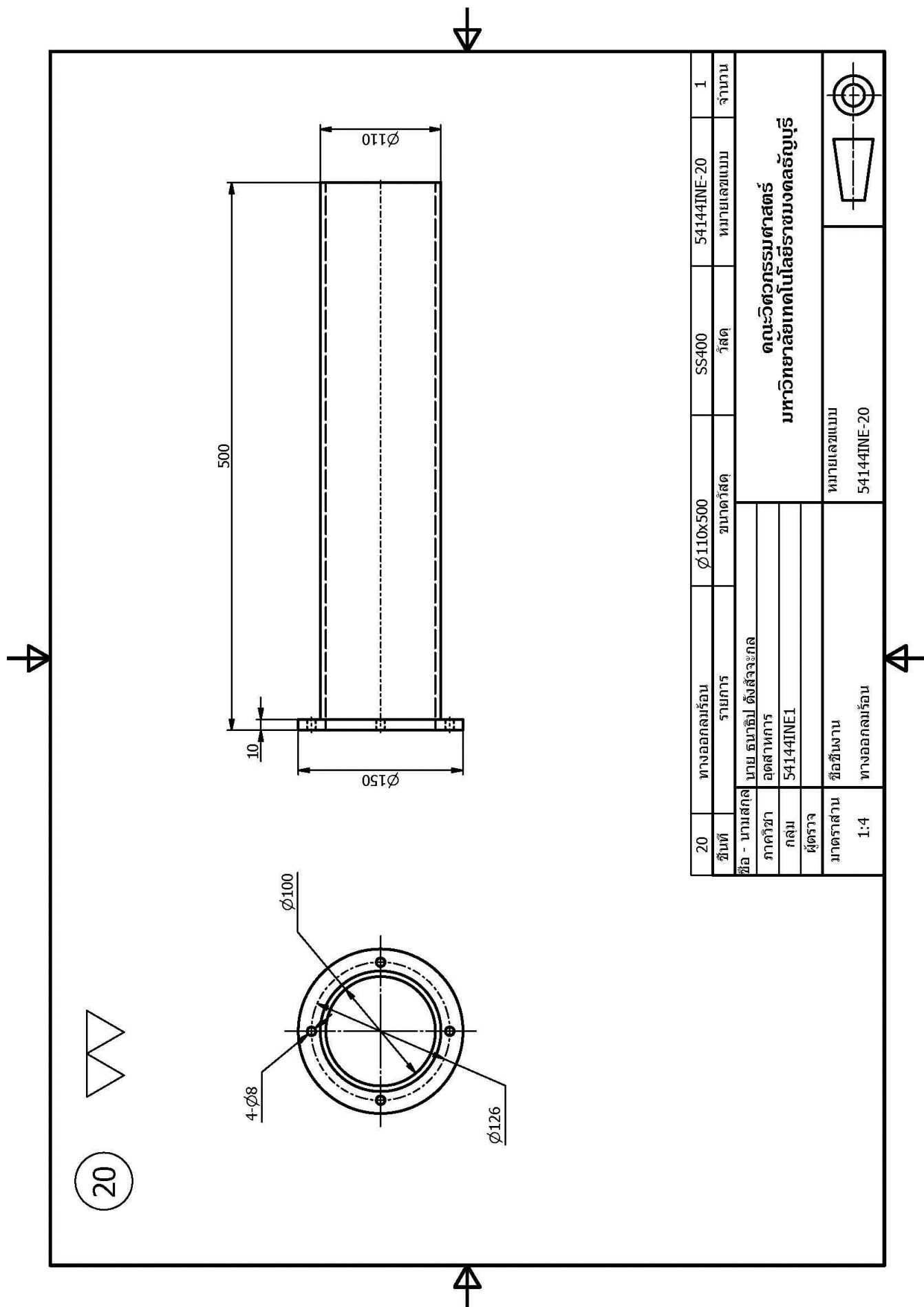


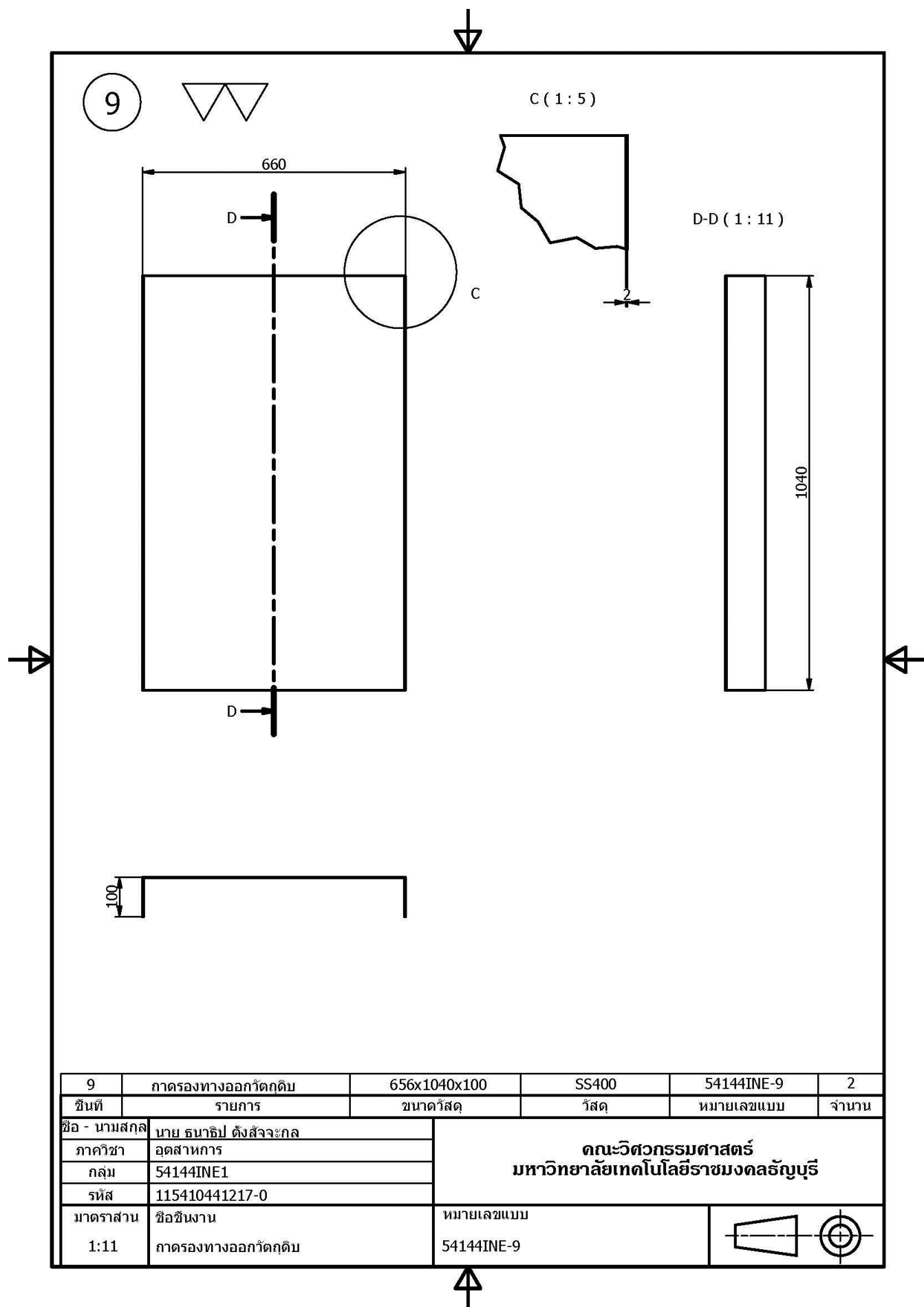


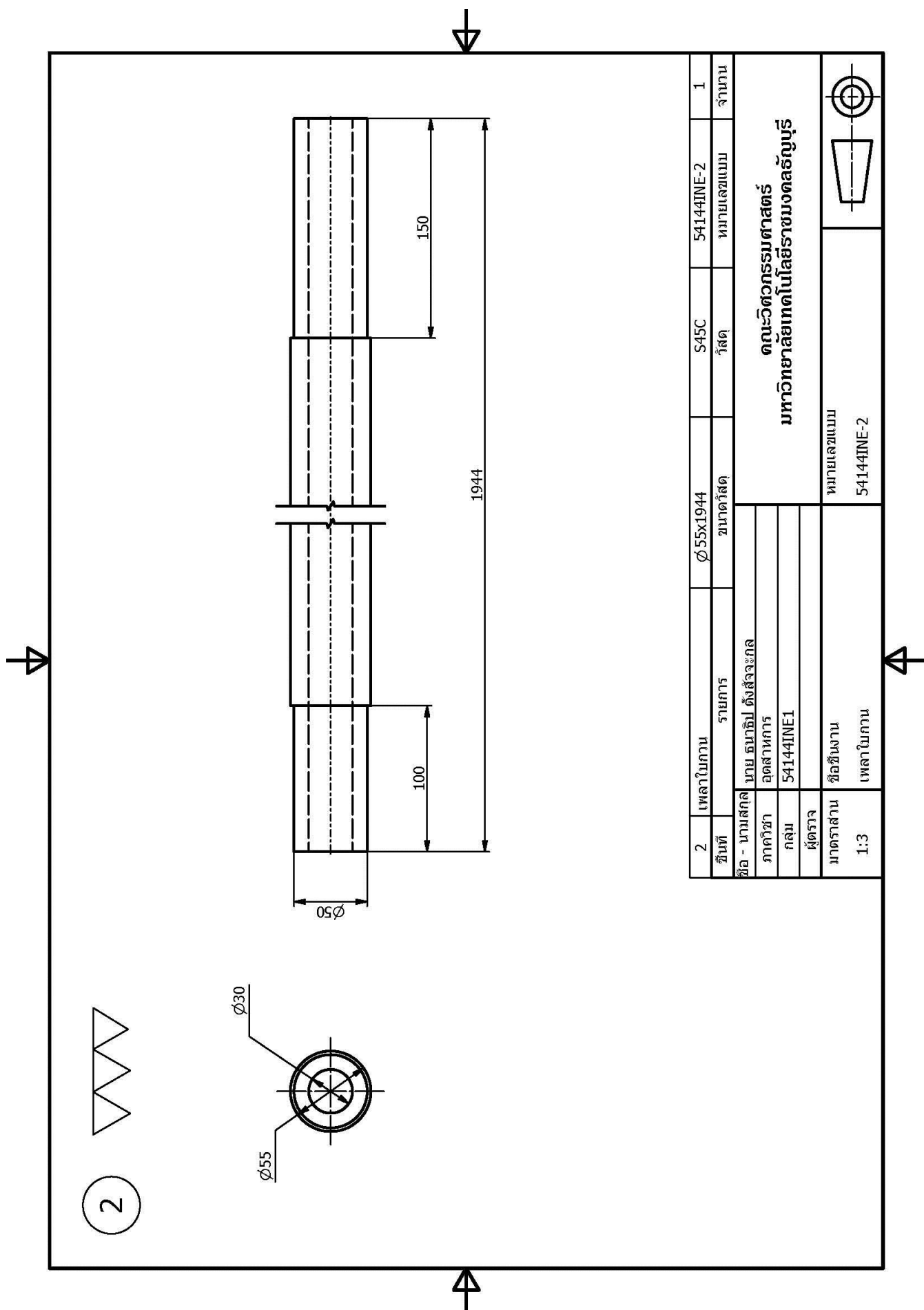












ภาคผนวก ซ

การเผยแพร่ผลงานงานวิจัย



การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8

4-6 พฤศจิกายน 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

T R E C 8

บ้านสินทรัพย์
โครงการ 3
ตำบลกาดทอง 4 (ตลาดลาดพร้าว)

ธอส
O.H. BANK
ธนาคารออมทรัพย์สหกรณ์

ptt
Group

IRPC
IRPC Public Company Limited

Thunya
Power Co., Ltd.
RMUTT
IRO



9. คณะกรรมการฝ่ายประเมินผล

9.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ	สนธิสมบัติ	ประธานกรรมการ
9.2 นายพัฒนพงศ์	สุนันทพจน์	กรรมการ
9.3 นายวินัย	จันทร์เพ็ญ	กรรมการและเลขานุการ
9.4 นางสาวอัญชลี	สีมอ	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

10. คณะกรรมการฝ่ายการเงินและบัญชี

10.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราชญ์	อัศวนรากุล	ประธานกรรมการ
10.2 นางสาวเมธธีรญา	เจตน์คุณาวังษ์	กรรมการ
10.3 นางสาวกานต์ศรีฐา	โพธิ์ศรี	กรรมการ
10.4 นางสาวนงนุช	เทียมวรรณ	กรรมการ
10.5 นางรัศมีภัส	อัศวนรากุล	กรรมการ
10.6 นางสาวฐิตาภัสร์	สิทธิอัมพลวุฒิ	กรรมการและเลขานุการ

