



การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและ
เศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

สุรียา ชัยเดชทยากุล

อธิปัทนการ

จาก

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2544

ISBN 974-665-303-2

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

วฟ

๘๖๖๓

๒๕๔๔

๓.๑

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

๒๕

นายสุริยา ชัยเดชชยากุล

ผู้วิจัย

นายทณันท์ ชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษฎกรักษ์ ชีร์รัฐ วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

นางสาวสมพงษ์ ชงไชย

อาจารย์สมพงษ์ ชงไชย วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร. อรุณ

อาจารย์ชุมพร ชูวี วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร. ประเสริฐ

อาจารย์ประเสริฐ ผลรัตน์ วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์รุ่งจรัส หุดะเจริญ วท.ม.

รองศาสตราจารย์รุ่งจรัส หุดะเจริญ วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงาน
ผลิตเยื่อกระดาษ

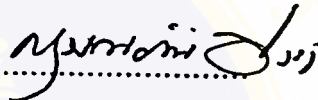
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2544



นายสุริยา ชัยเดชชยากุล
ผู้วิจัย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณ์ ชีร์รัฐ วท.ม.
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



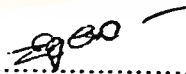
อาจารย์สมพงษ์ ชงไชย วท.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



อาจารย์ชุมพร บุรี วท.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



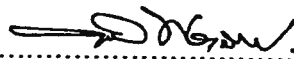
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



อาจารย์ประเสริฐ ผลรัตน์ วท.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.
คณบดี
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล



รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสาดี Ph.D.
คณบดี
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณรักษ์ ชีร์รัฐ , อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย , อาจารย์ชุมพร ยูวรี และอาจารย์ประเสริฐ ผลรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด ทวนการศึกษาและการวิจัยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่ง จากหลายหน่วยงาน คือ บริษัท ปิณิจพล พัลส์ อินดัสตรี จำกัด(มหาชน) อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติและเชื้อเพลิงพลังงาน จังหวัดปทุมธานี และฝ่ายวิเคราะห์วิจัยเชื้อเพลิงธรรมชาติ กองเชื้อเพลิง กรมทรัพยากรธรณี ตลอดจนได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากคุณประธาน ธิณา และคุณเนาวรัตน์ พูลทรัพย์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน บุตร ธิดา และภรรยา ผู้ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

สุริยา ชัยเดชทยากุล

3937733 ENAT/M: สาขาวิชา : เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร :

วท.ม. (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

คำสำคัญ : กากตะกอน/เศษชิ้นไม้สับ/เชื้อเพลิงอัดแท่ง

สุริยา ชัยเศรษฐากุล : การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ (UTILIZATION OF SLUDGE CAKE FROM WASTE WATER TREATMENT PLANT AND FINE WOOD-CHIP OF PULP AND PAPER MILLS FOR BRIQUETTED FUEL) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : ศศ. กฤษณรักษ์ ธีรรัฐ วท.ม. สมพงษ์ ธงไชย วท.ม. ชุมพร ชูวี วท.ม. ประเสริฐ ผลรัตน์ วท.ม. 145 หน้า ISBN 974-665-303-2

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษมาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเยื่อกระดาษ จำนวน 11 อัตราส่วนผสม ดังนี้ 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก แล้วอัดเป็นแท่ง เผาให้ถ่านเชื้อเพลิงและทำการศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการลงทุน เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยในแต่ละส่วนผสมทำการทดลอง 10 ตัวอย่าง

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับเศษชิ้นไม้สับ ตั้งแต่ 100:0 ถึง 40:60 โดยน้ำหนัก สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยส่วนผสมที่มีเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้นจะอัดขึ้นรูปได้ยากขึ้น ใช้เวลาในการอัดมากขึ้นและมีเนื้อที่ไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปเผาเป็นถ่านแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติหลักทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวม 6 ด้าน คือปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถันรวมและค่าความร้อน แล้วหาส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยวิธีการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปคะแนนดิบตามวิธีของเพียร์สันพบว่า อัตราส่วนผสม 70:30 มีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นมีค่าใกล้เคียงกับฟืนแกลบ เมื่อนำไปศึกษาด้านการลงทุน พบว่า อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงถึง ร้อยละ 30.73 ณ ราคาขาย 9 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายของโรงงานในปัจจุบันปรากฏว่าหากนำไปผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจะให้ค่าตอบแทนสูงกว่าการนำไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาและมีความเหมาะสมกว่าในการใช้ทรัพยากรให้เกิดมูลค่าเพิ่มด้วยการใช้เทคโนโลยีพื้นฐานที่มีอยู่ในประเทศ รวมทั้งเป็นการลดความสกปรกภายในบริเวณโรงงาน

3937733 ENAT/M:MAJOR:APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE

DEVELOPMENT;

M.Sc. (APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE

DEVELOPMENT)

KEY WORDS : SLUDGE CAKE/FINE WOOD-CHIP/BRIQUETTED FUEL

SURIYA CHAIYADEJTAYAKUL : UTILIZATION OF SLUDGE CAKE FROM WASTE WATER TREATMENT PLANT AND FINE WOOD-CHIP OF PULP AND PAPER MILLS FOR BRIQUETTED FUEL. THESIS ADVISOR: GRITSANARUCK THEERARAJ M.Sc. , SOMPONG THONGCHAI M.Sc. , CHUMPORN YUWAREE M.Sc., PRASERT PHONRAT M.Sc., 144 P. ISBN 974-665-303-2

The objective of this research is to study the possibilities of utilizing the solid waste from production process of pulp and paper mills as briquetted fuel. Sludge cake from waste water treatment plant is proportionally mixed with fine wood-chip in 10 samples of 11 ratios each : 100:0 , 90:10 , 80:20 , 70:30 , 60:40 , 50:50 , 40:60 , 30:70 , 20:80 , 10:90 and 0:100 by weight. After pressing the mixture into bars these are burned to obtain briquetted fuel. The briquetted fuel is analyzed to verify its heating value components as specified by ASTM. The feasibility study of production in comparison to the existing cost for solid waste management is also studied.

The result showed that mixtures of ratio from 100:0 to 40:60 could best result. However, as the ratio of wood chip increases, the chance of solid bars obtaining decreases and also the process is prolog and may result in incomplete mixture. The briquetted fuel was analyzed to verify heating value for 6 components as specified by ASTM namely moisture content, percent age of ash, volatile organic content, fixed carbon, sulfur content and heating value content. The analysis result using Pearson method found that the bruquetted fuel of mixing ratio 70:30 gave an optimum desired value and also heating value, compared to similar kinds of fuel such as paddy straw. As for production cost analysis, the above ratio resulted in a rate of return of about 30.73 % of the price at 9 Baht/kg. This showed some advantage over burning fine wood chip as fuel. Utilization of sludge cake and fine wood chip is also not only cleaner but also creates value added by reducing waste through using basic technology.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย	7
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 สมมุติฐานการวิจัย	7
1.5 ขอบเขตการศึกษา	7
1.6 สถานที่ทำการวิจัย	8
1.7 นิยามศัพท์	10
2. ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ลักษณะทั่วไปของไม้คูกาลิปัตส	12
2.2 กระบวนการผลิตของโรงงาน	14
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน	17
2.4 กากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	19
2.5 เชื้อเพลิง	19
2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	20
2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง	21
2.6.2 วิธีการอัดแท่ง	21
2.6.3 เครื่องอัดแท่ง	22
2.6.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การดำเนินการวิจัย	
3.1 กรอบดำเนินการทดลอง	30
3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	31
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	31
3.4 การออกแบบวิจัย	32
3.4.1 การผสมโดยน้ำหนัก	32
3.4.2 การอัดแท่ง	33
3.4.3 การตากแห้ง	33
3.4.4 การเผาเป็นถ่าน	34
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง	35
3.5.1 การหาปริมาณความชื้น	35
3.5.2 การหาปริมาณเถ้า	36
3.5.3 การหาปริมาณสารระเหย	37
3.5.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว	38
3.5.5 การหาปริมาณกำมะถันรวม	38
3.5.6 การทดสอบค่าความหนาแน่น	39
3.5.7 การทดสอบการทนแรงอัด	39
3.5.8 การทดสอบค่าดัชนีการแตกกร่อน	39
3.5.9 การหาค่าความร้อน	40
3.6 การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน	43
3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง	44
3.8 การศึกษาต้นทุนในการผลิต	46
3.8.1 การกำหนดทุนในการผลิต	46
3.8.2 การพิจารณาจุดคุ้มทุนในการผลิต	47
3.8.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน	47

สารบัญ - (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการวิจัย	
4.1 คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงก่อนผสม	48
4.2 ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	49
4.2.1 ผลการอัดแท่ง	50
4.2.2 ค่าเฉลี่ยปัจจัยในการอัดแท่ง	51
4.2.3 ค่าเฉลี่ยการตากแห้งและการเผาเป็นถ่าน	55
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	58
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ต้มน้ำ	68
4.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต	76
4.5.1 ผลการกำหนดต้นทุนผลิต	76
4.5.2 ผลการพิจารณาจุดคุ้มทุน	77
4.5.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน	79
5. อภิปรายผล	
5.1 คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ	81
5.2 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	82
5.2.1 ความสามารถในการอัดขึ้นรูป	82
5.2.2 ปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง	83
5.2.3 การตากแห้งและการเผาเป็นถ่าน	84
5.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง	85
5.3.1 ปริมาณความชื้น	85
5.3.2 ปริมาณเถ้า	85
5.3.3 ปริมาณสารระเหย	85
5.3.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว	86
5.3.5 ปริมาณกำมะถันรวม	86

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.6 ความหนาแน่น	86
5.3.7 การทนแรงอัดแนวตั้ง	86
5.3.8 การทนแรงอัดแนวนอน	86
5.3.9 ดัชนีการแตกร่วน	87
5.3.10 การหาค่าความร้อน	87
5.3.11 การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน	87
5.3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา	87
5.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ	88
5.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติ	89
5.6 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต	91
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย	94
6.1.1 ผลการวิจัยคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง	94
6.1.2 ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	95
6.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง	96
6.1.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล	96
6.1.5 ผลการศึกษาด้านต้นทุนการผลิต	97
6.1.6 สรุปผล	99
6.2 ข้อเสนอแนะ	
6.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไป ใช้ประโยชน์	100
6.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้	100
6.2.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	101

สารบัญ (ต่อ) -

	หน้า
รายการอ้างอิง	102
ภาคผนวก	
ก ตารางผลการวิจัย	106
ข ตารางคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร	133
ค คุณสมบัติของถ่านไม้ไผ่เร็ว	143
ประวัติผู้วิจัย	144

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	สัดส่วนร้อยละภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมในผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ และส่งออกในปี 2523-2538
ตารางที่ 1.2	เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย ระหว่างปี 2531-2541
ตารางที่ 1.3	ผลิตภัณฑ์ไม้นำเข้า – ส่งออก พ.ศ. 2537-2541
ตารางที่ 1.4	เยื่อกระดาษและกระดาษที่ผลิตได้ นำเข้า – ส่งออก พ.ศ. 2537-2541
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติของแท่งฟืนซี่เลื่อย แท่งฟืนเกลบ และ ฟืนไม้แสม
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของฟืนและถ่านไม้ ยูคาลิปตัส
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของ บริษัท ปัญจพล พัลส์ อินดัสตรี จำกัด(มหาชน)
ตารางที่ 3.1	แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอน และเศษชิ้นไม้สับ
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอน และเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของกากตะกอนและ เศษชิ้นไม้สับก่อนผสม
ตารางที่ 4.3	ผลการอัดแท่งกากตะกอนกับเศษชิ้นไม้สับ
ตารางที่ 4.4	เฉลี่ยปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง
ตารางที่ 4.5	ผลต้นทุนคงที่ในการผลิต
ตารางที่ 4.6	ผลต้นทุนแปรผัน
ตารางที่ 4.7	ราคาค้นทุนในการผลิต

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.8	ต้นทุนการก่อตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งและ ค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน	79
ตารางที่ 5.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติและคุณภาพของถ่านอัดแท่ง กับฟืนและถ่านไม้	90
ตารางที่ 5.2	ต้นทุนการก่อตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และ ค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน	92
ตารางที่ 6.1	ค่าใช้จ่ายและข้อมูลด้านเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผา ต่อวัน	98
ตารางที่ 6.2	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็นปริมาณความร้อน	98
ตารางที่ ผ-1 ถึง ผ-17	คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง	106
ตารางที่ ผ-18	เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 ชนิด	123
ตารางที่ ผ-19	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน	125
ตารางที่ ผ-20 ถึง ผ-27	ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิ ในการต้มน้ำด้วยเชื้อเพลิงต่าง ๆ	125
ตารางที่ ผ-28 ถึง ผ-37	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	133
ตารางที่ ผ-38	คุณสมบัติของถ่านไม้โตเร็ว	143

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับตั้งแต่ประเทศไทยได้มีแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2504) และฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2510 – 2514) แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมได้เน้นการลงทุนในภาคเอกชน ใช้นโยบายการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าเป็นหลัก ใช้มาตรการคุ้มครองอุตสาหกรรม เช่น มาตรการด้านศุลกากร มาตรการภาษีเงินได้ ในช่วงระยะการดำเนินกิจการ 8 ปีแรก โดยรัฐจะลงทุนด้านปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ และสาธารณูปโภค และเมื่อเริ่มแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2515-2519) เป็นต้นมา นโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรมได้ปรับเปลี่ยนเป็นการทดแทนการนำเข้า ส่งเสริมการส่งออก สัดส่วนการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมต่อการส่งออกสินค้าไทย เพิ่มขึ้นจากน้อยกว่าร้อยละ 5 ในปี พ.ศ. 2504 เพิ่มขึ้นร้อยละ 82 ในปี พ.ศ. 2538 ในขณะที่การส่งออกของสินค้าการเกษตร ลดลงจากร้อยละ 83 เหลือเพียงร้อยละ 11 ในช่วงเวลาเดียวกัน ตาม ตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนร้อยละภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมในผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ และการส่งออกในปี 2523-2538

ปี	ผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ		การส่งออก	
	เกษตรกรรม	อุตสาหกรรม	เกษตรกรรม	อุตสาหกรรม
2523	23	22	49	31
2528	16	22	41	46
2533	14	28	17	75
2534	13	29	15	76
2535	13	30	15	77
2536	12	30	12	80
2537	11	31	11	82
2538	11	32	11	82

ที่มา : แผนแม่บทอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2540 – 2544)

จะเห็นได้ว่าภาคอุตสาหกรรมของไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และในอัตราที่สูงกว่า การขยายตัวของภาคเศรษฐกิจโดยรวม โดยมีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 11 ต่อปี ในช่วงปี 2523-2536 ในขณะที่ภาคเกษตรกรรม และภาคบริการขยายตัวในอัตราร้อยละ 4 และ 7 ต่อปี ตามลำดับ ในช่วงเวลาเดียวกัน (2)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอุตสาหกรรมไทย จากการแปรรูปอย่างง่าย ขั้นตอนการผลิตมีน้อย ได้ผลผลิตต่ำ ไปสู่การผลิตขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนมากขึ้น เพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ ด้วยการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพดี ปลอดภัยและมีต้นทุนต่ำสุด ทำให้ปริมาณมลพิษที่เกิดจากภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากการประเมินในปี 2537 มีภาคอุตสาหกรรมอันตรายประมาณ 1 ล้านตันเศษ เพิ่มขึ้นเป็น 3 ล้านตันในปี พ.ศ. 2543 ซึ่งปัจจุบันมีโรงงานกำจัดกากอุตสาหกรรมได้เพียงร้อยละ 10-15 ของกากอุตสาหกรรมอันตรายที่ขับออกมาเท่านั้น สภาพเช่นนี้ดูเหมือนว่าการขยายตัวภาคอุตสาหกรรมได้ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างแหล่งน้ำหลายแห่งมีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทั้งภาครัฐและภาคเอกชน จะต้องมีบทบาทที่ชัดเจนในการที่จะควบคุมกากอุตสาหกรรมดังกล่าว โดยเฉพาะกากของเสียอันตราย ให้เป็นความเสี่ยงในระดับที่ควบคุมได้มากขึ้น

การเร่งรัดพัฒนาเศรษฐกิจตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา เป็นการพัฒนาที่ไม่ได้คำนึงถึงต้นทุน และการจัดการด้านทรัพยากรธรรมชาติ ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลงเป็นลำดับ ในช่วง 2 ปีแรกของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535 - 2539) ป่าไม้ถูกทำลายปีละ 1 ล้านไร่ จากสถิติการป่าไม้ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2541 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าไม้ทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2531 มีจำนวน 143,803 ตารางกิโลเมตร ลดลงเหลือเพียง 129,722 ตารางกิโลเมตร ใน พ.ศ. 2541 หรือลดลงจากร้อยละ 28.03 เหลือร้อยละ 25.28 ของพื้นที่ประเทศไทย ทั้งนี้ปัญหามาจากหลายสาเหตุ เช่น การถางป่าเพื่อเป็นแหล่งทำกิน การตัดต้นไม้เพื่อนำไปใช้ในการอุปโภค-บริโภค การส่งออก เป็นต้น ประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์ป่าไม้เทียบกับปริมาณไม้ใช้ภายในประเทศ ในรูปพื้นที่ ลดลงจากร้อยละ 4.25 ในปี 2537 เหลือร้อยละ 0.36 ในปี 2541 และมีการใช้ในรูปแบบลดลงจากร้อยละ 3 ในปี 2537 เหลือร้อยละ 0.36 ในปี 2541 มีการนำเข้าฟืนและถ่านไม้ เฉลี่ยปีละ 199,680 และ 1,778,640 กิโลกรัม ตามลำดับ และมีการส่งออก ฟืนและถ่านไม้ เฉลี่ยปีละ 28,870 และ 7,155,120 กิโลกรัม ตามลำดับดังตารางที่ 1.2 และตารางที่ 1.3 ดังนั้น หากสามารถหาพลังงานชนิดอื่น ทดแทนฟืนและถ่านก็จะเป็นการลดการทำลายป่าไม้ได้อีกทางหนึ่ง (6)

ตารางที่ 1.2 เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย ระหว่างปี 2531 – 2541

ภาค	เนื้อที่ทั้งหมด	เนื้อที่ป่าสงวน	เนื้อที่ป่าไม้ ตร.กม.					
	ตร.กม.	ตร.กม.	2531	2532	2534	2536	2538	2541
เหนือ	169,644.29	111,964.78	80,402	80,222	77,143	75,231	73,886	73,057
ตะวันออก เฉียงเหนือ	168,954.34	55,333.40	23,693	23,586	21,799	21,473	21,265	20,984
กลาง	67,398.70	20,414.15	17,244	17,223	16,616	16,375	16,288	16,049
ใต้	70,715.19	28,183.15	14,630	14,600	13,449	12,808	12,455	12,125
ตะวันออก	36,502,500	14,475.91	7,834	7,786	7,691	7,634	8,000	7,990
รวม	513,115.02	230,109.39	143,803	143,417	136,598	133,521	131,485	129,722
ร้อยละ			28.03	27.95	26.64	26.02	25.62	25.28

ที่มา : กรมป่าไม้

ตารางที่ 1.3 ผลิตภัณฑ์ไม้นำเข้า – ส่งออก พ.ศ. 2537 – 2541

รายการ		หน่วย	2537		2538		2539	
			ปริมาณ	พันบาท	ปริมาณ	พันบาท	ปริมาณ	พันบาท
จีนไม้สับ	(1)	ตัน	272	2,698	0	0	4,014.4	3,763
Wood chip	(2)	ตัน	108,200	196,982	131,570	396,332	193,321.5	518,256
ฟืน	(1)	ตัน	549.8	3,107	252	3,057	14	509
Fuel wood	(2)	ตัน	15.7	280	0.97	51	18.5	236
	(3)	ตัน	125,497.5	-	109,620	-	107,372.5	-
ถ่านไม้	(1)	ตัน	22,449	3,107	19,205	41,522	25,581.6	57,293
Wood Charcoal	(2)	ตัน	10,400.5	87,619	6,904	70,713	8,782.4	77,407
	(3)	ตัน	20,374	-	15,096.8	-	14,428.8	-

ตารางที่ 1.3 ผลิตภัณฑ์ไม้นำเข้า – ส่งออก พ.ศ. 2537 – 2541 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	2540		2541		เฉลี่ยต่อปี	
		ปริมาณ	พันบาท	ปริมาณ	พันบาท	ปริมาณ	พันบาท
จีนไม้สับ (1)	ตัน	1,665	14	0	0	1,429.35	2,158.33
Wood chip (2)	ตัน	260,314.5	714,188	312,418	792,427	201,164.8	523,637
ฟืน (1)	ตัน	138.8	1,178	4,308	135	199.68	1,597.2
Fuel wood (2)	ตัน	33.9	620	75.3	607	28.87	358.8
	(3)	ตัน	-	3,117.5	-	69,991.5	-
ถ่านไม้ (1)	ตัน	14,948.4	32,485	6,750.7	11,804	17,786.94	29,242.2
Wood Charcoal (2)	ตัน	5,145	57,722	4,543.7	51,330	7,155.12	68,958.2
	(3)	ตัน	-	1,002	-	11,736.76	-

ที่มา : สถิติการป่าไม้ของประเทศไทยปี 2541 , กรมป่าไม้

หมายเหตุ : 1 = นำเข้า 2 = ส่งออก 3 = ผลิตได้ในประเทศไทย

ทั้งนี้ประเทศไทย มีโรงงานผลิตเชื้อกระดาษและกระดาษ 52 แห่ง (5) แยกได้ตามสถานที่ดังนี้

1. กรุงเทพมหานคร จำนวน 8 แห่ง
2. ภาคกลาง จำนวน 43 แห่ง
3. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 1 แห่ง

จากรายงานประจำปี 2541 ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ระบุว่าในปี 2540 ต่อเนื่องถึง 5 เดือนแรกของปี 2541 มีโครงการเชื้อกระดาษและกระดาษได้รับการส่งเสริมการลงทุนหลายโครงการ เป็นเงินลงทุนรวม 13,250 ล้านบาท ในปี 2540 อุตสาหกรรมเชื้อกระดาษมีกำลังการผลิตประมาณ 720,000 ตัน ในส่วนของกระดาษมีกำลังการผลิต 3.2 ล้านตัน แยกเป็นกระดาษคราฟท์ กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษแข็ง ประมาณ 56% ,27.5% และ 8% ตามลำดับ ใน ปี 2541 กำลังผลิตจะเพิ่มขึ้นอีก 295,000 ตัน จากการที่ราคาเชื้อกระดาษในตลาดโลกปรับตัวสูงขึ้น ประกอบค่าเงินบาทที่อ่อนตัวลง ทำให้โอกาสการส่งออกเพิ่มมากขึ้นด้วย อุตสาหกรรมเชื้อกระดาษและกระดาษจึงมีความแจ่มใสต่อไป การนำเข้าเชื้อกระดาษและกระดาษของประเทศไทยมีประมาณปีละ 392,813 และ 436,895 ตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4)

ตารางที่ 1.4 เชื้อกระดาษและกระดาษที่ผลิตได้ นำเข้า-ส่งออก พ.ศ. 2537 – 2541

รายการ	2537		2538		2539	
	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท
เชื้อกระดาษ						
- นำเข้า	389,451	5,406,297	416,897	9,122,794	415,810	6,835,633
- ส่งออก	56,889	771,097	99,383	1,910,472	131,508	1,331,523
- ผลิตได้	263,000	-	316,000	-	502,000	-
กระดาษ						
- นำเข้า	558,967	14,637,641	520,185	19,407,323	468,567	17,348,191
- ส่งออก	183,325	4,041,950	239,737	8,316,262	203,682	4,749,666
- ผลิตได้	1,697,000	-	1,969,000	-	2,037,000	-

ตารางที่ 1.4 เชื้อกระดาษและกระดาษที่ผลิตได้ นำเข้า-ส่งออก พ.ศ. 2537 – 2541 (ต่อ)

รายการ	2540		2541		เฉลี่ยต่อปี	
	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท
เชื้อกระดาษ						
- นำเข้า	414,151	6,595,202	327,760	7,030,776	392,813.8	6,998,140.4
- ส่งออก	102,718	1,374,564	217,078	3,059,862	121,515.2	1,689,503.6
- ผลิตได้	573,000	-	764,000	-	483,800	-
กระดาษ						
- นำเข้า	404,004	17,521,429	232,750	15,376,263	436,894.6	16,858,169.4
- ส่งออก	525,715	11,395,550	925,766	20,525,897	415,645	9,805,865
- ผลิตได้	2,271,000	-	2,367,000	-	2,068,200	-

ที่มา : สถิติการป่าไม้ของประเทศไทย พ.ศ. 2541

อุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษในประเทศไทย เป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ เป็นอุตสาหกรรมที่ส่งเสริม สนับสนุนให้ใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น ชานอ้อย ไม้ไผ่ และไม้เนื้อแข็งต่าง ๆ เพื่อให้วัตถุดิบเหล่านี้เกิดมูลค่าเพิ่ม และมีการจ้างแรงงานเพิ่มขึ้น ตลอดจนมีศักยภาพการผลิต จนสามารถผลิตเพื่อการส่งออกได้ แต่ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อกระดาษดังกล่าวต้องใช้ทรัพยากรและมีการเกิดจากขบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยคาดว่าแต่ละโรงงานจะมีกากมากกว่า 45% ของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (28) หากมีการรั่วไหลออกนอกโรงงานโดยไม่ผ่านการบำบัด จะส่งผลต่อสภาพแวดล้อมได้

โรงงานผลิตเชื้อกระดาษของ บริษัท ปัญจพล พัลส์อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) อำเภอ บางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีพื้นที่ 500 ไร่ มีกำลังการผลิตเชื้อกระดาษ 275 ตัน/วัน ใช้ ชี้นไม้สับยูคาลิปตัส ประมาณ 543 ตัน/วัน ทำให้เกิดเศษชี้นไม้สับประมาณ 27 ตัน/วัน และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 7.82 ตัน/วัน

กากตะกอนที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย มีการเกาะตัวเป็นแผ่นหนา ประมาณ 5 มิลลิเมตร สามารถปั้นเป็นรูปทรงได้ นั้นแสดงว่า สามารถนำกากตะกอน ไปอัดเป็นแท่งได้และสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานได้ด้วย เมื่อดักแห้งแล้ว นำไปผ่านตะแกรงร่อน พบว่าส่วนใหญ่ ร้อยละ 80 มีขนาด 100 mesh และเมื่อนำไปวิเคราะห์ คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงพบว่าให้ค่าความร้อนประมาณ 2,817 แคลอรี/กรัม ซึ่งสามารถนำกากตะกอนไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อีกทางหนึ่ง

ส่วนเศษชี้นไม้สับ เมื่อนำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ พบว่า มีขนาดตั้งแต่ 10-100 mesh โดยขนาด 50 mesh มีปริมาณมากที่สุด คือร้อยละ 34 ขนาดตั้งแต่ 50-100 mesh เมื่อรวมกันแล้วมีประมาณร้อยละ 67 ซึ่งสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ขนาดที่เหมาะสมของวัสดุในการนำไปอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง คือ ขนาดระหว่าง 48-100 mesh (ประทีป, 16)

ดังนั้น ผู้ศึกษาวิจัยจึงมีแนวความคิดว่าควรจะมีการศึกษาการนำกากตะกอนและ เศษชี้นไม้สับเป็นวัตถุดิบสำหรับอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิง อัดแท่ง แล้วหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง รวมทั้งการ ศึกษาความเหมาะสมทางด้านต่าง ๆ ด้วย

1.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ เป็นเชื้อเพลิงทดแทนด้วยการนำกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับ จากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงคุณสมบัติ รวมทั้งความเหมาะสมทางด้านการลงทุน

1.3 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของเศษชิ้นไม้สับที่ได้จากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ
- 2) เพื่อศึกษาหาส่วนผสมระหว่างกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับที่สามารถนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงได้
- 3) เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ส่วนผสมจากกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ เพื่อนำผลมาใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ทางด้านกระบวนการผลิตและอัตราผลตอบแทนด้านการลงทุน

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

เมื่อนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียผสมกับเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ มารวมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ แล้วอัดเป็นแท่งจะมีความสามารถเป็นเชื้อเพลิงได้

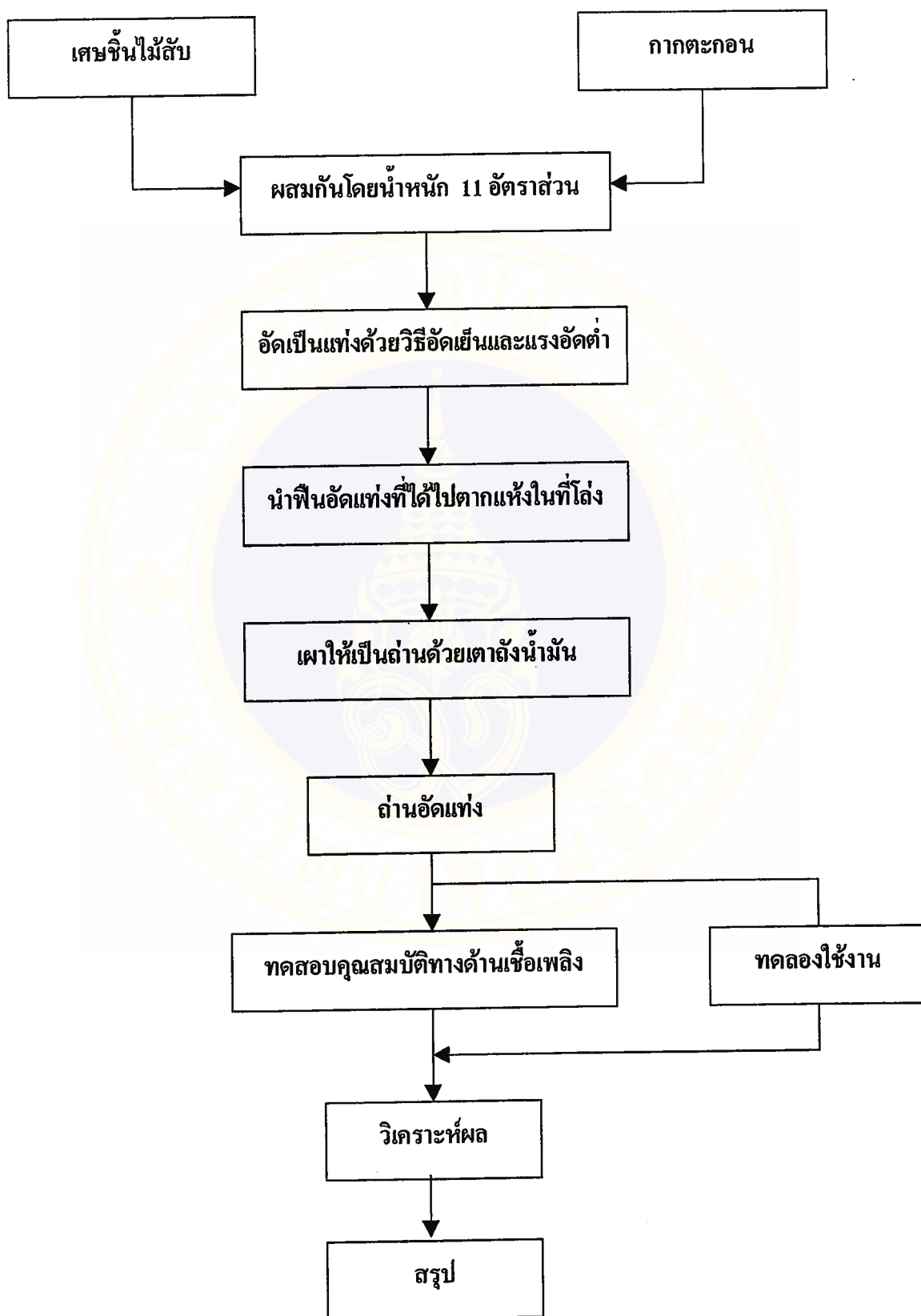
1.5 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับจากโรงงาน
- 2) ศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับจากโรงงาน โดยวิธีการอัดแบบไม่ใช้ความร้อนและแรงอัดต่ำด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว พร้อมทั้งศึกษาความสิ้นเปลืองการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอัด
- 3) ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งเปรียบเทียบกับกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนนำมาผสมกัน
- 4) ศึกษาด้านการเงินเพื่อหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการกำจัดกาก ทั้ง 2 ชนิด ของโรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

