รหัสโครงการ SUT7-703-45-12-33

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับใช้ผลิตถ่านชีวภาพ

)evelopment of a Biomass Briquetting Machine for Biocoal Production)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร. วีรชัย อาจหาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายธราวุฒิ ไก่แก้ว

นายศรัลย์ ปานศรีพงษ์

นายเจนวิทย์ วรรณพีระ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤศจิกายน 2547

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย (ประเภทเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546) สำหรับโครงการนี้ และบุคลากรหน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ออกแบบและทดสอบเครื่องอัดแท่งชีวมวล โดยอาศัยหลักการอัดด้วยสกรู ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆดังนี้คือ สกรูอัด มอเตอร์ไฟฟ้า หัวดาย เรือนสกรู และฮอปเปอร์ใส่ชีวมวล โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุชีวมวลเป้าหมาย 2) ทดสอบประสิทธิภาพการอัดของเครื่อง ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้วัสดุ ชีวมวลสามชนิด ได้แก่ กากมันสำปะหลัง ขี้เลื่อย และแกลบ

เครื่องอัดแท่งชีวมวลที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการอัด ประมาณ 40-60 กก./ชม. โดยสามารถอัดวัสดุชีวมวลให้มีความหนาแน่นได้ในช่วง 450-750 กก./ลบ.ม. ทั้งนี้ความสามารถในการอัดขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนผสมของชีวมวล และปริมาณน้ำหรือความชื้นของวัตถุดิบ โดยส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบในครั้งนี้ คือ วัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมของ ขี้เลื่อยและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 โดยมีน้ำเป็นส่วนผสม 3 ส่วนโดยน้ำหนัก จะมีอัตราการอัดที่สูงกว่าส่วนผสมอื่นเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตถ่านที่ได้รับ ในส่วนผสมนี้จะให้ผลผลิตถ่านร้อยละ 22

จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านที่ได้รับพบว่า มีค่าความร้อนเฉลี่ย 8,112 kcal/kg มีใกล้เคียงกับถ่านไม้ซึ่งปรกติจะมีค่าความร้อนเฉลี่ย 7,500 kcal/kg ดังนั้นการนำกากมันสำปะหลังมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทน ในการลงทุน โดยใช้เครื่องต้นอัดแท่งชีวมวลดังกล่าว ที่กำลังผลิต 37.5 ตัน/ปี พบว่าสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 2 ปี โดยใช้เงินลงทุนสุทธิ 128,400 บาท สามารถทำกำไรสุทธิได้ปีละ 63,725 บาท

ABSTRACT

The objective of this study is to design and test of the biomass densification machine using the fundamental of screw press densification. Four main components of this machine are screw press and housing, motor, die, and hopper. The scope of this study was divided into two parts: 1) analysis of the properties of the biomass and 2) testing and evaluation of the developed machine. In these studies, three kind of biomass; tapioca press sawdust and rice husk were utilized as law material.

The results showed the developed machine had the densification capacity of 40-60 kg/hr. When, its production had the density about 450-750 kg/m^3. It was depended on the type or the composition of law material and the moisture or water content of law material. The study found that the preferred composition of law material was the ratio of tapioca press : sawdust as 3:7 with 3 parts of water. This composition gained higher densification capacity. In addition, it could get higher % yield of charcoal up to 22 %.

Moreover, the heating value of this charcoal was 8,112 kcal/kg. It gave higher heating value compared with wood charcoal. (7,500 kcal/kg) So, the use of tapioca press as energy was the alternative way of agricultural waste utilization.

The economic analysis showed the capital cost of the 37.5 ton/yr of charcoal production was 128,400 Baht. In this capital cost, the business could get 63,725 Baht/yr of the net profit. The payback period was showed only 2 years.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	4
1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
2. ทฤษฎีและการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ถ่านไม้	6
2.2 ถ่านชีวภาพ และถ่านอัดแท่ง	6
2.3 ชีวมวล	8
2.4 การอัดแท่ง และเครื่องอัดแท่งชนิดต่างๆ	9
2.4.1 การอัดแท่ง	9
2.4.2 ชนิดของเครื่องอัดแท่ง	11
2.5 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่ง	13
2.6 การประเมินคุณภาพของถ่านชีวภาพอัดแท่ง	15
3. อุปกรณ์ และวิธีการ	18
3.1 การออกแบบ และสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวล	18
3.2 ชีวมวลที่เลือกใช้	18
3.3 การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล	18
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล	20
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบชีวมวล	20
3.4.2 การเผาถ่านและการหาผลผลิตถ่าน	20

สารบัญเรื่อง

	หน้า
3.4.3 การเผาถ่านและการหาผลผลิตถ่าน	22
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	23
4.1 ต้นแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรูอัด	23
4.2 สมบัติของชีวมวลตัวอย่าง	24
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล	25
4.3.1 ความสามารถในการอัดของชีวมวลที่เลือกใช้	25
4.3.2 ส่วนผสมของชีวมวลที่สามารถอัดเป็นแท่งได้	26
4.3.3 ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของน้ำต่อการอัดแท่ง	28
4.4 การทดสอบอัตราการอัด	29
4.5 ค่าความร้อนของแท่งชีวมวล	32
4.6 ผลผลิตถ่าน และคุณภาพถ่าน	32
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุน	34
4.7.1 ต้นทุนการผลิตถ่านชีวมวล 1 กิโลกรัม	34
4.7.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทน	34
5. สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ	36
5.1 สรุป	36
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	36
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบและถ่านที่เตรียมได้	ก1
ภาคผนวก ข. เครื่องอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง	ข1
ภาคผนวก ค. รายละเอียดเครื่องอัดแท่ง	ค1
ภาคผนวก ง. ประวัติผู้วิจัย	ง1

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณภาพถ่านที่ได้จากวัตถุดิบบางชนิด โดยการเผาด้วยเตาอิฐ	15
2.2	คุณภาพของถ่านขณะติดไฟ	16
2.3	ความหนาแน่นและน้ำหนักถ่านที่ใช้ประเมินคุณภาพถ่าน	17
4.1	องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis) ของชีวมวลที่เลือกใช้	24
4.2	แสดงความสามารถในการอัดชีวมวลที่อัตราการผสมของน้ำต่างๆ	25
4.3	แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีอัตราส่วนผสมของแกลบกับกากมันสำปะหลังโดยจำกัด ส่วนผสมของน้ำไว้ที่ 3 กิโลกรัม	27
4.4	แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีอัตราส่วนผสมของขี้เลื่อยกับกากมันสำปะหลังโดยจำกัด ส่วนผสมของน้ำไว้ที่ 3 กิโลกรัม	27
4.5	แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือ แกลบและกากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:7 เมื่อมีการปรับปริมาณน้ำ	28
4.6	แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือขี้เลื่อยและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 ที่มีการปรับปริมาณน้ำ	29
4.7	แสดงอัตราการอัดของส่วนผสมวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือขี้เลื่อยและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 ที่มีการปรับปริมาณน้ำ	29
4.8	แสดงอัตราการอัดของส่วนผสมวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือแกลบและกากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:7 ที่มีการปรับปริมาณน้ำ	30
4.9	สมบัติของแท่งชีวมวลและอัตราการอัด ของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมต่างๆ	30
4.10	ค่าความร้อนของแท่งชีวมวล	32
4.11	แสดงร้อยละผลผลิตถ่านที่ได้รับของแท่งชีวมวลที่ส่วนผสมต่างๆ	33
4.12	รายละเอียดการลงทุนและผลตอบแทน	35

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความหนาแน่น	11
2.2	เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Presses)	11
2.3	เครื่องอัดแบบสกรู (Screw Presses)	12
2.4	เครื่องอัดแบบเม็ด (Pellet Presses)	12
2.5	กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่ง	14
3.1	ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล	21
4.1	ต้นแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรูอัดที่พัฒนาขึ้น	23
4.2	แสดงการอัดแท่งของกากมันสำปะหลัง	26
4.3	ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:7	31
4.4	ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:5	31
4.5	ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:7 ผ่านการเผา	33
4.6	ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:5 ผ่านการเผา	34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในภาวะปัจจุบัน สถานการณ์ด้านพลังงานของประเทศของเรานั้นกำลังอยู่ในช่วงวิกฤติ เนื่องมาจากวิกฤตการณ์ทางการเมืองในต่างประเทศ หรือแม้กระทั่งการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศที่มีแนวโน้มในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุจูงใจให้นักวิจัยส่วนมากหันมาทำการค้นคว้าและวิจัยหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทนที่เหมาะสมในประเทศไทย อันสอดคล้องกับนโยบายพลังงานของประเทศ

เมื่อมาพิจารณาพื้นฐานของประเทศไทยเราที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ชีวมวล หรือ Biomass) หลงเหลือจากการกระบวนการผลิตมากมายมหาศาลไม่ว่าจะเป็น เศษไม้ ฟางข้าว ชานอ้อย แกลบและกากปาล์ม และยังมีเศษวัสดุเหลือใช้อีกไม่น้อยที่ยังไม่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดภาระที่ต้องทำลายหรือกำจัดทิ้ง ดังนั้นการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ในการผลิตพลังงานจึงเป็นการใช้วัตถุดิบหรือทรัพยากรที่เหมาะสมกับภูมิประเทศไทย และยังช่วยขจัดปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้แก่เกษตรกรอีกด้วย

การใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในเชิงพลังงานเราสามารถพบเห็นได้ในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลเกษตรเช่น โรงสี หรือ โรงน้ำตาล ซึ่งจะเอาเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต เช่นแกลบ ซังข้าวโพด หรือ ชานอ้อย นำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆเช่น ต้มน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เผาให้ความร้อนในกระบวนการลดความชื้นเมล็ดธัญพืช หรือผลิตไอน้ำสำหรับการอัดเมล็ดอาหารสัตว์เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายในชนบทเท่าใดนัก อันเนื่องมาจากความไม่เหมาะสมในเรื่องที่ขนาดและรูปร่างในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่จึงยังคงใช้ถ่านที่ผลิตจากไม้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มอยู่เหมือนเดิม

แม้ว่าปัจจุบันในการหุงต้มจะเปลี่ยนรูปแบบมาใช้หม้อไฟฟ้า หรือเตาแก๊สแล้วก็ตามแต่การประกอบอาหารบางชนิด เรายังนิยมใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงอยู่เช่นอาหารประเภทปิ้งย่าง โดยสังเกตได้จากสถานประกอบการที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงจะได้รับความนิยมของลูกค้ามากกว่าการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ดีความต้องการถ่านไม้ดังกล่าวนำไปสู่การลักลอบถางป่า ตัดไม้เผาถ่านทำให้ป่าไม้ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของประเทศลดน้อยลง

จากปัญหาการจัดเก็บ ขนย้าย หรือทำลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และปัญหาลักลอบการตัดไม้เผาถ่านจึงเป็นที่มาของงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานจากวัสดุเหลือใช้ ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยในครั้งนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในการหุงต้มโดยใช้วิธีการอัดแท่งเพื่อเพิ่มความหนาแน่นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งจะสามารถเพิ่มปริมาณความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุเหล่านั้นและสะดวกต่อการใช้งานอีกด้วย โดยเราเรียกเชื้อเพลิงชนิดนี้ว่าถ่านชีวภาพ หรือ Biocoal

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับใช้ผลิตถ่านชีวภาพ อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมให้มีการนำพลังงานหมุนเวียนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาใช้อย่างแพร่หลาย เกิดตลาดของสินค้าและบริการที่ช่วยและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน โดยทำการออกแบบ สร้างต้นแบบ และทดสอบเครื่องอัดแท่งชีวมวล โดยทำการทดสอบหาสภาวะการอัดแท่งชีวมวลให้เหมาะสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ตลอดจนส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิดด้วย หลังจากนั้นนำแท่งชีวมวลมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพโดยวิธีการเผาแบบดั้งเดิม คือขุดหลุมกลบดิน เพื่อนำเอาผลการศึกษามาใช้เป็นข้อมูลและนำไปใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพขึ้นใช้เองหรือส่งเสริมให้ทำเป็นธุรกิจขนาดเล็ก และก่อให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานของประเทศชาติต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งไปถึงการออกแบบ การสร้าง และทดสอบ เพื่อที่จะหาสภาวะการทำงานของเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสมกับการเศษวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเครื่องอัดแท่งที่พัฒนาขึ้นมาในครั้งนี้ ถือว่าเป็นต้นแบบที่จะนำไปสู่การผลิตเครื่องอัดแท่งชีวมวลป้อนสู่ตลาดต่อไปในอนาคต

1.4 ระเบียบวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1) <u>การออกแบบ และสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวล</u>

ทำการออกแบบ เครื่องอัดแท่งชีวมวลด้วยวิธี Hot and high pressure densification โดยมีแนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design) หลักๆ คือ สามารถใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเฟส

เดียวเหมาะแก่การใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน มีระบบการอัดโดยเกลียวอัด มีกำลังการผลิตไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2) การทดสอบและปรับแต่งเครื่องอัดแท่งชีวมวล

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ของเครื่องอัดแท่งชีวมวลแม้ว่าเราจะทำการออกแบบมาอย่างดีแล้ว แต่ในสภาวะการทำงาน จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 9 ซึ่งสภาวะที่ทำให้เกิดการยึดเกาะของเศษวัสดุที่เหมาะสมนั่นก็คืออุณหภูมิที่ใช้ และรวมไปถึงการทดสอบกับวัสดุชนิดต่างกันอีกด้วย

3) การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงในขณะที่มีภาระงานสองอย่าง แม้ว่าเราจะทำการปรับแต่งเครื่องอัดแท่งชีวมวลมาอย่างดีแล้วในขั้นตอนที่ 2 แต่ในสภาวะการทำงานจริงๆนั้นเครื่องจะทำงานหนัก การทดสอบในครั้งนี้จะเป็นการทดสอบอายุการใช้งานของชุดเกลียวอัด ทดสอบอัตราการผลิต กำลังที่ใช้ในการผลิตแท่งชีวมวล รวมถึงการสุ่มหาความหนาแน่น ความแข็งแรง ความชื้นของแท่งชีวมวล และค่า Heating Value อีกด้วย

4) ขั้นตอนการเผาถ่าน

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเราจะใช้วิธีการเผาแบบดั้งเดิมเพื่อทำการหาเปอร์เซนต์ถ่านที่ได้รับ เพื่อ นอกจากนั้นจะทำการหาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพเพื่อนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานชีวมวลต่อไป

5) การวิเคราะห์ และการเขียนรายงาน

ผลที่ได้จากการทดสอบ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในทางเทคนิคการใช้งานของเครื่องอัดแท่งชีวมวล พร้อมกันนี้ยังทำการวิเคราะห์ต้นทุน-กำไร (Cost-benefit analysis) ของโครงการ เพื่อที่จะนำไปสู่การเผยแพร่และนำไปใช้ได้จริงในชุมชนหรือหมู่บ้าน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- **ด้านเศรษฐศาสตร์**

ผลประโยชน์ที่เห็นได้ชัดในด้านเศรษฐกิจหลังจากงานวิจัยเสร็จสิ้นก็คือ ผลตอบแทนจากการดำเนินการผลิตเชื้อเพลิงหุงต้มโดยจำหน่ายในราคาถูกและมีเงินหมุนเวียนในการดำเนินการผลิต และยังเป็นการเผยแพร่ให้ประชาชนได้เห็นถึงคุณค่าของเศษวัสดุที่เหลือใช้ หลังจากที่ได้รับความสนใจจะทำการผลิตเครื่องอัดแท่งชีวมวลจำหน่ายให้แก่เกษตรกรที่สนใจโดยผลประโยชน์ที่ได้รับดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านถ่านชีวมวลในรูปแบบอื่นๆต่อไป

- **ด้านสังคม**

การส่งเสริมให้ชุมชนนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นในรูปการจำหน่ายเครื่องอัด หรือให้คำปรึกษาโดยการนำมาเผาเป็นถ่านซึ่งใช้วิธีดั้งเดิมที่ทุกคนถนัดและปฏิบัติอยู่แล้ว โดยไม่ขัดกับวิถีชีวิตเดิมมากนัก ง่ายต่อการยอมรับของเกษตรกร อีกทั้งยังทำให้เกษตรกรสามารถพึ่งตนเองในเรื่องของพลังงานได้ อีกทั้งเกิดความหวงแหนในทรัพยากรมากยิ่งขึ้นและมองเห็นถึงคุณค่าของผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเกิดทัศนคติในการรวมกลุ่มเนื่องจากวัสดุเหลือใช้นั้นปรกติแล้วจะตกเป็นของโรงสี อาจจะทำให้เกิดการรวมกลุ่มหรือสหกรณ์ในการทำกิจกรรมด้านการเกษตรและพลังงาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาชุมชนในด้านอื่นๆ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งเน้นให้แต่ละชุมชนใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เป็นเครื่องมือการสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและสังคมให้กับชุมชนของตนเองได้ ซึ่งอาจเป็นผลผลักดันให้เกิดนโยบายด้านพลังงานแห่งชาติต่อไป

- **ด้านทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม**

จากที่กล่าวมาข้างต้นการนำวัสดุเหลือใช้หมุนเวียนกลับมาใช้ในการผลิตพลังงานขึ้นมาใช้อีกครั้ง เป็นตัวอย่างการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า ซึ่งในโครงการฯนี้จะนำวัสดุเหลือใช้ไปทำเป็นเชื้อเพลิงโดยผ่านการแปรรูปไปเป็นถ่านชีวภาพ ในด้านสิ่งแวดล้อมหรือมลพิษทางอากาศ ในส่วนของควันหรือไอเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาถ่าน จัดอยู่ในกลุ่มที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมหรือทำลายชั้นบรรยากาศอันเนื่องมาจากไอเสียที่เกิดจากชีวมวล จะถูกดูดซับได้โดยพืชต้นกำเนิด เป็นวัฏจักรคาร์บอนไดออกไซด์ที่สั้น นอกจากนี้เราสามารถนำเทคโนโลยีการเผาถ่านด้วยระบบ Gasification มาส่งเสริมให้เกษตรกรภายหลัง ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับกิจกรรมต่างๆได้

- **ด้านการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

ประโยชน์ที่จะได้รับในเชิงวิชาการในส่วนของเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพ ซึ่งมีพัฒนาการที่ยาวนานมาแล้ว แม้จะมีกระบวนการที่ไม่สลับสับซ้อนแต่การนำมาใช้งานจำเป็นที่จะต้องดัดแปลงให้เหมาะสมกับชนิดของ Biomass และสภาวะแวดล้อม การนำเทคโนโลยีดังกล่าวเข้ามาใช้จำเป็นต้องปรับปรุงและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานของประเทศไทย

1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
2) กรมวิชาการเกษตร
3) กรมส่งเสริมการเกษตร
4) กรมการพัฒนาชุมชน
5) องค์การบริหารส่วนตำบล
6) ผู้ประกอบการ อุตสาหกรรมเกษตร

บทที่ 2
ทฤษฎีและการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านไม้

ถ่าน (Char หรือ Charcoal) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไม้มาผ่านกระบวนการให้ความร้อนในที่อับอากาศ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ถ่านที่ได้จากไม้สามารถจำแนกตามวิธีการผลิตได้ 2 ชนิด ได้แก่

1) ถ่านขาวหรือถ่านแข็ง (White or hard artificial char) ผลิตโดยใช้ใช้ความร้อนที่ประมาณ 1,000 – 1,100 °C แล้วนำถ่านที่กำลังลุกไหม้อยู่ออกมาดับนอกเตา โดยใช้ขี้เถ้าผสมดินและน้ำประมาณ 10 – 20% ขี้เถ้าดังกล่าวจะติดแน่นอยู่ที่ผิวถ่านเป็นสีขาวปนเทา จึงเรียกว่า ถ่านขาว มีสมบัติแข็งกว่าถ่านดำ เนื้อถ่านสุกเท่ากันและมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากันทั้งแท่ง จุดติดไฟยากแต่ลุกไหม้ได้นาน มีการผลิตถ่านขาวอยู่เพียง 3 ประเทศ คือ จีน เกาหลี และญี่ปุ่น

2) ถ่านดำหรือถ่านเนื้ออ่อน (Black of soft artificial char) ผลิตโดยใช้ความร้อนที่ ประมาณ 400 – 700 °C แล้วปิดเตาไม่ให้อากาศเข้า ปล่อยถ่านไว้ในเตาจนกว่าจะเย็นเอง ถ่านที่ได้จะมีสีดำ จึงเรียกว่า ถ่านดำ มีความแข็งน้อยกว่าถ่านขาว และถ้าไม้เปลี่ยนเป็นถ่านอย่างรวดเร็ว (Rapid carbonization) จะได้ถ่านดำที่มีความแข็งน้อยกว่าถ่านดำที่ได้จากการให้ไม้เปลี่ยนเป็นถ่านช้าๆ (Slow carbonization) ถ่านดำจะสุกไม่เท่ากันทั้งแท่ง ปริมาณคาร์บอนเสถียรของถ่านที่ได้รับความร้อนสูงกว่าจะมีมากกว่าถ่านที่ได้รับความร้อนต่ำกว่า

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกชนิดของไม้ เช่น ถ่านไม้มะขาม ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้โกงกาง ถ่านไม้ไผ่ ฯลฯ ถ่านไม้แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกันไป ถ่านที่ผลิตจากไม้เนื้อแข็ง ก็จะได้ถ่านไม้ที่มีความแข็งมากกว่าถ่านไม้ที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน ส่วนการจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ก็สามารถทำได้เช่นกัน เช่น ถ่านเชื้อเพลิง ถ่านกรองน้ำ ถ่านปรับสภาพดิน ถ่านผสมอาหารสัตว์ เป็นต้น

2.2 ถ่านชีวภาพ และถ่านอัดแท่ง

นิยามของถ่านชีวภาพ (Biocoal) คือวัตถุที่เกิดจากกระบวนการ Pyrolysis หรือ Carbonization ของวัสดุที่หลงเหลือจากการเกษตรและป่าไม้ (Biomass) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีมาช้านาน ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบเป็นแผ่น เป็นผง หรือแม้กระทั่งอยู่ในรูปของแท่งหรือก้อนที่เรียกว่าถ่านอัดแท่ง (Charcoal briquettes) จากการสืบค้นประวัติของถ่านชีวภาพ[5] พบว่าที่ประเทศอินเดียในปี

ค.ศ.1917 มีการนำถ่านปั่นที่ทำมาจากเปลือกมะพร้าวที่มีลักษณะเป็นแผ่นมาทำให้ปั่นแล้วนำมาทำเป็นก้อนโดยใช้ยางพืชเป็นตัวประสาน และต่อมีการพัฒนากระบวนการผลิตการอัดแท่งออกมาเรื่อยๆในช่วงปี ค.ศ. 1921-1939 ดังตัวอย่างเช่น การศึกษาวิจัยโดยนำแป้งมาใช้เป็นตัวประสานทำให้เป็นแท่ง[2] เป็นต้น ต่อมาหลังสงครามโลกครั้งที่สองได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้ขี้เลื่อยใช้มาอัดเป็นแท่ง ซึ่งเราเรียกว่าแท่งชีวมวล (Briquetted Biomass) ก่อนที่จะผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านชีวภาพ โดยมีการนำถ่านชีวภาพนี้มาใช้กันอย่างแพร่หลายต่อมาไม่ว่าจะเป็นประเทศญี่ปุ่นหรือสหรัฐอเมริกาก็ตาม[12]

ในประเทศไทยเองก็ได้มีการนำเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพมาใช้และเป็นที่นิยมอยู่ในระยะหนึ่ง โดยเริ่มจากมีผู้นำเข้าเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวอัดจากประเทศไต้หวันเข้ามา 4 เครื่อง ในปี ค.ศ. 1978 โดยมีโรงงานอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี โดยทำการอัดแท่งขี้เลื่อยโดยขายเป็นแท่งชีวมวล หรือขี้เลื่อยอัดแท่งให้กับโรงงานอบผ้าที่จังหวัดสมุทรปราการนับว่าเป็นโรงงานผลิตแท่งชีวมวลแห่งแรกของประเทศไทย[4] แต่ทว่าราคาของแท่งชีวมวลดังกล่าวราคาค่อนข้างแพงกว่าไม้ การใช้แท่งชีวมวลจึงไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นทางโรงงานผลิตแท่งชีวมวลจึงเปลี่ยนไปผลิตถ่านชีวภาพจากแท่งชีวมวลในปี ค.ศ. 1982 แล้วนำไปขายในตลาดสี่มุมเมืองซึ่งได้รับความนิยมมากเนื่องมาจากราคาถ่านชีวภาพนั้นถูกกว่าถ่านไม้ นอกจากนี้ทางสถานประกอบการดังกล่าวยังทำการดัดแปลงเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบใหม่โดยพัฒนามาจากเครื่องที่นำเข้ามาจากไต้หวันเพื่อจำหน่าย และเป็นที่นิยมนำมาใช้ในโรงงานผลิตถ่านชีวภาพมาก โดยรู้จักกันในนามของ V.S. Machine ซึ่งสามารถขายได้ถึง 200 กว่าเครื่อง ได้รับส่วนแบ่งการตลาดไปถึง 2 ใน 3[4]

การเติบโตของธุรกิจผลิตถ่านชีวภาพในขณะนั้นเป็นเพราะความต้องการใช้ถ่านชีวภาพจำนวนมาก ในค่ายเขมรอพยพที่เขาอีด่าง จังหวัดปราจีนบุรี หรือสระแก้วในปัจจุบัน ทำให้เทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพได้รับความสนใจทั้งภาครัฐบาลและเอกชน ซึ่งต่อมาหลังการยุบค่ายฯ ในปี ค.ศ. 1984 ธุรกิจการผลิตถ่านชีวภาพเริ่มซบเซาลง จากการสำรวจของ Reines[7] พบว่ามีโรงงานผลิตถ่านชีวภาพเหลืออยู่ไม่มาก และมีเครื่องอัดแท่งถ่านที่ใช้งานอยู่ประมาณ 20 กว่าเครื่องเท่านั้นเองซึ่งหนึ่งในนั้นคือ เครื่อง V.S. Machine ที่โรงสีของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดา ซื้อเอาไว้ใช้งานซึ่งยังคงใช้งานมาจนถึงปัจจุบัน โดยมีกำลังผลิตอยู่ที่ 72 ตันต่อปี ในส่วนของบริษัทนั้นมีบริษัท S.P. Energy ที่ยังคงผลิตเครื่องอัดแท่งชีวมวลอย่างต่อเนื่อง แต่ส่วนใหญ่แล้วจะผลิตเอาไว้ใช้เองในโรงงาน

สำหรับสถานการณ์ด้านการวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพในอดีตค่อนข้างที่จะได้รับความสนใจมาก นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 – 1988 (ดูจาก Bibliography) และค่อนข้างจะหาพบ

อยากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา จนมาถึงปัจจุบันสถานการณ์พลังงานจากถ่านชีวภาพเริ่มที่จะมีบทบาทมากยิ่งขึ้นแม้จะไม่เป็นที่นิยมในหมู่นักวิจัยเหมือนกับ Solar Energy หรือ Biogas ก็ตามแต่ก็มีงานวิจัยหลายชิ้นออกมาเป็นเกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพในส่วนของแท่งชีวมวลคือ การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิง (แท่งเชื้อเพลิงเขียว) ที่ดำเนินการโดยกรมป่าไม้ การวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวาในบริเวณบึงมักกะสัน และ การศึกษาวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงเขียวผสมกับขี้เลื่อยจากถุงเพาะเห็ดภายหลังจากที่เก็บดอกเห็ด ที่ดำเนินการโดยโครงการโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดา (ดูจาก Bibliographies) แต่อย่างไรก็ดีแท่งชีวมวลเหล่านี้ ยังมีขีดจำกัดอยู่มากในเรื่องของการใช้งานกล่าวคือจะมีควันขณะเผาไหม้จากนำแท่งชีวมวลผ่านกระบวนการ Carbonization เพื่อผลิตเป็นถ่านชีวภาพ สามารถลดปริมาณควันเหมาะและแก่การใช้งานเป็นอย่างมาก อีกความต้องการที่จะนำมาทดแทนถ่านไม้ในปริมาณมาก และเป็นสิ่งที่ประชาชนกำลังให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ส่วนสถานการณ์การวิจัยที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตถ่านชีวภาพและการอัดแท่งชีวมวลในประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างบ้านเรา (ดูจาก Bibliographies) พบว่ากำลังเป็นที่สนใจ ทำให้ทราบถึงแนวโน้มถึงความสำคัญของถ่านชีวภาพที่จะมาเป็นพลังงานในการหุงต้มในต้นศตวรรษที่ 21 นี้

2.3 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าว
- เปลือกชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์

ชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้ผลิตผลแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา ประเทศไทยเป็นแหล่งชีวมวลขนาดใหญ่ สามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทน พลังงานธรรมชาติได้

องค์ประกอบของชีวมวลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1) ความชื้น (Moisture) หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter ซึ่งจะระเหยออกมาจากชีวมวลได้ขณะที่โดนความร้อน มีองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีองค์ประกอบของธาตุ (C, H, N, O, S) แตกต่างกันไป และอีกส่วนหนึ่งคือ Fixed Carbon ทั้งสองส่วนจะลุกไหม้ได้ง่าย

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (Ash) ส่วนใหญ่จะมีประมาณ 1 -3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

2.4 การอัดแท่ง และเครื่องอัดแท่งชนิดต่างๆ

2.4.1 การอัดแท่ง

การอัดแท่ง (Densification) เป็นการลดปริมาตรและเป็นการจับตัวกันกันเป็นกลุ่มก้อนกันของชีวมวลที่มีการกระจายตัวกันอย่างหลวมๆ การอัดแท่งชีวมวลสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (Pelleting) อัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) อัดเป็นแท่ง (Extruded log) อัดเป็นฟอน (Baling) ส่วนใหญ่การนำชีวมวลไปใช้ผลิตเป็นพลังงานนั้น จะอัดให้เป็นแท่ง (Briquette) และเป็นชิ้น (pellets) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล และลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า แรงดันที่ใช้มีผลต่อความหนาแน่นของแท่งชีวมวล โดยเราสามารถอัดแท่งได้โดยถ้าทำการอัดภายใต้แรงดันที่ต่ำ 0.2 – 5 MPa ซึ่งจะทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีค่าลดลง และ เมื่อเพิ่มแรงกดให้สูงมากกว่า 100 MPa จะทำให้ผนังเซลล์ของ

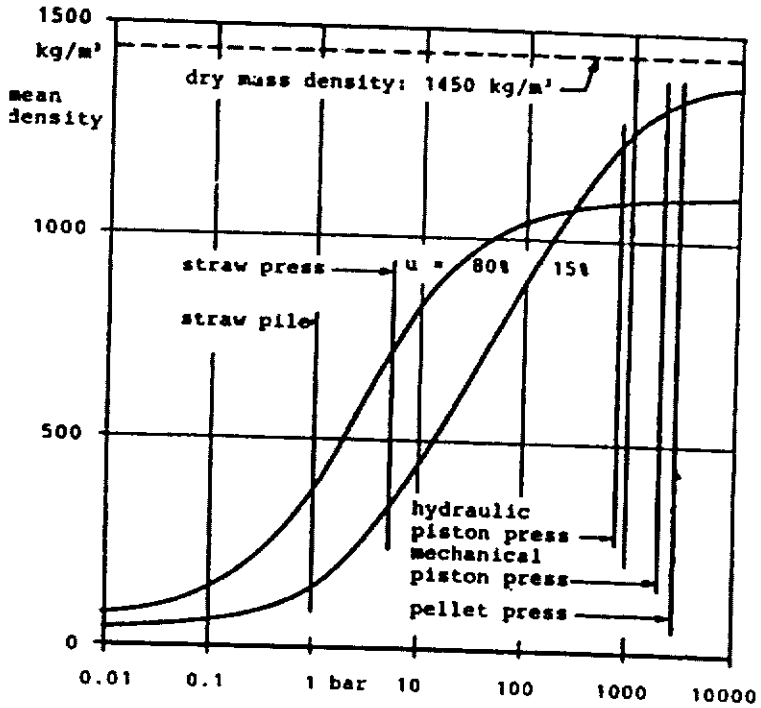
เซลลูโลสสลายตัวและจับตัวกันมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเลือกใช้วิธีการอัดภายใต้แรงดันต่ำหรือสูงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล และลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของแท่งชีวมวล ขึ้นอยู่กับ 1) ประเภทของชีวมวล และ 2) เครื่องมือและอุปกรณ์การอัด สำหรับการอัดที่แรงดันสูงสุดจะได้ความหนาแน่นสูงสุดของชีวมวลอัดคือ 1,200 – 1,400 kg/m^3 โดยวิธีการอัดที่มีความหนาแน่นสูงสุดคือ วิธีการอัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (Pelleting) จะมีความหนาแน่นที่ 1,450 – 1,500 kg/m^3 และวิธีที่น้อยที่สุดคือวิธีอัดแบบใช้สกรูอัด ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.1

ความหนาแน่นปรากฏของแท่งชีวมวลจะมีค่ามากกว่าความหนาแน่นบรรจุ เนื่องมาจากการเรียงตัวบรรจุอย่างไม่ชิดติดกันของวัสดุชีวมวล โดยขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ขนาดและรูปร่างของวัสดุชีวมวล โดยความหนาแน่นบรรจุส่วนใหญ่จะอยู่ประมาณ 600 - 700 kg/m^3 หรือน้อยกว่านั้น และที่น้อยที่สุดคือ ชานอ้อยและฟางจะมีค่าประมาณ 40 kg/m^3 [9]

ลักษณะการจับตัวกันของชีวมวลในขณะถูกอัดสามารถอธิบายได้โดยขึ้นกับระดับแรงดันที่ใช้ในการอัด และความร้อนที่ให้หรือที่เกิดขึ้นขณะทำการอัด กรณีระดับแรงดันที่ใช้สูงๆซึ่งเกิดความร้อนและมีผลต่อการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมี ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของชีวมวล ไปเป็นตัวประสานธรรมชาติ และ[11]พบว่า Lignin เป็นตัวประสานธรรมชาติที่เกิดขึ้นขณะให้ความร้อน 130-190°C ซึ่งนักวิจัยบางท่านไม่เห็นด้วย[3]โดยพบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อการรวมตัวของชีวมวลก็คือ Pectin

ส่วนกรณีระดับแรงดันต่ำๆ จะมีการผสมตัวประสานเข้าไปในชีวมวลขณะอัดซึ่ง เช่น แป้งมัน หรือ โมลาส เป็นต้น



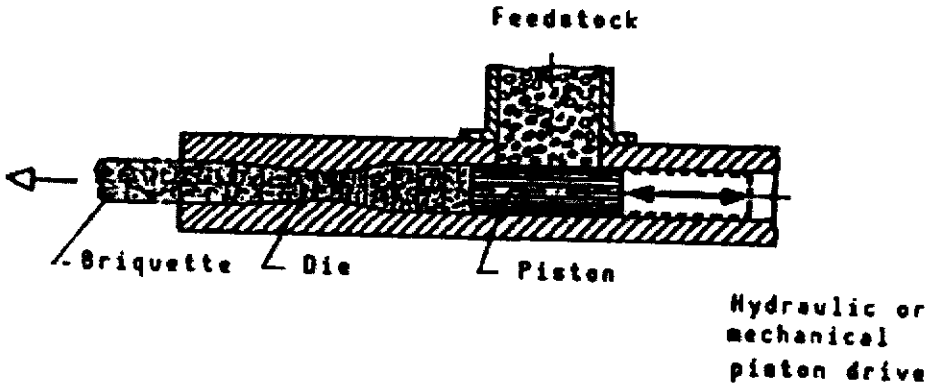
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความหนาแน่น[5]

2.4.2 ชนิดของเครื่องอัดแท่ง

โดยทั่วไปเครื่องอัดแท่งชีวมวลสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1) เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Presses)

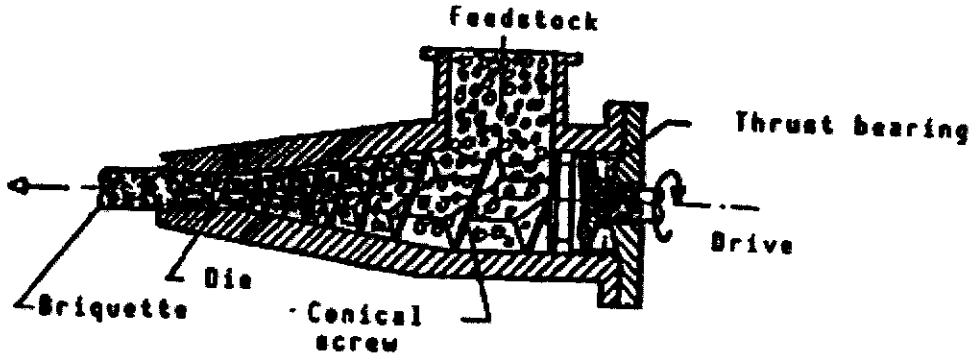
ลูกสูบจะทำหน้าที่อัดชีวมวลเข้าสู่กระบอกอัดและถูกอัดออกมาทางหัวดาย (Die) โดยส่งกำลังด้วยฟลายวีลและคับปลิง ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Presses)

2) เครื่องอัดแบบสกรู (Screw Presses)

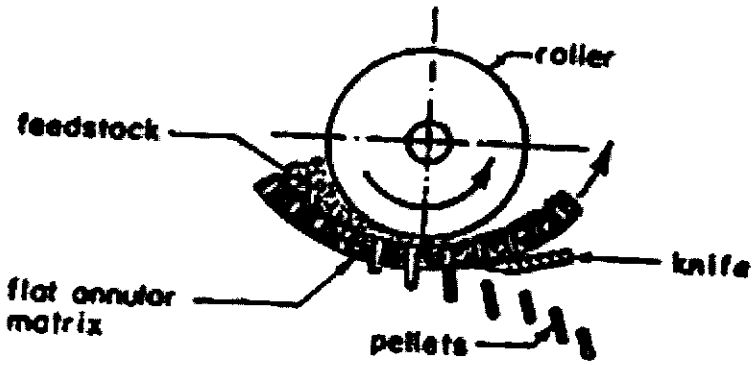
การลำเลียงวัสดุเข้าสู่เกลียวอัดจะทำให้วัสดุถูกกดอัดอย่างต่อเนื่องให้มีปริมาตรเล็กลงโดยใช้สกรูแบบกรวย และจะใช้แหล่งความร้อนจากภายนอกเพื่อสลายลิกนินหรือไม่ก็ได้ ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องอัดแบบสกรู (Screw Presses)

3) เครื่องอัดแบบเม็ด (Pellet Presses)

การอัดลักษณะนี้จะใช้ลูกกลิ้งหมุนกดทับวัสดุชีวมวลผ่านหน้าแปลนที่ถูกเจาะเป็นรูเล็กๆเอาไว้ โดยวัสดุจะถูกอัดออกมาผ่านรูเหล่านั้นเมื่อลูกกลิ้งวิ่งกดทับผ่าน ซึ่งหัวดายจะมีลักษณะเป็นแผ่นจานหรือแผ่นวงแหวน ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเม็ด (Pellet Presses)

2.5 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่ง

ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่งมีอยู่สองขั้นตอนใหญ่ๆอยู่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการอัด (Densification หรือ Briquetting) และขั้นตอนการเผา (Pyrolysis หรือ Carbonization) ซึ่งทั้งสองขั้นตอนสามารถเลือกปฏิบัติก่อนหรือหลังได้ตามเทคโนโลยีที่เลือกใช้

1) การอัดแล้วนำไปเผา หรือ Briquetting-Carbonization (B-C) option

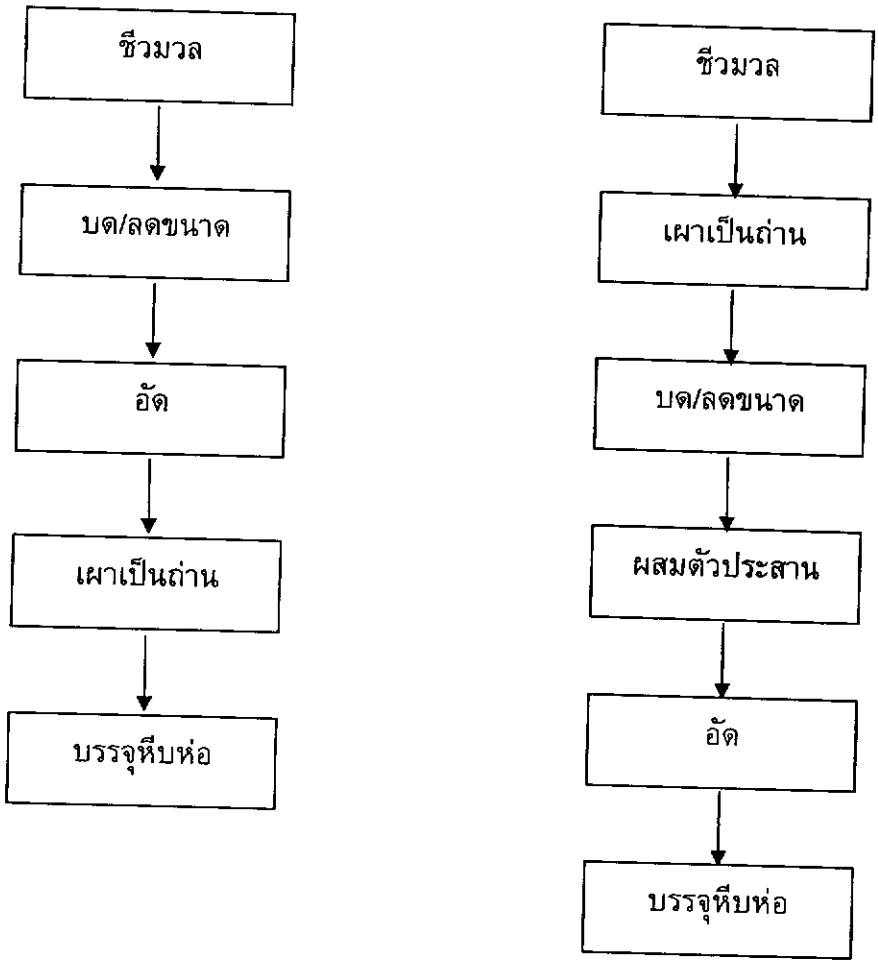
มีข้อดีคือเป็นกระบวนการที่ง่าย และชีวมวลที่ผ่านการอัดแท่งแล้วสามารถนำไปเผาด้วยวิธีเผาถ่านแบบเก่าได้ ส่วนข้อเสียก็คือ ต้องใช้กำลังในการอัดสูงใช้พลังงานมาก และเกิดการสึกหรอในเครื่องอัด [10],[6],[9]อีกทั้งก่อนที่นำไปเผาถ่านก็เก็บเอาไว้ในที่ที่มีความชื้นต่ำเพราะความชื้นจะทำลายแรงยึดเกาะของเศษวัสดุ กระบวนการผลิตแบบ B-C แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 (ก)

ในกระบวนการผลิตแบบ B-C ขั้นตอนการอัดถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เป็นขั้นตอนการเพิ่มความหนาแน่น และขึ้นรูปชีวมวลให้เป็นแท่งซึ่งสามารถแบ่งวิธีการอัดออกได้เป็น 2 วิธี คือ การอัดร้อนความดันสูง (Hot and high pressure densification) และ การอัดเย็นความดันต่ำ (Cold and low pressure densification) ซึ่งจำแนกตามสภาวะการอัดแท่ง

การอัดร้อนความดันสูง เป็นการอัดที่ก่อกำเนิดในสหรัฐอเมริกาประมาณ 57 ปีที่แล้ว โดยมี R.T. Bowling เป็นผู้ค้นคิด เครื่องอัดประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ได้แก่ เกลียวหรือสกรู กระบอกดาย รวมทั้งระบบให้ความร้อนกระบอกดาย และการระบายความร้อนเฟืองทด สำหรับวัสดุที่ใช้อัดแท่งเชื้อเพลิงต้องผ่านการบดและมีความชื้นระหว่าง 7 – 12 เปอร์เซ็นต์หากสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้การอัดไม่ได้ผล การอัดแห้งจะใช้แรงอัดสูงประมาณ 75.84 – 117.21 MPa

การอัดเย็นความดันต่ำ เป็นการอัดที่สามารถทำได้กับชีวมวลสดหรือแห้งก็ได้ กรณีการอัดชีวมวลสด ถือกำเนิดในประเทศไทยโดยกรมป่าไม้ เรียกว่าการอัดด้วยเทคนิคเชื้อเพลิงเขียว หรือการอัดเปียก เครื่องอัดประกอบด้วย เกลียว กระบอกเกลียว และกระบอกดาย แตกต่างจากการอัดร้อนความดันสูง ตรงที่ไม่มีทั้งระบบให้ความร้อนและระบายความร้อน วัสดุที่จะอัดแท่งเชื้อเพลิงจะผ่านการตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยไม่จำเป็นต้องลดความชื้นหรือให้เหลือความชื้นที่จุดพอดี การอัดเปียกใช้จะใช้แรงอัดต่ำ แต่มีข้อเสียเรื่องของความชื้น และความหนาแน่นหรือการยึดเกาะของชีวมวลหลังการอัด

กรณีที่ชีวมวลแห้งมีหลักการอัดที่คล้ายคลึงกัน แต่จำเป็นต้องใช้ตัวประสานจากภายนอกมาช่วยในการอัดให้แน่นขึ้น



(ก) กระบวนการผลิตแบบ B-C (ข) กระบวนการผลิตแบบ C-B

รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพอัดแท่ง

2) การเผาแล้วนำไปอัด หรือ Carbonization-Briquetting (C-B) option

มีข้อดีคือ ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ และไม่มีการตกหล่นของถ่านที่เป็นผง ส่วนข้อเสียคือ เป็นกระบวนการที่ยุ่งยาก และมีฝุ่นฟุ้งกระจาย กระบวนการผลิตแบบ B-C แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 (ข) กระบวนการผลิตแบบ C-B ในขั้นตอนอัด โดยทั่วไปจะใช้การอัดด้วยวิธี การอัดเย็นความดันต่ำ (Cold and low pressure densification)

2.6 การประเมินคุณภาพของถ่านชีวภาพอัดแท่ง

ในปัจจุบันยังไม่มีการ กำหนดมาตรฐานคุณภาพถ่านชีวภาพอัดแท่ง อย่างไรก็ตามเราสามารถนำมาตรฐานและการประเมินคุณภาพของถ่านมาใช้ได้ ซึ่งการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องในครั้งนี้นำมาจากงานของ ธีระชัย จันทรเสนา[1]

การประเมินคุณภาพของถ่านจะใช้ปริมาณขององค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่างของถ่านเป็นหลักในการประเมินคุณภาพถ่าน ได้แก่ คาร์บอนคงตัว สารที่ระเหยได้ ขี้เถ้า โดยถ่านที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง แต่มีสารที่ระเหยได้และปริมาณขี้เถ้าต่ำ ตัวอย่างการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้จากการเผาถ่านไม้ชนิดต่างๆ [1],[8],[13] แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณภาพถ่านที่ได้จากวัตถุดิบบางชนิด โดยการเผาด้วยเตาอิฐ

วัตถุดิบ	ผลผลิตถ่าน (%)	ปริมาณขององค์ประกอบในถ่าน (%)			ค่าความร้อนถ่านอบแห้ง (kCal / kg)
		คาร์บอนคงตัว	สารระเหย	เถ้า	
เศษไม้จากโรงเลื่อย	31.3	80.5	15.2	4.3	6796
กะลามะพร้าว	-	77.4	18.8	4.5	6610
ไม้กระถินยักษ์	-	72.1	26.6	1.3	6555

สำหรับการประเมินคุณภาพถ่านที่ใช้หุงต้มในครัวเรือน ประเมินได้จากคุณสมบัติของถ่านเรียงตามลำดับความสำคัญได้ดังนี้[1]

1) การแตกประทุขณะติดไฟ ถ่านที่แตกปะทุขณะติดไฟอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังหรือเสื้อผ้าที่สวมใส่ ก่อให้เกิดความสกปรกและอาจเป็นสาเหตุของเพลิงไหม้ได้ การประเมินคุณภาพของถ่านที่เกี่ยวกับการแตกประทุขณะติดไฟนี้แสดงในตารางที่ 2.2[1]

ตารางที่ 2.2 คุณภาพของถ่านขณะติดไฟ

ลักษณะของถ่านขณะติดไฟ	คุณภาพของถ่าน
ไม่มีการแตกปะทุเลย	ดีมาก
ปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงนาทีแรกที่ติดไฟ	ดี
ปะทุนาน 2 – 3 นาที	ปานกลาง
ปะทุมากจนกระทั่งถ่านลุกแดงทั้งก้อน (ประมาณ 5 นาที หรือมากกว่า)	ต่ำ

2) น้ำหนักถ่าน ถ่านที่หนักจะเป็นที่ต้องการของผู้ใช้มาก เพราะจะลุกไหม้ให้ความร้อนได้นาน เนื่องจากเตาถ่านสำหรับหุงต้มในครัวเรือน มีความจุน้อยดังนั้นหากใช้ถ่านที่เบาจะจุถ่านน้ำหนักน้อยอาจจะต้องเติมถ่านบ่อยๆ ในระหว่างหุงต้มซึ่งเป็นการไม่สะดวก น้ำหนักถ่านอาจดูได้จากความแน่นของถ่านซึ่งแบ่งออกได้ดังตารางที่ 2.4[1]

3) ควัน ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีควัน และกลิ่นฉุนในขณะลุกไหม้ สำหรับถ่านที่มีควันอาจเนื่องมาจากไม้กลายเป็นถ่านได้ไม่หมด เพราะอุณหภูมิที่ใช้เผาต่ำเกินไปซึ่งจะทำให้การเผาถ่านมีสารระเหยมากกว่า 15% ซึ่งในกรณีเช่นนี้ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านจะต่ำ (น้อยกว่า 65%) ซึ่งถ่านที่มีสมบัติเช่นนี้เมื่อติดไฟจะทำให้เกิดควัน[1]

4) ความแข็งและการป่นของถ่าน ถ่านที่ป่นจะไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้เท่าไรนักเพราะเป็นการไม่สะดวกในการใช้ ถ่านที่มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือการป่นเป็นผงระหว่างการทุบหรือบรรจะภาชนะ ระหว่างขนส่ง ระหว่างการเก็บ และเคลื่อนย้ายต่างๆ ความแข็งของถ่านขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ชนิดของเตาเผา และกรรมวิธีการเผาถ่าน[1]

ตารางที่ 2.3 ความหนาแน่นและน้ำหนักถ่านที่ใช้ประเมินคุณภาพถ่าน

	น้ำหนักถ่าน		
	หนัก	ปานกลาง	เบา
ความแน่น (g / cm^3)	มากกว่า 0.45	0.35 – 0.45	น้อยกว่า 0.35
น้ำหนักต่อกระสอบ (kg)	มากกว่า 40	30 - 40	น้อยกว่า 30
ตัวอย่างชนิดไม้	สีเสียดแก่น	กระถินยักษ์	เลี่ยน
	โกงกาง	ยูคาลิปตัส	นนทรี
	สนทะเล	สะแก	มะกอก
	สนปฏิพัทธ์	กระถินณรงค์	

5) ค่าความร้อนของถ่าน ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพสูงดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนนั้น ถ่านที่ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุด แต่จะต้องมีสมบัติด้านอื่นๆ ที่ดีของถ่านดังที่กล่าวมาแล้วครบถ้วน[1]

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการ

3.1 การออกแบบ และสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวล

ทำการออกแบบ เครื่องอัดแท่งชีวมวล ชนิดเครื่องอัดแบบแบบลูกสูบ (Piston Presses) โดยอาศัยหลักการอัดร้อนความดันสูง (Hot and high pressure densification) ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญได้แก่ เกลียวหรือสกรู กระบอกดาย แต่ในที่นี้จะไม่มีระบบให้ความร้อนกระบอกดาย โดยตั้งสมมติฐานเอาไว้ว่า อุณหภูมิที่เกิดจากการอัดเพียงพอที่จะทำให้วัสดุชีวมวลเกาะตัวกันได้ ซึ่งจะคล้ายกับการอัดเย็นความดันต่ำ แต่จะทำการควบคุมความชื้นของชีวมวลให้เหมาะสม

โดยมีแนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design) หลักๆ คือ สามารถใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเฟสเดียวเหมาะแก่การใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน มีระบบการอัดแบบสกรูอัด มีกำลังการผลิตไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และทำการสร้างต้นแบบ

3.2 ชีวมวลที่เลือกใช้

การทดสอบในครั้งนี้จะเลือกใช้ชีวมวล 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และกากมันสำปะหลัง โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทเจียเม้งจำกัด ฟาร์มมหาวิทยาลัย และ บริษัทสงวนวงศ์จำกัด ตามลำดับ อันเนื่องมาจากขนาดของวัตถุดิบมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการลดขนาดก่อนทำการผสม และนำมาวิเคราะห์หาสมบัติที่สำคัญเช่น สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ความหนาแน่น และ ค่าความร้อน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์สมบัติชีวมวลแสดงเอาให้ในหัวข้อต่อไป

3.3 การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบด้วย เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง โถดูดความชื้น (Descicator) ตู้อบ Memmert เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความร้อน GALLENKAMP Autobomb

โดยมีวิธีการการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของชีวมวลดังนี้

1) วิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate analysis) โดยวิเคราะห์
   1.1) ปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84
   1.2) ปริมาณสารระเหยตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84

1.3) ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D1762 - 84

1.4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยการคำนวณ

2) ความหนาแน่น ทำการวัดความหนาแน่นของชีวมวลในรูปแบบของ Bulk Density านวิจัยนี้วัดความหนาแน่น ของวัตถุดิบและถ่านที่เตรียมได้ โดย

2.1) คัดขนาดสารตัวอย่างให้มีการกระจายของขนาดอยู่ในช่วง เดียวกันทุก ตัวอย่าง

2.2) บรรจุสารตัวอย่างลงในกระบะตวงขนาด 50 x 50 x 50 ลบ.ซม. ใช้มือเคาะ ระบะตวง เพื่อให้สารตัวอย่างจัดเรียงตัวแน่น บันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้

2.3) คำนวณความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ด้วยสมการ

$$\textbf{Bulk Density} = \frac{Weight}{Volume} \qquad (3\text{-}1)$$

3) การวิเคราะห์ค่าความร้อนของสารตัวอย่างในงานวิจัยนี้ เป็นการหาค่าความร้อนที่ตัวอย่าง ล่อยออกมาในหน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) ของสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความ อน GALLENKAMP Autobomb มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.1) อัดสารตัวอย่างที่มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัมให้เป็นเม็ดด้วยอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง

3.2) ผูกตัวอย่างด้วยด้าย จากนั้นให้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอีกครั้ง

3.3) บรรจุภาชนะโลหะลงในแหวนยึด แล้วติดลวดต้านทานนิโครม (Nickle Chromium) ระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode) ทั้งสองข้างของตัวบอมบ์ (Bomb)

3.4) นำตัวอย่างในข้อ 3.2) มาผูกแขวนไว้กับลวดในข้อ 3.3) โดยให้ตัวอย่างอยู่ในภาชนะโลหะ

3.5) นำตัวอย่างในข้อ 3.4) บรรจุลงในถังปฏิกิริยา (Reactor) แล้วปล่อยก๊าซออกซิ – เจน เข้าไปในถังปฏิกิริยาโดยให้มีค่าความดันไม่เกิน 35 บาร์

3.6) บรรจุถังปฏิกิริยาบรรจุใน Water Jacket ที่อยู่ในมือเครื่องทดสอบค่าความร้อน โดยให้บันทึกน้ำหนักของน้ำที่บรรจุใน Water Jacket ก่อนทำการวิเคราะห์

3.7) ต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับถังปฏิกิริยา จากนั้นให้กดปุ่มทดสอบ (Test) เพื่อตรวจสอบวงจรไฟฟ้าว่าถูกติดตั้งอย่างสมบูรณ์

3.8) กดปุ่มเผาไหม้ (Fire) บันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

3.9) คำนวณหาค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาด้วยสมการ

$$\text{Heating Value} = MC_p\Delta T \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ M = จำนวนโมลของน้ำ

C_p = ความจุความร้อนของน้ำ (J/mol.K)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$ หรือ K)

เนื่องจากค่าความร้อนของด้ายที่ใช้ผูกตัวอย่างกับลวดด้านทานมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากสารตัวอย่างดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการคำนวณ

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล

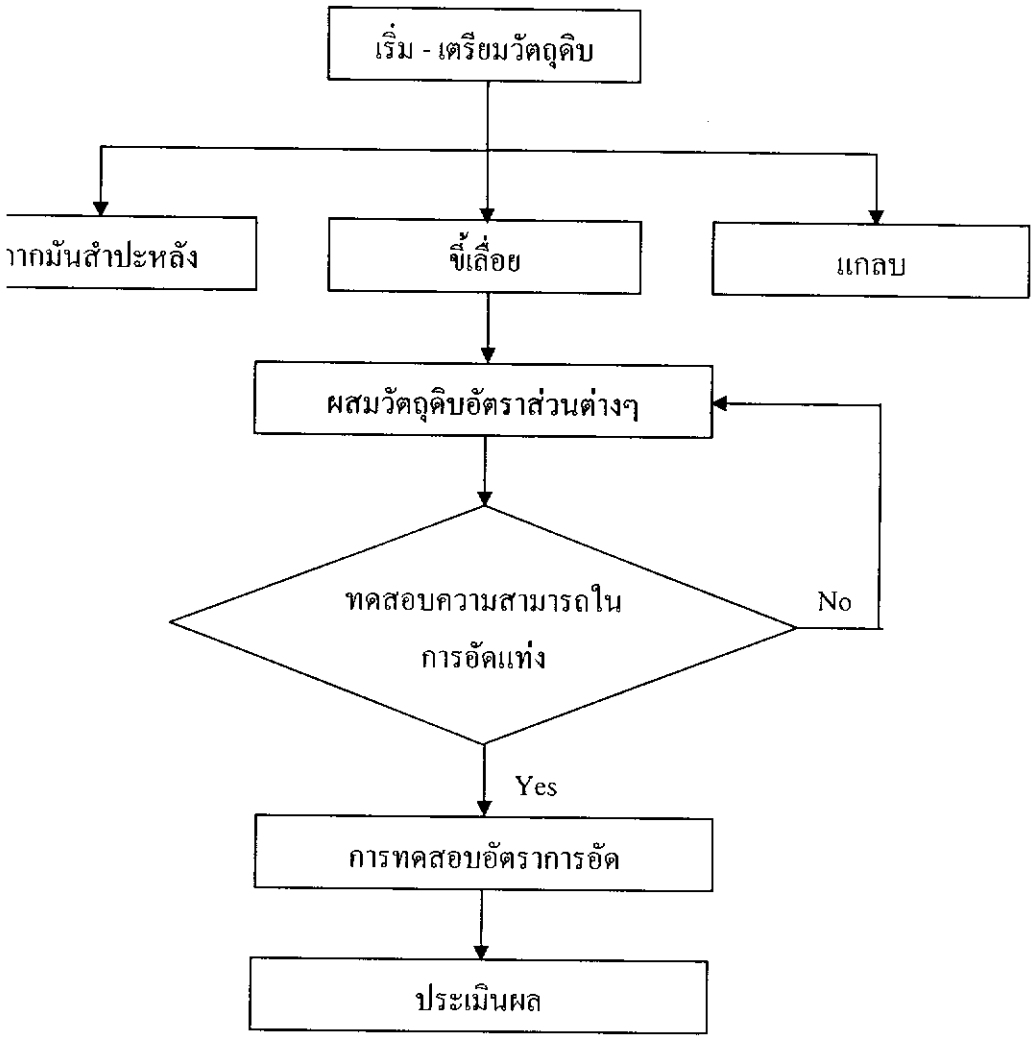
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบชีวมวล

ผสมชีวมวลโดยใช้อัตราส่วนต่าง แล้วนำเข้าเครื่องผสมเป็นเวลา 10 นาที แล้วลำเลียง (เท) เข้าสู่เกลียวป้อนโดยเทลงใน Hopper และทดสอบความสามารถในการอัดแท่ง และ การทดสอบหาอัตราการผลิต โดยการวัดความเร็วในการอัดแท่ง กล่าวคือทำการวัดเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งทุกๆความยาว 15 เซนติเมตร และทำการสุ่มหาสมบัติทางกายภาพ และค่าความร้อนของแท่งชีวมวล ตามวิธีการในหัวข้อ 3.3

3.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดจะทำการทดสอบประสิทธิภาพออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การทดสอบความสามารถในการอัดแท่ง 2) การทดสอบหาอัตราการอัด

มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบชีวมวล ที่เครื่องสามารถทำการขึ้นรูปให้เป็นแท่งได้ โดยขั้นตอนการทดสอบดังแสดงเอาไว้ใน รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล

3.4.3 การเผาถ่านและการหาผลผลิตถ่าน

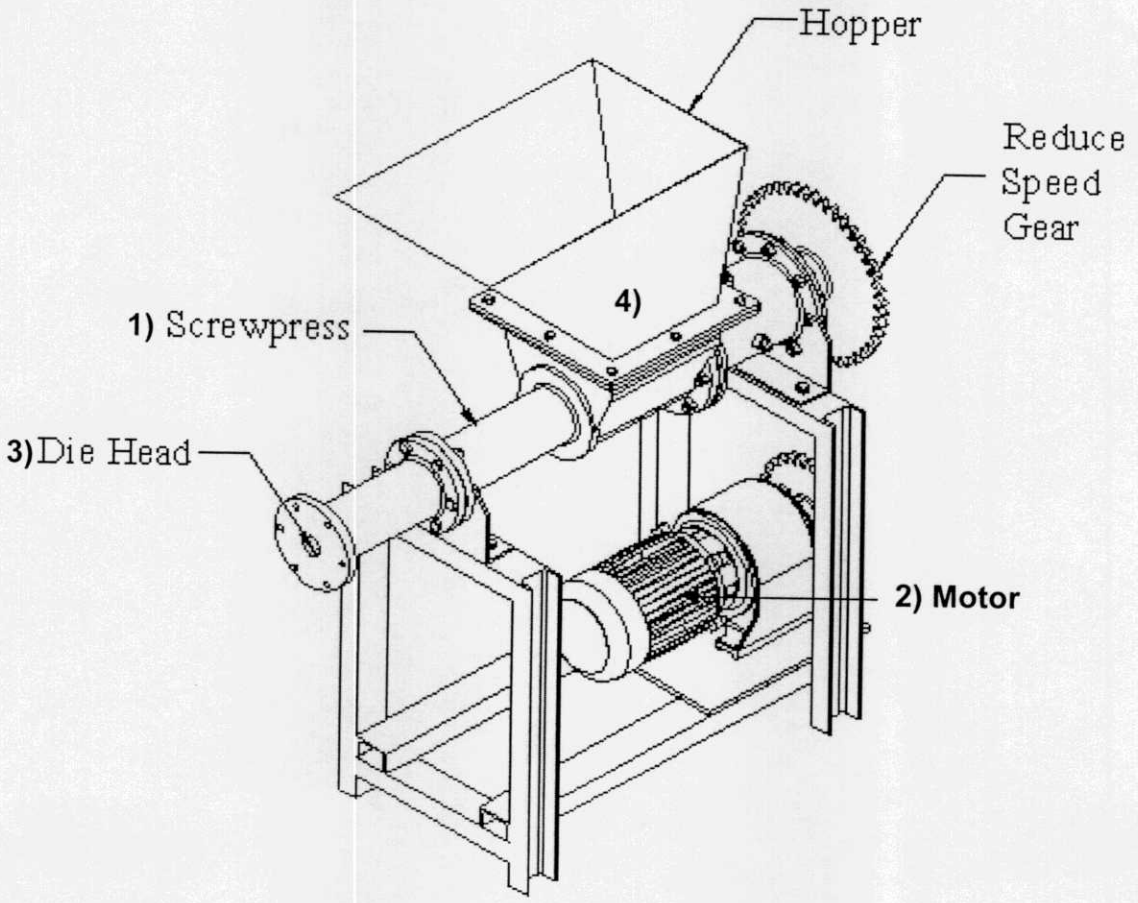
การเผา หรือ Carbonization จะใช้วิธีฝังกลบแบบไร้อากาศ เพื่อทำการหาเปอร์เซ็นต์ถ่านที่ได้รับ โดยมีวิธีการและขั้นตอนดังนี้

1) นำแท่งชีวมวลที่อัดได้ไป ชั่งน้ำหนัก และทำการผึ่งแดด ก่อนจะนำไปเผา
2) เลือกพื้นที่สำหรับเผาแท่งชีวมวล แล้วขุดหลุมลึก 40 เซนติเมตร
3) นำแท่งชีวมวลที่อัดแล้วมาเรียงเป็นชั้นๆ แล้วเผา หลังจากนั้นนำแกลบมากลบกองแท่งชีวมวล เพื่อทำป้องกันไม่ให้อากาศเข้ามากเกินไป
4) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำโคลนมาพอกรอบหลุมเผาถ่านเพื่อป้องกันอากาศเข้า รอจนถ่านเย็น
5) นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ซึ่งน้ำหนักที่เหลือคือผลผลิตถ่าน
6) ทดสอบสมบัติทางความร้อนของแท่งถ่านชีวภาพ โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สมบัติชีวมวล ในหัวข้อ 3.3

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ต้นแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรูอัด

ต้นแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรูอัดที่พัฒนาขึ้น แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 4.1 ต้นแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรูอัดที่พัฒนาขึ้น

1) สกรูอัด (Screw press)

- ขนาดพื้นที่หน้าตัดเพลากลาง 59 มม.
- ขนาดพื้นที่หน้าตัดเกลียวป้อน 125 มม.
- ระยะพิตช์เกลียวป้อน 100 มม.
- ขนาดพื้นที่หน้าตัดเกลียวอัด 87 มม.
- ระยะพิตช์เกลียวอัด 69.6 มม.
- อัตราการลำเลียง 250 กก./ชม.

2) ต้นกำลัง

- มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 แรงม้า 1 Phase
- รอบการทำงาน 1475 รอบต่อนาที
- อัตราเฟืองทด 0.52
- ใช้โซ่เป็นตัวถ่ายทอดกำลัง

3) หัวดาย

4) เรือนสกรู และ ฮอปเปอร์ใส่ชีวมวล

แบบโดยละเอียด แสดงเอาไว้ในภาคผนวก ค

4.2 สมบัติของชีวมวลตัวอย่าง

องค์ประกอบแบบประมาณและค่าความร้อนของชีวมวลที่เลือกใช้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis) ของชีวมวลที่เลือกใช้

วัสดุชีวมวล	ร้อยละ ความชื้น	สมบัติแบบประมาณ (ร้อยละ)			ค่าความร้อน kJ/kg
		สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว	
ขี้เลื่อย	7.10	65.41	19.14	15.45	29,517
แกลบ	7.03	65.41	19.14	15.45	23,062
กากมันสำปะหลัง	13.39	84.41	4.50	11.09	20,057

พบว่าองค์ประกอบแบบประมาณ ของวัตถุดิบที่เลือกใช้ พบว่ามีสัดส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัว ของขี้เลื่อยและแกลบมีค่าเท่ากัน คือร้อยละ 15.45 มากกว่ากากมันสำปะหลัง ที่มีสัดส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวเพียงร้อยละ 11.09 ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวดังกล่าวนี้ เป็นแนวโน้มของผลผลิตถ่านที่จะเกิดขึ้นหลังจากทำการเผา หรือ Carbonization แล้ว แต่อย่างไรก็ดีพบว่าปริมาณเถ้าของขี้เลื่อย และแกลบมีค่อนข้างสูง ซึ่งมีผลทำให้เกิดขี้เถ้าปริมาณมากขณะนำถ่านไปใช้งาน

เมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อนจากผลการทดลองพบว่า ขี้เลื่อยมีค่าความร้อนมากที่สุด อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาค่าความร้อนของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปได้ว่า ทุกชนิดมีความเหมาะสมและมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพได้

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวล

4.3.1 ความสามารถในการอัดของชีวมวลที่เลือกใช้

อาศัยขั้นตอนในการทดสอบในบทที่ 3 ผลการทดสอบความสามารถในการอัดแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.2

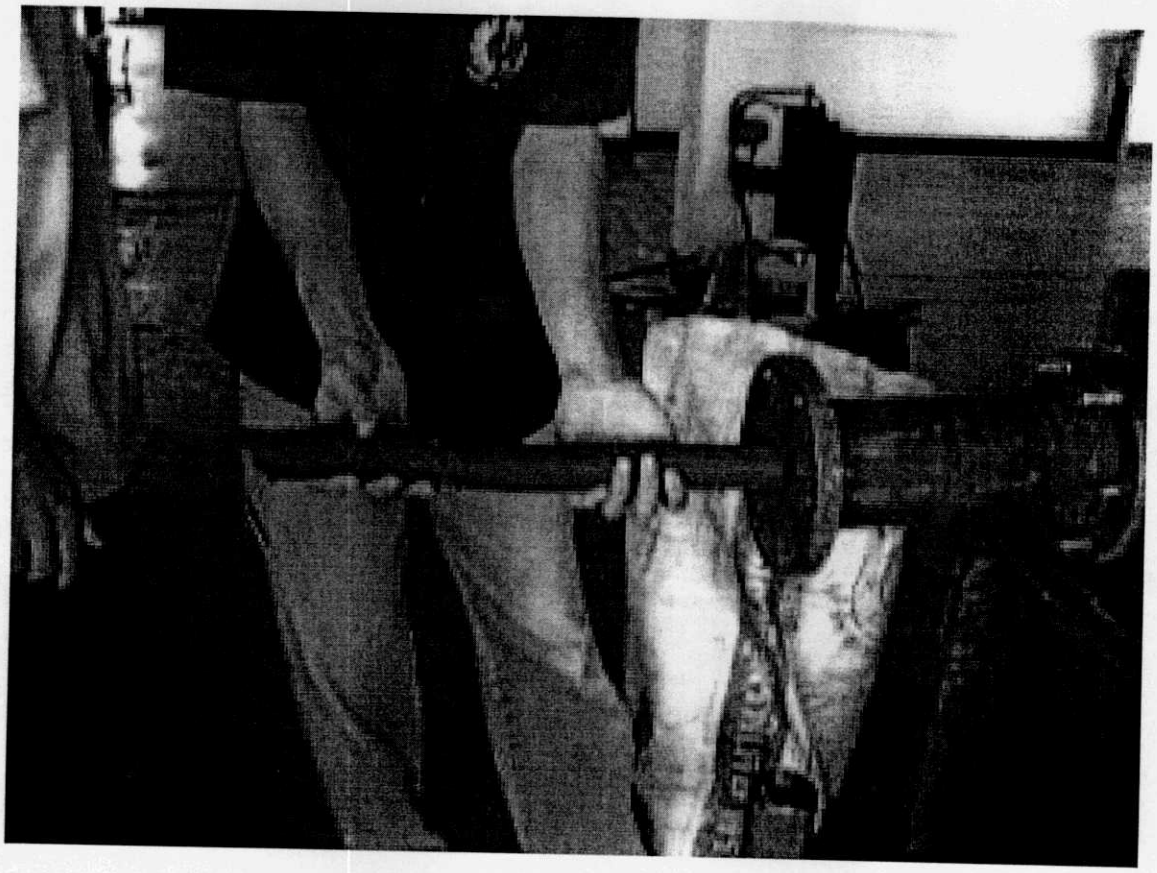
ตารางที่ 4.2 แสดงความสามารถในการอัดชีวมวลที่อัตราการผสมของน้ำต่างๆ

ส่วนผสม (กิโลกรัม)			น้ำ (กิโลกรัม)	ความสามารถในการอัด
กากมันสำปะหลัง	แกลบ	ขี้เลื่อย		
10	0	0	3	√
10	0	0	4	√
10	0	0	5	√
10	0	0	6	√
10	0	0	7	√
0	10	0	3	X
0	10	0	4	X
0	10	0	5	X
0	10	0	6	X
0	10	0	7	X
0	0	10	3	X
0	0	10	4	X
0	0	10	5	X
0	0	10	6	X
0	0	10	7	X

จากการทดลองได้ทำการอัดชีวมวล 3 ชนิด คือ กากมันสำปะหลัง แกลบ และ ขี้เลื่อย พบว่ามีเพียงกากมันสำปะหลังชนิดเดียวที่สามารถอัดขึ้นรูปออกมาเป็นแท่งได้ ในขณะที่แกลบและขี้เลื่อยไม่สามารถอัดได้ เนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในเกลียวอัดและหัวดายมีมากกว่ากำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า

4.3.2 ส่วนผสมของชีวมวลที่สามารถอัดเป็นแท่งได้

จากผลการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบชนิดเดียวที่สามารถอัดให้เป็นแท่งได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึง คุณภาพกากมันสำปะหลังอัดแท่ง จะพบว่ามีความอ่อนนุ่มคล้ายดินเหนียว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 อันเป็นผลมาจาก แป้งที่สะสมอยู่ในกากมันสำปะหลัง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะทำการเพิ่มความแข็งแรง ให้กับกากมันสำปะหลังอัดแท่ง โดยทำการผสมขี้เลื่อยและแกลบลงไปในสัดส่วนต่างๆ โดยจำกัดส่วนผสมของน้ำไว้ที่ 3 กิโลกรัม และทำการทดสอบความสามารถในการอัดตัวได้อีกครั้ง ซึ่งผลการทดสอบแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.2 แสดงการอัดแท่งของกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีอัตราส่วนผสมของแกลบกับกากมันสำปะหลังโดยจำกัด ส่วนผสมของน้ำไว้ที่ 3 กิโลกรัม

ส่วนผสม (กิโลกรัม)		น้ำ (กิโลกรัม)	ความสามารถในการอัด
แกลบ	กากมัน		
9	1	3	X
8	2	3	X
7	3	3	X
6	4	3	X
5	5	3	X
4	6	3	X
3	7	3	X
2	8	3	X
1	9	3	X

ตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีอัตราส่วนผสมของขี้เลื่อยกับกากมันสำปะหลังโดยจำกัด ส่วนผสมของน้ำไว้ที่ 3 กิโลกรัม

ส่วนผสม (กิโลกรัม)		น้ำ (กิโลกรัม)	ความสามารถในการอัด
ขี้เลื่อย	กากมัน		
9	1	3	X
8	2	3	X
7	3	3	X
6	4	3	X
5	5	3	X
4	6	3	X
3	7	3	√
2	8	3	√
1	9	3	√

จากผลการทดลองพบว่า วัสดุที่สามารถนำมาเพิ่มความแข็งแรง ให้กับกากมันสำปะหลัง และสามารถอัดเป็นแท่งได้ คือ ขี้เลื่อย ในอัตราส่วน กากมันสำปะหลัง : ขี้เลื่อย ตั้งแต่ 7:3 จนถึง 9:1 กิโลกรัม ในขณะที่มีน้ำเป็นส่วนผสม 3 กิโลกรัม

4.3.3 ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของน้ำต่อการอัดแท่ง

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่าวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือ แกลบ : กากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:7 ไม่สามารถอัดแท่งได้ ในขณะที่มีน้ำเป็นส่วนผสม 3 กิโลกรัม อย่างไรก็ดีเมื่อทำการทดลองเพิ่มน้ำเข้าไปพบว่า สามารถทำให้วัสดุชีวมวลดังกล่าวสามารถอัดให้เป็นแท่งได้ โดยเริ่มต้นที่มีส่วนผสมของน้ำ 6 กิโลกรัมขึ้นไป ดังแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.5

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำมีผลทำให้ อัตราเร็วในการอัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยได้ทำการทดสอบเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไป ในวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือ ขี้เลื่อย : กากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:7 พบว่าอัตราเร็วในการอัดเพิ่มมากขึ้นดังแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมของน้ำมีผลต่อการอัดแท่ง คือช่วยลดแรงเสียดทาน หรือแรงต้านการอัดได้

ตารางที่ 4.5 แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือ แกลบและกากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:7 เมื่อมีการปรับปริมาณน้ำ

ส่วนผสม (กิโลกรัม)		น้ำ (กิโลกรัม)	ความสามารถในการอัด
แกลบ	กากมัน		
3	7	3	X
3	7	5	X
3	7	6	√
3	7	7	√

ตารางที่ 4.6 แสดงความสามารถในการอัดได้ของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือขี้เลื่อยและกากมัน สำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 ที่มีการปรับปริมาณน้ำ

ส่วนผสม (กิโลกรัม)		น้ำ (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งได้ 15 ซม. (วินาที)
ขี้เลื่อย	กากมัน		
3	7	3	30.54
3	7	5	31.61
3	7	6	31.99
3	7	7	22.99

4.4 การทดสอบอัตราการอัด

การทดสอบอัตราการอัดแท่งทำได้โดย จับเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งให้ได้ 15 ซม. ทั้งนี้จะทำการศึกษาหาสมบัติทางกายภาพของแท่งชีวมวล คือ ความหนาแน่นและความชื้น ควบคู่กันไปด้วย โดยทำการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของชีวมวล คือ ขี้เลื่อย : กากมันสำปะหลัง : น้ำ ในอัตราส่วน 7:3:3 , 7:3:5 , 7:3 :6 และ 7:3:7 ดังแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.7

นอกจากนี้และ ส่วนผสมของชีวมวล คือ แกลบ : กากมันสำปะหลัง : น้ำ ในอัตราส่วน 7:3 :6 ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราการอัดของส่วนผสมวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือขี้เลื่อยและกากมัน สำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 ที่มีการปรับปริมาณน้ำ

อัตราส่วนผสม			เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งได้ 15 ซม(วินาที)	น้ำหนักต่อ 15 ซม. (กก.)	อัตราการอัดต่อ 8 ซม. (กก.)
ขี้เลื่อย	กากมัน	น้ำ			
3	7	3	30.54	0.504	475.32
3	7	5	31.61	0.397	361.68
3	7	6	31.99	0.349	314.13
3	7	7	22.99	0.303	379.48

ตารางที่ 4.8 แสดงอัตราการอัดของส่วนผสมวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือแกลบและกากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:7 ที่มีการปรับปริมาณน้ำ

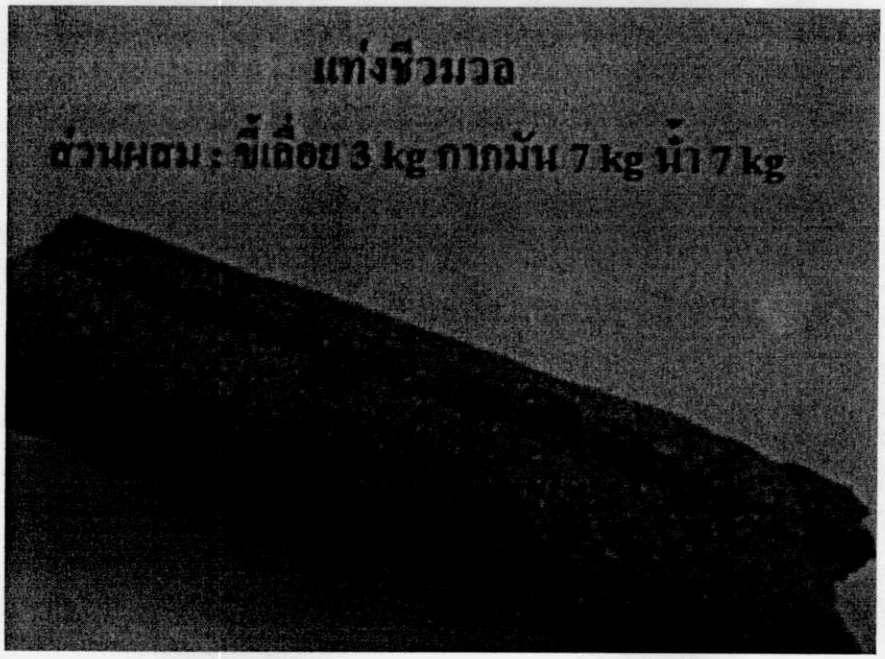
อัตราส่วนผสม			เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งได้ 15 ซม(วินาที)	น้ำหนักต่อ 15 ซม. (กก.)	อัตราการอัดต่อ 8 ซม. (กก.)
แกลบ	กากมัน	น้ำ			
3	7	6	195.06	0.334	49.31

จากผลการทดสอบอัตราการอัดแท่งของส่วนผสมวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมคือแกลบและกากมันสำปะหลัง พบว่าเวลาที่ใช้นานมาก จึงทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นแท่งชีวมวล ในส่วนของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสม คือ ขี้เลื่อย : กากมันสำปะหลัง : น้ำ มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นแท่งชีวมวล โดยมีความหนาแน่นและความชื้นดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9

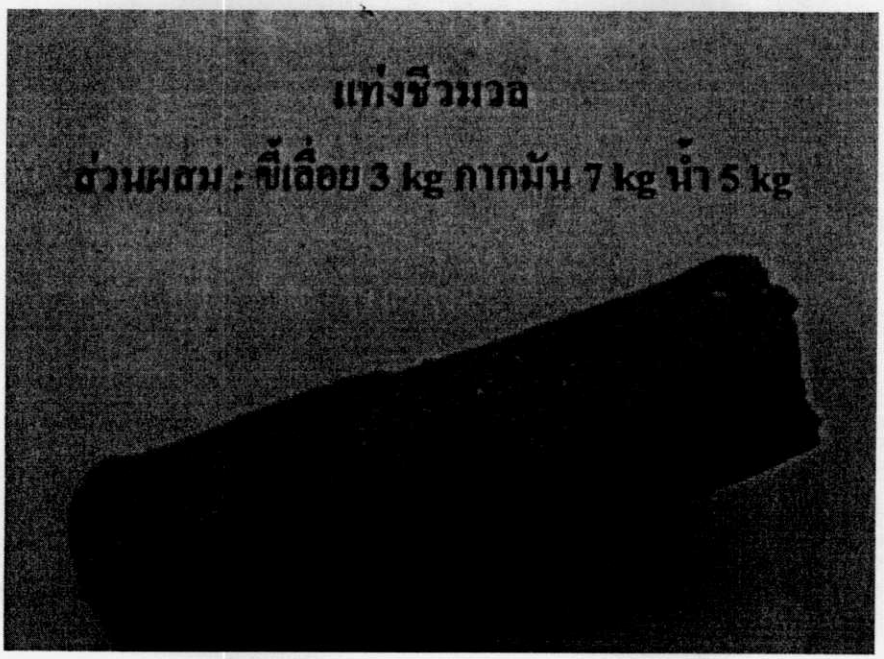
ตารางที่ 4.9 สมบัติของแท่งชีวมวลและอัตราการอัด ของวัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสม			ร้อยละความชื้น	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	อัตราการอัด (กก./ชม.)
ขี้เลื่อย	กากมัน	น้ำ			
3	7	3	30.84	749.31	59.41
3	7	5	40.45	589.68	45.21
3	7	6	47.34	518.86	39.26
3	7	7	54.38	449.90	47.43

จากผลการทดลอง พบว่าเวลาที่ใช้ในการอัดเพื่อให้ได้ความยาวเฉลี่ย 15 ซม. ในส่วนผสมต่างๆอยู่ในช่วง 23-32 วินาที ซึ่งจะมีอัตราการอัดแท่งอยู่ระหว่าง 40-60 กก./ชม. และมีความหนาแน่นในช่วง 450-750 กก./ลบ.ม. โดยตัวอย่างแท่งชีวมวลแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.2 – 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:7



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:5

4.5 ค่าความร้อนของแท่งชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของแท่งชีวมวล จะทำการวิเคราะห์ ก่อนและหลังเผา โดยพบว่าแท่งชีวมวลอัดที่เผาแล้ว ค่าความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นทวีคูณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าความร้อนของแท่งชีวมวล

อัตราส่วนผสม			ค่าความร้อน MJ/kg (kcal/kg)	
ขี้เลื่อย	กากมัน	น้ำ	ก่อนเผา	หลังเผา
3	7	3	16.92 (4,028)	33.82 (8,052)
3	7	5	18.93 (4,571)	32.00 (7,619)
3	7	6	17.93 (4,269)	33.84 (8,057)
3	7	7	19.13 (4,555)	36.63 (8,721)

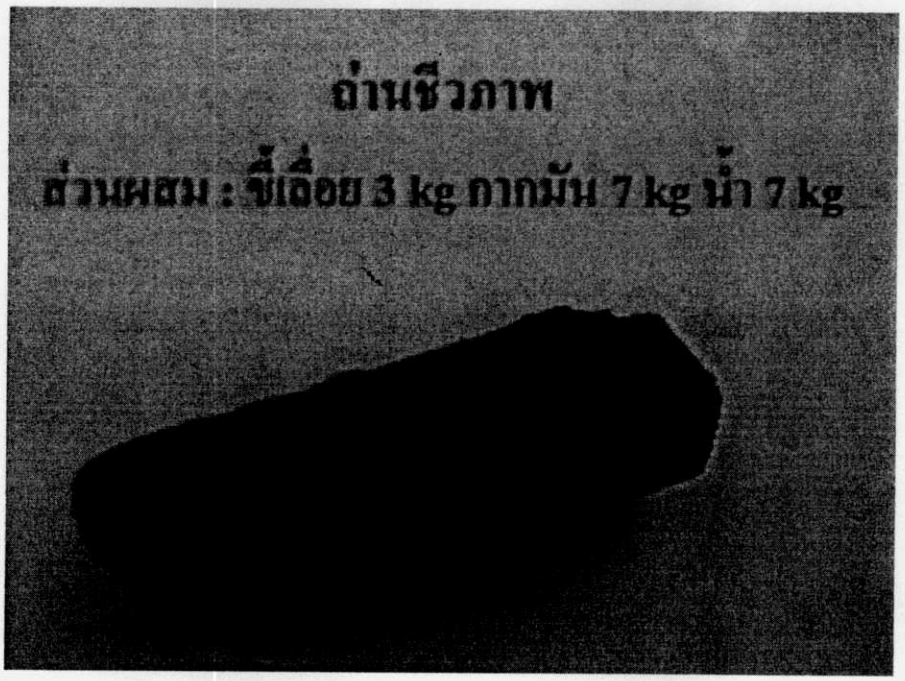
จากการทดลองหาค่าความร้อนของแท่งชีวมวลนั้น พบว่าแท่งชีวมวลมีค่าความร้อนเฉลี่ย 4,340 kcal/kg มีค่าเทียบเคียงกับไม้ฟืน (4,500 kcal/kg) และเมื่อนำไปเผาเป็นถ่านจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 8,112 kcal/kg มีใกล้เคียงกับถ่านไม้ซึ่งปรกติจะมีค่าความร้อนเฉลี่ย 7,500 kcal/kg (ธีระชัย จันทรเสนา) ดังนั้นการนำกากมันสำปะหลังมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ ที่มีอยู่มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดนครราชสีมา

4.6 ผลผลิตถ่าน และคุณภาพถ่าน

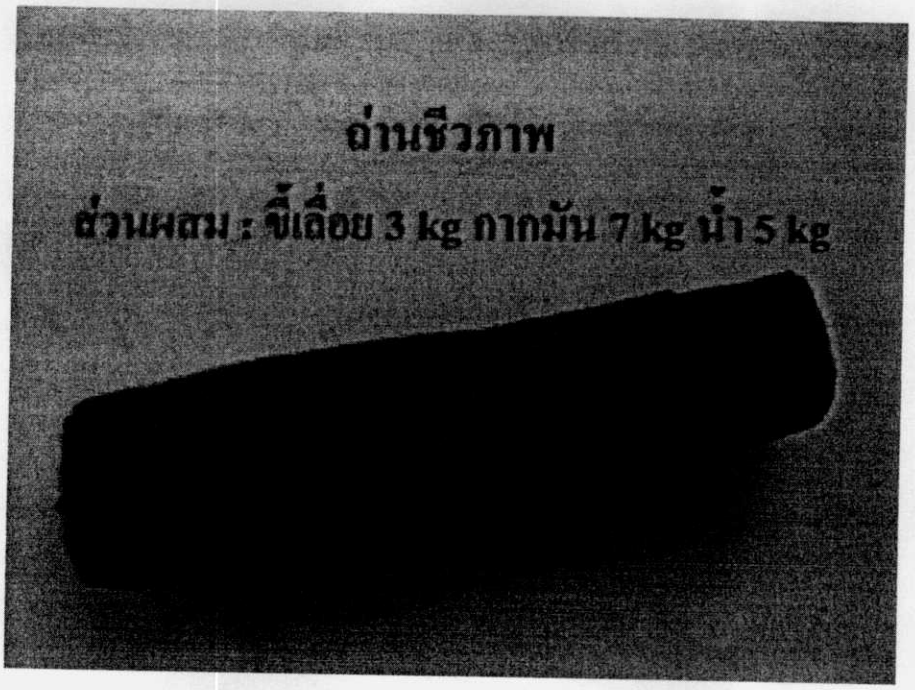
เมื่อนำแท่งชีวมวลไปเผาพบว่าน้ำหนักแท่งชีวมวล หายไปค่อนข้างมากโดยผลผลิตถ่านมากสุดที่ได้รับ คือ ร้อยละ 22 ซึ่งมีส่วนผสมของ ขี้เลื่อย : กากมันสำปะหลัง : น้ำ ในอัตราส่วน 3:7:3 นอกนั้น ซึ่งตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละผลผลิตถ่านที่ได้รับของแท่งชีวมวลที่ส่วนผสมต่างๆ โดยที่น้ำหนักที่หายไปนั้น ก็คือปริมาณน้ำ หรือความชื้นที่อยู่ในแท่งชีวมวลนั่นเอง ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการเผาถ่านนี้เป็นวิธีการ เผาแบบขุดหลุมฝังกลบ ซึ่งผลผลิตถ่านที่ได้จากการเผาแต่ละหลุมมีค่าแตกต่างกัน สำหรับคุณภาพแท่งชีวมวลที่ผ่านการเผาแล้วพบว่า จะงอไม่สวยงามบรรจุหีบห่อยาก ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.4 – 4.5

ตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละผลผลิตถ่านที่ได้รับของแท่งชีวมวลที่ส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสม			ร้อยละ	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	ร้อยละ
ขี้เลื่อย	กากมัน	น้ำ	ความชื้น	เผา (กก.)	เผา (กก.)	ผลผลิต
3	7	3	30.84	0.504	0.111	22
3	7	5	40.45	0.397	0.076	19
3	7	6	47.34	0.349	0.059	17
3	7	7	54.38	0.303	0.044	15



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:7 ผ่านการเผา



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:5 ผ่านการเผา

4.7 การวิเคราะห์ต้นทุน

4.7.1 ต้นทุนการผลิตถ่านชีวมวล 1 กิโลกรัม

สามารถจำแนกได้ออกดังนี้

1) ค่าวัตถุดิบ 4 กก. x 0.5 บาท = 2 บาท (เผาถ่านได้ผลผลิตร้อยละ 25)

2) ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ = 0.5 บาท

3) ค่าแรงงานในการอัดแท่งและเผาถ่าน = 3 บาท

รวมทั้งสิ้น (1+2+3) = 5.5 บาท/กก.

4.7.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทน

โดยอาศัยข้อมูลการทดสอบเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ผลิตขึ้น ซึ่งอัตราการอัดแท่ง 60 กก./ชม. หรือผลิตถ่านได้ 15 กก./ชม. โดยทำงานวันละ 8 ชม. เฉลี่ย 6 วัน/สัปดาห์ หรือประมาณ 2,500 ชม./ปี จะทำให้มีกำลังการผลิตถ่านชีวมวลได้ 37,500 กก./ปี โดยมีรายละเอียดการลงทุนและผลตอบแทนดังแสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.12 โดยสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 2 ปี

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดการลงทุนและผลตอบแทน

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
เงินลงทุน		**ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปี**	
- ค่าก่อสร้างโรงเรือน	-40,000	- ค่าวัตถุดิบ	-75,000
- เครื่องอัดแท่ง	-60,000	- ค่าไฟฟ้า	-18,750
- เครื่องผสม	-20,000	- ค่าแรงงาน	-112,500
- ภาษี ร้อยละ 7	-84,00	- ค่าซ่อมบำรุง	-20,000
		- เบ็ดเตล็ด	-10,000
		รายได้ต่อปี	
		- จากการขายถ่านอัดแท่ง 37,5000 กก. (8 บาท/กก.)	+300,000
เงินลงทุนสุทธิ	-128,400	รายได้สุทธิต่อปี	63,725

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนสุทธิ/รายได้สุทธิต่อปี

= 128,400/63,725

= 2

บทที่ 5
สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ต้นแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวล ที่ทำการออกแบบ มีส่วนประกอบหลักๆดังนี้คือ 1) สกรูอัด 2) มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง 3) หัวดาย และ 4) เรือนสกรู และ ฮอปเปอร์ใส่ชีวมวล ซึ่งสกรูออกแบบให้มีอัตราการลำเลียง 250 กก./ชม. เมื่อนำมาใช้สำหรับการอัดสามารถอัดแท่งชีวมวลได้ ประมาณ 40-60 กก./ชม. โดยสามารถอัดวัสดุชีวมวลให้มีความหนาแน่นได้ในช่วง 450-750 กก./ลบ.ม. ทั้งนี้ความสามารถในการอัดขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนผสมของชีวมวล และปริมาณน้ำหรือความชื้นของวัตถุดิบ โดยส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบในครั้งนี้ คือ วัสดุชีวมวลที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 โดยมีน้ำเป็นส่วนผสม 3 ส่วนโดยน้ำหนัก จะทำให้อัตราการอัดสูงกว่าส่วนผสมอื่น เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตถ่านที่ได้รับ ในส่วนผสมนี้จะให้ผลผลิตถ่านร้อยละ 22

จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านที่ได้รับพบว่า มีค่าความร้อนเฉลี่ย 8,112 kcal/kg มีใกล้เคียงกับถ่านไม้ซึ่งปรกติจะมีค่าความร้อนเฉลี่ย 7,500 kcal/kg ดังนั้นการนำกากมันสำปะหลังมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ ที่มีอยู่มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดนครราชสีมา

สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุนโดยใช้เครื่องต้นอัดแท่งชีวมวลดังกล่าว พบว่าสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 2 ปี โดยใช้เงินลงทุนสุทธิ 128,400 บาท สามารถทำกำไรสุทธิได้ปีละ 63,725 บาท

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1) คุณภาพของแท่งชีวมวลที่อัดออกมาได้จะมีลักษณะผิวเรียบไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นในอัตราส่วนผสม และชนิดของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความชื้น ลักษณะของเนื้อวัสดุ การสม่ำเสมอในการผสมเข้าด้วยกัน ตลอดจนการประสานตัวกันที่เกิดจากแรงดันหรือแรงอัด ซึ่งเครื่องที่ทำการออกแบบไว้นี้เป็นเครื่องที่ใช้กำลังในการอัดค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นความตั้งใจ ในการลดต้นทุนด้านพลังงานในการอัด ซึ่งบางครั้งการที่ถ่านอัดแท่งมีผิวไม่สวย อาจจะมีผลต่อความต้องการของตลาดพอสมควร จึงน่าจะมีการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ได้ถ่านอัดที่ผิวสวย และตรงต่อความต้องการของตลาด

2) ด้านอัตราการผลิตจะมีการสูญเสียเวลามากในช่วงเริ่มทำการอัดตัวของชีวมวล เนื่องจากต้องรอระยะเวลาการอัดตัวให้แน่นก่อนภายในเครื่องอัด และหลังจากที่ชีวมวลเริ่มถูกอัดออกมาทางหัวดายแล้วถึงจะสามารถอัดออกมาได้เรื่อยๆ ซึ่งบางครั้งจะเกิดการติดขัดอยู่ในเกลียวอัด ทำให้ต้องถอดบ่อยครั้ง ควรจะมีการออกแบบตัวเครื่องอัดให้สามารถทำการถอดออกมาแก้ไขได้ง่าย ซึ่งจะสามารถทำการการบำรุงรักษาได้ง่ายอีกด้วย

3) วัตถุดิบที่ลำเลียงใส่ทางกระบะของเครื่องอัดแท่ง จะมีความสามารถในการลำเลียงโดยเกลียวลำเลียงเข้าสู่เกลียวอัดได้ไม่ดีนักที่บางส่วนผสม ซึ่งต้องทำการช่วยกระทุ้งให้สามารถลำเลียงเข้าสู่เกลียวอัดได้ แต่ถ้ากระทุ้งแน่นไปก็จะไปติดที่สกรูอัดทำให้ไม่สามารถอัดออกมาได้ ควรจะมีการเพิ่มเติมระบบกวนวัตถุดิบบริเวณฮอปเปอร์เข้าไปในตัวเครื่องด้วย

บรรณานุกรม

1. ธีรชัย จันทรเสนา. 2528. " การผลิตถ่านและคุณภาพของถ่านจากไม้ป่าชายเลนโดยใช้เตาอิฐขนาดเล็ก ". วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. 78 หน้า
2. AURIOL, R.F., MAIRE, J. and MAURAND, P. (1939). " Production of Charcoal Agglomerates ". Chemical Abstract. Vol. 33. Pp. 5614.
3. BAROFTI, I. (1987). " Utilization of Compacted Biomass for Energy Production in Hungary ". Paper Presented at the 1st FAO/CNRE Workshop on " Handling and Processing of Biomass for Energy ". Hamburg.
4. BHATTACHARYA, S.C. et al. (1985). " Densified Biomass in Thailand ". Status and Problem. Biomass, Vol 8, pp.255-266.
5. BHATTACHARYA, S.C. et al. (1988). " State of the Art for biocoal Technology ". AIT-GTZ Biocoal Project. AIT, Bangkok.
6. CAREE, J., HERBER, J., LACROSSE, L. and SCHENKEL, Y. (1987). " Briquetting Agricultural and Wood Residues: Experiment Gained with a Heatd Die Cylindrical Screw Press ". Paper Presented at the 1st FAO/CNRE Workshop on " Handling and Processing of Biomass for Energy ". Hamburg.
7. ERIKSSON, S. and M, Prior. (1990). " The Briquetting of A gricultural Wasted for Fuel ". FAO Environment and Energy Paper 11. FAO, Rome.
8. Estudillo, C.P. et. al. 1976. " Charcoal production and utilization of coconut shells and trunk in the Philippines ". NSDN Technology J. 2(1):156-182.
9. KUBINSKY, E.J. (1986). " Densifying Wood Waste: Machinery Comparison ". Forest Industries, August 1986. pp. 28-30
10. LEQUEUX, P., CARRE, J., HEBERT, J. and LACROSSE, L. (1988). " Biomass Densification ". Commission of the European Communities, Directorate General for Development.
11. REED, T.B. and BRYANT, B. (1978). " Densified Biomass: A New Form of Fuel ". Solar Energy Research Institute. Golden, Colorado, USA.
12. SHIBATA, T. (1986). " Wood Based Densified Fuels ". Farming in Japan, Vol.20, No.1, pp.35-41.
13. Tamalang, F.N. 1976. " The utilization of coconut trunk and other parts in the Philippines ". NSDB Technology J. 1(2):51-65.

Bibliography

1. AGRA, I.B., (1982). Pyrolysis of Pelletized Sawdust, Energy Recovery and Utilization of Solid. Wastes, Nagoya, pp. 75 – 84.
2. ANTAL, M.J, JR. (1985). Mathematical Modelling of Biomass Pyrolysis Phonomena. Fuel, Vol.64, pp.1483-1486.
3. ARSENAULT, R.H., GRANDBOIS, M.A., CHORNET, E. and TIMBERS, G.E. (1980), Pyrolysis of Agricultural Residue in a Rotary Kiln. Thermal Conversion of Solid Wastes from Biomass. American Chemical Society. pp.337-350.
4. BHATTACHARYA, S.P. (1988). A Study on Sawdust Biocoal. Masters Thesis. AIT, Bangkok.
5. BHATTACHARYA, S.C., BHATIA, R., ISLAM, N. and SHAH, N. (1985). Densified Biomass in Thailand: Potential, Status and Problems. Biomass, Vol.8 pp.225-226
6. BHATTACHARYA, S.C., SAUNIER, G.Y., SHAH, N. and ISLAM, N. (1984). Densification of Biomass Residues in Asia. Bio-Energy 84.
7. BHATTACHARYA, S.C., and YEASMIN, H. (1984). Effect of Densification Pressure and Temperature on the Properties of Densified Biomass. AIT, Unpublished.
8. BHATTACHARYA, S.C., SHRESTHA, R. M., WONGVICHA, P., NGAMKAJORNVIVAT, S. (1988a). Cost and Availability of Selected Residues in Thailand. AIT-GTZ Biocoal Project. AIT, Bangkok.
9. BHATTACHARYA, S.C., BHATTACHARYA, S.P. and SRIKANTHAN, S. (1988b). Biomass Densification: A Study of Process and Product Quality Improvement. AIT, Unpublished.
10. BOLEY, C.C., and Rice, N. (1949), Methods of Evaluating Briquette Quality. Proceeding of Coal briquetting Conference. pp.31-47.
11. BRANDT, H. (1987). Health Impacts of Burning Rice Husk Briquettes in Traditional Stoves. University of Twente 22nd April.
12. BREAG, G.R., HARKER. A.P. and SMITH, A.E. (1985). Batch Carbonization of Coconut Shell and Wood with Recovery of Waste Heat. Energy from Biomass-3, pp.849-859.
13. DEEPCHAND, K. (1987). A Note on the Pyrolysis Behavior of Sugar Cane Fibrous Products. Biological Wastes. Vol.20, pp.203-208.

14. ESTUDILLO, C.P., BRIONES, L.P., CABRAL, R.R. and TORAY, W.G. (1984). Equipment and Process for the Production of Smoke-Free Charcoal from Sawdust. NSTA Technology Journal, Oct.-Dec., pp.58-68.

15. FOLEY, G. (1986). Charcoal Briquetting. Charcoal Making in Developing Countries. EARTHSCAN. pp.155-157.

16. GOPALACHARI, N.C. (1985). Briquettes from Organic Wastes as Fuel for Curing Virginia Tobacco. Changing Villages, Vol.7, No.3, pp.189-195.

17. HISLOP, D. (1986). Residue Briquetting in the Gambia. Appropriate Technology. Vol.13, No.2, pp.22-23.

18. JOSEPH, S. and HISLOP, D. (1985). Residue Briquetting in Developing Countries. Energy from Biomass 3, pp.1064-1068.

19. JOHANNES, H. (1982). Direction for Manufacturing Bio-Briquettes and Hybrid Stoves. Renewable Energy Review Journal, Vol.4, No.1, pp. 66-71.

20. KRIST-SPIT, C.E. and WENTINK, G. (1985). The Acceptabillity of Briquettes from Biomass Residues in Asian Domestic Cooking Stove. TNO, Netherland Ref. Nr 85-065.

21. KOULLAS, D.P. and KOUKIOS, E.G. (1987). Briquetting of Wheat Straw. Paper Presented at First Workshop of FAO/CNRI on Handling and Processing of Biomass for Energy, Hamburg,FRG, 14-15 September.

22. MARTIN, J. (1985). Production of Biomass Fuel Briquettes in Developing Countries. Changing Villages, Vol.17, No.13, pp.215-239.

23. PITAKARNOP, N. (1983). Production and Evaluation of Rice Husk Briquettes in Thailand. Agricultural Wastes and Solar Technologies for Energy Needs in Farms. FAO. pp.120-128.

24. RAKESH, B.C.K. and STEWART, D.F. (1986). An Investigation of the Kinetics of Coconut Shell Pyrolysis. Resources and Conservation, Vol.12, ESP. pp.137-139.

25. SINGH, A. and SINGH Y. (1982). Briquetting of Paddy Straw. Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America, December, Vol.13,No.4, pp.42-44.

26. SINGH, D. and KASHYAP, M.M. (1985). Mechanical and Combustion Characteristics of Paddy Rice Husk Briquettes. Agricultural Wastes, Vol.13, pp.189-196.

27. SMITH, A.E., FLYNN, G., and BREAG, G.R. (1985). A Profile of the Briquetting of Agricultural and Forestry Residues. Changing Villages, Vol.7, No.3, Shanthi Printers, India.

28. กรมป่าไม้, วิจัยพลังงานงานจากป่า, http://www.forest.go.th/Research/Res/energy.html

29. โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดา,เชื้อเพลิงเขียว

http://kumis.cpc.ku.ac.th/nk40/nk/data/12/project1.htm

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบและถ่านที่เตรียมได้

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis)

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture)

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในสารตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1.1.1 อุ่นเตาเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 750°C

1.1.2 อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.1.3 ชั่งสารตัวอย่างที่มีขนาด –100 mesh หนักประมาณ 1 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้อง

1.1.4 อบสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณความชื้นในสารตัวอย่างโดย

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \qquad (ก\text{-}1)$$

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash)

วิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในสารตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1.2.1 เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.2.2 ชั่งสารตัวอย่างหนักประมาณ 1 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้อง หรือใช้สารตัวอย่าง
ที่ผ่านการหาความชื้นแล้ว

1.2.3 เผาสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (เปิดฝาถ้วยกระเบื้องขณะเผา) คำนวณปริมาณเถ้าในสารตัวอย่างโดย

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักสารตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่างเริ่มต้น}} \qquad (ก\text{-}2)$$

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยในสารตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1.3.1 เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.3.2 ชั่งสารตัวอย่างหนักประมาณ 1 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้องหรือใช้สารตัวอย่างที่ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้ว

1.3.3 เผาสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 7 นาที (ขณะเผาให้ปิดฝาถ้วยกระเบื้อง) แล้วนำออกจากเตาเผาทันที ตั้งทิ้งไว้ในสภาพบรรยากาศประมาณ 20 นาทีแล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.3.4 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา ทำซ้ำกระทั่งสารตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

1.3.5 คำนวณปริมาณสารระเหยในตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \qquad (ก\text{-}3)$$

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

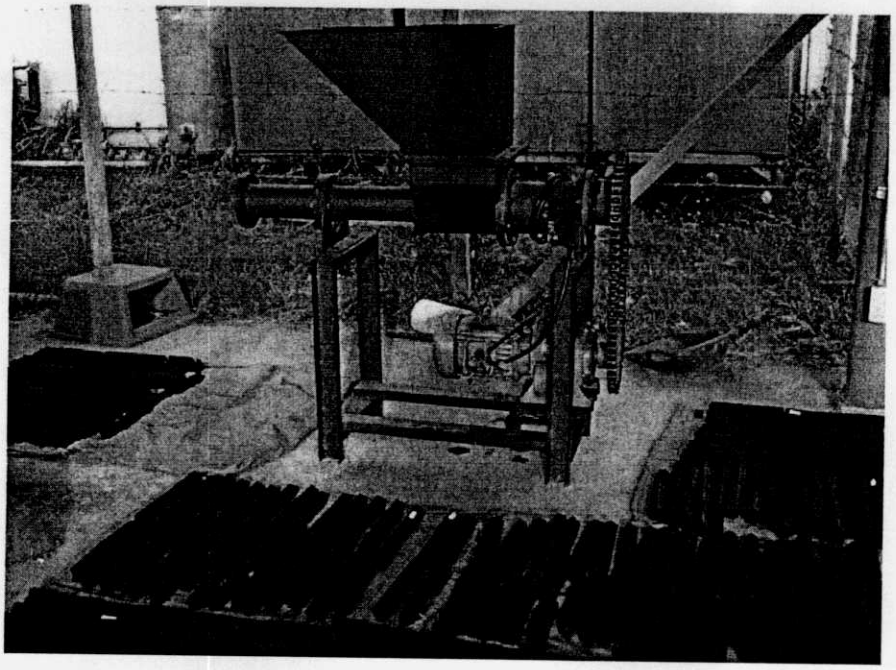
ปริมาณคาร์บอนคงตัวในสารตัวอย่างคำนวณจาก

$$\text{คาร์บอนคงตัว} = 100 - \text{ร้อยละความชื้น} - \text{ร้อยละเถ้า} - \text{ร้อยละสารระเหย} \qquad (ก\text{-}4)$$

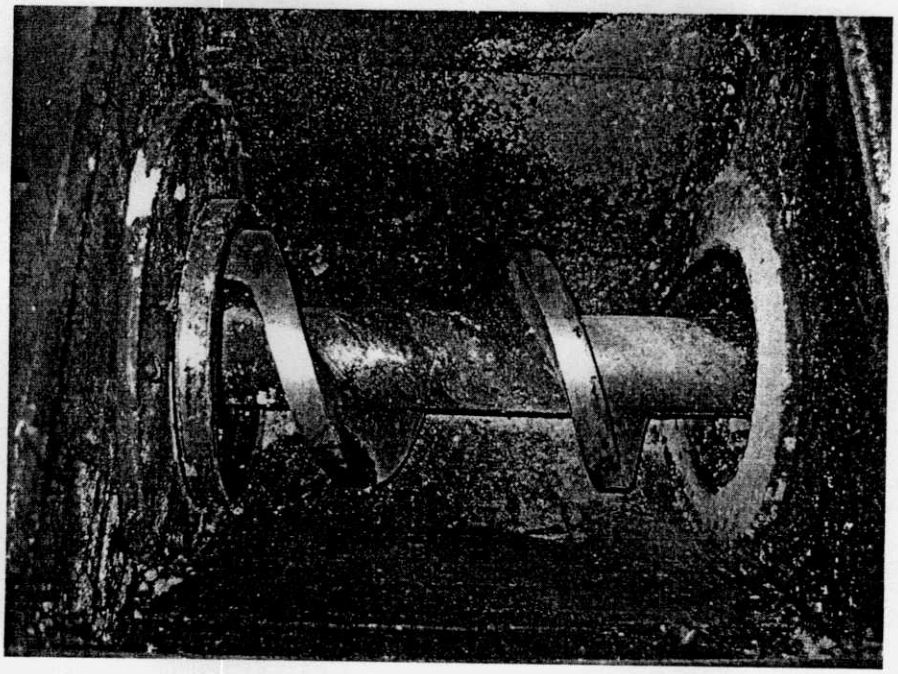
หรือคำนวณจาก

$$\text{คาร์บอนคงตัว} = 100 - \text{ร้อยละเถ้า} - \text{ร้อยละสารระเหย} \qquad (ก\text{-}5)$$

ภาคผนวก ข.
เครื่องอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง

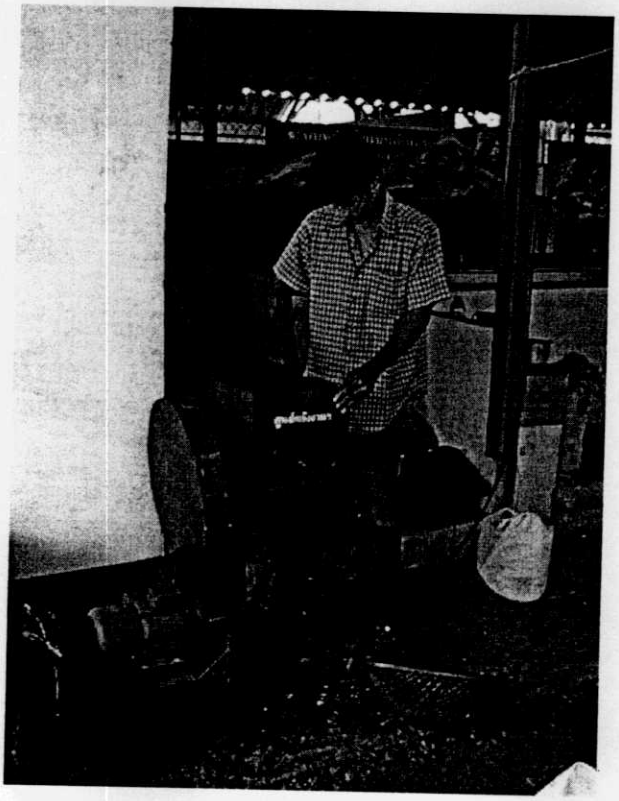


รูปที่ ข.1 เครื่องอัดถ่าน

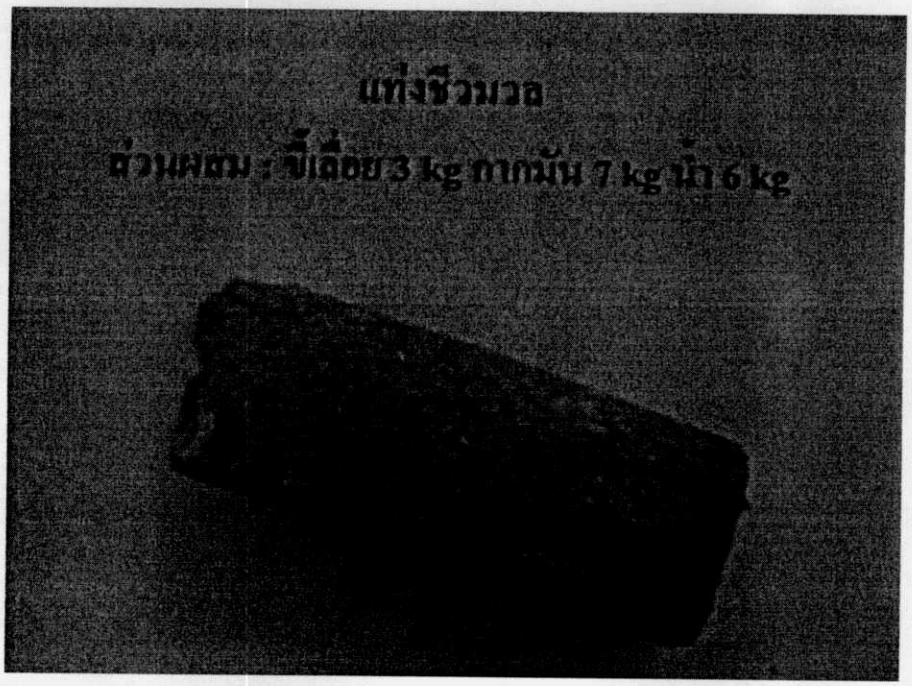


รูปที่ ข.2 เกลียวอัด

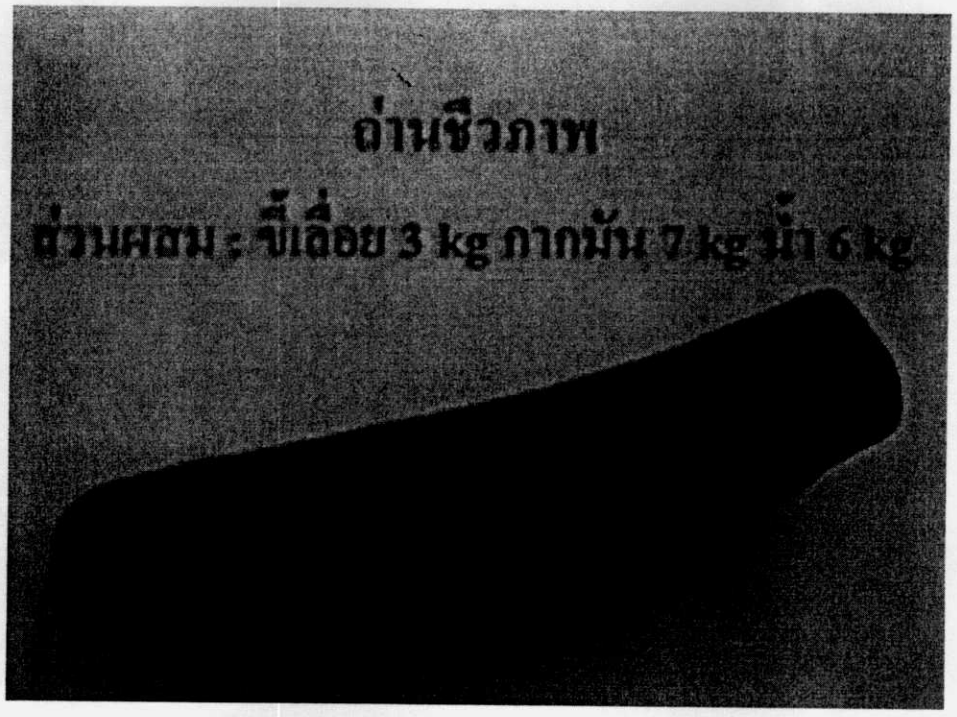
รูปที่ ข.3 การชั่งน้ำหนักและผสม



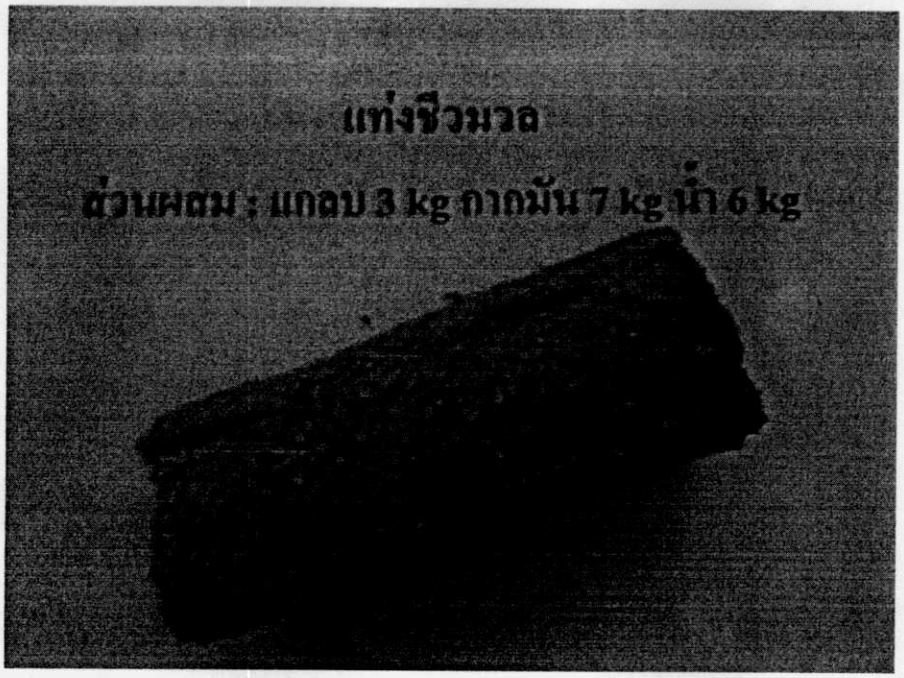
รูปที่ ข.4 ขั้นตอนและเครื่องผสม



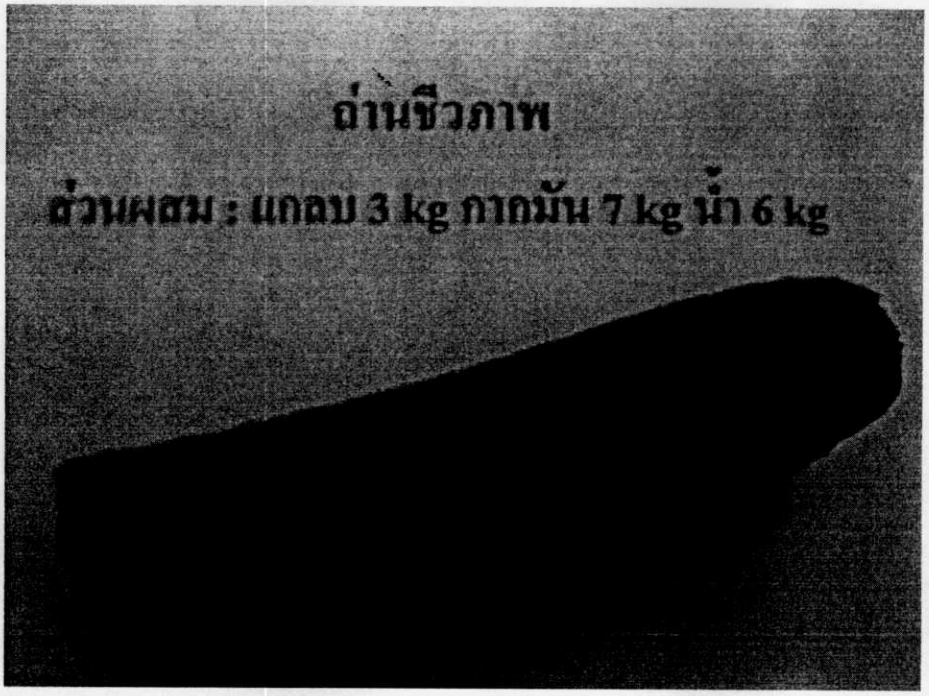
รูปที่ ข.5 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:6



รูปที่ ข.6 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมขี้เลื่อย:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:6 ผ่านการเผา



รูปที่ ข.7 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมแกลบ:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:6

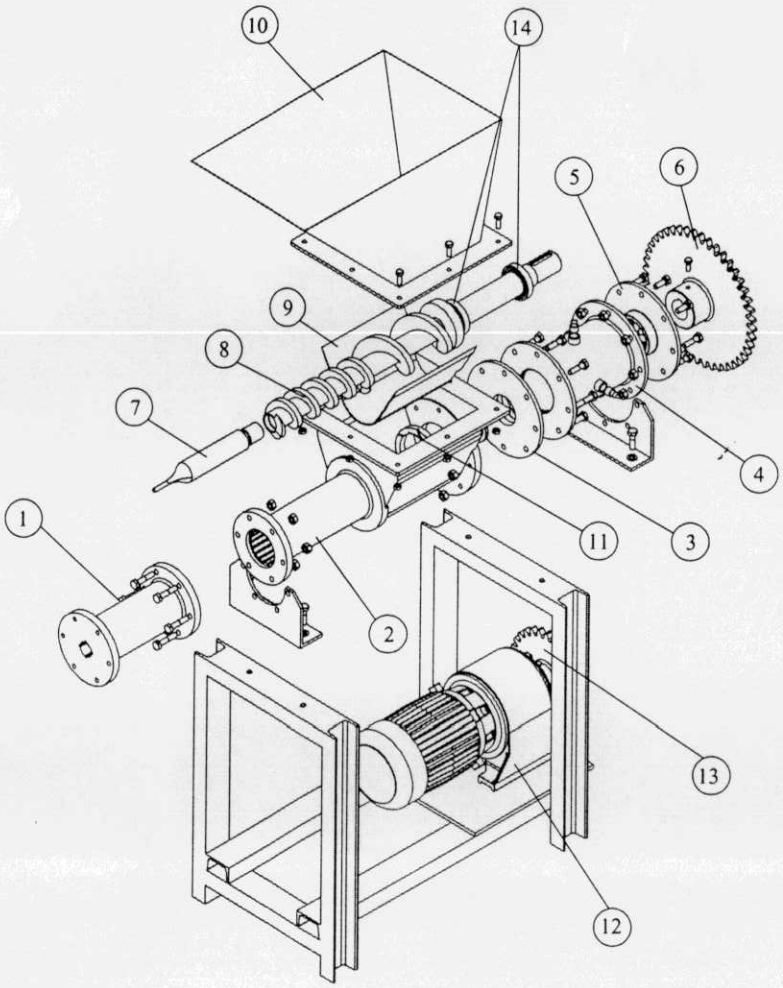


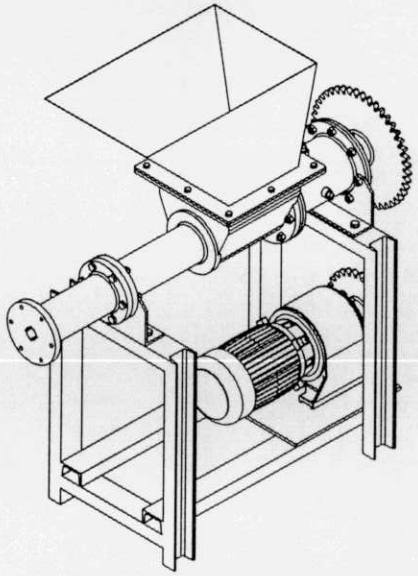
รูปที่ ข.8 ตัวอย่างแท่งชีวมวลที่มีส่วนผสมแกลบ:กากมันสำปะหลัง: น้ำ อัตราส่วน 3:7:6 ผ่านการเผา

ภาคผนวก ค.

รายละเอียดเครื่องอัดแท่ง

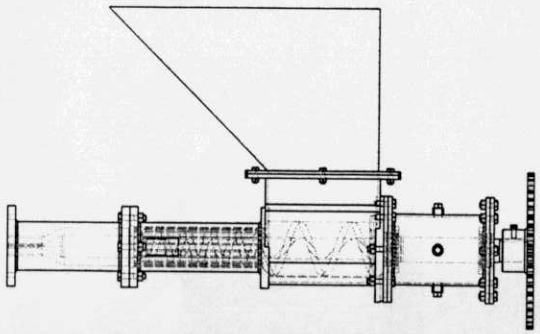
(Detail Design)



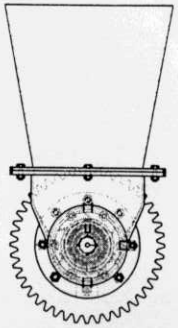


Qty	Description	Item
2	Ball bearing	14
1	Motor Gear	13
1	3 Hp Motor	12
1	Screwpress Lock	11
1	Hopper	10
1	Conveyer Case	9
1	Screwpress	8
1	Die head	7
1	Reduce Speed Gear	6
1	Back Panel Gearbox	5
1	Gearbox	4
1	Front Panel Gearbox	3
1	Screwpress Case	2
1	Diehead Case	1

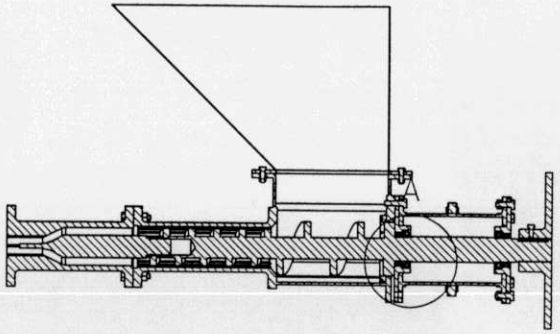
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name DE_01	Date 22/07/47	Scale –
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		DETAIL_01				
		No.01			Edition 01	Sheet 01



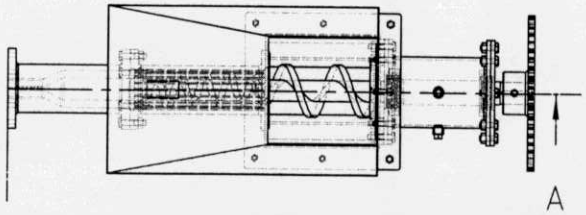
SIDE VIEW
Scale 1:12



FRONT VIEW
Scale 1:12

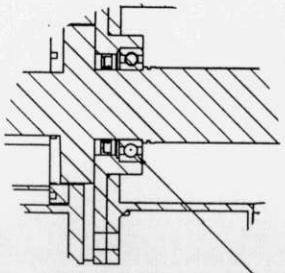


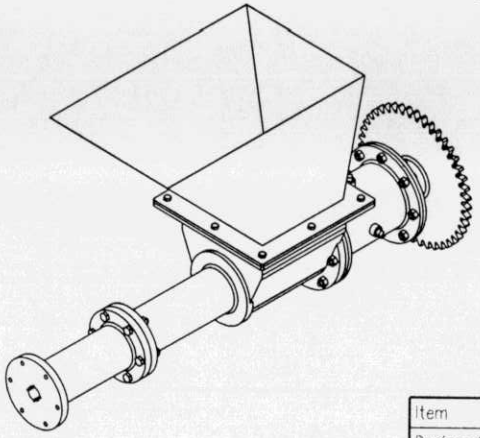
Section A-A

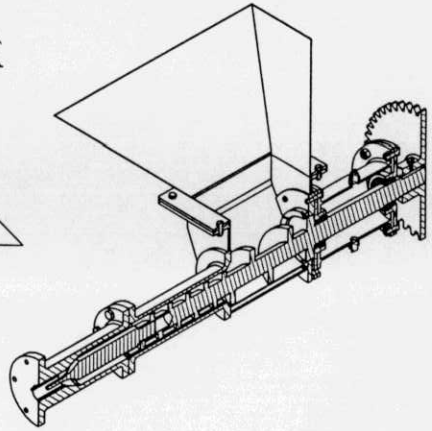


TOP VIEW
Scale 1:12

Detail A (1:4)

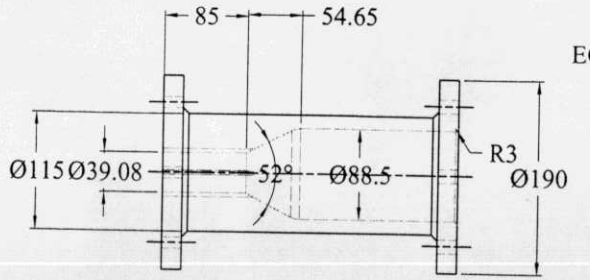




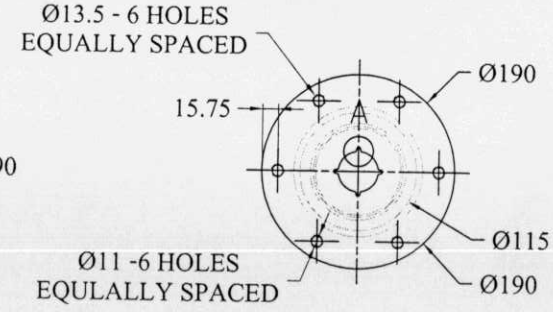


unit : millimeter

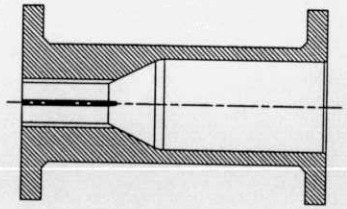
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name DE_02	Date 22/07/47	Scale 1:12
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		DETAILS_02				
		No.01			Edition 01	Sheet 02



SIDE VIEW
Scale 1:5

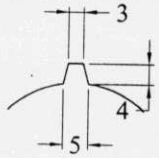


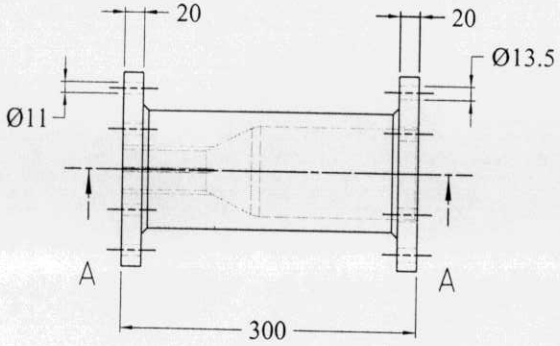
FRONT VIEW
Scale 1:5



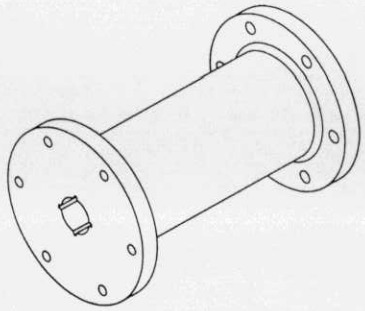
Section A-A

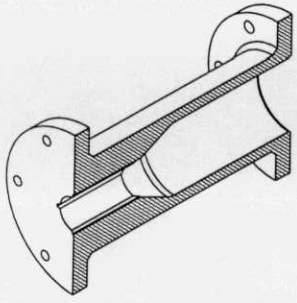
Detail A (1:1)

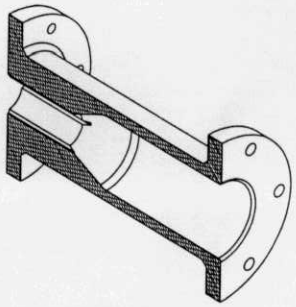




TOP VIEW
Scale 1:5

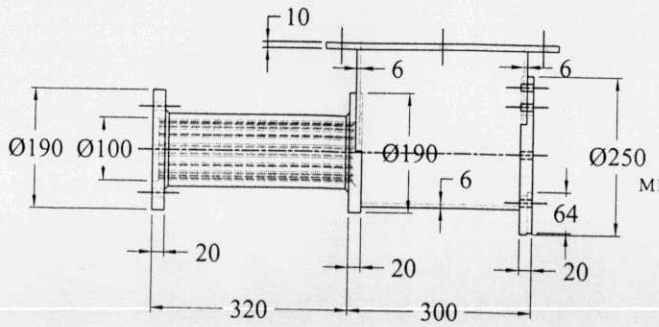




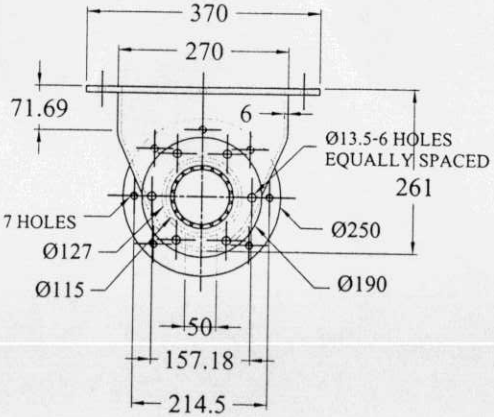


unit : millimeter

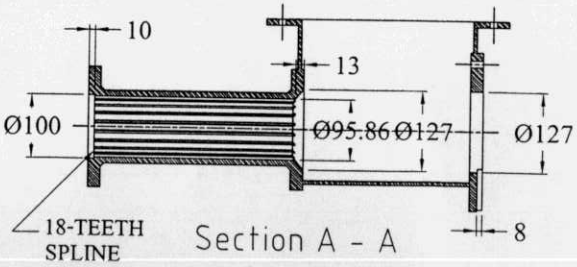
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.				Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name DC_01		Date 22/07/47	Scale 1:5
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		DIE HEAD CASE					
		No.01				Edition 01	Sheet 03



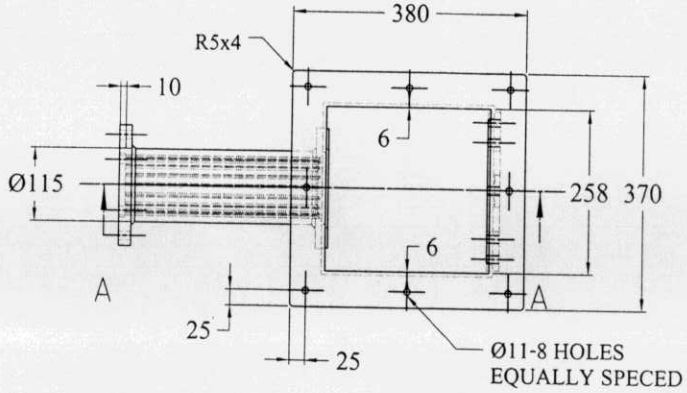
SIDE VIEW
Scale 1:8



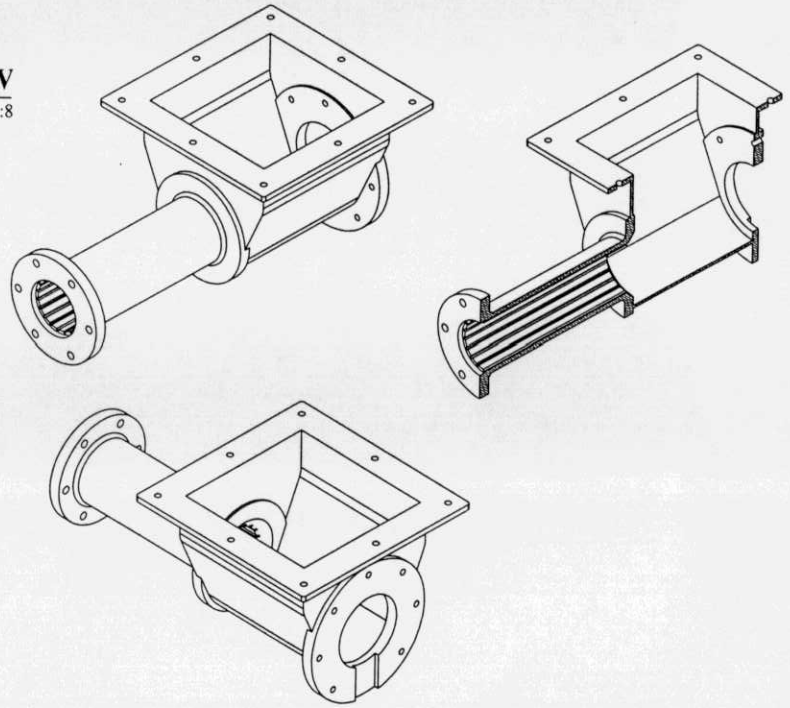
FRONT VIEW
Scale 1:8



Section A - A

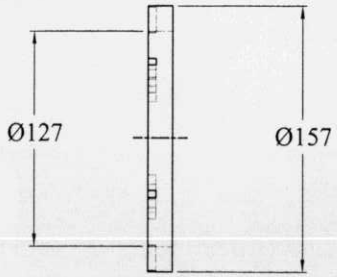


TOP VIEW
Scale 1:8

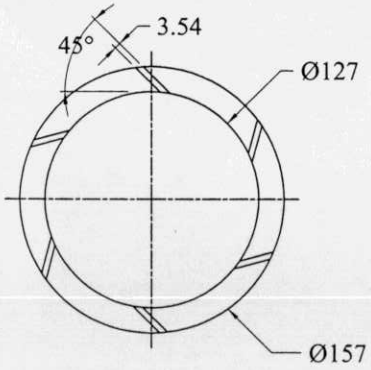


unit : millimeter

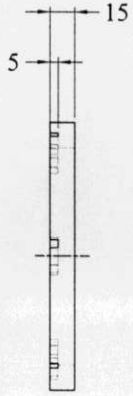
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name SCC_01	Date 22/07/47	Scale 1:5
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOG;Y		SCREWPRESS CASE			
		No.01		Edition 01	Sheet 04



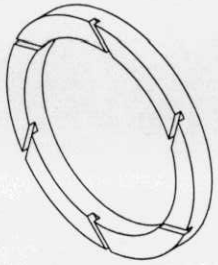
SIDE VIEW
Scale 1:3



FRONT VIEW
Scale 1:5

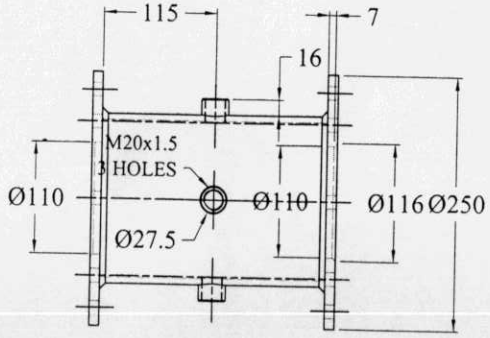


TOP VIEW
Scale 1:3

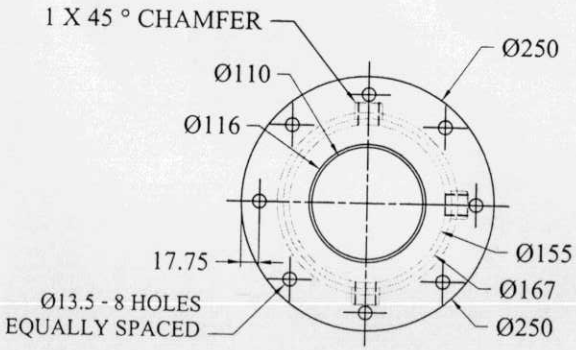


unit : millimeter

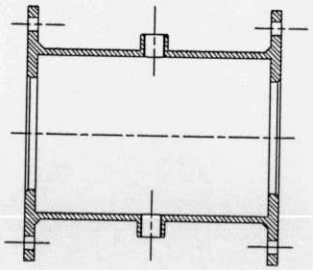
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name SL_01	Date 22/07/47	Scale 1:3
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		SCREWPRESS LOCK				
		No.01			Edition 01	Sheet 05



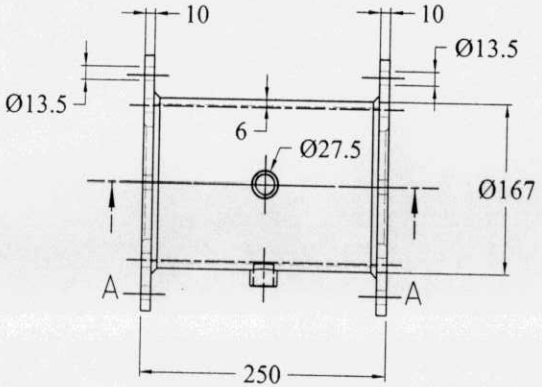
SIDE VIEW
Scale 1:5



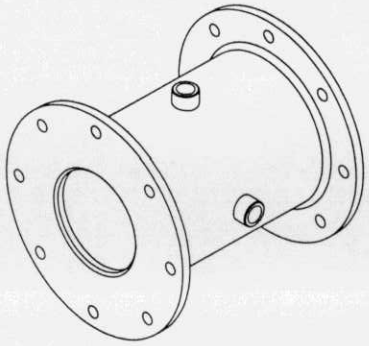
FRONT VIEW
Scale 1:5

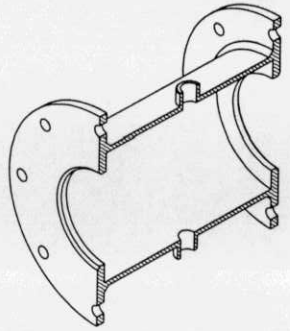


Section A-A



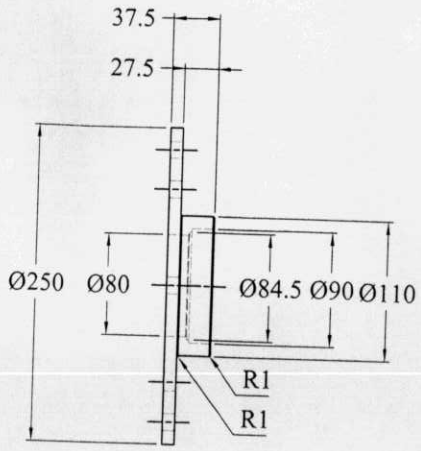
TOP VIEW
Scale 1:5



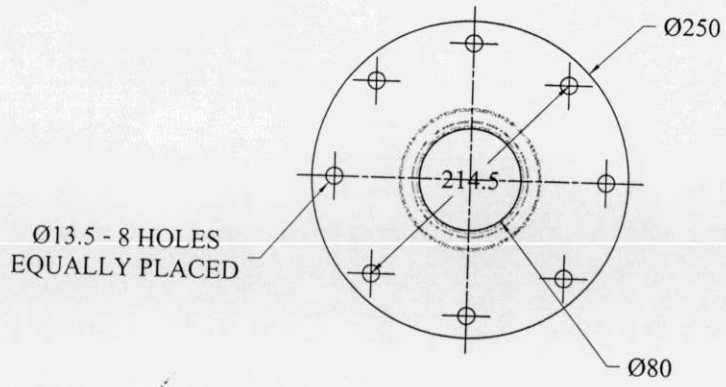


unit : millimeter

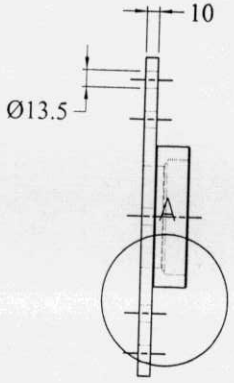
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name GC_01	Date 22/07/47	Scale 1:5
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Gearbox				
		No.01			Edition 01	Sheet 06



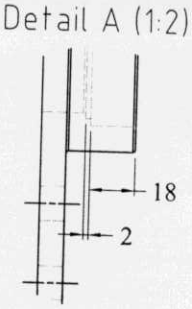
SIDE VIEW
Scale 1:4

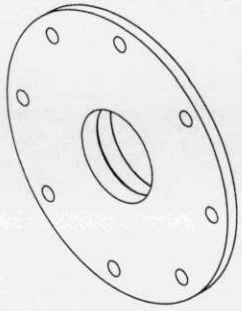


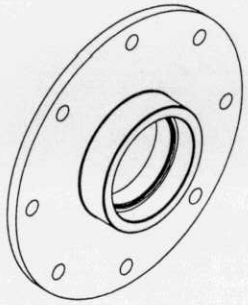
FRONT VIEW
Scale 1:4



TOP VIEW
Scale 1:4

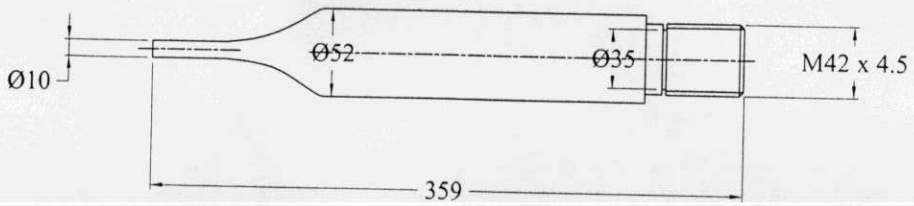




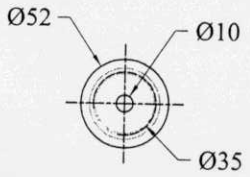


unit : millimeter

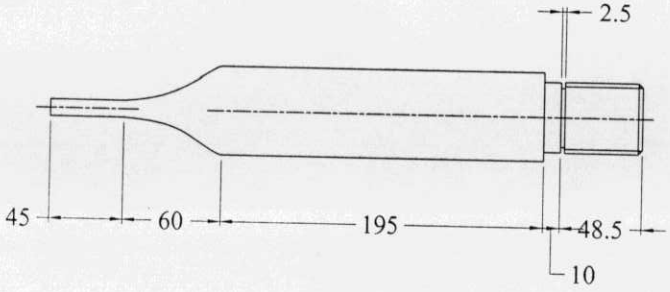
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name BP_01	Date 22/07/47	Scale 1:4
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Back Panel Gearbox				
		No.01			Edition 01	Sheet 07



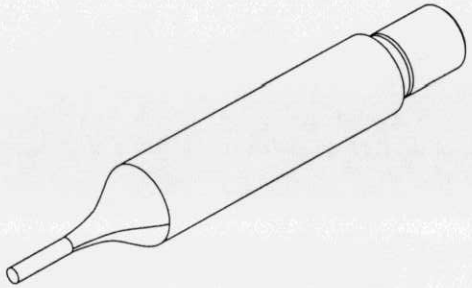
SIDE VIEW
Scale 1:3



FRONT VIEW
Scale 1:3

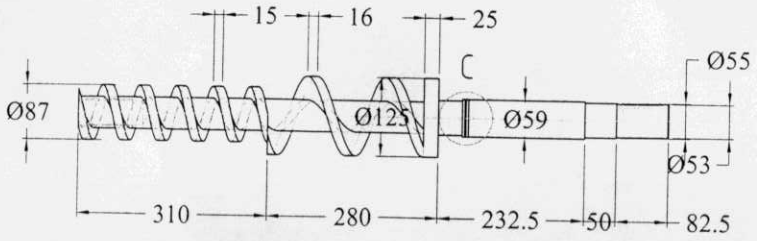


TOP VIEW
Scale 1:3

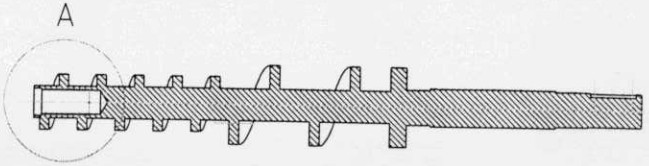


unit : millimeter

Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai– 22/07/47	File name DIE_01	Date 22/07/47	Scale 1:3
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		DIE HEAD				
		No.01			Edition 01	Sheet 08

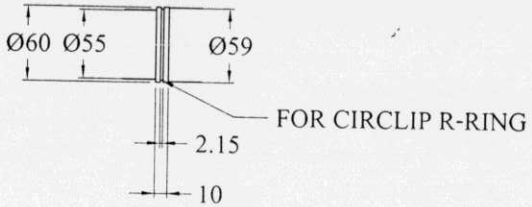


SIDE VIEW
Scale 1:8



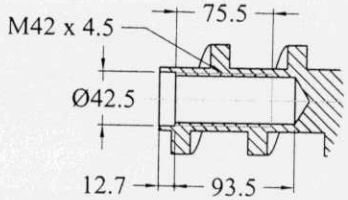
Section A-A

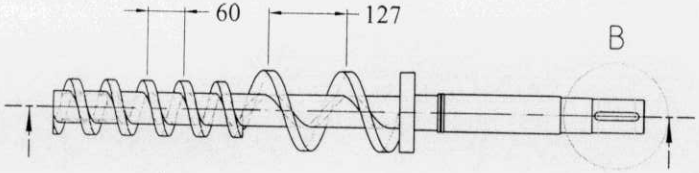
Detail C (1:4)

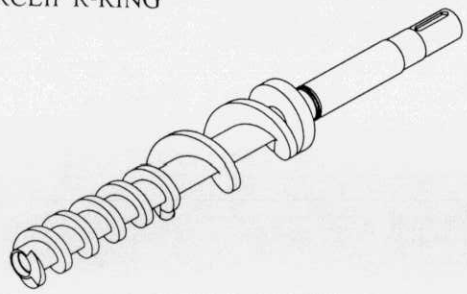


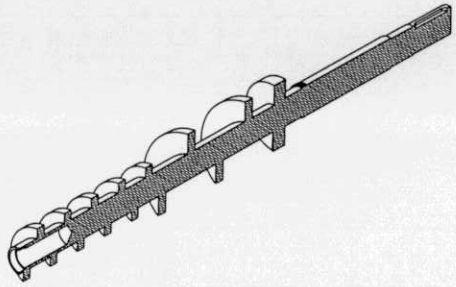
FRONT VIEW
Scale 1:8

Detail A (1:4)



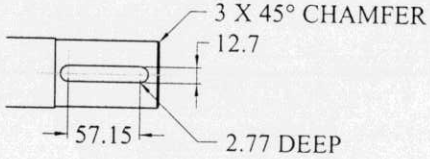






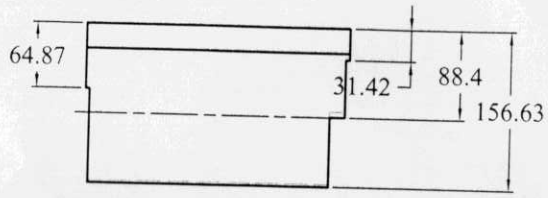
TOP VIEW
Scale 1:8

Detail B (1:4)

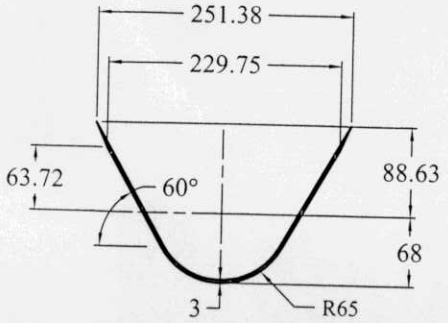


unit : millimeter

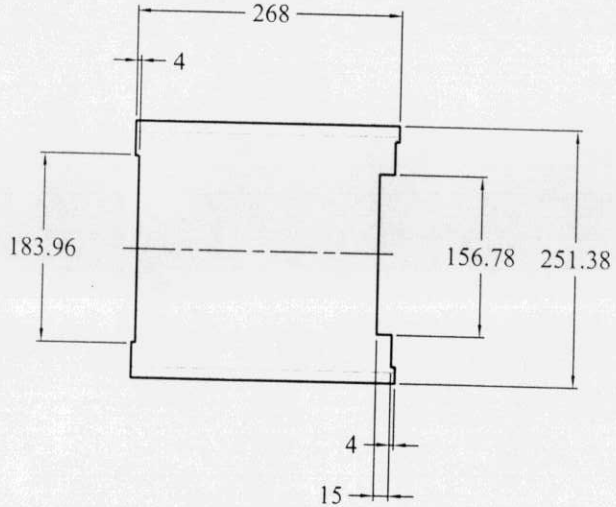
Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai– 22/07/47	File name PRESS_01	Date 22/07/47	Scale 1:8
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		SCREWPRESS				
		No.01			Edition 01	Sheet 09



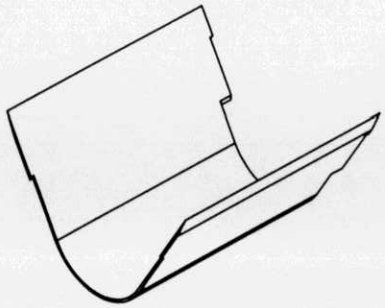
SIDE VIEW
Scale 1:5



FRONT VIEW
Scale 1:5



TOP VIEW
Scale 1:5



unit : millimeter

Item	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.			Articale No./Reference	
Designed by Weerachai Arjharn		Checked by Weerachai	Approved by – date Weerachai – 22/07/47	File name CC_01	Date 22/07/47	Scale 1:5
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Conveyer Case				
		No.01			Edition 01	Sheet 10

ภาคผนวก ง.
ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	:	**ดร. วีรชัย อาจหาญ**
การศึกษา	:	Ph.D. สาขาวิศวกรรมเกษตร University of Tsukuba, Japan พ.ศ. 2544
	:	วศ.ม. วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2540
	:	วท.บ. เกษตรกลวิธาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2537
อบรมระยะสั้น	:	Summer School of Agricultural Engineering: University of Gottingen, Germany
ประสบการณ์โดยสรุป	:	ประสบการณ์ 3 ปี ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์และ การแปรภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับการจัดการทรัพยากรทางด้านการเกษตร การพัฒนาแบบจำลองหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืช การจัดทำฐานข้อมูล GIS การพัฒนารูปแบบการนำวัสดุเหลือใช้ และของเสียทางการเกษตร มาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล โดยวิธี Carbonization และ Gasification เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2544 - ปัจจุบัน	:	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัด นครราชสีมา

ผลงานการบริหารโครงการ

พ.ศ. 2544 – ปัจจุบัน	โครงการจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานทดแทน ในจังหวัดนครราชสีมา (วิจัย : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่งหัวหน้าโครงการ

โครงการพัฒนาการปลูกข้าวโพดหวานในเชิงธุรกิจ โดยใช้เทคโนโลยีมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ผู้ว่าจ้าง: บริษัท มาลีสาม พราน จำกัด มหาชน ร่วมกับ สวทช.) ตำแหน่ง ที่ปรึกษาด้าน GIS

โครงการจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ น้ำมันพืชใช้แล้วสำหรับนำมาใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในจังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดเชียงใหม่ (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน สำหรับนำมาใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในประเทศไทย (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกทานตะวัน สำหรับนำมาใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในประเทศไทย (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการออกแบบเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบสองทางออกสำหรับการผลิตไฟฟ้าและการอบแห้ง (วิจัย : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการออกแบบและทดสอบเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับผลิตถ่านชีวภาพ (วิจัย : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการออกแบบและทดสอบระบบกกลูกสุกรในโรงเรือนอนุบาลโดยใช้ก๊าซชีวภาพ (วิจัย : สกว. และ บริษัท โฟร์ที จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหน่วยงานที่ปรึกษาในเครือข่ายฯ โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง (ระยะที่ ๓) ฟาร์มขนาดกลาง (ผู้ว่าจ้าง : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการ หน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (Research Unit: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการทำนายผลผลิตอ้อยโดยใช้เครือข่ายใยประสาทประดิษฐ์ (ผู้ว่าจ้าง : บริษัท เอ็น.วาย. ชูการ์ จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาสมบัติน้ำมันรำข้าว (ผู้ว่าจ้าง: บริษัท เจียเม้ง จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการจัดทำกรอบแผนยุทธศาสตร์พลังงานแบบบูรณาการระดับจังหวัด – จังหวัดบุรีรัมย์ [ผู้ว่าจ้าง : สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา) กระทรวงพลังงาน] ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน / ผู้ประสานงานโครงการ

โครงการ การจัดการเกษตรแบบบูรณาการ กรณีศึกษาจังหวัดสุรินทร์ (ผู้ว่าจ้าง: สำนักงานจังหวัด จังหวัดสุรินทร์- การประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวหอมมะลิ กรณีศึกษาจังหวัดสุรินทร์) ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านทรัพยากรการเกษตร