11. คณะกรรมการพิจารณาบทความ

11.1 ศ.ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11.2 ศ.ดร.ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
11.3 ศ.ดร.สัมพันธ์	ฤทธิเดช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.4 รศ.ดร.สิงห์ทอง	พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.5 รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภักดีพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.6 ผศ.ดร.กษศร	หัสโรค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.7 ผศ.ดร.จักรี	ศรีนันท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.8 ผศ.ดร.เจนศักดิ์	เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.9 ผศ.ดร.นัฐพร	ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
11.10 ผศ.ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.11 ผศ.ดร.บุญยฤทธิ์	ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.12 ผศ.ดร.พัฒนาพล	มีนา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.13 ผศ.ดร. ยุทธนา	ทองท่วม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11.14 ผศ.ดร.วิรัช	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.15 ผศ.ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.16 ผศ.ดร.สรพงษ์	ภาสุปรีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.17 ผศ.ดร.โสรัตน์	มงคลมะไฟ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.18 ผศ.ดร.อำนาจ	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.19 ดร.ชาญวิทย์	บุญช่วย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.20 ดร.ธนิช	เรืองรุ่งชัยกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
11.21 ดร.ประจวบ	อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
11.22 ดร.ประสพโชค	โพทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.23 ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11.24 ดร.มนต์ชัย	พินิจจิตรสมุทร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11.25 ดร.มนตรี	สมดุยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.26 ดร.รัฐศักดิ์	พรหมมาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.27 ดร.รวิภา	ยังประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
11.28 ดร.วิเชียร	อุปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



11.29 ดร.วรจิตต์	เศรษฐพงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11.30 ดร.ศักดิ์ชัย	เพ็ชรตรา	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
11.31 ดร.ศุภกิจ	วรศิลป์ชัย	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
11.32 ดร.สันติ	ไทยยืนวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.33 ดร.สำเนียง	องสุพันธุ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.34 ดร.สุบิน	หินจันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11.35 ดร.สหัสยา	ทองสาร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11.36 ดร.หทัยทิพย์	นิลสนธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11.37 ดร.อนันต์	พงษ์ธรกุลพานิช	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11.38 ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.39 ดร.อำพล	อาภาณการ	สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
11.40 ผศ.ปัญญาธิ	นิยมवास	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
11.41 อาจารย์วราคม	วงศ์ชัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
11.42 อาจารย์ยอติศร	ถมยา	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
11.43 อาจารย์พุดพิงค์	เกิตพิพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

12.คณะกรรมการพิจารณานวัตกรรมด้านพลังงานสู่ชุมชน

12.1 คุณโกศล	แสงทอง	ประธานกลุ่มรวมใจตามรอยพ่อ จ.เพชรบุรี
12.2 คุณดรุณพร	กมลพัส	นักวิชาการอิสระ
12.3 คุณพุทธพร	ประवालพฤกษ์	นักวิชาการอิสระ
12.4 คุณพิสาร	หมื่นไกร	นักวิชาการอิสระ
12.5 คุณวิสูตร	ยังพลพันธ์	นักวิชาการอิสระ
12.6 คุณสุภรัตน์	ฤทธิชัย	นักวิชาการอิสระ
12.7 นายวสัน	ดอนชัย	นายก อบต.ท่ามะนาว จ.ลพบุรี

สารบัญ

CF 001	การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเกษตรกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงผสมดีเซล/ไบโอดีเซล/น้ำ ในรูปอิมัลชัน ศุภกฤษณ์ งามเมือง และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	56-61
CF 002	การศึกษากาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกโดยเตาแก๊สซีพีแอร์แบบไหลลงขนาดเล็ก อิทธิพร ทวีขศรี และ สุรัชย์ สนิทใจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	62-65
CF 003	การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับหญ้าข้าวนก เพชรรัตน์ ใจบุญ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร	66-68
CF 004	ศักยภาพขยะมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เจนจิรา เปี่ยมดี และ ชวัญชนก อุตสาห มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	69-71
CF 005	การศึกษาดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง ต่อการเกิดตะกอนเกาะผิวท่อและเกาะไหลในหม้อไอน้ำ พินิจ จิรศักดิ์กุล, วีรชัย อาจหาญ และ พรรษา ลิบลับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	72-75
CF 007	การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระเจี๊ยบแดงด้วยการสกัดเย็นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบผลิตไบโอดีเซล วินัย จันทะเพ็ง และ กฤตภาส หอมระรื่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	76-78
CF 008	การศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศ สุนันท์ นวลเพ็ง ^{1,2} , เกศินี สาทรราช ¹ , บุษบากร ดวงบุปผา ¹ , ปรียา แก้วนารี ^{1,2} และ ฤทธิบาน สุขีกุล ³ ^{1,2} มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ³ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	79-82
CF 009	การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมสำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล สมศักดิ์ อธิโสภณกุล, ฉันททิพ สกุลชมฤทัย และ มณฑิพย์ ถ้อยสุริยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	83-86
CF 010	การออกแบบระบบบดแห้งเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล มนตรี น่วมจิตร ¹ , อนุชา วัฒนากา ² และพัลลภ ศริน้อย ³ ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ³ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตกาฬสินธุ์	87-90
CF 011	การออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบคายนัด ศิริชัย คอสกุล ¹ , จงกล สุภารัตน์ ¹ และ นทีชัย ผัสดี ² ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	91-94