- 1) โรงงานผลิตเชื้อกระดาษ บริษัท ปัญพล พัลท์ อินค์สตรี จำกัด(มหาชน) อำเภอ
บางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- 2) ห้องปฏิบัติการทดลองฝ่ายวิเคราะห์วิจัยเชื้อเพลิงธรรมชาติ กองเชื้อเพลิง กรม
ทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม
- 3) ศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติและเชื้อเพลิงพลังงาน จังหวัด
ปทุมธานี กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม





1.7 นิยามศัพท์

1.7.1	กากตะกอน (Sludge)	หมายถึง	กากที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิต เชื้อกระดาษ
1.7.2	ชิ้นไม้สับ (Wood Chip)	หมายถึง	เศษไม้ที่เกิดจากการสับไม้ก่อนนำเข้าขบวนการผลิตมีขนาดความหนา 3 มม. กว้างและยาว 25 มม.
1.7.3	เศษชิ้นไม้สับ (Fine Wood Chip)	หมายถึง	เศษไม้ที่เกิดจากการร่อนชิ้นไม้สับมีขนาดเล็กกว่าชิ้นไม้สับ
1.7.4	เชื้อเพลิง	หมายถึง	การให้ความร้อนออกมาเมื่อเกิดการลุกไหม้โดยการทดสอบมาตรฐานของ American Society for Testing and Material (ASTM)
1.7.5	เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquetted Fuel)	หมายถึง	เชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการนำเศษชิ้นไม้สับผสมกับกากตะกอนอัดเป็นแท่ง
1.7.6	ความสามารถในการอัด	หมายถึง	ความสามารถในการอัดส่วนผสมผ่านออกมาจากกระบอกอัดได้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ยาว 500 มม.
1.7.7	ความสามารถในการขึ้นรูป	หมายถึง	ความสามารถในการคงรูปอยู่ได้ ของส่วนผสมหลังจากผ่านออกมาจากกระบอกอัด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ยาว 500 มม.
1.7.8	ลักษณะผิวเรียบ	หมายถึง	ลักษณะผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สม่ำเสมอ

1.7.9 ลักษณะผิวขรุขระ	หมายถึง	ลักษณะผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความแตกต่างกัน
1.7.10 พื้นอัดแท่ง	หมายถึง	เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ยังไม่ได้เผาให้เป็นถ่าน
1.7.11 ถ่านอัดแท่ง	หมายถึง	เชื้อเพลิงอัดแท่งที่เผาเป็นถ่าน มีขนาดตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรขึ้นไป
1.7.12 ส้นถ่าน	หมายถึง	พื้นที่ยังไม่ได้เป็นถ่าน
1.7.13 mesh	หมายถึง	จำนวนช่องของตะแกรงที่มีอยู่ในความยาว 1 นิ้ว ตะแกรงร่อนซึ่งมีเบอร์มาก ๆ แสดงว่าสามารถวัดขนาดวัสดุได้ละเอียด
1.7.14 C/N ratio	หมายถึง	อัตราส่วนของคาร์บอน/ไนโตรเจน ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์สาร หากค่า C/N มาก การย่อยสลายจะเป็นไปได้ช้า
1.7.15 ASTM	หมายถึง	American society for Testing and Material
1.7.16 การทดลองทางกล	หมายถึง	การวัดค่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งในด้านความหนาแน่นการทนแรงอัดตามแนวตั้งและแนวนอนและดัชนีการแตกร่วน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

ในบทนี้จะได้ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารั้วนี้โดยเรียงลำดับตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ ขบวนการผลิต ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ ของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เชื้อเพลิงอัดแท่งงานวิจัยเกี่ยวกับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.1 ลักษณะทั่วไปของไม้ยูคาลิปตัส

ไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ต่างประเทศมีมากกว่า 500 ชนิด โดยมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลียส่วนใหญ่ ประเทศไทยได้เริ่มนำไม้ยูคาลิปตัสชนิดต่างๆ มาปลูก ประมาณปี พ.ศ. 2493 แต่ได้มีการทดลองกันจริงๆ เมื่อประมาณปี พ.ศ.2507 แต่ที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ ยูคาลิปตัสคามาลดูลเลนซิส (*Eucalytus camaldulensis*) สามารถเจริญเติบโตได้ในแทบทุกสภาพ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง จึงนิยมปลูกกันมาก

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส สามารถเติบโตได้ในทุกสภาพของดินแทบทุกประเภท ตั้งแต่ในที่ริมน้ำ ที่ราบน้ำท่วมถึงบางระยะในรอบปี แม้แต่ดินที่เป็นทรายและมีความแห้งแล้งติดต่อกันเป็นเวลานาน พื้นที่ดินเลวที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 650 มม. ต่อปี รวมทั้งพื้นที่มีดินเค็ม แต่จะไม่ทนทานต่อดินที่มีหินปูนสูง

ลำต้น เป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 24-26 เมตร และอาจสูงถึง 50 เมตร ความโตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.9-2.1 เมตร หรืออาจโตมากกว่านี้รูปทรงสูง เปล่าตรง มีกิ่งก้านน้อย

ใบ เป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับกัน ลักษณะใบเป็นรูปหอก มีขนาด 2.5 – 12 x 0.3 - 0.8 นิ้ว ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนทั้งสองด้าน บางครั้งมีสีเทา ใบบาง ห้อยลง เส้นใบ มองเห็นได้ชัด

เปลือก มีลักษณะเรียบเป็นมัน มีสีเทาสลับสีขาวและน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง สลัดกันยาวตามลำต้น เปลือกนอกจะแตกออกเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้น เมื่อแห้ง และลอกออกได้ง่ายในขณะสดหลังจากการตัดฟัน เปลือกนอกหนาประมาณ 0.5 ซม.

เมล็ด ขนาดเล็กกว่า 1 มม. สีเหลือง เมล็ด 1 กรัม มีเมล็ดประมาณ 77 เมล็ด

ช่อดอก เกิดตรงระหว่างกิ่งกับใบ มีก้านดอกเรียวยาว และมีก้านย่อยแยกไปอีก ออกดอกเกือบตลอดปี ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นไม้ บางครั้งมีทั้งดอกตูม ดอกบาน ผลอ่อน และผลแก่ในกิ่งเดียวกัน

- ผล มีลักษณะครึ่งวงกลม หรือรูปถ้วย มีขนาด 0.2-0.3 X 0.2-0.3 นิ้ว ผิวนอกแข็ง เมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ เมื่อผลแก่ฝักจะแยกออก ทำให้เมล็ดที่อยู่ภายในร่วงหล่นออกมา

ลักษณะเนื้อไม้ มีแก่นสีน้ำตาล กระพี้สีน้ำตาลอ่อน กระพี้และแก่นสีแตกต่างกันได้ชัด ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูลินซิส ที่มีอายุมากขึ้นจะมีสีเข้มกว่าไม้อายุน้อย เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างละเอียด เส้นสน (Interlocked grain) บางครั้งบิดไปตามแนวลำต้น เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ในสภาพแห้งซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของไม้ เนื้อไม้แตกง่ายหลังจากตัดฟันตามแนวยาวขนานลำต้น

2.1.1 ประโยชน์ของไม้ยูคาลิปตัส

ยูคาลิปตัสเป็นพันธุ์ไม้ที่จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae จากจำนวนทั้งหมดที่ค้นพบแล้ว มีประมาณ 700 ชนิด และเกือบทั้งหมดเป็นพันธุ์ไม้พื้นเมืองของ ออสเตรเลียนอกจาก 2-3 ชนิดเท่านั้น ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศอื่น ได้แก่ *E. ceglupte* ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในประเทศปาปัวนิวกินี ดิมอร์ และอินโดนีเซีย ไม้ยูคาลิปตัสที่นิยมปลูกในเมืองไทยมี 2 พันธุ์ ถ้าปลูกในที่แห้งแล้งเป็นพันธุ์คามาลดูลินซิส (*camaldulensis*) ถ้าปลูกในที่ชุ่มชื้นเป็นพันธุ์ซาลิกนา (*saligna*)

ไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาปลูกเป็นสวนป่า เจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่น ในช่วง 1-2 ปีแรกสามารถปลูกพืชควบในพื้นที่สวนป่าไม้ยูคาลิปตัสแบบไร่ป่าผสมหรือวนเกษตรได้ เช่น ปลูกละหุ่ง เพือก ถั่วลิสง สับปะรด ข้าวโพด ข้าว หนุ่ย กุ้ง ฯลฯ ในระหว่างแถวของไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งจากการวิจัยของนักวิชาการพบว่า พืชควบที่ปลูกให้ผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ดี และไม้ยูคาลิปตัสไม่เป็นพิษเป็นภัยต่อพืชเกษตรที่ปลูกแต่อย่างใด

- ประโยชน์ทางตรง

ยูคาลิปตัสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางตรงได้หลายอย่างดังนี้

ก. ทำไม้ใช้สอย เฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน และส่วนประกอบของอาคารบ้านเรือน

ข. ท่อนยูคาลิปตัส ใช้ทำไม้ใช้สอยในครัวเรือนต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น ทำรั้ว ทำคอกปลสุตว์ ทำเสา ทำเฟอร์นิเจอร์ ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ ไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาคารบ้านเรือนได้ แต่ควรจะได้ทำการอาบน้ำยารักษาเนื้อไม้ไว้ก่อนก็จะยืดอายุการใช้งานได้นาน

ค. การทดลองไม้พืนยูคาลิปตัสให้พลังงานความร้อน 4,800 แคลอรีต่อกรัม ส่วนถ่านไม้ยูคาลิปตัสให้พลังงานความร้อน 7,400 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งให้ความร้อนใกล้เคียงกับถ่านไม้ชนิดอื่น

ง. ทำขึ้นไม้สับ ไม้ยูคาลิปตัสเมื่อนำมาแปรรูปและสับทำขึ้นไม้สับสามารถนำไปผลิตทำแผ่นขึ้นไม้อัดแผ่นใยไม้อัด แผ่นปาร์ติเกิล และแผ่นไม้อัดซีเมนต์ใช้ในงานทั่วไป นอกจากนี้ได้มีโรงงานผลิตขึ้นไม้สับจากต้นยูคาลิปตัส เพื่อนำส่งไปจำหน่ายให้กับโรงงานเยื่อกระดาษในต่างประเทศ เช่น เกาหลี ไต้หวันและญี่ปุ่น เป็นต้น ซึ่งมีความต้องการสูงมากไม้พ่อนยูคาลิปตัส 2.2 ต้นนำมาผลิตเป็นขึ้นไม้สับได้ 1 ต้น ราคาขึ้นไม้สับประมาณตันละ 2,200 บาท ไม้พ่อนยูคาลิปตัส 4.5 ต้นผลิตเยื่อไม้ได้ 1 ต้น เยื่อไม้ให้สารพวกเซลลูโลส ซึ่งนำไปใช้ทำเส้นใยเรยอนและทำผ้า

จ. ทำกระดาษ จากการประเมินเชื้อไม้ยูคาลิปตัส 1 ต้น ผลิตเยื่อกระดาษได้ 1 ต้น เชื้อไม้ยูคาลิปตัสมีคุณสมบัติเด่น คือ มีความฟูสูงและมีความทึบแสง ประกอบกับไฟเบอร์มีความแข็งแรงเหมาะต่อการใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียวประเภทต่าง ๆ ได้ ทำใยเรยอนและผ้า เชื้อไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาผลิตเส้นใยเรยอน ได้มูลค่าเพิ่มขึ้น

สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดว่าคุณสมบัติและลักษณะของเศษขึ้นไม้สับ สามารถจะนำมาอัดเพื่อใช้ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสสามารถให้ความร้อนได้สูงและเศษขึ้นไม้สับมีขนาดที่สามารถอัดเป็นแท่งได้

2.2 กระบวนการผลิตของโรงงาน

(1) กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษของโรงงานแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

พ่อนไม้ยูคาลิปตัสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3-10 นิ้ว ยาว 1.5-2.5 ม. จากลานกองเก็บถูกส่งเข้าเครื่องปอกเปลือก แล้วจึงนำเข้าเครื่องสับ ได้ขึ้นไม้สับ (Wood Chip) ถูกส่งเข้าตะแกรงคัดขนาด เพื่อให้ได้ขนาดมาตรฐานหนา 3 มม. กว้างและยาวประมาณ 25 มม. ขึ้นไม้สับที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการจะส่งไปเข้าเครื่องอีกครั้ง ส่วนไม้สับที่ได้ขนาดแล้วจะถูกส่งไปยังกระบวนการต่อไป การสับไม้ทำให้เกิดเศษไม้ประมาณ 27 ต้น/วัน

2) การต้มเชื้อ (Cooking)

ขึ้นไม้สับจะถูกส่งเข้าสู่หม้อต้มเชื้อพร้อมกับเติมสารเคมีที่เรียกว่าน้ำขาว (White Liquor) ซึ่งประกอบด้วย โซดาไฟ (NaOH) และ โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) การต้มเชื้อจะกระทำภายใต้

อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส และความดัน 7 บาร์ เพื่อละลายลิกนินและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เยื่อออก การต้มเยื่อใช้เวลาประมาณ 60-70 นาที จะได้เยื่อซึ่งแขวนลอยอยู่ในสารละลายที่เรียกว่าน้ำดำ (Black Liquor) ในน้ำดำจึงประกอบด้วยสารเคมี และลิกนินละลายอยู่ น้ำดำจากขั้นตอนนี้น้ำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยาเคมีกลับคืน (Chemical Recovery) ส่วนเยื่อจะถูกส่งเข้ากระบวนการต่อไป

3) การบดเยื่อ (Refiner) และแยกเยื่อ (Screening)

เยื่อที่ได้จากการต้มเยื่อจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องบดเยื่อ (Refiner) เพื่อให้เยื่อแตกตัวจากชิ้นไม้มากยิ่งขึ้น และเพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อ จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการต่อไป ส่วนเยื่อที่ยังติดกับชิ้นไม้จะถูกส่งไปยัง Reject Refiner เพื่อบดเยื่อใหม่แล้วจึงส่งกลับมาเพื่อแยกเยื่ออีกครั้ง

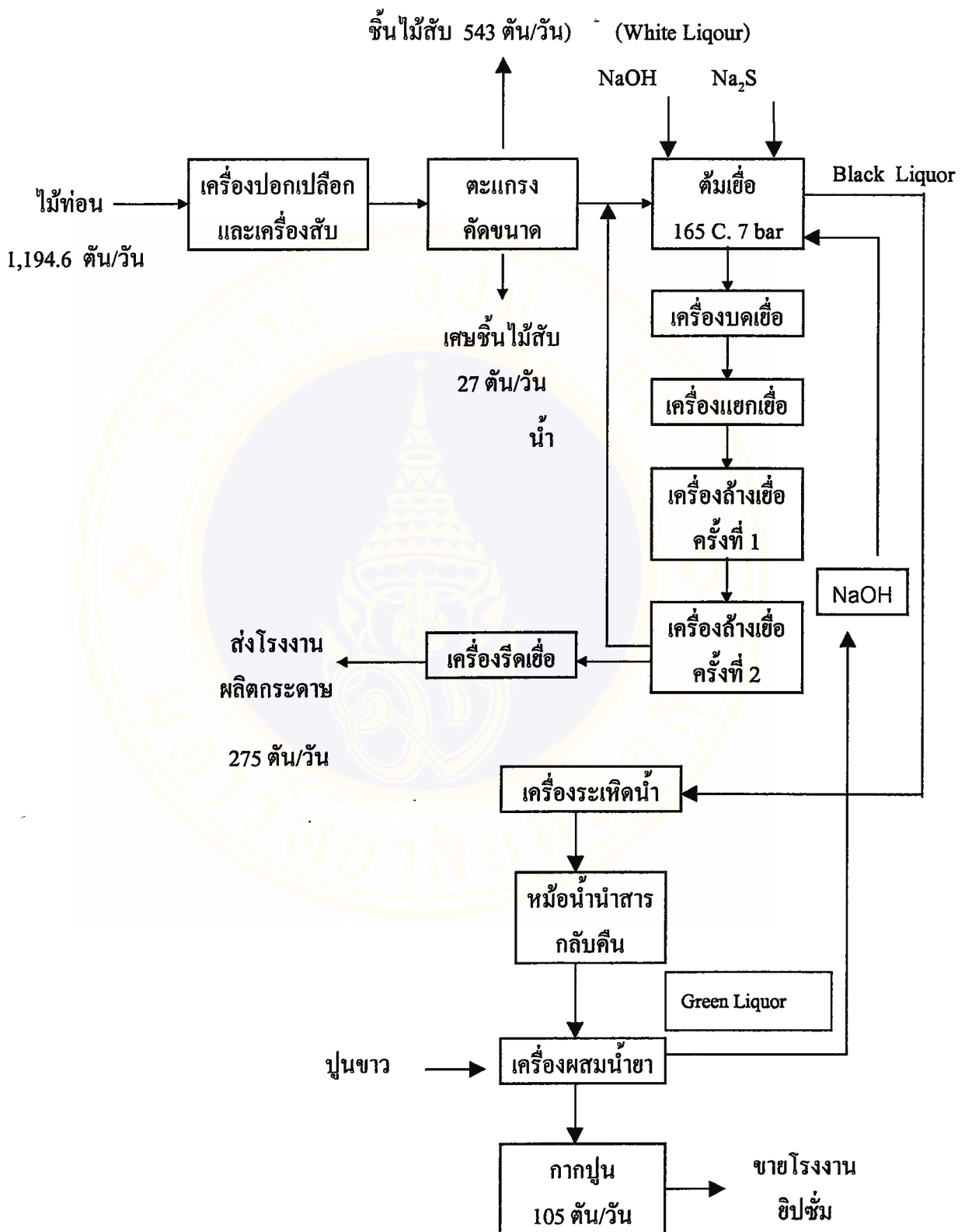
4) การล้างเยื่อ (Washing)

เยื่อที่ได้จากการแยกเยื่อจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องล้างเยื่อ (Washer) เพื่อล้างสารเคมีที่ติดมากับเยื่อออก แล้วจึงส่งเยื่อไปล้างอีกครั้ง น้ำล้างเยื่อครั้งที่สองนี้ส่งกลับไปใช้ในการต้มเยื่อ ส่วนเยื่อจะถูกส่งเข้าไปรีดเอาน้ำออกจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ก่อนส่งไปยังโรงงานผลิตกระดาษ ต่อไป

(2) กระบวนการผลิตน้ำยาเคมีกลับคืน.

น้ำดำ (Black Liquor) จากกระบวนการต้มเยื่อ ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 14 จะถูกส่งเข้าสู่ Evaporation Plant เพื่อให้ น้ำดำมีความเข้มข้นมากขึ้นจนมีความเข้มข้นร้อยละ 70 แล้วจึงเติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อชดเชยโซเดียม (Na) และซัลเฟอร์ (S) ที่สูญเสียไปก่อนส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาของ Recover Boiler จากการเผาน้ำดำจะได้เถ้าที่เหลือจากการเผา (Smelt) ซึ่งประกอบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)

เมื่อนำ Smelt ไปละลายน้ำซึ่งใช้ล้ากากปูนหรือ Lime Mud แล้ว (เรียกว่า Weak Wash) จะได้น้ำยาสีเขียว (Green Liquor) แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ก็จะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกากปูน (Lime Mud) ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นองค์ประกอบหลัก กากปูนนี้จะขายให้กับโรงงานผลิตซิเมนต์ซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ได้จะนำกลับมาใช้ในการต้มเยื่อ



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการผลิตเชื้อกระดาษของโรงงานบริษัท ปิณทุพล พัลท์ อินค์สตรี้ จำกัด (มหาชน)

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เพื่อรองรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ 21,000 ลบ.ม./วัน

น้ำเสียนี้ จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยผ่านตะแกรง (Screen) เพื่อดักสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่จากน้ำเสีย

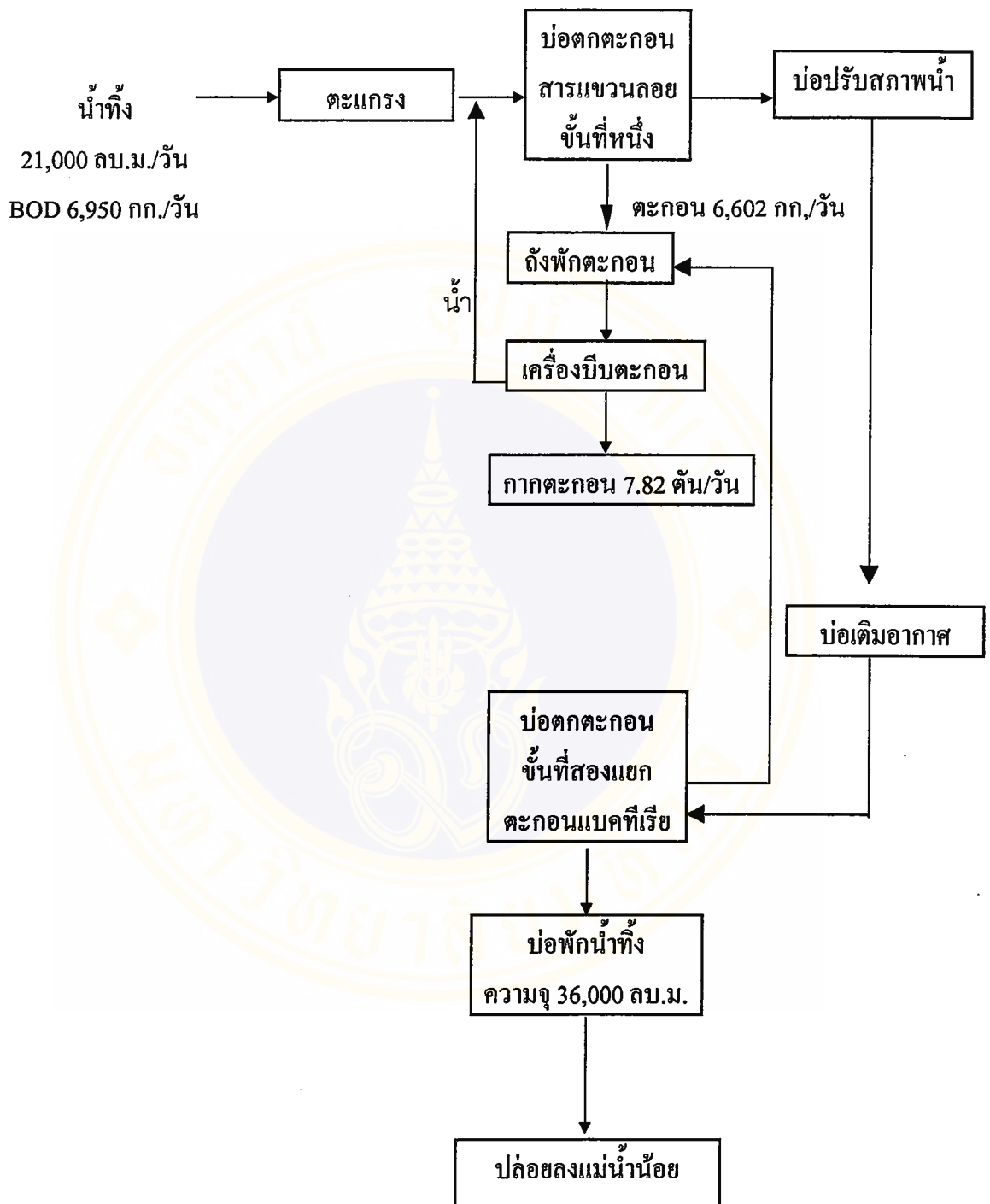
- น้ำเสียที่ผ่านตะแกรงแล้วจะผ่านเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่หนึ่ง (Primary Clarifier) เพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียในขั้นหนึ่งก่อน ตะกอนที่ได้จะสูบไปยังถังพักตะกอน (Sludge Tank)

- น้ำเสียจากบ่อตกตะกอนขั้นที่หนึ่ง ผ่านเข้าสู่บ่อปรับสภาพน้ำ (Equalizing Tank) เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้มีคุณสมบัติและอัตราการไหลสม่ำเสมอ

- น้ำเสียจากบ่อปรับสภาพน้ำจะผ่านเข้าสู่บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) ซึ่งติดตั้งเครื่องเติมอากาศ (Aerator) เพื่อเติมอากาศให้แบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

- น้ำเสียจากบ่อเติมอากาศจะผ่านเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำเสีย โดยตะกอนจะตกลงสู่ด้านล่างน้ำใสจะอยู่ด้านบนและไหลเข้าสู่บ่อพักน้ำทิ้ง ก่อนระบายลงสู่แม่น้ำแควน้อยต่อไป

- ตะกอนที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นที่หนึ่งและขั้นที่สองจะถูกสูบไปยังถังพักตะกอน (Sludge Tank) แล้วจึงสูบตะกอนไปยังเครื่องบีบตะกอน (Belt Filter Press) เพื่อกำจัดน้ำออกจากตะกอนแล้วนำตะกอนไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มไอน้ำให้กำลังงาน โดยมีกากตะกอนประมาณ 7.82 ตัน/วัน



แผนภูมิที่ 2.2 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ของ บริษัท ปัญจพล
พัลล์ อินดัสตรี จำกัด (มหาชน)

2.4 กากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ของโรงงานเยื่อกระดาษของบริษัทปญจพล พัลท์ อินดัสตรี จำกัด (มหาชน)

กากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมี 3 ประเภท

1. เศษชิ้นไม้สับที่เกิดจากการเตรียมวัตถุดิบ มีประมาณ 27 ตัน/วัน นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นผงค่อนข้างละเอียด
2. กากปุนจากกระบวนการผลิตน้ำยากลับคืนประมาณ 105 ตัน/วัน นำไปขายให้โรงงานผลิตชิบซัม
3. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ประมาณ 7.82 ตัน/วัน นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำและไปถมที่ว่างบริเวณโรงงาน มีลักษณะเป็นผงเกาะตัวกันเป็นแผ่นหนา ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานได้ดี

สรุปว่าจากการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยมีแนวความคิดว่า กากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับมีปริมาณมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบอัดแท่งได้ โดยสามารถใช้กากตะกอนร้อยละ 21.3 และเศษชิ้นไม้สับร้อยละ 6.2 ของวัสดุแต่ละชนิดในแต่ละวัน

2.5 เชื้อเพลิง (Fuel)

เชื้อเพลิง คือ วัสดุใด ๆ ก็ตามเมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจน จะเกิดการลุกไหม้แล้วให้พลังงานความร้อนออกมา จะมากหรือน้อยแตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งตามสภาพ เมื่ออุณหภูมิปกติแล้วออกเป็น 3 ชนิด

1. เชื้อเพลิงแก๊ส คือ เชื้อเพลิงที่มีสภาพเป็นแก๊สเมื่ออุณหภูมิปกติ ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ และแก๊สอื่น ๆ ที่ได้จากการรวมวิธีในการผลิต (Producer Gas)
2. เชื้อเพลิงเหลว คือ เชื้อเพลิงที่มีสภาพเป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิปกติ ได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ น้ำมันแร่
3. เชื้อเพลิงแข็ง คือ เชื้อเพลิงที่มีสภาพเป็นของแข็งเมื่ออุณหภูมิปกติ ได้แก่ ถ่านไม้ เศษวัชพืชต่าง ๆ

2.6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาใช้ทดแทนไม้ฟืนและถ่าน วัสดุเหลือใช้พวกชีวมวลจากพืช ไม้ หรือของเหลือทิ้งจากการเกษตรสามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าด้วย ขบวนการอัดแท่ง (Densification) มีความหนาแน่นสูง

เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่างๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาณมากไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา เมื่อนำมาอัดแท่งแล้วจะมีปริมาตรลดลงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ $1/3$ ของถ่านหินโดยน้ำหนัก และ $1/4$ โดยปริมาตร แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น $2/3$ ของถ่านหินโดยน้ำหนัก และเกือบ $3/4$ โดยปริมาตร (ประทีป, 16)

ได้มีการศึกษานำชี้เลื่อยมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็งพบว่ามิช้อได้เปรียบกว่า เชื้อเพลิงจากไม้ 5 ประการ คือ

1. เป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนของวัสดุต่อหน่วยปริมาตร
2. แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้ และการขนส่ง
3. แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีขนาดและคุณภาพเหมือนกัน
4. เป็นวิธีการช่วยแก้ปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง
5. เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืน

จากการศึกษาของ Ago 1990 (16) พบข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

- (1) มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-60 มิลลิเมตร และยาว 50-150 มิลลิเมตร
- (2) มีคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนได้
- (3) ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากไม่มีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และซีเลื้อยปล่อยออกมา จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง
- (4) มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
- (5) สะดวกต่อการเก็บและการนำมาใช้งาน

อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดแท่งก็ยังมีข้อเสีย กล่าวคือ (Bhattachary และคณะ, 1988) การอัดแท่งใช้แรงอัดสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในขบวนการผลิต เป็นเหตุให้กระบอกอัดและสกรูลึกหรือได้ง่ายจากการขัดสี ดังนั้นการลงทุนจึงสูง

(1) คุณสมบัติการเผาไหม้ยังไม่เป็นที่น่าต้องการ เช่น การลุกไหม้ไม่ดี จุดติดไฟยากและมีควันมาก

(2) เชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อถูกน้ำหรืออากาศที่มีความชื้นสูงมักจะแตกร่วน

2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุเหลือทิ้งประเภทลิกโน-เซลลูโลส สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เปลือกถั่ว ขุยมะพร้าว ผักตบชวาเป็นต้น ซึ่งปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นผลพลอยได้จากโรงสีข้าว โรงเลื่อย และโรงงานน้ำตาล

วัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลส ส่วนใหญ่ได้จากพืช ซึ่งในวัสดุพืชแต่ละชนิดประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายอย่าง โดยมีสารประกอบอินทรีย์เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรต และลิกนิน ประมาณ 50% ของคาร์โบไฮเดรตในพืชจัดเป็นเซลลูโลส ส่วนลิกนิน เป็นสารประกอบฟีนอล (Phenolic Substances) มีอยู่ 20-30% สำหรับเนื้อไม้ นั้น ประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ มากมายที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) สารพิเศษ (Extractive) และสารส่วนน้อย (Minor Constituent) โดยที่เซลลูโลสจัดเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดของเนื้อไม้ ประมาณ 50% โดยมีลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลส ประมาณ 23-33% โดยมีวอลโนไม้น้ำมัน และ 16-25% โดยมีวอลโนไม้น้ำมันแข็ง ในขณะที่สารพิเศษเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดมีประมาณ 5-30% โดยมีวอล ซึ่งได้แก่ พวกน้ำมันหอม ขาง ไขมัน แป้ง เป็นต้น ส่วนสารส่วนน้อยจะมีประมาณ 0.1-3% โดยมีวอล ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่น อันได้แก่ สารประกอบพวก แคลเซียม โปแตสเซียม ฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น

2.6.2 วิธีการอัดแท่ง

การอัดก้อนวัสดุต่าง ๆ นั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

- การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย เหมาะสำหรับวัสดุที่มีสารลิกโน-เซลลูโลส เช่น เศษ ไม้ แกลบ ขี้เลื่อย
- การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน แยกได้ 2 แบบ คือ แบบใช้ตัวประสาน และไม่ใช้ตัวประสาน

2.6.2.1 การอัดร้อน และใช้แรงอัดสูง (Hot and High Pressure Densification)

เป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวาง ปัจจัยที่มีผลคือการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ประทีป,16) ได้แก่

- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6-12%
- ขนาดของวัตถุดิบ (Particle Size) ขนาดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 48-100 Mesh ขนาดยิ่งละเอียดพื้นที่ผิวในการยึดตัวมาก ให้การอัดแท่งสะดวก
- แรงดัน (Pressure) ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้
- อุณหภูมิ (Temperater) วัสดุที่ใช้ในการอัดแท่งก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องอัด หากทำให้ร้อน ที่ 200-225 องศาเซลเซียส จะทำให้ลดแรงดันของ 2 เท่า

2.6.2.2 การอัดเย็น และใช้แรงอัดต่ำ (Cold and Low Pressure Densification)

- แบบใช้ตัวประสาน
- แบบไม่ใช้ตัวประสาน ใช้กับวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อย หรือ ผ่านการหมักแล้วเท่านั้น และมีความชื้น 50-60 %

2.6.3 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่ง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.6.3.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) สามารถอัดได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่มีปัญหาเรื่องการขัดสีของกระบอกสูบและการแตกของลูกสูบ

2.6.3.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- แบบเกลียวรูปกรวย (Conical Serew Press) สามารถอัดได้ 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 8-10%
- แบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press)สามารถอัดได้ 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้น 25 %
- แบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อน (Screw Press with heated die) อุณหภูมิขดลวด 200-350 องศาเซลเซียส สามารถอัดได้ 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้นวัสดุ 8-12%

2.6.3.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าใช้เครื่องอัดอื่น และได้ความหนาแน่นน้อย จึงเหมาะกับการอัดที่ใช้ตัวประสานเครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing Press) ประกอบด้วยพิมพ์ (Matrix)และลูกกลิ้ง (Roller)ซึ่ง

แรงเสียดสีของฟิมพ์และลูกกลิ้งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นและอัดวัสดุผ่านฟิมพ์ ปกติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอัดขนาด 5-15 เซนติเมตร ยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร (10)

2.6.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้องค์ประกอบสำคัญเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ (Lowry, 1963; Forest Product Research Division, 1984 ประทีป, 16) คือ

- (1) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงและทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย
- (2) ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา แคลเซียม ออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น
- (3) สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณสารระเหย คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน
- (4) คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่ง หลังจากที่เราเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส
- (5) กำมะถันรวม (Total Sulfur)
- (6) ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) ค่าความร้อนของการสันดาปจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูง แต่มีสารที่ระเหยได้และปริมาณเถ้าอยู่ต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนนั้น ถ่านที่ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุด แต่จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีของถ่านทางด้านอื่น ๆ ด้วย (กองวิจัยผลิตผลป่าไม้, 2526) คือ

- (1) การแตกปะทุขณะติดไฟ ถ่านที่แตกปะทุขณะติดไฟจะเป็นที่รังเกียจของผู้ใช้เป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้น ถ่านที่มีคุณภาพดีจะไม่มีการแตกปะทุเลย หรือมีการแตกปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงแรกที่ติดไฟ

- (2) น้ำหนักถ่าน ถ่านที่มีน้ำหนักจะถูกไหม้ให้ความร้อนแรงได้นาน

(4) คว้น ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีคว้นและกลั่นนุในขณะถูกลไฟไหม้

(5) ความแข็งและการป่นของถ่าน ถ่านที่มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือป่นเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน การขนส่ง และการเก็บรักษา

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ของแท่งเชื้อเพลิงอัดแข็งจากวัสดุเหลือใช้เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของฟืนไม้แสม ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการพลังงาน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2535) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 พบว่าแท่งฟืนขี้เลื่อยมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับฟืนไม้แสม โดยที่ค่าความร้อนของแท่งฟืนขี้เลื่อยมีค่าสูงถึง 4,820 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ขณะที่ฟืนไม้แสมมีค่าความร้อน 4,390 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ส่วนแท่งฟืนแกลบมีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูง ทำให้ค่าความร้อนต่ำกว่าแท่งฟืนขี้เลื่อยและฟืนไม้แสม แต่ค่าความหนาแน่นของแท่งฟืนขี้เลื่อยและแท่งฟืนแกลบสูงกว่าความหนาแน่นของฟืนไม้แสม จึงทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้หรือการทนทานในการติดไฟได้นานกว่า ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแท่งฟืนขี้เลื่อย แท่งฟืนแกลบ และฟืนไม้แสม

คุณสมบัติ	แท่งฟืนขี้เลื่อย	แท่งฟืนแกลบ	ฟืนไม้แสม
ความชื้น (%)	5.7	5.9	8.0
ถ่านคงตัว (%)	24.9	20.4	22.8
สารระเหย (%)	72.5	62.1	73.3
เถ้า (%)	2.6	17.5	3.9
ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4,820	3,900	4,390
ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	1,257	1,325	810
ระยะเวลาการถูกลไฟไหม้ (ชั่วโมง)	40	3.0	1.7

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของฟืนและถ่านจากขี้เลื่อย แกลบ และไม้(ต่อ)

คุณสมบัติ	ถ่าน			
	ขี้เลื่อย	แกลบ	ไม้	ไม้ยูคาลิปตัส*
ความชื้น %	3.5	2.2	9.4	3.92**
ถ่านคงตัว %	83.6	59.8	84.6	79.8
สารระเหย	10.2	6.3	10.0	16.7
เถ้า %	6.2	33.9	5.4	3.5
ค่าความร้อน , กิโลแคลอรีต่อ กิโลกรัม	7,530	4,820	7,450	7,350
ความหนาแน่น , กรัมต่อลูก บาศก์เซนติเมตร				0.42
ระยะเวลาในการลุกไหม้,ชม.	2.0	3.0	1.2	

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ,2535

* ศูนย์วิจัยการผลิตถ่านพื้แค จ.สระบุรี 2541 ตามตารางที่ ผ-38

** ประทีป ปิ่นท้วม , 2539 (16)

นารา (2524) พบว่าวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งนี้มาจากโรงงานต่างๆ ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เปลือกถั่ว ขุยมะพร้าว ใบไม้แห้ง เป็นต้น โดยนำมาผึ่งแดดให้แห้งประมาณ 1-2 แดด มีความชื้นประมาณ 10% บดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอัดด้วยเครื่องอัดระบบใช้ความร้อนใช้เวลาอัดประมาณ 1 ท่อน/นาที สามารถอัดได้ 500 ท่อน/วัน (ปฏิบัติงานวันละ 8 ชั่วโมง) เชื้อเพลิงที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร น้ำหนักโดยเฉลี่ย 1.3 กิโลกรัม/ท่อนเชื้อเพลิงที่ได้ใช้ทนกว่าฟืนไม้ เพราะมีความหนาแน่นสูงกว่าและสามารถนำไปเผาเป็นถ่านซึ่งให้ความร้อนสูงกว่าถ่านไม้ทั่วไป

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องการอัดเชื้อเพลิงแข็งเป็นก้อน โดยศึกษาการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมและการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3 ชนิดคือแกลบ ขี้เลื่อย และขานอ้อย โดยนำมาอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 57-1070 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และใช้ตัวเชื่อมประสาน ได้แก่ จีพี และ แป้งเปียก

พบว่าทั้งขี้เลื่อยและขานอ้อยสามารถนำมาอัดให้ติดกันเป็นก้อนได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน ส่วนแกลบต้องใช้ตัวประสาน และ/หรือผสมกับขี้เลื่อย หรือขานอ้อย จึงจะติดกันเป็นก้อนได้ หลังจากเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกอย่างน้อย 2 เดือน แล้วนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงและคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนัก ร้อยละที่แตก่วน ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณกำมะถัน ค่าความร้อนและคุณสมบัติในการเผาไหม้ไฟ และการให้ความร้อนเมื่อเทียบกับถ่านไม้ พบว่าก้อนเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับขานอ้อยมีการแตก่วนน้อยที่สุด (ร้อยละ 1.53 โดยน้ำหนัก) และขี้เลื่อยมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด (ร้อยละ 6.19 โดยน้ำหนัก) สำหรับคุณสมบัติในการเผาไหม้นั้น ก้อนเชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้และมีควันมากเมื่อเริ่มลุกไหม้ (กัญจนา และ เพียรพรศ, 2524 อ้างตามประทีป, 16)

อนุชิต กิจสวัสดิ์ (2524) ได้ทำการศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขังข้าวโพดเพื่อใช้กับเตาเศรษฐกิจแบบของนายหล้า ด้วยการนำขังโพดมาบดให้ละเอียดเท่ากับขี้เลื่อยแล้วผสมกับกาวเป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:1 นำไปอัดลงในกระป๋องสี (ขนาด 1 แกลลอน) แล้วตากให้แห้ง จะได้ก้อนเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติดังนี้

- ความหนาแน่น 0.45-0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ความชื้น , ร้อยละ 10.5-10.7
- ปริมาณเถ้า ร้อยละ 2.7
- ค่าความร้อน 4770 แคลอรีต่อกรัม

เมื่อนำเชื้อเพลิงแข็งไปใช้ในเตาเศรษฐกิจของนายหล้า ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ภาชนะได้รับถึงร้อยละ 30 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาถ่านหรือเตาอั้งโล่เกือบ 4 เท่า

อาทิตย์ (2532) ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ในอัตราส่วนต่างๆ คือ ผักตบชวล้วน(100:0), 90:10, 80:20, 70:30, 50:50, 30:70, 20:80 และ 10:90 (โดยปริมาตร) ใช้แป้งเปียกเป็นตัวเชื่อมประสาน พบว่า เมื่อปริมาณส่วนผสมของผักตบชวามากขึ้น ทำให้ค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมีแนวโน้มลดลง เชื้อเพลิงชีวที่ผลิตจากผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ ที่อัตราส่วน 10:90 ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 4,194 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวา : ถ่านลิกไนท์ที่ 20:80, 50:50, 30:70, 70:30, 80:20, 90:10 และผักตบชวล้วน (100:0) มีค่าความร้อนเรียงตามลำดับคือที่ 4,108, 3,853, 3,847, 3,754, 3,554, 3,402 และ 3,234 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีว ปรากฏว่าเชื้อเพลิงชีวอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวา : ถ่านลิกไนท์ที่ 10:90 มีประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

ร้อนสูงที่สุด คือ ร้อยละ 32.42 อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวา : ถ่านลิกไนท์ที่ 20:80, 30:70, 50:50, 70:30, 80:20, 90:10 และผักตบชวาล้วน (100:0) มีประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน ร้อยละ 32.02, 31.81, 31.04, 28.55, 27.57, 26.45 และ 22.88 ตามลำดับ

ธงชัย และมัญชุรี (2534) ได้ศึกษาการใช้เศษวัสดุพืชเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า ผักตบชวาและวัสดุที่มีผักตบชวาเป็นส่วนผสมนั้น สามารถอัดเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวเชื่อมประสาน ทั้งนี้เพราะผักตบชวาจัดเป็นพืชที่มียางเหนียว (Sticky Material) ประเภทลิกนินอยู่แสดงให้เห็นว่าผักตบชวาสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานได้

มงคล ไช้มุกต์ (2535) ได้ศึกษาการทำฟืนมาใช้ในการเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า สามารถนำฟืนมาสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วอัดเป็นก้อนโดยวิธีอัดเปียกได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านแต่สูงกว่าไม้ฟืน

พันธุ์ประทีป ปิ่นท้วม (2538) ได้ศึกษาการนำขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในการเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนได้ มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับฟืนไม้ยูคาลิปตัส โดยการผสมผักตบชวากับขี้เลื่อยในสัดส่วน 1:50, 1:40, 1:20, 1:10, 1:7, 1:2 และ 1:1 (โดยน้ำหนัก) และการอัดร้อนจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระหว่างการอัดมากกว่าการอัดเย็น 2-3 เท่า ดังนี้

- การอัดเย็น เฉลี่ย 0.0532 kw.h/kg
- การอัดร้อน เฉลี่ย 0.1428 kw.h/kg

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของฟืนและถ่าน ไม้ยูคาลิปตัส

คุณสมบัติ	ฟืน ไม้ยูคาลิปตัส	ถ่าน ไม้ยูคาลิปตัส
ความชื้น (%)	7.13	3.92
เถ้า (%)	4.41	1.12
สารระเหย (%)	67.44	25.97
คาร์บอนคงตัว (%)	21.02	68.99
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	4,563.5	7,689.6
กำมะถัน (%)	0.31	-

ที่มา : ประทีป ปิ่นท้วม (16)

บริษัท ปัญจพล พัลส์ อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยส่งตัวอย่างกากตะกอนไปวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่า กากตะกอนให้ค่าความร้อนประมาณ 2,817 แคลอรี/กรัม ความชื้นร้อยละ 77.3 และเถ้าร้อยละ 37.4 ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ของบริษัท ปัญจพล พัลส์ อินดัสตรี จำกัด

รายการ	จำนวน	ค่ากำหนดตามประกาศ กระทรวง อุตสาหกรรม
- ความชื้น ร้อยละ	77.3	
- เถ้า ร้อยละ	37.4	
- ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม	2,817	
- ไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ	0.90	
- ฟอสเฟต ทั้งหมด ร้อยละ	0.45	
- โปแตชที่ละลายน้ำ ร้อยละ	0.03	
- สารมลพิษในน้ำสกัด		
- อาร์เซนิก (As) mg/l	0.003	0.5
-ปรอท (Hg) mg/l	0.017	0.2 (ทั้งหมด)
- แคดเมียม (Cd) mg/l	0.011	1.0 (ทั้งหมด)
- ตะกั่ว (Pb) mg/l	0.035	5.0 (ทั้งหมด)
- เงิน (Ag) mg/l	0.002	0.5

ที่มา : 1. ห้องวิเคราะห์กรมวิทยาศาสตร์บริการ
2. ประกาศกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติในงาน พ.ศ. 2535

สรุปว่า จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า วัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น แกลบ ชี้เลื้อย ชานอ้อย เปลือกถั่ว ใบไม้แห้ง เป็นต้น สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้ ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ใช้ตัวประสาน เช่น ชี้ผึ้ง แป้งเปียก ผักตบชวา หรือ

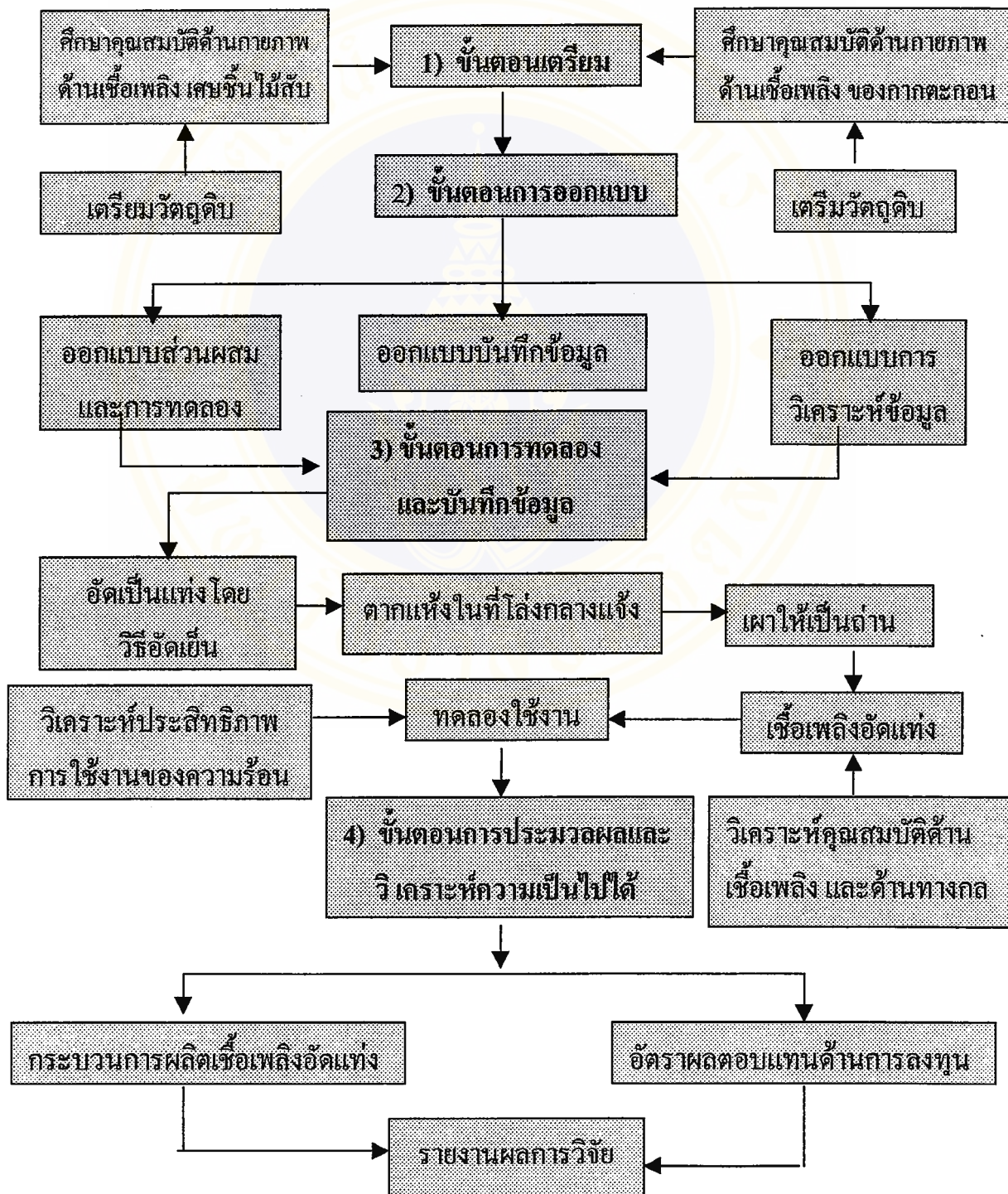
วัสดุที่มียางเหนียว มาผสมด้วยก็ได้ ซึ่งผู้วิจัยมีความเห็นว่าจากคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับจะสามารถนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถเกาะตัวกันได้และเศษชิ้นไม้สับมาผสมกันแล้วอัดเป็นแท่งนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้นอกจากนี้จะเห็นว่ามีความแตกต่างๆ ที่มีการศึกษาไว้เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถันรวม และค่าความร้อน เพื่อให้สอดคล้องและตรงตามมาตรฐาน ASTM โดยในการวิจัยครั้งนี้ เชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียกับเศษชิ้นไม้สับ จากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษ จะมีการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวม 6 ด้าน คือ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถันรวมและค่าความร้อน รวมทั้งประสิทธิภาพการใช้งาน ความร้อน นอกจากนี้ยังมีการทดสอบคุณสมบัติทางกล 4 ด้าน คือ ค่าความหนาแน่น การทนแรงอัด ทั้งแนวตั้ง และแนวนอน และค่าดัชนีการแตกร่วน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะได้ชี้แจงรายละเอียดของขั้นตอน การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวิธีการตามมาตรฐานของ ASTM รวมทั้งการศึกษาอัตราผลตอบแทนด้านการลงทุน

3.1 กรอบดำเนินการทดลองจะมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 กรอบดำเนินการทดลอง

3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เศษชิ้นไม้สับ เป็นเศษวัสดุที่ได้จากการสับไม้ยูคาลิปตัส ก่อนนำเข้ากระบวนการผลิตมีอยู่ประมาณ 27 ตัน / วัน

3.2.2 กากตะกอน เป็นกากที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่ประมาณ 7.32 ตัน / วัน

โดยวัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นของ บริษัท ปัญจพลพลัส อินคัสตรี จำกัด(มหาชน) อำเภอ-บางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 1 – การเก็บตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างทั้งสองชนิด โรงงานได้เทกองไว้ ดังนั้น จึงใช้วิธีเก็บตัวอย่างตามวิธีของ คอร์นิช (30) โดยให้แบ่งกองตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วน เลือกส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมาแล้วทำซ้ำอีกจนกระทั่ง เก็บตัวอย่างเศษชิ้นไม้สับและกากตะกอน ให้เพียงพอสำหรับอัดเป็นแท่ง เชื้อเพลิงแข็งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.3 กิโลกรัม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ส่วนผสม 11 ส่วนผสม ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบส่วนผสมละ 10 ตัวอย่างดังนั้นเก็บวัตถุดิบอย่างละ $11 \times 10 \times 1.3 = 143$ กิโลกรัม ~ 150 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น

คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงได้ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ ได้ทำการตรวจวัด ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี พบว่า มีคุณสมบัติดังนี้

กากตะกอน : น้ำหนัก 1 กิโลกรัม มีปริมาตร 1,093 ลบ.ซม.

ลักษณะเป็นผงเกาะตัวเป็นแผ่น ขนาดเฉลี่ย

กว้าง X ยาว X หนา เท่ากับ $20 \times 50 \times 5$ มม.

สีน้ำตาลเข้ม

เศษชิ้นไม้สับ : น้ำหนัก 1 กิโลกรัม มีปริมาตร 4,210 ลบ.ซม.

มีขนาด 50 mesh มากที่สุด คือร้อยละ 67 มีลักษณะ

เป็นผงหยาบและเป็นเส้นเล็ก ๆ สีน้ำตาลอ่อน

ตามลักษณะของเนื้อไม้ยูคาลิปตัส

3.4 การออกแบบวิจัย

3.4.1 การผสมโดยน้ำหนัก

เนื่องจากกากตะกอนจะเกาะกันเป็นแผ่น ดังนั้นจึงต้องนำเข้าเครื่องตีให้แตกก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับเศษหินไม้สับในกะบะหรือพื้นซีเมนต์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยน้ำหนักจำนวน 11 อัตราส่วนผสม และเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่สม่ำเสมอ ได้นำเข้าเครื่องตีอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ตัวอย่างส่วนผสมครั้งละ 15 กิโลกรัม ทดลองจำนวน 11 ครั้ง ในแต่ละส่วนผสม ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนและเศษหินไม้สับ

ส่วนผสมที่	กากตะกอน		เศษหินไม้สับ	
	ส่วน	ก.ก.	ส่วน	ก.ก.
1	100	15.0	0	0
2	90	13.5	10	1.5
3	80	12.0	20	3.0
4	70	10.5	30	4.5
5	60	9.0	40	6.0
6	50	7.5	50	7.5
7	40	6.0	60	9.0
8	30	4.5	70	10.5
9	20	3.0	80	12
10	10	1.5	90	13.5
11	0	0	100	15

หมายเหตุ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ เหตุผลที่ใช้จำนวนตัวอย่างถึง 11 อัตราส่วนผสม เพราะจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพบว่า คุณสมบัติในแต่ละด้านของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละส่วนผสมมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย หากมีตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมากจะทำให้สามารถหาอัตราส่วนที่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ขอใช้ตัวอย่างจำนวน 11 อัตราส่วนผสม เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการวิจัยครั้งนี้



3.4.2 การอัดแท่ง

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพบว่า การอัดร้อนจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระหว่างการอัดมากกว่าการอัดเย็น 2-3 เท่า (16) ดังนั้น จึงได้เลือกใช้วิธีการอัดเย็นในการวิจัยครั้งนี้ และจะทำการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติ และเชื้อเพลิงพลังงาน จังหวัดปทุมธานี โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวไม่มีขดลวดความร้อน ตามรูปที่ 3.2 ซึ่งมีลักษณะดังนี้

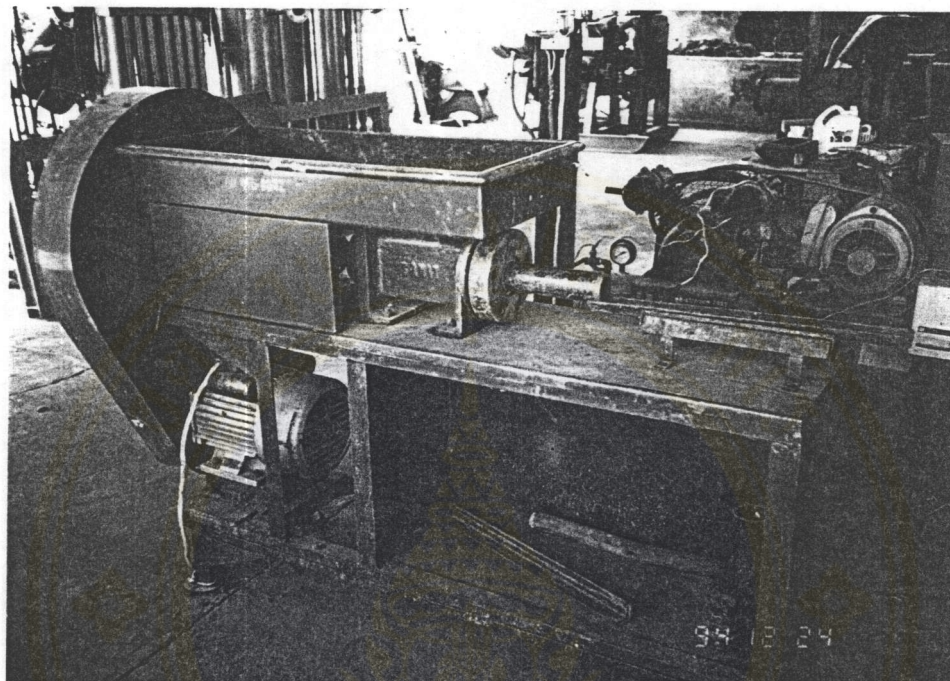
มอเตอร์ขับ	:	1 phase 5 แรงม้า ความเร็ว 1,470 รอบ/นาที
แรงดันไฟฟ้า	:	220 โวลท์ 50 Hz
อัตราการผลิต	:	200 กิโลกรัม / ชั่วโมง
ขนาดกระบอกอัด	:	ยาว 27.05 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางด้านเข้า 5.5 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางด้านออก 5 เซนติเมตร

ก่อนจะผสมกากตะกอนกับเศษจีนไม้สับ จะต้องตีกากตะกอนให้แตกละเอียดด้วยเครื่องตี ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนมีลักษณะเกาะตัวกันเป็นแผ่น หากไม่ตีให้ละเอียดจะทำให้ได้ส่วนผสมที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะมีผลต่อความยากง่ายในการอัดและการตรวจวัดค่าคุณสมบัติด้านต่าง ๆ

การอัดแท่งทำได้โดยนำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่เข้าเครื่องอัดแท่งเกลียว อัดที่ขับด้วยมอเตอร์ จะบีบอัดส่วนผสมเข้าไปในกระบอกอัด และจะถูกดันออกมาเป็นแท่งอย่างต่อเนื่องไปตามรางที่รองรับไว้ที่ปลายกระบอกอีกทางหนึ่ง หักแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ออกเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร นำไปวางในร่องของแผ่นกระเบื้องลอนเล็ก แล้วนำไปตากแห้งในที่โล่งกลางแจ้ง

3.4.3 การตากแห้ง

เนื่องจากการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ยังมีปริมาณความชื้นสูง จึงต้องนำไปตากแห้ง เพื่อลดความชื้นและทำให้แข็งตัวเกาะกันแน่น จึงได้เลือกใช้วิธีการตากแห้งบนพื้นซีเมนต์ในที่โล่งกลางแจ้ง ซึ่งจะทำให้แห้งได้ดีและเร็วที่สุด (ประทีป, 16)



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดแท่งชนิดอัดเย็น

3.4.4 การเผาเป็นถ่าน

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เตาเผาแบบเตาถังน้ำมัน (Drum Kiln) เนื่องจากเป็นแบบที่เหมาะสมกับการเผาต่อครั้งที่มีความน้อยและใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย ราคาถูก โดยไม่มีการควบคุมตัวแปรใด ๆ ซึ่งมีขั้นตอนการเผาดังนี้

- เรียงฟืนอัดแท่งลงถังน้ำมันในแนวตั้งประมาณ 2 ใน 3 ของถัง ประมาณ 60 กิโลกรัม
- ใส่ฟืนเชื้อไฟให้เต็มเตาแล้วปิดฝาถัง
- จุดไฟหน้าเตาเพื่อเผาฟืนเชื้อไฟ ฟืนเชื้อไฟควรตากแห้งประมาณ 1 เดือนก่อนการเผา (กรมป่าไม้.9)

- เมื่อพินอัดแท่งติดไฟแล้ว สังเกตได้จากควันจากปล่องแรงจะมากขึ้นเรื่อย ๆ ให้ปิดปล่องแรง ปล่อยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ สังเกตจากควันจะจางลงและอุณหภูมิเตาไม่เพิ่มขึ้น
- ปล่อยให้เย็นลงจะใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมงจึงเปิดเตา
- ทำการบันทึกอุณหภูมิเตาและปล่องทุก 30 นาที

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง

นำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ดังนี้

- ทางกล
- ค่าความหนาแน่น
 - การทนแรงอัดตามแนวตั้งและแนวนอน
 - ค่าดัชนีการแตกร่วน

ทางด้านเชื้อเพลิง ตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Material

(ASTM)

- ปริมาณความชื้น
- ปริมาณเถ้า
- ปริมาณสารระเหย
- คาร์บอนคงตัว
- กำมะถันรวม
- ค่าความร้อน
- ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

3.5.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 104–110 องศาเซลเซียสเพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ ตู้อบ (Drying Oven) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ

(Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ

1. เตรียมตัวอย่างทดลองตามวิธีวิเคราะห์ ASTM D2013
2. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝา ที่อุณหภูมิในช่วง 104-110 °c ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่างทดลอง(ข้อ 1)ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟแล้วนำเข้าไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 104-110 °c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบและปิดฝา แล้วปล่อยให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น ต่อจากนั้น จึงนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = (A-b) \div A \times 100 \dots\dots\dots(3.5.1)$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (กรัม)

3.5.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิระหว่าง 500°C เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700 - 750°C จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟพร้อมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ เตาเผา (Electric Muffle Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ

1. เผาถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 700-750 °c เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลอง 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1
3. นำเข้าเตาพร้อมฝา ซึ่งเปิดให้มีช่องว่างเล็กน้อย เเผาที่อุณหภูมิ 500 °c ประมาณ 30 นาทีแล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 °c เเผาประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น จึงนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า(\%)} = \frac{(A-B)}{C} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.5.2)$$

เมื่อ	A	=	น้ำหนักของถ้วยทนไฟพร้อมเถ้า (กรัม)
	B	=	น้ำหนักของถ้วยทนไฟพร้อมฝา (กรัม)
	C	=	น้ำหนักตัวอย่างทดลองที่ใช้ (กรัม)

3.5.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $950 \pm 20^\circ \text{C}$ ในเตาเผา เป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากครุสุญญเหิรน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ เตาเผา (Vertical Electric Tube Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา ขนาดความจุ 10 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างทดลอง 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก
2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยปิดฝา และนำไปเผาที่อุณหภูมิ $950 \pm 20^\circ \text{C}$ นาน 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น 15-20 นาที
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

1. คำนวณน้ำหนักที่หายไป

$$\text{Weight Loss(\%)} = (A-B) \div A \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.5.3)$$

$$A = \text{น้ำหนักตัวอย่างทดลอง (กรัม)}$$

$$B = \text{น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (กรัม)}$$

2. คำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\text{Volatile Matter (\%)} = C-D \quad \dots\dots\dots(3.5.4)$$

$$C = \text{Weight Loss (\%)}$$

$$D = \text{ความชื้น (\%)} \text{ จากข้อ 3.5.1}$$

3.5.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว(\%)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{ปริมาณเถ้า} + \% \text{ปริมาณสารระเหย}) \dots (3.5.5)$$

3.5.5 การหาปริมาณกำมะถันรวม (Total Sulfur)

ตัวอย่างถ่านอัดแท่งจะถูกเผาในเตาเผาทรงกระบอก (tube furnace) ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1350 °C โดยผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าไปเพื่อออกซิไดซ์กำมะถันในตัวอย่างให้อยู่ในรูปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซและอนุภาคเล็ก ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้นี้จะผ่านไปยัง Anhydrous (Anhydrous magnesium perchlorate) เพื่อดักจับความชื้นและอนุภาคเล็ก ๆ ก๊าซที่เหลือจะผ่านเข้าไปในเซลล์ซึ่งมี Infrared absorption detector (IR) สำหรับวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กล่าวคือพลังงานที่ detector วัดได้จะลดลง เนื่องจากถูกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดูดซับไว้ ซึ่งพลังงานที่ลดลงนี้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นปริมาณกำมะถันทั้งหมดในตัวอย่างที่อยู่ในรูปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกวัดได้อย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการวัดนี้เป็น การวัดเปรียบเทียบความแตกต่างของพลังงาน เครื่องมือที่ใช้ในการวัดจึงต้องมีการสอบเทียบ (calibrate) โดยใช้ standard reference materials ที่มีปริมาณกำมะถันครอบคลุมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

