

การผลิตซ้ำหรือเผยแพร่จากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF FUEL BRIQUETTE FROM WOOD MILL SAWDUST AND THREAD

Miss Kanmanee Saengsook



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย
โดย	นางสาวกัญมณี แสงสุข
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. เสกสรร พาป้อง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ชูตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. เสกสรร พาป้อง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว)

กัณมณี แสงสุข : การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย (PRODUCTION OF FUEL BRIQUETTE FROM WOOD MILL SAWDUST AND THREAD) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.นุตา ศุภคต, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. เสกสรร พาป้อง,
121 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ 1) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ตามเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) 2) ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม ของการใช้เศษเหลือทิ้ง ได้แก่ เศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เปรียบเทียบกับการจัดการวัตถุดิบของโรงงานในปัจจุบัน 3) ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย มาผสมกันทั้งหมด 11 อัตราส่วนดังนี้ 50:50:0, 50:45:5, 50:40:10, 50:35:15, 50:30:20, 50:25:25, 45:50:5, 40:50:10, 35:50:15, 30:50:20 และ 25:50:25 ด้วยวิธีการอัดเย็นและใช้แรงอัดต่ำ โดยผลการทดลองทำให้ทราบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คืออัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 40:50:10 มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด ได้แก่ มีปริมาณความชื้น 8.64% เถ้า 2.79% สารระเหย 69.63% คาร์บอนคงตัว 18.92% ค่าความร้อน 4,010 แคลอรี/กรัม ความยาวการขยายตัวด้านความยาว 0.77% และความสูง 0.58% ค่าการทนแรงอัด 26.1 กก./ตร.ซม. และดัชนีการแตกร่วน 0.9997 ผลการประเมินประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 พบว่ามีผลกระทบในด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด โดยการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับ 0.13 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยมีผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนรวมเท่ากับ 2.45 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนผลกระทบด้านอื่น ๆ มีปริมาณน้อยมาก การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้ายในอัตราส่วน 40:50:10 ทำให้ทราบว่า การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อนที่ราคา 0.63 บาท/ก้อน และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1.2 ปี สาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อนคือเกิดมลพิษทางอากาศ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการขนส่งและจากการใช้ไฟฟ้าระหว่างการเตรียมวัตถุดิบและการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5787105720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: WOOD MILL / SAWDUST / THREAD / FUEL BRIQUETTE

KANMANEE SAENGSOOK: PRODUCTION OF FUEL BRIQUETTE FROM WOOD MILL SAWDUST AND THREAD. ADVISOR: ASST. PROF. NUTA SUPAKATA, Ph.D., CO-ADVISOR: SEKSAN PAPONG, Ph.D., 121 pp.

The purposes of this research were 1) to study the optimum ratio of fuel briquette from wood mill, sawdust and thread for according to Department of Industrial Works (2012) the criteria of waste properties for fuel briquette; 2) to assess the life cycle of fuel briquette 1 kg using waste including wood mill, sawdust and thread as raw materials for fuel briquette by comparing with traditional waste management; and 3) to evaluate the economic feasibility of fuel briquette production. Wood mill, sawdust and thread were mixed in 11 ratios: 50:50:0, 50:45:5, 50:40:10, 50:35:15, 50:30:20, 50:25:25, 45:50:5, 40:50:10, 35:50:15, 30:50:20 and 25:50:25 by using cold press process and low compression. The results showed that briquette made from 40% wood mill 50% sawdust and 10% thread was the most efficient renewable energy resource because it obtained the highest physical properties (moisture content 8.64%, ash content 2.79%, volatile matter 69.63%, fixed carbon 18.92%, calorific value 4,010 cal/g, 0.77% and 0.58% of length and height elongation, compressive strength 26.10 g/cm² and shatter index 0.9997). Life cycle assessment of fuel briquette using the SimaPro 7.3 program showed that global warming impact of using waste including wood mill, sawdust and thread to produce fuel briquette was equal to 0.13 kg CO₂ eq less than traditional waste management by disposal to dump site which had global warming impact equal to 2.45 kg CO₂ eq. An economic analysis showed that the cost of producing briquette from wood mill, sawdust and thread was 0.63 baht/piece; the payback period was 1.2 years. The main cause of global warming impact was air emission from transportation fuel combustion and from the electricity used during raw material preparing and briquette drying.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature

Academic Year: 2016 Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.เสกสรร พ่าป้อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะและแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด ระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม ที่กรุณาใช้เวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและคำชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ สมาคมราชกรีฑาสโมสร ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการศึกษา และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงขอบคุณเจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการ ที่ช่วยแนะนำและช่วยเหลือในการใช้เครื่องจักรเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด และ บริษัท โรงงานส่งเสริมไทยอุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน ให้วิชาความรู้ ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ และบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review).....	7
2.1 ความหมายของชีวมวล.....	7
2.2 แหล่งที่มาของชีวมวล.....	7
2.3 การเผาไหม้.....	8
2.4 เศษเหลือทิ้งทางจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	10
2.5 เชื้อเพลิง.....	10
2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	12
2.7 การทำให้ชีวมวลมีความหนาแน่น (Densification).....	13
2.8 การศึกษาเกณฑ์คุณสมบัติและขั้นตอนการเลือกวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาแปรรูปเป็น เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	15
2.9 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	21

2.10	วิธีการอัดแท่ง.....	22
2.11	ขั้นตอนการอัดแท่ง	24
2.12	มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Material)	25
2.13	การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA).....	26
2.14	การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	35
2.15	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	40
3.1	วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ สำหรับการทำวิจัย	40
3.2	ขั้นตอนดำเนินการทดลอง.....	41
3.2.1	ระยะที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในการผลิต เชื้อเพลิงอัดแท่ง	41
3.2.2	ระยะที่ 2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของ เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด.....	45
3.2.3	ระยะที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ของ เศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	54
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	60
4.1	ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิง อัดแท่ง.....	61
4.1.1	คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ.....	61
4.1.1.1	คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด	61
4.1.1.2	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาควัตถุดิบ (Particle Size) .61	
4.1.2	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	62
4.1.2.1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content)	62
4.1.2.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash Content)	63

4.1.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Volatile Matters).....	64
4.1.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	65
4.1.2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Calorific Value)	66
4.1.2.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาวการขยายตัว (Elongation)	67
4.1.2.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density).....	68
4.1.2.8 ผลการวิเคราะห์ค่าการทนแรงอัด (Compressive Strength).....	69
4.1.2.9 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการแตกร่วน	70
4.1.2.10 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope).....	71
4.1.2.11 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	73
4.2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ใน อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับการจัดการวัตถุดิบของโรงงานในปัจจุบัน	75
4.2.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	80
4.2.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของการจัดการเศษเยื่อไม้ด้วยวิธีเดิมของ โรงงาน	83
4.2.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของการจัดการขี้เลื่อยด้วยวิธีเดิมของ โรงงาน	84
4.3 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ที่นำมาผลิต เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	88
4.3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	88
4.3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต	89
4.3.3 ข้อมูลเบื้องต้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ	89
4.3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	94

5.1 สรุปผลการวิจัย	94
5.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และ ด้าย	94
5.1.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งเปรียบเทียบกับวิธีการ จัดการที่ใช้ในปัจจุบันในปริมาณ 1 กิโลกรัม	94
5.1.3 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ที่นำมา ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	95
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย	95
รายการอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	104
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้ายกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	121

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Raw Material) ที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้	15
ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบและวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้.....	18
ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบและวิธีการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัด	19
ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของการอัดแท่งแบบร้อน.....	23
ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของการอัดแท่งแบบเย็น	24
ตารางที่ 3.1 ดำรับการทดลอง (อัตราส่วนผสม).....	43
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างรายการข้อมูลพลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการรีวัตถุติบตั้งต้นของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	52
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณจากสูตร	54
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด	61
ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย	71
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองในทุกอัตราส่วนตามเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม	73
ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว.....	74
ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติค่าเฉลี่ยของค่าความยาวการขยายตัว ค่าความสูงการขยายตัว ค่าความหนาแน่น ค่าการทนแรงอัด ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	75
ตารางที่ 4.6 บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ (40%) : ชี้เลื่อย (50%) : ด้าย (10%).....	76
ตารางที่ 4.7 บัญชีรายการของเศษเยื่อไม้ 1 กิโลกรัม ถูกนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน.....	78
ตารางที่ 4.8 บัญชีรายการของชี้เลื่อย 1 กิโลกรัม ถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรง ...	79

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ปริมาณ 1 กิโลกรัม	82
ตารางที่ 4.10 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของการจัดการเศษเยื่อไม้ และขี้เลื่อยปริมาณ 1 กิโลกรัม.....	87
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยที่ศึกษากับ งานวิจัยอื่นปริมาณ 1 กิโลกรัม	87



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ภาพ 3 มิติ ของลักษณะการสานกันของเส้นใยของเชื้อเพลิงอัดเม็ด (เส้นสีน้ำเงินแสดงให้เห็นเส้นใย ลูกบอลสีน้ำตาลแสดงให้เห็นถึงอนุภาคซีลี้อย) (Kong และคณะ, 2013).....	14
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555).....	21
ภาพที่ 2.3 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ, 2559).....	29
ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างกระบวนการย่อยของขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	30
ภาพที่ 3.1 ขนาดก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	44
ภาพที่ 3.2 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม.....	48
ภาพที่ 3.3 บัญชีรายการขั้นตอนการจัดการเศษเยื่อไม้ 1 กิโลกรัม	49
ภาพที่ 3.4 บัญชีรายการขั้นตอนการจัดการซีลี้อย 1 กิโลกรัม.....	50
ภาพที่ 3.5 ระยะเวลาที่ 1 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย	57
ภาพที่ 3.6 ระยะเวลาที่ 2 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างการจัดการของเหลือทิ้งในปัจจุบันกับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	58
ภาพที่ 3.7 ระยะเวลาที่ 3 ขั้นตอนการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	59
ภาพที่ 4.1 การกระจายขนาดของอนุภาควัตถุดิบเศษเยื่อไม้และซีลี้อย.....	62
ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย.....	63
ภาพที่ 4.3 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย.....	64
ภาพที่ 4.4 ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย.....	65
ภาพที่ 4.5 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย.....	66
ภาพที่ 4.6 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย.....	67

ภาพที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวด้านความกว้างและความสูงของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย	68
ภาพที่ 4.8 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย.....	69
ภาพที่ 4.9 ค่าการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย.....	70
ภาพที่ 4.10 ภาพตัดขวางของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ (50%) : ชี้เลื่อย (50%) : ด้าย (0%) (Control).....	72
ภาพที่ 4.11 ภาพตัดขวางของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ (40%) : ชี้เลื่อย (50%) : ด้าย (10%).....	72
ภาพที่ 4.12 แสดงผลกระทบในรูปแบบร้อยละของแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่ง..	83
ภาพที่ 4.13 แสดงผลกระทบในรูปแบบร้อยละของแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของการจัดการเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยในโรงงาน	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลังงานทดแทนต่างๆ ถือเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานทดแทนหมายถึง พลังงานที่ใช้ทดแทนจากฟอสซิล ซึ่งนับวันมีแต่จะลดปริมาณลง และราคาที่มีความผันผวนไม่แน่นอนตามสภาพเศรษฐกิจโลก โดยในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้ากว่าร้อยละ 90 ใช้พลังงานจากฟอสซิล และถือเป็นตัวการหนึ่งของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน (กชิตศ เสนะวงศ์, 2558) พลังงานทดแทนที่สำคัญได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เหล่านี้ล้วนเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งหนึ่งในพลังงานที่สำคัญก็คือพลังงานที่ได้จากชีวมวล (Biomass) ปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้ ถ่าน และฟืน หาได้ยากและมีราคาแพงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาการใช้พลังงานจากชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์น้อยที่สุด (รุ่งโรจ พุทธิสกุล, 2553) โดยในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมไม้ทั้งการนำเข้าและส่งออก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม้ เฟอร์นิเจอร์ไม้ จากการศึกษามูลค่าการนำเข้าและส่งออกและผลิตภัณฑ์จากป่าไม้ ในปี 2547 ของกรมป่าไม้ พบว่า มีการนำเข้าประมาณ 68,411 ล้านบาท และส่งออก 92,749 ล้านบาท จะเห็นได้ว่าการส่งออกที่สูงกว่าการนำเข้า นอกจากนี้ยังมีชิ้นไม้สับที่ได้จากการตัดไม้ด้วยเครื่องตัดชิ้นไม้เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ ซึ่งมีมูลค่าการนำเข้าเพียง 4,920,000 บาท แต่มีมูลค่าการส่งออกถึง 1,843,507,000 บาท ถือได้ว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก ซึ่งหากนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอย่างมหาศาลจะช่วยลดการนำเข้าและเพิ่มการส่งออกผลิตภัณฑ์จากไม้ภายในประเทศได้ (สำนักวิจัยและพัฒนางานป่าไม้, 2549) ในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อไม้อัดแผ่นของบริษัทอะโกร ไฟเบอร์ จำกัด นั้นมีส่วนประกอบหลักเป็นไม้ยูคาลิปตัสจะมีส่วนที่เป็นเศษเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อไม้อัดแผ่นคือ เศษเยื่อไม้ (Wood Mill) และขี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก (พริตา สินณรงค์, 2558) ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ในประเทศไทย เศษเยื่อไม้และขี้เลื่อย

เป็นชนิดของเชื้อเพลิงที่มาจากชีวมวล การใช้ประโยชน์ชีวมวลโดยตรงนั้นมีความลำบากในการเก็บรักษา และการขนส่ง เช่นเดียวกับการหมักและเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเอง ความหนาแน่นของวัสดุต่ำและอัตราการเผาไหม้ที่ไม่แน่นอน และทำให้เกิดการฟุ้งกระจายสูง ปัญหาเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดจากเศษเยื่อไม้และซีลี้อยู่มีลักษณะที่ไม่แน่นอนสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย จึงสนใจที่จะนำเศษวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาทำให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น การใช้ชีวมวลได้รับความสนใจอย่างมากในหลายปีที่ผ่านมาเนื่องจากการลดลงของค่าใช้จ่ายและสามารถเป็นพลังงานทดแทนได้ โดยทั่วไปการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจะใช้แรงอัดสูง (70-250 เมกะปาสคาล) และอุณหภูมิในการอัดสูง (100-250 องศาเซลเซียส) (Kong และคณะ, 2013) จากการศึกษาวิจัยของ Kong และคณะ (2013) โดยการนำเส้นใยธรรมชาติเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับซีลี้อยู่ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งที่อุณหภูมิห้อง โดยเทคนิคการเชื่อม (Solid bridge) และการสานกัน (Intertwining) โดยศึกษาผลของเส้นใยที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง (Biomass Pellets) ได้แก่ ลักษณะการคืนตัว ความหนาแน่นของอนุภาค ความต้านทานการกร่อน ดัชนีทนต่อแรงกระแทก พบว่าการเพิ่มของเส้นใยให้ผลเป็นบวก โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงของพันธะจากการเชื่อมและการสานกันระหว่างอนุภาคซีลี้อยู่กับเส้นใย (Kong และคณะ, 2013) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการใช้เส้นใยเพื่อดูลักษณะการเกิดการเชื่อม และการสานกันในเชื้อเพลิงอัดแท่งมาก่อน จึงควรมีการศึกษาและวิจัยในเชื้อเพลิงอัดแท่ง ประกอบกับในอุตสาหกรรมผลิตด้ายและสิ่งทอจะมีเส้นด้ายที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต จึงสนใจที่จะนำด้ายเหล่านั้นมาเพิ่มความหนาแน่นให้กับเศษเยื่อไม้และซีลี้อยู่ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquette) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อยู่ และด้าย รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Material) ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ASTM E871-82) ปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84) ปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E870-82) ค่าความร้อน (ASTM E711-87) (ASTM, 2004; ASTM, 2013) นอกเหนือจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแล้ว ในงานวิจัยครั้งนี้ยังได้ศึกษาความหนาแน่น ค่าการทนแรงอัด (ASTM D1621) ความยาวการขยายตัว ค่าดัชนีการแตกร่วน (ASTM D3038) และพื้นที่ผิวของวัสดุ เพื่อหาความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความทนทาน

ระหว่างการผลิต เก็บรักษาระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งและเปรียบเทียบกับการจัดการของเหลือทิ้งที่มีอยู่เดิมคือ การนำเศษเยื่อไม้ทำเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินและการนำขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรงของโรงงาน เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การนำเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้ายมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเชื้อเพลิง และเป็นการลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัด ซึ่งจะช่วยลดปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วยการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบพลังงานชีวมวลนับว่าเป็นการแก้ไขปัญหาล้างงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 1.2.2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด
- 1.2.3 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย

1.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1.3.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณด้ายมากขึ้น
- 1.3.2 การจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยด้วยการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการจัดการเศษเยื่อไม้โดยการเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินและขี้เลื่อยโดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงของโรงงาน (วิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน)
- 1.3.3 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีต้นทุนการผลิตต่อก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่มากและมีระยะเวลาผลิตที่คุ้มทุนไม่นาน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้แบ่งขอบเขตออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

1.4.1 ระยะที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ไม้ขี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) วัสดุสำหรับการวิจัย เศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อไม้อัดแผ่นของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด และด้ายจากบริษัท โรงงานส่งเสริมไทย อุตสาหกรรม จำกัด

2) พื้นที่ศึกษาวิจัย

- ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) พารามิเตอร์ที่จะทำการวิจัย มี 10 พารามิเตอร์ ดังนี้

- ปริมาณความชื้น (ASTM E871-82) ปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84) ปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E870-82) ค่าความร้อน (ASTM E711-87) ความหนาแน่น ค่าการทนแรงอัด (ASTM D1621) ความยาวการขยายตัว ค่าดัชนีการแตกร่วน (ASTM D3038) และพื้นผิวของวัสดุ

1.4.2 ระยะที่ 2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ไม้ขี้เลื่อย และด้าย ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

1) วิธีที่ใช้ศึกษา

- เลือกอัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้ายที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำมาประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้โปรแกรม Sima Pro 7.3 ตามวิธีแบบ CML 2 Baseline 2000 V2.03/World 1995 เป้าหมายและขอบเขตการประเมินผลกระทบเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เรียกว่า Cradle to gate

- ประเมินวัฏจักรชีวิตของเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อย ของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด การนำเศษเยื่อไม้ทำเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินและการนำชี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรงของโรงงาน (ซึ่งเป็นวิธีการจัดการเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยของบริษัทที่ใช้ในปัจจุบัน)

- เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยด้วยการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งกับวิธีการจัดการเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยด้วยวิธีที่ใช้ในปัจจุบันของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด

2) พื้นที่ศึกษาวิจัย

- ห้องปฏิบัติการการประเมินวัฏจักรชีวิต หน่วยวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

1.4.3 ระยะที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ของเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการวิเคราะห์ต้นทุนต่อก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งและระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน

1) วิธีที่ใช้ศึกษา

- เลือกอัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเชื้อเพลิงอัดแท่งและระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน โดยแบ่งแยกต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้ดังนี้

- ต้นทุนค่าวัตถุดิบ ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนค่าไฟฟ้า ต้นทุนค่าน้ำ

2) พื้นที่ศึกษาวิจัย

- หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาคารมหามกุฏ ชั้น 17 และภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

1.5.2 ทราบผลการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างการจัดการเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยด้วยการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และการจัดการเศษเยื่อไม้โดยการเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินและชี้เลื่อยโดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรงของโรงงาน ว่าวิธีไหนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากัน

1.5.3 ทราบผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

1.5.4 เป็นทางเลือกหนึ่งของการจัดการของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมไม้แปรรูป โดยให้นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 ความหมายของชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิต พลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานทำได้โดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและสามารถหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural Residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่มีการใช้กันมานานแล้วตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ เช่น การนำเศษกิ่งไม้แห้งมาก่อเป็นกองแล้วจุดไฟเพื่อให้ความร้อนและแสงสว่างของมนุษย์ในสมัยที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งเศษกิ่งไม้แห้งนี้ถือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดหนึ่ง ชีวมวลนั้นยังนับเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถหาได้และเกิดทดแทนขึ้นในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นวัฏจักรไปเรื่อย ๆ (สุรเชษฐ ยานวาริ, 2558)

2.2 แหล่งที่มาของชีวมวล

ชีวมวลนั้นมีหลากหลายชนิด โดยชีวมวลมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แป้ง และโปรตีน ชีวมวลต่างชนิดกันย่อมมีปริมาณขององค์ประกอบแตกต่างกัน เช่น ธัญพืชมีแป้งมาก ในขณะที่ของเสียจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก (Yokohama, 2008) ชีวมวลเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติจากขั้นตอนของการเจริญเติบโต พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงโดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือแป้งและน้ำตาลเก็บอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช เมื่อนำไปเผาจึงจะได้พลังงานความร้อน จากการที่

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงทำให้มีแหล่งชีวมวลที่หลากหลาย (เอกลักษณ์ กิติภักดิ์ถาวร, 2555) ดังนี้

1) พืชเกษตรกรรม เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาลสามารถปลูกเป็นพืชที่ให้พลังงานและผลิตเป็นน้ำมันพืช (Vegetable Oil) ได้นอกจากนี้ยังมีพืชเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ เช่น ปาล์มน้ำมัน และสับุดำ

2) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว กะลามะพร้าว รากมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด กากถั่วเหลือง

3) เนื้อไม้และเศษเหลือทิ้งของเนื้อไม้ เช่น ไม้โตเร็วและไม้ยืนต้นทั่วไป เศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตไม้ รวมทั้งเศษเหลือทิ้งจากโรงงานเยื่อกระดาษ ฯลฯ

4) เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม (Waste Streams) เช่น แกลบจากโรงสีข้าว กากน้ำตาลและขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล และเศษเหลือทิ้งจากการสกัดปาล์มน้ำมัน

5) ขยะมูลฝอยและมูลสัตว์ เช่น ขยะที่เป็นของสดและมูลสัตว์ต่างๆ

6) สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น สาหร่ายนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไบโอดีเซลจากสาหร่ายและการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน

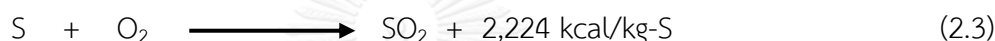
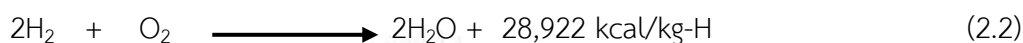
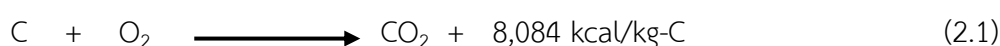
เนื่องจากชีวมวลประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เมื่อถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการคายความร้อนออกมา จึงมีความเหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้

2.3 การเผาไหม้

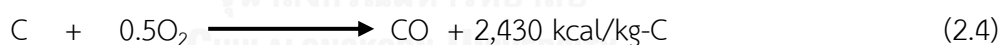
กระบวนการเผาไหม้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนแล้วให้พลังงานความร้อนออกมา ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดการออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงนั้นต้องมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ ส่วนใหญ่ไม่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงแต่จะใช้ ออกซิเจนในอากาศซึ่งจะมีทั้งก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ก๊าซอื่นมีน้อยมากจนไม่มีความสำคัญ ในส่วนที่ช่วยในการสันดาป (ตัวออกซิไดซ์) ก็คือออกซิเจน ส่วนที่เหลือจัดอยู่ในกลุ่มไนโตรเจน ก๊าซ

เฉื่อย และความชื้นในอากาศ ร้อยละขององค์ประกอบส่วนที่เหลือนี้จะเป็นไนโตรเจนโดยส่วนใหญ่ (กัญจนา บุญเกียรติ, 2544)

การเผาไหม้สมบูรณ์ (Complete Combustion) ซึ่งเป็นการสันดาปของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนจนหมด ในกรณีคาร์บอนจะเผาไหม้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นไอน้ำ (H_2O) และถ้าในเชื้อเพลิงมีกำมะถันอยู่ ก็จะเผาไหม้กลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นต้น ดังสมการที่ (2.3)



การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) เป็นการสันดาปที่เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด หรือมีออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการสันดาป มีผลทำให้มี คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอาจจะมีเชื้อเพลิงที่เหลือปะปนออกมากับผลที่ได้จากการเผาไหม้ สาเหตุที่ทำให้เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์มีหลายสาเหตุ เช่น มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับปริมาณเชื้อเพลิง หรือการที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนมีการผสมกันไม่ดีพอ และอาจเกิดจากการที่สารที่ได้จากการเผาไหม้มีการแตกตัวที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น ดังสมการที่ (2.4)



สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการเผาไหม้ จะมีเสถียรภาพสูงเกิดในกรณีที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ ส่วนในกรณีที่มีอากาศมากเกินไปประกอบกับอุณหภูมิสูงจากการเผาไหม้มากเกินไป ก็จะทำให้ไนโตรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์เปลี่ยนรูปไปเป็นออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

แต่ข้อเสียของการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้โดยตรง ยังมีข้อเสียคือวัสดุเหล่านี้ มีความหนาแน่นต่ำ และฟุ้งกระจายได้ง่าย ทำให้ใช้พื้นที่เยอะ ยากต่อการจัดเก็บรักษาและขนส่ง วิธีแก้ปัญหาคือนำวัสดุเหล่านี้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.4 เศษเหลือทิ้งทางจากโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.1 เศษเยื่อไม้ (Wood Mill) เป็นเศษเหลือทิ้งที่ได้จากอุตสาหกรรมเยื่อไม้อัดแผ่นของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด ในจังหวัดฉะเชิงเทรา เศษเยื่อไม้มีลักษณะเป็นเส้นใยคล้ายขุยมะพร้าวแต่อ่อนนุ่มกว่า ได้มาจากกระบวนการเครื่องจักร ซึ่งเศษเยื่อไม้คือชิ้นไม้ที่ผ่านการต้มเป็นเวลานานจึงทำให้มีความเปื่อยยุ่ย มีขนาดตั้งแต่ 0.075 – 0.85 มิลลิเมตร

2.4.2 ขี้เลื่อย (Sawdust) เป็นเศษเหลือทิ้งที่ได้จากอุตสาหกรรมเยื่อไม้อัดแผ่นของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ขี้เลื่อยมีลักษณะเป็นผงไม้ละเอียด ได้มาจากกระบวนการเลื่อยไม้อัด มีขนาดตั้งแต่ 0.075 – 4.75 มิลลิเมตร

2.4.3 ด้าย (Thread) เป็นเศษเหลือทิ้งที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตด้ายและสิ่งทอของบริษัท โรงงาน ส่งเสริมไทยอุตสาหกรรม จำกัด ในจังหวัดสมุทรปราการ ด้ายมีลักษณะเป็นเส้นสีครีมทำจากฝ้าย ยังไม่ผ่านการใส่แป้งหรือสารเคมี ได้มาจากกระบวนการสาวด้ายทิ้งในแต่ละรอบการผลิต มีขนาดตั้งแต่ 16-20 ไมโครเมตร (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547)