การออกแบบระบบอบแห้งเศษพืชเหลือใช้งานจากงานเกษตรกรรมเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

The design of drying system for dries the residues from agriculture for produces the biomass fuel pellets

มนตรี นวมจิตร¹, *อนุชา วัฒนาภา² และพิสิษฐ์ ศรีน้อย³

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email : nmontree@rmut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา, ออกแบบ, และสร้างเครื่องสำหรับอบแห้งเศษพืชเหลือใช้งานจากงานเกษตรกรรม ให้มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความร้อนจากก๊าซ LPG สามารถอบแห้งชีวมวลได้ครั้งละ 50 กิโลกรัม ที่น้ำหนักหลังการอบแห้ง จากการทดสอบพบว่าเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้อย่างดีโดยไม่เกิดปัญหาใดๆ และจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวล โดยทำการอบแห้งวัตถุดิบที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20, 25, 30, 35, และ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ของพลังงานจำเพาะสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 7-8 นาที, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 10-15 นาที, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 30-34 นาที, ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 35 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 60-65 นาที, และปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 67-75 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบด้วย

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล, เครื่องอบแห้งชีวมวล, ความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะ

Abstract

The purpose of this analysis is to study, design, and build machine for drying plant waste from agriculture through different testing. The goal is to maintain moisture content below 15% using heat generated from LPG. The drying process using LPG produces 50 kg of dry biomass. The test revealed that the machine works effectively and took into account various factors that might affect the performance of this machine. The test started with drying raw material with moisture content at 20%, 25%, 30%, 35%, and 40% respectively. The drying temperature was stable at 70 °C and proved that moisture content effected drying time. High moisture content prolonged the drying time and increased specific energy. Moisture content at 20% consumed approximately 7-8 mins. Moisture content at 25% consumed approximately 10-15 mins. Moisture content at 30% consumed approximately 30-34 mins. Moisture content at

35% consumed approximately 60-65 mins. Lastly, moisture content at 40% consumed approximately 67-75 mins. Time consumed by different moisture contents is dependent on the types of raw materials.

Keyword: production of biomass fuel pellets, drying of biomass, specific energy.

1. บทนำ

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ทั่วๆ ไปจากธรรมชาติ ที่จะสะสมพลังงานเก็บเอาไว้ในตัวของมันเอง และสามารถนำพลังงานของมันที่เก็บสะสมเอาไว้มาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างของสารอินทรีย์เหล่านั้น เช่น เศษหญ้า เศษไม้ ที่เหลือทิ้งจากการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชี้อ้อย ฟางข้าว แกลบ ขานอ้อย เป็นต้น การนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมมาใช้ประโยชน์โดยตรงนั้นสามารถทำได้ยาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ มีขนาดไม่สม่ำเสมอ มีความชื้นสูงและมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บและขนส่งมากสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการแปรรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดด้วยแรงดันสูงทำให้มีความหนาแน่นสูง [1] และมีขนาดเล็กลงทำให้สามารถที่จะนำระบบการป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถกำหนดปริมาณของเชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำ ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูง และสามารถควบคุมได้ กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการบดย่อยเศษ ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น และขั้นตอนการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ในกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ขนาดชีวมวล ปกติแล้วขนาดชีวมวลยิ่งเล็กลงก็ยิ่งง่ายต่อการอัดเม็ดและเพิ่มความหนาแน่นให้มากขึ้นได้ง่าย และปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นในวัตถุดิบชีวมวลเป็นปัจจัยในการเพิ่มความหนาแน่น เนื่องด้วยปริมาณความชื้นช่วยในการถ่ายเทความร้อน หากมีปริมาณความชื้นต่ำเกินไปก็จะทำให้การเพิ่มความหนาแน่นทำได้ยาก เพราะการถ่ายเทความร้อนไม่ดี นอกจากนี้ความชื้นมีส่วนช่วยในการสร้างพันธะระหว่างเนื้อชีวมวลขณะอัด แต่หากมีความชื้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดไอน้ำและการระเหยขึ้นได้ระหว่างการอัดแน่น [2] โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปควรมีค่าไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ [3, 4, 5]

ในกระบวนการอบแห้งชีวมวลนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี เนื่องจากการหมุนของตัวถังทรงกระบอกวัตถุดิบจะเกิดการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง ทำให้วัตถุดิบสัมผัสกับลมร้อนได้โดยตรง และเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุดิบกับลมร้อน [6] แต่การนำเครื่องอบแห้งแบบโรตารีมาใช้นั้น