เครื่องมือ

Sulfur Analyzer (SC – 432)

วิธีการ

1. เปิดวาล์วก๊าซออกซิเจน
2. เปิดเครื่อง SC – 432 และเครื่องพิมพ์
3. เข้าโปรแกรมวิเคราะห์
4. ชั่งตัวอย่าง เริ่มทำการวิเคราะห์
5. เครื่องทำงานตามที่กำหนดไว้จนกระทั่งสิ้นสุดการวิเคราะห์
6. สอบเทียบระบบการตรวจวัดแสง Infrared และปรับค่าปริมาณกำมะถันที่ได้ให้ถูกต้อง
7. พิมพ์ผลการวิเคราะห์
8. ปิดเครื่อง ปิดวาล์วก๊าซ

3.5.6 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (Density) ของถ่านอัดแท่งหาได้จาก

สูตร	p	$= M/V$	(3.5.6)
เมื่อ	p	$=$ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	M	$=$ มวลของถ่านอัด (กรัม)	
	V	$=$ ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	

การทดสอบทำโดยนำถ่านอัดแท่งแต่ละอันมาตัดให้ยาวประมาณ 4 เซนติเมตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตร

3.5.7 การทดสอบค่าการทนแรงอัด (Compressive Stength)

- ทดสอบแนวตั้ง การทดสอบทำโดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดด้วยเลื่อยไฟฟ้า เพื่อให้ปลายทั้งสองของถ่านอัดแท่งเรียบเสมอกันและตัดให้มีขนาดความยาวเป็น 2 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของถ่านอัดแท่งจากนั้นนำถ่านอัดแท่งตัวอย่างที่ตัดเรียบร้อยแล้วไปวางแนวตั้งในเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) เพื่อทำการทดสอบต่อไป ซึ่งค่าการทนแรงอัดของถ่านอัดแท่งนั้นเป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่ถ่านอัดแท่งจะรับได้ ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์

	$\sigma_{[none1]_c}$	$= F/A$(3.5.7)
เมื่อ	σ_c	$=$ การทนแรงอัดของถ่านอัดแท่ง (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
	F	$=$ แรงอัดที่กระทำตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (กิโลกรัม)
	A	$=$ พื้นที่หน้าตัดของถ่านอัดแท่ง (ตารางเซนติเมตร)

- ทดสอบแนวนอน ใช้ตัวอย่างขนาดเดียวกับที่ทดสอบแนวตั้ง เพื่อดูขนาดของแรงสูงสุด (Peak Load) ที่ทำให้ถ่านอัดแท่งแตก แล้วเปรียบเทียบกับค่าการทนแรงอัดของถ่านอัดแท่งแนวตั้ง

3.5.8 การทดสอบค่าดัชนีการแตกกร่อนโดยวิธี Drop Shatter Test

เพื่อหาความสามารถของถ่านอัดแท่งที่จะมีความทนทานระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน วิธีการทดสอบทำโดยนำถ่านอัดแท่งใส่ถุงพลาสติกประมาณ 5 กิโลกรัม แล้วปล่อยจากที่สูง 2 เมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ซ้ำ ๆ กัน 3 ครั้งจากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร นำส่วนของถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก และสามารถหาค่าดัชนีการแตกกร่อน (Friability Index) หรือดัชนีการแตกละเอียด (Shatter Index) ได้จาก

$$R = W_f / W_i \dots\dots\dots(3.5.8)$$

เมื่อ R = ดัชนีการแตก่วน

W_i = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งก่อนทดสอบ(กิโลกรัม)

W_f = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ(กิโลกรัม)

3.5.9 การหาค่าความร้อน

ค่าความร้อนของตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ได้ โดยการเผาตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนใน Isoperibol oxygen bomb calorimeter ภายใต้สภาวะที่กำหนด คำนวณหาค่าความร้อนได้จากอุณหภูมิที่บันทึกไว้ก่อน และหลังจากที่ตัวอย่างถูกเผาไหม้ และจากค่า Thermochemical corrections สำหรับค่า Heating value วัดเป็นค่าของปริมาณความร้อนต่อน้ำหนักของตัวอย่าง หรือ ปริมาณของตัวอย่าง มีหน่วยเป็น cal/g, Btu/lb, J/g หรือ cal/m³

$$1 \text{ Btu/lb} = 2.326 \text{ J/g}, 1.8 \text{ Btu/lb} = 1.0 \text{ cal/g}$$

เครื่องมือ

1. Isoperibol Bomb Calorimeter Model 1261 Parr Instrument
2. Water Handling System
3. Printer
4. Pellet Press
5. ลูกบอมป์

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง calorimeter และกด F1 เพื่อให้ปัม heater และระบบน้ำเย็นเริ่มทำงาน เปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที เมื่อเครื่องพร้อมที่จะทำงานจะปรากฏคำว่า Standby ที่ขอบมุมด้านซ้ายของจอ
2. นำตัวอย่างถ่านอัดแท่งที่เตรียมไว้ (ขนาด 250 ไมครอน) มาชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5 กรัม โดยชั่งละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 จากนั้นชั่งกรดเบนโซอิก (Benzoic acid, AR grade) ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 กรัม แล้วนำมาผสมกับตัวอย่างและอัดเป็นเม็ด โดยใช้ Pellet Press

3. นำตัวอย่างมาใส่ใน capsule ซึ่งวางบน electrode ของลูกบอมบ์โดยให้ fuse wire และกับตัวอย่างที่อยู่ใน capsule นำมาใส่ในลูกบอมบ์ที่มีสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต (ความเข้มข้น 0.025 N) อยู่แล้ว 2ml ปิดลูกบอมบ์ให้แน่น แล้วอัดก๊าซออกซิเจนให้มีแรงดัน 30 บรรยากาศ (เปิดถึงก๊าซออกซิเจน ปรับ regulator ให้มีความดัน 450 Psig) โดยกดปุ่ม O2 Fill ใช้เวลาประมาณ 1 นาที เครื่องจะปิด Oxygen valve เอง

4. นำ Inner bucket มาบรรจุน้ำกลั่น 2 ลิตร จาก Bucket filling system (อุณหภูมิของน้ำควรต่ำกว่าอุณหภูมิของ jacket ประมาณ 3-5 °C) แล้วใส่ในเครื่อง Isoperibol bomb calorimeter วางลูกบอมบ์ที่เตรียมไว้ลงใน inner bucket จากนั้นเสียบขั้ว electrode หัว 2 เข้ากับลูกบอมบ์ให้แน่น ปิด outer cover

5. กดปุ่ม Start หรือ Shift Start ป้อนค่า energy equivalent ของลูกบอมบ์, (Cal ID) หมายเลขตัวอย่าง (Sample ID) น้ำหนักตัวอย่าง (Sample wt) น้ำหนักของกรดเบนโซอิก (Spike wt)

6. เครื่อง Isoperibol bomb calorimeter จะเริ่มทำงาน โดยจะแสดงคำว่า Prepariod

เมื่อการเผาไหม้สิ้นสุดลง หลักการในการทำงานของเครื่อง Isoperibol bomb calorimeter คือ calorimeter jacket จะรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา ในขณะที่ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ตัวอย่างจะทำให้อุณหภูมิของ bomb และ jacket เพิ่มขึ้น มีการถ่ายเทความร้อนจำนวนเล็กน้อยไปมาระหว่าง bucket กับบริเวณรอบ ๆ เครื่อง calorimeter จะมีการวัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง ผลของความร้อนที่สูญเสียไปหรือถูกนำมาใช้นั้น มีการแก้ค่าโดยอัตโนมัติ

7. เมื่อเครื่องหยุดทำงาน จะมีผลออกมาในลักษณะของ preliminary heat of combustion โดยกด key done เครื่องจะเก็บผลการทดลองไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งเครื่องพิมพ์จะพิมพ์ preliminary report

8. เปิด cover นำลูกบอมบ์ออกจากเครื่อง Isoperibol bomb calorimeter ปลดออกก๊าซในลูกบอมบ์ออกอย่างช้า ๆ จนกระทั่งความดันภายในลูกบอมบ์เท่ากับความดันบรรยากาศ เปิดลูกบอมบ์ จากนั้นล้างลูกบอมบ์ด้วยน้ำกลั่นผสมอินดิเคเตอร์ (Methyl red: Bromo-cresol green ในอัตราส่วน 1: 4 ละลายใน ethyl alcohol จำนวน 250 ml เตรียมไว้เป็น stock solution) จนกระทั่งสารละลายที่ล้างออกมานั้นเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียว แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 5-6 ครั้ง นำสารละลายทั้งหมดใส่ใน Beaker ขนาด 250 ml (สารละลายที่ได้นี้มีสีส้ม)

9. นำสารละลายที่ได้ในข้อ 8. มาไตเตรดกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต จนกระทั่งสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียวอมน้ำเงิน ปริมาตรของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไตเตรดรวมกับ 2ml ที่ใช้ใส่ในลูกบอมบ์เป็นค่า C_1
10. นำ fuse wire ที่เหลือจากการเผาไหม้มาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาน้ำหนักของ fuse wire เป็นค่า C_3 (ค่าความร้อนของ fuse wire เท่ากับ 1,400 cal/g)
11. สำหรับค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก เครื่องจะคำนวณให้หลังจากป้อนค่าน้ำหนักของกรดเบนโซอิกที่ใช้เป็นค่า C_2 (ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก เท่ากับ 6,318 cal/g)
12. กดปุ่ม PRT ใส่หมายเลขตัวอย่าง ค่า C_1 , C_2 และ C_3 เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ทั้งหมด (gross heating of combustion) พิมพ์ผลออกมา ค่าความร้อนนี้มีวิธีคำนวณดังนี้

$$Hg = (tE - C_1 - C_2 - C_3)/m$$

เมื่อ Hg = Gross Heat of Combustion (แคลอรีต่อกรัม)

t = ความแตกต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้าย

E = energy equivalent ของลูกบอมบ์ (cal / °C)

C_1 = Correction in calories for Heat of Formation of Nitric Acid

C_2 = Correction in calories for Heat of Formation of Benzoic Acid

C_3 = Correction in calories for Heat of Formation of combustion of Fust Wire

m = น้ำหนักของตัวอย่างที่อัดเป็นเม็ด (กรัม)

ค่าความร้อนที่คำนวณได้นี้ยังไม่ได้หักค่าความร้อนของกำมะถัน ซึ่งค่าความร้อนของกำมะถัน คำนวณได้จากปริมาณกำมะถันที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างคูณกับค่าความร้อนของกำมะถัน (ค่าความร้อนของกำมะถันเท่ากับ 14 cal/g) ดังนั้น

$$\text{ค่าความร้อนของตัวอย่าง} = \text{gross heat} - \text{ค่าความร้อนของกำมะถัน}$$

3.6 การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

ทำการหาประสิทธิภาพในสภาพการใช้งานปกติ เช่น อุ่นหมุ้ห้อง ไม่ควบคุมความชื้นบรรยากาศ ไม่มีลมพัด และใช้หม้ออูมิเนียมใหม่ทั้งหมด การทดสอบครั้งนี้ ใช้วิธีทดสอบการหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน ตามวิธีการทดสอบของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

3.6.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทดลอง

1. ตาชั่งละเอียดสามารถอ่านได้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2. หม้ออูมิเนียมเบอร์ 24 พร้อมฝาปิด
3. เชื้อเพลิงที่จะใช้ทดสอบตัวอย่างละ 500 กรัม
4. น้ำสะอาดตัวอย่างละ 4,000 กรัม
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ

3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับอุณหภูมิให้ได้ 28 องศาเซลเซียส
2. เสียบเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในหม้อต้มน้ำโดยมิให้เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสกับส่วนของหม้อ
3. ใช้แท่งเชื้อเพลิงชูปน้ำมันก๊าสประมาณ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรเพื่อเป็นเชื้อติดไฟ
4. จุดเชื้อเพลิงในเตาบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 3 นาที
5. เมื่อน้ำเดือดถึง 100 องศาเซลเซียสให้เปลี่ยนหม้อใหม่บันทึกอุณหภูมิทุก 3 นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหม้อสุดท้ายไม่เพิ่มขึ้นอีก
6. คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเชื้อเพลิงประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน = $\frac{\text{ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่น้ำได้รับ}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง}}$ x 100 %

$$\mu = \sum_{t=1}^n \frac{ms(t2 - t1) + ms(t3 - t1) \times 100}{wg}$$

$$t=1$$

- เมื่อ μ = ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเชื้อเพลิง
 w = น้ำหนักของเชื้อเพลิง , กรัม
 q = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง , แคลลอรี/กรัม
 m = น้ำหนักน้ำในหม้อ/กรัม

s	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 1 แคลลอรี่/กรัม-องศาเซลเซียส
t ₁	=	อุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มแรก , องศาเซลเซียส
t ₂	=	อุณหภูมิของน้ำเมื่อเดือด , องศาเซลเซียส
t ₃	=	อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายของหม้อหลังสุด , องศาเซลเซียส
n	=	จำนวนครั้งที่ทำให้น้ำเดือด

3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง

3.7.1 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล จะใช้แบบรายงานข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ในเรื่องเวลา จำนวน ค่าที่ใช้ทางสถิติ

3.7.2 การรวบรวม จะใช้เครื่องวัดต่าง ๆ แล้วจดบันทึกในแบบรายงานข้อมูล

3.7.3 การวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ค่าสถิติที่ใช้คือ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรตามวิธีของเพียร์สัน

3.7.3.1 ค่าเฉลี่ยของแต่ละส่วนผสม จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

เมื่อ $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากร

$\sum x$ = ผลรวมของประชากรทั้งหมด

N = จำนวนประชากรทั้งหมด

3.7.3.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นข้อมูลที่ไม่แจกแจงความถี่

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

X = ข้อมูลแต่ละจำนวน

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

n = จำนวนข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

3.7.3.3 หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกลุ่มต่าง ๆ

กลุ่มที่ 1 ตัวแปรด้านเชื้อเพลิง กับตัวแปรด้านเชื้อเพลิง

- ค่าความร้อน กับ ปริมาณคาร์บอนคงตัว
- ค่าความร้อน กับ ปริมาณกำมะถัน
- ค่าความร้อน กับ ปริมาณสารระเหย
- ค่าความร้อน กับ ปริมาณเถ้า
- ค่าความร้อน กับ ปริมาณความชื้น

กลุ่มที่ 2 ตัวแปรด้านเชื้อเพลิงกับตัวแปรทางกล

- ค่าความร้อน กับ ความหนาแน่น

กลุ่มที่ 3 ตัวแปรทางกล กับ ตัวแปรทางกล

- ดัชนีการแตกร่วน กับ ความหนาแน่น
- ดัชนีการแตกหัก กับ การทนแรงอัดแนวตั้ง
- ดัชนีการแตกหัก กับ การทนแรงอัดแนวนอน
- เวลาการติดไฟ กับ ความหนาแน่น

โดยคำนวณในรูปคะแนนดิบ ของเพียร์สัน ดังนี้

$$r_{XY} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

เมื่อ r_{XY} = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง
ตัวแปร X และตัวแปร Y

$\sum X, \sum Y$ = ผลรวมที่วัดได้จาก X และ Y ตาม

ลำดับ

$\sum XY$ = ผลรวมของผลคูณระหว่าง X และ Y

$\sum X^2, \sum Y^2$ = ผลรวมกำลังสองของข้อมูลจาก X และ
Y ตามลำดับ

n = จำนวนตัวอย่าง

3.7.4 วิธีการวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งแต่ละส่วนผสม โดยให้น้ำหนักตัวแปรหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง 7 ตัวแปร (21) จากมากไปหาน้อยตามลำดับ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรกลุ่มต่างๆ มาให้คะแนนดังนี้

ลำดับที่ 1 มีผลกระทบมากที่สุด ให้คะแนนเต็ม 7 คะแนน
และ ลำดับที่ 7 มีผลกระทบน้อยที่สุด ให้คะแนน 1 คะแนน

โดยมีตัวแปรหลักที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย

- ปริมาณความชื้น
- ถ่านคงตัว
- สารระเหย
- เถ้า
- ค่าความร้อน
- ความหนาแน่น
- เวลาที่ใช้ในการลุกไหม้

3.8 การศึกษาต้นทุนในการผลิต

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พบว่าในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งขั้นอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตต่ำสุดควรใช้เครื่องอัด 4 เครื่องคนงาน 3 คน

3.8.1 การกำหนดทุนในการผลิต

- ต้นทุนคงที่

- ค่าเสื่อมราคา
- อัตราดอกเบี้ย
- ค่าบำรุงรักษาอาคาร
- ค่าแรงงาน

- ต้นทุนแปรผัน

- ค่ากระแสไฟฟ้า
- ราคาเศษชิ้นไม้สับ
- ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร
- ค่าอื่น ๆ

3.8.2 - การพิจารณาจุดคุ้มทุนในการผลิตคำนวณจากสูตร

$$C.N = F + V.N$$

เมื่อ C = ราคาจำหน่ายเชื้อเพลิงอัดแท่ง บาท/กก.

N = ปริมาณที่คุ้มทุน กก./ปี

F = ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)

V = ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)

3.8.3 - อัตราผลตอบแทนการลงทุน

- อายุของโครงการ 5 ปี

- เวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน , 300 วัน/ปี

$$\text{ผลอัตราผลตอบแทนการลงทุน} = \frac{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยจากการดำเนินงาน} \times 100}{\text{ค่าลงทุน}}$$

- ระยะเวลาคืนทุน (Pay back Period.pp)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ ก่อนเข้าขบวนการผลิต เชื้อกระดาษของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ มาศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้ส่วนผสมระหว่างกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับโรงงานผลิตเชื้อกระดาษจำนวน 11 อัตราส่วนผสมแล้ววิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง เพื่อนำผลมาใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ทางด้านกระบวนการผลิต หลังจากนั้นนำมาพิจารณาความเหมาะสมทางด้านการลงทุน ผลการศึกษาประกอบด้วย

- ผลวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนอัดแท่ง
- ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง
- ผลความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ
- ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับ ที่ได้จากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ

4.1.1 ด้านกายภาพ ก่อนผสม

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ ก่อนผสม

ที่	คุณสมบัติทางกายภาพ	กากตะกอน	เศษชิ้นไม้สับ
1	- ขนาดทั่วไป mesh	50-100	10-100
	- ขนาดที่มีมากที่สุด, mesh	100 (80%)	50 (67%)
2	ปริมาตร/กิโลกรัม ซม ³ (ในสภาพไม่บดอัด)	1,093	4,210
3	ลักษณะทั่วไป	เกาะตัวเป็นแผ่น ขนาด 20 X 50 X 5 มม.	เป็นผงและเส้นเล็ก ๆ
4	สี	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลอ่อน
5	กลิ่น	ค่อนข้างเหม็น	กลิ่นไม้ทั่วไป

ที่มา : ผลจากการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี เมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2543

ดังนั้น เมื่อพิจารณาคุณสมบัติการเกาะตัวของกากตะกอนและขนาดของเศษชิ้นไม้สับแล้ว สามารถนำไปอัดแท่งได้ โดยกากตะกอนจะช่วยทำหน้าที่เป็นตัวประสานด้วย

เนื้อไม้

4.1.2 ด้านการเป็นเชื้อเพลิงก่อนผสม

ได้นำตัวอย่างของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ ไปวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ณ ห้องปฏิบัติการของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ผลตาม ตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อน กับตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า เศษชิ้นไม้สับมีค่าความร้อน 3,888 kcal/kg ซึ่งใกล้เคียงกับฟืนแกลบ คือประมาณ 3,900 kcal/kg และกากตะกอนมีค่าความร้อน 2,832 kcal/kg มีค่าใกล้เคียงกับผักตบชวา คือประมาณ 3,010 kcal/kg (21) ดังนั้น ในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษผลิตเป็นเชื้อเพลิงมาอัดแท่ง จึงมีความเป็นไปได้

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม

ที่	คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง	กากตะกอน	เศษชิ้นไม้สับ
1	ปริมาณความชื้น (%)	78	16.7
2	ถ่านคงตัว (%)	8.3	41.8
3	สารระเหย (%)	10.3	63.9
4	เถ้า (%)	36.9	1.3
5	ค่าความร้อน kcal / kg	2,832	3,888
6	กำมะถัน %	0.23	0.08

ที่มา : ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

4.2 ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็น ใช้เครื่องอัดแบบเกลียว ไม่มีขดลวด ความร้อน ของห้องปฏิบัติการของศูนย์ทดลองทางวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติและเชื้อเพลิงพลังงาน จังหวัดปทุมธานี โดยใช้วัตถุดิบกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ เป็นส่วนผสมโดยน้ำหนัก 11

ส่วนผสม ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบส่วนผสมละ 10 ตัวอย่าง และได้ทำการประเมินคุณภาพ โดยใช้ องค์ประกอบสำคัญเชื่อเพลิงเป็นหลักในการประเมิน ดังนี้

4.2.1 ผลการอัดแท่งโดยวิธีอัดเย็น

ได้ทำการประเมินความสามารถในการขึ้นรูป ของส่วนผสม ในอัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยมีข้อที่ประเมิน ดังนี้

- 4.2.1.1 ความสามารถในการอัดให้ส่วนผสมออกมาจากกระบอกอัด หากส่วนผสมเคลื่อนออกมาง่าย อย่างสม่ำเสมอ จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี แต่หากส่วนผสมเคลื่อนออกมายาก ไม่สม่ำเสมอจะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี และหากส่วนผสมไม่สามารถเคลื่อนออกมาจากกระบอกอัดได้ จะถือว่าไม่สามารถอัดได้
- 4.2.1.2 ความสามารถในการขึ้นรูปของส่วนผสม ภายหลังผ่านจากกระบอกอัดแล้ว หากส่วนผสมคงรูปทรงกระบอกอยู่ได้ แสดงว่ามีความสามารถในการขึ้นรูปในเกณฑ์ดี
- 4.2.1.3 ผิวของส่วนผสมหลังจากผ่านกระบอกอัดแล้ว หากมีผิวสม่ำเสมอ กันตลอดแท่งความยาว ถือว่าเป็นผิวเรียบ หากไม่สม่ำเสมอมีความแตกต่างกัน ถือว่าเป็นผิวขรุขระ

ซึ่งผลการอัดแท่ง ปรากฏตาม ตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า ส่วนผสมของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ ที่มีอัตราส่วนผสม 100:0 90:10 และ 80:20 มีความสามารถในการอัดและสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี รวมทั้งมีผิวที่สม่ำเสมอ แต่ส่วนผสม 70:30 60:40 50:50 และ 40:60 สามารถอัดและขึ้นรูปได้ยากขึ้น ทั้งนี้ ส่วนผสมตั้งแต่ 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 ไม่สามารถอัดและขึ้นรูปได้ ทั้งนี้ เนื่องจาก

1. การวิจัยครั้งนี้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ จากการตรวจสอบพบว่า เศษชิ้นไม้สับมีขนาด 10-40 mesh ประมาณร้อยละ 33 และขนาด 50-100 mesh ประมาณร้อยละ 67 ซึ่งขนาดที่เหมาะสมในการอัดแท่ง คือ 40-100 mesh (ประทีป,16)
2. เป็นการอัดเย็นแรงดันต่ำและเกลียวอัดไม่ได้บำรุงรักษาตามกำหนดอายุการใช้งาน ซึ่งประมาณ 100 ชั่วโมง (16) ทำให้เศษชิ้นไม้สับเข้าไปขัดในช่องว่างระหว่างเกลียวอัดและกระบอกอัด รวมทั้งเศษชิ้นไม้สับมีการขยายตัวมาก เมื่อไหลผ่านกระบอกอัดจะขยายตัวไม่เกาะกันให้คงรูปเป็นทรงกระบอกได้

ตารางที่ 4.3 ผลการอัดแท่งกากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก

รายการ	อัตราส่วนผสมกากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ										
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	0:100
ความสามารถในการอัด	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	○	○	○	○
ความสามารถในการขึ้นรูป	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	○	○	○
ลักษณะผิว :											
- เรียบ	✓	✓	✓								
- ขรุขระ				✓	✓	✓	✓	○	○	○	○

หมายเหตุ ✓ = ดี / ง่าย
 ✗ = ไม่ดี / ยาก
 ○ = ไม่ได้

4.2.2 ค่าเฉลี่ยปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง

ในการอัดแท่งได้วัดค่า ปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้อยู่ 3 ตัว คือ เวลาในการอัดแท่ง พลังงานไฟฟ้า และน้ำหนักของฟืนอัดแท่ง จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า เวลาที่ใช้ในการอัดแท่งจะแปรผันกับปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่มากขึ้น และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะแปรผันกับเวลา ส่วนน้ำหนักของฟืนอัดแท่งจะแปรผกผันกับปริมาณเศษชิ้นไม้สับ

ตารางที่ 4.4 เฉลี่ยปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง

รายการ	อัตราส่วนผสมกากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ						
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
เวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง (วินาที)	46	48	65	90	117	137	168
ความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ * ชั่วโมง)	0.049	0.05	0.07	0.10	0.13	0.14	0.184
น้ำหนักฟืนเมื่ออัดแท่ง (กรัม)	1272	1116	1117	972	874	752	646
ความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ * ชั่วโมง / กิโลกรัม)	0.0385	0.0448	0.0627	0.1079	0.1487	0.1862	0.2848

เพื่อความสะดวกในการแสดงค่าต่าง ๆ ด้วยภาพเส้นต่อจากนี้เป็นต้นไปจะแทนอัตราส่วนผสมด้วยตัวเลข ดังนี้

ตัวเลข 1 แทนอัตราส่วนผสม 100 : 0

ตัวเลข 2 แทนอัตราส่วนผสม 90 : 10

ตัวเลข 3 แทนอัตราส่วนผสม 80 : 20

ตัวเลข 4 แทนอัตราส่วนผสม 70 : 30

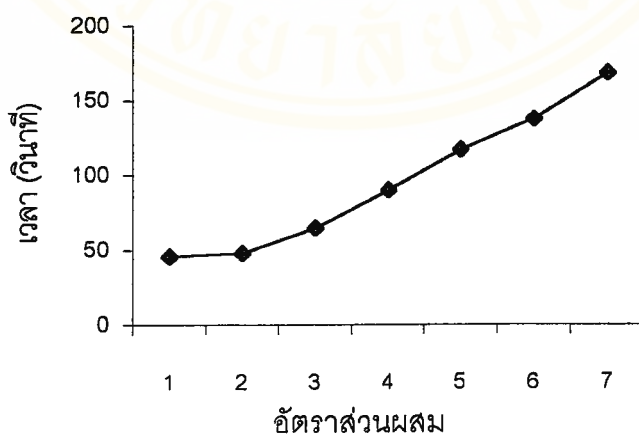
ตัวเลข 5 แทนอัตราส่วนผสม 60 : 40

ตัวเลข 6 แทนอัตราส่วนผสม 50 : 50

ตัวเลข 7 แทนอัตราส่วนผสม 40 : 60

เวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 47 วินาที ถึง 2 นาที 48 วินาที ต่อแท่ง หากส่วนผสมสม่ำเสมอจะทำให้ความสามารถในการอัดดีขึ้น ส่วนผสมจะถูกดันออกจากกระบอกอัดต่อเนื่อง ในอัตราความเร็วคงที่ ดังภาพที่ 4.1

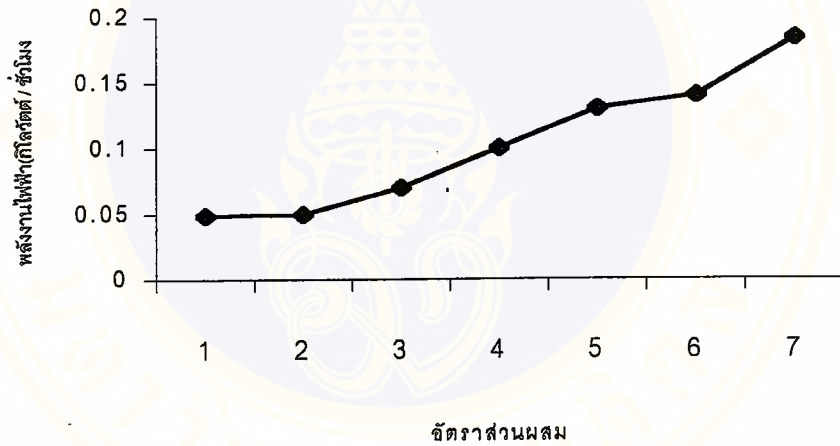
อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
เวลาเฉลี่ย วินาที	46	48	65	90	117	137	168



ภาพที่ 4.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแท่ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการอัดแห้ง จะเพิ่มขึ้นตามเวลาและยังขึ้นอยู่กับความเร็วอย่างคงที่ของการถูกดันออกจากกระบอกอัด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.049 ถึง 0.184 กิโลวัตต์/แห้ง ดังภาพที่ 4.2

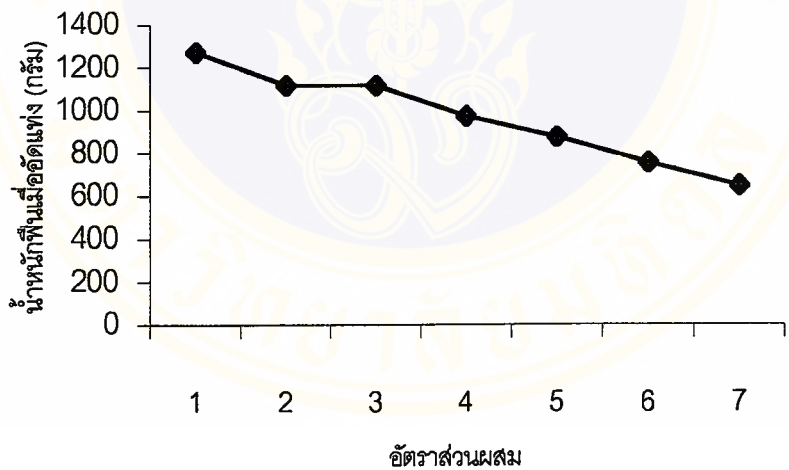
อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ความสิ้นเปลือง Kw.h	0.049	0.05	0.07	0.1	0.13	0.14	0.184



ภาพที่ 4.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

ส่วนน้ำหนักของฟีนอลแแต่ง จะลดลงตามปริมาณของเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น มีค่าระหว่าง 1,272 ถึง 646 กรัม/แแต่ง ทั้งนี้ เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า กากตะกอน 1 กิโลกรัม มีปริมาตร เท่ากับ 1,093 ลบ.ซม. และเศษชิ้นไม้สับ 1 กิโลกรัม มีปริมาตร เท่ากับ 4,210 ลบ.ซม. หรือปริมาตรกากตะกอนต่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับ เท่ากับ 1:4 ดังภาพที่ 4.3

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
น้ำหนัก ,กรัม	1,273	1,117	1,117	972	874	752	646