2.5 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงเป็นแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานเคมี พลังงานทางกล พลังงานไฟฟ้า รวมถึงพลังงานความร้อนด้วย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน หรือสารประกอบที่มีไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อเผาไหม้จะได้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แล้วยังให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูง สามารถจำแนกเชื้อเพลิงได้หลายลักษณะ ซึ่งในการวิจัยนี้จะจำแนกเชื้อเพลิงตามสถานะทางกายภาพ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยในงานวิจัยนี้จะขอกกล่าวถึงเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งเท่านั้น (อรรถกร ฤกษ์วีรี, 2549)

เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง สามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติ (Natural Fuel) และเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel)

2.5.1 เชื้อเพลิงธรรมชาติ (Natural Fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งมาจากได้พิภพหรือเป็นเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil Fuels) ได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ รวมถึงธาตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น ธาตุยูเรเนียม (Uranium) หรือธาตุทอเรียม (Thorium)

เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเชื้อเพลิงที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิต ทั้งมนุษย์ สัตว์ และจากชุมชนเมือง ซึ่งรวมเรียกว่า เชื้อเพลิงจากชีวมวล (Biomass Fuels) ได้แก่ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย ฟางข้าว มูลสัตว์ ขยะมูลฝอย กากอุตสาหกรรมบางประเภท ซึ่งมีธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก (กัญจนา บุญเกียรติ, 2544)

ตัวอย่างของเชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น ไม้ฟืน ไม้ฟืนนั้นเป็นเชื้อเพลิงสำหรับมนุษย์มานานหลายศตวรรษแล้ว จัดเป็นพลังงานไม่รู้หมด เนื่องจากได้จากการสังเคราะห์แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถปลูกทดแทนได้ ไม้ฟืนมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (Lignin) ส่วนที่เหลือเป็นยางเหนียว (Resins) น้ำ น้ำตาล และเถ้า ไม้ที่เพิ่งตัดฟืนมีความชื้นสูงประมาณ 30-50% เมื่อผึ่งไว้ประมาณ 1 ปี ความชื้นจะลดลงเหลือ 10-15% ข้อดีของไม้ฟืนคือ มีปริมาณเถ้าต่ำมาก ส่วนใหญ่ไม่เกิน 1% และไม่มีกำมะถัน องค์ประกอบของเถ้าส่วนใหญ่เป็นโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ที่เหลือเป็นแคลเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่มีโลหะหนักหรือสารพิษ (กัญจนา บุญเกียรติ, 2544)

2.5.2 เชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น โดยทำการสังเคราะห์จากเชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น ถ่านไม้ ถ่านพีท ถ่านโค้ก ถ่านหิน อัดก้อนไร้ควัน ถ่านแกลบ เป็นต้น ซึ่งการสังเคราะห์นี้จะใช้กระบวนการทางความร้อน คือ คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) หรือไพโรไลซิส (Pyrolysis) ทำให้ได้เชื้อเพลิงแข็งสังเคราะห์คุณภาพดีขึ้น (กัญจนา บุญเกียรติ, 2544)

ตัวอย่างของเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เช่น ถ่านไม้ ได้จากการคาร์บอนไนส์ไม้ฟืน ปฏิบัติการเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 280 องศาเซลเซียส และคาร์บอนไนส์ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 400-500 องศาเซลเซียส การผลิตส่วนใหญ่จะใช้การผลิตแบบพื้นบ้าน และผลิตใช้กันภายในหมู่บ้าน จากการรวบรวมข้อมูลของกัญจนา บุญเกียรติ (2544) พบว่าถ่านไม้มีค่าความร้อนระหว่าง 25.1-33.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้า 2-9% สารระเหย 9-38% คาร์บอนคงตัว 40-86% และค่าความชื้น 3-15% โดยค่าความร้อนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคาร์บอนคงตัว ถ่านไม้คุณภาพดีสามารถใช้แทนถ่านโค้กในการหลอมและขึ้นรูปโลหะ รวมถึงใช้เป็นตัวกลางกรองกลืน สีจากน้ำ และก๊าซได้

อีกตัวอย่างของเชื้อเพลิงสังเคราะห์คือขยะมูลฝอย วัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุและหีบห่อประเภทพลาสติก กระดาษ และวัสดุชีวมวล ซึ่งเผาไหม้ได้ประมาณ 50-80% ซึ่งการเผาทำลาย (Incineration) เป็นอีกวิธีที่ใช้จัดการกับขยะ ซึ่งจะเหลือกากจากการเผาไหม้เพียง 5% ของปริมาตร

เดิม (กัญจนา บุญเกียรติ, 2544) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไอร้อนไปผลิตไอน้ำ หรือกระแสไฟฟ้าได้ แต่ยังคงมีความกังวลถึงการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและวิธีการ เพื่อลดมลพิษเหล่านี้ลง

2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดวัสดุชีวมวลหรือเศษวัชพืช หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรม เช่น ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ เป็นต้น ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green Charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ.2523 ซึ่งค้นพบโดย กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะ โดยนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวประสานเป็นตัวเชื่อม (ประลอง ดำรงไทย, 2542) ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไม้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการใช้งานนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก และมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

- มีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บและเสียค่าใช้จ่ายสูงในการขนส่ง ทำให้การใช้ถูกจำกัดอยู่ในบริเวณใกล้เคียงแหล่งผลิตเท่านั้น การขนส่งไปบริเวณห่างไกล จะให้ผลไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้รับ

- การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะมีความหนาแน่นต่ำ และมีค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ ทำให้ต้องใช้ปริมาณมากจึงเสียค่าขนส่งและใช้แรงงานมากกว่าทำให้การใช้วัสดุเหลือใช้หรือฟืนถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เช่น ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการค่าความร้อนสูงมาก ๆ และไม่จำเป็นต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา

- มีความชื้นสูง ทำให้จุดติดไฟได้ยากและมีค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการอบแห้งหรือตากให้แห้ง นอกจากนี้วัสดุที่เปียกยังเกิดการฟู เน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ดรา หรือการกัดกินของแมลง

เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่างๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมาก ไม่สะดวกต่อการขนส่งและการเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 1/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มความร้อนเป็น 2/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก (Reed

และ Bryant, 1978) ดังนั้น การอัดแท่งจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและสะดวกในการขนส่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) เชื้อเพลิงเขียว เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาอัดขึ้นรูปให้มีความหนาแน่นมากขึ้น และมีลักษณะเป็นแท่งเหมาะแก่การใช้งาน สามารถจุดติดไฟและลุกไหม้ได้เวลานานขึ้น ตัวอย่างของเชื้อเพลิงเขียว เช่น เชื้อเพลิงเขียวจากแกลบ เชื้อเพลิงเขียวจากขี้เลื่อย เป็นต้น

2) ถ่านอัดแท่ง เนื่องจากสมบัติบางประการของเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตได้นั้น ไม่เหมาะสมกับการใช้ในครัวเรือนที่ชุมชนหนาแน่นและภาคอุตสาหกรรม เพราะมีควันมากในขณะที่เผาไหม้ ทั้งในด้านของความร้อนที่ต่ำกว่า ปริมาณเถ้าที่มากกว่า และระยะเวลาที่ลุกไหม้ที่สั้นกว่า จึงมีการผลิตถ่านอัดแท่งโดยการเผาเศษวัสดุให้เป็นถ่านดำก่อน แล้วจึงนำเศษถ่านดำนั้นมาอัดเป็นแท่ง เช่น ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากขี้ข้าวโพด เป็นต้น

2.7 การทำให้ชีวมวลมีความหนาแน่น (Densification)

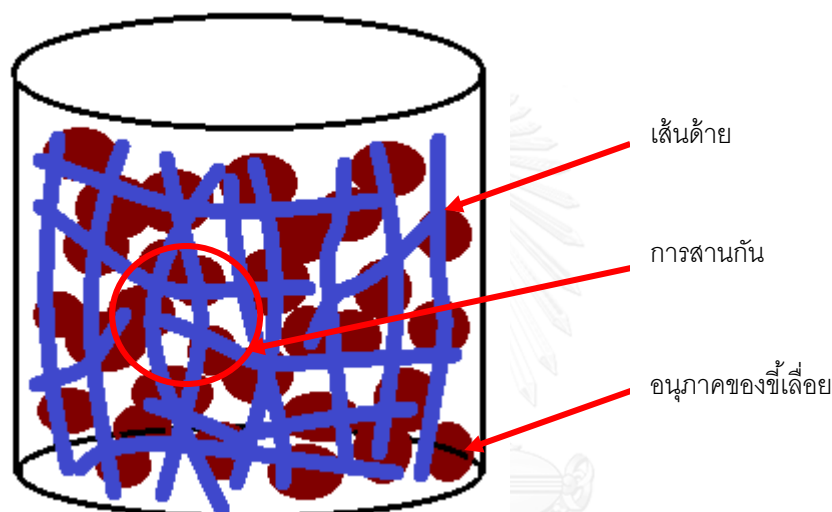
ในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการอัดเย็นและใช้แรงอัดต่ำ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและใช้พลังงานต่ำ จึงจำเป็นต้องอาศัยตัวประสานคือ แป้งมันหรือวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่ข้อเสียของการอัดวิธีนี้คือ ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งคลายตัวได้เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลาานาน จึงต้องหาเทคนิคใหม่ ๆ มาช่วยให้มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น โดยเทคนิคที่จะนำมาใช้ในการทำให้ชีวมวลมีความแข็งแรงและหนาแน่นขึ้นมีดังนี้ คือ

2.7.1 การสร้างตัวเชื่อม (Solid Bridge)

เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการทำให้ชีวมวลที่มีลักษณะเป็นผงให้มีความหนาแน่นขึ้นด้วยเทคนิคเชิงกล โดย Rumpf และ Knepper (1962) ได้จัดประเภทของเทคนิคเชิงกลของการทำให้หนาแน่นขึ้นไว้ 5 ประเภท ได้แก่ แรงดึงดูระหว่างอนุภาคของแข็ง แรงระหว่างผิวและแรงดันที่ของเหลวเคลื่อนที่ เช่น น้ำเข้าสู่พื้นผิว แรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นระหว่างอนุภาค แรงยึดติดเชิงกลที่จะสร้างพันธะแบบปิด ตัวประสานที่มีอยู่ในอนุภาคที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้หนาแน่น ระหว่างการทำให้หนาแน่น ธรรมชาติของแรงยึดติดที่ทำให้อนุภาคติดกันอย่างใกล้ชิด ภาวะเชิงกลทำให้อนุภาคติดกันอย่างใกล้ชิด

2.7.2 กระบวนการสานเข้าด้วยกัน (Intertwining)

เป็นกลไกที่เกิดจากการเสริมแรงของเส้นใย (Fiber) กับตัววัสดุที่อาศัยตัวเชื่อม แรงระหว่างโมเลกุล (Intermolecular) และแรงยึดติดเชิงกล (Mechanical Interlocks) โดยเส้นใยสามารถยึดเหนี่ยวอนุภาคชีวมวลทั้งที่อยู่ติดกันและอนุภาคชีวมวลที่ไม่ติดกัน (WS particles) ทำให้อนุภาคของชีวมวลยึดติดกันแน่นมากขึ้น ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Kong และคณะ, 2013) แสดงดังภาพที่ 2.2 เส้นใยที่ใช้เป็นตัวเสริมแรง ยกตัวอย่างเช่น เส้นใยกระดาษห่อของข้าวฉู่ เส้นใยลินิน เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 ภาพ 3 มิติ ของลักษณะการสานกันของเส้นใยของเชื้อเพลิงอัดเม็ด (เส้นสีน้ำเงินแสดงให้เห็นเส้นใย ลูกบอลสีน้ำตาลแดงแสดงให้เห็นถึงอนุภาคชี้เลี้ยง) (Kong และคณะ, 2013)

โดยในงานวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลี้ยง และด้าย ได้นำเทคนิคการเชื่อมและการสานกันนี้มาใช้ในการเพิ่มความหนาแน่นให้กับชีวมวล เพื่อทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความแข็งแรงมากขึ้น

2.8 การศึกษาเกณฑ์คุณสมบัติและขั้นตอนการเลือกวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.8.1 ศึกษาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เมื่อผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้ว นอกจากจะต้องมีค่าความร้อนสูงแล้วยังต้องมีองค์ประกอบส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) โดยเฉพาะคาร์บอนคงตัวปริมาณสูง แต่มีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือเถ้าและความชื้นในปริมาณที่ต่ำ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Raw Material) ที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้

ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (cal/g)	แหล่งที่มา
กะหล่ำ/ใบกะหล่ำ	9.18	18.15	69.64	12.21	-	N.S.L. และคณะ (2014)
ก้านผักชีและใบ	9.78	3.47	78.00	18.48	-	N.S.L. และคณะ (2014)
ถั่วปากอ้า	8.96	4.22	76.72	18.61	-	N.S.L. และคณะ (2014)
ถั่วฝักสีเขียว	9.00	6.27	72.48	20.63	-	N.S.L. และคณะ (2014)
ไมยราบยักษ์	9.06	6.30	66.02	19.65	3,994	รัชกาลัญญ์ วินิก และคณะ (2552)
กระถินยักษ์	0.63	1.78	81.00	16.59	4,485	วีระชัย อัจฉาญ และคณะ (2551)
ยูคาลิปตัส	1.14	2.64	79.00	17.22	4,432	วีระชัย อัจฉาญ และคณะ (2551)
ยางพารา	2.36	1.83	81.00	14.78	4,475	วีระชัย อัจฉาญ และคณะ (2551)
ต้นฝ้าย	9.33	4.77	67.95	17.95	4,044	ชมธิตา ชื่นนิยม (2553)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Raw Material) ที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (cal/g)	แหล่งที่มา
ซังข้าวโพด	4.39	1.03	80.17	14.41	4,187	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
กลามะพร้าว	11.79	0.85	64.03	23.33	4,860	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
กลาปาล์ม	13.00	1.30	64.55	21.05	5,072	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
ฟางข้าว	2.86	12.24	65.64	20.26	3,503	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
กากทานตะวัน	11.50	3.67	64.34	20.49	4,034	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
ชานอ้อย	13.38	2.61	64.73	19.26	3,972	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
ใบจามจุรี	7.32	15.65	62.35	14.68	5,078	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
ลำต้นมันสำปะหลัง	31.54	6.22	47.73	14.51	4,670	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
เหง้ามันสำปะหลัง	41.98	3.57	41.86	12.59	4,368	ชมธิดา ชื่นนิยม (2553)
เปลือกมะม่วง	72.99	4.37	71.53	24.33	-	Nagle และคณะ (2011)
เปลือกลิ้นจี่	62.32	4.19	68.03	27.76	-	Nagle และคณะ (2011)

จากตารางข้อมูลลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues) ที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงในตารางพบว่า ชีวมวลที่มีค่าความร้อนมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ใบจามจุรี กลาปาล์ม กลามะพร้าว ลำต้นมันสำปะหลัง และกระถิน

ยักซ์ ตามลำดับ และได้แสดงเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) ดังนี้

- ค่าความร้อนไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
- คาร์บอนคงตัว ไม่ควรต่ำกว่า 15%
- เถ้า ไม่ควรเกิน 20%
- กำมะถันรวม ไม่ควรเกิน 2%

2.8.2 ประเมินความเหมาะสม ที่จะนำของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ใดมาผสมกันมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.8.2.1 คัดเลือกรูปแบบขั้นตอนและเครื่องมือ ที่ต้องใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ ก่อนที่จะนำไปอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่งที่เหมาะสมกับลักษณะวัสดุเหลือใช้ รวมทั้งรูปแบบและวิธีการอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยเครื่องอัด ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบและวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้

ลักษณะของวัสดุเหลือใช้	รูปแบบและวิธีดำเนินงาน
มีความชื้นสูง (เกินกว่า 30%)	ตากแห้งหรืออบแห้งก่อนนำไปอัดแท่งและเมื่ออัดเป็นแท่งแล้วนำไปตากแดดเพื่อลดความชื้น
มีขนาดใหญ่เกินกว่าอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น มีขนาดใหญ่กว่าช่องหรือตะแกรงที่ใช้ป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น เปลือกสับปะรด เมล็ดเงาะ ฯลฯ	บดย่อยของเสียก่อนแล้วรวมผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
วัสดุเหลือใช้มีค่าความร้อนน้อย แต่ต้องการแท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง เช่น วัสดุเหลือใช้มีค่าความร้อน 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม แต่ต้องการแท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อน 3,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	นำวัสดุอื่นที่มีค่าความร้อนสูงกว่า 3,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มาผสม (Blending) กับของเสียก่อนอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

2.8.2.2 การนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) ทำการศึกษาหาสูตรผสมวัสดุเหลือใช้โดยเลือกรูปแบบตามลักษณะของวัสดุ เช่น ถ้าวสดุเหลือใช้ร่วนไม่จับเป็นก้อนควรเติมตัวประสาน เช่น แป้งมันหรือกากน้ำตาลในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้จับตัวได้ดี หรือถ้าวสดุเหลือใช้มีค่าความร้อนต่ำอาจจะนำวัสดุอื่นที่มีค่าความร้อนสูงกว่ามาผสม (Blending) กับของเสียก่อน เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นตามต้องการ แสดงดังตารางที่ 2.3

2) เมื่อได้ส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆ แล้วจึงนำของเสียและวัสดุผสมต่างๆ มาทำการผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งดังต่อไปนี้

2.1) ชั่งส่วนผสมตามสูตรต่างๆ ที่กำหนด

2.2) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

2.3) นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่ง

2.4) ตากแห้งแท่งเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบและวิธีการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัด

ลักษณะของวัสดุเชื้อเพลิง	รูปแบบและวิธีดำเนินงาน
เนื้อวัสดุเชื้อเพลิงสามารถจับตัวเป็นก้อนได้ดีเมื่อใช้มือบีบ	ควรใช้กระบวนการอัดแบบเย็น
เนื้อวัสดุเชื้อเพลิงจะเกิดการยึดและจับตัวดีเมื่อได้รับความร้อน	ควรใช้กระบวนการอัดแบบร้อน
วัสดุเชื้อเพลิงไม่จับเป็นก้อน	ผสมวัสดุเชื้อเพลิงกับตัวประสาน เช่น แป้งมัน กากน้ำตาล หากหลังผสมมีการจับตัวได้ดีขึ้นจึงใช้กระบวนการอัดแบบเย็น

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

2.8.2.3 หาสรรณะการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง

1) นำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ นำไปวิเคราะห์ด้านเชื้อเพลิงตามการศึกษาเกณฑ์คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงโดยการหาค่าความร้อน ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น

2) นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปใช้แทนถ่าน ดูระยะเวลาในการเผาไหม้ และปริมาณควัน

2.6.2.4 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

1) ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value)

คือปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภท ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) หรือกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของเสีย (kcal/kg)

1.1) ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเสีย ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของของเสียเกิดการควบแน่น

1.2) ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเสียที่ไม่มีค่าความร้อนแฝง

ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในของเสียชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในของเสีย ดังนั้น ในกรณีของเสียมีความชื้นมากๆ การใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในของเสีย แล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูงก็ได้ เนื่องจากในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น กระบวนการอัด และกระบวนการตากแห้งแห้งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ จะทำให้น้ำในของเสียถูกกำจัดออกไปบางส่วน และคงเหลือในแห้งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

2) ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile Matters)

คือองค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ของเสียที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตาม สารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะเลลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง

3) ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

คือปริมาณน้ำที่เหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งของเสีย ความชื้นของของเสียมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากของเสียมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับกระบวนการระเหยความชื้นในระหว่างเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

คือปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ของเสียที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

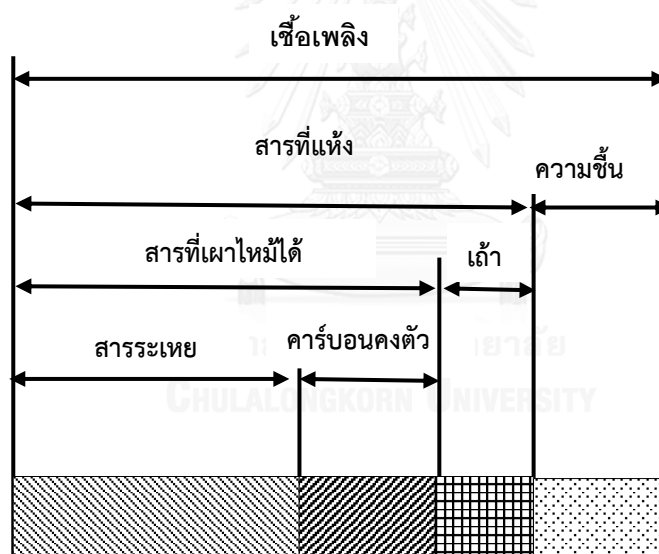
5) กำมะถันรวม (Total Sulfur)

เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจน จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นหากของเสียที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก จึงไม่เหมาะจะเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากจะเกิดมลสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ปริมาณมากด้วย

6) เถ้า (Ash)

คือส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้นั่นเอง ดังนั้น หากของเสียมีปริมาณขี้เถ้ามาก จะเป็นปัญหาในการเผาไหม้ และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น

สำหรับโครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

2.9 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่งเป็นการใช้แรงกดอนุภาคเล็ก ๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่พอจะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการคือ สสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (Attractive Force) ความแข็งแรง (Strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนาม

ของแรงนี้ล้อมรอบด้วย อะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วย การให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ (Mishra และ Grover P.D., 1996) ได้แก่

2.9.1 การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล บริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (Liquid) และของแข็ง (Solid) เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion Forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ล็อกกิ้ง (Interlocking Bond) ระหว่างวัสดุ

2.9.2 การอัดแท่งแบบใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพอลิเมอร์ และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้

2.9.3 การอัดแท่งแบบใช้ความดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดี เช่น ทาร์ และสารอินทรีย์ที่ยางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว (Adhesion Forces) แรงดึงดูดระหว่างวัสดุชนิดเดียวกัน (Cohesion Forces) และพันธะอินเตอร์ล็อกกิ้งระหว่างวัสดุ

2.10 วิธีการอัดแท่ง

การอัดแท่งวัสดุต่างๆ นั้นจำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะ คือ กระบวนการอัดร้อน และกระบวนการอัดเย็น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

2.10.1 กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process) เป็นการอัดโดยให้ความร้อนกับวัสดุตลอดเวลาที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส วัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน

ตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดร้อน คือ วัสดุเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร (แกลบ ชี้เลื้อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ ชังข้าวโพด ชานอ้อย ฯลฯ) วัสดุพืชบกและน้ำ และผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวฟ่าง ฯลฯ) โดยมีข้อดีและข้อเสียของกระบวนการอัดร้อน (Bhattacharya *et al.*, 1998) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของการอัดแท่งแบบร้อน

ข้อดี	ข้อเสีย
สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง	สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอัดเย็น
ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน	วัสดุที่ใช้ในการอัดต้องมีความชื้นต่ำ ไม่เกินร้อยละ 10
ให้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง	อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูง
	เครื่องอัดแท่งมีราคาแพงและดูแลรักษายาก

ที่มา: Bhattacharya และคณะ (1998)

2.10.2 กระบวนการอัดเย็น (Cold Press Process) เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธี คือ

1) การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการอัดที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากใช้เครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

2) การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดแบบระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวกันเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มี ความจำเป็นที่ต้องบดวัสดุ ก่อนเข้าเครื่องอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก โดยมีข้อดีและข้อเสียของการอัดแบบเย็น ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของการอัดแห้งแบบเย็น

ข้อดี	ข้อเสีย
สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดแบบร้อน	ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน กล่าวคือ มียางเหนียว เช่น พีชสด วัสดุชีวมวลที่เนาเปื่อยหรือผ่านการหมัก
ขั้นตอนเตรียมวิธีการวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก	
อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ	
เครื่องอัดแห้งมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย	
ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างจากการอัดแบบร้อนเพียงเล็กน้อย	

ที่มา: Bhattacharya และคณะ (1998)

2.11 ขั้นตอนการอัดแห้ง

วัสดุที่นำมาอัดแห้งทั้งที่ต้องใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนในการอัดแห้งเชื้อเพลิง ดังต่อไปนี้

2.11.1 การบดย่อย (Grinding) เป็นการลดขนาดวัสดุให้มีความเหมาะสมต่อการคลุกเคล้าและขึ้นรูปทำได้โดยการใช้เครื่องสับและเครื่องป่นวัสดุโดยขนาดของวัตถุดิบจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรง

2.11.2 การผสม (Mixing) เป็นการผสมวัสดุกับตัวประสานเข้าด้วยกัน เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแห้งได้ โดยเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป โดยทั่วไปชีวมวลต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

2.11.3 การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัดแห้ง แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการอัด ดังนั้นคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

2.11.4 การทำให้แห้ง (Drying) เพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแห้งแห้งมีความชื้นเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ควรใช้เวลาในการผึ่งแดด 3-4 วัน หรือนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

2.12 มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Material)

มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) (ASTM, 2004; ASTM, 2013) เป็นสมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดและจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุน ทางด้านวิชาการเพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม ทั้งหน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและการทำงานของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน

นอกจากนี้ ASTM มีการจัดแบ่งมาตรฐานออกเป็นกลุ่มๆ เฉพาะเรื่อง โดยใช้ตัวอักษร เป็นสัญลักษณ์แทนกลุ่มของเนื้อเรื่อง เรียงตามลำดับดังนี้

A : Ferrous Metals

B : Nonferrous Metals

C : Cementitious, Ceramic, Concrete, and Masonry Materials

D : Miscellaneous Materials

E : Miscellaneous Subjects

F : Materials for Specific Applications

G : Corrosion, Deterioration, and Degradation of Materials

โดยในงานวิจัยนี้มิได้ใช้วัสดุบิซิมวล จึงใช้มาตรฐาน ASTM ที่สำหรับทดสอบบิซิมวลโดยเฉพาะ เพื่อหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ชีเลื่อย และด้าย ดังนี้ คือ ปริมาณความชื้น (ASTM E871-82) ปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84) ปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E870-82) ค่าความร้อน (ASTM E711-87) ค่าการทนแรงอัด (ASTM D1621) ค่าดัชนีการแตกร่วน (ASTM D3038)

2.13 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA)

2.13.1 ความเป็นมาและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2554)

จากวิกฤตการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 1970 และนโยบายการประหยัดพลังงานของประเทศต่างๆ ส่งผลกระทบหลักต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้การศึกษา LCA ได้ถูกพัฒนาไปกับแนวคิดที่ต้องการวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานสำหรับแต่ละภาคส่วนของอุตสาหกรรม จากนั้นได้มีการขยายผลไปสู่การวิเคราะห์ทรัพยากรและผลกระทบจากการแพร่กระจายของสารมลพิษตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 และมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบ เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น ของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน ทำให้การศึกษาวิจัยด้าน LCA เริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้นและมีการใช้อย่างแพร่หลายอย่างไรก็ตามจากการที่มีการใช้วิธีการ ข้อมูล และการตีความที่ต่างกัน จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการรายงานผล ซึ่งหลังจากนั้นได้มีการจัดประชุมระดับนานาชาติเกี่ยวกับวิธีการต่างๆ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการจัดทำ LCA ขึ้น ปัจจุบันอยู่ภายใต้การดูแลของสมาคม SETAC (Society of Environmental Toxicology And Chemistry)

LCA ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น มีการนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme : UNEP) มีการส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้บริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึงผลกระทบตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Standards Organization : ISO) ได้จัดทำอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ชุด ISO 14040 เพื่อกำหนดรูปแบบ วิธีการ และขั้นตอน เพื่อเป็นมาตรฐานให้นักวิจัยด้าน LCA ได้ใช้ในการศึกษาต่อไป

ส่วนในประเทศไทย LCA ได้ถูกนำเข้ามาในปี พ.ศ.2540 โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและต่อมามีการจัดตั้งเป็นเครือข่าย Thai LCA Network ครั้งแรกที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และในปี พ.ศ. 2545 ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ได้จัดทำโครงการด้านการพัฒนาบุคลากรซึ่งได้รับการสนับสนุนด้านเทคนิคโดยรัฐบาลญี่ปุ่นและความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ คือ กระทรวง

อุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นหลักการสำคัญประการหนึ่งที่น่ามาใช้ในการพัฒนาระบบฉลากสิ่งแวดล้อมโดยบังชี้ผลกระทบเพื่อกำหนดแนวทางในการลดภาระต่อสิ่งแวดล้อมและรับรองความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ จากการพิสูจน์และตรวจประเมินผลการลดภาระต่อสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ISO ได้ให้ความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ว่า “เป็นการรวบรวมและประเมินค่าสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2554)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยเน้นผลเชิงปริมาณที่ชัดเจน การศึกษา LCA จึงมีความซับซ้อนเพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้ายในทุกประเด็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งจากการใช้ทรัพยากรและสารมลพิษที่ถูกปล่อยออกมา โดยมองผลกระทบในภาพรวมที่เกิดต่อโลก เช่น การเกิดฝนกรด การทำให้โลกร้อนขึ้น เป็นต้น นับเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอีกหนึ่งประเภทที่อยู่ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14000 ทั้งนี้มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ได้แก่

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึง หลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO 14041 – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis (LCI) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึง การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

- ISO 14042 - Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO 14043 - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA

- ISO/TR 14047 - Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ออนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO/TR 14048 - Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

- ISO/TR 14049 - Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ออนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

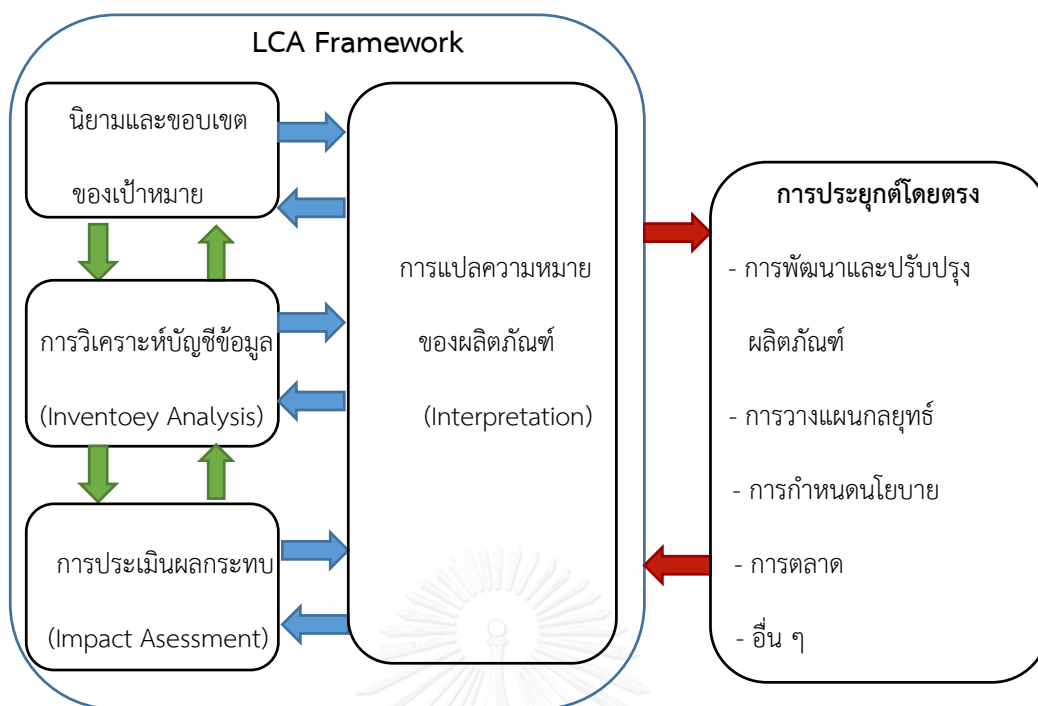
2.13.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (วรพันธ์ มูลศรี, 2554)

เนื่องจากการศึกษา LCA จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก และต้องนำข้อมูลหรือตัวเลขเหล่านั้นมาทำการคำนวณค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อความสะดวกจึงมีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการคำนวณ ปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจัดทำ LCA โดยเฉพาะ ซึ่งใช้งานง่ายและเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับกระบวนการที่มีขั้นตอนจำนวนมาก และสามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล LCA ทั่วโลกได้ หลายประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป และญี่ปุ่นได้ผลิตโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาใช้ เช่น โปรแกรม JEMAI-LCA Pro, GaBi และ SimaPro เป็นต้น

ปัจจุบันโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้โปรแกรมหนึ่งคือ SimaPro ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ โปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ฐานข้อมูลบัญชีรายการและข้อมูลในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

2.13.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 สามารถแบ่งกระบวนการ ประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ออกเป็น 4 ขั้นตอน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2559) ดังภาพที่ 2.3 ได้แก่



ภาพที่ 2.3 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2559)

2.13.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope) ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา เพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอ จะทำให้การประเมินสารขาเข้าและสารขาออกหรือประโยชน์ที่จะได้รับจากการปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น ประกอบไปด้วย

1) การระบุวัตถุประสงค์ กำหนดเป้าหมายและขอบเขตหน้าที่ของการศึกษา (Product function) เช่น ทำ LCA เพื่อบ่งบอกภาระทางสิ่งแวดล้อม เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ เพื่อปรับปรุงส่วนหนึ่งของวัฏจักรชีวิต หรือเพื่อนำไปประชาสัมพันธ์ เป็นต้น โดยมีขอบเขตการศึกษาแบบ Gate to Gate (พิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง) Cradle to Gate (เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แต่ไม่รวมถึงการใช้งานและการกำจัด ซึ่งเป็นที่นิยมนำไปใช้ในการทำเอกสาร) Cradle to Grave (เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย) Cradle to Cradle (พิจารณาขั้นตอนการกำจัดซากแล้วได้นำกลับมาใช้งานใหม่)

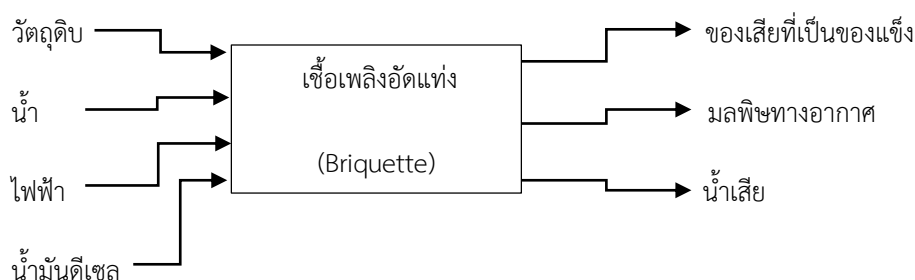
2) หน่วยการศึกษา หรือ หน่วยหน้าที่ (Functional unit) จะต้องอธิบายถึงหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์ที่นำมาพิจารณา ซึ่งต้องระบุปริมาณและหน่วยหน้าที่ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นที่มีปริมาณหรือหน้าที่อย่างเดียวกันได้ การระบุข้อมูลจะพิจารณาจากปริมาณ ความคงทน และคุณสมบัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำอัดลมที่บรรจุกระป๋องอะลูมิเนียมขนาด 0.3 ลิตร น้ำอัดลมที่บรรจุขวดแก้วขนาด 0.6 ลิตร และน้ำอัดลมที่บรรจุขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร เป็นต้น

3) สมมติฐาน ข้อจำกัด และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) อาจมีการตั้งสมมติฐาน การระบุแหล่งที่มาของข้อมูลว่าควรจะได้รับข้อมูลได้จากแหล่งใดบ้าง เช่น ข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ผลิต มีการใช้ฐานข้อมูลของไทยร่วมกับฐานข้อมูลต่างประเทศที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป เป็นต้น

2.13.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

บัญชีรายการ คือ ข้อมูลที่แสดงชนิดและปริมาณสารขาเข้า สารขาออก ที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบ ทรัพยากร พลังงาน ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และมลสารของเสียที่ปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ และดิน เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1) สร้างแผนภาพวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จะต้องระบุกระบวนการย่อยๆ ของแต่ละขั้นตอนในวัฏจักรชีวิต และระบุสารขาเข้า สารขาออกที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างกระบวนการย่อยของขั้นตอนการจัดการหาวัตถุดิบการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2) วางแผนการเก็บข้อมูล โดยการกำหนดประเภทและแหล่งที่มาของข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำมีคุณภาพ ซึ่งการกำหนดแหล่งข้อมูลที่ดีจะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา แหล่งข้อมูล ประเภทข้อมูลที่จัดเก็บจะเป็นข้อมูลปฐมภูมิได้จากการรวบรวมหรือบันทึกจากแหล่งข้อมูลโดยตรง เช่น การสำรวจ สัมภาษณ์ จดบันทึกจากเครื่องจักรหรือการคำนวณ เป็นต้น และข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่มีผู้อื่นรวบรวมไว้ให้แล้ว เช่น ข้อมูลสถิติจากหน่วยงานรัฐบาล การตีพิมพ์ในวารสาร ฐานข้อมูลระหว่างประเทศ เป็นต้น

3) เก็บข้อมูล ของแต่ละกระบวนการย่อยลงในแบบบันทึกข้อมูล ซึ่งอาจมีการออกแบบตามความเหมาะสมของผู้ศึกษา

4) วิเคราะห์และรายงานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม บันทึกข้อมูลวัตถุดิบ พลังงาน และมลสารต่างๆ ใส่ปริมาณและหน่วยที่ถูกต้อง เพื่อนำไปคำนวณหรือบันทึกในโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อประเมินผล

2.13.3.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยการแปรข้อมูลการใช้ทรัพยากร หรือสารขาเข้า สารขาออก และการปล่อยของเสียที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ให้อยู่ในรูปตัวชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพื่อบ่งชี้ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ (Mandatory Element) ได้แก่ การจำแนกข้อมูลให้อยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นบทบาทค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม (Optional Element) ได้แก่ การเทียบหน่วย (Normalization) การจัดกลุ่มผลกระทบ (Grouping) การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) และการจัดกลุ่มผลกระทบ (Single Index) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การจำแนกประเภท (Classification) เป็นการจำแนกข้อมูลสารขาเข้า สารขาออก ไปยังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ เช่น มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จัดอยู่ในรูปผลกระทบประเภททำให้โลกร้อนหรือ (Global Warming) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จัดอยู่ในรูปผลกระทบประเภทฝนกรด (Acidification) ซึ่งสารบางชนิดก่อให้เกิดผลกระทบได้มากกว่าหนึ่งประเภท นอกจากนี้ยังสามารถจัดกลุ่มผลกระทบด้านต่าง ๆ เช่น การทำให้โอโซนในชั้น

บรรยากาศลดลง (Ozone Depletion) การเกิดหมอกควัน (Photochemical oxidation) การเกิดฝนกรด การสูญเสียพื้นที่ดิน (Land Use) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Eco-toxicity) การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำ (Eutrophication) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการศึกษาว่าต้องการศึกษาโดยแปลค่าเป็นผลกระทบประเภทใด

2) การกำหนดบทบาทความสามารถ (Characterization) เป็นการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในรูปดัชนีบ่งชี้ (Indicator) ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละด้าน โดยใช้ Characterization Factor ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากน้ำหนักของแต่ละข้อมูลเป็นค่าบ่งชี้ผลกระทบและรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ดังสมการที่ (2.5)

$$EP_j = Q_j \times EF_{ij} \quad (2.5)$$

โดยที่ EP_j (Environment Impact Potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent)

Q_j (Quantity of Substance) คือ ปริมาณมลสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency Factor) หรือ Characterization Factor คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent/kg substance j)

3) การเทียบหน่วย (Normalization) เป็นการแสดงขนาดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยการเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ต้องการอ้างอิง ดังสมการที่ (2.6)

$$NP_j = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2.6)$$

โดยที่ NP_j (Normalized Environment Impact Potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j (Equivalency Factor) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

4) การให้น้ำหนักแต่ละประเภท (Weighting) เป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกัน

ออกไป ขึ้นอยู่กับผู้ทำการประเมิน เช่น มีการนำนโยบายสิ่งแวดล้อมของโลกในการลดมลภาวะมาเป็นค่า Weighting Factor (WF) หรือการนำเอากฎหมายสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศเกี่ยวกับการอนุญาตให้ปล่อยมลภาวะมาเป็นค่า WF เป็นต้น สำหรับโปรแกรมการแสดงผลต่อสิ่งแวดล้อม SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ซึ่งทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คน ในจำนวน 1,000 คน/ปี (วรพันธ์ มุลศรี, 2554) ดังสมการที่ (2.7)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (2.7)$$

โดยที่ WP_j (Weighted Environment Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ (person for target year, Pt.)

WF_j (Weighted factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.14.3.4 การแปลผล (Interpretation)

เป็นการนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะจากผลการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อสรุปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป เช่น ขั้นตอนใดในวัฏจักรชีวิตก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด เป็นต้น

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco Design) ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศต่าง ได้นำหลักการ LCA มาใช้ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาจัดทำข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าและบริการ เช่น สินค้าฉลากเขียว โดยฉลากเขียวที่ติดอยู่กับผลิตภัณฑ์เป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้น เน้นการรักษาสิ่งแวดล้อม หากมีการบริโภคสินค้าฉลากเขียวมากขึ้น จะทำให้ผู้ผลิตปรับปรุงสินค้า หรือบริการเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.13.3 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพื้นฐานที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

วิธีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ วิธีการประเมินผลกระทบแบบ CML baseline 2000 พัฒนาโดย CML หรือ Centre of Environmental Sciences มหาวิทยาลัยไลเดน (Leiden) ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีหลักการสำคัญคือ การคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการปลดปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อม (Problem-oriented approach) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint) ที่คำนวณจากการมีส่วนร่วมทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของมลสารต่างๆ แล้วนำมารวมกันเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต (สุธี คงศิริ, 2552) เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยจำแนกกลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น และการเตรียมเก็บข้อมูลที่ต้องการ โดยงานวิจัยนี้ได้ประเมินกลุ่มผลกระทบ 5 ด้าน ได้แก่ การทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การทำให้เกิดฝนกรด การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ โดยมีรายละเอียดรายการผลกระทบที่นำมาพิจารณา ดังนี้

2.13.3.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) คือ ภาวะที่อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหานี้เกิดจากสารประกอบของก๊าซต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกดูดซับรังสีอินฟราเรดและกักรังสีความร้อนจากโลกไว้ ผลที่จะเกิดตามมาจากภาวะโลกร้อน เช่น การที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น พื้นที่ส่วนที่เป็นดินน้อยลง การแพร่ซึมของสาร การเกิดน้ำท่วม การชะกร่อนของชั้นดิน และพายุ เป็นต้น ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มภาวะโลกร้อน ที่มาจากสารหลาย ๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์-เทียบเท่า หรือ kg CO₂ eq.

2.13.3.2 ศักยภาพในการทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone Depletion Potential) การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ที่มีความสำคัญในการเป็นเกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก เช่น มะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก การตายของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย เป็นต้น ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มการทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ที่มาจากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของสารประกอบคลอโรฟลูออโร-คาร์บอน-เทียบเท่า หรือ kg CFC-11 eq.

2.13.3.3 ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential) การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ของมนุษย์ ผลรวมทั้งหมดของการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ที่มาจากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของสาร 1,4-ไดคลอโรเบนซีน-เทียบเท่า หรือ kg 1,4-DB eq.

2.13.3.4 ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential) เป็นผลมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ซึ่งเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน โดยจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ฝน และสารเคมีอื่นๆ ในชั้นบรรยากาศ ก่อให้เกิดกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) และสารมลพิษอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลให้อากาศอบอุ่นขึ้น ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ โดยจะถูกกระแสนลมพัดพาไปหลายร้อยกิโลเมตร และมักจะกลับสู่พื้นโลกโดยฝน หิมะ หมอก หรือแม้แต่ในรูปฝุ่นผงละออง ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มการเกิดฝนกรดที่มาจากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์-เทียบเท่า หรือ kg SO_2 eq.

2.13.3.5 การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ (Eutrophication Potential) เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดจากการที่แหล่งน้ำมีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ซึ่งอาจมาจากการปล่อยน้ำทิ้งของกระบวนการผลิตต่างๆ หรือจากน้ำทิ้งชุมชน ลงสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติ ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูงขึ้น ส่งผลให้สาหร่ายและแพลงค์ตอนในแหล่งน้ำนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีและรวดเร็ว เมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ในแหล่งน้ำ สิ่งที่จะเกิดขึ้นตามมา คือ สิ่งมีชีวิตในน้ำอื่นๆ จะตายเป็นจำนวนมาก น้ำมีกลิ่นเหม็น เน่าเสีย เนื่องจากสาหร่ายและแพลงค์ตอนที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นั้นทำให้มีปริมาณมากจนไปกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำได้ ทำให้พืชชนิดอื่นที่อยู่ใต้น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงและตายในที่สุด และยังทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ ที่มาจากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของฟอสเฟต-เทียบเท่า หรือ kg PO_4^{3-} eq.

2.14 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และต้าย โดยการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อก้อนและระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน สามารถแบ่งแยกต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้ดังนี้

2.14.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

ต้นทุนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของกิจการ ไม่ว่าจะระดับกิจการจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ต้นทุนคงที่รวมจะไม่มีเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น แต่ถ้าในระยะยาว กิจการได้ขยายการดำเนินงานก็จะมีเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร ค่าเสื่อมราคาโรงงาน ค่าเช่า ค่าประกันภัย (ธนวรรณ แสงสุวรรณ, 2560) ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เครื่องอัดวัตถุดิบ สำหรับผสมวัตถุดิบ

2.14.2 ต้นทุนวัตถุดิบ

วัตถุดิบนับว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญของการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยทั่วไป ซึ่งต้นทุนที่เกี่ยวกับการใช้วัตถุดิบในการผลิตสินค้าอาจจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ วัตถุดิบทางตรง (Direct Materials) หมายถึง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต และสามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าใช้ในการผลิตสินค้าชนิดใดชนิดหนึ่งในปริมาณและต้นทุนเท่าใด รวมทั้งจัดเป็นวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตสินค้าชนิดนั้น ๆ เช่น ไม้แปรรูปจัดเป็นวัตถุดิบทางตรงของการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้า เป็นต้น และวัตถุดิบทางอ้อม (Indirect Materials) หมายถึง วัตถุดิบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยทางอ้อมกับการผลิตสินค้า แต่ไม่ใช่วัตถุดิบหลักหรือวัตถุดิบส่วนใหญ่ เช่น ตะปู กาว กระดาษทรายที่ใช้เป็นส่วนประกอบของการทำเครื่องหนังหรือเฟอร์นิเจอร์ น้ำมันหล่อลื่น เครื่องจักร เส้นด้ายที่ใช้ในการตัดเย็บเสื้อผ้า เป็นต้น (อนุรักษ์ ทองสุขวงศ์, 2548) ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย ด้าย และแป้งมันสำปะหลัง

2.14.3 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

ต้นทุนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของกิจกรรม ในสัดส่วนเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงในจำนวนหรือระดับกิจกรรม ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานทางตรง ค่าไฟฟ้า ค่าคอมมิชชั่น ค่าพาหนะและค่าการบรรจุหีบห่อ เป็นต้น (ธนวรรณ แสงสุวรรณ, 2560) ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนค่าไฟฟ้า ต้นทุนค่าน้ำ ต้นทุนค่าขนส่ง

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชมธิตา ชื่นนิยม (2553) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษข้าวโพดซึ่งได้มาจากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมามาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12% ปริมาณสารระเหย 71.05% ปริมาณเถ้า 3.19% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66% และค่าความร้อน 4,054.56 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นนำเศษซึ่งข้าวโพดมาผสมกับตัวประสาน 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง จากผลการทดลองพบว่า การอัดแท่งเศษซึ่งข้าวโพดที่เศษส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุด เนื่องจากอัดง่าย มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ

บัญญัติ โฉลำนันท์ อาทิตย พุทธรักษาติ และจันสุดา คำด้อย (2554) ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไมยราบยักษ์พบว่า จากการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งทำให้ค่าปริมาณความร้อนสูงขึ้นร้อยละ 15-36 โดยที่เชื้อเพลิงอัดแท่งไมยราบยักษ์ที่มีส่วนผสมแป้งมันที่ร้อยละ 6 เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดโดยให้ค่าความร้อนสูงสุด 5,432 แคลอรีต่อกรัม และมีประสิทธิภาพในการใช้งานตามมาตรฐานที่กำหนด (มผช.238/2547) โดยจากการศึกษายังทราบว่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนและระยะเวลาคืนทุนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งไมยราบยักษ์เท่ากับ 5.5 และ 1.2 ปี

สังเวย เสวกวิหारी (2555) ได้ทำการศึกษาเปลือกมังคุดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเปลือกมังคุดสามารถนำมาเผาได้ถ่านเปลือกมังคุด มีสีดำ น้ำหนักเบา นำมาบดให้ละเอียดจนเป็นผง ถ่าน ผสมผงถ่านเปลือกมังคุดกับกาวแป้งเปียก คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำมาอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิง ได้แท่งเชื้อเพลิงรูปไม่แตกหัก เมื่อนำไปตากแดดจนแห้งพบว่า มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,920 แคลอรีต่อกรัม มีอัตราการเผาไหม้ 11.80 กรัมต่อนาที ปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 61.7 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด สามารถใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ ติดไฟได้ดี ไม่มีเขม่า ไม่มีควัน และไม่มีการปนเปื้อนขณะใช้งาน

รุ่งโรจ พุทธิสกุล (2553) ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยผลแสดงค่าความร้อนของถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 9:1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และอัตราส่วน 1:9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และผลการวิเคราะห์ต้นทุน

การผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านกะลามะพร้าวและถ่านหังามันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:7 มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,003 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งให้ค่าความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 5.35 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อมีกำลังการผลิตที่ 400 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 1.4 ปี

อรรถกร ฤกษ์วีรี (2549) ได้ทำการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำขยะมูลฝอยชุมชน 2 ประเภท ได้แก่ เศษกระดาษ และเศษไม้/ใบไม้ มาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน 5 อัตราส่วน คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5, 75:25, 50:50, 25:75 และ 5:95 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงบางอัตราส่วนต้องมีการเพิ่มปริมาณความชื้นในการอัดแท่ง และจากการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ได้พบว่า อัตราส่วนที่ให้ปริมาณค่าความร้อนสูงสุด คือ เศษกระดาษต่อเศษไม้และใบไม้ 95:5 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 แคลอรีต่อกิโลกรัม สำหรับเชื้อเพลิงแห้ง และ 4,314.16 แคลอรีต่อกิโลกรัม สำหรับถ่านเชื้อเพลิง

เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร (2555) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาจากตะกอนเปียกจากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งและเพิ่มคุณภาพโดยการนำไปผสมกับชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน และกะลามะพร้าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านพลังงานของเชื้อเพลิงจากตะกอนเปียกบริสุทธิ์ มีค่าความร้อน 3,851.3 แคลอรีต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้า 34.3% คาร์บอนคงตัว 30.2% สารที่ระเหยได้ 33.2% และมีความชื้น 5.3% โดยผู้วิจัยได้นำ เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน และกะลามะพร้าว มาผสมในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยที่มีกากตะกอนเป็นตัวผสมหลักคือ 5:5 ทั้ง 3 ชนิด โดยมีค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้นแปรผันตรงตามอัตราส่วนผสมของชีวมวลที่เพิ่มขึ้น และยังทำให้ปริมาณเถ้าและสารระเหยน้อยลงตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกผสมร่วมกับกะลามะพร้าวให้ค่าความร้อนสูงสุด ตามด้วยเปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียน ตามลำดับ

Peng และคณะ (2015) พบว่าซีลี้อยเป็นสารยึดเกาะที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ความร้อนแก่เม็ดเชื้อเพลิง โดยใช้ถ่านชีวภาพผสมกับตัวประสานและน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ ซีลี้อย แป้ง และลิกนิน อัตราส่วนตั้งแต่ 5-30% โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า ภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนที่ 280-300 °C เป็นเวลา 10-30 นาที ค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งและลิกนินเป็นตัวประสานสูงกว่าเม็ดเชื้อเพลิงที่ใช้ซีลี้อยเป็นตัวประสานเล็กน้อย แต่ในมุมมองของ

ค่าใช้จ่ายซีลี้อยจะต่ำกว่าแปงและลิกนินอยู่มาก ดังนั้นซีลี้อยจึงเป็นตัวประสานธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพใช้สำหรับให้ความร้อนแก่เม็ดเชื้อเพลิงได้

Kong และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของเส้นใยกระดาษที่เป็นตัวเชื่อมลักษณะทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงที่ทำมาจากซีลี้อยไม้ โดยใช้เศษซีลี้อยไม้เป็นวัสดุหลัก และใช้เส้นใยกระดาษเป็นตัวเชื่อม โดยได้บดเป็นผงแล้วนำมาผสมกัน ทำการอัดเป็นเม็ดภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันต่ำกว่า 10 MPa ในอัตราส่วนมวลเส้นใยกระดาษต่อซีลี้อยไม้เป็น 0:1, 1:5, 1:4, 1:3, 1:2, 1:1 และ 1:0 ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มเส้นใยกระดาษ ช่วยลดผลกระทบทางลบของการคืนตัวและคุณสมบัติเชิงกลของเม็ดเชื้อเพลิงระหว่างการเก็บรักษา ในอัตราส่วนมวลเส้นใยกระดาษต่อซีลี้อยไม้อัตราส่วน 1:3 อัดที่ 6 เมกะปาสคาล มีพื้นผิวเรียบและการคายตัวที่ 10% และมีความหนาแน่นของการคลายตัวสูงอยู่ที่ 1.08 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งการเพิ่มเส้นใยกระดาษเป็นผลบวกต่อการเสริมสร้างพันธะให้แข็งแรงขึ้นในเชื้อเพลิงอัดเม็ด และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า พร้อมทั้งสามารถใช้แรงดันต่ำกว่าปกติภายใต้อุณหภูมิห้อง ซึ่งประหยัดพลังงานและมีกระบวนการผลิตที่ง่าย

Kong และคณะ (2013) ได้ศึกษาเพิ่มเติมปฏิกิริยาการสานเข้าด้วยกัน (Intertwining) ระหว่างเส้นใยที่เพิ่มเข้าไปกับซีลี้อยไม้ โดยใช้ซีลี้อยไม้สนกับเส้นใยผ้าลินินขนาดแตกต่างกัน คือ 0, <0.2, 1, 2, 10 และ 50 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ความหนาแน่น คลายตัว การทนต่อการกร่อน และดัชนีทนต่อแรงกระแทก เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 1.08 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตรเมตร 0.65% และ 200 หลังจากเพิ่มเส้นใยที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร เนื่องจากอนุภาคซีลี้อยไม้ที่อยู่ติดกันยึดเหนี่ยวกันด้วยการสร้างพันธะ และยังมียึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่ไม่ติดกันด้วยการเสริมแรงผ่านการสานกันของเส้นใยที่เพิ่มเข้าไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ สำหรับการทำวิจัย

3.1.1 วัสดุสำหรับการวิจัย ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อไม้อัดแผ่นของ บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด และ บริษัท โรงงานส่งเสริมไทยอุตสาหกรรม จำกัด มีดังนี้

- 1) เศษเยื่อไม้ (Wood Mill)
- 2) ขี้เลื่อยไม้ (Wood Sawdust)
- 3) ด้าย (Thread)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย

- 1) เครื่องอัดแรงดันไฮดรอลิก (Hydraulic Presses, Model 100, T.M.C., Thailand)
- 2) เครื่องบดชีวมวลชนิดหยาบและละเอียด (Hammer Mill)
- 3) ตะแกรงร่อนคัดขนาดเบอร์ 4, 7, 20, 35, 60, 100 และ 200 เมช
- 4) เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น
- 5) เครื่องวัดค่าความร้อน (Bomb Calorimeter LECO AC-350)
- 6) เครื่องทดสอบแรงอัด (Shimadzu Autograph AG-1000E)
- 7) ตู้อบความร้อน (Isotemp Oven, Model 725F, Fisher Scientific, U.S.A.)
- 8) เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace, Model LT 5/12/P330, Germany)
- 9) โถดูดความชื้น (Desiccator)

- 10) เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Model ML 1602, Mettler Toledo, Switzerland)
- 11) ถ้วยทนไฟพร้อมฝา (Crucible)
- 12) แม่พิมพ์ กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร
- 13) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope JEOL JSM-6400)
- 14) ถุงพลาสติกแบบมีซิปป
- 15) นาฬิกาจับเวลา
- 16) โปรแกรมซอฟต์แวร์ SimaPro 7.3

3.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

ในขั้นตอนการดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

3.2.1 ระยะที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การดำเนินการทดลองในระยะที่ 1

- 1) การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย
 - 1.1) นำเศษเยื่อไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
 - 1.2) นำชี้เลื่อยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น แล้วนำไปร่อนให้มีขนาด 2 มิลลิเมตร
 - 1.3) นำด้ายมาตัดให้มีขนาดยาว 2 มิลลิเมตร

2) การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

2.1) ทำโดยใช้ตะแกรงกรอง (Testing Sieve) ซึ่งตะแกรงนี้ทำด้วยโลหะ โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4, 7, 20, 35, 60, 100 และ 200 เมช โดยใช้ตัวอย่างเศษเยื่อไม้และซีลี้อย ปริมาณ 50 กรัม วางบนตะแกรงไปเทบนตะแกรงที่ต้องการทดสอบ โดยเรียงลำดับตะแกรงให้ขนาดหยาบอยู่บนสุด และขนาดละเอียดอยู่ล่างสุด ดังนี้ 4, 7, 20, 35, 60, 100 และ 200 จากบนลงล่างตามลำดับ เขย่าเป็นเวลา 15 นาที

2.2) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บไว้ในแต่ละตะแกรงมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำเปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่เหลือในแต่ละตะแกรงมาคำนวณ ทำซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง แล้วเก็บวัสดุใส่ถุงพลาสติกที่มีซิปปิดสนิท เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความชื้น

3) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

3.1) นำเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ASTM E871-82) ปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84) ปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E870-82) และค่าความร้อน (ASTM E711-87)

4) การเตรียมตัวอย่างเพื่อการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การเตรียมตัวอย่างในการอัดแท่งเชื้อเพลิงในการทดลองครั้งนี้ จะนำเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนของเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เมื่อผสมตัวอย่างตามอัตราส่วนดังกล่าวแล้ว จึงนำไปใส่ถุงพลาสติกที่มีซิปปิดสนิท เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความชื้น

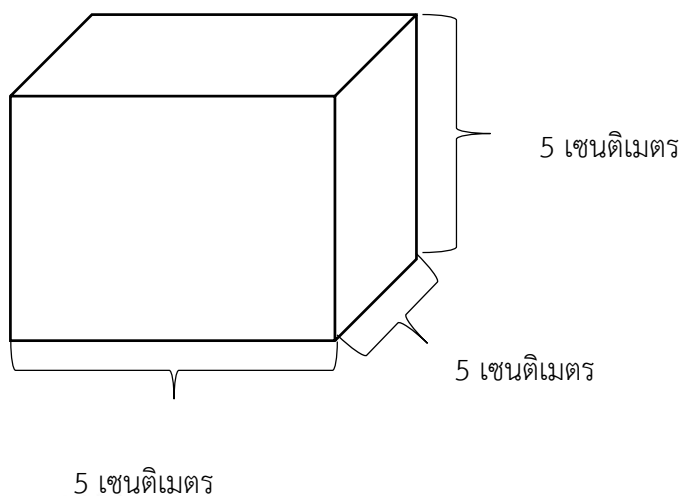
ตารางที่ 3.1 ตำรับการทดลอง (อัตราส่วนผสม)

ร้อยละโดยน้ำหนัก		
เศษเยื่อไม้	ขี้เลื่อย	ด้าย ความยาว 2 มิลลิเมตร
50	50	0
50	45	5
50	40	10
50	35	15
50	30	20
50	25	25
45	50	5
40	50	10
35	50	15
30	50	20
25	50	25

5) การอัดเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้ายเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.1) วิธีการอัดแท่ง

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการอัดแท่งแบบอัดเย็น และใช้ตัวประสานคือแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 25% โดยน้ำหนัก นำตัวอย่างเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ผสมกับตัวประสานที่เตรียมไว้ จากนั้นนำมาใส่เข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก ใช้แม่พิมพ์ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร ดังรูปภาพที่ 3.1 ภายใต้อุณหภูมิห้องที่ 25 °C ที่ความดันต่ำกว่า 10 เมกะปาสคาล



ภาพที่ 3.1 ขนาดก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.2) วิธีการอบแห้ง

นำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มาทำให้แห้ง โดยการนำมาเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากอบแล้วนำเชื้อเพลิงอัดแท่งเก็บใส่ถุงพลาสติกที่มีซิปปิดสนิท

6) การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

6.1) เป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ASTM E871-82) ปริมาณสารระเหย (ASTM D1102-84) ปริมาณเถ้า (ASTM E872-82) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E870-82) และค่าความร้อน (ASTM E711-87) ความหนาแน่น (Density) ค่าการทนแรงอัด (ASTM D1621) ความยาวการขยายตัว ค่าดัชนีการแตกร่วน (ASTM D3038) และพื้นผิวของวัสดุ สุ่มตัวอย่างทั้ง 11 อัตราส่วน มาคำนวณในแต่ละพารามิเตอร์อย่างละ 3 ซ้ำ

6.2) การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของเชื้อเพลิงอัดแท่งในแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ความหนาแน่น ค่าการทนแรงอัด

ความยาวการขยายตัว ค่าดัชนีการแตกร่วน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS มาเป็นเครื่องมือในการช่วยทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วยสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.2 ระยะที่ 2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

การดำเนินการทดลองในระยะที่ 2

เลือกอัตราส่วนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุดจากการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้โปรแกรม Sima Pro 7.3 เป้าหมายและขอบเขตการประเมินผลกระทบเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการได้มาเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่ง เรียกว่า Cradle to Gate โดยศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ผลกระทบคือ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ศักยภาพในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ โดยมีการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยด้วยการผลิตเป็นก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งกับการจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยด้วยวิธีเดิมในปัจจุบัน

1) การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition) มีเป้าหมายในการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการหรือกิจกรรมในสายโซ่การผลิต ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การเตรียมวัตถุดิบ และการผลิต จนได้ผลิตภัณฑ์มา เรียกว่า “Cradle to Gate” โดยในงานวิจัยนี้มี 2 เป้าหมายและขอบเขต ดังนี้

1.1) เป้าหมายและขอบเขตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย

- ผลิตภัณฑ์ : เชื้อเพลิงอัดแท่ง

- หน้าที่ผลิตภัณฑ์ : การจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยโดยการนำมาทำเป็น

เชื้อเพลิงอัดแท่ง

- หน่วยอ้างอิง (Function Unit) : เชื้อเพลิงอัดแท่งปริมาณ 1 กิโลกรัม ที่ผลิตได้

- เป้าหมายหลัก : เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหน่วยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงาน ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ภายใต้หน่วยอ้างอิงเดียวกันคือ 1 กิโลกรัมเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ เพื่อจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไปในอนาคต โดยเปรียบเทียบดังนี้

- เปรียบเทียบการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 4 ขั้นตอน ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การเตรียมวัตถุดิบ และการผลิต

1.2) เป้าหมายและขอบเขตของการจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อย

- ผลิตภัณฑ์ : เศษเยื่อไม้และขี้เลื่อย

- หน้าที่ผลิตภัณฑ์ : การจัดการเศษเยื่อไม้โดยใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน (Landfill Cover) และขี้เลื่อยใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

- หน่วยอ้างอิง (Function Unit) : เศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยเทียบเท่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม

- เป้าหมายหลัก : เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหน่วยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงาน ที่เกิดขึ้นจากการจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยโดยวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน ภายใต้หน่วยอ้างอิงเดียวกันคือ 1 กิโลกรัม เพื่อจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไปในอนาคต โดยเปรียบเทียบดังนี้

- เปรียบเทียบการจัดการเศษเยื่อไม้ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การขนส่งวัตถุดิบ และการนำเศษเยื่อไม้มาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

- เปรียบเทียบการจัดการขี้เลื่อย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การขนส่งวัตถุดิบ และการนำขี้เลื่อยมาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในการให้ความร้อนที่โรงไฟฟ้า

2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis) บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ ข้อมูลที่แสดงชนิด และปริมาณสารขาเข้า เช่น วัตถุดิบ พลังงาน ทรัพยากร เป็นต้น และสารขาออก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมรูปแบบต่างๆ

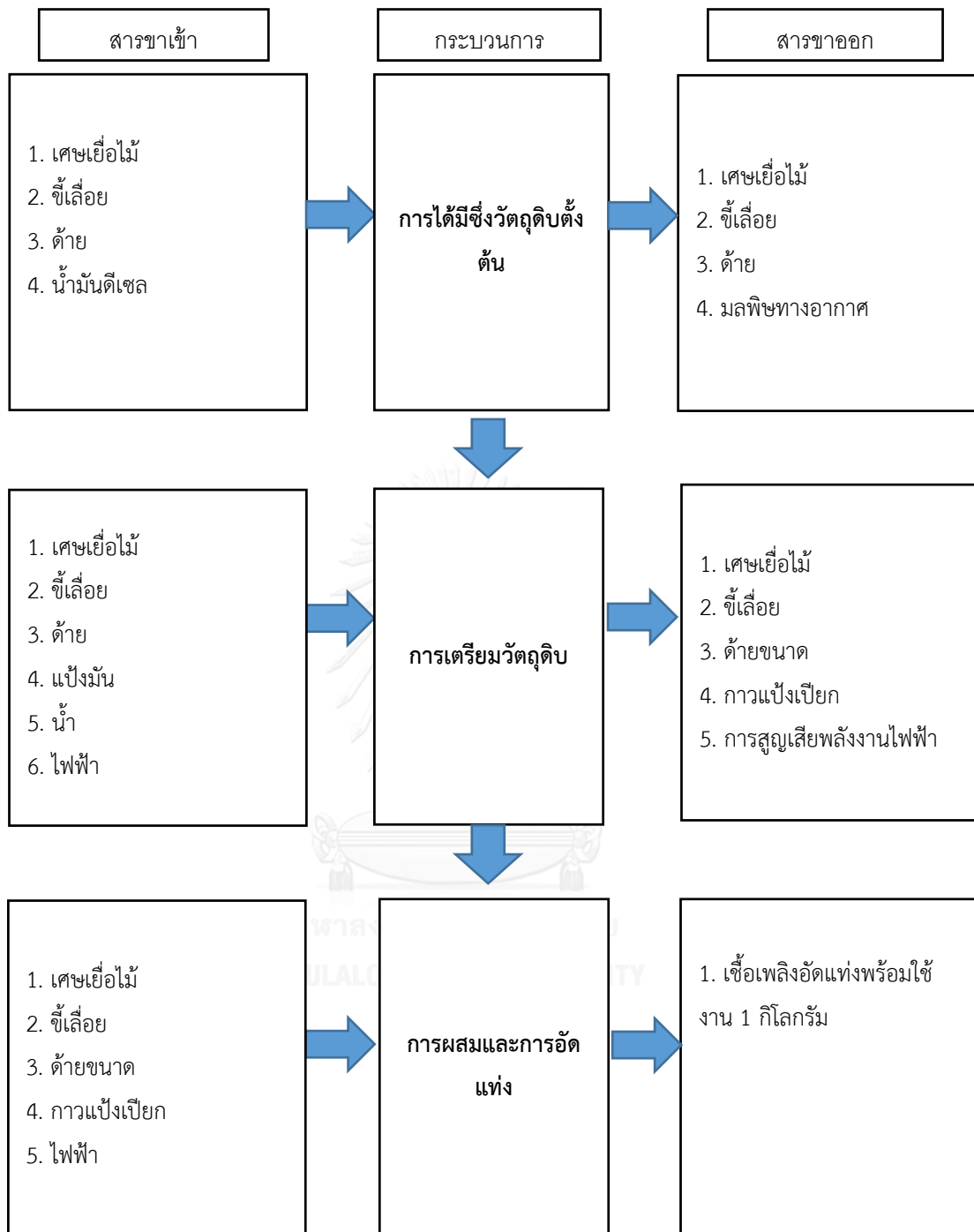
ดังนั้นจึงต้องเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาขั้นตอนวิธีการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้ายระหว่างทำการทดลองให้จดบันทึกข้อมูลสารขาเข้า-ออกทั้งหมด

2.1) สร้างแผนภาพวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

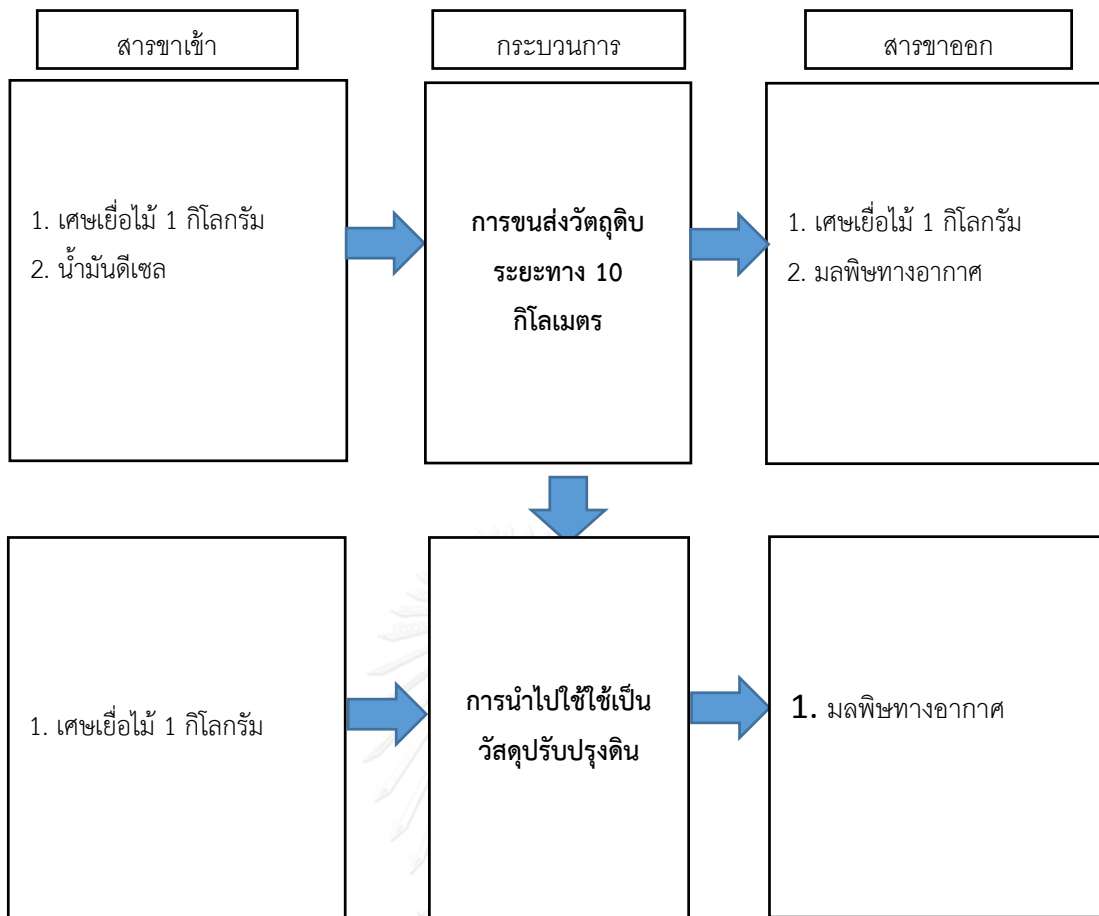
กำหนดขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาและขอบเขตการศึกษา โดยระบุกระบวนการย่อยของแต่ละขั้นตอนในวัฏจักร และระบุสารขาเข้า สารขาออกที่เกิดขึ้น ดังรูปภาพที่

3.2 – 3.4

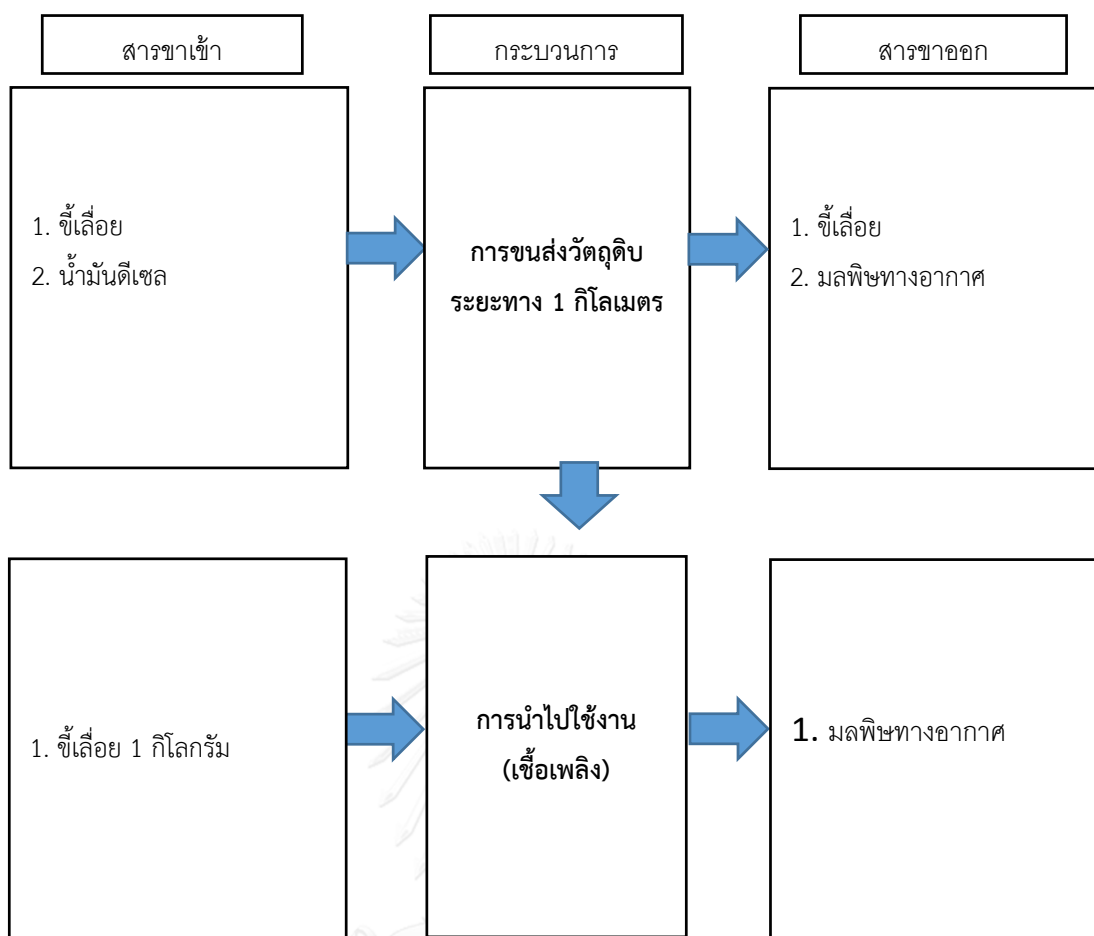




ภาพที่ 3.2 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม



ภาพที่ 3.3 บัญชีรายการขั้นตอนการจัดการเศษเยื่อไม้ 1 กิโลกรัม



ภาพที่ 3.4 บัญชีรายการขั้นตอนการจัดการขี้เลื่อย 1 กิโลกรัม

2.2) วางแผนการเก็บข้อมูล

ลักษณะข้อมูลมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการรวบรวมหรือบันทึกจากแหล่งข้อมูลโดยตรง คือ การสำรวจ สัมภาษณ์ จดบันทึกจากเครื่องจักร หรือการคำนวณจากการผลิต และข้อมูลทุติยภูมิจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ทบทวนบทความจากการตีพิมพ์ในวารสาร และฐานข้อมูลระหว่างประเทศ ซึ่งหากมีการใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลใดต้องพิจารณาแล้วว่ามีความสัมพันธ์ ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูล โดยจะต้องบันทึกอ้างอิงแหล่งข้อมูลนั้นด้วย เพื่อสามารถตรวจสอบได้

มีการคัดเลือกข้อมูลและจัดการข้อมูลที่จะนำมาใช้ในวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล มีหลักการในเก็บข้อมูล เป็นข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการ

เก็บรวบรวมหรือระหว่างการทดลอง กลั่นกรองและตัดสินใจเลือกเก็บข้อมูลที่สำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ ชั้นแรกจะเก็บข้อมูลดิบ เช่น ปริมาณน้ำมันที่ใช้ขนส่ง ระยะทาง น้ำหนักวัสดุดิบ ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรต่อกระบวนการหนึ่ง แต่จะถูกคัดเลือกและกลั่นกรองข้อมูลเป็นปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ คิดเทียบเป็นต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม

2.3) การวิเคราะห์และรายงานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

วิธีการคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สามารถทำได้หลายวิธี อาจอยู่ในรูป เอ็กเซล โลตัส หรือโปรแกรมสำเร็จรูป โดยงานวิจัยนี้มีวิธีการเก็บข้อมูล และคำนวณในรูปแบบเอ็กเซล (Microsoft Excel) ดังตัวอย่างการคำนวณการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (IPCC, 2006) จากนั้นจึงนำผลไปบันทึกในรายการข้อมูล ตัวอย่างดังตารางที่ 3.2

การเกิดก๊าซจากการเผาไหม้ = ปริมาณน้ำมัน (l) X ค่าความร้อน (MJ/l) X ค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้ (g gas/MJ)

โดย ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล = 36.42 MJ/l

ค่าปัจจัยการปล่อย CO₂ จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล = 74.1 g CO₂/MJ (IPCC, 2006)

ค่าปัจจัยการปล่อย CH₄ จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล = 0.0039 g CH₄/MJ (IPCC, 2006)

ค่าปัจจัยการปล่อย N₂O จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล = 0.0039 g N₂O/MJ (IPCC, 2006)

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างรายการข้อมูลพลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการรีบัตถุติบตั้งต้นของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่ง

ขั้นตอน	รายการ	ปริมาณ (หน่วย)		บัญชีรายการ (หน่วย)	
การรีบัตถุติบตั้งต้น	เชื้อเพลิงน้ำมัน Diesel	0.0011	L	kg CO ₂ (combustion)	0.00304
				kg CH ₄ (combustion)	1.60×10^{-7}
				kg N ₂ O (combustion)	1.60×10^{-7}

ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริธร ใจแก้ว (2555)

3) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคเพื่อจัดการแปลงข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยมลสารต่างๆ จากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ได้จากขั้นต้น เพื่อนำมาจำแนกประเภท และกำหนดบทบาทที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นด้านภาวะโลกร้อน การทำให้เกิดฝนกรด การทำให้อิออนในชั้นบรรยากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ โดยมามีค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในสูตรการคำนวณจาก MTEC, Thai LCI database, IPCC และจากงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการคำนวณโดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ SimaPro 7.3

โดยขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมสารขาเข้า สารขาออก และการปล่อยของเสียของระบบผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปตัวชี้วัดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อบ่งชี้ความสามารถในการก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย

3.1) การจำแนกประเภทข้อมูล (Classification)

เป็นการจำแนกข้อมูลสารขาเข้า สารขาออก ไปยังกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปกลุ่มผลกระทบต่างๆ ได้แก่ ด้านทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การทำให้เกิดฝนกรด การทำให้อิออนในชั้นบรรยากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ อย่างเช่น CO₂ จัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน SO₂ อยู่ในกลุ่มผลกระทบการทำให้เกิดฝนกรด และยังอยู่ในกลุ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกประเภทข้อมูลนั้น ส่วน

ใหญ่จะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล SimaPro 7.3 จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณ และแสดงค่าที่แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มต่างๆ

3.2) การกำหนดบทบาท (Characterization)

แสดงประเภทค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปดัชนีบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ Characterization factor ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากน้ำหนักของแต่ละข้อมูลเป็นค่าบ่งชี้ผลกระทบประเภทต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้มีการใช้ค่า Characterization factor จากฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro 7.3 จากนั้นรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ดังสมการที่ (3.1) และตารางที่ (3.3)

$$EP_j = Q_j \times EF_{ij} \quad (3.1)$$

โดยที่ EP_j (Environment impact potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent)

Q_j (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) หรือ Characterization factor คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent/ kg substance j)

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณจากสูตร

บัญชีรายการ	Characterization factors (GWP ₁₀₀)	Global Warming Potential (kg CO ₂ -eq.)
CO ₂ 0.0043 kg.	1	0.0043 × 1 = 0.0043
CH ₄ 0.0045 kg.	25	0.0045 × 25 = 0.1125
N ₂ O 0.0015 kg.	298	0.0015 × 298 = 0.447
ผลรวมการมีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์		= 0.5638

ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริธร ใจแก้ว (2555)

4) การแปลผล และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Interpretation) เป็นการนำผลการคำนวณที่ได้จากวิธีการคำนวณและจากโปรแกรม SimaPro7.3 แสดงผลข้อมูลในรูปของตัวเลขที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยแยกเป็นผลของแต่ละกระบวนการต่างๆ และผลรวมของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งรูปแบบของกราฟกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อสามารถเปรียบเทียบการมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปร้อยละในแต่ละช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ และเปรียบเทียบการจัดการทั้ง 2 วิธี คือ การจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยโดยการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กับการจัดการการจัดการเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยโดยวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน (วัสดุปรับปรุงดินและการใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรง) จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อสรุปผลการวิจัย การให้ข้อเสนอแนะจากการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษา ให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อสรุปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป

3.2.3 ระยะที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การดำเนินการทดลองในระยะที่ 3

เลือกอัตราส่วนก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด เพื่อทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อก้อนและระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน ซึ่งจะมีเงินลงทุนขึ้นอยู่กับขนาดของ

การผลิต โดยยกตัวอย่างธุรกิจขนาดเล็กในระดับวิสาหกิจชุมชนหรือสหกรณ์ เงินลงทุนประมาณ 120,000 บาท กำลังการผลิต 200-300 กิโลกรัม/ชั่วโมง (เครื่องจักรอายุการใช้งาน 5 ปี) สามารถแบ่งแยกต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้ดังนี้

3.2.3.1 ต้นทุนคงที่

- 1) เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวหนอน จำนวน 1 เครื่อง ราคา 120,000 บาท
- 2) ถังผสมวัตถุดิบขนาด 200 ลิตร จำนวน 15 ถัง ราคา 8,250 บาท

รวมเป็นเงิน 128,250 บาท

3.2.3.2 ต้นทุนผันแปร

- 1) เศษเยื่อไม้และขี้เลื่อย กิโลกรัมละ 0 บาท (บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด)
- 2) ด้าย กิโลกรัมละ 15 บาท (บริษัท โรงงานส่งเสริมไทยอุตสาหกรรม จำกัด)
- 3) ค่าขนส่ง คิดตามปริมาณของวัตถุดิบ
- 4) แป้งมัน กิโลกรัมละ 25 บาท (ร้านขายวัตถุดิบทำอาหาร)
- 5) ค่าน้ำ ลิตรละ 0.017 บาท/ลิตร (การประปาส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก)
- 6) ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3.2484 บาท/หน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก)
- 7) ค่าแรงงาน วันละ 300 บาท/คน (กระทรวงแรงงาน, 2559)

$$N^* = \frac{F}{p-v}$$

3.2

โดยที่ N^* คือ จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน

F คือ ต้นทุนคงที่

p คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

v คือ ราคาขายต่อหน่วย

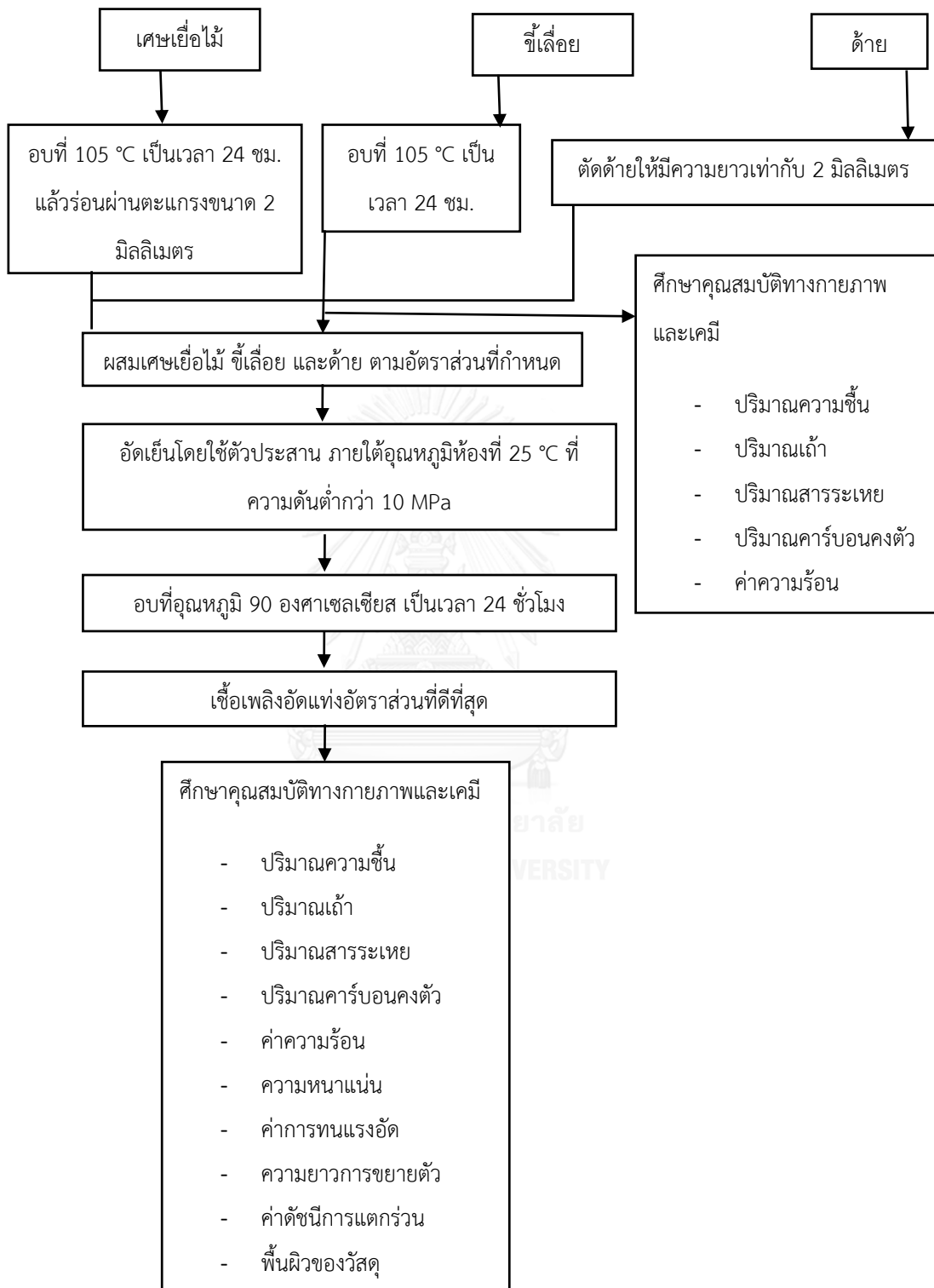
$$\text{ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน} = \frac{N^*}{N} \quad 3.3$$

โดยที่ N^* คือ จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน

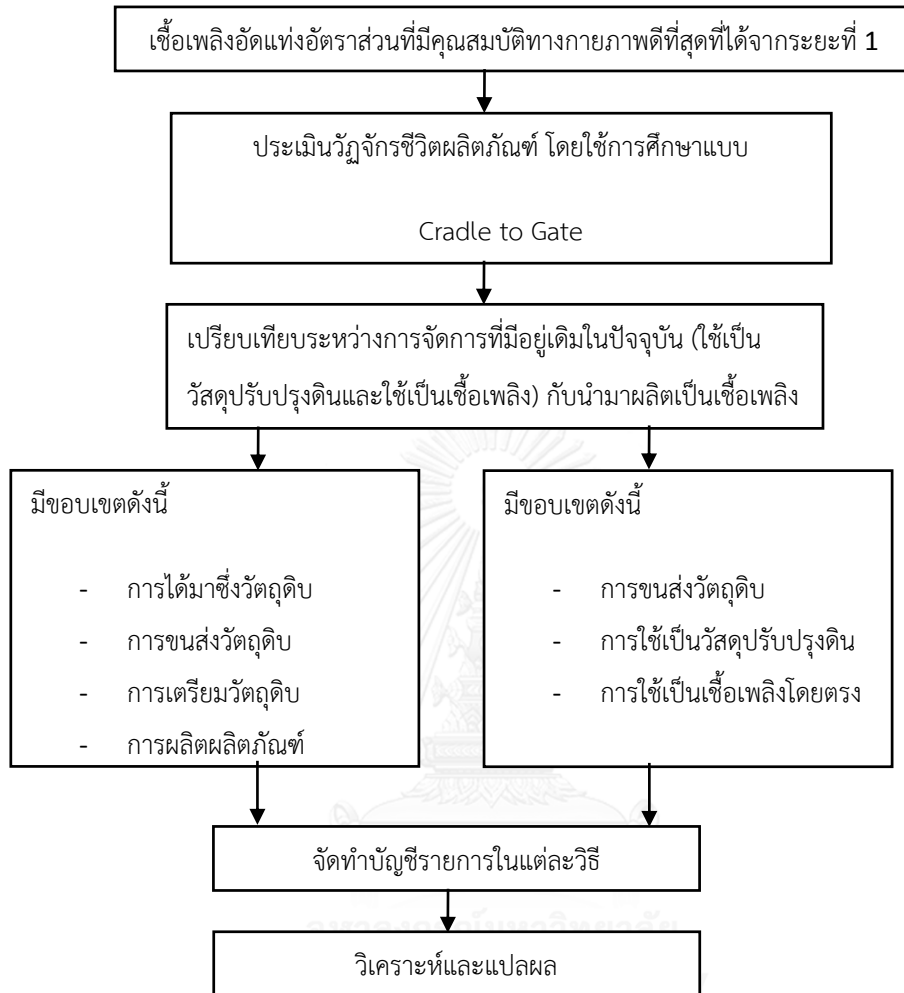
N คือ จำนวนการผลิตต่อปี

สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังรูปภาพที่ 3.5 - 3.7

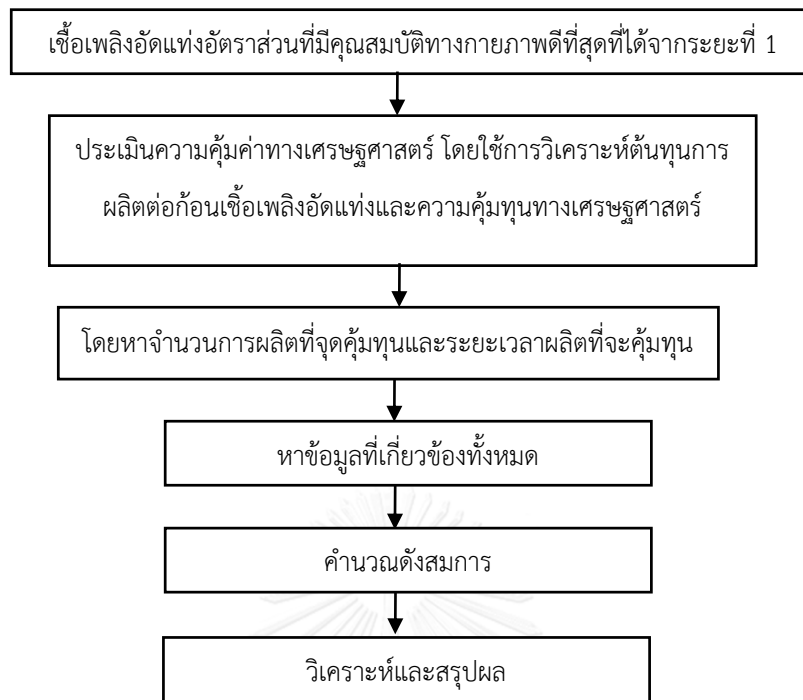




ภาพที่ 3.5 ระยะเวลาที่ 1 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีเลื่อย และด้าย



ภาพที่ 3.6 ระยะที่ 2 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างการจัดการของเหลือทิ้งในปัจจุบันกับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 3.7 ระยะที่ 3 ขั้นตอนการประเมินความค้ค่าทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำวัตถุดิบที่เหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ช่วยลดปริมาณของวัตถุดิบที่จะถูกกำจัด โดยนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และค้าย ด้วยเทคนิคการเชื่อมและการสานกัน โดยนำวัตถุดิบมาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด 11 อัตราส่วน ดังนี้ 50:50:0, 50:45:5, 50:40:10, 50:35:15, 50:30:20, 50:25:25, 45:50:5, 40:50:10, 35:50:15, 30:50:20 และ 25:50:25 แล้วนำมาอัดแท่งด้วยวิธีการอัดเย็น อัตราส่วนที่เป็นตัวควบคุม (Control) คืออัตราส่วนแรกคือ เศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยเป็น 50:50 ไม่มีค้ายผสมด้วย จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงตามเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) คือ ปริมาณความชื้น (E871-82) ปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84) ปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E870-82) ค่าความร้อน (ASTM E711-87) ความหนาแน่น (Density) ค่าการทนแรงอัด (D1621) ความยาวการขยายตัว ค่าดัชนีการแตกร่วน (D3038) และพื้นผิวของวัสดุ โดยในขั้นตอนการดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

- ระยะที่ 1 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และค้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- ระยะที่ 2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และค้าย ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด
- ระยะที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และค้าย

4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.1.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ

4.1.1.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด

จากผลการวิเคราะห์แบบประมาณของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้ายพบว่า มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 4.49%-14.93% ปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 0.44%-7.65% ปริมาณสารระเหยได้อยู่ระหว่าง 61.78%-75.43% ปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ระหว่าง 16.51%-19.62% และค่าความร้อนอยู่ที่ 3929-4235.1 แคลอรี/กรัม จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

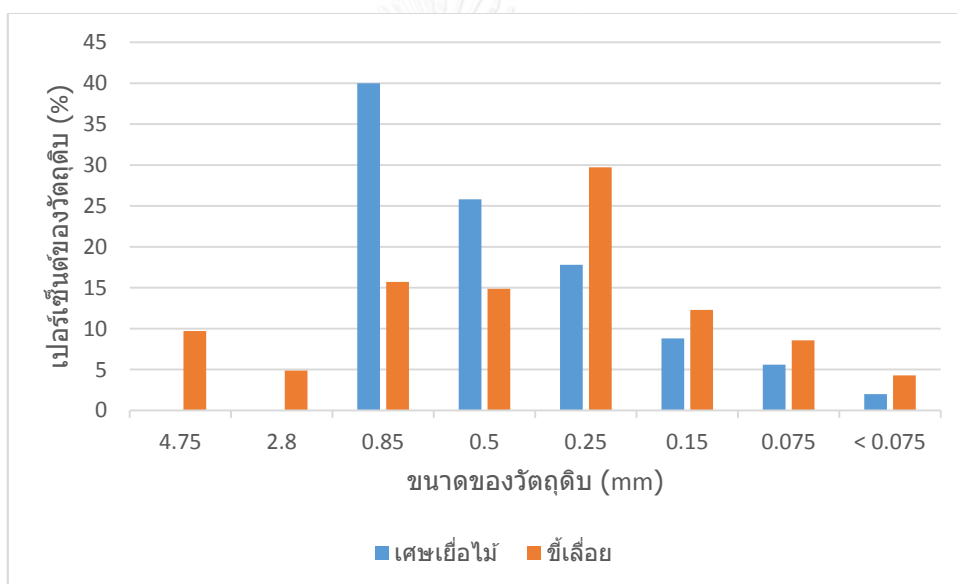
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด

คุณสมบัติของวัตถุดิบ	เศษเยื่อไม้	ชี้เลื่อย	ด้าย
ความชื้น	10.85%	14.93%	4.49%
เถ้า	7.65%	4.82%	0.44%
สารระเหยได้	64.97%	61.78%	75.43%
คาร์บอนคงตัว	16.51%	18.46%	19.62%
ค่าความร้อน	4,188.6	3,929.0	4,235.1

4.1.1.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาควัตถุดิบ (Particle Size)

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โดยใช้ตะแกรงกรอง เป็นวิธีการที่จะหาปริมาณของวัตถุดิบที่หยาบ (ขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า 44 ไมโครเมตร) ของดิน และพวกวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (Non Plastic Raw Material) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะบ่งบอกถึงสิ่งเจือปนที่แฝงมากับวัตถุดิบ ว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด การแบ่งตะแกรงเป็นชั้น ๆ จะทำให้ สามารถคัดสิ่งเจือปนที่ทำให้เกิดผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคในเนื้อวัสดุมีผลต่อสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ เช่น มีผลต่อความแข็งแรงและการรับน้ำหนัก (load) มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น (दनัย อารยะพงษ์, 2538)

เมื่อทำการวิเคราะห์ขนาดของเศษเยื่อไม้และซีลี้อย ทำโดยใช้ตะแกรงกรอง (Testing Sieve) เบอร์ 4, 7, 20, 35, 60, 100 และ 200 เมช ซึ่งมีขนาด 4.75, 2.80, 0.85, 0.5, 0.25, 0.15 และ 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยใช้ตัวอย่างเศษเยื่อไม้และซีลี้อย ปริมาณ 50 กรัม พบว่าขนาดของเศษเยื่อไม้มีการกระจายดังนี้ 0.85 มม. (40%), 0.5 มม. (25.8%), 0.25 มม. (17.8%), 0.15 มม. (8.8%), 0.075 มม. (5.6%) และขนาดต่ำกว่า 0.075 มม. (2%) ส่วนซีลี้อยมีการกระจายดังนี้ 4.75 มม. (9.71%), 2.80 มม. (4.86%), 0.85 มม. (15.71%), 0.5 มม. (14.86%), 0.25 มม. (29.71%), 0.15 มม. (12.29%), 0.075 มม. (8.57%) และขนาดต่ำกว่า 0.075 มม. (4.29%) ดังภาพที่ 4.1



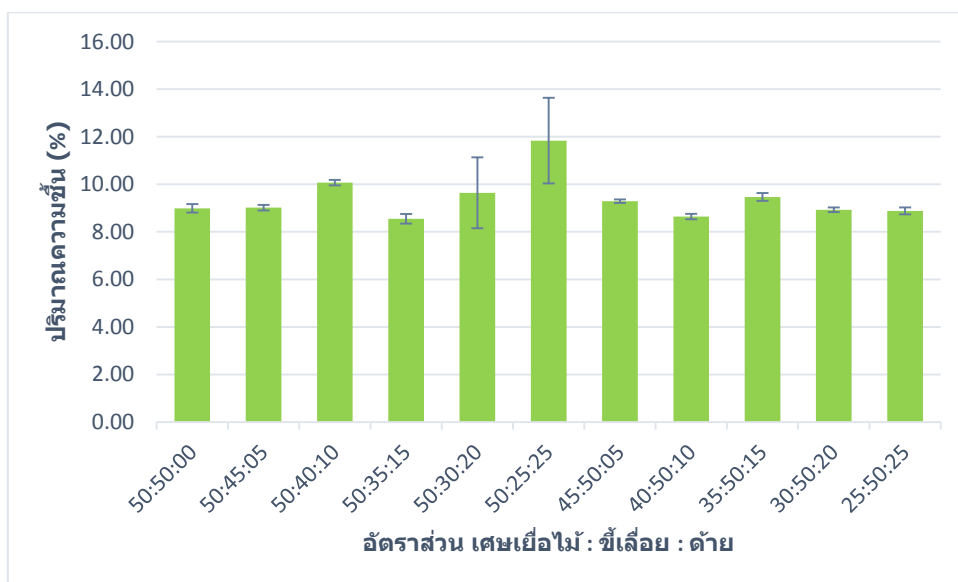
ภาพที่ 4.1 การกระจายขนาดของอนุภาควัตถุดิบเศษเยื่อไม้และซีลี้อย

4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.1.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ระหว่าง 8.55% - 11.64% ดังภาพที่ 4.2 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อซีลี้อยต่อด้ายที่ 50:35:15 (ผสมด้าย 15%) มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ 8.55% ของน้ำหนัก รองลงมาคือ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อซีลี้อยต่อด้ายที่ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.64% ของน้ำหนัก โดยปริมาณ

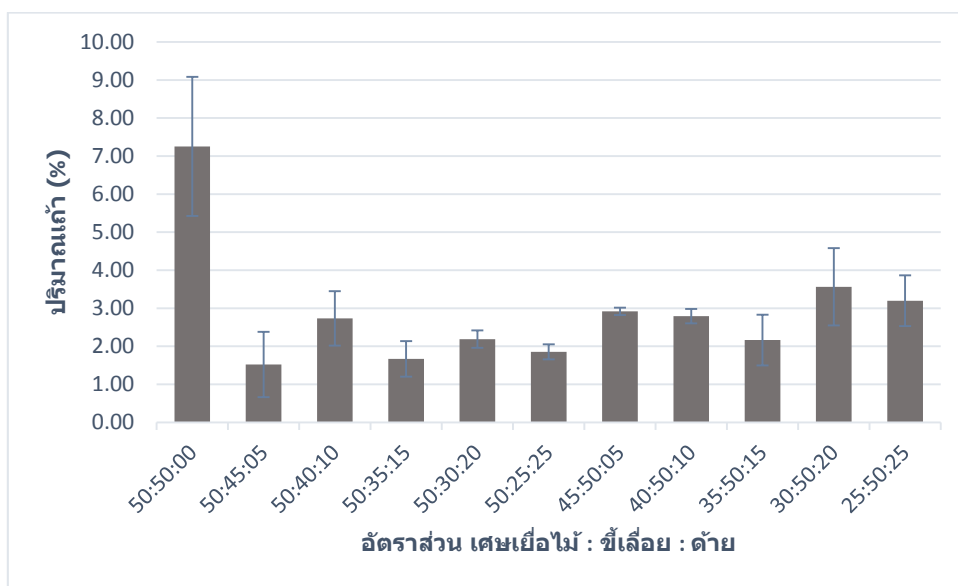
ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้ายนั้น โดยปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ ปริมาณความชื้นที่อยู่ในแท่งเชื้อเพลิงที่พร้อมใช้งาน ซึ่งไม่ควรมีปริมาณความชื้นสูง เพราะจะทำให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่ดี (กัญจนา บุญเกียรติ, 2544)



ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

4.1.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash Content)

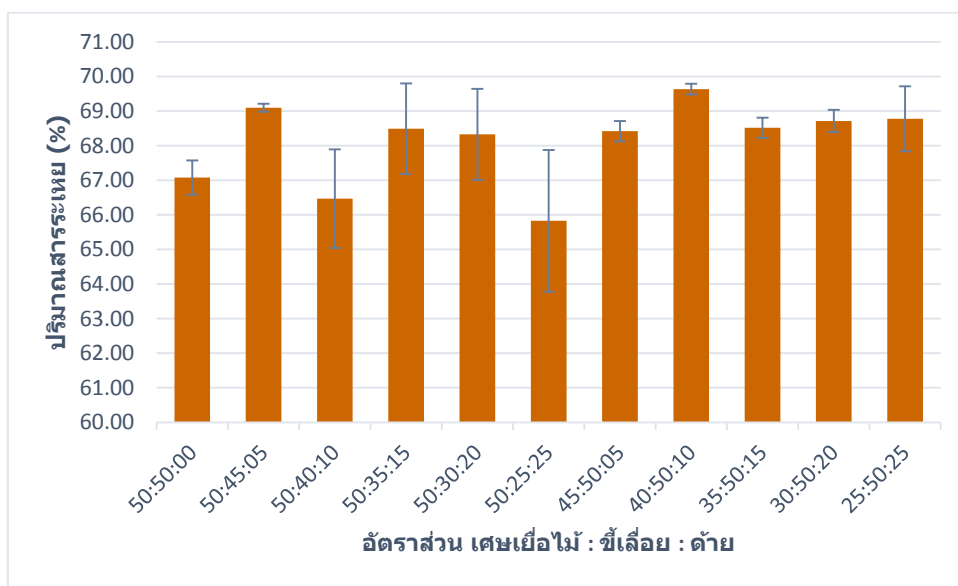
จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.52% - 7.25% ดังภาพที่ 4.3 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ 50:45:5 (ผสมด้าย 5%) มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.52% ของน้ำหนัก รองลงมาคือ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ 50:35:15 (ผสมด้าย 15%) มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 1.67% ของน้ำหนัก โดยปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้ายนั้น มีปริมาณเถ้าที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 20% ของน้ำหนัก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ในทุก ๆ อัตราส่วน และจากการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทำให้เห็นว่า ปริมาณเถ้ามีปริมาณลดลงหลังจากเพิ่มด้ายเข้าไปในทุกอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากตัวด้ายมีปริมาณเถ้าที่ต่ำ ส่งผลทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณภาพที่ดีขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณแก๊สของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ไม้เลื่อย และด้าย

4.1.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Volatile Matters)

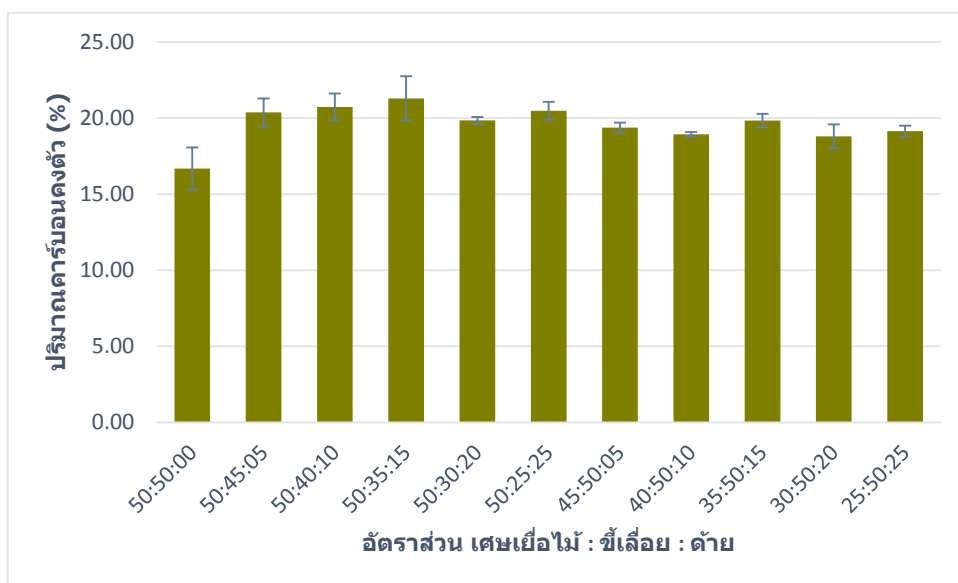
จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 65.83% - 69.64% ดังภาพที่ 4.4 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อไม้เลื่อยต่อด้ายที่ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีปริมาณสารระเหยสูงที่สุดเท่ากับ 69.64% ของน้ำหนัก รองลงมาคืออัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อไม้เลื่อยต่อด้ายที่ 50:40:5 (ผสมด้าย 5%) มีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 69.10% ของน้ำหนัก โดยปริมาณสารที่ระเหยได้แสดงถึงปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถระเหยเป็นไอหรือควันได้ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน เป็นส่วนประกอบซึ่งหากมีปริมาณมากจะทำให้มีคุณสมบัติที่ติดไฟง่ายในขณะนำมาใช้งาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)



ภาพที่ 4.4 ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้าย

4.1.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

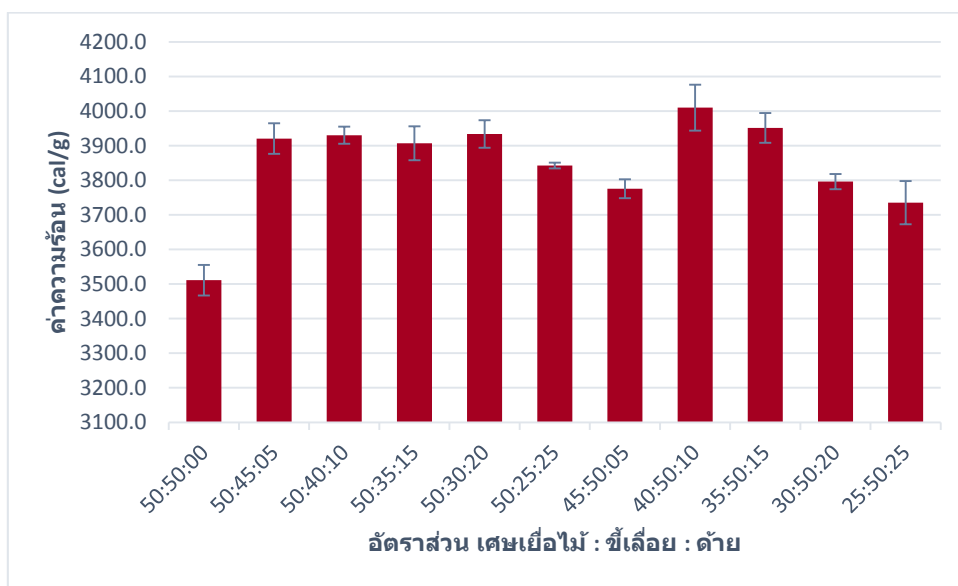
จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 16.68% - 21.29% ดังภาพที่ 4.5 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อซีลี้อยต่อด้ายที่ 50:35:15 (ผสมด้าย 15%) มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดเท่ากับ 21.29% ของน้ำหนัก รองลงมาคืออัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อซีลี้อยต่อด้ายที่ 50:40:10 (ผสมด้าย 10%) มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 20.73% ของน้ำหนัก โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีลี้อย และด้ายนั้น มีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้ไม่ควรต่ำกว่า 15% ของน้ำหนัก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ในทุก ๆ อัตราส่วน และจากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวทำให้เห็นว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากเพิ่มด้ายเข้าไปในทุกอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพราะมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน จากด้ายเพิ่มเข้าไป โดยปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงนั้นแสดงถึงส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งหากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากก็จะทำให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งนานขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)



ภาพที่ 4.5 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

4.1.2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Calorific Value)

จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3,511.1 – 4,010.0 ดังภาพที่ 4.6 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 4,010.0 แคลอรี/กรัม รองลงมาคือ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ 35:50:15 (ผสมด้าย 15%) มีค่าความร้อนเท่ากับ 3,951.5 แคลอรี/กรัม โดยปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้ายนั้น มีปริมาณค่าความร้อนที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่กำหนดไว้ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในทุก ๆ อัตราส่วน โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในตัววัตถุดิบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

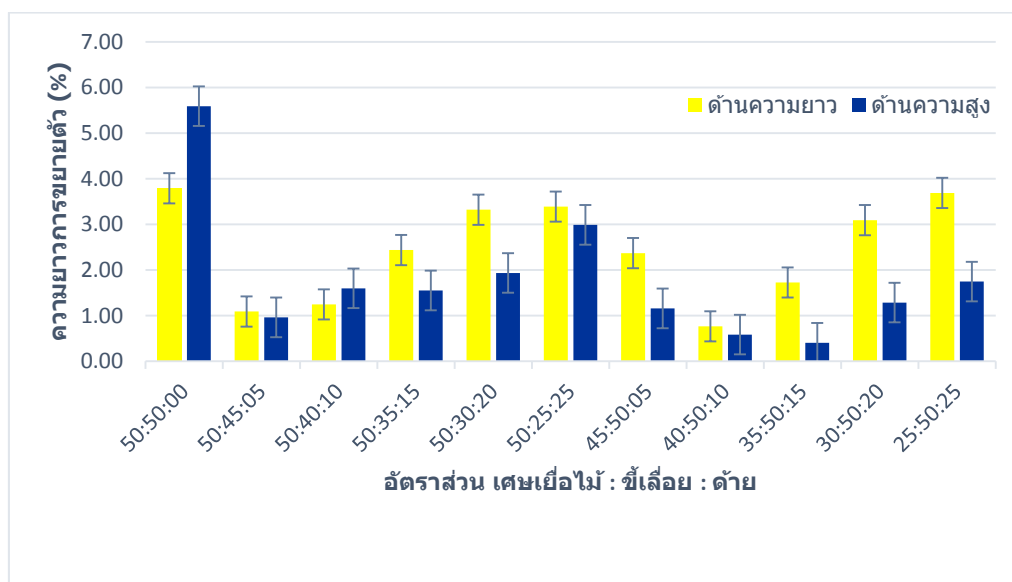


ภาพที่ 4.6 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย

4.1.2.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาวการขยายตัว (Elongation)

จากผลการวิเคราะห์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวด้านความยาวและด้านความสูงอยู่ระหว่าง 0.77% - 3.79% และ 0.41%-5.59% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.7 อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 50:50:0 (ไม่ผสมด้าย) มีเปอร์เซ็นต์ความยาวของการขยายตัวมากที่สุดทั้งด้านความยาวและความสูง ดังรูปภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านความยาว จะพบว่าอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวอยู่ที่ 0.77% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการขยายตัวด้านความยาวน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านความสูง จะพบว่าอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายที่ 35:50:15 (ผสมด้าย 15%) มีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวอยู่ที่ 0.41% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการขยายตัวด้านความสูงน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งสองด้าน คือด้านความยาวและความสูง ที่มีเปอร์เซ็นต์ความยาวของการขยายตัวน้อยที่สุด พบว่าอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายที่ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวด้านความยาวและความสูงอยู่ที่ 0.77% และ 0.58% ตามลำดับ โดยเกิดพันธะระหว่างอนุภาค โดยมี 3 แรงมากระทำโดยผ่านกระบวนการอัดแท่ง คือ แรงระหว่างโมเลกุล แรงยึดติดเชิงกล โดยเทคนิคการเชื่อม (Solid Bridge) คือ การที่อนุภาคของแข็งถูกยึดติดกัน โดยอาศัยกระบวนการอัดและความชื้นของตัววัสดุที่นำมาอัด (Kaliyan และ Morey, 2009) และการสานกัน (Intertwining) คือ การเพิ่มเส้นใยเข้าไปในกระบวนการอัด ทำให้พันธะที่เกิดขึ้นในชีวมวล

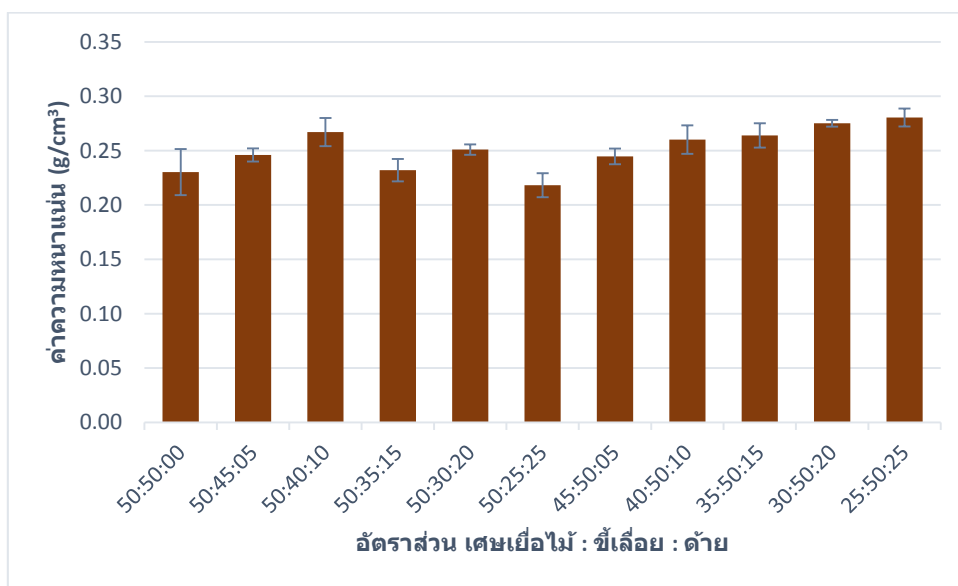
อัดเม็ดมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ทำให้สามารถแทรกลงไปอนุภาคของวัสดุและเกิดการสานกับอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ (Kong และคณะ, 2013)



ภาพที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การขยายตัวด้านความกว้างและความสูงของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

4.1.2.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density)

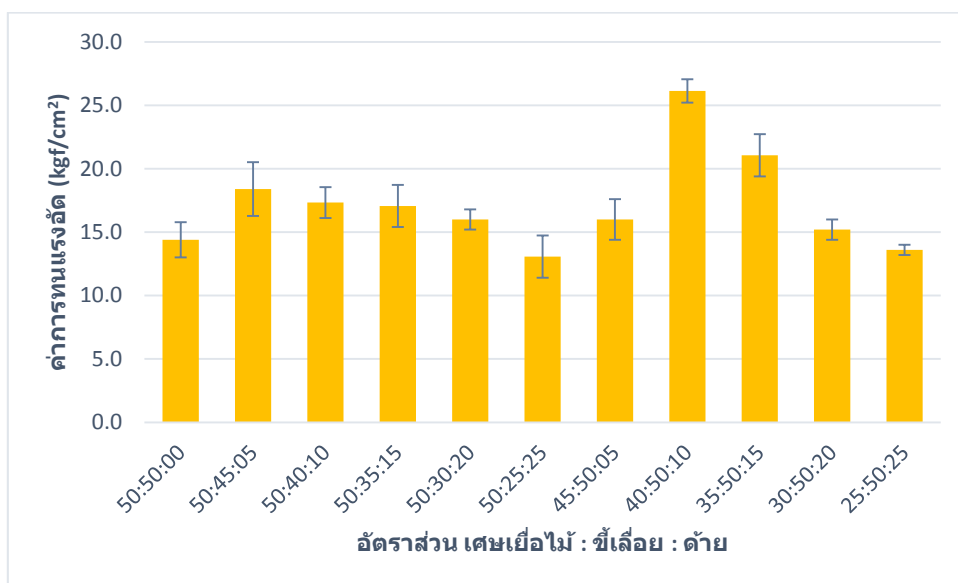
จากผลการวิเคราะห์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.21 – 0.28 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.8 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 25:50:25 (ผสมด้าย 25%) มีความหนาแน่นสูงที่สุดเท่ากับ 0.28 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 30:50:20 (ผสมด้าย 20%) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นทำให้เห็นว่า ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเพิ่มด้ายเข้าไปในทุกอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ยกเว้นอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 50:25:25 (ผสมด้าย 25%) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.22 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยความหนาแน่นจะส่งผลต่อการขนส่งและการเก็บรักษา ซึ่งหากมีความหนาแน่นสูงก็จะทำให้ใช้พื้นที่ในการขนส่งและการเก็บรักษาน้อยกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ (Kong และคณะ, 2012)



ภาพที่ 4.8 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

4.1.2.8 ผลการวิเคราะห์ค่าการทนแรงอัด (Compressive Strength)

จากผลการวิเคราะห์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า ค่าการทนแรงอัดมีค่าอยู่ระหว่าง 13.1 – 26.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 4.9 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีค่าการทนแรงอัดสูงที่สุดเท่ากับ 26.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายที่ 35:50:15 (ผสมด้าย 15%) มีค่าการทนแรงอัดเท่ากับ 21.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เมื่อมีการใส่ด้ายเพิ่มขึ้น ค่าการทนแรงอัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก ปริมาณด้ายที่มากเกินไป ส่งผลให้ด้ายเกิดการสานตัวกันเอง จนไม่สามารถสานตัวกับเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยได้ (Kong และคณะ, 2013)



ภาพที่ 4.9 ค่าการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ซีเมนต์ และด้าย

4.1.2.9 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการแทรก่วน

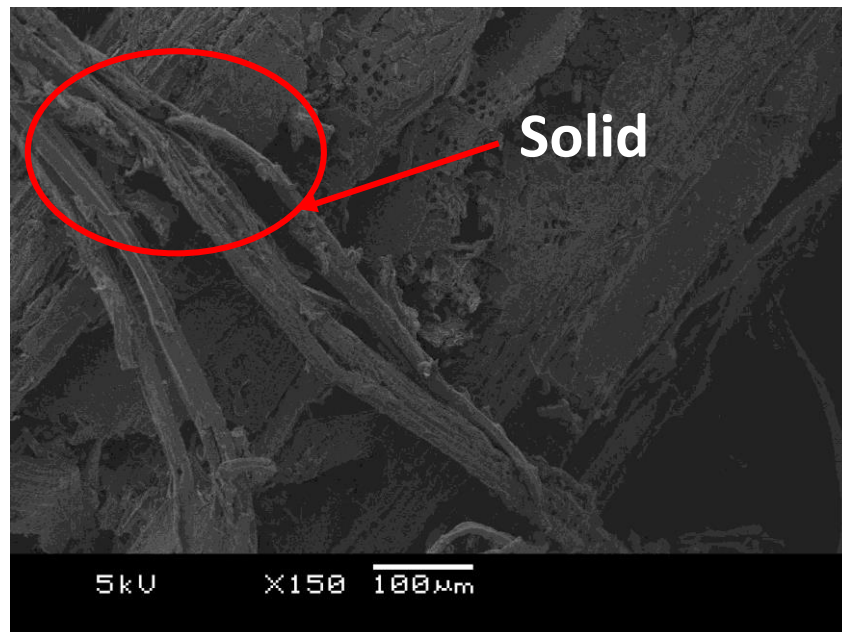
จากผลการวิเคราะห์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า ดัชนีการแทรก่วนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9981 – 0.9997 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อซีเมนต์ต่อด้ายที่ 40:50:10 (ผสมด้าย 10%) มีค่าดัชนีการแทรก่วนสูงที่สุดเท่ากับ 0.9997 รองลงมาคือ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อซีเมนต์ต่อด้ายที่ 50:35:15, 50:25:25 และ 45:50:5 โดยมีค่าเท่ากันคือ 0.9996 และจากการวิเคราะห์ดัชนีการแทรก่วนทำให้เห็นว่า ดัชนีการแทรก่วนมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเพิ่มด้ายเข้าไปในทุกอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีการแทรก่วนอยู่ในระหว่าง 0.5-1.0 แสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เนื่องจากค่าดัชนีการแทรก่วนที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีการจับตัวกันอย่างดี ทำให้มีการแทรก่วนน้อย (ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ และภูมิพัฒน์ ภาชนะ, 2558)

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีการแทรกซ้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และค้าย

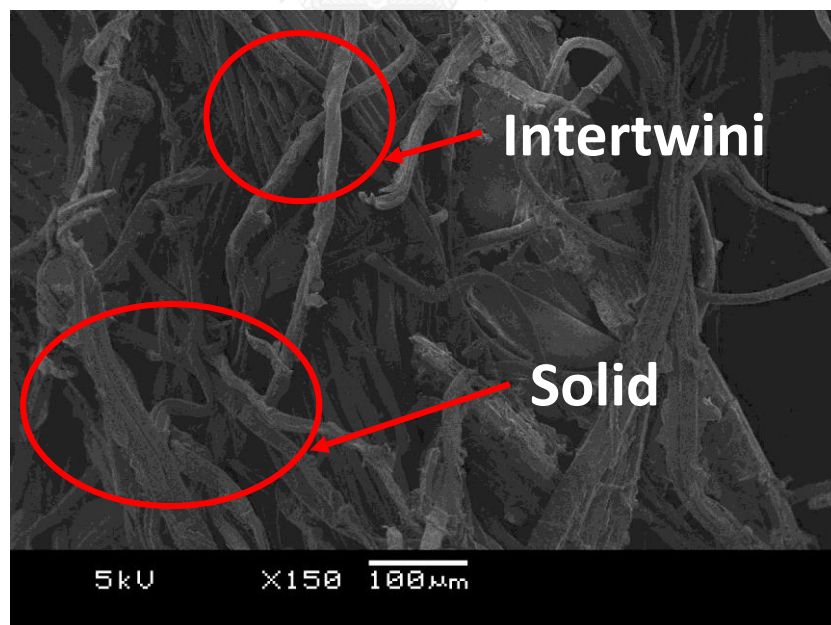
ตัวอย่าง	อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อค้าย	ค่าเฉลี่ยดัชนีการแทรกซ้อน
1	50 : 50 : 0	0.9981
2	50 : 45 : 5	0.9992
3	50 : 40 : 10	0.9994
4	50 : 35 : 15	0.9996
5	50 : 30 : 20	0.9995
6	50 : 25 : 25	0.9996
7	45 : 50 : 5	0.9996
8	40 : 50 : 10	0.9997
9	35 : 50 : 15	0.9992
10	30 : 50 : 20	0.9993
11	25 : 50 : 25	0.9992

4.1.2.10 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

จากการส่องดูลักษณะพื้นผิวดตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 150 เท่า พบว่าตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งเศษเยื่อไม้และขี้เลื่อยที่ไม่ได้ใส่ค้าย เกิดพันธะระหว่างอนุภาค โดยมี 3 แรงมากระทำโดยผ่านกระบวนการอัดแท่ง คือ แรงระหว่างโมเลกุล แรงยึดติดเชิงกล โดยเทคนิคการเชื่อม (Solid Bridge) คือ การที่อนุภาคของแข็งถูกยึดติดกันโดยอาศัยกระบวนการอัดและความชื้นของตัววัสดุที่นำมาอัด (Kaliyan และ Morey, 2009) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และการสานกัน (Intertwining) คือ การเพิ่มเส้นใยเข้าไปในกระบวนการอัด ทำให้พันธะที่เกิดขึ้นในชีวมวลอัดเม็ดมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ทำให้สามารถแทรกลงไปอนุภาคของวัสดุและเกิดการสานกับอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ (Kong และคณะ, 2013) ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 ภาพตัดขวางของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ (50%) : ใยสังเคราะห์ (50%) : คาร์บอน (0%) (Control)



ภาพที่ 4.11 ภาพตัดขวางของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ (40%) : ใยสังเคราะห์ (50%) : คาร์บอน (10%)

4.1.2.11 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากผลการทดลองของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย พบว่า มีค่าผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) ในทุกอัตราส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย ค่าปริมาณความชื้น ค่าปริมาณเถ้า ค่าปริมาณสารระเหย ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว ค่าความยาวการขยายตัวด้านความยาวและความสูง ค่าความหนาแน่น ค่าการทนแรงอัด และค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 อัตราส่วนที่ให้ผลที่ดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายที่ร้อยละ 40:50:10 มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีสูงที่สุด ได้แก่ มีปริมาณความชื้น 8.64% เถ้า 2.79% สารระเหย 69.63% คาร์บอนคงตัว 18.92% ค่าความร้อน 4,010 แคลอรีต่อกรัม ความยาวการขยายตัวด้านความยาว 0.77% และความสูง 0.58% ค่าความหนาแน่น 0.26 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการทนแรงอัด 26.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และดัชนีการแตกร่วน 0.9997 ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย สะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง (Kong และคณะ, 2012)

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองในทุกอัตราส่วนตามเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (cal/g)
50 : 50 : 0	✓	✓	✓
50 : 45 : 5	✓	✓	✓
50 : 40 : 10	✓	✓	✓
50 : 35 : 15	✓	✓	✓
50 : 30 : 20	✓	✓	✓
50 : 25 : 25	✓	✓	✓
45 : 50 : 5	✓	✓	✓
40 : 50 : 10	✓	✓	✓
35 : 50 : 15	✓	✓	✓
30 : 50 : 20	✓	✓	✓
25 : 50 : 25	✓	✓	✓

*เครื่องหมาย ✓ แสดงถึงการผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยกำหนดปริมาณเถ้า < 20%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว > 15% และค่าความร้อน > 3,000 cal/g

ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว

อัตราส่วนเศษ เยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน* (cal/g)
50 : 50 : 0	8.98 ^{a,b}	7.25 ^d	67.08 ^{a,b}	16.67 ^a	3,511.1
50 : 45 : 5	9.01 ^{a,b}	1.52 ^a	69.09 ^c	20.36 ^{c,d,e,f}	3,920.7
50 : 40 : 10	10.06 ^b	2.73 ^{a,b,c}	66.46 ^a	20.73 ^{e,f}	3,930.4
50 : 35 : 15	8.54 ^a	1.66 ^a	68.49 ^{b,c}	21.29 ^f	3,907.2
50 : 30 : 20	9.64 ^{a,b}	2.18 ^{a,b,c}	68.32 ^{b,c}	19.84 ^{b,c,d,e,f}	3,933.9
50 : 25 : 25	11.83 ^b	1.85 ^{a,b}	65.82 ^a	20.48 ^{d,e,f}	3,842.8
45 : 50 : 5	9.28 ^{a,b}	2.91 ^{a,b,c}	68.42 ^{b,c}	19.37 ^{b,c,d,e}	3,775.5
40 : 50 : 10	8.64 ^a	2.79 ^{a,b,c}	69.63 ^c	18.92 ^{b,c}	4,010.0
35 : 50 : 15	9.46 ^{a,b}	2.16 ^{a,b,c}	68.51 ^{b,c}	19.83 ^{b,c,d,e,f}	3,951.5
30 : 50 : 20	8.92 ^{a,b}	3.56 ^c	68.71 ^{b,c}	18.79 ^b	3,796.3
25 : 50 : 25	8.88 ^{a,b}	3.19 ^{b,c}	68.77 ^{b,c}	19.14 ^{b,c,d}	3,735.2

*เนื่องจากศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการทดสอบค่าความร้อนเพียง 2 ครั้ง จึงไม่สามารถทดสอบโดยใช้ One-way ANOVA ได้จึงใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่านั้น

**ตัวอักษร a-f แสดงการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยแต่ละพารามิเตอร์เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติค่าเฉลี่ยของค่าความยาวการขยายตัว ค่าความสูงการขยายตัว ค่าความหนาแน่น ค่าการทนแรงอัด ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

อัตราส่วนเศษเยื่อ ไม้ : ชี้เลื่อย : ด้าย	ความยาวการ ขยายตัว (Length Elongation)	ความสูงการ ขยายตัว (Height Elongation)	ค่าความ หนาแน่น (g/cm ³)	ค่าการทน แรงอัด (kg/cm ²)	ดัชนีการแตก ร่วน
50 : 50 : 0	3.79 ^a	5.59 ^b	0.23 ^{a,b}	14.40 ^{a,b}	0.9981 ^a
50 : 45 : 5	1.09 ^a	0.96 ^a	0.24 ^{b,c}	18.40 ^d	0.9992 ^b
50 : 40 : 10	1.24 ^a	1.60 ^a	0.26 ^{e,f}	17.33 ^{c,d}	0.9994 ^b
50 : 35 : 15	2.44 ^a	1.55 ^a	0.23 ^{a,b,c}	17.06 ^{c,d}	0.9996 ^b
50 : 30 : 20	3.32 ^a	1.94 ^a	0.25 ^{c,d,e}	15.73 ^{b,c}	0.9995 ^b
50 : 25 : 25	3.39 ^a	2.99 ^{a,b}	0.22 ^a	13.06 ^a	0.9996 ^b
45 : 50 : 5	2.37 ^a	1.16 ^a	0.24 ^{b,c,d}	16.00 ^{b,c,d}	0.9996 ^b
40 : 50 : 10	0.77 ^a	0.58 ^a	0.26 ^{d,e,f}	26.13 ^f	0.9997 ^b
35 : 50 : 15	1.73 ^a	0.41 ^a	0.26 ^{d,e,f}	21.06 ^e	0.9992 ^b
30 : 50 : 20	3.09 ^a	1.29 ^a	0.27 ^f	15.20 ^{a,b,c}	0.9993 ^b
25 : 50 : 25	3.69 ^a	1.75 ^a	0.28 ^f	13.60 ^{a,b}	0.9992 ^b

* ตัวอักษร **a-f** แสดงการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยแต่ละพารามิเตอร์เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

4.2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับการจัดการวัสดุของโรงงานในปัจจุบัน

การดำเนินการวิจัยประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยเป็นวัสดุหลัก ส่วนด้ายใช้เป็นวัสดุรอง วิธีการประเมินที่เลือกมาคือ วิธีคำนวณจากโปรแกรม SimaPro 7.3 ตามแบบวิธี CML-IA baseline 2000 เวอร์ชัน 2.03 โดยมีการคิดเป็นหน่วยของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ 1 หน่วย ได้แก่ เชื้อเพลิงอัดแท่ง ปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยจะต้องใช้วัตถุดิบทั้งหมด 3.5 กิโลกรัม จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับการจัดการวัสดุของโรงงานในปัจจุบัน และมีการคำนวณหรือการประเมินผลแต่ละขั้นตอนในวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ว่า ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนใด รวมถึงวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทน โดยได้แสดงบัญชีรายการของผลิตภัณฑ์

เชื้อเพลิงอัดแท่ง บัญชีรายการของการจัดการวัสดุบดทั้ง 2 ชนิดของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.6 บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนเศษเยื่อไม้ (40%) : ชี้เลื่อย (50%) : ด้าย (10%)

กระบวนการ	สารขาเข้า		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
การรับวัตถุดิบ	- เศษเยื่อไม้	0.4	kg
	- ชี้เลื่อย	0.5	kg
	- ด้าย	0.1	kg
	- น้ำมันดีเซล (ขนส่งเศษเยื่อไม้ บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด-จุฬาฯ)	0.00206	liter
	- น้ำมันดีเซล (ขนส่งชี้เลื่อย บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด-จุฬาฯ)	0.00257	liter
	- น้ำมันดีเซล (ขนส่งด้าย บริษัท ส่งเสริมไทยอุตสาหกรรม จำกัด-จุฬาฯ)	0.0000943	liter
	การเตรียมวัตถุดิบ	- พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมเศษเยื่อไม้)	0.128
- พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมชี้เลื่อย)		0.16	kWh
- พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมแป้งเปียก)		0.51	kWh
- แป้งมันสำปะหลัง		0.25	kg
- น้ำประปา (ผสมแป้งมันสำปะหลัง)		2.25	kg
การอบแห้ง	- พลังงานไฟฟ้า (การอบเชื้อเพลิงอัดแท่ง)	0.19425	kWh

ตารางที่ 4.6 บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนผสมเยื่อไม้ (40%) : ซีลี้อย (50%) : ด้าย (10%) (ต่อ)

	สารขาออก		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
	การเผาไหม้จากน้ำมันทั้งหมด**		
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CO ₂	0.0127	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CH ₄	6.70×10^{-7}	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด N ₂ O	6.70×10^{-7}	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CO	0.0349	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NMVOC	7.27×10^{-3}	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NH ₃	1.79×10^{-4}	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NO _x	0.0704	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด Pb	2.46×10^{-7}	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(a)pyrene	7.46×10^{-8}	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(k)fluoranthene	4.11×10^{-8}	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(b)fluoranthene	7.84×10^{-8}	g
	เผาไหม้น้ำมันเกิด PM	3.95×10^{-3}	g

หมายเหตุ: *หมายถึง ปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยอ้างอิง

**แหล่งอ้างอิง (IPCC, 2006; EEA, 2016)

ตารางที่ 4.7 บัญชีรายการของเศษเยื่อไม้ 1 กิโลกรัม ถูกนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน

กระบวนการ	สารขาเข้า		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
การรื้อวัตถุขี้	- เศษเยื่อไม้	1	kg
	- น้ำมันดีเซล (ขนส่งเศษเยื่อไม้ บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด-แปลงยูคาลิปตัส)	0.00125	liter
	สารขาออก		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
	การเผาไหม้จากน้ำมันทั้งหมด**		
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CO ₂	0.0033	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CH ₄	1.77 × 10 ⁻³	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด N ₂ O	1.77 × 10 ⁻³	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CO	5.92 × 10 ⁻³	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NMVOC	1.23 × 10 ⁻³	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NH ₃	3.04 × 10 ⁻⁶	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NO _x	0.012	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด Pb	4.16 × 10 ⁻⁸	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(a)pyrene	1.26 × 10 ⁻⁸	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(k)fluoranthene	6.96 × 10 ⁻⁹	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(b)fluoranthene	1.33 × 10 ⁻⁸	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด PM	6.68 × 10 ⁻⁴	kg
	การย่อยสลายทางชีวภาพของเศษเยื่อไม้**		
	ย่อยสลายเศษเยื่อไม้เกิด CH ₄	0.2	g/kg
	ย่อยสลายเศษเยื่อไม้เกิด NMVOC	1.56 × 10 ⁻³	kg/kg
	ย่อยสลายเศษเยื่อไม้เกิด TSP	4.63 × 10 ⁻⁴	g/kg
	ย่อยสลายเศษเยื่อไม้เกิด PM ₁₀	2.19 × 10 ⁻⁴	g/kg
	ย่อยสลายเศษเยื่อไม้เกิด PM _{2.5}	3.3 × 10 ⁻⁵	g/kg

หมายเหตุ: *หมายถึง ปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยอ้างอิง

**แหล่งอ้างอิง (IPCC, 2006; EEA, 2016)

ตารางที่ 4.8 บัญชีรายการของซีลี้อย 1 กิโลกรัม ถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรง

กระบวนการ	สารขาเข้า		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
การรับวัตถุดิบ	- ซีลี้อย	1	kg
	- น้ำมันดีเซล (ขนส่งซีลี้อย บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด- โรงไฟฟ้า) ปริมาณ 1 kg	0.000125	liter
	สารขาออก		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
	การเผาไหม้จากน้ำมันทั้งหมด**		
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CO ₂	0.00033	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CH ₄	1.78 × 10 ⁻⁸	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด N ₂ O	1.78 × 10 ⁻⁸	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด CO	5.92 × 10 ⁻⁴	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NMVOC	1.23 × 10 ⁻⁴	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NH ₃	3.04 × 10 ⁻⁶	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด NO _x	1.19 × 10 ⁻³	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด Pb	4.16 × 10 ⁻⁹	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(a)pyrene	1.26 × 10 ⁻⁹	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(k)fluoranthene	6.96 × 10 ⁻¹⁰	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด benzo(b)fluoranthene	1.33 × 10 ⁻⁹	kg
	เผาไหม้น้ำมันเกิด PM	6.68 × 10 ⁻⁵	kg
	การเผาไหม้ของซีลี้อย**		
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด CH ₄	6 × 10 ⁻³	kg/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด CO	0.05583	kg/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด SO ₂	1.1 × 10 ⁻⁴	kg/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด NMVOC	1.23 × 10 ⁻³	kg/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด TSP	4.64 × 10 ⁻³	kg/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด benzo(a)pyrene	2.33 × 10 ⁻³	g/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด benzo(k)fluoranthene	5.68 × 10 ⁻³	g/kg
	เผาไหม้ซีลี้อยเกิด benzo(b)fluoranthene	4.63 × 10 ⁻³	g/kg

หมายเหตุ: *หมายถึง ปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยอ้างอิง

**แหล่งอ้างอิง (IPCC, 2006; EEA, 2016)

4.2.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการเก็บข้อมูลเพื่อทำบัญชีรายการและประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากวัตถุดิบตั้งต้น คือ เศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้ายในอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อขี้เลื่อยต่อด้ายเท่ากับ 40:50:10

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 ผลการประเมินแสดงดังรายละเอียดในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.12

4.2.1.1 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ผลการคำนวณพบว่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม คิดเป็น 0.13 kg CO₂ eq ส่วนใหญ่มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือน้ำมัน ของขั้นตอนการขนส่งและผลิตกระแสไฟฟ้า (Hodges และ Rahmani, 2012) โดยมาจากกระบวนการขนส่งวัตถุดิบร้อยละ 3.23 (ดีเซล) กระบวนการเตรียมวัตถุดิบร้อยละ 69.89 (ไฟฟ้า) และกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่งร้อยละ 26.88 (ไฟฟ้า)

4.2.1.2 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ผลการคำนวณพบว่า ผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม คิดเป็น 1.40×10^{-3} kg CFC-11 eq เกิดจากการปล่อยสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ เช่น คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC) ไฮโดรคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (HCFC) จากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบร้อยละ 99.97 และกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่งร้อยละ 0.03

4.2.1.3 ผลกระทบด้านศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ผลการคำนวณพบว่า ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม คิดเป็น 7.16×10^{-3} kg 1,4-DB eq โดยมาจากกระบวนการขนส่งวัตถุดิบร้อยละ 0.36 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบร้อยละ 97.39 และกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่งร้อยละ 2.25 ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อร่างกายและระบบหายใจของมนุษย์ เช่น ฝุ่นละออง (PM) รวมถึงคาร์บอนสีดำและคาร์บอนอินทรีย์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหิน (EEA, 2016) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและการผลิตสารเคมีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

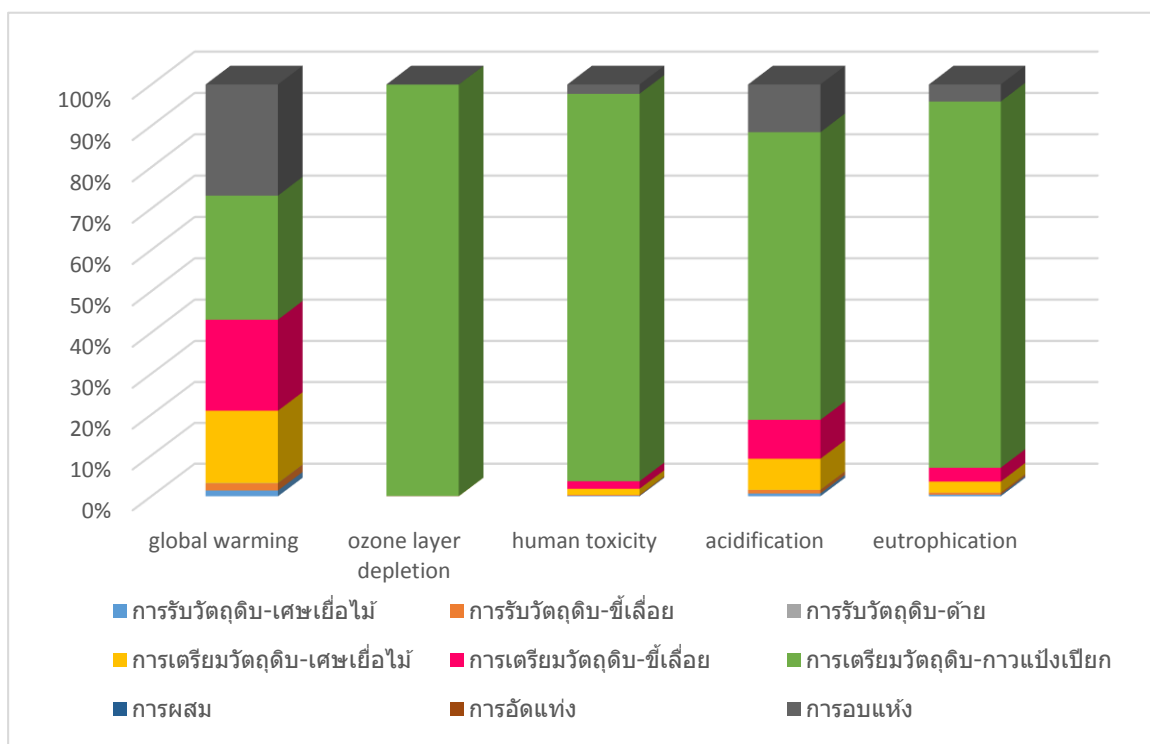
4.2.1.4 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ผลการคำนวณพบว่า ผลกระทบด้านการเกิดฝนกรดของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม คิดเป็น 7.77×10^{-4} kg SO₂ eq เกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมันเตา เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในเครื่องจักร และมีผลต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำ และสารเคมีในอากาศ แล้วมีความเป็นกรด เช่น กรดไนตริก (HNO₃) กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เป็นต้น (Hodges และคณะ, 2012) โดยมาจากกระบวนการขนส่งวัตถุดิบร้อยละ 1.58 (ดีเซล) กระบวนการเตรียมวัตถุดิบร้อยละ 86.87 (ไฟฟ้า) และกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่งร้อยละ 11.55 (ไฟฟ้า)

4.2.1.5 ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ ผลการคำนวณพบว่าผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม คิดเป็น 3.16×10^{-4} kg PO₄³⁻ eq จากกระบวนการขนส่งวัตถุดิบร้อยละ 0.89 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบร้อยละ 94.99 และกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่งร้อยละ 4.12 โดยส่วนใหญ่มาจากการใช้แอมโมเนียสำหรับใช้ในการผลิต

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งปริมาณ 1 กิโลกรัม

	หน่วย	ผลกระทบรวม	กระบวนการ							
			การรับ วัตถุดิบ-เศษ เยื่อไม้	การรับ วัตถุดิบ-ซี เมนต์	การรับ วัตถุดิบ-ด้าย	การเตรียม วัตถุดิบ-เศษ เยื่อไม้	การเตรียม วัตถุดิบ-ซี เมนต์	การเตรียม วัตถุดิบ-กาก แป้งเปียก	การอบแห้ง	
Global Warming	kg CO ₂ eq	0.13	1.81x10 ⁻³	2.26x10 ⁻³	8.31x10 ⁻⁵	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	1.40x10 ⁻⁸	9.34x10 ⁻²¹	1.16x10 ⁻²⁰	4.27x10 ⁻²²	2.38x10 ⁻¹²	2.97x10 ⁻¹²	1.40x10 ⁻⁸	3.61x10 ⁻¹²	
Human Toxicity	kg 1,4-DB eq	7.16x10 ⁻³	1.12x10 ⁻⁵	1.41x10 ⁻⁵	5.16x10 ⁻⁷	1.06x10 ⁻⁴	1.32x10 ⁻³	6.74x10 ⁻³	1.61x10 ⁻⁴	
Acidification	kg SO ₂ eq	7.77x10 ⁻⁴	5.34x10 ⁻⁶	6.66x10 ⁻⁶	2.45x10 ⁻⁷	5.91x10 ⁻⁵	7.39x10 ⁻⁵	5.42x10 ⁻⁴	8.97x10 ⁻⁵	
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	3.16x10 ⁻⁴	1.22x10 ⁻⁶	1.52x10 ⁻⁶	5.59x10 ⁻⁸	8.57x10 ⁻⁶	1.07x10 ⁻⁵	2.81x10 ⁻⁴	1.30x10 ⁻⁵	

*ในขั้นตอนการผลิตและการอัดแท่งใช้แรงงานคนจึงไม่ก่อผลกระทบต่อ



ภาพที่ 4.12 แสดงผลกระทบในรูปแบบร้อยละของแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.2.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของการจัดการเศษเยื่อไม้ด้วยวิธีเดิมของโรงงาน

เศษเยื่อไม้และซีลี้อย เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อไม้อัดแผ่น โดยโรงงานได้มีการจัดการคือ เศษเยื่อไม้ได้นำมาทำเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน (Landfill Cover) ในบริเวณแปลงยูคาลิปตัส (Eucalyptus) ห่างจากโรงงานประมาณ 10 กิโลเมตร ขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 2-3 ครั้ง/เดือน ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเศษเยื่อไม้และซีลี้อยเทียบเท่ากับเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม ประเมินผลกระทบโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.13 โดยจะกล่าวถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษเยื่อไม้ก่อน ดังนี้

4.2.2.1 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นผลกระทบจากเศษเยื่อไม้เท่ากับ 2.33 kg CO₂ eq โดยเศษเยื่อไม้จะเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้เกิดมีเทน ซึ่งมีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดโลกร้อนถึง 25 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.2.2.2 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ที่เกิดจากการจัดการเศษเยื่อไม้เท่ากับ 8.39×10^{-21} CFC-11 eq เนื่องจากผลกระทบด้านนี้มีค่าน้อยมาก จึงถือได้ว่าไม่ส่งผลกระทบด้านนี้

4.2.2.3 ผลกระทบด้านศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ที่เกิดจากการจัดการเศษเยื่อไม้เท่ากับ 7.16×10^{-3} kg 1,4-DB eq ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อร่างกายและระบบหายใจของมนุษย์ เช่น ฝุ่นละออง รวมถึงคาร์บอนสีดำและคาร์บอนอินทรีย์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของขั้นตอนการขนส่งไปยังแปลงยูคาลิปตัส รวมถึงกระบวนการย่อยสลายเศษเยื่อไม้ที่ก่อให้เกิด สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่ใช่มีเทน ฝุ่นละอองรวม ฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (EEA, 2016)

4.2.2.4 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ที่เกิดจากการจัดการเศษเยื่อไม้เท่ากับ 2.98×10^{-3} kg SO₂ eq เกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของขั้นตอนการขนส่งเศษเยื่อไม้ไปยังแปลงยูคาลิปตัส

4.2.2.5 ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ ที่เกิดจากการจัดการเศษเยื่อไม้เท่ากับ 7.76×10^{-4} kg PO₄³⁻ eq เกิดจากมลพิษทางอากาศ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ในกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของขั้นตอนการขนส่งไปยังแปลงยูคาลิปตัส รวมถึงกระบวนการย่อยสลายเศษเยื่อไม้ ทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่ใช่มีเทน ไนโตรเจนส่วนเกินในชั้นบรรยากาศสามารถผลิตสารมลพิษ เช่น แอมโมเนียและโอโซน ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืช เมื่อไนโตรเจนส่วนเกินกลับสู่พื้นดินจากชั้นบรรยากาศอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของป่าไม้และทางน้ำ (Environmental Protection Agency, 2017)

4.2.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของการจัดการซีลี้อยู่ด้วยวิธีเดิมของโรงงาน

ซีลี้อยู่ ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อไม้อัดแผ่น โดยโรงงานได้มีการจัดการซีลี้อยู่คือ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยการให้ความร้อนโดยตรงที่โรงไฟฟ้า ห่างจากโรงงานประมาณ 1 กิโลเมตร โดยรถบรรทุก 10 ล้อ 4 ครั้ง/เดือน โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการจัดการซีลี้อยู่ มีดังนี้

4.2.3.1 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ที่เกิดจากการจัดการชี้เลี้ยงเท่ากับ 0.12 kg CO₂ eq ส่วนใหญ่มาจาก มีเทน ในกระบวนการเผาไหม้ชี้เลี้ยง ในการผลิตไฟฟ้า

4.2.3.2 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ที่เกิดจากการจัดการชี้เลี้ยงเท่ากับ 8.38×10^{-22} CFC-11 eq เนื่องจากผลกระทบด้านนี้มีค่าน้อยมาก จึงถือได้ว่าไม่ส่งผลกระทบด้านนี้

4.2.3.3 ผลกระทบด้านศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ที่เกิดจากการจัดการชี้เลี้ยงเท่ากับ 2.63×10^{-3} kg 1,4-DB eq ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อร่างกายและระบบหายใจของมนุษย์ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ชี้เลี้ยงที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ผุ่นละอองรวม และสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่ใช่มีเทน (EEA, 2016)

4.2.3.4 ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ที่เกิดจากการจัดการชี้เลี้ยงเท่ากับ 1.16×10^{-3} kg SO₂ eq เกิดจากมลพิษทางอากาศ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) ในกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของขั้นตอนการขนส่งชี้เลี้ยงไปยังโรงไฟฟ้า รวมถึงกระบวนการเผาไหม้ชี้เลี้ยงที่ก่อให้เกิด ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีผลต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำ และสารเคมีในอากาศ แล้วมีความเป็นกรด เช่น กรดซัลฟิวริก

4.2.3.5 ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ ที่เกิดจากการจัดการชี้เลี้ยงเท่ากับ 2.85×10^{-4} kg PO₄³⁻ eq เกิดจากมลพิษทางอากาศ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ในกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของขั้นตอนการขนส่งชี้เลี้ยงไปยังโรงไฟฟ้า

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของทั้ง 2 วิธี คือนำวัตถุดิบ (เศษเยื่อไม้และชี้เลี้ยง) มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กับจัดการด้วยวิธีนำเศษเยื่อไม้ไปเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่แปลงยุคาลิปตัสและนำชี้เลี้ยงไปเป็นเชื้อเพลิงโดยการเผาโดยตรงพบว่า การนำเศษเยื่อไม้และชี้เลี้ยงมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าการจัดการของเสียทั้งสองในปัจจุบันเกือบทุกด้าน ยกเว้นกลุ่มผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ประเมินกระทบสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่งในปริมาณ 1 กิโลกรัม เท่ากันพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีผลกระทบเท่ากับ 0.13 kg CO₂ eq ซึ่งน้อยกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งของงานวิจัยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนและกากไขมันที่มีผลกระทบเท่ากับ 14.47 kg CO₂ eq (จาริยา ไทยสุวรรณ, 2557) เนื่องจากในงานวิจัยมีปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อการขนส่งวัตถุดิบน้อยกว่า และใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบน้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไม้ยูคาลิปตัสในประเทศบราซิลที่มีผลกระทบเท่ากับ 3.96 kg CO₂ eq (Rousset และคณะ, 2011) แล้วมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบน้อยกว่า รายละเอียดดังตารางที่ 4.11

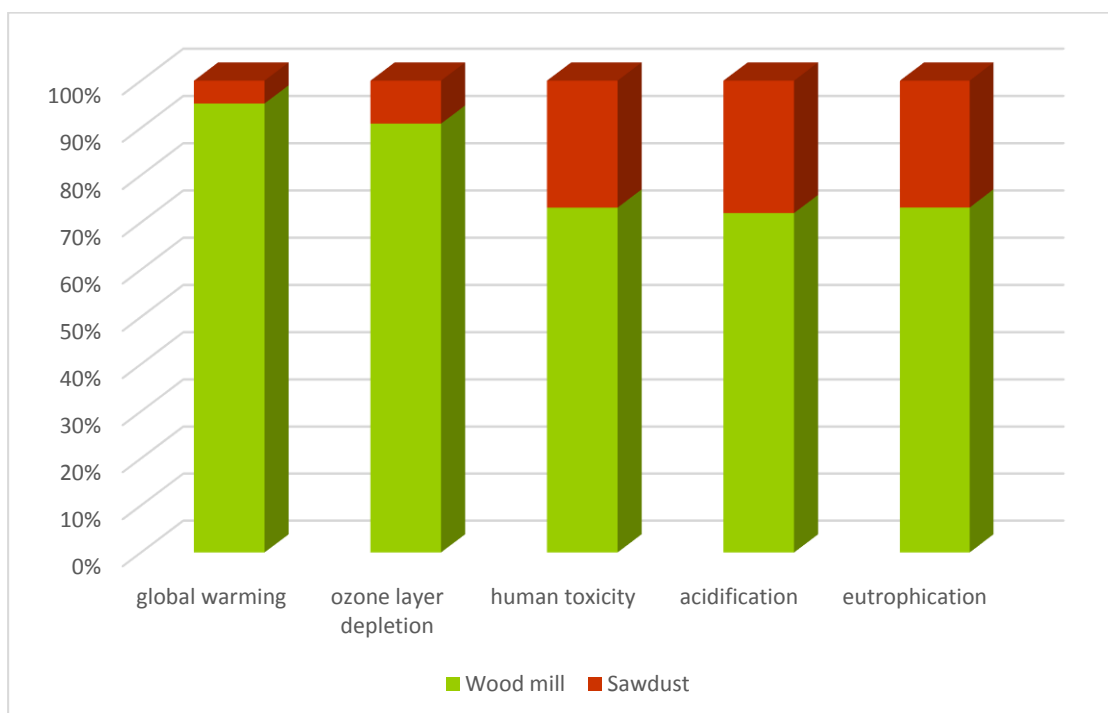


ตารางที่ 4.10 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของการดำเนินงานที่ไม่และซีไอเอปริมาณ 1 กิโลกรัม

ประเภทกลุ่มผลกระทบ	หน่วย	เศษส่วนไม่ เป็นวัสดุปรับปรุง ดิน	ซีไอเอ เป็นซีไอเอให้ ความร้อนโดยตรง	ผลกระทบรวมของ การจัดการเศษเยื่อ ไม้และซีไอเอ	ซีไอเอทั้งหมด (งานวิจัยนี้)
Global Warming	kg CO ₂ eq	2.33	0.12	2.45	0.13
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	8.39x10 ⁻²¹	8.38x10 ⁻²²	9.22x10 ⁻²¹	1.40x10 ⁻⁸
Human Toxicity	kg 1,4-DB eq	7.16x10 ⁻³	2.63x10 ⁻³	9.79x10 ⁻³	7.16x10 ⁻³
Acidification	kg SO ₂ eq	2.98x10 ⁻³	1.16x10 ⁻³	4.15x10 ⁻³	7.77x10 ⁻⁴
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	7.76x10 ⁻³	2.85x10 ⁻⁴	1.06x10 ⁻³	3.16x10 ⁻⁴

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของซีไอเอทั้งหมดในงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัยอื่นปริมาณ 1 กิโลกรัม

ประเภทกลุ่มผลกระทบ	หน่วย	งานวิจัยนี้	จาริยา ไทยสุพรรณ (2557)	Rousset และคณะ (2011)
		Sima Pro	Sima Pro	Sima Pro
Global Warming	kg CO ₂ eq	0.13	14.47	3.9690
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	1.40x10 ⁻⁸	1.72x10 ⁻⁶	-
Human Toxicity	kg 1,4-DB eq	7.16x10 ⁻³	2.16	-
Acidification	kg SO ₂ eq	7.77x10 ⁻⁴	2.59x10 ⁻²	-
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	3.16x10 ⁻⁴	4.88x10 ⁻³	-



ภาพที่ 4.13 แสดงผลกระทบในรูปแบบร้อยละของแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของการจัดการเศษเยื่อไม้ และขี้เลื่อยในโรงงาน

4.3 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย ที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย จะทำการวิเคราะห์เฉพาะเชื้อเพลิงอัดแท่งในอัตราส่วน 40:50:10 เท่านั้น เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด โดยจะต้องใช้วัตถุดิบทั้งหมด 350 กิโลกรัม จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงอัดแท่ง 100 กิโลกรัม

4.3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

- 1) เศษเยื่อไม้ ราคา 0 บาท/ตัน
- 2) ขี้เลื่อย ราคา 0 บาท/ตัน
- 3) ด้าย ราคา 15,000 บาท/ตัน

4) แป้งมัน ราคา 25 บาท/กิโลกรัม (ร้านขายวัตถุดิบทำอาหาร)

4.3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต

1) เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวหนอน ราคา 120,000 บาท กำลังการผลิต 200-300 กิโลกรัม/ชั่วโมง

2) ถังขนาด 200 ลิตร จำนวน 15 ถัง ราคา 8,250 บาท

4.3.3 ข้อมูลเบื้องต้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ

1) รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกได้ 15,000 กิโลกรัม/เที่ยว และมีค่าใช้จ่าย 15,000 บาท/เที่ยว

2) ค่าขนส่งวัตถุดิบ 1 บาท/กิโลกรัม

4.3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น

เชื้อเพลิงอัดแท่งมีน้ำหนัก 0.04 กิโลกรัม/ก้อน

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อก้อนและระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย

ค่าต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

- เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวหนอน	120,000 บาท
- ถังแบบมีฝาปิด 200 ลิตร 15 ถัง สำหรับผสมส่วนประกอบ	8,250 บาท
รวมเป็นเงิน	128,250 บาท

ค่าต้นทุนวัตถุดิบ

- ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการต่อวัน	100 กิโลกรัม
- ปริมาณเศษเยื่อไม้ที่ต้องการ	40 กิโลกรัม

- ปริมาณซีลีเนียมที่ต้องการ	50 กิโลกรัม
- ปริมาณด้ายที่ต้องการ	10 กิโลกรัม
- เศษเยื่อไม้ราคา	0 บาท/กิโลกรัม
- ซีลีเนียมราคา	0 บาท/กิโลกรัม
- ด้ายราคา	150 บาท/กิโลกรัม
- ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบ (เศษเยื่อไม้ + ซีลีเนียม + ด้าย)	150 บาท
- เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเย็น	0.04 กิโลกรัม/ก้อน
- เศษเยื่อไม้ ซีลีเนียม และด้าย สามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการอัดเย็นได้จำนวน	2,500 ก้อน
ต้นทุนเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน	0.06 บาท/ก้อน

ค่าต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ

- อัตราภาระขนส่ง 10 ล้อ	15,000 กิโลกรัม/
เที่ยว	CHULALONGKORN UNIVERSITY
- ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	15,000 บาท/เที่ยว
- ดังนั้นค่าขนส่งวัตถุดิบ	1 บาท/กิโลกรัม
- ต้องการเศษเยื่อไม้	40 กิโลกรัม
- ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งเศษเยื่อไม้	40 บาท
- ต้องการซีลีเนียม	50 กิโลกรัม
- ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งซีลีเนียม	50 บาท

- ต้องการด้าย	10 กิโลกรัม
- ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้าย	10 บาท
- ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งวันละ	2,500 ก้อน
- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย รวมกัน	100 บาท
ต้นทุนขนส่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ต่อก้อน	0.04 บาท/ก้อน

ค่าต้นทุนแปรผัน

- ค่าแรงขั้นต่ำจังหวัดฉะเชิงเทรา (กระทรวงแรงงาน, 2559)	300 บาท/คน/วัน
- คนงาน 2 คน ค่าแรงงานรวม	600 บาท
- ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งวันละ	2,500 ก้อน
ค่าแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน	0.24 บาท/ก้อน

ค่าต้นทุนอื่น ๆ

- ค่าไฟฟ้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก)	0.97 บาท/กิโลกรัม
- ผลิตชิ้นงานวันละ	100 กิโลกรัม
- ดังนั้นค่าไฟฟ้า	97 บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน	0.0196 บาท/ก้อน
- ค่าน้ำ (การประปาส่วนภูมิภาค ประเภทกิจการขนาดเล็ก)	0.05 บาท/กิโลกรัม
- ดังนั้นค่าน้ำ	5 บาท/วัน
ค่าน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน	0.002 บาท/ก้อน
- ค่าแป้งมันสำปะหลัง (ร้านขายวัตถุดิบทำอาหาร)	25 บาท/กิโลกรัม

- ดังนั้นค่าแป้งมันสำปะหลัง 625 บาท
- ค่าแป้งมันสำปะหลังของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน 0.25 บาท/ก้อน

ต้นทุนแปรผันของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็นต่อก้อน (Variable Cost)

- ต้นทุนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ต่อก้อน 0.06 บาท/ก้อน
- ต้นทุนขนส่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ต่อก้อน 0.04 บาท/ก้อน
- ค่าแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน 0.24 บาท/ก้อน
- ค่าไฟฟ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน 0.0388 บาท/ก้อน
- ค่าน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน 0.002 บาท/ก้อน
- ค่าแป้งมันสำปะหลังของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อน 0.25 บาท/ก้อน
- ต้นทุนแปรผันของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย 0.63 บาท/ก้อน

การผลิตชิ้นงานต่อปี (N)

- การทำงาน 250 วัน/ปี
- ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2,500 ก้อน/วัน
- ดังนั้นสามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 625,000 ก้อน/ปี

ราคาขายต่อหน่วย (p)

- ราคาขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง (บริษัท ไทยซูมิ จำกัด, 2560) 20 บาท/กิโลกรัม
- เศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย 1 กิโลกรัม ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ 25 ก้อน
- ราคาขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง 0.8 บาท/ก้อน

N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน

$$\frac{F}{p-v}$$

F คือ ต้นทุนคงที่	128,250 บาท
p คือ ราคาขายต่อหน่วย	0.8 บาท/ก้อน
v คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.63 บาท/ก้อน
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	754,411 ก้อน
ใช้เวลาผลิตที่จะคุ้มทุน	$\frac{N^*}{N}$
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	754,411 ก้อน
N คือ จำนวนการผลิตต่อปี	625,000 ก้อน/ปี
ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน	1.2 ปี

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยระยะเวลาในการคืนทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในอัตราส่วน 40:50:10 โดยอัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อไม้อัดแท่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และใช้ด้ายมาเพื่อทำให้เกิดการสานกันจึงทำให้คุณสมบัติทางกายภาพมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีต้นทุนอุปกรณ์และเครื่องจักรในการผลิตอยู่ที่ 128,250 บาท และมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 100 กิโลกรัม/วัน มีการทำงาน 250 วัน/ปี และเปรียบเทียบกับต้นทุนราคาขายส่งของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวในท้องตลาด โดยผลวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดังต่อไปนี้

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ในอัตราส่วนผสม 40:50:10 มีค่าใช้จ่ายคงที่ 128,250 บาท และมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อนที่ราคา 0.63 บาท/ก้อน จะใช้ระยะเวลาผลิตที่จะถึงจุดคุ้มทุนที่ 1.2 ปี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ตามเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ระยะ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย

จากผลการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย พบว่าอัตราส่วนที่ให้คุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนเศษเยื่อไม้ต่อชี้เลื่อยต่อด้ายเท่ากับ 40 : 50 : 10 มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีคือ ปริมาณความชื้น 8.64% ปริมาณเถ้า 2.73% ปริมาณสารระเหย 69.64% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 20.73% ค่าความร้อน 4,010 แคลอรี/กรัม และความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความทนทานระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาระหว่างการใช้งานคือ มีความยาวการขยายตัวด้านความยาวอยู่ที่ 0.77% และความสูงที่ 0.58% ความหนาแน่น 0.26 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการทนแรงอัด 26.1 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และค่าดัชนีการแตกร่วน 0.9997

5.1.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งเปรียบเทียบกับวิธีการจัดการที่ใช้ในปัจจุบันในปริมาณ 1 กิโลกรัม

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.3 ตามวิธี CML baseline 2000 เวอร์ชัน 2.03 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการนำวัสดุดิบ (เศษเยื่อไม้และชี้เลื่อย) มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กับจัดการด้วยวิธีนำเศษเยื่อไม้ไปเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่แปลงยูคาลิปตัสและนำชี้เลื่อยไปเป็นเชื้อเพลิงโดยการเผาโดยตรงพบว่า การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า เชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัม มีผลกระทบเท่ากับ 0.13 kg CO₂ eq และการจัดการด้วยวิธีปัจจุบันของเศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยมีผลกระทบรวมเท่ากับ 2.45 kg CO₂ eq

ส่วนผลกระทบด้านศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ด้านศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งส่งผลกระทบต่อต่ำกว่าเช่นเดียวกับด้านภาวะโลกร้อน ซึ่งปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิต โดยเฉพาะกระบวนการเตรียมวัตถุดิบและอบแห้งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.1.3 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้าย ที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เศษเยื่อไม้และชี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อไม้อัดแผ่นเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และใช้ด้ายมาเพื่อทำให้เกิดการสานกันจึงทำให้คุณสมบัติทางกายภาพมีค่าเพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบกับต้นทุนราคาขายส่งของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวในท้องตลาดพบว่า มีค่าใช้จ่ายคงที่ 128,250 บาท และมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อก้อนที่ราคา 0.63 บาท/ก้อน จะใช้ระยะเวลาผลิตที่จะถึงจุดคุ้มทุนที่ 1.2 ปี การนำเศษเยื่อไม้ ชี้เลื่อย และด้ายมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเชื้อเพลิงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และเป็นการลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัด ซึ่งจะช่วยลดปัญหาและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วยการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบพลังงานชีวมวลนับว่าเป็นการแก้ไขปัญหาพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

5.2.1 ควรมีการศึกษาการเชื่อมและการสานกันในเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ เช่น เส้นใยข้าวโพด หญ้า ฟางข้าว ไบโอยาง ไนลอน เพนตัน เพื่อดูว่าจะให้ผลที่แตกต่างกันอย่างไร ในเส้นใยแต่ละประเภท

5.2.2 ในการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายคือ ลดใช้เครื่องมือที่ใช้กำลังไฟฟ้าปริมาณมาก เช่น ในขั้นตอนการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นต้น โดยอาจเปลี่ยนมาใช้วิธีการผึ่งในบริเวณที่มีแดดสม่ำเสมอ และลดการขนส่งระยะทางไกลเกินความจำเป็น ก็จะช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น ทำให้สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้

5.2.3 ควรมีการส่งเสริมให้ชุมชนที่มีวัสดุที่เหลือทิ้งทั้งจากภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม เช่น ช้างข้าวโพด ฟางข้าว เศษไม้ เป็นต้น มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เพื่อนำมาใช้ในชุมชน และยังสามารถลดพื้นที่ในการจัดเก็บวัสดุเหล่านี้ อีกทั้งยังเพิ่มรายได้เสริมหากเหลือจากการใช้งานในครัวเรือนแล้วสามารถนำมาขายได้



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555). คู่มือและแนวทางเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน.
- กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). "ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย." Retrieved 5 ตุลาคม, 2558, from <http://www4.dede.go.th/dede/index.php>.
- กระทรวงแรงงาน. (2559). "อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ." Retrieved 28 มิถุนายน, 2560, from http://www.mol.go.th/sites/default/files/downloads/pdf/aihmprikaasatraakh_aacchaangkhamtam_khamchiiacchng_ch8.pdf.
- กษิติศ เสนะวงศ์. (2558). "สถานการณ์พลังงาน." Retrieved 1 ตุลาคม 2559, from <http://www.bangkoksolarpower.com/th/article.php>.
- กัญจนา บุญเกียรติ (2544). เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- การประปาส่วนภูมิภาค. (2560). "อัตราค่าน้ำประปาส่วนภูมิภาค." Retrieved 29 มิถุนายน, 2560, from <http://www.pwa.co.th/contents/service/table-price>.
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2560). "อัตราค่าไฟฟ้าส่วนภูมิภาค." Retrieved 29 มิถุนายน, 2560, from <https://www.app-solar.com/15554874>.
- จาริยา ไทยสุวรรณ (2557). การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จารุณี วิวัชรโกเศศ (2541). "เอกสารมาตรฐาน ASTM." วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ (46): 23-25.
- ชมธิตา ชื่นนิยม (2553). การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษขังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- दनัย อารยะพงษ์. (2538). "การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้ตะแกรงกรองคืออะไร." Retrieved 25 มิถุนายน, 2560, from http://www.mne.eng.psu.ac.th/lek_files/ceramic/u92-2.htm.
- ธนวรรณ แสงสุวรรณ. (2560). "ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรหมายถึง." Retrieved 23 มิถุนายน, 2560, from <http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sms/market/Unit5/Subm2/U521-1.htm>.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล (2556). "การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและคร่าวเรือน." วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 6(11): 68-71.
- บริษัท ไทยซูมิ จำกัด. (2560). "ราคาขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง." Retrieved 30 มิถุนายน, 2560, from <http://www.greenwood1993.com/>.
- บัญญัติ โจลานันท์, อาทิตย์ พุทธรักชาติ and จันสุดา คำต๋อย (2544). "พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์." วารสารวิจัย มช 16(มกราคม): 20-27.
- ประลอง ดำรงไทย (2542). โครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้แท่งเชื้อเพลิงชีว. รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 37.
- พุดิตา สิ้นณรงค์ (2558). ปริมาณวัตถุดิบของโรงงาน. กัณมณี แสงสุข.
- รุ่งโรจ พุทธิสกุล (2553). การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านหัง้ำมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วรพันธ์ มุลศรี (2554). การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตเชิงนิเวศของการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิภาศรี เรืองเนตร, พงษ์ธร จรรย์ภากรณ์ and ณัฐเดช เพ็ญวรวงศ์ (2554). การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก. รายงานการประชุมวิชาการของเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25.
- ศิริธร ใจแก้ว (2555). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ อีฐ และก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง: กรณีศึกษาชุมชนคลองลำไทร. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ and ภูมิพัฒน์ ภาชนะ (2558). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย ระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2547). "ด้ายฝ้ายมีขนาดเท่าไร?" Retrieved 20 มิถุนายน, 2560, from http://www2.mtec.or.th/th/research/textile/textile_sci.html.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2559). "หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์." Retrieved 29 เมษายน, 2559, from <http://www.thaiecoproduct.com/index.php/9-uncategories/4-knowledge.html>.
- เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล (2554). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. เชียงใหม่, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- สังเวย เสวกวิหारी (2555). ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2559). "มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน." Retrieved 4 เมษายน, 2560, from <http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>.
- สำนักวิจัยและพัฒนางานป่าไม้. (2549). "มูลค่าการนำเข้าและส่งออกผลิตภัณฑ์จากป่าไม้." Retrieved 5 มีนาคม, 2560, from <http://forestinfo.forest.go.th/Content/file/stat/e-book%202550.pdf>.
- สุธี คงศิริ (2552). การประเมินวัฏจักรชีวิตของหัวมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรรถกร ฤกษ์วีรี (2549). เชื้อเพลิงแข็งจากมูลฝอยขยะอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร (2555). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลและตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Alan W. Hodges and Mohammad Rahmani (2012). "Fuel Sources and Carbon Dioxide Emissions by Electric Power Plants in the United States." Institute of Food and Agricultural Sciences
- American Society for Testing and Materials (1979). Standard Method for Proximate Analysis. D3172-73. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2000). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel. D2015-66. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2002). Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample. D3174-02. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2003). Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample. D3173-03. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2007). Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample. D3175-07. U.S.A.
- Bhattacharya, S. C., Ram M. Sivasakthy and S. Shrestha (1998). "State of The Art for Biocoal Technology." Biocoal Project.
- Environmental Protection Agency. (2017). "Nutrient Pollution " Retrieved 25 April, 2017, from <https://www.epa.gov/nutrientpollution/problem>.
- European Environmental Agency. (2016a). "Biological treatment of waste - Solid waste disposal on land." Retrieved 23 May, 2017, from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
- European Environmental Agency. (2016b). "EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2016 (Road transportation 2016 update Dec 2016)." Retrieved 4 April, 2017, from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
- European Environmental Agency. (2016c). "Open burning of waste 2016 " Retrieved 23 May, 2017, from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." Retrieved 20 March, 2017, from

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf.

- Jianghong Peng, Xiaotao T. Bi, C. Jim Lim, Hanchao Peng, Chang Soo Kim, Dening Jia and Haibin Zuo (2015). "Sawdust as an effective binder for making torrefied pellets." *Applied Energy* **157**: 491-498.
- Kachesy, J. and P. Koch (1979). "Energy Production from Hard Woods Growing on Southern Pine Sites." *General Technology Report SO-24*.
- Kaliyan, N. and R. V. Morey (2009). "Factors affecting strength and durability of densified biomass products." *Biomass and Bioenergy* **33**(3).
- Kaliyan, N. and R. V. Morey (2010). "Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass." *Bioresour Technol* **101**(3): 1082-1090.
- Kong, L., S. Tian, C. He, C. Du, Y. Tu and Y. Xiong (2012). "Effect of waste wrapping paper fiber as a "solid bridge" on physical characteristics of biomass pellets made from wood sawdust." *Applied Energy* **98**: 33-39.
- Kong, L., Y. Xiong, T. Liu, Y. Tu, S. Tian, L. Sun and T. Chen (2016). "Effect of fiber natures on the formation of "solid bridge" for preparing wood sawdust derived biomass pellet fuel." *Fuel Processing Technology* **144**: 79-84.
- Kong, L., Y. Xiong, S. Tian, Z. Li, T. Liu and R. Luo (2013). "Intertwining action of additional fiber in preparation of waste sawdust for biofuel pellets." *Biomass and Bioenergy* **59**: 151-157.
- Mishra, L. K. and Grover P.D. (1996). "Technology and Practices." *Biomass Briquetting*.
- N.S.L. Srivastava, S.L. Narnaware, J.P. Makwana, S.N. Singh and S. Vahora (2014). "Investigating the energy use of vegetable market waste by briquetting." *Renewable Energy* **68**: 270-275.
- Reed, T. and B. Bryant (1978). "A New Form of Solid Fuel." *Densified Biomass*.
- Rousset, P., A. Caldeira-Pires, A. Sablowski and T. Rodrigues (2011). "LCA of eucalyptus wood charcoal briquettes." *Journal of Cleaner Production* **19**(14): 1647-1653.
- Rumpf H and Knepper WA (1962). "The strength of granules and agglomerates. Agglomeration." 379-419.

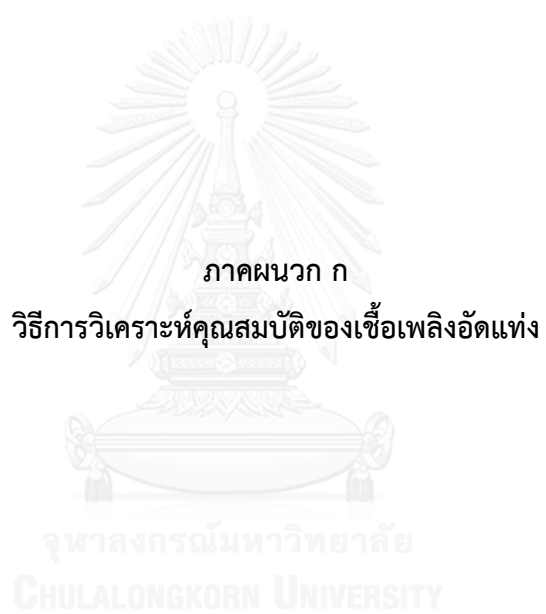
Yokoyama, S. (2008). คู่มือสารชีวมวล.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ปริมาณเถ้า (Ash Content) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และค่าความร้อน (Calorific Value)

1.ความหนาแน่น (Density) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำการหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถคำนวณจากสูตร

$$D = \frac{M}{V}$$

โดยที่ D = ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง

M = น้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิง

V = ปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง

2.ปริมาณความชื้น (Moisture Content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173

1) อบครุชีเบลพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ครุชีเบลพร้อมฝาแห้งสนิท

2) นำครุชีเบลพร้อมฝาใส่ลงในเดซิเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง เป็นเวลาประมาณ 15-30 นาที

3) ชั่งน้ำหนักครุชีเบลพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

4) ตักวัสดุที่ผ่านการบดจนละเอียด ประมาณ 1 กรัม (± 1 มิลลิกรัม) ใส่ลงในครุชีเบล

5) ชั่งน้ำหนักครุชีเบลที่มีวัสดุพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

6) เปิดฝาครุชีเบลและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิห้อง

7) นำครุชชีเบลพร้อมฝาใส่ลงในเดซิเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น จนมีอุณหภูมิเท่ากับ

8) ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

9) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

โดย A คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3. ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175

1) ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

2) ชั่งวัสดุดิบ ประมาณ 1 กรัม (± 1 มิลลิกรัม) ใส่ลงในครุชชีเบล ปิดฝาให้สนิท

3) นำไปอบ โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงถึง 950 ± 20 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว และคงที่ไว้ ณ อุณหภูมินั้นนาน 7 นาที

4) นำครุชชีเบลพร้อมฝาใส่ลงในเดซิเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น จนมีอุณหภูมิเท่ากับ

อุณหภูมิห้อง

5) ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

6) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

โดย A คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

7) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์สารระเหย จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์สารระเหย} = C - D$$

โดย C คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป

D คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.ปริมาณเถ้า (Ash Content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174

1) อบครุชิลพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ครุชิลพร้อมฝาแห้งสนิท

2) นำครุชิลพร้อมฝาใส่ลงในเตาเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง เป็นเวลาประมาณ 15-30 นาที

3) ชั่งน้ำหนักครุชิลพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

4) ตักวัสดุที่ผ่านการบดจนละเอียด ประมาณ 1 กรัม (\pm 1 มิลลิกรัม) ใส่ลงในครุชิล

5) ชั่งน้ำหนักครุชิลที่มีวัสดุพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งบันทึกผล

6) นำครุชิลเข้าเตาเผาโดยไม่ปิดฝาครุชิล เเผาที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7) เเผาวัสดุต่ออีก 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิในช่วงท้ายให้สูงถึง 950 องศาเซลเซียส และเผาต่ออีก 2 ชั่วโมง

8) นำครุชิลพร้อมฝาใส่ลงในเตาเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

9) ชั่งน้ำหนักครุชิลที่มีวัสดุพร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

10) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้า จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{A-B}{C} \times 100$$

โดย A คือ น้ำหนักของครุชิลที่มีเถ้าพร้อมฝา (กรัม)

B คือ น้ำหนักของครุชชีเบลเปล่าพร้อมฝา (กรัม)

C คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

คำนวณหาคาร์บอนคงตัว จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว} = 100 - (A + B + C)$$

โดย A คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น

B คือ เปอร์เซ็นต์สารระเหย

C คือ เปอร์เซ็นต์เถ้า

5. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาค่าความร้อน

- 1) บดตัวอย่างให้ละเอียด จนมีขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ปริมาณ 10 กรัม
- 2) บรรจุตัวอย่างที่ละเอียดลงในถุงพลาสติกแบบมีซิปปิดสนิท เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความชื้น
- 3) ส่งตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter LECO AC-350) ณ ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. การทดสอบค่าการทนแรงอัด

ส่งตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งไปวิเคราะห์ค่าการทนแรงอัด ด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดอัตโนมัติ (Shimadzu Autograph AG-1000E) ณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการทดสอบ

- 1) นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปวางบนเครื่อง Shimadzu Autograph AG-1000E ใน

แนวตั้ง

2) ทำการกดอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง จนกระทั่งเริ่มเสียสภาพ คือมีการแตกร้าวเกิดขึ้น บันทึกค่าของแรงที่ทำให้เสียสภาพ โดยลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งก่อนและหลังทดสอบ

3) คำนวณพื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4) คำนวณค่าการทนแรงอัด ได้จากสูตรดังนี้

$$C = \frac{W}{A}$$

เมื่อ C คือ ค่าการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

W คือ แรงอัดที่ทำกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจนกระทั่งแตก (กิโลกรัม)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ตารางเซนติเมตร)

7. การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน

วิธีการทดสอบ

- 1) นำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ในถุงพลาสติก
- 2) ปล่อยถุงลงจากที่สูง 180 เซนติเมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ซ้ำ ๆ กัน 3 ครั้ง
- 3) จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร
- 4) นำส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก
- 5) คำนวณหาค่าอัตราการแตกร่วนได้จากสมการ

$$R = \frac{W_i}{W_f}$$

เมื่อ R คือ ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

W_i คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบ (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ (กรัม)

8. การศึกษาพื้นผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เพื่อศึกษาภาพตัดขวางพื้นผิวของวัสดุ นำแท่งเชื้อเพลิงไปบดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร เตรียมตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ถุงพลาสติกที่มีซิปปิดสนิท ส่งตัวอย่างไปศึกษาพื้นผิวของวัสดุ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope JEOL JSM-6400) ณ ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางถ่ายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	9.1877	8.8384	8.9381	8.9880
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	8.8834	9.0802	9.0864	9.0166
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	10.0449	10.1913	9.9673	10.0677
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	8.4220	8.7800	8.4411	8.5477
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	7.9894	10.0404	10.8939	9.6412
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	13.8990	11.0114	10.5970	11.8358
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	9.3016	9.2091	9.3579	9.2895
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	8.5365	8.6238	8.7638	8.6413
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	9.3420	9.4031	9.6549	9.4666
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	8.8775	9.0380	8.8628	8.9261
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	8.8141	9.0458	8.7835	8.8811

ตารางที่ ข.2 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	เถ้า (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	5.2188	7.7785	8.7600	7.2524
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	2.0893	0.5324	1.9410	1.5209
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	1.9762	2.8300	3.3940	2.7334
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	1.1465	1.8128	2.0445	1.6679
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	2.0821	2.4501	2.0286	2.1869
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	1.6280	1.9446	1.9930	1.8552
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	2.8702	3.0294	2.8560	2.9185
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	2.7050	2.6641	3.0094	2.7928
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	1.5802	2.8898	2.0215	2.1638
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	2.9058	3.0497	4.7362	3.5639
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	2.4946	3.8220	3.2721	3.1962

ตารางที่ ข.3 ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	สารระเหย (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	67.5879	66.5948	67.0573	67.0800
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	69.1717	68.9629	69.1546	69.0964
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	67.6786	66.8292	64.8966	66.4681
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	68.5371	69.7803	67.1622	68.0349
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	69.8281	67.7995	67.3550	68.3275
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	63.5874	66.2971	67.5987	65.8277
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	68.1446	68.7306	68.3878	68.4210
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	69.7032	69.7459	69.4601	69.6364
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	68.8565	68.3800	68.3136	68.5167
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	69.0848	68.5528	68.5083	68.7153
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	69.8463	68.0832	68.4051	68.7782

ตารางที่ ข.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	คาร์บอนคงตัว (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	18.0056	16.7883	15.2446	16.6795
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	19.8556	21.4244	19.8180	20.3660
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	20.3005	20.1495	21.7421	20.7307
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	21.8944	19.6269	22.3522	21.2911
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	20.1004	19.7100	19.7225	19.8443
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	20.8856	20.7469	19.8113	20.4812
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	19.6836	19.0309	19.3983	19.3709
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	19.0553	18.9662	18.7667	18.9294
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	20.1602	19.3271	20.0100	19.8324
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	19.1319	19.3595	17.8927	18.7947
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	18.8450	19.0490	19.5393	19.1444

ตารางที่ ข.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (cal/g)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	3,479.8	3,542.4	3,511.1
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	3,951.8	3,889.5	3,920.7
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	3,912.7	3,948.0	3,930.4
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	3,941.8	3,872.5	3,907.2
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	3,905.8	3,962.0	3,933.9
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	3,848.7	3,836.8	3,842.8
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	3,756.2	3,794.8	3,775.5
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	4,056.9	3,963.1	4,010.0
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	3,982.0	3,920.9	3,951.5
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	3,811.8	3,780.8	3,796.3
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	3,691.0	3,779.4	3,735.2

ตารางที่ ข.6 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (g/cm ³)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	0.2134	0.2541	0.2233	0.2302
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	0.2500	0.2489	0.2391	0.2460
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	0.2680	0.2537	0.2796	0.2671
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	0.2318	0.2218	0.2424	0.2320
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	0.2522	0.2457	0.2550	0.2509
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	0.2152	0.2305	0.2090	0.2182
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	0.2152	0.2305	0.2090	0.2182
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	0.2652	0.2700	0.2453	0.2601
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	0.2701	0.2511	0.2708	0.2640
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	0.2777	0.2717	0.2762	0.2752
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	0.2788	0.2732	0.2895	0.2805

ตารางที่ ข.7 ค่าการทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ค่าการทนแรงอัด (kg/cm ²)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	13.6	16	13.6	14.4
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	20	19.2	16	18.4
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	17.6	18.4	16	17.3
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	17.6	18.4	15.2	17.1
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	15.2	16	16.8	16
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	14.4	13.6	11.2	13.1
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	14.4	16	17.6	16
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	25.6	27.2	25.6	26.1
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	19.2	21.6	22.4	21.1
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	14.4	15.2	16	21.1
เศษเยื่อไม้ : ขี้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	13.6	14	13.2	13.6

ตารางที่ ข.8 ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ค่าดัชนีการแตกร่วน			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	0.9988	0.9991	0.9964	0.9981
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	0.9993	0.9992	0.9992	0.9992
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	0.9995	0.9995	0.9993	0.9994
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	0.9995	0.9995	0.9996	0.9995
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	0.9997	0.9996	0.9997	0.9996
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	0.9997	0.9996	0.9996	0.9996
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	0.9998	0.9997	0.9997	0.9997
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	0.9992	0.9994	0.9991	0.9992
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	0.9993	0.9994	0.9993	0.9993
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	0.9995	0.9986	0.9996	0.9992

ตารางที่ ข.9 เปอร์เซ็นต์ความยาวการขยายตัวด้านความยาวและความสูง

ตัวอย่าง	ความยาวการขยายตัว (%)	
	ด้านความยาว (%)	ด้านความสูง (%)
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 50 : 0	3.79	5.59
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 45 : 5	1.09	0.96
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 40 : 10	1.25	1.60
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 35 : 15	2.44	1.55
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 30 : 20	3.32	1.94
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 50 : 25 : 25	3.39	2.99
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 45 : 50 : 5	2.37	1.16
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 40 : 50 : 10	0.77	0.58
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 35 : 50 : 15	1.73	0.41
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 30 : 50 : 20	3.09	1.29
เศษเยื่อไม้ : ไม้เลื่อย : ด้าย เป็น 25 : 50 : 25	3.69	1.74

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกัญมณี แสงสุข เกิดเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ.2533 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนนครนาราชบุรีจังหวัดราชบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