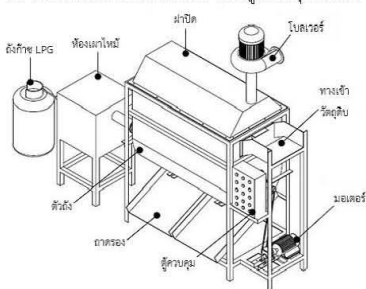
จะใช้พื้นที่มากในการติดตั้ง ทำให้ไม่เหมาะกับโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อให้ได้ความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG โดยมีแนวทางในการออกแบบให้เหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบและมีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ รวมทั้งจะช่วยลดต้นทุนและปัญหาการขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานผลิตที่มีขนาดใหญ่

2. การออกแบบและการดำเนินงาน

2.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งชีวมวล

เพื่อให้เหมาะสมสำหรับเป็นโครงการนำร่องโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ดังนั้นการออกแบบเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลจึงออกแบบให้มีขนาดไม่ใหญ่มาก และสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้ ซึ่งเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้ทำการออกแบบแสดงดังรูปที่ 1 โดยออกแบบการทำงานของเครื่องอบแห้งชีวมวลอาศัยความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG และดูดความร้อนเข้าไปในตัวถังเพื่อทำการไล่ความชื้นในวัตถุดิบ ด้านในของตัวถังถูกออกแบบให้มีชุดใบกวนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวหมุนเพื่อกระจายวัตถุดิบได้อย่างทั่วถึง ทำให้สามารถไล่ความชื้นที่สะสมอยู่ในวัตถุดิบได้เร็วขึ้น



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

2.2 การสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล

หลังจากทำการออกแบบเครื่องเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นดำเนินการสร้างเครื่องตามที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 2 พร้อมกับติดตั้งตู้ควบคุมไฟฟ้า



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

3. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

3.1 การทดสอบ

การทดสอบเครื่องอบแห้งชีวมวล โดยมีตัวแปรในการทดสอบคือ วัตถุดิบ และปริมาณความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการ

ทดสอบคือ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย ที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บตัวอย่างจาก ต.น้ำเลา อ.ร้องกวาง จ.แพร่ และปริมาณความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบแต่ละครั้งจะใช้วัตถุดิบ 50 กิโลกรัม ที่มีปริมาณความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาเพิ่มปริมาณความชื้นด้วยน้ำ (คิดตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก) ตามตัวแปรที่กำหนด ในส่วนของการเก็บผลการทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบทุกๆ 10 นาที เพื่อนำไปทดสอบหาความชื้นแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง

3.2 การทดสอบค่าความชื้นในวัตถุดิบ

เพื่อหาปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ โดยความชื้นในวัตถุดิบสามารถหาได้จากความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพราะมวลแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดการอบแห้ง [7] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$M_d = [(w - d) / d] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เปอร์เซ็นต์
 w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีน้ำ)

3.3 การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวล

3.3.1 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

โดยคิดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัตถุดิบต่อระยะเวลาในการอบแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$DR = (m_{pi} - m_{pf}) / t \quad (2)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/hr)
 m_{pi} คือ น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ (kg)
 m_{pf} คือ น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ (kg)
 t คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

3.3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

การประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งในรูปของค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kg water สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ซึ่งคิดจากพลังงานไฟฟ้า และพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ซึ่งมีค่าความร้อน (HHV) 49.7 MJ/kg [8] โดยเครื่องอบแห้งชีวมวลใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 5 แรงม้า เป็นเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนใบกวนและใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้าสำหรับพัดลม โบลเวอร์

$$\text{Specific Energy Consumption, SEC} = E / (m_{pi} - m_{pf}) \quad (3)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)
 E คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (MJ)
 m_{pi} คือ น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ (kg)
 m_{pf} คือ น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ (kg)