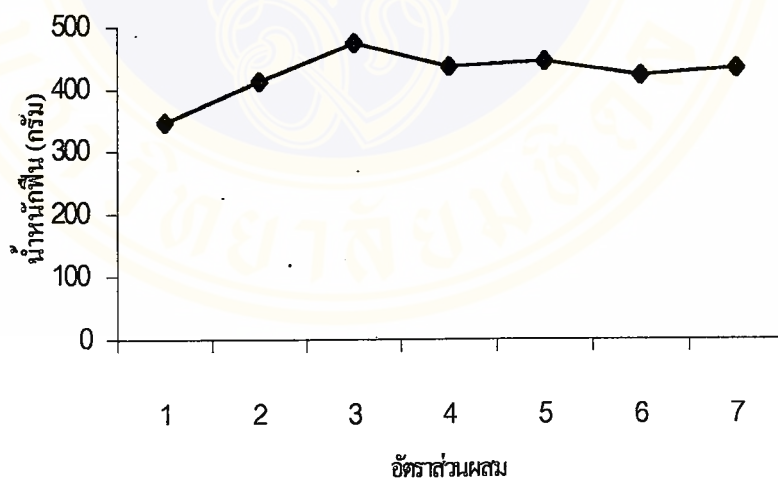
ภาพที่ 4.3 น้ำหนักเฉลี่ยของฟีนอลแแต่ง

4.2.3 ค่าเฉลี่ยการตากแห้งและการเผาเป็นถ่าน

4.2.3.1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟืนก่อนเผา

ได้นำฟืนอัดแท่งไปตากแห้งในที่โล่ง ด้วยการวางบนกระเบื้องลอนเล็ก ซึ่งจะช่วยให้แท่งฟืนอัดแท่งตรงขึ้น และใช้เวลาในการตากแห้ง 1 เดือน เพื่อให้เท่ากับเวลาการเตรียมฟืน สำหรับการเผาลานโดยทั่วไป (กรมป่าไม้, 9) เมื่อชั่งน้ำหนักฟืนอัดแท่งก่อนเผา อัตราส่วนที่ 1 ถึง 7 มีค่าเท่ากับ 346 412 373 434 443 420 และ 432 กรัม ตามลำดับ หรือน้ำหนักลดลงเหลือร้อยละ 27.2 36.9 33.4 44.7 50.7 55.9 และ 66.9 กรัม ตามลำดับ ตามภาพที่ 4.4

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	346	412	373	434	443	420	432

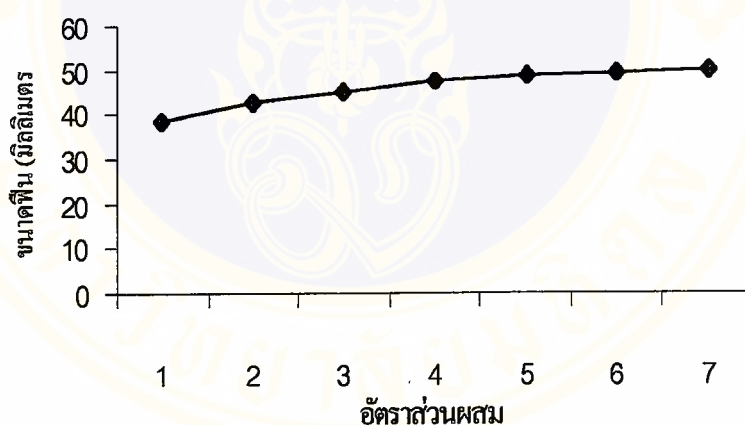


ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟืนก่อนเผา

4.2.3.2 ขนาดเฉลี่ยของพิน

ขนาดของพินอัดแท่งหลังจากที่ตากแห้งในที่โล่งแจ้ง ประมาณ 1 เดือน แล้วปรากฏว่าได้หดตัวลงเท่า ๆ กันทุกด้าน คือ ร้อยละ 23.4 15.2 9.4 5.6 2.4 2 และ 0.6 ตามลำดับ โดยมีขนาดเท่ากับ 38.3 42.4 45.3 47.2 48.8 49 และ 49.7 มม. ตามลำดับ ตามภาพที่ 4.5

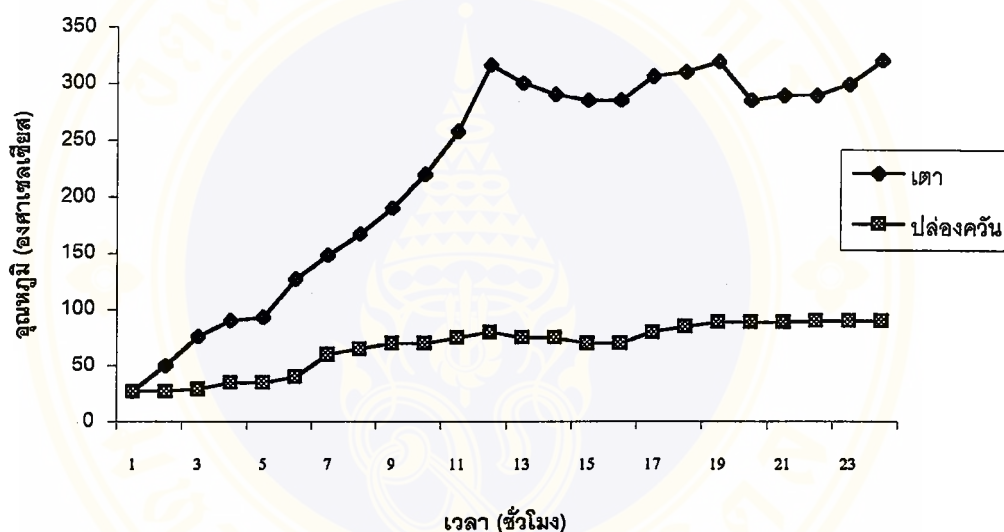
อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ขนาดเฉลี่ยของพิน , มม.	38.3	42.4	45.3	47.2	48.8	49	49.7



ภาพที่ 4.5 ขนาดเฉลี่ยของพิน

4.2.3.3 อุณหภูมิเตาเผาและปล่องควัน

เวลาที่ใช้ในการเผาถ่าน รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่า การเผาถ่านไม้แห้งด้วยเตาอิฐ ขนาด 2 ลบ.ม. จะใช้เวลาทั้งสิ้น 45 ชั่วโมง (กรมป่าไม้ , 9) อุณหภูมิสูงสุดของเตาประมาณ 316 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากจุดไฟหน้าเตา รายละเอียด ตามตารางที่ 4 (ภาคผนวก) และแสดง ตามภาพที่ 4.6



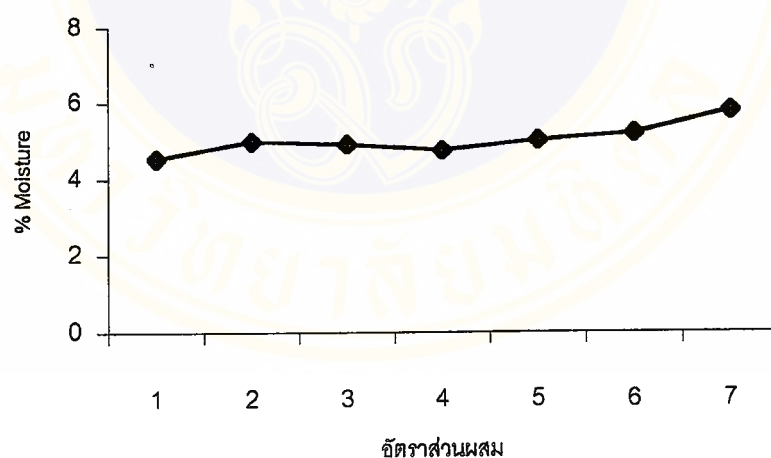
ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิเตาเผาและปล่องควัน ทุก 30 นาที ตั้งแต่เริ่มเปิดเตาจนปิดเตา

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

4.3.1 ค่าเฉลี่ยการหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.54 ถึง 5.78 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่า กากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 78% และ 16.7% ตามลำดับ และต่ำกว่า ถ่านไม้ (9.4 %) แต่สูงกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส (3.92%) และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้ สับที่เพิ่มขึ้น ตามภาพที่ 4.7

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ปริมาณความชื้น %	4.539	4.98	4.911	4.745	5.012	5.199	5.78

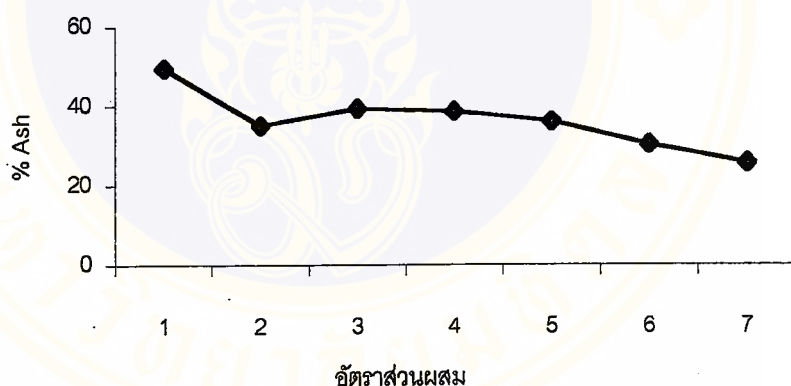


ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยการหาปริมาณความชื้น

4.3.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้า %

ปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่ง มีค่าอยู่ระหว่าง 49.54 – 25.63 % ซึ่งมีค่าสูงกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.9 % และ 1.3 % ตามลำดับ รวมทั้งถ่านไม้ (5.4 %) และถ่านไม้ยูคาลิปตัส (3.5%) โดยมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากตะกอนมีปริมาณเถ้าสูง (49.54%) รวมทั้งกากตะกอนยังมีฟอสเฟตและโปรแตสเซียมผสมปนมาด้วย ซึ่งเป็นมวลที่เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า (16)

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ปริมาณเถ้า %	49.54	35.09	39.38	38.60	36.06	30.23	25.63

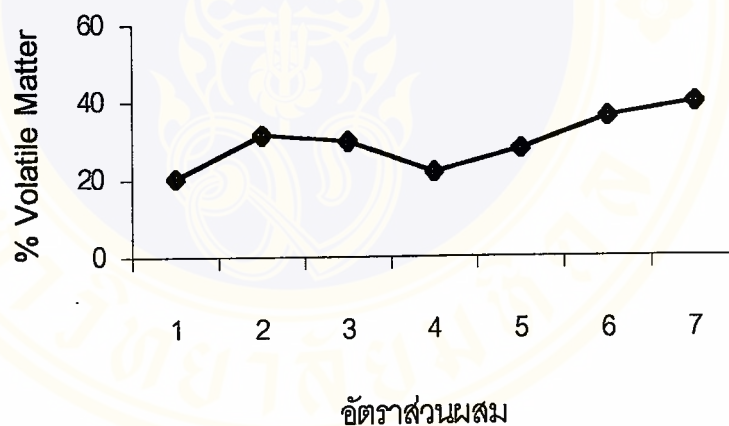


ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้า

4.3.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหย

ปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่ง มีค่าอยู่ระหว่าง 20.27 – 39.69 % ซึ่งมีค่าสูงกว่ากากตะกอนก่อนผสม (10.3%) สูงกว่าทั้งถ่านไม้ (10%) และถ่านไม้ยูคาลิปตัส (16.7%) แต่ต่ำกว่าเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม (63.9%) โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของไม้เกิดการสลายตัวได้แก๊สต่าง ๆ (กรมป่าไม้, 9) ตามภาพที่ 4.9

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหย	20.267	31.491	29.81	21.87	27.825	36.06	39.69

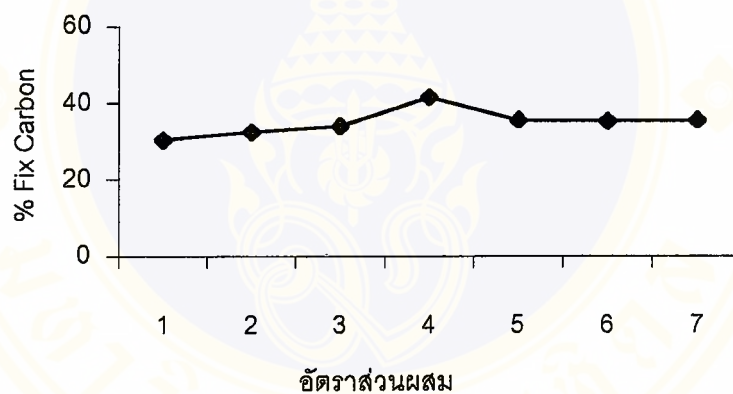


ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยการหาปริมาณสารระเหย

4.3.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคงตัว

ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสมมีค่าร้อยละ 30.37 , 32.45 , 34.03 , 41.52 , 35.51 , 34.51 และ 34.18 ตามลำดับ สูงกว่ากากตะกอน (8.3%) และใกล้เคียงเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม (41.8%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคงตัว	30.365	31.447	34.032	41.522	35.511	35.21	35.48

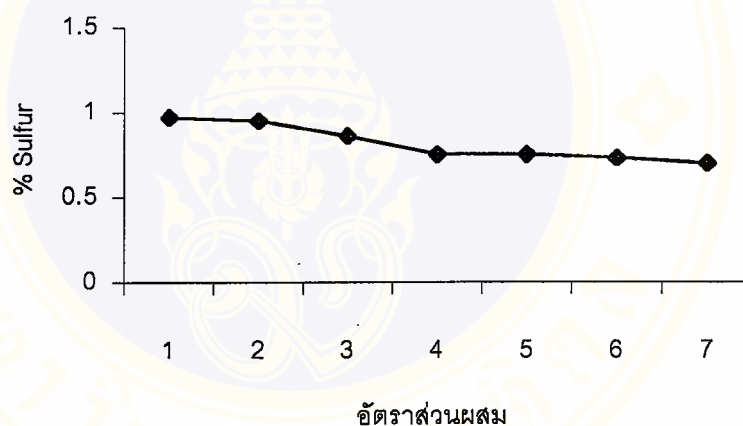


ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยการหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

4.3.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณกำมะถันรวม

ปริมาณกำมะถันของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสม มีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.97 ถึง 0.7 มีค่าสูงกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม (0.23 และ 0.08 ตามลำดับ) โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น ตามภาพที่ 4.11

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยปริมาณกำมะถันรวม %	0.974	0.947	0.861	0.745	0.745	0.733	0.699

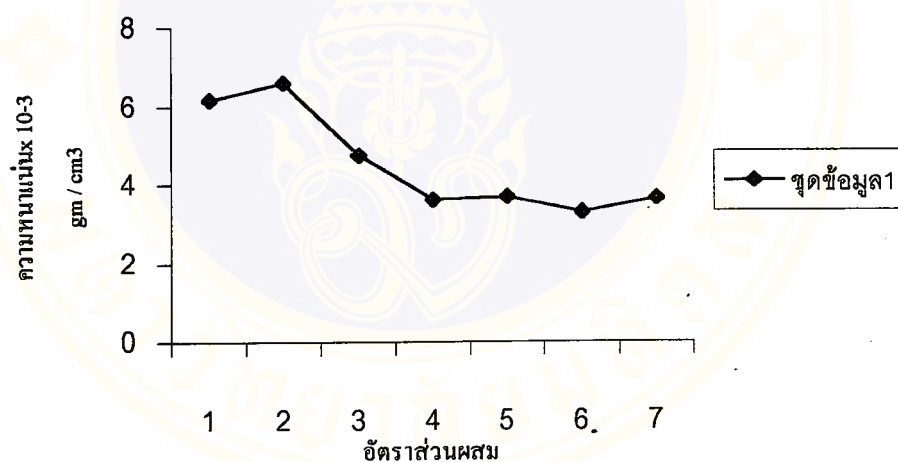


ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยการหาปริมาณกำมะถันรวม

4.3.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสม มีค่าระหว่าง 0.609 ถึง 0.359 g/cm^3 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น มีค่าต่ำกว่าฟืนขี้เลื่อย ฟืนแกลบ หรือฟืนซังข้าวโพด เนื่องจากการอัดแท่ง ด้วยวิธีอัดเย็น แรงดันต่ำ ไม่สามารถอัดเศษชิ้นไม้สับอัดตัวให้แน่นได้ดี ตามภาพที่ 4.12

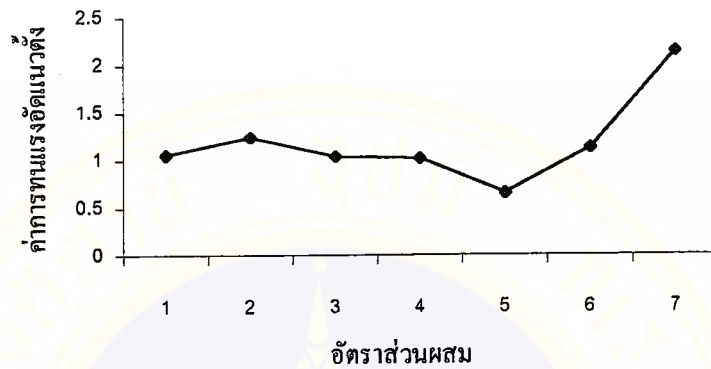
อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:10	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	0.609	0.630	0.385	0.355	0.358	0.335	0.359



ภาพที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของถ่าน

4.3.7 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้ง

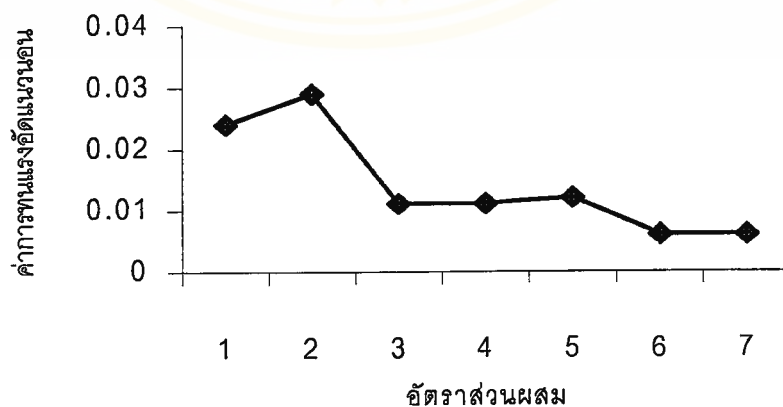
การทนแรงอัดในแนวตั้งของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสม มีค่าระหว่าง 0.47 ถึง 0.51 kg/cm^3 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเศษหินไม้สับมากขึ้น ตามภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้ง

4.3.8 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวนอน

การทนแรงอัดแนวนอนของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสม มีค่าระหว่าง 0.25 ถึง 0.11 kg/cm^2 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเศษหินไม้สับเพิ่มขึ้น ตามภาพที่ 4.14

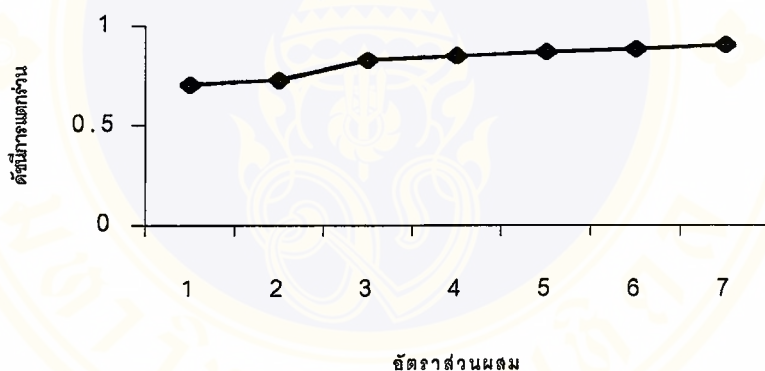


ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวนอน

4.3.9 ค่าเฉลี่ยดัชนีการแตกร่วน

ดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสมมีค่าระหว่างร้อยละ 0.704 ถึง 0.904 ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นศูนย์ แสดงว่าเชื้อเพลิงไม่จับตัวกัน แตกง่ายและมีคุณภาพไม่ดี ถ้าค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 แสดงว่าเชื้อเพลิงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน (ประทีป , 16) ตามภาพที่ 4.15

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยดัชนีการแตกร่วน (R)	0.704	0.726	0.828	0.849	0.868	0.883	0.904

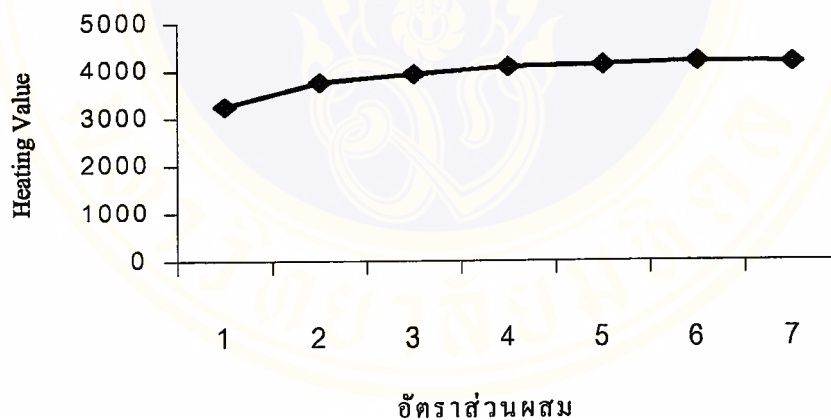


ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยดัชนีการแตกร่วน

4.3.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน

ปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 7 อัตราส่วนผสม มีค่าระหว่าง 3,247.4 ถึง 4,158.2 แคลอรี/กรัม ตามลำดับ สูงกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม (2,832 และ 3,888 ตามลำดับ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับ ที่เพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นในอัตราเพียงเล็กน้อย ตามภาพที่ 4.16

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน	3,247.4	3,752.5	3,923.1	4,072.4	4,111.7	4,184.5	4,158.2

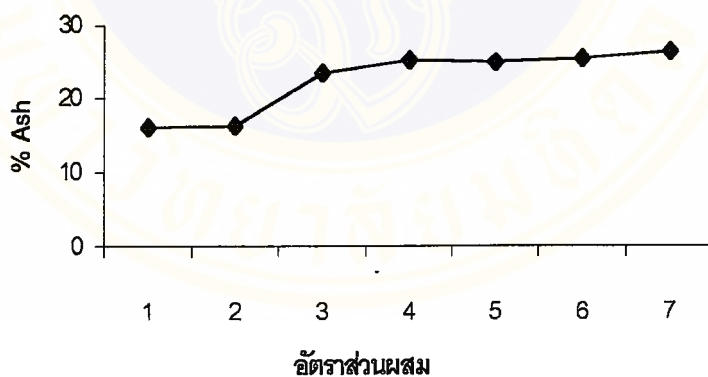


ภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน

4.3.11 ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

ผลการหาประสิทธิภาพการใช้งานเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยวิธีทดสอบของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน โดยทำการทดลองส่วนผสมละ 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน ของทั้ง 7 อัตราส่วนผสม มีค่าระหว่างร้อยละ 16.18 ถึง ร้อยละ 26.35 ตามลำดับ เมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย ตามภาพที่ 4.17

อัตราส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7
กากตะกอน : เศษชิ้นไม้สับ	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน μ (%)	16.81	16.34	23.51	25.21	24.91	25.43	26.35

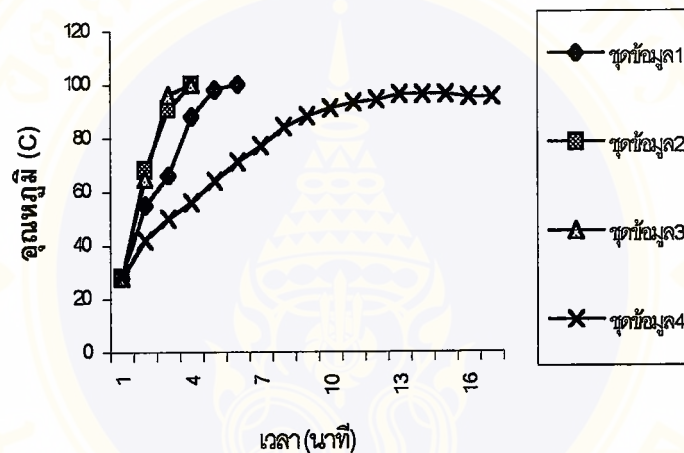


ภาพที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของส่วนผสมต่าง ๆ และเศษชิ้นไม้สับ

4.4.1 เศษชิ้นไม้สับ

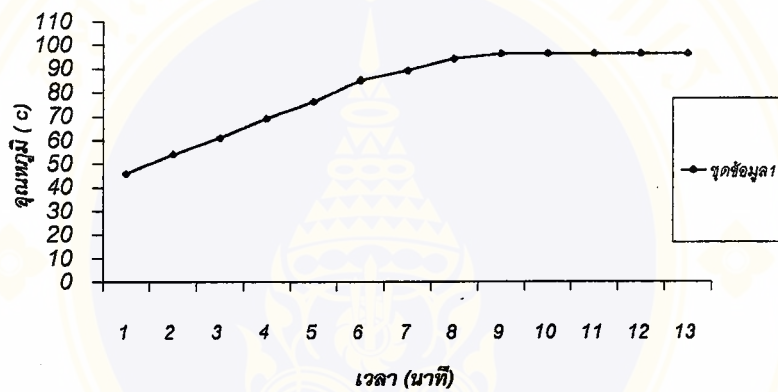
สามารถติดไฟได้ภายในเวลา 2 นาที มีควันและกลิ่นฉุนน้อย มีเถ้าร้อยละประมาณ 1.3 % สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 4 หม้อ โดยหม้อแรกใช้เวลาประมาณ 13 นาที หม้อที่สองใช้เวลา 9 นาที หม้อที่สามใช้เวลา 7 นาที หม้อที่สี่ใช้เวลา 22 นาที และหม้อที่ห้าไม่สามารถทำให้น้ำเดือดได้ แต่น้ำมีอุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านเชื้อเพลิง ส่วนผสมเศษชิ้นไม้สับ

4.4.2 ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 100 : 0

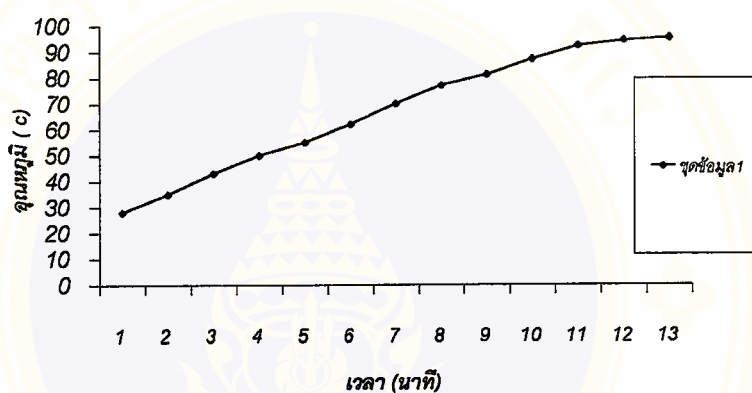
สามารถติดไฟได้ในเวลา 4 นาที มีควันและกลิ่นรุนแรง มีเถ้ามาก 49.5 % ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 67 นาที ตามภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 100 : 0

4.4.3 ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 90 : 10

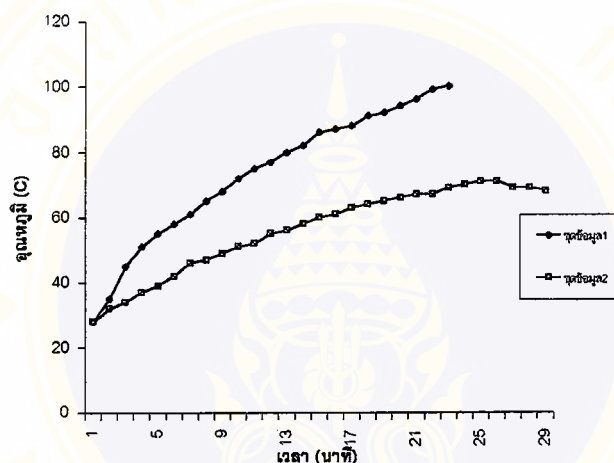
สามารถติดไฟได้ในเวลา 4 นาที มีควันและกลิ่นค่อนข้างมาก มีเถ้า 35 % ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 75 นาที ตามภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิ ในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 90 : 10

4.4.4 ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 80 : 20

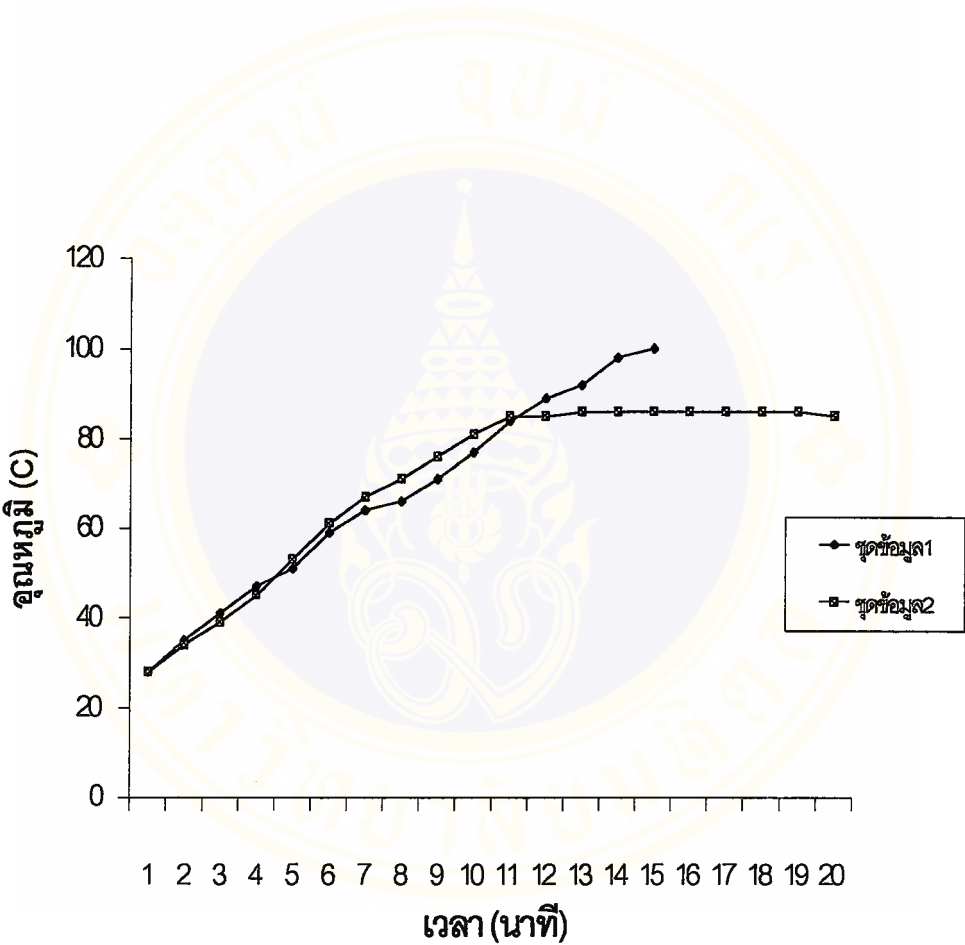
สามารถติดไฟได้ในเวลา 3 นาที 40 วินาที มีควันและกลิ่นฉุนค่อนข้างมาก มีถ้ำ 39.38 % สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 1 หม้อ โดยใช้เวลา 66 นาที หม้อที่สองไม่สามารถทำให้เดือดได้แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 84 นาที รวมเวลาติดไฟ 150 นาที ตามภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 80 : 20

4.4.5 ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 70 : 30

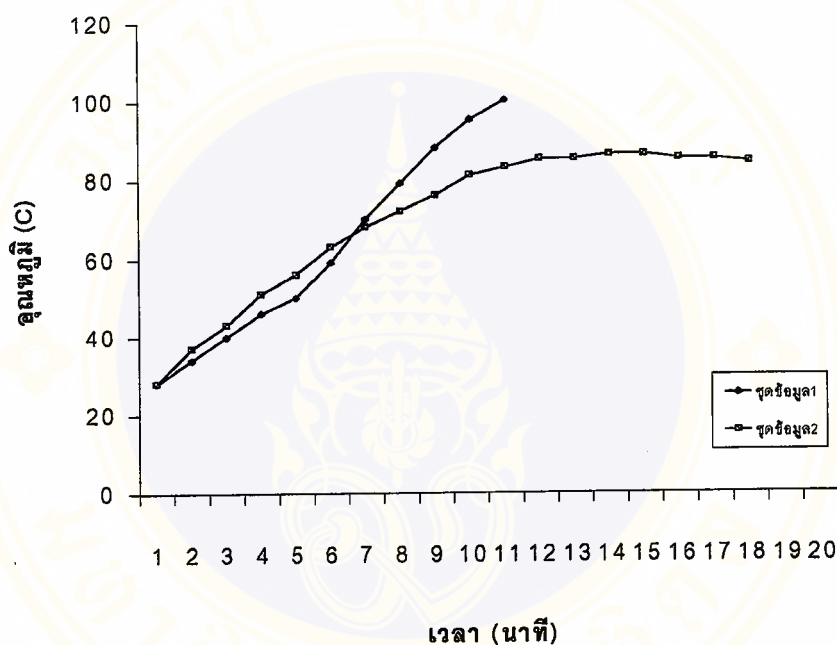
สามารถติดไฟได้ในเวลา 3 นาที มีควันและกลิ่นค่อนข้างมาก มีเถ้า 38.6 % สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 1 หม้อ ใช้เวลา 40 นาที หม้อที่สองไม่สามารถทำให้น้ำเดือดได้ แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 56 นาที รวมเวลาติดไฟ 96 นาที ตามภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 70:30

4.4.6 ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 60 : 40

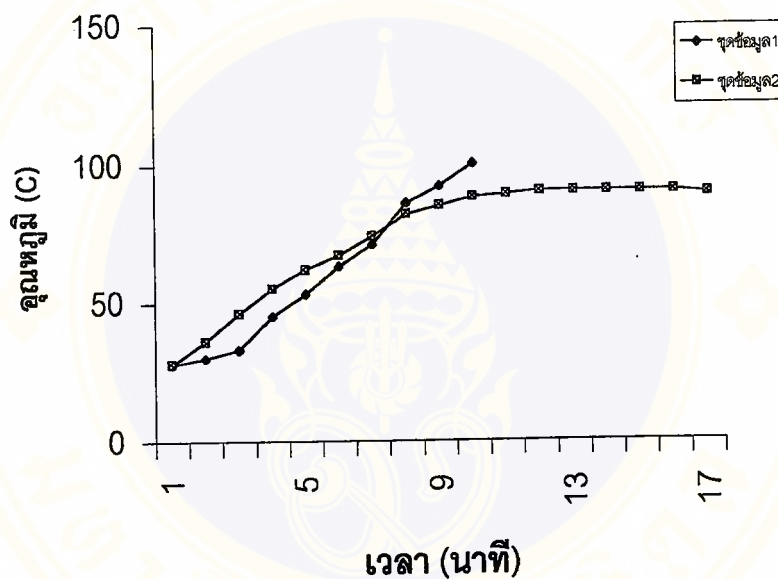
สามารถติดไฟได้ภายในเวลา 3 นาที มีควันและกลิ่นค่อนข้างมาก มีเถ้า 36.06 % สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 1 หม้อ ใช้เวลา 30 นาที หม้อที่ 2 ไม่สามารถทำให้เดือดได้ แต่น้ำมีอุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 51 นาที รวมเวลาติดไฟ 77 นาที ตามภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 60 : 40

4.4.7 ถ่านอัดแท่ง อัตราส่วนผสม 50 : 50

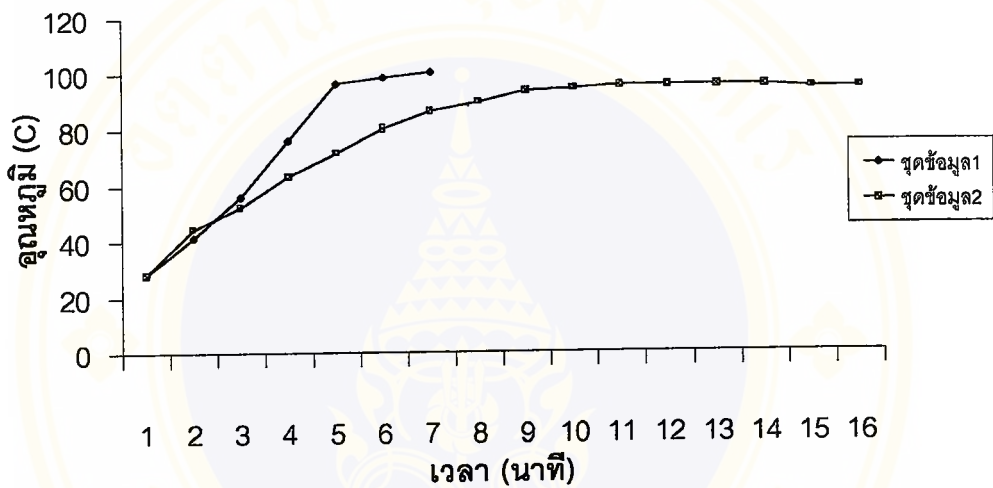
สามารถติดไฟได้ภายในเวลา 2 นาที มีควันและกลิ่นน้อย มีเถ้า 30.23 % สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 1 หม้อ ใช้เวลา 26 นาที หม้อที่ 2 ไม่สามารถทำให้เดือดได้ แต่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 89 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 48 นาที รวมเวลาติดไฟ 73 นาที ตามภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 50 : 50

4.4.8 ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 40 : 60

สามารถติดไฟได้ภายในเวลา 2 นาที มีควันและกลิ่นน้อย มีเถ้า 25.63 % สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 1 หม้อใช้เวลา 17 นาที ส่วนหม้อที่ 2 ไม่สามารถทำให้น้ำเดือดได้ แต่มีอุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 45 นาที รวมเวลาติดไฟ 61 นาที ตามภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 แสดงค่าเฉลี่ยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่ง ส่วนผสม 40 : 60

4.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต -

4.5.1 ผลการกำหนดต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 4.5 ผลต้นทุนคงที่ในการผลิต

ที่	รายการ	จำนวนเงิน บาท / ปี	หมายเหตุ
1	ค่าเสื่อมราคา	84,060	อัตราเงินกู้ธนาคาร ลูกค้าทั่วไป ปี 43 1% ต่อปี
2	ค่าดอกเบี้ยเงินลงทุน 8.25 % ต่อปี	80,175	
3	ค่าบำรุงรักษา อาคาร โรงงาน	2,500	
	รวม	166,735	

ตารางที่ 4.6 แสดงผลต้นทุนแปรผัน

	รายการ	จำนวนเงิน (บาท / ปี)	หมายเหตุ
1	ค่าซ่อมสกรู	24,000	ทุก ๆ 100 ชั่วโมง (16) 172 บาท/วัน/คน . โดยประมาณ
2	ค่ากระแสไฟฟ้า	41,856	
3	ค่าขนส่งเศษชิ้นไม้สับและกากตะกอน	1,152	
4	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร	73,000	
5	ค่าแรงงาน	154,800	
6	ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	5,000	
	รวม	299,808	

ใช้เครื่องอัด 4 เครื่อง (21) คนงาน 3 คน มีกำลังการผลิต 384,000 แท่ง/ปี

$$\begin{aligned}
 \text{ต้นทุนรวม} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนแปรผัน} \\
 &= 166,735 + 299,808 \\
 &= 466,543 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนรวมต่อแท่ง} &= \frac{466,543}{384,000} \\ &= 1.216 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนคงที่ต่อแท่ง} &= \frac{166,735}{384,000} \\ &= 0.434 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนแปรผันต่อแท่ง} &= \frac{299,808}{384,000} \\ &= 0.78 \text{ บาท} \end{aligned}$$

4.5.2 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break even Point)

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขาย} - \text{ต้นทุนแปรผัน}}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าราคาขาย 1.50 บาท จุดคุ้มทุน} &= \frac{166,735}{1.50 - 0.782} \\ &= 232,221.44 \text{ แท่ง} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าราคาขาย 2.00 บาท จุดคุ้มทุน} &= \frac{166,735}{2.00 - 0.782} \\ &= 136,892.44 \text{ แท่ง} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.7 ราคาต้นทุนในการผลิต (ที่กำล้งการผลิต 384,000 แ่ง / ปี) วันละ 1,280 แ่ง

ที่	รายการ	จำนวนเงิน (บาท / แ่ง)	หมายเหตุ
	ต้นทุนคงที่		
1	ค่าเสื่อมราคา	0.219	
2	ค่าดอกเบี้ย	0.208	
3	ค่าบำรุงรักษาอาคารโรงงาน	0.006	10% ของค่าเสื่อมราคา
	รวม	0.434	
	ต้นทุนแปรผัน		
4	ค่าซ่อมสกรู 1,000 บาท / ครั้ง	0.062	ทุก 100 ชั่วโมง (16)
5	ค่ากระแสไฟฟ้า หน่วย/แ่ง	0.109	
6	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร	0.190	10% ของค่าเสื่อมราคา
7	ค่าบำรุงรักษาเตาเผา	0.002	10% ของค่าเสื่อมราคา
8	ราคาเศษชิ้นไม้สับและกากตะกอน	-	ไม่คิด
9	ค่าขนส่งกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ	0.003	
10	ค่าแรงงาน	0.403	172 บาท/วัน/คน
11	ค่าใช้จ่ายอื่น	0.013	
	รวม	0.782	
	รวมต้นทุนผลิตทั้งหมด	1.216	

4.5.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน

ตารางที่ 4.8 แสดงต้นทุนการก่อตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งและค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน

ที่	รายการ	ราคาเริ่มต้น / บาท	อายุใช้งาน / ปี	ค่าเสื่อมราคา บาท / ปี	ราคาทรัพย์สินเมื่อครบ 5 ปี
1	อาคารโรงงาน	249,600	20	12,480	187,200
2	เครื่องอัด	165,000 X 4	10	59,600	302,000
3	เครื่องตี	20,000	10	1,980	10,100
4	เตาเผา	50,000	5	10,000	0
	รวม	979,600		84,060	499,300

หมายเหตุ ค่าที่ดิน ไม่มีเนื่องจากใช้ที่ดินของบริษัทเอง

- เงินลงทุนรวม = 979,600 บาท

- จำนวนที่ผลิตต่อปี = 384,000 แท่ง

- ยอดขายต่อปี = ราคาขาย X จำนวนที่ผลิต

- ถ้าราคาขาย 1.50 บาทต่อแท่ง

ยอดขาย = 1.50 X 384,000 บาท

= 576,000 บาท

กำไรขั้นต้นต่อแท่ง = ราคาขาย - ต้นทุนรวม

= 1.50 - 1.216

= 0.284

กำไรขั้นต้นต่อปี = 0.284 X 384,000

= 109,056 บาท

อัตราผลตอบแทนการลงทุน = ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยจากการดำเนินงาน X 100

ค่าลงทุน

= 109,056 X 100

979,600

= 11.13 %

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน, ปี} &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \\ &= \frac{979,600}{109,056} \\ &= 8.98 \\ &= 8 \text{ ปี } 11 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

ถ้าราคาขาย 2.00 บาท ต่อแท่ง

$$\begin{aligned} \text{ยอดขาย} &= 2.00 \times 384,000 \text{ บาท} \\ &= 768,000 \text{ บาท} \\ \text{กำไรขั้นต้นต่อแท่ง} &= 2.00 - 1.216 \\ &= 0.784 \\ \text{กำไรขั้นต้นต่อปี} &= 0.784 \times 384,000 \\ &= 301,056 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราผลตอบแทนการลงทุน} &= \frac{301,056}{979,600} \times 100 \\ &= 30.73 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน, ปี} &= \frac{979,600}{301,056} \\ &= 3.25 \\ &= 3 \text{ ปี } 3 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

จากรายการคำนวณข้างต้น จะเห็นว่าราคาค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน 249,600 บาท เครื่องจักร 4 เครื่อง 660,000 บาท เครื่องตี 20,000 บาท และเตาเผา 50,000 บาท รวมเป็นเงิน 979,609 บาท ที่กำลังการผลิต 384,000 แท่งต่อปี ราคาค่าต้นทุนการผลิตคงที่ 166,735 บาท และราคาค่าต้นทุนแปรผัน 299,808 บาท รวม 466,543 บาท ถ้าขายเชื้อเพลิง 2 บาท/แท่ง ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.25 หรือประมาณ 3 ปี 3 เดือน

บทที่ 5

อภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง “การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย และเศษชิ้นไม้สับจากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ” นี้ ได้นำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้ากระบวนการผลิตเชื้อกระดาษ มาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยตั้งสมมุติฐานว่า เมื่อนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียผสมกับเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษมารวมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วอัดเป็นแท่งเพื่อทำเชื้อเพลิงได้ จากการทดลองสามารถอภิปรายผลได้ตามลำดับ ดังนี้

- 5.1 คุณสมบัติการของเศษชิ้นไม้สับ และกากตะกอนก่อนผสม
- 5.2 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 5.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง
- 5.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ
- 5.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติและคุณภาพของถ่านอัดแท่ง
- 5.6 การศึกษาต้นทุนการผลิต

5.1 คุณสมบัติของกากตะกอนและ เศษชิ้นไม้สับก่อนผสม

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการนำกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับไปตรวจสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่า กากตะกอนมีขนาด 100 mesh มากที่สุด คือร้อยละ 80 ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปอัดเป็นแท่งได้ รวมทั้งกากตะกอนมีการเกาะตัวเป็นแผ่น ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการอัดแท่งด้วย

ส่วนเศษชิ้นไม้สับ มีขนาดตั้งแต่ 10-100 mesh โดยขนาด 50 mesh มีมากที่สุด คือ ร้อยละ 67 ซึ่งสามารถนำไปอัดเป็นแท่งได้ โดยขนาดที่เหมาะสมในการอัดแท่งคือ 48-100 mesh (16) และเนื่องจากเศษชิ้นไม้สับมีหลายขนาดปนกันอยู่จึงทำให้มีปริมาตรต่อกิโลกรัมสูงแสดงว่ามีช่องว่างระหว่างเศษชิ้นไม้สับขนาดต่างๆ กันอยู่มาก ซึ่งหมายถึงการยุบตัวหรือขยายตัวจะมีมากด้วย

5.1.2 คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการนำกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับไปวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่าเศษชิ้นไม้สับมีปริมาณความชื้น 16.7 %, ถ่านคงตัว 41.8 %, สารระเหย

63.9 %, เถົา 1.3 % และมีค่าความร้อน 3,888 kcal / kg ซึ่งมีค่าน้อยกว่าฟืน ไม้ยูคาลิปตัส ตามตารางที่ 2.2 ทั้งนี้เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับมีความชื้นมากกว่าฟืน ไม้ยูคาลิปตัสนั่นเอง

ส่วนกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมีปริมาณความชื้น 78 %, ถ่านคงตัว 8.3 %, สารระเหย 10.3 %, เถົา 6.9 %, และมีค่าความร้อน 2,832 kcal / kg ใกล้เคียงกับผักตบชวา คือประมาณ 3010 kcal/kg

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง และคุณสมบัติทางกายภาพ ของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับแล้ว มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ด้วยวิธีอัดเย็น แรงดันต่ำ โดยกากตะกอนจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานด้วย

5.2. ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.2.1 ความสามารถในการอัดขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีจะต้องมีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง (ประทีป, 16) จากการทดลองพบว่า มีส่วนผสมเพียง 7 อัตราส่วนที่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษต่อเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษ ในอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 โดยชนิดของส่วนผสมที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20 มีผิวเรียบ และชนิดของส่วนผสมที่มีอัตราส่วน 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 มีผิวขรุขระ

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าการอัดแท่งโดยวิธีอัดเย็นของส่วนผสมกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับที่มีอัตราส่วน 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 ไม่สามารถอัดออกมาจากกระบอกอัดได้ ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกได้ เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับเข้าไปขัดในช่องว่างระหว่างเกลียวอัดกับกระบอกอัด รวมทั้งเศษชิ้นไม้สับมีการขยายตัวมาก เมื่อไหลออกมาพ้นกระบอกอัดจะขยายตัวไม่เกาะกันให้คงรูปเป็นทรงกระบอกได้ และได้นำส่วนผสมดังกล่าวข้างต้นไปทดลองอัดโดยวิธีอัดร้อนก็ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เช่นกัน

สาเหตุที่อัดแท่งไม่ได้ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้คัดขนาดเศษชิ้นไม้สับให้ได้ขนาดที่เหมาะสม ในการอัดแท่ง ซึ่งควรมีขนาด 48-100mesh (ประทีป , 16) ขนาดของเศษชิ้นไม้สับ มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ตั้งแต่ 10-40 mesh ปนอยู่รวมกันประมาณร้อยละ 43 และมีขนาดตั้งแต่ 50-100 mesh รวมกันประมาณร้อยละ 67 โดยมีขนาด 50 mesh มากที่สุด คือร้อยละ 34

อีกสาเหตุหนึ่งที่อัดแท่งไม่ได้ คือ เกล็ดวอดที่ใช้ในการทดลองไม่ได้บำรุงรักษาตามกำหนดเวลา ซึ่งเครื่องอัดที่ผลิตในประเทศไทย เกล็ดวอดมีอายุการใช้งาน ประมาณ 100 ชั่วโมง (ประทีป, 16) ซึ่งจะต้องทำการเชื่อมพอกใหม่ จึงจะมีประสิทธิภาพในการอัดแท่ง จากการสังเกตขณะอัดแท่ง ส่วนผสมที่มีเศษชิ้นไม้สับมากขึ้น ส่วนผสมจะไหลย้อนกลับ เนื่องจากว่าเกล็ดวอดไม่สามารถดันส่วนผสมออกไปได้

5.2.2 ปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง

การวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่าปัจจัยที่ใช้ในการอัดแท่ง 3 ประการ คือ เวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง ความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้า และน้ำหนักฟืนเมื่ออัดแท่ง

5.2.2.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอัดแท่งของฟืนอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วนผสม คือ 0:47 , 0:48 , 1:05 , 1:21 , 2:01 , 2:07 และ 2:48 นาที ตามลำดับ

5.2.2.2 ความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดแท่งของฟืนอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วนผสม คือ 0.049, 0.05, 0.07, 0.1, 0.13, 0.14 และ 0.184 กิโลวัตต์ / แท่ง หรือเฉลี่ย 0.1071 กิโลวัตต์*ชั่วโมง / กิโลกรัม

5.2.2.3 น้ำหนักฟืนที่มีอัตราส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วนผสม คือ 1,272, 1,116, 1,117, 972, 874, 752 และ 646 กรัม/แท่ง ตามลำดับ หรือโดยเฉลี่ย 964.14 กรัม/แท่ง

จะเห็นว่า เมื่อส่วนผสมมีส่วนของเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการอัดเพิ่มขึ้น (มีค่าอยู่ระหว่าง 47 วินาที ถึง 2 นาที 48 วินาที ต่อแท่ง) ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น (มีค่าระหว่าง 0.049 – 0.184 กิโลวัตต์*ชั่วโมง /แท่ง) ทั้งนี้เนื่องจากการอัดแท่งจะยากขึ้นเพราะเศษชิ้นไม้สับจะเข้าไปอัดในช่องว่างระหว่างกระบอกอัดกับเกล็ดวอด และเมื่อส่วนผสมถูกอัดออกฟืนแนวเกล็ดวอดจะขยายตัวอัดผนังกระบอกอัดทำให้มีความฝืดมากขึ้น ในทางกลับกันน้ำหนักของแท่งฟืนจะลดลงตามปริมาณของเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำหนักกากตะกอนต่อน้ำหนักเศษชิ้นไม้สับเท่ากับ 3.85 ต่อ 1 (ตารางที่ 4.2, 4.3 , 4.4 และ ภาพที่ 4.1,4.2, 4.3)

5.2.3 การตากแห้งและการเผาเป็นถ่าน

5.2.3.1 การตากแห้ง

เนื่องจากพื้้นอัดแห้งที่ได้มายังมีความชื้นสูงจึงต้องนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นและทำให้แข็งเป็นแท่งด้วยการตากบนแผ่นกระเบื้องลอนเล็กในที่โล่ง เนื่องจากทำให้แท่งพื้้นแห้งได้ดีและเร็ว (ประทีป,16) การตากแห้งนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการเผาล้าง และช่วยประหยัดไม้พื้้นเชื้อไฟด้วย ร่องของแผ่นกระเบื้องจะช่วยบังคับให้แท่งเชื้อเพลิงตรงขึ้น จะเป็นการสะดวกเวลาเรียงในเตาเผา อนึ่งการตากแห้งนี้จะต้องคอยกลับด้านของแท่งเชื้อเพลิงเพื่อให้อัตราการคายความชื้นเฉลี่ยเท่า ๆ กันโดยรอบจะทำให้แท่งพื้้นอัดแห้งตรงยิ่งขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เวลาในการตากแห้ง 1 เดือน ซึ่งเป็นเวลาดตากแห้งสำหรับพื้้นที่จะเผาล้าง (กรมป่าไม้ ,9) รวมทั้ง เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม – กรกฎาคม) และเมื่อวัดขนาดของพื้้นอัดแห้งโดยรอบด้านแล้วปรากฏได้หัดตัวลงเท่า ๆ กันทุกด้าน โดยส่วนผสมที่มีเศษพื้้นไม้สับมากจะหัดตัวน้อย คือร้อยละ 23.4, 15.2, 9.4, 5.6, 2.4, 2 และ 0.6 ตามลำดับ

5.2.3.2 การเผาเป็นถ่าน

เนื่องจากพื้้นอัดแห้งมีความหนาแน่นน้อย (มีน้ำหนักเฉลี่ย 411 กรัมต่อแท่ง) การเผาไหม้จะใช้เวลาน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้เตาเผาแบบเตาถังน้ำมัน (Drum Kiln) ซึ่งสะดวกต่อการควบคุมอุณหภูมิเตาเผาจากตารางที่ ผ-4 ในภาคผนวก และภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มเผาไปได้ 5 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิของเตาสูงสุดแล้วจะเริ่มลดลง แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแห้งได้กลายเป็นถ่านอย่างทั่วถึงแล้ว และอุณหภูมิของปล่องควันเริ่มลดลง จนกระทั่งชั่วโมงที่ 8 อุณหภูมิของเตาเริ่มสูงขึ้นอีก แสดงว่าเกิดการสันดาปของถ่านในเตาเผา หากปล่อยไว้จะทำให้ถ่านกลายเป็นขี้เถ้ามากขึ้น จึงทำให้การเปิดเตาและใช้น้ำราดเตาเผาเพื่อลดอุณหภูมิให้เร็วขึ้น เมื่ออุณหภูมิเตาลดลงเหลือประมาณ 60°C จึงทำการปิดเตา ได้ผลผลิตถ่าน 21.27 % ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ผลผลิตที่ดีคือต้องมากกว่า 30 % (กรมป่าไม้, 9) อย่างไรก็ตามการเผาล้างครั้งนี้ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผาซึ่งจะทำให้พื้้นถูกเผาเป็นถ่านไม่เท่ากัน บางส่วนอาจถูกเผาน้อย ยังกลายเป็นถ่านไปหมด และบางส่วนอาจถูกเผาจนกลายเป็นเถ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับพื้้นอัดแห้งด้วยเตาอิฐขนาด 2 ลบ.ม. แล้ว การเผาพื้้นอัดแห้งจะใช้เวลาการติดไฟเร็วกว่า เวลาที่เผาทั้งขนาดสั้นกว่า และอุณหภูมิเตาก็ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากพื้้นอัดแห้งมีความหนาแน่นน้อยกว่าไม้ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยก่อนเผาประมาณ 396 กรัม/แท่ง หรือประมาณ 1.12 กรัม/ลบ.ซม.

5.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจะนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนการอัดเป็นแท่ง รวมทั้ง ถ่านไม้ และ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ดังนี้ .

5.3.1 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน

ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 4.54, 4.98, 4.91, 4.75, 5.01, 5.20 และ 5.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้ พบว่าทุกส่วนผสมมีค่าต่ำกว่า แต่สูงกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส ทั้งนี้ เนื่องจากกากตะกอนสามารถดูดความร้อนได้ดีกว่าไม้

5.3.2 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้า

ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้า ของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 49.54, 35.09, 39.38, 38.6, 36.06, 30.23 และ 25.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้และถ่านไม้ยูคาลิปตัสพบว่าทุกส่วนผสมมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากกากตะกอนมีปริมาณเถ้าสูง ทำให้ถ่านอัดแท่งมีปริมาณเถ้าสูงตามด้วย

5.3.3 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหย

ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่ง ที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 20.27, 32.49, 29.81, 20.07, 27.83, 36.06 และ 39.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับถ่านไม้และถ่านไม้ยูคาลิปตัส ทุกส่วนผสมมีค่าสูงกว่า แต่ส่วนผสม 70:30 มีค่าที่สุด เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าถ่านอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผสม 90:10 มีปริมาณสารระเหยสูงกว่าอัตราส่วนผสม 70:30 ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการเผาถ่านไม้ได้ควบคุมอุณหภูมิของเตา และเวลาที่ใช้ในการเผาทำให้พื้นที่มีอัตราส่วนผสม 70:30 ถูกเผาน้อยกว่าสารประกอบในเนื้อไม้จึงระเหยออกมาน้อย และเมื่อนำถ่านอัดแท่งไปวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยจึงได้ค่าที่สูง ในทางตรงกันข้ามถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 70:30 อาจถูกเผาเป็นถ่านมากกว่า ทำให้วัดค่าปริมาณสารระเหยได้ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณสารระเหยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น

5.3.4 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคงตัว

ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 30.37, 32.45, 34.03, 41.52, 35.51, 34.51 และ 34.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเผาสามารถเพิ่มคาร์บอนให้แก่ส่วนผสมได้ โดยเฉพาะมีค่ามากกว่ากากตะกอนก่อนผสม (8.3%) ทุกส่วนผสมมีค่าต่ำกว่าถ่านไม้ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส แต่อัตราส่วน 70 : 30 มีค่าสูงสุด เนื่องมาจากการเผาให้เป็นถ่านไม้ได้ควบคุมอุณหภูมิและเวลา ทำให้อัตราการกลายเป็นถ่านของแต่ละส่วนผสมไม่เท่ากัน ซึ่งค่าคาร์บอนคงตัวของอัตราส่วนผสม 70:30 ควรจะอยู่ระหว่าง 34.03 กับ 35.51 อย่างไรก็ตาม ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มคงที่เมื่อเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น

5.3.5 การหาค่าเฉลี่ยปริมาณกำมะถันรวม

ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยปริมาณกำมะถันรวมของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 0.97, 0.95, 0.86, 0.75, 0.75, 0.73 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากตะกอนมีปริมาณกำมะถันมากกว่าเศษชิ้นไม้สับ

5.3.6 ความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่าน

ได้ทำการคำนวณค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 0.609, 0.63, 0.385, 0.355, 0.358, 0.335 และ 0.359 gm/cm³ ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการอัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็น แรงดันต่ำ จึงไม่สามารถอัดให้เศษชิ้นไม้สับที่มีขนาดค่อนข้างหยาบและมีการขยายตัวสูง อัดตัวให้แน่นได้

5.3.7 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้ง

ได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวตั้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 0.47, 0.53, 0.54, 0.39, 0.31, 0.41 และ 0.51 kg/cm² ตามลำดับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับ

5.3.8 ค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวนอน

ได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยการทนแรงอัดแนวนอนของพื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 0.25, 0.30, 0.22, 0.20, 0.21, 0.12, 0.11 kg/cm² ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้นและมีค่าน้อยกว่าการทนแรงอัดในแนวตั้ง ดังนั้นการขนส่งถ่านอัดแท่งนี้จะต้องวางเรียงในแนวตั้งจึงจะเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่งน้อยลง

5.3.9 ค่าเฉลี่ยดัชนีการแตก่วน

ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยดัชนีการแตก่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ ร้อยละ 0.704, 0.726, 0.828, 0.849, 0.868, 0.883 และ 0.904 ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น

ดังนั้น ถ่านอัดแท่งนี้จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีแตก่วนหรือแตกละเอียด มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง นั้น ไม่จับตัวกันทำให้แตกง่าย ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดี แต่หากมีค่าดัชนีการแตก่วนระหว่าง 0.5-1.0 แสดงว่ามีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน (ประทีป , 16)

5.3.10 การหาค่าความร้อนเฉลี่ย

ได้ทำการวัดค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ 3247.4, 3752.5, 3923.1, 4072.4, 4111.7, 4184.5 และ 4158.2 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับ มีค่ามากกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม คือ 2832 และ 3888 แคลอรี/กรัม ตามลำดับ แต่มีค่าต่ำกว่าถ่านไม้และถ่านไม้ยูคาลิปตัสประมาณเท่าตัว

5.3.11 การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ 7 อัตราส่วน คือ ร้อยละ 16.18 , 16.34 , 23.51 , 25.21 , 24.91 , 25.43 และ 26.35 ตามลำดับ เมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้นตั้งแต่อัตราส่วนผสม 80:20 เป็นต้นไป ประสิทธิภาพการใช้งานจะไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนผสม 40 : 60 มีค่าสูงสุด คือ 26.35 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถ่านไม้ คือ 33%

5.3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของส่วนผสมต่าง ๆ และเศษชิ้นไม้สับ

5.3.12.1 คุณสมบัติในการติดไฟ ในการจุดไฟโดยใช้น้ำมันก๊าดราดในปริมาณ 10 ลบ.ซม.ปรากฏว่าเศษชิ้นไม้สับติดไฟได้ง่ายที่สุดประมาณ 2 นาที ส่วนถ่านอัดแท่งใช้เวลาระหว่าง 3 – 4 นาที โดยจะติดไฟจากด้านรูในก่อน

5.3.12.2 คว้นและกลิ่น ปรากฏว่าเศษชิ้นไม้สับมีคว้นมาก แต่มีกลิ่นน้อย ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคว้นน้อยกว่าและมีกลิ่นรุนแรงกว่า แต่เมื่อถ่านติดไฟโดยทั่วแล้วกลิ่นจะหายไป

5.3.12.3 ปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ ปรากฏว่า เศษชิ้นไม้สับมีเถ้าน้อย ส่วนถ่านอัดแท่งจะมีเถ้ามากกว่า เนื่องจากกากตะกอนมีโปรเตสเซียม และฟอสเฟตผสมอยู่ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า (16) แต่เถ้าจะคงรูปเป็นก้อนเหมือนถ่านก่อนเผาไหม้

5.3.12.4 ปริมาณน้ำที่เดือดและระยะเวลาที่ใช้ ปรากฏว่า เศษชิ้นไม้สับสามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 4 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 34 นาที ส่วนถ่านอัดแท่ง ต้มน้ำได้ 2 ครั้งใช้เวลาประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง 35 นาที ยกเว้นส่วผสม 100:0 และ 90:10 ไม่สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ แต่ให้ความร้อนได้ 94 องศาเซลเซียสใช้เวลา 1 ชั่วโมง 7 นาที และ 1 ชั่วโมง 15 นาที ตามลำดับ

5.3.12.5 อัตราเร็วในการให้ความร้อน พบว่า เศษชิ้นไม้สับจะลุกไหม้อย่างรวดเร็วประมาณ 30 นาทีซึ่งสามารถให้น้ำเดือดได้ในเวลา 12 นาทีแรก ส่วนถ่านอัดแท่งจะค่อย ๆ ดัดไฟโดยส่วนผสม 40:60 สามารถให้น้ำเดือดได้ในเวลา 16 นาทีแรก ตามตารางที่ 20 และ ตารางที่ ผ-27 ตามลำดับ

5.4 หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ

ได้นำค่าคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของถ่านอัดแท่งที่ได้จากการทดลอง มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตามสมการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปคะแนนดิบของเพียร์สันคำนวณ หาค่าเปรียบเทียบดังนี้

กลุ่มคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง กับ คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนกับคาร์บอนคงตัว เท่ากับ 0.28

ค่าความร้อนกับกำมะถัน เท่ากับ - 0.069

ค่าความร้อนกับสารระเหย เท่ากับ 0.028

ค่าความร้อนกับปริมาณเถ้า เท่ากับ - 0.843

ค่าความร้อนกับปริมาณความชื้น เท่ากับ 0.653

กลุ่มคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงกับคุณสมบัติทางกล

ค่าความร้อนกับความหนาแน่น เท่ากับ 0.839

เวลาการติดไฟกับความหนาแน่น เท่ากับ - 0.237

กลุ่มคุณสมบัติทางกลกับคุณสมบัติทางกล

ดัชนีการแตกร่วนกับความหนาแน่น เท่ากับ -0.985

ดัชนีการแตกร่วนกับการทนแรงอัดแนวตั้ง เท่ากับ -0.24

ดัชนีการแตกร่วนกับการทนแรงอัดแนวนอน เท่ากับ -0.95

จากค่าความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

5.4.1 ค่าความร้อนจะแปรผันกับคาร์บอนคงตัว ในระดับที่จะเห็นได้จากภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.16 ว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ค่าความร้อนยังมีอัตราการเพิ่มคงที่

5.4.2 ค่าปริมาณกำมะถันจะไม่มีผลต่อค่าความร้อนแต่อย่างใด ดังภาพที่ 4.11 ค่ากำมะถันมีแนวโน้มลดลงแต่ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นในภาพที่ 4.16

5.4.3 ดัชนีการแตก่วนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น เป็นสำคัญ รองลงไปคือการทนแรงอัดแน่นอน ดังนั้น หากจำเป็นต้องมีการขนส่งถ่านอัดแท่งนี้จะต้องจัดวางในแนวตั้ง

ในการทำงานเดียวกัน หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรมีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีผลในทางเดียวกัน แต่หากมีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีผลในทางตรงข้ามกัน

5.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติและคุณภาพของถ่านอัดแท่ง

5.5.1 ผลจากการทดลอง

ได้นำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้ดิบก่อนผสม รวมทั้งฟืนและถ่านไม้ จากตารางที่ 2.1 ในบทที่ 2 ได้ผลตารางที่ 5.1 ดังนี้

5.5.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ดี

เชื้อเพลิงที่ดีมีคุณสมบัติดังนี้ (ประทีป ,16)

- คาร์บอนคงที่มีปริมาณสูง
- สารระเหยมีปริมาณต่ำ
- เถ้า มีปริมาณต่ำ
- ความชื้นมีปริมาณต่ำ

เชื้อเพลิงในครัวเรือนที่ดี มีคุณสมบัติดังนี้ (ประทีป , 16)

- การแตกประทุ ขณะติดไฟมีน้อย
- น้ำหนักต้องมาก
- เวลาถูกไฟไหม้ใช้เวลานาน
- มีกลิ่นและควันขณะถูกไฟไหม้น้อย
- ความแข็งแรงสูง

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติและคุณภาพของถ่านอัดแท่งกับคุณสมบัติของกากตะกอน และเศษชิ้นไม้สับก่อนอัดแท่ง รวมทั้งฟืนและถ่านไม้

รายการ	ความชื้น %	ถ่านคงตัว %	สารระเหย %	เถ้า %	ค่าความร้อน kcal/kg	กำมะถัน %	เวลาถูก ไหม้ ชม.
ก่อนผสม							
กากตะกอน	78	8.3	10.3	36.9	2832	0.23	-
เศษชิ้นไม้สับ	16.7	41.8	63.9	1.3	3888	0.08	1.5
ถ่าน							
จี้เลื่อย	3.5	83.6	10.2	6.2	7530	-	2.0
เกลบ	2.2	59.8	6.3	33.9	4820	-	3.0
ไม้ท้าวไป	9.4	84.6	10	5.4	7430	-	1.2
ไม้ยูคาลิปตัส	3.92	79.8	16.7	3.5	7430	-	2.0
ฟืน							
จี้เลื่อย	5.7	24.9	72.5	2.6	4820	-	4.0
เกลบ	5.9	20.4	62.1	17.5	3900	-	3.0
ไม้ท้าวไป	8.0	22.8	73.3	3.9	4390	-	1.7
ถ่านอัดแท่ง							
กากตะกอน :							
เศษชิ้นไม้สับ							
100:0	4.54	30.37	20.27	49.54	3247	0.974	1.1
90:10	4.98	22.45	42.49	35.09	3753	0.947	1.25
80:20	4.19	34.03	29.81	39.38	3923	0.861	2.58
70:30	4.75	41.52	20.07	38.6	4072	0.745	1.6
60:40	5.01	35.51	27.83	36.06	4112	0.745	1.3
50:50	5.20	34.51	36.06	30.23	4184	0.733	1.2
40:60	5.78	34.18	39.69	25.63	4158	0.699	1.0

ที่มา : ปรับปรุงค่าจากตารางที่ 2.1 และจากการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งกับกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม จะเห็นว่า ถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีกว่า ซึ่งสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิง โดยมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับฟืน แต่ด้อยกว่าถ่านไม้ โดยเฉพาะถ่านไม้ยูคาลิปตัส เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งแต่ละส่วนผสม โดยให้น้ำหนักค่าตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงในข้อ 5.4 ที่มีค่าใกล้เคียงคุณสมบัติถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่สุด

ลำดับที่	1	ค่าความหนาแน่น	ให้คะแนนเท่ากับ	7
“	2	ค่าความชื้น	“	6
“	3	ค่าคาร์บอนคงตัว	“	5
“	4	ค่าสารระเหย	“	4
“	5	ค่ากำมะถัน	“	3
“	6	ปริมาณเถ้า	“	2
“	7	เวลาในการลุกไหม้	“	1

เมื่อให้น้ำหนักตามตารางที่ ผ-18 ในภาคผนวก จะได้อัตราส่วนผสมกากตะกอนกับเศษชิ้นไม้สับในอัตราส่วน 70:30 เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติดีที่สุด โดยได้คะแนนรวม 38 คะแนน ดังนั้นจึงเลือกถ่านอัดแท่งส่วนผสมนี้นำไปศึกษาต้นทุนการผลิตต่อไป

5.6 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต

5.6.1 ผลการกำหนดต้นทุนการผลิต

ได้คัดเลือกถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษและเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษในอัตราส่วน 70:30 มาศึกษาต้นทุนการผลิต ซึ่งโรงงานของบริษัท ปิณิจพล พัลล์ อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) มีเศษวัสดุที่เป็นเศษชิ้นไม้สับประมาณ 27 ตัน/วัน และมีกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 7.82 ตัน/วัน

ตารางที่ 5.2 แสดงต้นทุนการก่อตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งและค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน

ที่	รายการ	ราคาเริ่มต้น/ บาท	อายุใช้งาน / ปี	ค่าเสื่อมราคา บาท / ปี	ราคาทรัพย์สิน เมื่อครบ 5 ปี
1	อาคารโรงงาน	249,600	20	12,480	187,200
2	เครื่องอัด	165,000 X 4	10	59,600	302,000
3	เครื่องตี	20,000	10	1980	10,100
4	เตาเผา	50,000	5	10,000	0
	รวม	979,609		84,060	499,300

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งขั้นอุตสาหกรรม (21) ใช้เครื่องอัด 4 เครื่อง ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง 300 วัน/ปี เครื่องอัดแท่งที่ใช้มีกำลังการผลิตสูงสุด 384,000 แท่ง/ปี หรือ 1,280 แท่ง/วัน จะต้องใช้เงินลงทุนเริ่มต้นทั้งสิ้น 979,600 บาท คิดเป็นต้นทุนคงที่ 166,735 บาท ต้นทุนแปรผัน 299,808 บาท

5.6.2 ผลการพิจารณาจุดคุ้มทุน

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง เลือกถ่านอัดแท่งส่วนผสม 70:30 มาทำการศึกษาด้านทุนการผลิต ซึ่งถ่านอัดแท่งส่วนผสมนี้มีน้ำหนัก 218 กรัม/แท่ง หรือ 4.5 แท่ง/กิโลกรัม ราคาต้นทุน 1.282 บาท/แท่ง

ถ้าขายราคา 1.50 บาท/แท่ง ต้องผลิตปีละ 232,221 แท่ง คิดเป็นราคาขายกิโลกรัมละ 6.75 บาท

ถ้าขายราคา 2.00 บาท/แท่ง ต้องผลิตปีละ 136,892 แท่งคิดเป็นราคาขายกิโลกรัมละ 9 บาท

เมื่อเปรียบเทียบกับราคาขายถ่านไม้ในท้องตลาด (สำรวจในเดือนพฤษภาคม 2543) ราคาขายส่งกิโลกรัมละ 3.75 บาท และราคาขายปลีกกิโลกรัมละ 9 บาท แล้ว จะเห็นว่า ถ่านอัดแท่งจะมีราคาของปลีกสูงกว่าราคาถ่านไม้



5.6.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน

ถ้าขายถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งในราคา กิโลกรัมละ 6.75 บาท ณ อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8.25 ต่อปี จะต้องผลิตปีละ 232,221 แท่ง คำนวณได้อัตราผลตอบแทนการลงทุนได้ 11.13 % ต้องใช้ระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 11 เดือน ซึ่งมากกว่าอายุของโครงการ จึงไม่เหมาะสมที่จะขายในราคานี้

ถ้าขายถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งในราคา กิโลกรัมละ 9 บาท ณ อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8.25 ต่อปี จะต้องผลิตปีละ 136,892 แท่ง คำนวณอัตราผลตอบแทนการลงทุนได้ 30.73 % ใช้ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 3 เดือน ซึ่งน้อยกว่าอายุของโครงการ และมีกำลังการผลิตเพียงครึ่งเดียวของกำลังผลิตสูงสุด (384,600 แท่ง/ปี) จึงเหมาะสมที่จะขายในราคานี้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการทดลองนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดามผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ 11 ส่วนผสม คือ 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก แล้วนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยสามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

- 6.1.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนผสม
- 6.1.2 ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 6.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง
- 6.1.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล
- 6.1.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต
- 6.1.6 สรุปผล

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 6.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์
- 6.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้
- 6.2.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนผสม

6.1.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

กากตะกอนสามารถเกาะตัวกันเป็นแผ่นได้จึงมีคุณสมบัติในการเป็นตัวประสานในการอัดแท่ง ส่วนเศษชิ้นไม้สับมีขนาดตั้งแต่ 10-100 mesh ซึ่งสามารถนำไปอัดแท่งได้ และเนื่องจากเศษชิ้นไม้สับมีหลายขนาด จึงทำให้มีปริมาณต่อหน่วยน้ำหนัก

6.1.1.2 คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง

เศษชิ้นไม้สับมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงมีค่าความร้อน 3,888 kcal/kg น้อยกว่าฟืนไม้และฟืนขี้เลื่อย ซึ่งมีค่าความร้อน 4,390 kcal/kg และ 4,820 kcal/kg ตามลำดับ สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 4 ครั้ง แต่คุณสมบัติในการอัดแท่งไม่ดี เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับมีขนาดหลายขนาดปนกัน ตั้งแต่ 10-100 mesh ซึ่งขนาด 50 mesh มีมากที่สุดคือร้อยละ 67 ขนาดที่

สามารถอัดขึ้นรูปได้ดีต้องมีขนาดระหว่าง 48-100 mesh (ประทีป , 16) นอกจากนี้มีการขยายตัวมาก เมื่อไหลออกจากกระบอกอัดจะขยายตัวและไม่เกาะกันเป็นแท่ง และเศษชิ้นไม้สับเข้าไปขัดในช่องว่างระหว่างเกลียวอัดกับกระบอกอัดด้วย

กากตะกอนมีความชื้นสูงร้อยละ 78 มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ดี มีค่าความร้อนเพียง 2832 kcal/kg และปริมาณเถ้าสูง คือร้อยละ 36.9 มีกลิ่นค่อนข้างเหม็นแต่เป็นตัวช่วยประสานให้เศษชิ้นไม้สับสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้

6.1.2 ผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ มีปริมาตรลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีขนาดและรูปร่างเดียวกัน ซึ่งสะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา จากการทดลองพบว่ามีส่วนผสมเพียง 7 อัตรา ส่วนผสมที่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษต่อเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษ ในอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ไม่ได้คัดขนาดของเศษชิ้นไม้สับให้มีขนาดที่เหมาะสมในการอัดแท่งแต่อย่างใด ขนาดที่เหมาะสมในการนำมาอัดแท่ง คือ 48-100 mesh แต่เศษชิ้นไม้สับมีขนาดตั้งแต่ 10-100 mesh โดยขนาด 50 mesh มีมากที่สุด คือร้อยละ 34 โดยชนิดของส่วนผสมที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20 มีผิวเรียบ และส่วนผสมที่มีอัตราส่วน 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 มีผิวขรุขระ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษมากจะอัดขึ้นรูปได้ยาก และมีความหยาบกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนมากกว่า

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษมากจะอัดขึ้นรูปได้ยาก มีน้ำหนักน้อย ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปนานขึ้น และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่า (ตารางที่ 4.4) เฉลี่ยประมาณ 0.1071 กิโลวัตต์.ชั่วโมง/กิโลกรัม

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ตากแห้งประมาณ 1 เดือน จะมีอัตราการหดตัวลงเท่า ๆ กันในแต่ละส่วนผสม โดยส่วนผสมที่มีเศษชิ้นไม้สับมากจะมีอัตราการหดตัวที่น้อยกว่า

6.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ ต้องมีปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้าและปริมาณสารระเหยต่ำ ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง น้ำหนักมาก ความแข็งและความหนาแน่นสูง จากการทดลองพบว่า อัดแท่งทั้ง 7 ส่วนผสมมีคุณสมบัติต่างกันไม่มาก

ปริมาณความร้อนใกล้เคียงกันคือเฉลี่ยประมาณ 4,090 kcal/kg ยกเว้นที่อัตราส่วน 100:0 และ 90:10 มีค่าความร้อนต่ำคือ 3,247 และ 3,753 kcal/kg แต่เป็นค่าความร้อนที่สูงกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสมและก่อนเผาให้เป็นถ่าน

ปริมาณความชื้นและเปอร์เซ็นต์เถ้าใกล้เคียงกัน แต่เป็นปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับถ่านไม้ทั่วไป

ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณสารระเหยในแต่ละตัวอย่างต่างกันค่อนข้างชัดเจน โดยจะมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว สูงสุดที่อัตราส่วน 70:30 และปริมาณสารระเหยต่ำสุดที่อัตราส่วน 70:30 แต่มีค่ามากกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม

6.1.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

- ความหนาแน่น จะขึ้นอยู่กับปริมาณเศษชิ้นไม้สับ หากเศษชิ้นไม้สับมีมากขึ้น ความหนาแน่นจะต่ำลง เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับมีขนาดค่อนข้างหยาบ ทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อส่วนผสมมากขึ้นด้วย

- การทนแรงอัดแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันมากนัก ทุกอัตราส่วนหากมีปริมาณเศษชิ้นไม้สับมากขึ้น การทนแรงอัดแนวตั้งจะมากขึ้นด้วย เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับที่ยาวกว่าเศษชิ้นไม้สับทั่วไปจะถูกเกลียวอัดรีดให้เรียงอยู่ในแนวนานเส้นผ่านศูนย์กลาง ทำให้สามารถทนแรงอัดได้มาก ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.47 – 0.51 kg/cm²

- การทนแรงอัดแนวนอน จะมีค่าลดลงตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น มีค่าระหว่าง 0.11 – 0.25 kg/cm²

- เมื่อเปรียบเทียบการทนแรงอัดแนวตั้งกับการทนแรงอัดแนวนอน จะเห็นว่า การทนแรงอัดแนวนอนจะมีค่าน้อยกว่าประมาณ 2-4 เท่า

- ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน จะมากขึ้นตามปริมาณเศษชิ้นไม้สับที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 16.18 – 26.35 เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับ มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน ร้อยละ 87.86 เมื่อมีปริมาณเศษชิ้นไม้สับมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนสูงตามไปด้วย

- เวลาที่ใช้ในการลวกไหม้ พบว่า เมื่อปริมาณเศษชิ้นไม้สับเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการลวกไหม้จะสั้นลง โดยมีค่าระหว่าง 60 – 94 นาที เนื่องจากการติดไฟของเศษชิ้นไม้สับจะดีกว่ากากตะกอน

อย่างไรก็ตามถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ ผสมกับเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษ มีคุณสมบัติดีกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสมหรือก่อนเผาให้เป็นถ่าน แต่มีคุณสมบัติดีกว่าฟืนและถ่านไม้ทุกชนิด (ตารางที่ 5.1) โดยเฉพาะความทนต่อแรงอัดมีน้อยมาก ในการขนส่งที่ต้องมีปริมาณมาก ๆ ต่อครั้ง จำเป็นต้องเรียงในแนวตั้งซึ่งจะเป็นต้นทุนในการผลิต แต่ให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนแกลบที่มีค่าความร้อน 3,900 kcal/kg

6.1.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิต

เมื่อพิจารณาคูณสมบัติในทุกด้าน (ตารางที่ 5.1) ของถ่านอัดแท่งทั้ง 7 ส่วนผสม จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันไม่มากนักในทุก ๆ ด้าน และเมื่อพิจารณาคัดเลือกถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ ต่อเศษชิ้นไม้สับจากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตเชื้อกระดาษ โดยวิธีหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ในรูปคะแนนดิบของเพียร์สัน ปรากฏว่าอัตราส่วน 70:30 แสดงคุณสมบัติเด่นที่สุดในส่วนผสมทั้ง 7 อัตราส่วน คือมีค่าปริมาณความร้อนค่อนข้างสูง ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด และปริมาณสารระเหยต่ำสุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของเชื้อเพลิงที่ดี จึงได้นำถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนนี้มาศึกษาต้นทุนการผลิตสรุปได้ดังนี้

ราคาค่าก่อสร้างอาคารโรงงานและเครื่องจักรรวมเป็นเงิน 979,600 บาท ต้นทุนการผลิตคิดเป็นเงิน 1,216 บาท/แท่ง ที่กำลังการผลิต 136,892 แท่งต่อปี และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3 ปี 3 เดือน

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าใช้จ่ายและข้อมูลด้านเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาต่อวัน

	จำนวน ตัน	ราคา บาท /ตัน	ราคาสุทธิ บาท	ค่าความร้อน kcal/kg
ถ่านบิทูมินัส	500	1,200	600,000	5,200
เปลือกไม้และฟ่อน	150	80	12,000	-
เศษชิ้นไม้สับ	27	200	5,400	3,888
กากตะกอน	7.82	-	-	2,832
ค่าน้ำมันรถ	100	12	1,200	-
ค่าแรงงาน 3 คน	3 คน	172	516	-
เชื้อเพลิงอัดแท่ง	0.277	9,216	2,560	4,072

ที่มา : บริษัท ปัญจพล พัลลิ่ง อินดัสตรี จำกัด

จากตารางที่ 6.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านอัดแท่งที่กำลังการผลิต 384,000 แท่งต่อปี หรือคิดเป็น 1,280 แท่งต่อวัน (1 วัน = 8 ชั่วโมง, 1 ปี = 300 วัน น้ำหนักเฉลี่ยแท่งละ 0.217 กิโลกรัม หรือ 4,608 แท่ง/ตัน) หรือผลิตได้ 0.277 ตันต่อวัน ราคาถ่านอัดแท่งเท่ากับ 2.00 บาทต่อแท่งหรือ 9,216 บาทต่อตัน ดังนั้น ใน 1 วันจะได้รายรับจากการขายถ่านอัดแท่ง 2,560 บาท ซึ่งน้อยกว่ารายรับจากการขายเศษชิ้นไม้สับ 5,400 บาท อยู่ถึง 2,840 บาท

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าใช้จ่ายเทียบเป็นปริมาณความร้อน

รายการ	เศษชิ้นไม้สับ	กากตะกอน
1. จำนวน 1 กิโลกรัม ให้ความร้อนเทียบเท่าถ่านบิทูมินัส ,กิโลกรัม	0.75	0.54
2. จำนวนที่ใช้ต่อวัน (ตัน)	0.373	0.871
ทดแทนถ่านบิทูมินัสได้ (ตัน)	0.28	0.47
หรือทดแทนได้ (บาท/วัน)	336	564
รวมเป็นเงิน บาท	900	

หากเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในเชิงปริมาณความร้อนทดแทน จะเห็นว่าเมื่อนำเศษชิ้นไม้สับและกากตะกอน ไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา (ซึ่งเป็นวิธีที่โรงงานฯ ใช้ในปัจจุบัน) จะทดแทนเงินค่าซื้อถ่านบิทูมินัส มาเป็นเชื้อเพลิง คิดเป็นเงิน 900 บาท/วัน แต่หากนำกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับมาทำเป็นถ่านอัดแท่ง ทางโรงงานจะขายถ่านอัดแท่ง 2,560 บาท/วัน นั้นสมมติว่า โรงงานสูญเสียรายได้ไปวันละ 1,600 บาท

6.1.6 สรุปผล

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง ที่ได้นำมาศึกษาเทียบกับคุณสมบัติของกากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับ ก่อนผสมและก่อนเผาให้เป็นถ่านรวมทั้งเปรียบเทียบกับถ่านไม้แล้ว สรุปได้ว่าถ่านอัดแท่งที่ได้จากการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับ จากการสับไม้ก่อนเข้าขบวนการผลิตของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ มีคุณสมบัติดีกว่ากากตะกอนและเศษชิ้นไม้สับก่อนผสม และก่อนเผาให้เป็นถ่านโดยสามารถเพิ่มคาร์บอนคงตัวให้สูงขึ้น ค่าความร้อนมากขึ้น แต่มีคุณสมบัติด้อยกว่าไม้ในทุกด้าน โดยเฉพาะมีปริมาณเถ้าที่ค่อนข้างสูง ความหนาแน่นต่ำ ทำให้ไม่สะดวกในการขนส่ง แต่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในงานที่ไม่ต้องการค่าความร้อนมากนัก

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเทียบกับถ่านไม้ จะเห็นว่าต้นทุนต่ำกว่าถ่านไม้ และราคาขายสามารถจำหน่ายในราคาที่ต่ำกว่าถ่านไม้ได้ อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงถึง 30.73% ณ ราคาขาย กิโลกรัมละ 9 บาท จึงเป็นโครงการที่เหมาะสมจะลงทุน แต่มีข้อจำกัดด้านการขนส่งซึ่งจะทำให้แตกหักเสียหายได้

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งทั้ง 2 ชนิด ของโรงงานแล้ว พบว่าวิธีการของโรงงานเป็นการใช้เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม โรงงานสูญเสียโอกาสมีรายได้ไปวันละ 1,660 บาท รวมทั้งมีความเสี่ยงสูงที่จะทำให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมในโรงงาน และแม่น้ำน้อยที่อยู่ใกล้เคียง โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่ไม่สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้

สรุปว่า การนำกากตะกอนมาผสมกับเศษชิ้นไม้สับ มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง สำหรับ โรงงานแห่งนี้แม้จะให้รายได้น้อยกว่าการขายเศษชิ้นไม้สับ แต่มีความเหมาะสมมากกว่าการนำไปผสมถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ ซึ่งการผลิตเป็นถ่านอัดแท่งมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงถึงร้อยละ 30.73 จึงมีความเหมาะสมที่จะผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่เนื่องจากถ่านอัดแท่งให้ค่าความร้อนต่ำ จึงเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ไม่ต้องการความร้อนสูงมากนัก ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง สำหรับการให้ทรัพยากรให้เกิดมูลค่าเพิ่มโดยใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายที่มีอยู่ในประเทศไทย

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

6.2.1.1 นำไปเผยแพร่เป็นข้อมูล และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเศษชิ้นไม้สับ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นอาชีพ จากการวิเคราะห์การลงทุนมีผลตอบแทนสูง

6.2.1.2 เป็นทางเลือกในการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษชิ้นไม้สับ และกากตะกอนที่สามารถใช้ประโยชน์ในทางอื่นได้

6.2.1.3 เป็นทางเลือกในการพิจารณานำเศษชิ้นไม้สับมาเป็นวัตถุดิบในการทำเป็นถ่านในรูปแบบอื่น ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพของเศษชิ้นไม้สับมีหลายขนาดปนกันอยู่ อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนา

6.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้

6.2.2.1 เนื่องจากปริมาณของกากตะกอนมีน้อยกว่าเศษชิ้นไม้สับ ประมาณ 4 เท่า ต่อ 1 หน่วยน้ำหนัก ดังนั้นการผสมก่อนการอัดแท่ง จะต้องทำให้สม่ำเสมอขึ้น เพื่อจะได้อัดขึ้นรูปได้ดีขึ้น และสามารถวัดค่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ได้แม่นยำยิ่งขึ้น

6.2.2.2 ในการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงก่อนเผาเป็นถ่าน ควรตากในที่โล่งแจ้ง กลางแดด และมันกลับด้านบ่อย ๆ เพื่อป้องกันการโก่งตัวและจะทำการหัดตัวจะสม่ำเสมอและไม่ควรตากในที่มืดแรงจัด จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงปริแตกได้ เนื่องจากอัตราการคายความชื้น บริเวณผิวนอกมีมากกว่าด้านใน

6.2.2.2 การเผาให้เป็นถ่าน ต้องควบคุมอุณหภูมิและเวลาอย่างใกล้ชิด เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นน้อย การลุกไหม้จะเกิดขึ้นเร็วจะทำให้ถ่านไหม้เป็นถ่านมากขึ้น

6.2.2.3 ในการทดลองและทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ ไม่ได้ควบคุมตัวแปรใด ๆ ผลการทดสอบจะมีค่าเบี่ยงเบน การศึกษาครั้งต่อไปจะต้องมีการควบคุมตัวแปรด้วย

6.2.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

6.2.1.1 แนวทางการนำเศษชิ้นไม้สับไปสร้างมูลค่าเพิ่ม ดังมีประเด็นดังต่อไปนี้

- (1) ควรคัดขนาด ส่วนที่ละเอียดใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งจะให้ความหนาแน่นมากขึ้น ส่วนที่หยาบไปผลิตเป็น ชิ้นไม้สับอัด (Particle board)
- (2) หากไม่มีการคัดขนาด ควรศึกษาการนำไปผลิตเป็นถ่านกึ่งดี เนื่องจากเศษชิ้นไม้สับมีหลายขนาดปนกัน ส่วนที่ละเอียดจะทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงเผาให้ส่วนที่หยาบกลายเป็นถ่าน อันจะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนา พลังงานทดแทน
- (3) ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุสำหรับการเพาะเห็ด

6.2.2.1 ควรศึกษาเพื่อนำกากตะกอน ไปเป็นที่เพาะกล้าไม้ เนื่องจากการศึกษาของบริษัท ปัญจพล พัลท์ อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) พบว่าในกากตะกอน มีธาตุไนโตรเจน ร้อยละ 0.9 ฟอสเฟต ร้อยละ 0.45 อัตราส่วน $C/N = 8 : 1$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนค่า C/N ของฮิวมัส (5:1 ถึง 15:1)

6.2.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนไปเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะและรูปร่างเป็นแผ่น

6.2.2.3 ควรศึกษาวิธีดกกลั่นจุลินทรีย์ หรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายการอ้างอิง

1. กระทรวงอุตสาหกรรม, แผนแม่บทการปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม, มกราคม 2541
2. กระทรวงอุตสาหกรรม, แผนแม่บทอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2540 – ตุลาคม 2539)
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, รายงานการศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลพิษสูงเพื่อลดมลพิษ 3 ประเภทโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ โรงงานแปรงมันสำปะหลังและโรงงานฆ่าสัตว์ปีก สิงหาคม 2538
4. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, อุตสาหกรรมผลิตถ่านอัดแท่ง ตุลาคม 2528
5. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมผลิตเชื้อและกระดาษ
6. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สถิติการป่าไม้ของประเทศไทย ปี 2541 ตุลาคม 2542
7. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ผลกระทบของการปลูกไม้ยูคาลิปตัสและมันสำปะหลังต่อดินระบบนิเวศและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 2540
8. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลซิส 2540
9. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, เทคโนโลยีการผลิตถ่านสำหรับชนบท 2541
10. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน การเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสม เอกสารฝึกอบรม
11. กานดา พูนลาภทวี, สถิติเพื่อการวิจัย พ.ศ. 2530
12. ชำรง โชตะมังสะ และ สุจิตต์ สนองคุณ เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น มณีรัตน์การพิมพ์ กรุงเทพมหานคร
13. บริษัท ปัญจพล พัลฟ์ อินดัสตรี จำกัด รายงานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โครงการโรงงานอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษ, จัดทำโดย บริษัท คอนซัลแทนด์ออฟ เทคโนโลยี จำกัด, มีนาคม 2535
14. มหาวิทยาลัยมหิดล แนวทางการจัดทำนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม, มีนาคม 2538
15. มงคลไข่มุกด์ การนำพีทมมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแข็ง วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539

รายการอ้างอิง (ต่อ)

16. ประทีป ปิ่นท้วม , การศึกษาการทำเชื้อเพลิงที่เหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร , กรุงเทพมหานคร , บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหิดล , 2538
17. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดลำปาง , สำนักงานคู่มือการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม, พิมพ์ที่สหกิจการพิมพ์ ลำปาง , 2538
18. สถาบันนโยบายศึกษา สมาคมสังคมศาสตร์แห่งประเทศไทย วิเคราะห์นโยบายยุคอาณานิคมจากแง่มุมผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและการเมือง เอกสารสำหรับคณะกรรมการวิชาการของรัฐสภา , ตุลาคม 2534
19. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ประเมินความเหมาะสมการใช้แท่งพื้นแกลบ ทดแทนพื้นใช้ในการผลิตเกลือสินเธาว์ , สิงหาคม 2529
20. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย รายงานความเหมาะสมในการผลิตพื้นแกลบ , พฤศจิกายน 2528
21. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย การผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ , กันยายน 2535
22. สมพร แสงชัย, การวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมในการพัฒนา เอกสารประกอบการบรรยายสำนักฝึกอบรมสถาบัน บัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ , พฤศจิกายน 2534
23. เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนโรงพิมพ์สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย , 2524
24. อนุชิต กิจสวัสดิ์ การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้ข้าวโพดเพื่อใช้กับเตาเศรษฐกิจแบบของนายหล้า , กันยายน 2524
25. บริษัท เอสโซ่แอสเตนดาร์ด ประเทศไทย จำกัด การอนุรักษ์พลังงาน เอกสารเผยแพร่ , พฤศจิกายน 2517
26. อติศักดิ์ รุจิยากร การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินอัดก้อนเพื่อความเหมาะสมกับการใช้ในครัวเรือน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
27. สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา , ภาวะมลพิษของดิน จากการใช้สารเคมี กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2529

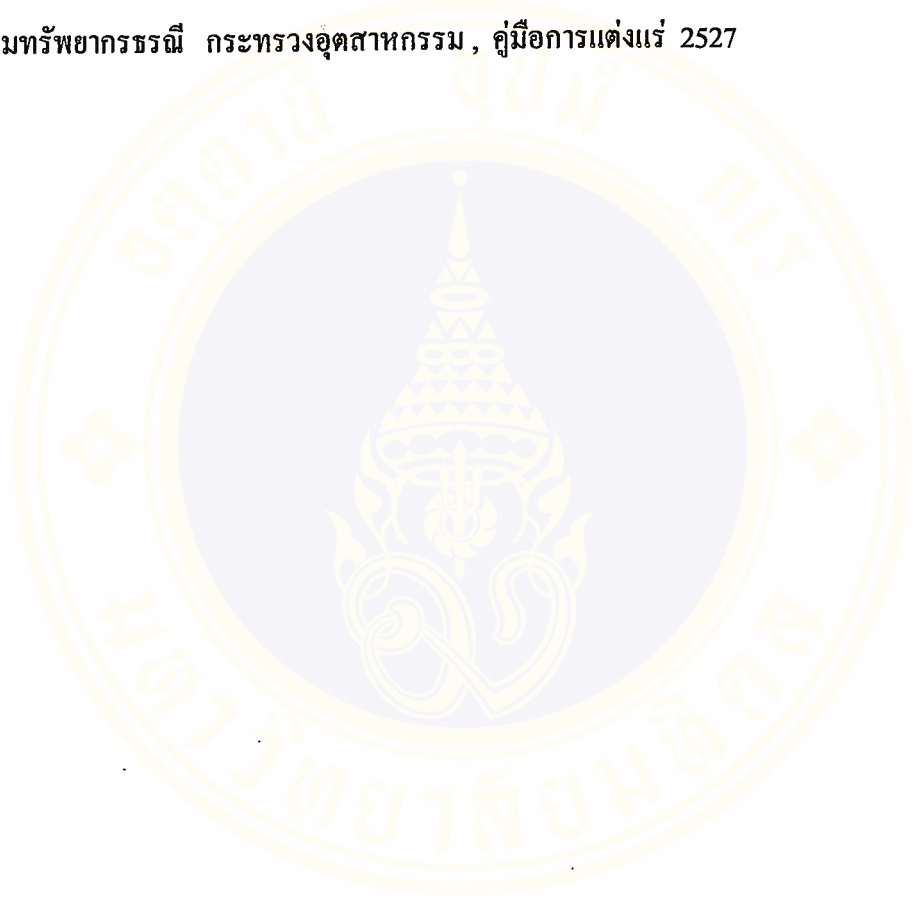
รายการอ้างอิง (ต่อ)

28. MINISTRY OF INDUSTRY, INTRODUCTION TO PULP AND PAPER

MANUFACTURING. JUNE 18 , 1998

29. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, พลังงานจากไม้ (9) เอกสารเผยแพร่, 2524

30. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม , คู่มือการแต่งแร่ 2527





ตารางที่ ผ-1 เวลาที่ใช้ในการอัดแท่ง (วินาที)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
Lack time	35	40	60	60	80	120	115
1	48	50	65	92	115	140	160
2	45	45	65	95	115	140	160
3	45	45	66	95	115	136	165
4	45	50	65	90	120	138	165
5	48	52	65	90	115	138	17
6	46	48	66	95	115	140	175
7	48	49	66	95	121	142	170
8	45	48	65	85	120	140	175
9	45	48	66	85	121	130	170
10	45	45	65	85	115	120	170
ค่าเฉลี่ย	46	48	65.4	90.7	117.2	137.4	168
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	1.4142	2.4037	0.5164	4.3982	2.8597	4.2216	5.3748

หมายเหตุ

Lack time หมายถึง เวลาที่เริ่มอัดจนขึ้นเต็มรูปหน้าตัด

ตารางที่ ผ-2 น้ำหนักฟันเมื่ออัดแท่ง (กรัม)

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	1240	1120	1120	1000	880	760	640
2	1280	1120	1100	980	860	750	640
3	1250	1120	1115	1000	860	730	650
4	1250	1115	1120	1000	850	740	650
5	1300	1110	1115	980	900	740	640
6	1280	1120	1120	980	840	750	640
7	1280	1120	1125	950	860	750	650
8	1285	1110	1120	930	900	780	660
9	1280	1115	1120	950	890	760	650
10	1280	1115	1115	950	900	760	640
ค่าเฉลี่ย	1273	1117	1117	972	874	752	646
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	19.0394	4.1163	6.4031	25.2982	22.7058	13.9841	6.9920

ตารางที่ ผ-3 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kwh)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	0.051	0.055	0.069	0.098	0.127	0.142	0.179
2	0.047	0.048	0.070	0.103	0.127	0.142	0.179
3	0.048	0.049	0.069	0.102	0.120	0.138	0.178
4	0.047	0.053	0.068	0.097	0.125	0.136	0.178
5	0.051	0.056	0.069	0.096	0.129	0.136	0.186
6	0.049	0.045	0.069	0.101	0.129	0.143	0.191
7	0.050	0.05	0.067	0.100	0.132	0.146	0.186
8	0.048	0.05	0.069	0.091	0.134	0.142	0.189
9	0.048	0.051	0.07	0.088	0.131	0.136	0.186
10	0.047	0.047	0.068	0.088	0.130	0.134	0.186
ค่าเฉลี่ย	0.049	0.05	0.07	0.100	0.130	0.140	0.184
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.00158	0.00347	0.00092	0.0056	0.00394	0.00397	0.00485

ตารางที่ ผ-4 อุณหภูมิเตาและควันเตาเผาถ่าน, °C

เวลา	เตา (°C)	ปล่องควัน(°C)		เวลา	เตา (°C)	ปล่องควัน(°C)
9:30	27	27		15:30	300	75
10:00	50	27		16:00	290	75
10:30	76	29		16:30	285	70
11:00	90	35		17:00	285	70
11:30	93	35		17:30	306	80
12:00	127	60		18:00	310	85
12:30	148	60		18:30	319	89
13:00	167	65		19:00	285	89
13:30	190	70		19:30	289	89
14:00	220	70		20:00	289	90
14:30	258	75		20:30	299	90
15:00	316	80		21:00	320	90

หมายเหตุ

* เชื้อเพลิงอัดแท่ง 57.6 กิโลกรัม

* ฟืนเชื้อไฟ 10 กิโลกรัม

* น้ำหนักถ่านก้อน 14.4 กิโลกรัม

* น้ำหนักสับถ่าน 1.32 กิโลกรัม

ตารางที่ พ-5 น้ำหนักพื้ก่อนเผา (กรัม)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	330	420	440	460	450	430	430
2	350	410	380	440	440	430	430
3	340	420	390	460	450	410	440
4	340	410	390	450	400	420	430
5	360	400	410	440	460	420	420
6	350	410	390	440	420	420	420
7	350	420	430	410	440	410	420
8	350	400	330	400	470	440	440
9	350	420	420	430	440	420	450
10	340	410	350	410	460	420	440
ค่าเฉลี่ย	346	412	373	434	443	420	432
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	8.4327	7.8881	34.3349	21.1869	20.5750	9.1893	10.3279

ตารางที่ ผ-6 ขนาดพื่นก่อนเผา (มิลลิเมตร)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	38	42	45	47	49	49	50
2	39	42	45	47	49	49	50
3	38	42	45	48	49	49	50
4	38	43	45	47	49	49	50
5	38	43	45	47	49	49	49
6	39	41	46	47	49	49	49
7	37	43	46	47	48	49	50
8	38	42	45	48	48	49	49
9	39	43	46	47	49	49	50
10	39	43	45	47	49	49	50
ค่าเฉลี่ย	38.3	42.4	45.3	47.2	48.8	49	49.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.6749	0.6992	0.4830	0.4216	0.4216	0	0.4830

ตารางที่ ผ-7 ความหนาแน่นของถ่านเชื้อเพลิง (gm/cm^3)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	0.632	0.508	0.433	0.343	0.483	0.326	0.314
2	0.608	0.648	0.336	0.276	0.327	0.270	0.417
3	0.634	0.665	0.383	0.316	0.396	0.327	0.432
4	0.616	0.697	0.444	0.344	0.358	0.290	0.427
5	0.629	0.687	0.367	0.346	0.284	0.302	0.360
6	0.572	0.632	0.385	0.401	0.398	0.330	0.311
7	0.585	0.624	0.400	0.354	0.378	0.306	0.310
8	0.608	0.679	0.364	0.413	0.323	0.448	0.300
9	0.598	0.600	0.327	0.374	0.333	0.373	0.312
10	0.609	0.565	0.415	0.379	0.300	0.383	0.408
ค่าเฉลี่ย	0.609	0.630	0.385	0.355	0.358	0.335	0.359
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0202	0.0593	0.0386	0.401	0.0584	0.0526	0.05591

ตารางที่ ผ-8 การทนแรงอัดแนวนอน (kg / cm^2)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	0.25	0.33	0.23	0.19	0.25	0.16	0.08
2	0.22	0.28	0.16	0.22	0.24	0.09	0.07
3	0.27	0.38	0.20	0.19	0.23	0.09	0.08
4	0.31	0.34	0.18	0.21	0.18	0.17	0.14
5	0.25	0.32	0.20	0.21	0.21	0.11	0.12
6	0.18	0.28	0.21	0.15	0.22	0.11	0.16
7	0.25	0.30	0.21	0.21	0.20	0.15	0.14
8	0.28	0.29	0.26	0.20	0.21	0.15	0.10
9	0.25	0.24	0.25	0.24	0.19	0.08	0.10
10	0.25	0.27	0.27	0.19	0.19	0.10	0.10
ค่าเฉลี่ย	0.25	0.30	0.22	0.20	0.21	0.12	0.11
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.034	0.040	0.035	0.023	0.023	0.033	0.030

ตารางที่ ผ-9 การทนแรงอัดแนวตั้ง (kg / cm^2)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมภาคตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	0.35	0.58	0.50	0.37	0.31	0.32	0.55
2	0.41	0.52	0.50	0.27	0.30	0.30	0.53
3	0.38	0.50	0.50	0.37	0.32	0.44	0.53
4	0.52	0.53	0.57	0.39	0.34	0.45	0.53
5	0.52	0.54	0.50	0.38	0.34	0.49	0.54
6	0.46	0.60	0.62	0.36	0.28	0.41	0.52
7	0.46	0.48	0.59	0.39	0.29	0.34	0.38
8	0.42	0.52	0.53	0.39	0.25	0.46	0.63
9	0.39	0.54	0.59	0.41	0.32	0.41	0.55
10	0.47	0.53	0.54	0.39	0.31	0.44	0.51
ค่าเฉลี่ย	0.44	0.53	0.54	0.37	0.31	0.41	0.54
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0577	0.035	0.045	0.0385	0.0276	0.0643	0.0611

ตารางที่ ผ-10 ปริมาณความชื้น (%)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	4.556	4.966	4.904	4.596	5.000	5.248	5.84
2	4.560	4.975	4.833	5.158	5.014	5.281	5.765
3	4.550	5.007	4.9	4.61	5.001	5.020	5.700
4	4.561	4.965	4.905	4.65	5.020	5.210	5.790
5	4.500	4.9802	4.891	4.62	5.018	5.200	5.767
6	4.508	5.005	4.91	4.68	5.015	5.180	5.800
7	4.540	4.96	4.902	4.91	5.000	5.195	5.801
8	4.535	4.9701	4.991	4.82	5.016	5.200	5.791
9	4.530	4.925	4.97	4.81	5.016	5.210	5.781
10	4.550	5.001	4.9	4.6	5.020	5.2400	5.761
ค่าเฉลี่ย	4.539	4.98	4.911	4.745	5.012	5.199	5.78
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0211	0.0248	0.0431	0.1819	0.0082	0.0694	0.0362

ตารางที่ ผ-11 ปริมาณเถ้า (%)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษขี้้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	49.57	35.08	40.04	37.98	36.58	30.57	24.96
2	49.49	35.14	36.12	40.96	36.44	30.50	26.60
3	49.52	35.03	39.11	38.00	34.15	29.24	25.50
4	49.55	35.10	39.15	38.15	36.40	30.40	25.56
5	49.56	35.12	39.9	39.10	36.10	30.02	25.90
6	49.51	35.09	40	38.15	36.40	30.40	26.20
7	49.55	35.10	40.05	38.90	36.55	30.50	26.10
8	49.56	35.05	39.85	38.20	36.40	30.10	25.00
9	49.56	35.07	39.70	38.10	36.10	30.2	25.20
10	49.54	35.09	39.95	38.50	35.50	30.40	25.30
ค่าเฉลี่ย	49.54	35.09	39.38	38.60	36.06	30.23	25.63
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0260	0.0319	1.1990	0.9115	0.7428	0.3929	0.5498

ตารางที่ ผ-12 ปริมาณสารระเหย (%)

๔

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	19.98	32.80	24.61	20.43	27.87	34.69	39.55
2	20.10	32.25	30.36	21.05	27.96	34.81	39.77
3	20.21	32.33	30.00	22.50	27.72	36.84	39.50
4	20.25	32.50	30.20	22.10	27.90	36.50	39.76
5	20.00	32.45	30.85	22.20	28.00	36.30	39.80
6	20.35	32.42	30.60	22.35	27.80	36.18	39.81
7	20.60	32.60	30.52	22.10	27.65	36.35	39.75
8	20.55	32.45	30.40	21.98	28.20	36.35	39.45
9	20.38	32.60	30.20	21.90	27.60	36.4	39.96
10	20.35	32.51	30.35	22.10	27.55	36.35	39.57
ค่าเฉลี่ย	20.267	32.491	29.81	21.87	27.825	36.06	39.69
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.2112	0.1535	1.8418	0.4068	0.2015	0.6840	0.1639

ตารางที่ ผ-13 ปริมาณคาร์บอนกึ่งตัว (%)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	30.46	32.13	34.34	41.59	35.54	34.74	35.48
2	30.2	32.61	32.53	39.99	35.65	35.70	35.62
3	30.28	32.64	32.82	41.90	34.13	34.92	34.74
4	30.45	32.50	34.10	41.80	35.78	34.60	35.54
5	30.52	32.35	34.20	41.85	35.52	35.20	35.61
6	30.35	32.40	34.70	41.85	35.72	34.84	35.54
7	30.32	32.42	34.10	41.98	35.33	35.25	35.59
8	30.28	32.45	34.20	41.20	35.96	35.43	35.74
9	30.39	32.46	34.55	41.48	35.87	35.77	35.58
10	30.4	32.51	34.78	41.58	35.61	35.64	35.34
ค่าเฉลี่ย	30.365	32.447	34.032	41.522	35.511	35.21	35.48
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0977	0.1428	0.7571	0.5874	0.5181	0.2997	0.9397

ตารางที่ ผ-14 ปริมาณกำมะถันรวม (%)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	0.99	0.90	0.84	0.72	0.81	0.73	0.66
2	0.96	0.99	0.86	0.72	0.72	0.7	0.72
3	0.95	0.96	0.84	0.71	0.80	0.73	0.70
4	0.96	0.95	0.84	0.73	0.72	0.75	0.68
5	0.96	0.90	0.86	0.74	0.72	0.72	0.68
6	0.99	0.90	0.89	0.75	0.74	0.71	0.70
7	0.99	0.96	0.90	0.76	0.74	0.72	0.72
8	0.96	0.96	0.90	0.80	0.74	0.77	0.71
9	0.99	0.99	0.84	0.76	0.72	0.74	0.72
10	0.99	0.96	0.84	0.76	0.74	0.76	0.70
ค่าเฉลี่ย	0.974	0.947	0.861	0.745	0.745	0.733	0.699
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0171	0.0349	0.0260	0.0268	0.0331	0.0221	0.0202

ตารางที่ ผ-15 ค่าความร้อน (Kcal / kg)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	3,236	3,730	3,833	4,174	3,945	4,188	4,048
2	3,240	3,740	3,969	4,099	4,025	4,287	3,866
3	3,260	3,740	3,950	4,036	4,085	4,190	4,287
4	3,250	3,800	3,920	4,086	4,124	4,140	4,200
5	3,226	3,750	3,850	4,099	4,130	4,160	4,210
6	3,252	3,765	3,900	4,025	4,136	4,169	4,208
7	3,255	3,770	3,950	4,035	4,148	4,199	4,201
8	3,250	3,735	3,980	4,051	4,172	4,170	4,198
9	3,245	3,745	3,943	4,045	4,167	4,156	4,174
10	3,260	3,750	3,936	4,074	4,185	4,186	4,190
ค่าเฉลี่ย	3,247.40	3,752.50	3,923.10	4,072.4	4,111.70	4,184.50	4,158.20
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	10.8443	20.8499	48.7156	44.8508	74.8925	40.2830	118.1814

ตารางที่ ผ-16 น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	3,564	3,625	4,150	4,250	4,300	4,450	4,500
2	3,500	3,600	4,160	4,220	4,350	4,445	4,520
3	3,550	3,650	4,140	4,200	4,320	4,420	4,510
4	3,560	3,620	4,120	4,260	4,360	4,425	4,530
5	3,520	3,660	4,100	4,255	4,335	4,400	4,550
6	3,560	3,630	4,155	4,240	4,355	4,430	4,520
7	3,510	3,610	4,150	4,280	4,350	4,400	4,520
8	3,550	3,620	4,100	4,260	4,360	4,450	4,500
9	3,520	3,660	4,180	4,240	4,340	4,410	4,540
10	3,500	3,650	4,160	4,240	4,320	4,420	4,540
ค่าเฉลี่ย	3,533.40	3,632.50	4,141.50	4,244.50	4,339.00	4,425.00	4,523.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	25.9066	21.2459	26.6718	22.4165	20.1108	18.8561	17.0293

ตารางที่ ผ-17 ดัชนีการแตกร่วน (R)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษหินไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60
1	0.71	0.73	0.83	0.85	0.86	0.89	0.90
2	0.70	0.72	0.83	0.84	0.87	0.89	0.90
3	0.71	0.73	0.83	0.84	0.87	0.88	0.90
4	0.71	0.72	0.82	0.85	0.87	0.88	0.91
5	0.70	0.73	0.82	0.85	0.87	0.88	0.91
6	0.71	0.73	0.83	0.85	0.87	0.88	0.90
7	0.70	0.72	0.83	0.86	0.87	0.88	0.90
8	0.71	0.72	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90
9	0.70	0.73	0.84	0.85	0.87	0.88	0.91
10	0.69	0.73	0.83	0.85	0.86	0.88	0.91
ค่าเฉลี่ย	0.704	0.726	0.828	0.849	0.868	0.883	0.904
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00707	0.00516	0.00632	0.00568	0.00422	0.00483	0.00516

ตารางที่ ผ-18 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 7 ชนิด

	เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ส่วนผสมต่าง ๆ						
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ปริมาณความชื้น, %	6	4	7	5	3	2	1
ถ่านคองตัว, %	2	1	3	7	6	5	4
สารระเหย, %	6	1	4	7	5	3	2
เถ้า, %	1	5	2	3	4	6	7
ค่าความร้อน,kcal/kg	1	2	3	4	5	7	6
ความหนาแน่น,kg/m ³	2	1	3	6	4	7	5
เวลาในการลุกไหม้, ชม.	2	4	7	6	5	3	1
รวม	20	18	29	38	32	33	26

หมายเหตุ เปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีของส่วนผสมทั้ง 7

7 = คุณสมบัติดีที่สุด, 6 - 2 = รองลงมาตามลำดับ, 1 = คุณสมบัติเลวที่สุด

ตารางที่ ผ-19 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน μ (%)

ตัวอย่างที่	ส่วนผสมกากตะกอนต่อเศษชิ้นไม้สับ โดยน้ำหนัก						
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
1	16.01	16.26	23.51	25.34	24.91	25.43	26.35
2	16.26	16.50	23.51	25.14	24.91	25.43	26.35
3	16.26	16.26	23.51	25.14	24.91	25.43	26.35
ค่าเฉลี่ย	16.18	16.34	23.51	25.21	24.91	25.43	26.35

ตารางที่ ผ-20 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยเศษหินไม้สับ

เวลา (นาที)	หม้อที่				
	1	2	3	4	5
0	28	28	28	28	28
3	55	68	65	50	42
6	66	91	96	56	50
9(7)	88	100	(100)	64	56
12	98			76	64
15(13)	(100)			85	71
18				94	77
21				95	84
24(22)				(100)	88
27					91
30					93
33					94
36					96
39					96
42					96
45					95
48					95
51					
54					
57					
60					
63					
66					
69					
72					
เวลาทั้งหมด	13	22	29	51	96

ตารางที่ ผ-21 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง
ส่วนผสม 100:0

เวลา (นาที)	หม้อที่
	1
0	28
3	34
6	36
9(7)	40
12	42
15(13)	46
18	54
21	61
24(22)	69
27	76
30	85
33	89
36	94
39	96
42	96
45	96
48	96
51	96
54	95
57	95
60	95
63	95
66(67)	(94)
69	
72	
เวลาทั้งหมด	67

ตารางที่ ผ-22 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง
 ส่วนผสม 90:10

เวลา(นาท)	หม้อที่			เวลา(นาท)	หม้อที่		
	1	2	3		1	2	3
0	28			63	97		
3	35			66	97		
6	43			69	96		
9	50			72	96		
12	55			75	96		
15	62			78	95		
18	70			81			
21	77			84			
24	81			87			
27	87			90			
30	92			93			
33	94			96			
36	95			99			
39	95			102			
42	95			105			
45	95			108			
48	96			111			
51	96			114			
54	96			117			
57	96			120			
60	97						
รวมเวลา					75		

ตารางที่ ผ-23 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง
ส่วนผสม 80:20

เวลา(นาท)	หม้อที่			เวลา(นาท)	หม้อที่		
	1	2	3		1	2	3
0	28	28		63	99	67	
3	35	32		66	100	69	
6	45	34		69		70	
9	51	37		72		71	
12	55	39		75		71	
15	58	42		78		69	
18	61	46		81		69	
21	65	47		84		68	
24	68	49		87			
27	72	51		90			
30	75	52		93			
33	77	55		96			
36	80	56		99			
39	82	58		102			
42	86	60		105			
45	87	61		108			
48	88	63		111			
51	91	64		114			
54	92	65		117			
57	94	66		120			
60	96	67					
				รวมเวลา	66	150	

ตารางที่ ผ-24 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง
ส่วนผสม 70:30

เวลา(นาทึ)	หม้อที่			เวลา(นาทึ)	หม้อที่		
	1	2	3		1	2	3
0	28	28		63			
3	35	34		66			
6	41	39		69			
9	47	45		72			
12	51	53		75			
15	59	61		78			
18	64	67		81			
21	66	71		84			
24	71	76		87			
27	77	81		90			
30	84	85		93			
33	89	85		96			
36	92	86		99			
39	98	86		102			
42(40)	(100)	86		105			
45		86		108			
48		86		111			
51		86		114			
54		86		117			
57(56)		85		120			
60							
รวมเวลา					40	96	

ตารางที่ ผ-25 **ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง**
ส่วนผสม 60:40

เวลา(นาทึ่)	หม้อที่			เวลา(นาทึ่)	หม้อที่		
	1	2	3		1	2	3
0	28	28		63			
3	34	37		66			
6	40	43		69			
9	46	51		72			
12	50	56		75			
15	59	63		78			
18	70	68		81			
21	79	72		84			
24	88	76		87			
27	95	81		90			
30	100	83		93			
33		85		96			
36		85		99			
39		86		102			
42		86		105			
45		85		108			
48		85		111			
51		84		114			
54				117			
57				120			
60							
				รวมเวลา	28	77	

ตารางที่ ผ-26 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง
ส่วนผสม 50:50

เวลา(นาทึ)	หม้อที่			เวลา(นาทึ)	หม้อที่		
	1	2	3		1	2	3
0	28	28		63			
3	30	36		66			
6	33	46		69			
9	45	55		72			
12	53	62		75			
15	63	67		78			
18	71	74		81			
21	86	82		84			
24	92	85		87			
27(26)	100	88		90			
30		89		93			
33		90		96			
36		90		99			
39		90		102			
42		90		105			
45		90		108			
48		89		111			
51				114			
54				117			
57				120			
60							
รวมเวลา					26	73	

ตารางที่ ผ-27 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในการต้มน้ำ ด้วยถ่านอัดแท่ง
ส่วนผสม 40:60

เวลา(นาทื)	หม้อที่			เวลา(นาทื)	หม้อที่		
	1	2	3		1	2	3
0	28	28		63			
3	41	44		66			
6	56	52		69			
9	76	63		72			
12	96	71		75			
15	98	80		78			
18(17)	100	86		81			
21		89		84			
24		93		87			
27		94		90			
30		95		93			
33		95		96			
36		95		99			
39		95		102			
42		94		105			
45		94		108			
48				111			
51				114			
54				117			
57				120			
60							
รวมเวลา					17	61	

ตารางที่ ผ-28 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ค่าความร้อนและคาร์บอน

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	คาร์บอน (y)	x^2	y^2	xy
1	3,247.40	30.365	10,545,606.76	922.033225	98,607.301
2	3,752.50	22.447	14,081,256.25	503.867809	84,232.3675
3	3,923.10	34.032	15,390,713.61	1,158.177024	133,510.9392
4	4,072.40	41.522	16,584,441.76	1,724.076484	169,094.1928
5	4,111.70	35.511	16,906,076.89	1,261.031121	146,010.5787
6	4,184.50	34.51	17,510,040.25	1,190.9401	144,407.095
7	4,158.20	34.18	17,290,627.24	1,168.2724	142,127.276
Σ	27,449.80	232.567	108,308,762.761	7,928.398163	917,989.7502

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = 0.2820487519$

ตารางที่ ผ-29 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ค่าความร้อนและกำมะถัน

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	กำมะถัน (y)	x^2	y^2	xy
1	3247.4	0.974	10,545,606.76	0.948676	3,162.9676
2	3752.5	0.974	14,081,256.25	0.948676	3,654.935
3	3923.1	0.861	15,390,713.61	0.741321	3,377.789
4	4072.4	0.745	16,584,441.76	0.555025	3,033.938
5	4111.7	0.745	16,906,076.89	0.555025	3,063.216
6	4184.5	0.733	17,510,404.25	0.537289	3,067.238
7	4158.2	0.699	17,290,627.24	0.488601	2,906.58
Σ	27,449.80	5.731	108,308,762.76	4.774613	22,266.6636

$$r_{xy} = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2] [N\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = -0.06918272928$

ตารางที่ ผ-30 - สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ค่าความร้อนและสารระเหย

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	สารระเหย (y)	x^2	y^2	xy
1	3,247.40	20.267	10,545,606.76	410.751289	65,815.0558
2	3,752.50	42.491	14,081,256.25	1,805.485081	159,447.4775
3	3,923.10	29.81	15,890,718.61	888.6361	116,947.611
4	4,072.40	20.07	16,584,441.76	402.8049	81,733.068
5	4,111.70	27.825	16,906,076.89	774.230625	114,408.0525
6	4,184.50	36.06	17,510,040.25	1,300.3236	150,893.07
7	4,158.20	39.69	17,290,627.24	1,575.2961	165,038.958
Σ	27,449.80	216.213	108,308,762.761	7,157.527695	854,283.2928

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = 0.02820487684$

ตารางที่ ผ-31 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ค่าความร้อนและปริมาณเถ้า

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	ปริมาณเถ้า (y)	x^2	y^2	xy
1	3,247.40	49.54	10,545,606.76	2,454.2116	160,876.196
2	3,752.50	35.09	14,081,256.25	1,231.3081	131,675.225
3	3,923.10	39.38	15,390,718.61	1,550.7844	154,491.678
4	4,072.40	28.60	16,584,440.76	1,489.96	157,194.64
5	4,111.70	36.06	16,906,076.89	1,300.3236	148,267.902
6	4,184.50	30.23	17,510,040.25	913.8529	126,497.435
7	4,158.20	25.63	17,290,627.24	656.8969	106,574.666
Σ	27,449.80	254.53	108,308,762.761	9,597.3375	985,577.742

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = -0.843$

ตารางที่ ผ-32 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ค่าความร้อนและปริมาณความชื้น

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	ความชื้น (y)	x^2	y^2	xy
1	3,247.40	4.539	10,545,606.76	20.60252	14,739.9486
2	3,752.50	4.98	14,081,252	24.8004	18,687.45
3	3,923.10	4.911	15,390,713.61	24.117921	19,266.3441
4	4,072.40	4.745	16,584,441.76	22.515025	19,323.538
5	4,111.70	5.012	16,906,076.89	25.120144	20,607.8404
6	4,184.50	5.199	17,510,040.25	27.029601	21,755.2155
7	4,158.20	5.78	17,290,627.24	33.4084	24,034.396
Σ	27,449.80	35.166	108,308,762.76	177.594011	138,414.7326

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = 0.65352463815$

ตารางที่ ผ-33 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ค่าความร้อนและความหนาแน่น

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	ความชื้น (y)	x^2	y^2	xy
1	3,247.40	0.609	10,545,606.76	0.370881	1,977.6666
2	3,752.50	0.630	14,081,256.25	0.3969	2,364.075
3	3,923.10	0.385	15,390,713.61	0.148225	1,510.3935
4	4,072.40	0.355	16,584,441.76	0.126025	1,445.702
5	4,111.70	0.358	16,906,076.89	0.128164	1,471.9886
6	4,184.50	0.335	17,510,040.25	0.112225	1,401.8075
7	4,158.20	0.359	17,290,627.24	0.128881	1,492.7938
Σ	23,749.80	3.031	108,308,762.76	1.411301	11,664.427

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = 0.839151996$

ตารางที่ ผ-34 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง - ดัชนีการแตกหักและความหนาแน่น

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	ความหนาแน่น (y)	x^2	y^2	xy
1	0.704	0.609	0.495616	0.370881	0.428736
2	0.726	0.630	0.527076	0.3969	0.45738
3	0.828	0.385	0.685584	0.148225	0.31878
4	0.849	0.355	0.720801	0.126025	0.301395
5	0.868	0.358	0.753424	0.128164	0.310744
6	0.883	0.335	0.779689	0.112225	0.295805
7	0.904	0.359	0.817216	0.128881	0.324536
Σ	5.762	3.031	4.779406	1.411301	2.437376

$$r_{xy} = \frac{N\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{\sqrt{[N\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2][N\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = -0.958408794$

ตารางที่ ผ-35 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ดัชนีการแตกหักและการทนแรงอัดแนวตั้ง

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	การทนแรงอัด (y)	x^2	y^2	xy
1	0.704	0.44	0.495616	0.1936	0.30976
2	0.726	0.53	0.527076	0.2809	0.38478
3	0.828	0.54	0.685584	0.2916	0.44712
4	0.849	0.37	0.720801	0.1369	0.31413
5	0.868	0.31	0.753424	0.0961	0.26908
6	0.883	0.41	0.779689	0.1681	0.3403
7	0.904	0.54	0.817216	0.2916	0.48816
Σ	5.762	3.14	4.779406	1.4588	0.55333

$$r_{xy} = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2] [N\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = -0.24$

ตารางที่ ผ-36 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,ดัชนีการแตกหักและการทนแรงอัดแนวนอน

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	การทนแรงอัดฯ (y)	x^2	y^2	xy
1	0.704	0.024	0.495616	0.000576	0.016896
2	0.726	0.029	0.527076	0.000841	0.021054
3	0.828	0.011	0.685584	0.000121	0.009108
4	0.849	0.011	0.720801	0.000121	0.009339
5	0.868	0.012	0.753424	0.000144	0.010416
6	0.883	0.006	0.779689	0.000036	0.005298
7	0.904	0.006	0.817216	0.000036	0.005424
Σ	5.762	0.099	4.779406	0.001875	0.077535

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = -0.9508255984$

ตารางที่ ผ-37 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ,เวลาการติดไฟกับความหนาแน่น

ส่วนผสม ที่	ค่าความร้อน (x)	ความหนาแน่น (y)	x^2	y^2	xy
1	67	0.609	4,489	0.370881	40.803
2	75	0.630	5,625	0.3969	47.25
3	150	0.385	22,500	0.148225	57.75
4	96	0.355	9,216	0.126025	34.08
5	77	0.358	5,929	0.128164	27.566
6	73	0.335	5,329	0.112225	24.455
7	61	0.359	3,721	0.128881	21.899
Σ	599	3.031	56,809	1.411301	253.803

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อนำค่าในตารางมาแทนในสูตรจะได้ค่า $r_{xy} = -0.237$

ตารางที่ ผ-38 คุณสมบัติของถ่านไม้โตเร็ว

เลขที่	ชนิดไม้	ความหนาแน่น กรัม/ลบ.ซม.	คาร์บอน เสถียร (%)	สารระเหย (%)	ขี้เถ้า (%)	ค่าความร้อน กิโลแคลอรี/ กรัม
1	สีเสียดแก่น	0.48	75.2	20.8	4.0	7.24
2	กระถินณรงค์	0.41	71.1	24.0	4.9	7.47
3	สนประดิพันธ์	0.70	83.3	13.8	2.9	7.89
4	สนทะเล	0.45	77.8	18.9	3.3	7.59
5	สะแก	0.40	79.9	16.2	3.9	6.90
6	ยูคาลิปตัส	0.42	79.8	16.7	3.5	7.35
7	กระถินยักษ์	0.44	78.3	18.9	2.7	7.43
8	เถียน	0.34	73.2	24.1	2.8	7.43
9	นนทรี	0.33	75.8	20.5	3.7	7.03
10	โกกงางใบเล็ก	0.49	79.9	17.2	2.9	7.50
11	มะกอก	0.30	73.8	21.6	4.6	7.19

ที่มา : ศูนย์วิจัยการผลิตถ่านฟุแค จังหวัดสระบุรี

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ นายสุริยา ชัยเดชพญากุล
วันเดือนปีเกิด 12 ตุลาคม 2497
สถานที่เกิด จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2520
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คอ.บ. (อุตสาหกรรม)
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (อุตสาหกรรม)
มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2544
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วท.ม.
(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน ผู้ช่วยอุตสาหกรรมจังหวัดสุพรรณบุรี
สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสุพรรณบุรี
อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000