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

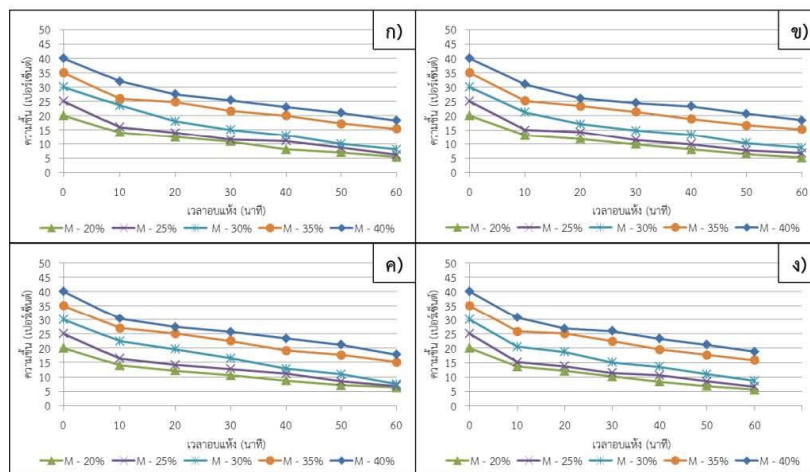


4.1 ผลการอบแห้งชีวมวล

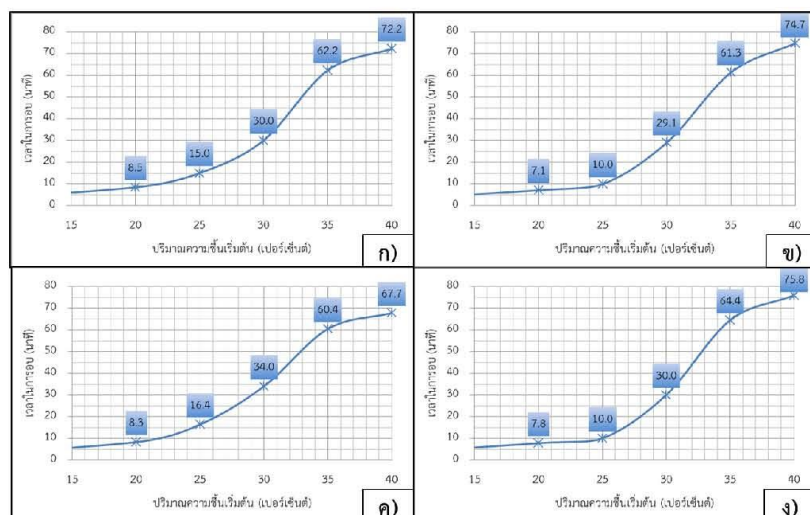
จากการทดสอบอบแห้งวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด ที่มีความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 3 พบว่าปริมาณความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการอบอย่างเห็นได้ชัด และจากการทดสอบสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4 พบว่ายิ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีมากก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งมากขึ้นด้วย จากรูปที่ 4 ก) พางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้ง 8.5 นาที หากพางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 30 นาที หากพางข้าวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 73 นาที และที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่เท่ากัน วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดใช้เวลาในการอบแห้งแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลผู้วิจัยจึง

นำผลการทดลองการอบแห้งพางข้าวมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางผลการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งพางข้าวได้ โดยพบว่าที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการอบแห้งมากที่สุด คือ 76.9 kg/hr และค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งหรือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าน้อยที่สุด คือ 0.90 MJ/kg ทั้งนี้เกิดจากปริมาณน้ำหรือความชื้นในวัตถุดิบมีน้อยทำให้ความสามารถในการอบแห้งมีมาก ดังที่กล่าวในข้างต้นว่ายิ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีมากก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งมากขึ้นด้วย และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งก็จะลดลง ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการทดสอบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซ LPG ค่อนข้างคงที่ซึ่งหากใช้เวลาเพิ่มขึ้นก็จะให้พลังงานเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าความชื้นเฉลี่ยหลังการอบแห้งพางข้าว ก) ซังข้าวโพด ข) เปลือกถั่วเหลือง ค) และซี่เลื่อย ง)



รูปที่ 4 กราฟแสดงระยะเวลาในการอบแห้งพางข้าว ก) ซังข้าวโพด ข) เปลือกถั่วเหลือง ค) และซี่เลื่อย ง) เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ 15 เปอร์เซ็นต์



ตารางที่ 1 สมรรถนะของเครื่องอบแห้งชีวมวลจากการอบแห้งฟางข้าวที่ระดับความชื้นเริ่มต้นต่างๆ

รายการ	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น				
	20%	25%	30%	35%	40%
ปริมาณวัตถุดิบก่อนอบ (kg)	60.00	62.5	65.00	67.50	70.00
ปริมาณวัตถุดิบหลังอบ (kg)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
ความชื้นหลังอบ (%)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
อุณหภูมิ (°C)	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
เวลา (min)	8.5	15.0	30.0	62.2	72.2
ปริมาณแก๊สที่ใช้ในการอบ (kg)	0.13	0.17	0.50	1.07	1.26
อัตราการอบแห้ง: DR (kg/h)	76.9	75.0	30.0	16.3	15.8
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ: SEC (MJ/kg)	0.90	1.19	2.15	3.85	3.92

4.2 การวิเคราะห์ต้นทุน

4.2.1 ต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล

สามารถแบ่งค่าใช้จ่ายต่างๆออกเป็น 2 ส่วนคือ ดังตารางที่ 2
ตารางที่ 2 ต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้งชีวมวล

1) ราคาทำเครื่อง และส่วนประกอบต่างๆ		
1.1 ตัวถังเครื่อง ฝาปิดด้านบน, ถาดรองวัตถุดิบ	55,000	บาท
ชุดใบกวน	25,000	บาท
ห้องเผาไหม้	7,000	บาท
2) อุปกรณ์ประกอบเครื่อง		
มอเตอร์ 3 เฟส 5 แรงม้า	6,500	บาท
ชุดเฟืองทด	5000	บาท
พัดลมใบลวอร์	7,500	บาท
โซ่ส่งกำลัง	1200	บาท
ตัวควบคุม	15,000	บาท
ถังแก๊ส	2,400	บาท
หัวเผาไหม้แก๊ส, ถังจุดติดอัตโนมัติ	4,000	บาท
สายไฟ ขนาดต่างๆ	15,000	บาท
ชิ้นส่วนมาตรฐาน	500	บาท
ค่าสี	2,000	บาท
รวม	146,100	บาท

4.2.2 ต้นทุนในการผลิต

อัตราค่าไฟฟ้าคิดจากอัตราค่าไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก ที่อัตราปกติ โดยมีแรงดันไฟฟ้าในโรงงานอยู่ระหว่าง 22-33 กิโลโวลต์ มีอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า 3.4230 บาท/หน่วย [9] เนื่องจากเครื่องอบแห้งชีวมวลใช้มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า และ 0.5 แรงม้า ดังนั้นการคำนวณหาอัตราการใช้ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ ดังนี้
มอเตอร์ขนาด 5.5 แรงม้า = $5.5 \times 746 = 4,103$ วัตต์
ไฟฟ้า 1 หน่วย = ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ ใน 1 ชั่วโมง
ดังนั้น ค่าไฟฟ้า 1 ชั่วโมง = $(4,103 \text{ วัตต์} / 1,000 \text{ วัตต์}) \times 3.4230 \text{ บาท}$
∴ = 14.045 บาท/ชั่วโมง

ราคาเชื้อเพลิง จากการทดลองใช้เวลาในการอบไล่ความชื้น 1 ชั่วโมง สิ้นเปลืองแก๊ส LPG ในการอบ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยแก๊ส LPG 1 ถัง น้ำหนัก 15 กิโลกรัม ราคา 395 บาท [10]
ดังนั้น แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม = $395 / 15 \text{ บาท}$
∴ = 26.33 บาท

5. สรุปผล

จากการทดสอบอบแห้งฟางข้าว ซึ่งข้าวโพด เปลือกแห้งเหลือง และซีเลื้อย ที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นแต่ละระดับ สามารถสรุปได้ว่า

ปริมาณความชื้นในวัตถุดิบแต่ละช่วงเวลาในการอบมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง และปริมาณความชื้นเริ่มต้นในวัตถุดิบยังมีมากยิ่งขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลงและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นเริ่มต้น เนื่องจากการทดสอบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และแก๊ส LPG ค่อนข้างคงที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. นโยบายพลังงาน. วรสาร. ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS102.pdf>
- [2] นคร ทิพย์วงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 34-43
- [3] Daniel Ciolkosz. (2009). "Manufacturing Fuel Pellets from Biomass", Renewable and alternative energy fact sheet, College of Agricultural Science, Agriculture Research and Cooperative Extension, Department of Agriculture and Biological Engineering. Penn state, USA. pp 1-4
- [4] Sudhagar Mani, Lope G. Tabil and Shahab Sokhansanj. (2006) Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. Biomass and Bioenergy: 30.
- [5] Duncan, A., Pollard, A. and Fellouah, H. (2013). Torrefied, spherical biomass pellets through the use of experimental design. Applied Energy 101. pp. 237-243
- [6] สมชาติ โสภณธฤทธ์ (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [7] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] สมบัติ ทั่วไป ของ LPG. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/mithdynamite/lpg-khux-xari/khumsmbati-thawpi-khxng-lpg>
- [9] อัตราค่าไฟฟ้า - การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ออนไลน์] <https://www.pea.co.th/Documents/Rate2012.pdf>
- [10] ราคาแก๊สหุงต้ม ปตท 15 กิโลกรัม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.manager.co.th/BizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=95800000090004>.



ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรี น่วมจิตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี