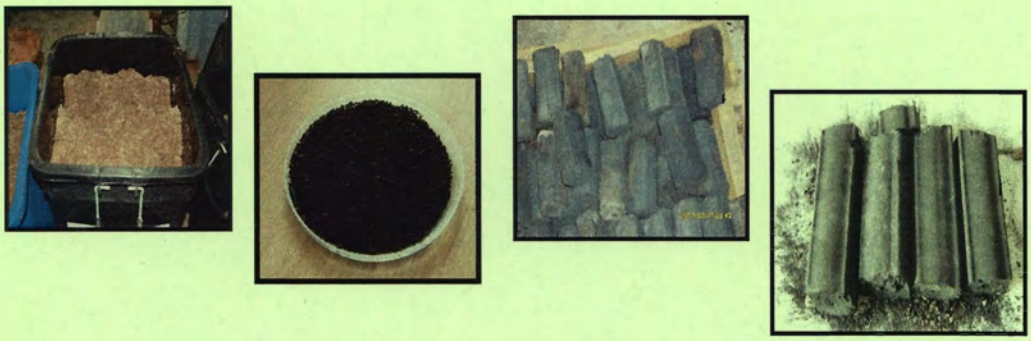
รายงานการวิจัย

การผลิตถ่านไร้ควันจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอล

Production of smokeless briquette charcoals from wet cake waste of ethanol industry



สัญญาเลขที่ CU-CLUSTER-ENERGY 9-9-53

ผู้วิจัย

นางสาววลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้สนับสนุนทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (CU-CLUSTER-FUND)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัย "การผลิตถ่านไร้ควันจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอล" สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดี เนื่องจากได้รับเงินทุนอุดหนุนจากโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูงของกองทุนรัชดาสมโภช (CU-CLUSTER-FUND) ประจำปี 2553 สนับสนุนโครงการวิจัยนี้ โดยผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ รวมถึงได้รับเงินสนับสนุนและความช่วยเหลือจากหลายภาคส่วนอาทิ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคนิค และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำการทดลอง รวมถึงบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ช่วยเหลือ แก้ไขปัญหาต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

29 กรกฎาคม 2554

บทคัดย่อ

ตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีสีดำ ร่วนซุย กลิ่นคล้ายยีสต์ เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากในแต่ละวันยากแก่การจัดการ การนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่ชัดเจน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อน พบว่า มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานเพียงร้อยละ 13.33 และค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ คือ 13,864.38 KJ/kg จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน จากนั้นนำไปคาร์บอไนเซชันในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก **คือ อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลา 60 นาที โดยสภาวะดังกล่าว มีความชื้น 1.17% สารระเหย 16.57% เถ้า 34.42% และคาร์บอนคงตัว 47.84%** เมื่อทราบสภาวะคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมจึงนำตะกอนเปียกมาอัดแบบร้อนและแบบเย็นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน พบว่า ถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 59.01 และค่าความร้อน 24,790.38 KJ/kg ในขณะที่ถ่านอัดแบบร้อนมีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 42.66 และค่าความร้อน 20,257.25 KJ/kg สำหรับการผลิตถ่านทั้ง 2 แบบในเชิงพาณิชย์ ถ่านอัดแบบร้อนมีต้นทุน 0.17 บาท/ก้อน ราคาขาย 0.525 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 704,225 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.18 ปี ถ่านอัดแบบเย็นมีต้นทุน 0.3175 บาท/ก้อน ราคาขาย 1.05 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 338,524 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.17 ปี โดยอ้างอิงจากต้นทุนคงที่ 250,000 บาท ราคาขายถ่านทั้ง 2 แบบราคา 10.5 บาท/กิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุนคิดเทียบกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร

คำสำคัญ : ตะกอนเปียก, คาร์บอไนเซชัน, ถ่านอัดแบบร้อน, ถ่านอัดแบบเย็น

ABSTRACT

Wet cake is waste from the distillation process of ethanol from cassava chips, which is black, incoherent and smells like yeast. Occured as a plenty of for each day, difficult to manage and application is still not clear. This research study, the wet cake to be used as alternative fuels by providing proximate analysis and heating value found that low fixed carbon content which is burned for energy only 13.33 percent and relatively low heating value is 13,864.38 KJ / kg. Perfectly suited for research to improve quality prior to use. Then bring the wet cake to carbonization in various conditions at 400, 450, 500 and 550^{o}c in each temperature range of the experimental period, 30, 45, 60 and 90 minutes in oxygen-limited conditions. It was found that the appropriate condition for carbonization is the temperature at 500^{o}c for 60 minutes. The condition has 1.17% moisture, 34.42% ash, 16.57% volatile matter and 47.84% fixed carbon. When get the appropriate carbonization condition, thus bring the wet cake to hot and cold compressed to compare the efficiency of thermal energy found that cold compressed high fixed carbon content 59.01% and heating value 24,790.38 KJ/kg while hot compressed fixed carbon content 42.66% and heating value 20,257.25 KJ/kg. Both of the production of briquette charcoal in commercial, hot compressed cost 0.17 baht / piece, sale price 0.525 baht / pieces, total production at breakeven 704,225 pieces and payback period of 0.18 years, cold compressed cost 0.3175 baht/piece, sale price 1.05 baht / pieces, total production at breakeven 338,524 pieces and payback period of 0.17 years. Based on fixed cost 250,000 ,assuming sale price of both briquette charcoal 10.5 baht / kg and the payback period compared with the capacity of the machines.

Key words: wet cake, carbonization, hot compressed, cold compressed

สารบาญ

	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อภาษาไทย	ข
	บทคัดย่อภาษาไทย	ค
	สารบาญ	ง
	สารบาญตาราง	ช
	สารบาญรูปภาพ	ซ
1	**บทนำ**	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
	1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
	1.4 วิธีการดำเนินงาน	6
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2	**ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	
	2. กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
	2.1 ชีวมวล (Biomass)	6
	2.1.1 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล	8
	2.1.2 ส่วนประกอบของชีวมวล	10
	2.2 ตะกอนเปียก (Wet cake)	11
	2.3 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น)	12
	2.4 หลักการแปรรูปชีวมวล	13
	2.5 กระบวนการเปลี่ยนแปลงเคมีทางความร้อน	14
	2.5.1 CONVERSION PROCESS	21
	2.5.1.1 การเผาไหม้	14
	2.5.1.2 กระบวนการไพโรไลซิส : Carbonization	15
	2.6 ความแตกต่างระหว่างเชื้อเพลิงไม้กับถ่านชาร์	16
	2.7 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง	17
	2.7.1 ขั้นตอนการอัดแท่ง	18
	2.7.2 วิธีการอัดแท่ง	19
	2.7.2.1 การอัดแห้งและใช้ความร้อนสูง	19
	2.7.2.2 การอัดเปียกและไม่ใช้ความร้อน	19

2.7.3 ตัวประสาน 20
2.7.4 การตากแห้ง 20
2.8 ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเป็นพลังงาน 21
2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง 22
3 เครื่องมือและการดำเนินงานทดลอง
3.1 รูปแบบการศึกษา 24
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย 24
3.3 วัตถุดิบ 24
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง 25
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง
4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียก 28
4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติ 28
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน 29
4.2 ผลของตัวแปรในการทำคาร์บอไนเซชัน 29
4.2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อตะกอนเปียก 31
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพระหว่างถ่านอัดตะกอนเปียกแบบร้อนและแบบเย็น 33
4.3.1 การผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน 33
4.3.2 การผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น 35
4.4 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อน ระหว่างถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น 36
4.5 ลักษณะการใช้ประโยชน์ของถ่านอัดแท่งทั้ง 3 แบบ 38
4.5.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านทั้ง 3 แบบ 38
4.6 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น 42
4.6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก 42
4.6.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต 42
4.6.3 ข้อมูลเบื้องต้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งตะกอนเปียก 42
4.6.4 ข้อมูลเบื้องต้นของถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น 42
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน 43
4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น 47

5 **สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ**

5.1 สรุปผลการทดลอง 51

5.2 ข้อเสนอแนะ 52

เอกสารอ้างอิง 53

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แผนผังระบบอบแห้ง (SCREWDRY)

ภาคผนวก ข ราคาชีวมวล

ภาคผนวก ค มาตรฐานถ่านอัดแท่ง

ภาคผนวก ง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

ประวัตินักวิจัย

สารบาญตาราง

1.1	ผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง	2
1.2	โรงงานที่ดำเนินการผลิตเอทานอลแล้ว	3
1.3	ข้อมูลการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นและกากน้ำตาล	4
2.1	แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณและค่าความร้อนของชีวมวล	10
4.1	ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบประมาณ	28
4.2	ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบแยกธาตุ	28
4.3	ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบประมาณ	30
4.4	แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติระหว่างถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น	36
4.5	สรุปความสามารถของการลุกติดไฟของถ่านทั้ง 3 แบบ	40
4.6	สรุปปริมาณธาตุอาหารในเถ้าจากการเผาถ่านทั้ง 3 แบบ	40

สารบาญรูปภาพ

1.1	แผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551 - 2565	2
2.1	โครงสร้างของเซลลูโลส	8
2.2	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	9
2.3	โครงสร้างของลิกนิน	9
2.4	แผนผังกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น	13
2.5	การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของซีวมวล	14
2.6	แสดงกลไกการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง	18
3.1	ตัวอย่างตะกอนเปียกจากโรงงานเอทานอลจากมันเส้น	24
3.2	เครื่องอบไล่ความชื้นตะกอนเปียก Screwdryกำลังการผลิต 100 กก./ชม.	25
3.3	ชุดอุปกรณ์เครื่องมือคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก	26
3.4	ผังแสดงกระบวนการคาร์บอไนเซชัน	26
3.5	เครื่องอัดแท่ง (Extruder) กำลังการผลิต 100 กก./ชม.	27
4.1	ตะกอนเปียกก่อนทำการคาร์บอไนเซชัน	29
4.2	ตะกอนเปียกหลังทำการคาร์บอไนเซชัน	29
4.3	ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % yields ของตะกอนเปียก	31
4.4	ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % ash ของตะกอนเปียก	31
4.5	ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % volatile matter ของตะกอนเปียก	32
4.6	ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % fixed carbon ของตะกอนเปียก	33
4.7	ถ่านอัดแท่งแบบร้อน	36
4.8	ถ่านอัดแท่งแบบเย็น	36
4.9	เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านทั้ง 3 แบบ	38
4.10	แสดงการลุกจุดติดไฟจนกระทั่งเป็นเถ้าของถ่านทั้ง 3 แบบ	40
4.11	แสดงจำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน	46
4.12	แสดงจำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น	50

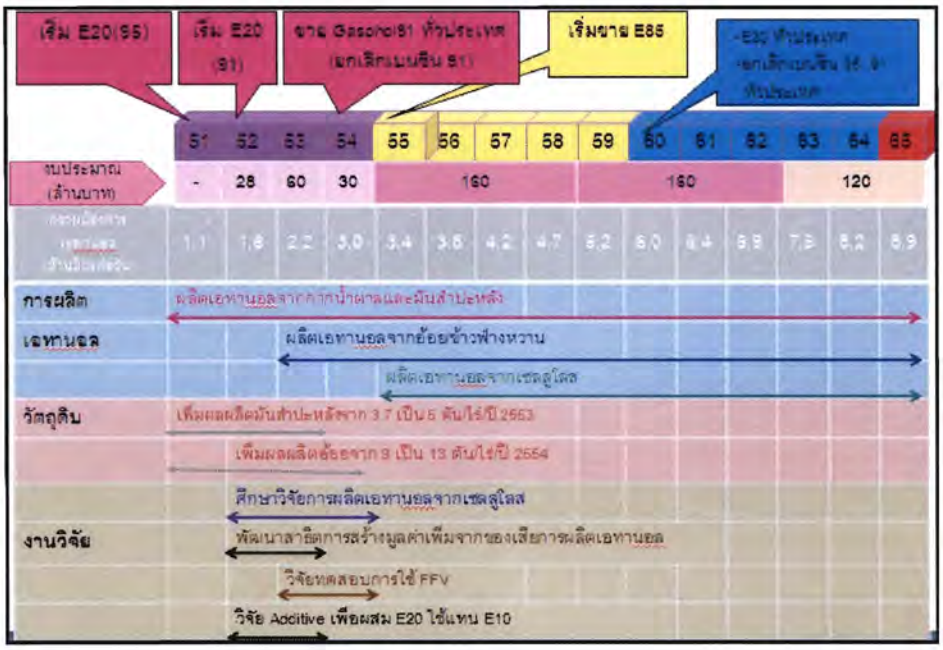
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ได้มีการตระหนักถึงภาวะของปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่จำกัด จึงได้มีความพยายามที่จะหาเชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาทดแทน ซึ่งเชื้อเพลิงหนึ่งที่น่าสนใจในที่นี้คือ ชีวมวล เนื่องจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีแหล่งชีวมวลจากภาคการเกษตรมากมาย เช่น มันสำปะหลัง อ้อย แกลบ ชานอ้อย ฯลฯ จึงมีความได้เปรียบทางวัตถุดิบ นอกจากนี้ชีวมวลยังได้มาจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมบางประเภททำให้มีปริมาณมากและราคาถูก ปัจจุบันหลายฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนต่างให้ความสนใจกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ไบโอเอทานอล (Bioethanol) และไบโอดีเซล (Biodiesel) นอกจากนี้การนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

จากความจำเป็นในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนที่หมุนเวียน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในรูปแบบของแก๊สโซฮอล์ของประเทศไทยขยายตัวอย่างมาก เมื่อ 12 ธันวาคม 2549 คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบแนวทางการเปิดเสรีโรงงานเอทานอล ส่งผลให้อุตสาหกรรมเอทานอลเกิดการขยายตัวอย่างกว้างขวาง โดยตั้งเป้าหมายในปี พ.ศ. 2554 ให้มีการใช้เอทานอล 3 ล้านลิตร/วัน เพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91 ในปี 2555 เริ่มจำหน่าย E85 ในปี 2560 จำหน่าย E20 และยกเลิกเบนซิน 95 และ 91 ทั่วประเทศ และในปี 2565 ให้มีการใช้เอทานอล 9 ล้านลิตร/วัน โดยส่งเสริมให้มีงานวิจัยต่างๆมากมายที่สอดรับกับแผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551 – 2565 ดังแสดงในรูปที่ 1-1

รูปที่ 1-1 แผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ ปี 2551 – 2565 จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี



ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551 [1]

จากข้อมูลโรงงานผลิตเอทานอลของกระทรวงพลังงาน มีจำนวนผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 47 ราย แสดงดังตารางที่ 1 โดยโรงงานเอทานอลที่ดำเนินการผลิตแล้วในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 13 ราย แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1-1 ผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

ประเภทของวัตถุดิบ	จำนวนโรงงาน	กำลังการผลิตรวม (ลิตร/วัน)
อ้อย	1	200,000
มันสำปะหลัง	27	8,290,000
กากน้ำตาล	5	675,000
อ้อย/กากน้ำตาล	12	1,810,000
มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	5	770,000
อ้อย/มันสำปะหลัง	1	200,000
กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง/อ้อย	2	250,000
กากมันสำปะหลัง	1	100,000
รวมกำลังการผลิต		12,295,000

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2551 [2]

ตารางที่ 1-2 โรงงานที่ดำเนินการผลิตเอทานอลแล้ว

ประเภทของวัตถุดิบ	จำนวนโรงงาน	กำลังการผลิตรวม (ลิตร/วัน)
กากน้ำตาล	4	575,000
อ้อย/กากน้ำตาล	6	770,000
มันสำปะหลัง	2	330,000
กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง	1	150,000
รวมกำลังการผลิต		1,825,000

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2551 [2]

จากตารางที่ 1-1 และ 1-2 ในอนาคตอุตสาหกรรมไบโอเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวมากขึ้น แต่ยังมีรายละเอียดส่วนปลีกย่อยต่างๆ ของอุตสาหกรรมนี้ที่ควรคำนึงถึง เพื่อให้อุตสาหกรรมนี้มีการพัฒนาอย่างครบวงจรและเป็นระบบ และเป็นอุตสาหกรรมตัวอย่างแก่อุตสาหกรรมอื่นๆต่อไป การจัดการอุตสาหกรรมไบโอเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงจึงมีข้อพิจารณาหลายประการ อันได้แก่ การจัดการวัตถุดิบ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต การจัดการด้านการขนส่ง การตลาดรวมถึงการจัดการของเสียและผลพลอยได้จากการกระบวนการผลิตเอทานอล ซึ่งเป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องดำเนินการพร้อมๆกับการผลักดันอุตสาหกรรมเอทานอล เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกา หรืออุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจากอ้อยในประเทศบราซิลที่มีการจัดการของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต จนสามารถสร้างมูลค่าจากผลิตภัณฑ์ที่มาจากของเสียและผลพลอยได้ รวมถึงสามารถลดปริมาณของเสียที่อาจจะเกิดผลกระทบต่อสู่สิ่งแวดล้อมให้น้อยลงได้ด้วย

อุตสาหกรรมเอทานอลในประเทศไทยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นหลัก จากการประเมินปริมาณของวัตถุดิบอย่างคร่าวๆ ตามจำนวนโรงงานเอทานอลที่มีการขอใบอนุญาตจัดตั้งโรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง พบว่าจะเกิดของเสีย (Waste) มากมาย ยกตัวอย่างโรงงานเอทานอลเชื้อเพลิงขนาดกำลังการผลิตประมาณ 150,000 ลิตร/วัน จะมีปริมาณน้ำจากหอกลั่นมากถึงวันละประมาณ 1,500,000 ลิตร/วัน หากโรงงานไม่มีขั้นตอนการนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำจากหอกลั่นทั้งหมดจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งการจัดการกับน้ำเสียวันละ 1.5 ล้านลิตร/วัน ต้องใช้พื้นที่มากหรือต้องมีการลงทุนระบบบำบัดน้ำเสียประสิทธิภาพสูงเนื่องจากปริมาณของน้ำเสียมาก โดยเฉพาะโรงงานที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบจะต้องบำบัดสีของน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ในกระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากเอทานอลแล้ว ยังมีผลพลอยได้อื่นๆที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักและฟูเซลออยล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวน

การกลั่น รวมถึงของเสียจากกระบวนการผลิตคือน้ำเสียหรือน้ำกากส่า ซึ่งมีเซลล์ยีสต์ปนอยู่เกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้คุณภาพของน้ำกากส่าจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และผลได้รวมถึงของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการผลิตเอทานอล (ตารางที่ 1-3)

ตารางที่ 1-3 ข้อมูลการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นและกากน้ำตาล คำนวณที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตร/วัน

วัตถุดิบและผลพลอยได้	ปริมาณและคุณภาพ			
	มันเส้น		กากน้ำตาล	
	ปริมาณ	คุณภาพ	ปริมาณ	คุณภาพ
วัตถุดิบ (INPUT)				
1. วัตถุดิบ (ตันต่อวัน)	350-370	- ความชื้น 12-16% - ปริมาณแป้ง 64%	540-550	-น้ำตาลทั้งหมด 48-50% - ของแข็งละลายได้ 80 บริกซ์
2. น้ำ (ลบ.ม. ต่อวัน)	1,200-1,500	-	1,000-1,300	-
3. สารเคมี				
- ยีสต์ผง (กก./วัน)	20-80	-	20-80	-
- เอนไซม์ (กก./วัน)	20-800	-	-	-
- สารเคมีอื่น (กก./วัน)	1,000-5,000	-	1,000-5,000	-
4. พลังงาน				
- ไฟฟ้า (Kw-hr/day)	25,000-47,000	380 V 50 Hz	22,000-44,000	380 V 50 Hz
- ไอน้ำ(ตัน./วัน)	300-500	3-10 บาร์	200-400	3-10 บาร์
ผลได้ (OUTPUT)				
1. เอทานอล(ลิตรต่อวัน)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)
2. CO_2 (ตัน ต่อวัน)	100-120	-	100-120	-
3. Fusel Oil (ลิตร/วัน)	300-600	-	300-600	-
4. น้ำกากส่า (ลบ.ม./วัน)	1,400-1,600	- TS 5-7% - COD 40,000-60,000 mg/l - BOD 15,000-35,000 mg/l	1,000-1,300	TS 15% - COD 100,000-150,000 mg/l - BOD 40,000-70,000 mg/l
4.1 ตะกอนเปียก (ตันต่อวัน)	100-200	20-30% TS		
4.2 น้ำเสีย	1,200-1,400	TS 5-7%	1,000-1,300	TS 10-12%

วัตถุดิบและผลพลอยได้	ปริมาณและคุณภาพ			
	มันเส้น		กากน้ำตาล	
	ปริมาณ	คุณภาพ	ปริมาณ	คุณภาพ
(ลบ.ม./วัน)		- COD 20,000-40,000 mg/l - BOD 10,000-30,000 mg/l		- COD 120,000-150,000 ppm - BOD 40,000-70,000 ppm

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2549 [3]

จากการสำรวจสถานภาพการจัดการของเสียและผลพลอยได้ของโรงงานผลิตเอทานอลที่มีในปัจจุบันยังไม่สามารถจัดการของเสียต่างๆที่เกิดขึ้นจากการผลิตในแต่ละขั้นตอนและนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ ตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นเอทานอลเป็นปริมาณมากในแต่ละวัน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษา ***ตะกอนเปียก*** (Wet cake) เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน อย่างไรก็ตามการใช้ตะกอนเปียกเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนั้นประสบปัญหาในด้านความชื้นและการควบคุมขนาดเชื้อเพลิงในเตาปฏิกรณ์ จึงมีการนำมาอัดแท่งเพื่อให้มีขนาดเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงรวมทั้งศึกษากระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) เพื่อเพิ่มประโยชน์ในการนำไปใช้งานโดยเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ชาร์ และยังเป็นการเพิ่มคุณภาพของของถ่านชาร์เนื่องจากปริมาณคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนที่สูงขึ้น เพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตถ่านอัดแท่งในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการนำตะกอนเปียกจากการผลิตเอทานอลมาเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นปัญหาในการจัดการหากมีการสะสมเป็นจำนวนมาก จะส่งผลโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหากลิ่นรบกวน รวมถึงน้ำที่ออกจากตะกอนเปียกสามารถซึมลงสู่น้ำใต้ดิน
2. ศึกษาการทำคาร์บอไนเซชันของตะกอนเปียกที่อุณหภูมิสูง
3. ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลา ต่อผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชัน
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนเซชันมาเป็นเชื้อเพลิง
5. ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนเซชัน
6. ศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเสียจากอุตสาหกรรมเอทานอลที่มีเป็นจำนวนมากยากแก่การจัดการให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และสามารถขยายกำลังการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำตะกอนเปียกจากการผลิตเอทานอลมาเป็นเชื้อเพลิง ศึกษาการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียกที่อุณหภูมิสูงในช่วง 400 – 550°C โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.วิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ ความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว ก่อน-หลัง การทำการคาร์บอไรเซชัน ตาม ASTM 3172-3175

2. วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ CHN

3. วิเคราะห์ค่าความร้อน ตาม ASTM 3286

4. ผลิตถ่านไร้ควันด้วยกำลังการผลิต 100 กก./ชม. ด้วยเครื่องต้นแบบเพื่อขยายกำลังการผลิตในระดับเชิงพาณิชย์

5. วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. นำตะกอนเปียกมาอบไล่ความชื้น เพื่อศึกษาสมบัติโดยการวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และวิเคราะห์ค่าความร้อน

2.นำตัวอย่างตะกอนเปียกที่ผ่านการอบไล่ความชื้น บดย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ แล้วศึกษาการคาร์บอไนเซชันในสภาวะต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดชาร์ โดยการวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และวิเคราะห์ค่าความร้อน

3. ดำเนินการสร้างเครื่องอบไล่ความชื้น Screwdry และเครื่องอัดแท่งที่กำลังการผลิต 100 กก./ชม.

4. ศึกษาประสิทธิภาพของชาร์ที่ได้ เพื่อผลิตเป็นถ่านอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

5. วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตถ่านอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็นเชิงพาณิชย์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมเอทานอลเปลี่ยนรูปเป็นถ่านนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้มีคุณภาพมากขึ้นหรือมีค่าความร้อนมากกว่าเดิม
2. ได้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนมากกว่าเดิมมาใช้ในกระบวนการที่ต้องการต่อไป
3. ใช้กระบวนการคาร์บอไนเซชันปรับปรุงคุณภาพของตะกอนเปียก
4. สามารถควบคุมขนาดของเชื้อเพลิงตะกอนเปียกได้

2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการคาร์บอไนเซชันของตะกอนเปียก

3. ผลิตถ่านไร้ควันจากตะกอนเปียกเพื่อจำหน่ายสู่ตลาด

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องและงานวิจัย

2. กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวลแปลมาจากศัพท์ภาษาอังกฤษว่า "BIOMASS" ประกอบด้วยคำสองคำคือ ชีว และ มวล ชีว คือ สิ่งมีชีวิตเช่นมนุษย์ พืช และสัตว์ มวล คือวัตถุสิ่งของต่างๆ ดังนั้นชีวมวลหมายถึงวัตถุ หรือสสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ข้าวสาร รำ แกลบ และฟางข้าวได้มาจากต้นข้าว และมูลสุกรมาจากสุกร เป็นต้น (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549) แต่ในทางตรงกันข้ามน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินมาจากการทับถมซากพืชซากสัตว์เป็นระยะเวลานานหลายร้อยล้านปี ไม่ถือว่าเป็นชีวมวลเพราะไม่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต อีกความหมายหนึ่งคือ ชีวมวลเป็นกลุ่มเฉพาะที่รวมอินทรีย์วัตถุที่เป็นตระกูลพืชทั้งหมด (รวมถึงสาหร่าย ต้นไม้ พืชเกษตร) โดยชีวมวลผลิตจากพืชสีเขียวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นมวลในพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงทั้งพืชบกและพืชน้ำ รวมถึงซากอินทรีย์ด้วย (Mckendry, P.2001) และกระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกาได้ให้ความหมายของชีวมวลไว้ว่า ชีวมวลคือ อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นพลังงานทดแทนมูลฐาน ประกอบด้วย ไม้และของเหลือจากโรงงานไม้ พืชผลทางการเกษตร ของเสียจากสัตว์ ของเหลือจากการทำปศุสัตว์ พืชน้ำ ต้นไม้ พืชโตเร็ว ของเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม

ชีวมวลเป็นแหล่งให้พลังงานประเภทหนึ่งอันเป็นพลังงานทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับอะตอมของคาร์บอน และไฮโดรเจนที่ประกอบกันเป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์สะสมอยู่ภายในแหล่งกำเนิดของคาร์บอนและไฮโดรเจนมาจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืชจะเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไปเป็นสารอินทรีย์ต่างๆที่สามารถเผาไหม้ได้ องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับกระบวนการนี้คือ คลอโรฟิลล์และแสงอาทิตย์ โดยคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในพืชสีเขียวจะดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดการสังเคราะห์ขึ้น ปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้องแสดงได้ดังสมการ (Probstein and Hicks,1982)

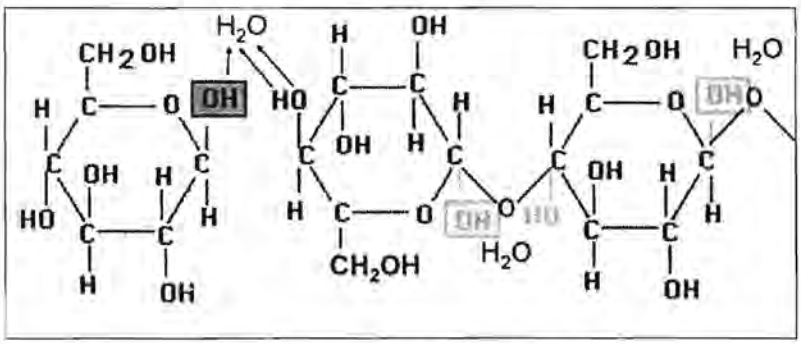
$$nCO_2 + mH_2O \xrightarrow[\text{chlorophyll}]{\text{sunlight}} C_n(H_2O)_m + nO_2 \quad \Delta H^o = +470\ KJ/mol$$

$C_n(H_2O)_m$ แสดงถึงสารประกอบอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรตและสารอื่นๆที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยา คาร์โบไฮเดรตประมาณหนึ่งในห้าจากการสังเคราะห์แสงจะถูกออกซิไดซ์ต่อด้วยกระบวนการผันกลับได้ของการหายใจในพืชเพื่อให้พลังงานสำหรับการเจริญเติบโตส่วนที่เหลือจะสะสมไว้

2.1.1 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล

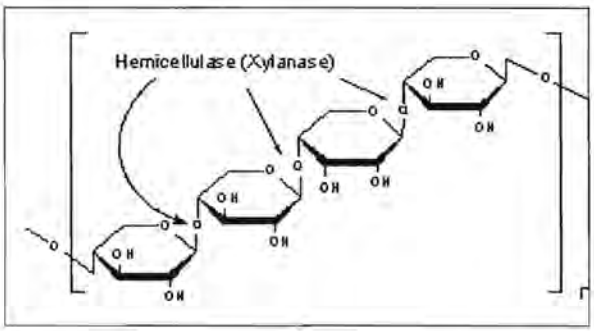
องค์ประกอบที่สำคัญของชีวมวล คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาลและพอลิเมอร์ของน้ำตาล ซึ่งเรียกว่า พอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides)

1. **เซลลูโลส** คือ เส้นใยของพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นส่วนประกอบหลักในผนังเซลล์พืช และเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมากที่สุด คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของเซลลูโลส คือ เป็นตัวที่ไม่ละลายและไม่ทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะไฮโดรไลซิส โครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2-1



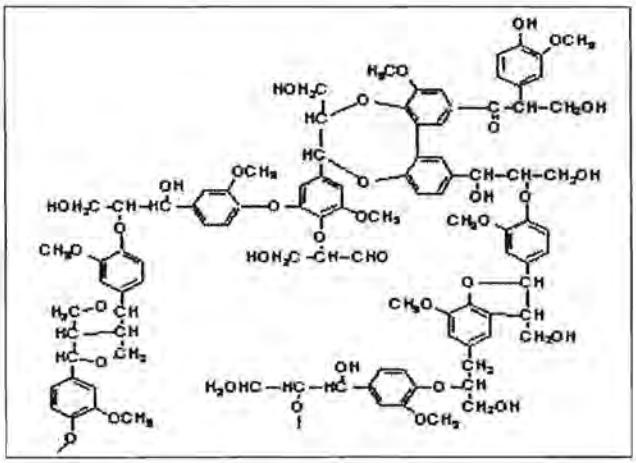
รูปที่ 2-1 โครงสร้างของเซลลูโลส

2. **เฮมิเซลลูโลส** คือ เป็นเส้นใยพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นร่วมกับพวกเซลลูโลส แต่จะอยู่ในรูปอสัณฐานที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมทางเคมีต่างกับพวกเซลลูโลสและมีมวลต่ำกว่ามาก เซลลูโลสส่วนใหญ่จะเกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว พวกดี-กลูโคส ส่วนเฮมิเซลลูโลสมักจะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวต่างชนิดหลายๆตัวมาต่อกันเป็นกลุ่มดังรูปที่ 2-2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างส่วนใหญ่จะคล้ายกับพวกเซลลูโลส ยกเว้นพอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสที่ประกอบด้วยหน่วยย่อย 50-200 หน่วย และต่อกันแบบกิ่งก้านสาขามากกว่าเส้นตรง



รูปที่ 2-2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

3. **ลิกนิน** เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืช ประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกส์ของหน่วยฟีนิลโพรเพนที่เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอนสายตรง (Aliphatic chain) ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ซึ่งจะเห็นว่าลิกนินมีคุณสมบัติในการเป็นองค์ประกอบของพืช นอกจากนี้ลิกนินยังอยู่ในรูปอัสณฐาน เช่นเดียวกับพวกเฮมิเซลลูโลส



รูปที่ 2-3 โครงสร้างของลิกนิน

2.1.2 ส่วนประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. **ความชื้น** (Moisture)
   ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงเพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ชีวมวลควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 50
2. **ส่วนที่เผาไหม้ได้** (Combustible substances)
   ส่วนที่เผาไหม้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารระเหย (Volatile Matter)และคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) สารระเหย คือ ส่วนที่ลุกไหม้ง่าย สลายตัวเมื่อได้รับความร้อนในที่ที่ไม่มีอากาศ ดังนั้นชีวมวลที่มีค่าสารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย ส่วนคาร์บอนคงตัวเป็นของแข็งที่เป็นคาร์บอนที่เหลืออยู่
3. **ขี้เถ้า** (Ash)
   ขี้เถ้าคือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบ ฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10-20 ซึ่งจะมีปัญหาการเผาไหม้และการกำจัดพอสมควร

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณและค่าความร้อนของชีวมวล

Proximate analysis	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ไม้ยางพารา	ใยปาล์ม	กะลาปาล์ม
Moisture, %	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00
Ash, %	12.65	10.39	1.43	6.10	1.59	4.42	3.50
Volatile Matter, %	56.46	60.70	41.98	67.80	45.70	42.68	68.20
Fixed Carbon, %	18.88	18.90	5.86	16.90	7.71	14.39	16.30
Higher heating value, (KJ/Kg)	14,755	13,650	9,243	16,794	10,365	13,127	18,267

Proximate analysis	ทะลายปาล์ม	ลำต้นปาล์ม	ทางปาล์ม	ซังข้าวโพด	ลำต้นข้าวโพด	เหง้ามันสำปะหลัง	เปลือกไม้ยูคาฯ
Moisture, %	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
Ash, %	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
Volatile Matter, %	30.46	38.70	16.30	45.42	46.46	31.00	28.00
Fixed Carbon, %	8.90	11.70	4.60	13.68	8.14	8.10	9.56
Higher heating value, (KJ/Kg)	9,196	9,370	3,908	11,298	11,704	7,451	6,811

ที่มา : http://www.efe.or.th [4]

2.2 **ตะกอนเปียก**

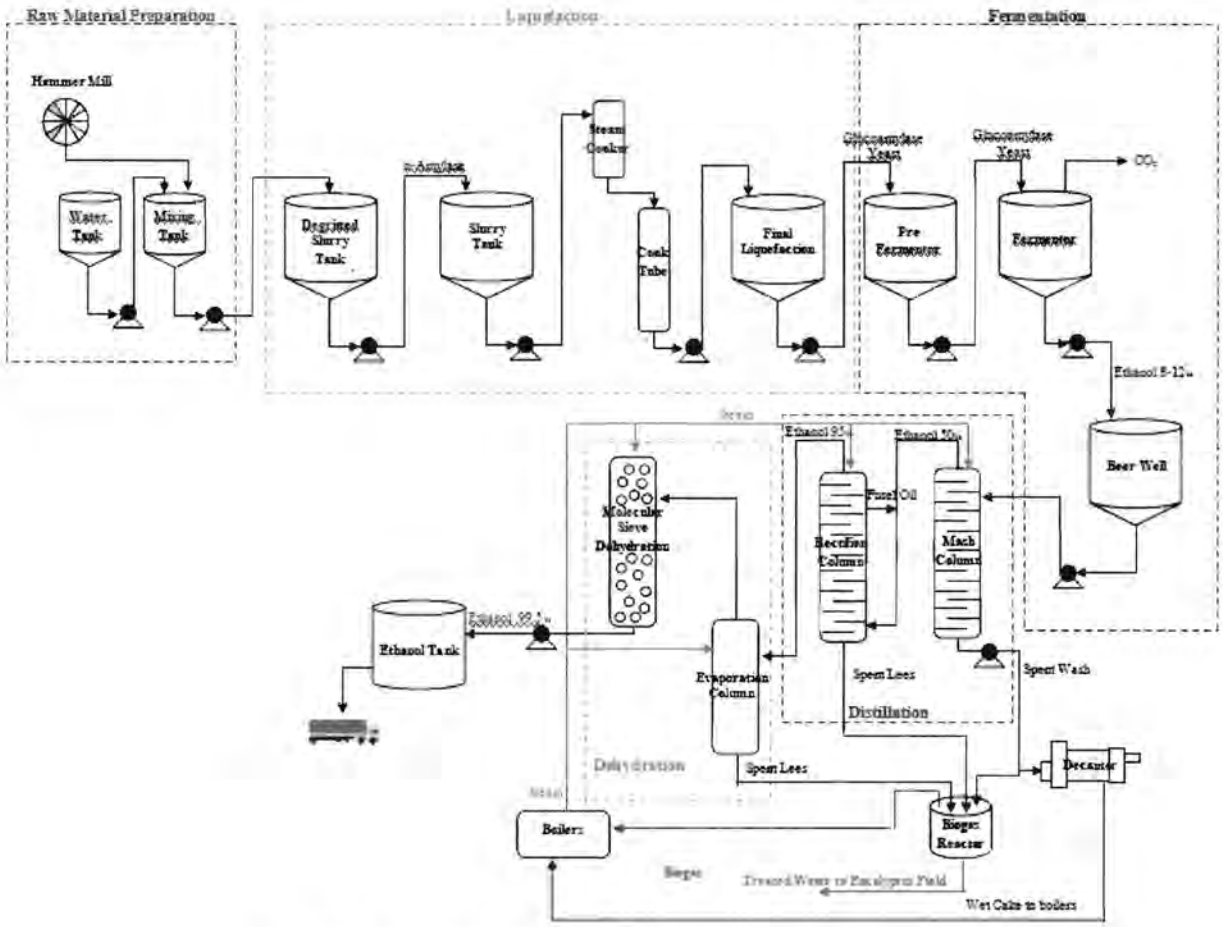
ตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการกลั่นและการแยกน้ำจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มีสีดำ ลักษณะร่วนซุย มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นยีสต์ และมีเศษกากมันสำปะหลังปนอยู่มีความชื้นประมาณ 40% ถือเป็นของเสียชีวมวลที่เกิดจากอุตสาหกรรม เกิดเป็นปริมาณมากต่อวัน ยากแก่การจัดการ อาทิเช่น โรงงานผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลกำลังการผลิต 200,000 ลิตร/วัน จะมีตะกอนเปียกเกิดขึ้น 250 ตัน/วัน หากอนาคตมีโรงงานผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลกำลังการผลิต 200,000 ลิตร/วัน ประมาณ 20 โรง จะมีตะกอนเปียกเกิดขึ้นประมาณ 37 ล้านตัน/ปี

2.3 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น)

กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น) เริ่มจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ คือ มันเส้น นำมาบดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นทำการคัดขนาดแล้วนำไปผสมกับน้ำในถังผสม (Mixing tank) เป็นน้ำแป้ง (Slurry) เพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล โดยทำการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) และต้มน้ำแป้งด้วยไอน้ำในหม้อต้ม (Steam cooker) เพื่อให้น้ำแป้งมีอุณหภูมิที่เหมาะในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ 90-100°C ขั้นตอนนี้จะเป็นการย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลเด็กซ์ทริน

จากนั้นจะทำการย่อยครั้งสุดท้ายในถัง Final Liquefaction โดยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) อุณหภูมิ 50-60 °C จะเป็นการย่อยน้ำตาลเด็กซ์ทรินให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการหมักโดยจะเติมยีสต์ในถัง Prefermentor ก่อนที่จะเข้าสู่ถัง Fermentor เพื่อทำการหมักน้ำตาลกลูโคสให้เปลี่ยนเป็นเอทานอล ซึ่งในกระบวนการนี้จะได้เอทานอลลออกมาร้อยละ 8-12 แล้วยังได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตผลพลอยได้ด้วย

น้ำหมักที่ได้จะถูกนำไปเก็บไว้ในถังเบียร์ (Beer Well) รอเข้าสู่กระบวนการกลั่น เพื่อทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยผ่านเข้าสู่หอกลั่น Mash Column จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 50 น้ำกากส่า (น้ำเสีย) ที่ออกจากหอกลั่นนี้จะผ่านเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำด้วยเครื่องแยกกาก (Decanter) เพื่อแยกกากมันสำปะหลังออกมาสามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ได้ ส่วนน้ำที่แยกได้จะผ่านเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสีย จากนั้นจะนำเอทานอลที่ได้ไปทำการกลั่นอีกครั้งที่หอกลั่น Rectifier Column จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ในกระบวนการนี้จะเกิดผลิตผลพลอยได้คือ Fusel Oil จากนั้นจะทำการแยกน้ำออกจากเอทานอลโดยผ่านเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำที่เครื่อง Molecular Sieve ซึ่งภายในจะมีตัวดูดซับจะทำการดูดซับน้ำออกจากเอทานอลทำให้เอทานอลที่ผ่านกระบวนการนี้มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ได้



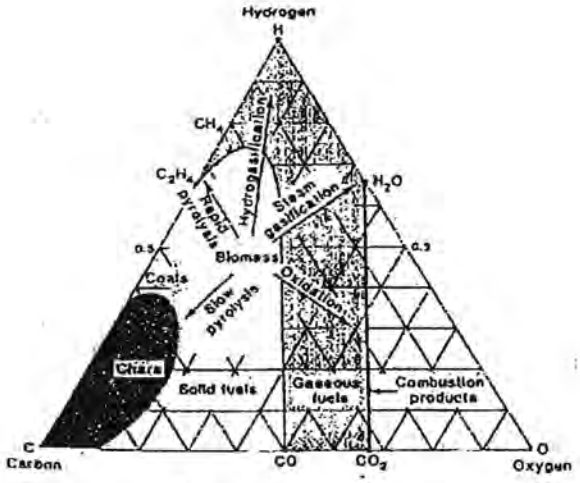
รูปที่ 2-4 แผนผังกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น

ที่มา : http://www.sapthip.com/product.php [5]

2.4 หลักการแปรรูปชีวมวล

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของชีวมวลจะเห็นได้ว่า ชีวมวลสามารถที่จะแปรรูปไปเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งอาจเป็นกระบวนการทางชีวภาพหรือกระบวนการทางเคมีความร้อน

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพ กระทำได้โดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปทางความร้อน (Thermal conversion Technology) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) แกซิฟิเคชัน (Gasification) และการเผาไหม้ (Combustion) โดยแผนภาพอธิบายกระบวนการเหล่านี้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แสดงดังกราฟสามเหลี่ยมที่ 2-5



รูปที่ 2-5 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล

2.5 <u>กระบวนการเปลี่ยนแปลงเคมีทางความร้อน</u>

2.5.1 CONVERSION PROCESS

พลังงานศักย์ในชีวมวลสามารถปลดปล่อยออกมาโดยการเผาไหม้ได้โดยตรงหรือโดยการเปลี่ยนแปลงวัสดุอันนั้นให้เป็นเชื้อเพลิง หรือเป็นสารเคมีตัวอื่นโดยวิธีการทางความร้อนหรือวิธีการทางชีวเคมีก็ได้ สามารถกระทำได้หลายวิธี คือกระบวนการทางเคมี-ความร้อน (Thermo-chemical process) หรือเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) เป็นต้น

2.5.1.1 **การเผาไหม้** (Combustion)

การเผาไหม้สารอินทรีย์ด้วยออกซิเจนที่มากเกินพอ ซึ่งงจะเกิดเป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์โดยได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

การเผาไหม้ของชีวมวลสามารถอธิบายได้ทั่วๆไปทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1. การระเหยความชื้นออกไป (evaporation of moisture)นกระบวนการดูดความร้อน
2. การกลั่นของสารระเหย (distillation of volatiles)สามารถเป็นได้ทั้งกระบวนการดูดและคายความร้อน
3. การเผาไหม้ของสารระเหย (burning of volatiles) เป็นกระบวนการคายความร้อน
4. การเผาไหม้ของคาร์บอนคงตัว (combustion of fixed carbon) เป็นกระบวนการคายความร้อน

2.5.1.2 **กระบวนการไพโรไลซิส** : Carbonization

การทำคาร์บอไนเซชันใช้เมื่อสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนนั้นมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้หรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และอุตสาหกรรม โดยวัสดุเหล่านี้จะถูกแยกสลายเป็นธาตุคาร์บอน และสารประกอบเคมีอื่นๆ ซึ่งอาจมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบก็ได้

ประสิทธิภาพในการทำคาร์บอไนเซชันขึ้นกับ 3 ปัจจัยหลัก ดังนี้

1. ปริมาณความชื้นระหว่างการทำคาร์บอไนเซชัน
2. ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ทำคาร์บอนไนเซชัน
3. ความรอบคอบในขั้นตอนการทำคาร์บอไนซัชัน

ระหว่างการเกิดคาร์บอไนเซชันของชีวมวลซึ่งจะจำกัดออกซิเจน หรือจะใช้เพียงปริมาณน้อยเพื่อใช้พอติดไฟเท่านั้น ชีวมวลที่ทำคาร์บอไนเซชันจะแตกสลายได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ charcoal และของแข็งสีดำที่มี รูพรุนโดยมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอน นอกนั้นคือเถ้าจากชีวมวล (ประมาณ 0.5-6%) โดยปริมาณเถ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล

ในขั้นตอนการทำคาร์บอไนเซชัน ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ สามารถสรุปได้คร่าวๆ ดังนี้

ช่วงอุณหภูมิ 20 -110°C	ชีวมวลจะรับความร้อนเข้าไปในเนื้อโดยตรง ซึ่งความร้อนส่วนนี้จะทำให้ความชื้นในชีวมวลระเหยออกไป และอุณหภูมิจะยังคงที่อยู่ที่ 110°C จนกว่าชีวมวลจะแห้ง
ช่วงอุณหภูมิ 110 -270°C	ชีวมวลจะเริ่มสลายตัวโดยปล่อย CO, CO_2, Acetic acid และ methanol ออกมา
ช่วงอุณหภูมิ 270-290°C	เป็นจุดที่ไม้เริ่มเกิดการสลายตัวโดยจะคายความร้อนออกมา ซึ่งจะได้ก๊าซผสมหลายชนิดและมี Tar เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย
ช่วงอุณหภูมิ 290-400°C	การสลายตัวของไม้ยังคงเกิดขึ้นอยู่ ได้ก๊าซผสมหลายชนิด และได้ Tar ในปริมาณที่มากขึ้น
ช่วงอุณหภูมิ 400-500°C	ที่ช่วงอุณหภูมินี้ชีวมวลจะเปลี่ยนไปเป็น Charcoal อย่างสมบูรณ์

ไพโรไลซิสหรือการกลั่นสลาย (Destructive distillation) เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน มีการถ่ายเทความร้อนโดยทางอ้อม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็งคือ ชาร์ ของเหลวที่ควบแน่นได้ ทาร์และแก๊ส

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งทางตรงจากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือจากปฏิกิริยาอื่นๆที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ และทางอ้อม (รีทอร์ท) ซึ่งในปัจจุบันการสลายตัวทางความร้อนในภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่ที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และแก๊ส เรียกได้ว่าเป็นกระบวนการไพโรไลซิส

เมื่อชีวมวลเกิดการสลายตัวทางความร้อนจะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่างๆ ได้แก่ แก๊สที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อน และชาร์ ซึ่งปฏิกิริยาของกระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลแสดงได้ดังสมการ

$$\text{Biomass} \xrightarrow{\text{Heat}} \text{Char} + \text{Pyrolytic Oil (High- and moderate molecular weight organic liquid)} + \text{other condensables in form oxygenated organics} + CO_2 + CO + H_2 + CH_4 + H_2O + \text{others}$$

2.6 ความแตกต่างระหว่างเชื้อเพลิงไม้กับถ่านชาร์ (Charcoal)

ในการทำคาร์บอไนเซชัน เชื้อเพลิงไม้จะสูญเสียพลังงานไปประมาณ 50% หรือมากกว่านั้นของพลังงานที่มีอยู่ [6] ดังนั้นโดยส่วนใหญ่จึงนิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงไม้โดยตรงมากกว่าถ้าใช้การขนส่งในระยะทางไม่ไกลนัก ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งประมาณ 100 กิโลเมตร แต่ถึงอย่างไรก็ตามการขนส่งเชื้อเพลิงไม้นั้นยังคงไม่คุ้มค่าอยู่เช่นเดิม

ถ่านชาร์จะมีลักษณะที่เบากว่าและมีค่าทางความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงไม้ด้วย สามารถขนส่งได้ในระยะที่ไกลกว่าถึง 1000 กิโลเมตรหรือมากกว่านั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้วถ่านชาร์จะมีน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 20% ของไม้แห้งเท่านั้น [7]

ผลจากการทำคาร์บอไนเซชันจะทำให้ปริมาตรของไม้น้อยลงประมาณ 50% [8]

ค่าพลังงานความร้อนของถ่านชาร์หนึ่งกิโลกรัมจะมีค่าเป็นสองเท่าของค่าความร้อนสูงสุดของไม้ธรรมดาที่มีปริมาณหนึ่งกิโลกรัมเท่านั้น [9]

เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงไม้จะพบว่าถ่านซาร์จะจัดเก็บได้ง่ายกว่า ไม่จำเป็นต้องทำขนาดให้เล็กตามที่ต้องการไว้ก่อนเพื่อใช้ในการะบวนการ และในการนำมาเผานั้นจะเกิดควันขึ้นน้อยกว่าและให้อุณหภูมิที่สูงกว่าด้วย อีกทั้งยังเหมาะสมมากที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศ ถ่านซาร์ถูกใช้ในกระบวนการตีเหล็กและเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น สำหรับการผลิตโลหะเป็นต้น ถ่านซาร์กัมมันต์ (Activated charcoal) ถูกใช้ในกระบวนการกรองได้ด้วย

2.7 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง

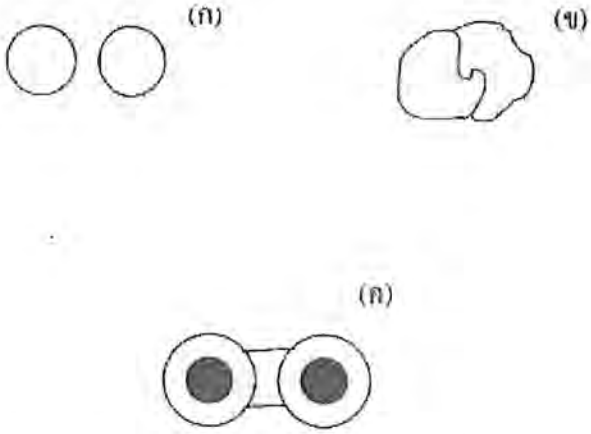
การอัดแท่งเป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการคือ สสารทั้ง หมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด(attractive force) ความแข็งแรง (strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาคโดยอาจมีตัวประสานหรือไม่มีตัวประสานก็ได้ เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดีโดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (Mishar and grover, 1996)

1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้น ของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลวและของแข็งเรียกว่าแรงแอดฮีชั่น (adhesion forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (interlocking bond) ระหว่างวัสดุ (ดังรูปที่ 2-7)

2. การอัดแท่งแบบใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพวกลิกนิน และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้

3. การอัดแท่งที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน (binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสานขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดีเช่นทาร์ และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้น อยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกันและพันธะอินเตอร์ลอคกิ้งระหว่างวัสดุ (ดังรูปที่ 2-7ข)



รูปที่ 2-6 แสดงกลไกการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

(ก) แรงแวนเดอร์วาลล์ (Van derwaals forces)

(ข) พันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (Interlocking bond)

(ค) ชั้นยางเหนียวของตัวประสาน (Viscous bindersadsorption layer)

ที่มา: วนิดา จาดดำ, 2548

2.7.1 ขั้นตอนการอัดแท่ง

วัสดุที่นำ มาอัดแท่งทั้งที่ต้องใช้ ตัวประสานหรือไม่ใช้ ตัวประสานโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนในการอัดแท่งเชือ้ เพลิงอัดแท่ง (วนิดา จาดดำ, 2548) ดังนี้

2.1 การบด (Grinding) เพื่อให้วัสดุมีขนาดเล็กลง ทำให้การอัดก้อนทำได้ง่ายขึ้น

2.2 การอบ (Drying) วัสดุที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชืน้ ที่เหมาะในการอัดก้อนถ้าความชืน้ มากเกินไป เชือ้ เพลิงอัดแท่งจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น

2.3 การผสม (Mixing) การผสมวัสดุกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแท่งได้ โดยที่เวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากการผสมน้ำถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป โดยทั่วไปชีวมวลต่างๆ จะมีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

2.4 การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมของเชื้อเพลิงเขียวจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องอัดแรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด ดังนั้น คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

2.7.2 วิธีการอัดแท่ง

พุทธิธร แสงรุ่งเรือง และคณะ (2549) การอัดแท่งเชื้อ เพลิง ทำได้หลายรูปแบบ เช่นอัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (Pelleting) อัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) อัดเป็นแท่งฟืน (Extruder log) อัดเป็นฟ่อน (Baling) ในสาหกรรมนิยมใช้การอัดเกลียวหรืออัดสกรู (Screw extrusion) เพราะมีความสะดวกหลายประการการอัดแท่งชีวมวลด้วยเครื่องอัดเกลียวหรือสกรู สามารถอัดได้ 2 แบบ ดังนี้

2.7.2.1 **การอัดแห้งและใช้ความร้อนสูง** เป็นการอัดที่ถือกำเนิดในสหรัฐอเมริกามาหลายปีแล้ว โดยมี R.T. Bolwing เป็นผู้คิดค้นเครื่องอัดมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เกลียวหรือสกรู กระบอกได รวมทั้งระบบให้ความร้อนกระบอกไดและระบายความร้อนเฟื องทด สำหรับวัสดุที่ใช้อัดแท่งเชื้อเพลิงต้องผ่านการบดและมีความชืน้ อยู่ระหว่าง 7-12% หากสูงหรือต่ำกว่านี้จะอัดไม่ได้ผล การอัดแห้งจะใช้แรงอัดสูงประมาณ 11,000-17,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีการให้ความร้อนแก่กระบอกอัดทำให้สารประกอบเซลลูโลส ลิกนินและคาร์โบไฮเดรตในวัสดุที่นำมาอัดหลอมละลายออกมาเป็นตัวเชื่อมประสานทำให้วัสดุเกาะตัวกันเป็นแท่งได้ดี R.T. Bolwing ได้ผลิตฟืนสังเคราะห์จากขี้เลื่อยให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง ให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านชั้นดีให้เปลวไฟสะอาด ปราศจากเขม่าควัน เถ้า และกลิ่นเหม็น ทำให้โรงงานเลื่อยหมดปัญหายุ่งยากเนื่องจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง การเก็บกวาดและการขนไปทิ้ง นอกจากนียั้งเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับโรงเลื่อยอีกด้วย ต่อมาได้มีการพัฒนาและขยายกิจการโรงอัดแท่งฟืนเทียมและเครื่องอัดไปอย่างกว้าขวาง

2.7.2.2 **การอัดเปียกและไม่ใช้ความร้อน** เป็นการอัดที่สามารถทำได้กับวัสดุสดหรือแห้ง การอัดด้วยเทคนิคเชื้อเพลิงเขียวถือกำเนิดในประเทศไทย เครื่องอัดแบบต่อเนื่องประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ เกลียว กระบอกเกลียว และกระบอกได แตกต่างจากการอัดแห้งและใช้ความร้อน ตรงที่ไม่มีทั้งระบบให้ความร้อนและระบบระบายความร้อน โดยวัสดุที่นำมาอัดแท่งต้องมีเส้นใยและมีความเหนียวที่ทำให้เกิดการยึดติดกันเป็นแท่งได้ สำหรับพืชที่มียางเหนียว เช่น เพคติน เจลาติน ลิกนิน และเรซิน จะใช้การตำหรือกระทุ้งพืชที่สับแล้วจนเกิดเป็นยางเหนียวๆ สำหรับพืชที่ไม่มีเส้นใยหรือยางเหนียวจะต้องมีการเติมตัวเชื่อมประสานเพื่อให้จับตัวกันเป็นแท่งได้วัสดุที่นำ มาอัดแท่งเชื้อเพลิงจะต้องผ่านการสับให้ เป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนโดยไม่จำเป็นต้องลดความชื้น หรือให้เหลือความชื้นที่จุดพอดี การอัดเปียกจะใช้แรงอัดต่ำกว่าแบบแห้ง การอัดเปียมีข้อเสียเพียงการตากแห้ง คือ ในฤดูฝนจะไม่สามารถตากเชื้อเพลิงให้แห้งได้

2.7.3 **ตัวประสาน** การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ตัวประสานนั้นเป็นการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งตัวประสาน คือสารที่เติมเข้าไปในขบวนการอัดเพื่อที่จะให้อนุภาคของเชื้อเพลิงนั้นยึดติดกันดีขึ้น เมื่อมีการใช้ตัวประสาน อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการอัดก็จะลดลงด้วย แต่ว่าจนถึงปัจจุบันนี้ การศึกษาหาตัวประสานที่เหมาะสมนั้น ยังคงต้องมีการค้นคว้ากันต่อไป ตัวประสานที่เหมาะสมนั้น ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีราคาถูก ไม่ดูดความชื้น ไม่สึกกร่อนง่าย และเถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรจะมีขี้เถ้าน้อยที่สุด มิฉะนั้นปริมาณของค่าความร้อนของถ่านก็จะลดลงไปด้วยซึ่งชนิดของตัวประสานนั้น ได้แบ่งตัวประสานออกอย่างกว้างๆ ดังนี้

1. สารอินทรี (Organic) แบ่งเป็นชนิดไม่มีน้ำ (Hydrophobic) เช่น น้ำมันดิน (tar) น้ำมันดิน (bitumen), ชัน (resin) เป็นต้น และชนิดมีน้ำ (Hydrophilic) เช่น แป้ง (starch) molasses เป็นต้น

2. สารอนินทรี (Inorganic) แบ่งเป็น ละลายไม่ได้ (Insoluble) เช่น ปูนซีเมนต์(cement), ดินเหนียว (clay) เป็นต้น และละลายได้ (Soluble) เช่น ปูนขาว (lime) เป็นต้น

3. สารผสม (Combination) ตัวอย่างเช่น ชัน(resin), น้ำมันดิน (tar), แป้ง(starch) และbitumen เป็นต้นและได้แบ่งตัวประสานออกเป็น 3 กลุ่มก็คือ

3.1 ตัวประสานประเภทเมทริก (Matrix-Type Binder) ในกรณีนี้อนุภาคจะถูกเกาะกันเป็นก้อนอย่างแน่น ความต่อเนื่องจะมากหรือน้อยขึ้น อยู่กับต้นแบบของวัสดุตัวประสาน ตัวประสานในกรณีนี้ เช่น Pitch, Paraffin, Clay, Wood และ Tar เป็นต้น

3.2 ตัวประสานประเภทฟิล์ม (Film-Type Binder) โดยส่วนมากจะใช้ สารละลาย ตัวสลาย หรือน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายโดยทั่วไปและตัวแยกสาร โดยผลผลิตที่ได้จะค่อนข้างแข็งและคงทนเมื่อทำให้แห้งหลังจากการทำเชื้อเพลิงเขียว ตัวอย่าง เช่น Sodium silicate, entonite,molasses, starch, gum และ gluesเป็นต้น

3.3 ตัวประสานทางเคมี (Chemical Binder) ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสาน หรือตัวเลือกของปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อน ตัวอย่าง เช่น การผสมระหว่าง $Ca(OH)_2$กับ molasses

2.7.4 **การตากแห้ง** ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียว จะใช้วัสดุที่มีความชื้นสูง ดังนั้นก่อนที่นำไปใช้งานจะต้องทำให้แห้งก่อนเพื่อเป็นการลดควัน โดยวิธีการที่สะดวกและประหยัด คือ การตากแดดโดยตรงโดยอาจจะตากบนพื้นซีเมนต์ หรือบนสังกะสีลูกฟูก ฯลฯ ก็นับว่าเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด นอกจากมีวิธีการตากหรือการทำแห้งหลายวิธี นอกจากตากแดดโดยตรงคือ (งานพัฒนาพลังงานจากไม้, 2546)

1. อบในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์
2. อบด้วยความร้อนจากเตาเผาขยะ
3. อบด้วยความร้อนที่เหลือทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรม
4. อบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน

2.8 ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเป็นพลังงาน

1. การนำชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากจะก่อให้เกิดรายได้แล้ว ยังช่วยลดภาระในการกำจัด เช่น การนำไปฝังกลบหรือเผาทิ้ง เป็นต้น
2. การปล่อยให้ชีวมวลย่อยสลายตามธรรมชาติ จะทำให้เกิดแก๊สมีเทนซึ่งถือว่าเป็นแก๊สเรือนกระจกชนิดหนึ่ง และเป็นอันตรายกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า
3. ชีวมวลจะมีปริมาณกำมะถันหรือซัลเฟอร์ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำชีวมวลมาเผาไหม้จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม
4. ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นด่าง ดังนั้นเหมาะสมที่จะนำไปเพาะปลูกหรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด
5. ก่อให้เกิดรายได้ สร้างงานในชุมชน
6. สะดวกในการขนส่งประหยัดค่าขนส่งเนื่องจากมีความหนาแน่นสูงประมาณ600-650 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
7. สามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ง่ายเพราะมีขนาดที่เท่าๆกัน ทำให้มีอัตราการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอ และการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
8. มีขี้เถ้าน้อยกว่าชีวมวลประเภทอื่น
9. ให้พลังงานความร้อนมากกว่าชีวมวลประเภทอื่นเพราะมีความชื้นต่ำ (น้อยกว่า 12%)
10. ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเชื้อเพลิงพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และก๊าซหุงต้ม

ที่มา : http://www.espthailand.com/Product01.html?gclid=CNLpoaSmvKgCFYIc6wodSTbfBw

2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง

Zanzi R et al. [10] ได้ศึกษาไพโรไลซิสชีวมวลอย่างรวดเร็วของไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้กับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Free Fall เพื่อศึกษาถึงผลของอัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิ ขนาดของอนุภาค เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา องค์ประกอบของแก๊ส และความว่องไวของถ่านชาร์ การเกิดถ่านชาร์ในปริมาณต่ำแต่มีความว่องไวที่สูง จะพบทั้งในกระบวนการทำให้เป็นก๊าซและการเผาไหม้ ส่วนความว่องไวของถ่านชาร์นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนในอัตราที่สูง ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงเล็ก และเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่อุณหภูมิสูง

Michael Jerry Antal et al.[11] ศึกษากระบวนการคาร์บอไนเซชันแบบรวดเร็วโดยชีวมวลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ไม้ลูเซน ไม้โอ๊ค ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วแม็กคาเดเมีย ทำการคาร์บอไนเซชันแบบรวดเร็วที่ความดัน 1 megapascal ในเครื่องปฏิกรณ์เตาเผาแบบเบดนิ่ง (fixed bed) ซึ่งถูกออกแบบให้เปลวไฟที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนของเบดสวนทางกับอากาศที่ไหลลงมา ทำให้ชีวมวลเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สและถ่านชาร์ที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง โดยใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์น้อยกว่า 30 นาที จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนได้ของถ่านชาร์เป็น 29.5 – 40% ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้น 59-63% ของคาร์บอนในชีวมวลถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนที่อยู่ในชาร์ และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงเชิงพลังงานคิดเป็น 55.1-66.3%

R.J.A. Gosselink et al.[12] ศึกษาการเพิ่มความทนทานต่อการสลายตัวของไม้ด้วยการทำคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิต่ำ (275°C) ของไม้สนโดยใช้เตาอบแบบปิดที่มีฉนวนหุ้มซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ไม้ในเวลา 15 นาที มีผลทำให้สีของไม้ที่ทำคาร์บอไนเซชันเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ช่วงเวลาที่น้อยกว่าหรือมากกว่า ทำให้ไม้ที่ทำการคาร์บอไนเซชันไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือเกิดรอยแตกบนเนื้อไม้และพื้นผิวร่วนแตกง่ายตามลำดับ การทำคาร์บอไนเซชันในช่วงอุณหภูมิสูงจาก 275-400°C ทำให้เกิดรอยแตกขนาดใหญ่และจะเผาเนื้อไม้ ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของไม้ลดลง ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำคาร์บอไนเซชันของไม้สน คือ ที่อุณหภูมิ 275°Cเป็นเวลา 15 นาที โดยประมาณ 13% น้ำหนักของเนื้อไม้ถูกกำจัดระหว่างเกิดปฏิกิริยาซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ระเหยง่าย

สุภานันท์ และ สุธนา.[13] ศึกษาการคาร์บอไนเซชันชีวมวลที่อุณหภูมิต่ำ โดยชีวมวลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 250-375°C โดยใช้เตาอบแบบปิดที่มีฉนวนหุ้ม และศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และภาวะออกซิเจนในการทำคาร์บอไนเซชัน จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทำคาร์บอไนเซชันเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีน้ำหนักลดลงเมื่อเทียบกับน้ำหนักก่อนการทำคาร์บอไนเซชัน โดยจุดเริ่มเปลี่ยนสีจากไม้เป็นถ่านของภาวะไม่จำกัดออกซิเจนอยู่ที่อุณหภูมิ 250°C เวลา 30 นาที สำหรับภาวะจำกัดออกซิเจนอยู่ที่อุณหภูมิ 325°C เวลา 15 นาที และที่อุณหภูมิ 300°C เวลา 15 นาที ของภาวะไม่จำกัดออกซิเจนสามารถทำการบดละเอียดได้ สำหรับภาวะจำกัดออกซิเจนอยู่ที่อุณหภูมิ 350°C เวลา 15 นาที เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) พบว่าการทำคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 350°C เวลา 15 นาที ภาวะไม่จำกัดออกซิเจนมีค่าคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ธาตุ (Ultimate Analysis) พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ทำการคาร์บอไนเซชันเพิ่มขึ้นร้อยละของคาร์บอนในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ พบว่า การทำคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 375°C เวลา 15 นาที ภาวะจำกัดออกซิเจนมีค่าความร้อนจำเพาะสูงสุด

กฤติยาณี และ กิดาการ.[14] ศึกษาการคาร์บอไนเซชันชีวมวลสำหรับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ศึกษาการคาร์บอไนเซชันของชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส ชานอ้อย และกะลาปาล์มที่อุณหภูมิต่ำ (400-450°C) โดยนำไปผ่านการคาร์บอไนเซชันในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ เพื่อศึกษาผลของชนิดชีวมวลที่ใช้และอุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันสูงขึ้น ร้อยละโดยน้ำหนักคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 450°C จะได้ร้อยละโดยน้ำหนักคาร์บอนสูงสุดในชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของสาระเหยจะลดลง ค่าความร้อนต่อน้ำหนักของถ่านชาร์ที่ได้จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากชีวมวลแต่ละชนิด พบว่า กะลาปาล์มเป็นชีวมวลที่ให้ร้อยละโดยน้ำหนักคาร์บอนและค่าความร้อนสูงสุดเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันเดียวกัน

บทที่ 3

เครื่องมือและการดำเนินงานทดลอง

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้จะแบ่งขั้นตอนในการทำวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรก นำตัวอย่างตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลจากมันเส้น ทำการวัดค่า Heating Value , Proximate Analysis และ Ultimate analysis เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำตะกอนเปียกมาเป็นเชื้อเพลิง ส่วนที่สองนำตะกอนเปียกที่ผ่านการไล่ความชื้นมาศึกษากระบวนการคาร์บอไนเซชันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิด char พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่า Heating Value , Proximate และ Ultimate analysis ขั้นตอนสุดท้ายศึกษาเปรียบเทียบการอัดแท่งตะกอนเปียกระหว่างการอัดร้อนและการอัดเย็น พร้อมทั้งวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

1. เตาเผา TUBULAR FURNACE MODEL CTF 12/75/700/201 ยี่ห้อ CARBOLITE
2. ตู้อบ ยี่ห้อ MMM MODEL ECOCELL
3. เตาเผา MODEL SC 96 AVM ยี่ห้อ MODUTEMP
4. BOMB CALORIMETER MODEL 6200 ยี่ห้อ PARR
5. Tube furnace : type 21100 (0-1,200^{o}C) Thermolyne Corporation, USA
6. CHN Elemental Analyzer รุ่น CHN-2000 ยี่ห้อ LEGO
7. ชุดอุปกรณ์ทดสอบธาตุอาหารในดิน

3.3 วัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ คือ ตะกอนเปียกจากโรงงานผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีลักษณะร่วนซุย สีดำ มีเส้นใยคล้ายกากของมันสำปะหลัง กลิ่นฉุนคล้ายยีสต์

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างตะกอนเปียกจากโรงงานเอทานอลจากมันเส้น

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

การทดลองส่วนแรก

1. ดำเนินการหาโรงงานเป้าหมายที่ผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง โดยดำเนินการหาข้อมูลจาก Internet (หน่วยงานของทางราชการ เช่น พพ. และ สนพ.)
2. เมื่อได้โรงงานเป้าหมายทำการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานหลังจากนั้นดำเนินการเข้าไปเก็บตัวอย่างตะกอนเปียกเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น ได้แก่
   - Proximate analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 3172-3175
   - Ultimate analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 31202-31205
   - Heating Value ตามมาตรฐาน ASTM 5865-04 (Gross Calorific Value)

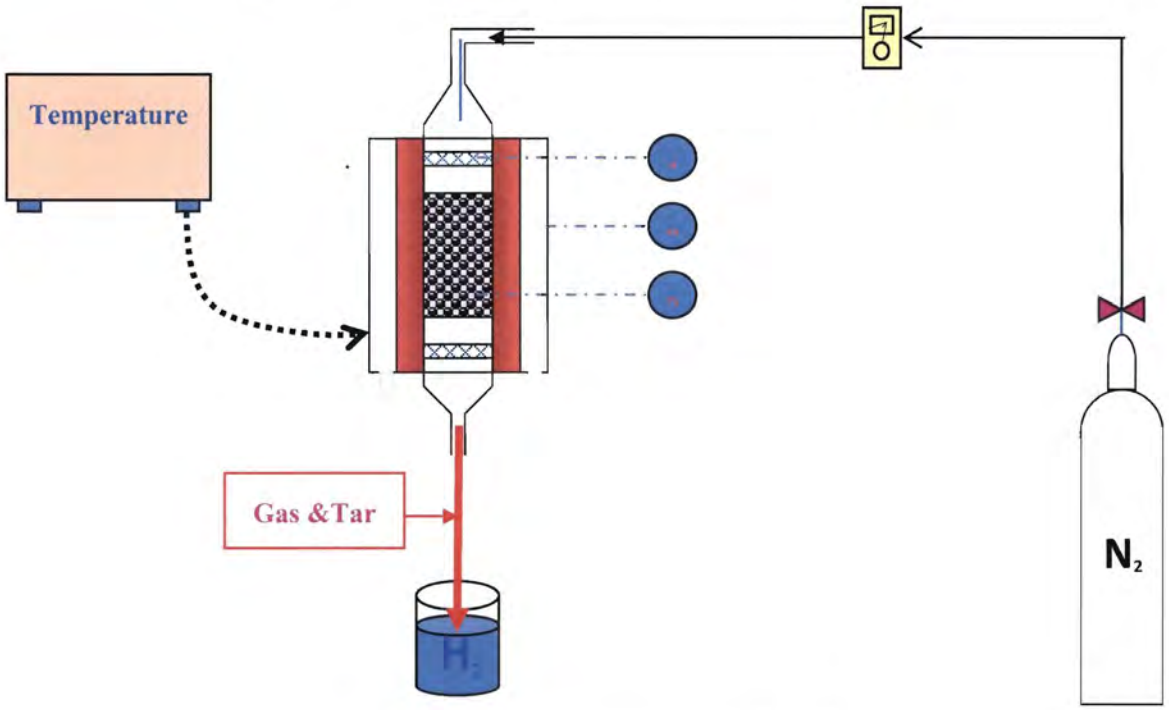
การทดลองส่วนที่สอง

1. นำตะกอนเปียก (wet cake) อบไล่ความชื้นด้วยเครื่อง Screwdry ที่กำลังการผลิต 100 กก./ชม. ให้เหลือความชื้นประมาณ 10% (ความชื้นในตะกอนเปียกประมาณ 40%) แสดงดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องอบไล่ความชื้นตะกอนเปียก Screwdry กำลังการผลิต 100 กก./ชม.

2. นำผงตะกอนเปียกที่ผ่านการอบแล้ว คาร์บอไนเซชันในสภาวะที่กำหนด คือ อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน โดยอุปกรณ์การทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์เครื่องมือคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก



รูปที่ 3.4 ผังแสดงกระบวนการคาร์บอไนเซชัน

3. หลังจากทราบสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก จึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ Proximate analysis, Ultimate analysis และ Heating value อีกครั้ง

การทดลองส่วนที่สาม

1. นำตะกอนเปียกเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นถ่านอัดแท่งหลังจากทราบสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนเซชัน โดยผลิตถ่านใน 2 รูปแบบ คือ ถ่านอัดแท่งแบบร้อน และ ถ่านอัดแท่งแบบเย็น แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3-5 เครื่องอัดแท่ง (Extruder) กำลังการผลิต 100 กก./ชม.

2. ศึกษาลักษณะ ประสิทธิภาพ การลุกจุดติดไฟ และความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ระหว่างถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น
3. วิเคราะห์ Proximate analysis, Ultimate analysis และ Heating value ของถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น
4. วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็นในเชิงพาณิชย์

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียก

4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติ

ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้น เพื่อหาคุณสมบัติของตะกอนเปียกก่อนทำการทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D 3172-3175 ได้แก่การวิเคราะห์ความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว แสดงดังตารางที่ 4.1 นอกจากนี้ยังวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) แสดงดังตารางที่ 4.2

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของตะกอนเปียก พบว่ามีคุณภาพต่ำ คือ มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานเพียงร้อยละ 13.33 จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบประมาณ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	7.55 ± 0.16
เถ้า	15.25 ± 0.31
สารระเหย	63.87 ± 0.42
คาร์บอนคงตัว	13.33 ± 0.04

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบแยกธาตุ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
คาร์บอน	35.10 ± 0.18
ไฮโดรเจน	5.98 ± 0.02
ไนโตรเจน	1.00 ± 0.00

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาค่าความร้อนของตะกอนเปียกก่อนทำการทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D 3286

จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตะกอนเปียกพบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คือมีค่าเพียง 13,864.38 KJ/kg ก่อนทำการคาร์บอไนเซชัน จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน

4.2 ผลของตัวแปรในการทำคาร์บอไนเซชัน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของตัวแปรต่อการทำคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียกที่สภาวะต่างๆ อันได้แก่ อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากการคาร์บอไนเซชัน คือ ถ่าน ค่าแบบประมาณสมบัติของถ่าน แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

รูปที่ 4.1 ตะกอนเปียกก่อนทำการคาร์บอไนเซชัน

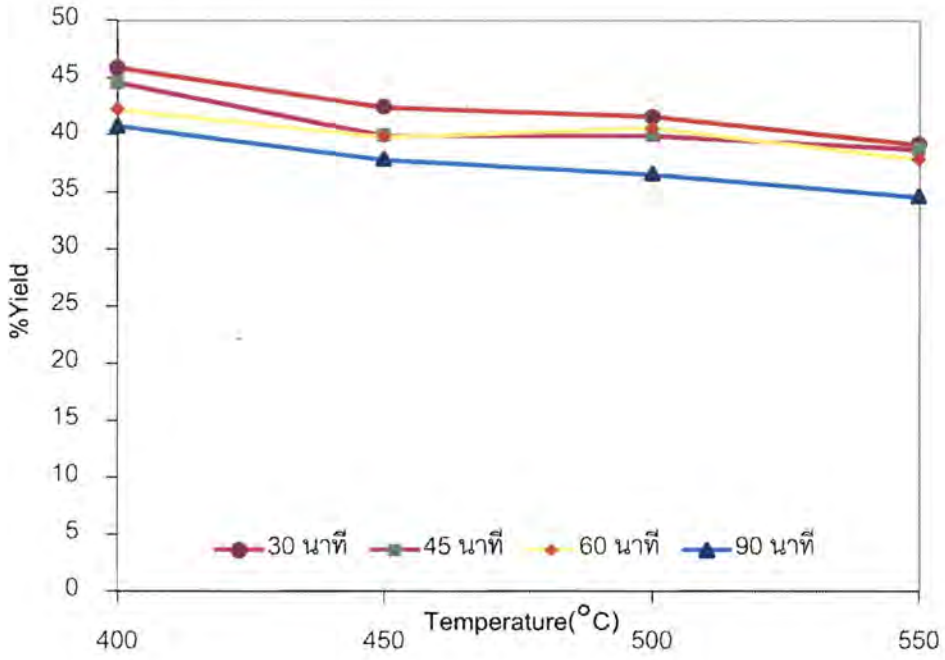
รูปที่ 4.2 ตะกอนเปียกหลังทำการคาร์บอไนเซชัน

จากการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก คือ อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลา 60 นาที **โดยสภาวะดังกล่าวมีความชื้น** 1.17% **สารระเหย** 16.57% **เถ้า** 34.42% **และคาร์บอนคงตัว** 47.84%

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบประมาณ

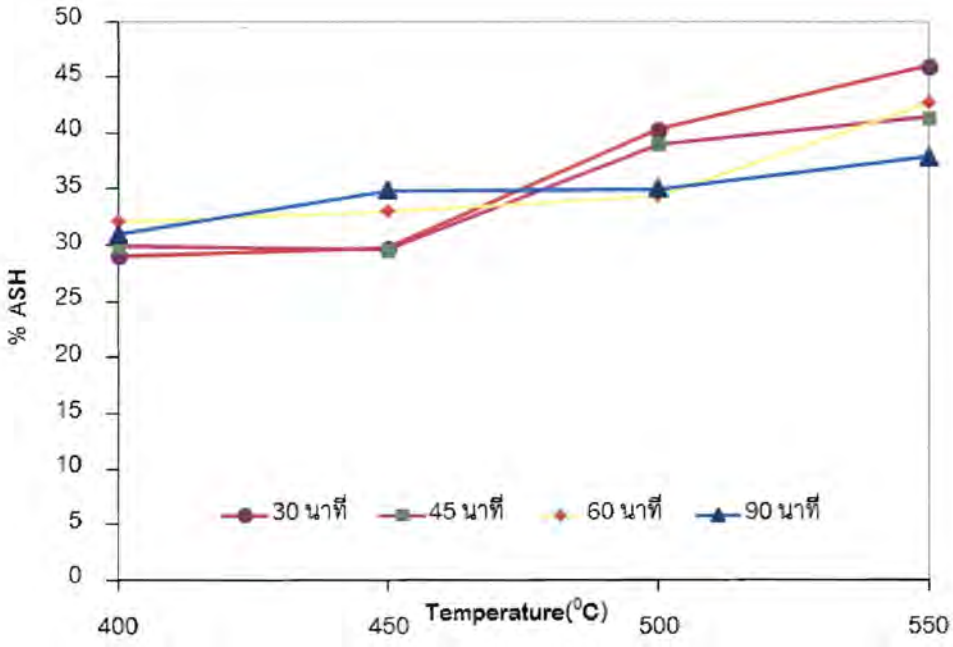
ตะกอนเปียก						
อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (นาที)	YC (%wt)	M (%wt)	VM(%wt)	ASH (%wt)	FC (%wt)
400	30	45.85	2.13	33.41	29.01	35.45
	45	44.54	2.65	28.30	29.86	39.19
	60	42.22	2.66	26.16	32.12	39.06
	90	40.79	3.32	19.74	30.95	45.99
450	30	42.42	2.02	26.11	29.71	42.16
	45	39.93	2.55	24.00	29.61	43.84
	60	39.81	2.14	18.86	32.99	46.01
	90	37.82	1.95	16.13	34.85	47.07
500	30	41.55	1.89	19.08	40.27	38.76
	45	39.94	1.45	17.13	38.98	42.44
	60	40.58	1.17	16.57	34.42	47.84
	90	36.55	1.28	15.02	34.99	48.71
550	30	39.13	2.65	14.11	45.99	37.25
	45	38.71	1.86	12.87	41.41	43.86
	60	37.83	1.55	12.15	42.69	43.61
	90	34.53	1.13	11.24	37.85	49.78

4.2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อตะกอนเปียก



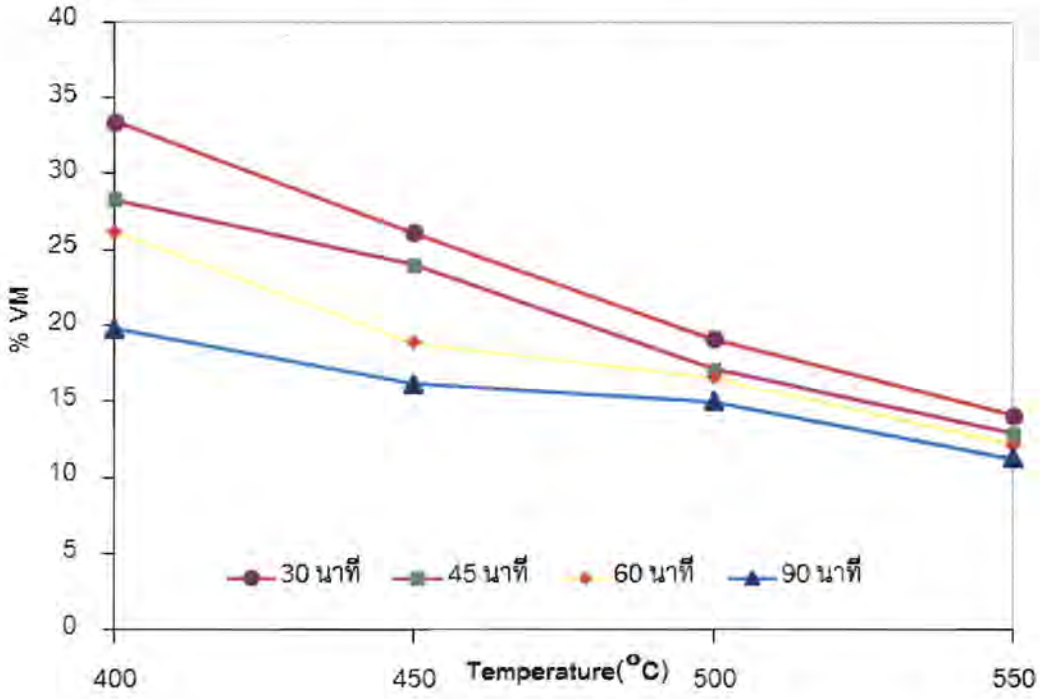
รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % yields ของตะกอนเปียก

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิสูงขึ้นและที่ระยะเวลานานขึ้นเป็นผลให้ % yields ของคาร์บอนในตะกอนเปียกลดลง ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.3 เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลามากขึ้น คาร์บอนที่อยู่ในตะกอนเปียกจะเกิดการเผาไหม้กลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็วและระเหยอยู่ในรูป volatile ส่งผลให้ % yield ลดลงนั่นเอง



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % ash ของตะกอนเปียก

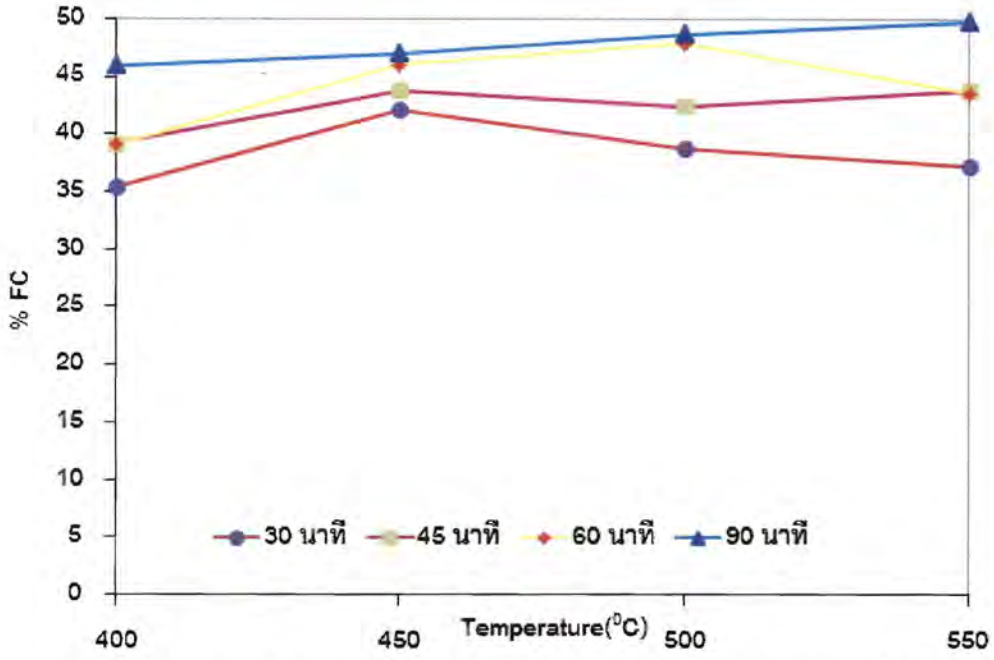
จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิสูงขึ้นในระยะเวลาที่เท่ากัน เห็นได้ชัดเจนว่า % ash ของตะกอนเปียกเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 400°C ระยะเวลา 30 นาที มี % ash 29.01 และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 550°C ระยะเวลา 30 นาที มี % ash 45.99 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.4 เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิต่ำๆจะมีเพียง volatile matter ที่ถูกกำจัด องค์ประกอบต่างๆในตะกอนเปียกยังคงเหลืออยู่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ % ash จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนในตะกอนเปียกจะเกิดปฏิกิริยาและเปลี่ยนไปเป็นขี้เถ้าในที่สุด



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % volatile matter ของตะกอนเปียก

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 แสดงเห็นได้ว่า % volatile matter ของการคาร์บอไนเซชันในช่วงอุณหภูมิ 400-550°C ระยะเวลา 30 นาที ลดลงอย่างรวดเร็วจาก 33.41% เหลือ 14.11% เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำจะมีเพียง volatile ที่ถูกกำจัด รวมทั้งคาร์บอนในตะกอนเปียกจะถูกเผาไหม้กลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็วและระเหยอยู่ในรูป volatile และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 550°C % volatile matter ลดลงเหลือเพียง 14.11% เนื่องจากน้ำมันดินและไฮโดรคาร์บอนบางส่วนจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงและกลายเป็นขี้เถ้า

การลดลงอย่างรวดเร็วของ volatile matter ในช่วงระยะเวลา 30-60 นาที ของการคาร์บอไนเซชันในแต่ละช่วงอุณหภูมิ เนื่องจาก volatile matter บนพื้นผิวถูกกำจัด และเมื่อเวลามากกว่า 60 นาที volatile matter ที่อยู่ภายในอนุภาคตะกอนเปียกจะถูกกำจัด แต่ไม่มากเท่า volatile matter บนพื้นผิวที่ถูกกำจัด



รูปที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อ % fixed carbon ของตะกอนเปียก

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันสูงขึ้น % fixed carbon ในตะกอนเปียกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.6 เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะสามารถไล่ความชื้นและสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบไปได้มากขึ้น จึงทำให้ % fixed carbon ที่เป็นตัวให้พลังงานได้สูงที่สุดมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิสูงย่อมส่งผลให้เกิดการสูญเสีย % yield ของตะกอนเปียกเช่นกันจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสม

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพระหว่างถ่านอัดตะกอนเปียกแบบร้อนและแบบเย็น

4.3.1 การผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน

ตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอล
ที่มีความชื้นประมาณ 40%

นำตะกอนเปียกเข้าสู่เครื่อง Screwdry
เพื่อบไล่ความชื้น

ตะกอนเปียกที่ผ่านการอบไล่ความชื้นออกแล้ว
คงเหลือความชื้นประมาณ 10%

นำตะกอนเปียกเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งเพื่อให้ได้
ขนาดตามที่ต้องการ

นำแท่งตะกอนเปียกมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500°C
เพื่อให้กลายเป็นถ่าน

เมื่อทำการเผาเรียบร้อยแล้วจะได้
ถ่านอัดแท่งแบบอัดร้อนตามที่ต้องการ

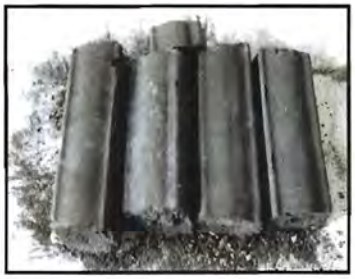
4.3.2 การผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น

นำตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอล
ที่มีความชื้นประมาณ 40%

นำตะกอนเปียกเข้าสู่เครื่อง Screwdry
เพื่ออบไล่ความชื้น

ตะกอนเปียกที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว
มาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500°C จนกลายเป็น
ผงถ่านสีดำและนำไปผสมกับตัวประสาน
เพื่อให้เนื้อแน่นเกาะกันเป็นแท่ง

หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง
เพื่อให้ได้ขนาดถ่านอัดแท่งตามต้องการ



สุดท้ายจะได้ถ่านอัดแท่งแบบเย็น

4.4 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อน ระหว่างถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น

ถ่านอัดแท่งแบบร้อน เนื้อไม่เรียบ มีน้ำหนักเบา เปราะแตกหักง่าย ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลาไม่นาน เกิดขี้เถ้าในปริมาณมาก เกิดควันไฟค่อนข้างเยอะในช่วงจุดติดไฟ มีเขม่าติดที่ภาชนะอุปกรณ์

ถ่านอัดแท่งแบบเย็น เนื้อเรียบแน่น มีน้ำหนักดี ทนทานต่อการแตกหัก ให้ความร้อนได้ยาวนาน เกิดขี้เถ้าในปริมาณน้อย เกิดควันไฟน้อยในช่วงจุดติดไฟ ไม่มีเขม่าติดที่ภาชนะอุปกรณ์

รูปที่ 4.7 ถ่านอัดแท่งแบบร้อน

รูปที่ 4.8 ถ่านอัดแท่งแบบเย็น

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติระหว่างถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

พารามิเตอร์	ถ่านอัดแท่งแบบร้อน	ถ่านอัดแท่งแบบเย็น
ความชื้น	2.16 ± 0.03%	5.78 ± 0.07%
เถ้า	28.98 ± 0.29%	2.41 ± 0.01%
สารระเหย	26.20 ± 0.10%	32.80 ± 0.16%
คาร์บอนคงตัว	42.66 ± 0.36%	59.01 ± 0.08%
ซัลเฟอร์	0.110%	0.0534%
ค่าความร้อน	20,257.25 KJ/kg	24,790.21 KJ/kg

ความชื้น : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าความชื้นสูงกว่าถ่านอัดแบบร้อน เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นมีการผสมตัวประสาน คือ แป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้อนุภาคของตะกอนเปียกยึดติดกันดีขึ้น โดยในขั้นตอนการผสมแป้งมันสำปะหลังจะมีการเติมน้ำลงไปในสัดส่วนที่พอเหมาะเพื่อให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถอัดแท่งได้ง่าย

สารระเหย : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าสารระเหยสูงกว่าถ่านอัดแบบร้อน เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นมีการผสมแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดมีน้ำเป็นตัวประสาน เมื่อแป้งมันสำปะหลังได้รับความร้อนจะเกิดการระเหยของน้ำในตัวแป้ง volatile matter บนพื้นผิว รวมทั้งคาร์บอนในตะกอนเปียกจะถูกเผาไหม้กลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็วและระเหยอยู่ในรูป volatile

คาร์บอนคงตัว และ ค่าความร้อน : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแบบร้อน เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นจะคาร์บอไนซ์ผงตะกอนเปียกที่อุณหภูมิสูง (~800°C) เกิดการเผาไหม้อย่างเต็มที่จนกลายเป็นผงชาร์ ทำให้สามารถไล่ความชื้นและสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบไปได้มากขึ้น จึงทำให้ % fixed carbon ที่เป็นตัวให้พลังงานได้สูงที่สุดมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น

เถ้า : ถ่านอัดแบบร้อนมีเถ้ามากกว่าถ่านอัดแบบเย็นเนื่องจากในช่วงอุณหภูมิต่ำๆจะมีเพียง volatile matter ที่ถูกกำจัด องค์ประกอบต่างๆในตะกอนเปียกยังคงเหลืออยู่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ % ash จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนในตะกอนเปียกจะเกิดปฏิกิริยาและเปลี่ยนไปเป็นขี้เถ้าในที่สุด สำหรับถ่านอัดแบบเย็นแม้จะมีคาร์บอนคงตัวสูงกว่าแต่เกิดขี้เถ้าน้อยกว่า เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นจะประกอบด้วยผงชาร์อนุภาคเล็ก เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็วให้เป็นพลังงานความร้อนจึงเกิดเถ้าน้อย เถ้าที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากตัวประสานที่ผสมลงไปมากกว่า

ซัลเฟอร์ : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าซัลเฟอร์น้อยกว่าถ่านอัดแบบร้อนซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าคาร์บอนคงตัวที่มากกว่า

4.5 ลักษณะการใช้ประโยชน์ของถ่านอัดแท่งทั้ง 3 แบบ

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ความสามารถในการจุดติดไฟ ระยะเวลาการให้ความร้อน และการประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์

4.5.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านทั้ง 3 แบบ

ถ่านอัดแบบร้อน ถ่านอัดแบบเย็น ถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านทั้ง 3 แบบ

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นจำนวนการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่เท่ากันของถ่านอัดแท่งแต่ละแบบ เห็นได้ว่าถ่านอัดแบบร้อนมีการใช้จำนวนเชื้อเพลิงมากที่สุด รองลงมาคือ ถ่านอัดแท่งธรรมดา และถ่านอัดแบบเย็น เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตถ่านแต่ละแบบแตกต่างกันโดย

ถ่านอัดแบบร้อน : จะนำตะกอนเปียกที่อัดแท่งแล้วมาผ่านกระบวนการเผาเพื่อให้เกิดเป็นถ่าน ซึ่งสารในเนื้อของวัสดุจะยึดตัวมันเอง จึงทำให้สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง 450-500°C ที่ระยะเวลามากขึ้น คาร์บอนที่อยู่ในตะกอนเปียกจะเกิดการเผาไหม้กลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็วและระเหยอยู่ในรูป volatile ส่งผลให้ % yield ลดลง ถ่านที่ได้จึงมีน้ำหนักเบา เนื้อหยาบ ความหนาแน่นต่ำ เปราะแตกง่าย

ถ่านอัดแบบเย็น : เป็นการอัดผงตะกอนเปียกที่เผาไหม้เต็มที่ (อุณหภูมิเกิน 800°C) จนกลายเป็นผงถ่าน เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะสามารถไล่ความชื้นและสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบไปได้มากขึ้น จึงทำให้ % fixed carbon ที่เป็นตัวให้พลังงานได้สูงที่สุดมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจึงนำผงถ่านมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันปล่อยลงสู่เครื่องอัดจนเป็นถ่านอัดแท่งออกมา ถ่านที่ได้มีน้ำหนักดี เนื้อเรียบ ความหนาแน่นสูง เปราะแตกยาก

ถ่านอัดแท่ง : เป็นการอัดผงตะกอนเปียกที่ผ่านการไล่ความชื้นให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีอัดเย็น (โดยไม่ใช้ความร้อน) โดยอาศัยความเหนียวและความชื้นที่พอเหมาะเป็นตัวเชื่อมประสาน เมื่ออัดออกมาเป็นแท่งแล้วจะได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนฟืนและสามารถใช้ประโยชน์แทนฟืนถ่าน เป็นต้น

4.5.2 ความสามารถในการลุกติดไฟ ระยะเวลาการให้ความร้อน และการประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์

รูปที่ 4.10 แสดงการลุกจุดติดไฟจนกระทั่งเป็นเถ้าของถ่านทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 4.5 สรุปความสามารถของการลุกติดไฟของถ่านทั้ง 3 แบบ

ประเภทถ่าน 500 กรัม	ระยะเวลาลุกติดไฟ	ระยะเวลาให้ความร้อน	ปริมาณเถ้า	คราบเขม่า (บริเวณใต้ภาชนะ)
ถ่านอัดแบบร้อน	~ 5 นาที	30 นาที	มาก	คราบเขม่าปานกลาง
ถ่านอัดแบบเย็น	~ 10 นาที	40-50 นาที	น้อย	ไม่มี
ถ่านอัดแท่ง	~10 นาที	20-30 นาที	ปานกลาง	คราบเขม่ามาก

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการทดสอบจริง

ตารางที่ 4.6 สรุปปริมาณธาตุอาหารในเถ้าจากการเผาถ่านทั้ง 3 แบบ

เถ้าจากถ่านชนิดต่างๆ	ปริมาณธาตุอาหาร		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ถ่านอัดร้อน	10 (Deficiency)	80 (Surplus)	80 (Surplus)
ถ่านอัดเย็น	10 (Deficiency)	80 (Surplus)	80 (Surplus)
ตะกอนเปียกอัดแท่ง	10 (Deficiency)	80 (Surplus)	80 (Surplus)

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการทดสอบจริงด้วยชุด kit สำหรับหาปริมาณธาตุอาหารในดิน

ถ่านอัดร้อน : การลุกจุดติดไฟของถ่านใช้เวลาน้อย มีควันเยอะในช่วงแรก เมื่อถ่านแดงแล้วควันน้อยลง ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เกิดคราบเขม่าปานกลาง เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่บอยเลอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณเถ้ามาก จากการทดสอบกับชุดทดสอบ NPK พบว่า เถ้ามีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ ในขณะที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย หากนำมาผสมทำปุ๋ยควรใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยคอกร่วมด้วย หรืออาจใช้ฟางข้าวในการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

ถ่านอัดเย็น : การลุกจุดติดไฟของถ่านใช้เวลานานกว่าถ่านอัดแบบร้อน มีควันในช่วงแรก เมื่อถ่านแดงแล้วไม่มีควัน ให้ความร้อนสูงนานสม่ำเสมอ ไม่แตกประทุ ไม่มีกลิ่น ไม่มีคราบเขม่า เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในร้านอาหารประเภทหมูกระทะ ปิ้งย่าง เป็นต้น ปริมาณเถ้าน้อย จากการทดสอบกับชุดทดสอบ NPK พบว่า เถ้ามีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ ในขณะที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย

ถ่านอัดแท่ง : การลุกจุดติดไฟของถ่านใช้เวลานานกว่าถ่านทั้ง 2 แบบ มีควันเยอะในช่วงแรก กลิ่นเหมือนถ่านไม้ เมื่อถ่านแดงแล้วมีควันปานกลาง ให้ความร้อนปานกลาง เกิดคราบเขม่ามาก เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านฟืน ถ่านไม้ เป็นต้น ปริมาณเถ้าปานกลาง จากการทดสอบกับชุดทดสอบ NPK พบว่า เถ้ามีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ ในขณะที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย เช่นเดียวกับถ่านอัดแบบร้อน

4.6 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

4.6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก

ข้อมูลเบื้องต้น : ตะกอนเปียกมีความชื้น 40%
: ราคาขายตะกอนเปียก 250 บาท/ตัน
: % คาร์บอไนเซชันปกติที่ 33.33

4.6.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต

ข้อมูลเบื้องต้น : เครื่องอบไล่ความชื้น (Screwdry) 200,000 บาท
กำลังการผลิต 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง
: เครื่องอัดแท่ง (Extruder) 50,000 บาท
กำลังการผลิต 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง

4.6.3 ข้อมูลเบื้องต้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งตะกอนเปียก

ข้อมูลเบื้องต้น : รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกได้ 15,000 กิโลกรัม/เที่ยว
: ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อเที่ยว 13,000 บาท/เที่ยว
: ค่าขนส่งตะกอนเปียก 0.86 บาท/กิโลกรัม

4.6.4 ข้อมูลเบื้องต้นของถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น

ข้อมูลเบื้องต้น : ถ่านอัดแบบร้อน 0.05 กิโลกรัม/ก้อน
: ถ่านอัดแบบเย็น 0.5 กิโลกรัม/ก้อน

4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน

ค่าใช้จ่ายคงที่ (F)		
1.เงินลงทุนเครื่อง Screw Dry	200,000	บาท
2.เงินลงทุนเครื่องอัดแท่ง	50,000	บาท
รวมเป็นเงิน	**250,000**	**บาท**

ค่าต้นทุนวัตถุดิบ		
ตะกอนเปียก	250	บาท/ตัน
ปริมาณถ่านที่ต้องการต่อวัน	1,000	กิโลกรัม
% คาร์บอไนเซชันปกติ	33.33	%
ต้องการตะกอนเปียกแห้ง	1,333	กิโลกรัม
ตะกอนเปียกมีความชื้น	40	%
ดังนั้น ต้องการตะกอนเปียกจากโรงงาน	**~2,000**	**กิโลกรัม**
ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบ	500	บาท
ถ่านอัดแบบร้อน	0.05	กิโลกรัม/ก้อน
ตะกอนเปียก 1,000 กก. ผลิตถ่านอัดแบบร้อน	20,000	ก้อน
อัตราการป้อนเครื่อง SCREWDRY	100	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ทำงานวันละ	8	ชั่วโมง
ผลิตชิ้นงานวันละ	16,000	ก้อน
ต้นทุนถ่านอัดแท่งแบบร้อนต่อชิ้น	**0.03125**	**บาท/ก้อน**

ค่าต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ		
อัตราภาระบรรทุกรถขนส่ง 10 ล้อ	15,000	กิโลกรัม/เที่ยว
ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	13,000	บาท/เที่ยว
ดังนั้น ต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ	0.87	บาท/กิโลกรัม
ต้องการตะกอนเปียก	2,000	กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ	1,740	บาท
ผลิตชิ้นงานวันละ	16,000	ก้อน
ต้นทุนขนส่งถ่านอัดแท่งแบบร้อนต่อชิ้น	**0.11**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายแปรผัน (v)		
ค่าแรงขั้นต่ำ (สมุทรสงคราม)	172	บาท/วัน
ผลิตชิ้นงานวันละ	16,000	ก้อน
ค่าแรงต่อหน่วย	**0.011**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ		
ค่าไฟฟ้า	0.3	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตได้	20	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ	16,000	ก้อน
ดังนั้น ค่าไฟฟ้า	240	บาท
ค่าไฟต่อหน่วย	**0.015**	**บาท/ก้อน**

ราคาขายต่อหน่วย (p)		
ราคาขายถ่านอัดร้อน	10.5	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตได้	20	ก้อน
ราคาขายต่อหน่วย	**0.525**	**บาท/ก้อน**

* **อ้างอิง** ราคาขายถ่าน ณ ปัจจุบัน 10.5 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย (v)		
ค่าแรงต่อหน่วย	0.011	บาท/ก้อน
ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย	0.03125	บาท/ก้อน
ต้นทุนขนส่งตะกอนเปียกต่อหน่วย	0.11	บาท/ก้อน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	0.015	บาท/ก้อน
ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	**0.17**	**บาท/ก้อน**

การผลิตชิ้นงานต่อปี (N)		
การทำงาน 1 ปี	250	วัน
ผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน	16,000	ก้อน/วัน
ดังนั้น ผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน	4,000,000	**ก้อน/ปี**

ต้นทุนรวมในการผลิต C= F+V **สมการที่ 1**

แต่ V = vn **สมการที่ 2**

แทนค่าในสมการที่ 1 จะได้ C = F + vn

F ต้นทุนคงที่	**250,000 บาท**

V ต้นทุนแปรผัน	vN
v ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.17 บาท/ก้อน
N จำนวนชิ้นที่ผลิต/ปี	4,000,000 ก้อน
ดังนั้น vN	**680,000 บาท**

C ต้นทุนรวมในการผลิต	F + vn
F ต้นทุนคงที่	250,000 บาท
V ต้นทุนแปรผัน	680,000 บาท
C ต้นทุนรวมในการผลิต	**930,000 บาท**

รายได้ R = pN **สมการที่ 3**

กำไร P = รายได้ R - ต้นทุนรวม C **สมการที่ 4**

R รายได้	pN
p ราคาขายต่อหน่วย	0.525 บาท/ก้อน
N จำนวนชิ้นที่ผลิต/ปี	4,000,000 ก้อน
R รายได้	**2,100,000 บาท**

P กำไร	R - C
R รายได้	2,100,000 บาท
C ต้นทุนรวม	930,000 บาท
P กำไร	**1,170,000 บาท**

แทนค่าในสมการที่ 3 และ 4 ลงในสมการที่ 5 ให้กำไร (P) เท่ากับศูนย์จะได้ต้นทุนเท่ากับรายได้

กำไร(P) = pN -(F+vN)

0 = pN-(F+vN)

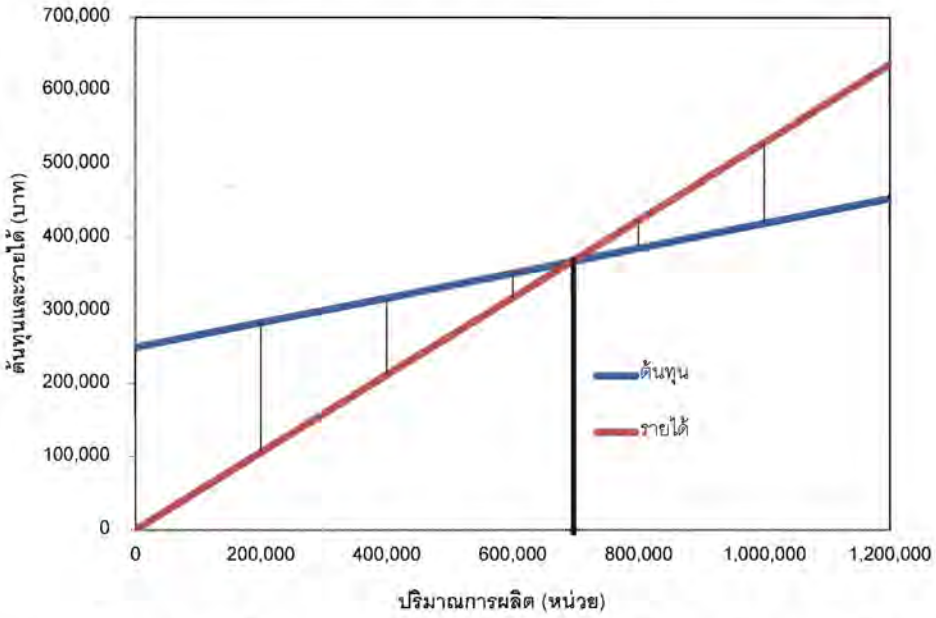
= pN-F-vN

pN-vN = F

N(p-v) = F

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

N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	$\frac{F}{p-v}$
F ต้นทุนคงที่	250,000 บาท
p ราคาขายต่อหน่วย	0.525 บาท/ก้อน
v ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.17 บาท/ก้อน
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	**704,225 ชิ้น**



รูปที่ 4.11 แสดงจำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน

ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(ร้อน)	$\frac{N^*}{N}$
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	704,225 ชิ้น
N จำนวนการผลิตต่อปี	4,000,000 ชิ้น/ปี
ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(ร้อน)	**0.18 ปี (~ 2 เดือน)**

4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น

ค่าใช้จ่ายคงที่ (F)		
1.เงินลงทุนเครื่อง Screw Dry	200,000	บาท
2.เงินลงทุนเครื่องอัดแท่ง	50,000	บาท
รวมเป็นเงิน	**250,000**	**บาท**

ค่าต้นทุนวัตถุดิบ		
ตะกอนเปียก	250	บาท/ตัน
ปริมาณถ่านที่ต้องการต่อวัน	1,000	กิโลกรัม
% คาร์บอไนเซชันปกติ	33.33	%
ต้องการตะกอนเปียกแห้ง	1,333	กิโลกรัม
ตะกอนเปียกมีความชื้น	40	%
ดังนั้น ต้องการตะกอนเปียกจากโรงงาน	**~2,000**	**กิโลกรัม**
ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบ	500	บาท
ถ่านอัดแบบร้อน	0.1	กิโลกรัม/ก้อน
ตะกอนเปียก 1,000 กก. ผลิตถ่านอัดแบบเย็น	10,000	ก้อน
อัตราการป้อนเครื่อง SCREWDRY	100	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ทำงานวันละ	8	ชั่วโมง
ผลิตชิ้นงานวันละ	8,000	ก้อน
ต้นทุนถ่านอัดแท่งแบบเย็นต่อชิ้น	**0.0625**	**บาท/ก้อน**

ค่าต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ		
อัตราภาระบรรทุกรถขนส่ง 10 ล้อ	15,000	กิโลกรัม/เที่ยว
ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	13,000	บาท/เที่ยว
ดังนั้น ต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ	0.87	บาท/กิโลกรัม
ต้องการตะกอนเปียก	2,000	กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ	1,740	บาท
ผลิตชิ้นงานวันละ	8,000	ก้อน
ต้นทุนขนส่งถ่านอัดแท่งแบบเย็นต่อชิ้น	**0.2175**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายแปรผัน (v)		
ค่าแรงขั้นต่ำ (สมุทรสงคราม)	172	บาท/วัน
ผลิตชิ้นงานวันละ	8,000	ก้อน
ค่าแรงต่อหน่วย	**0.0215**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ		
ค่าไฟฟ้า	0.1	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตได้	10	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ	8,000	ก้อน
ดังนั้น ค่าไฟฟ้า	80	บาท
ค่าไฟต่อหน่วย	**0.01**	**บาท/ก้อน**
ค่าน้ำ	0.01	บาท/กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าน้ำ	8	บาท
ค่าน้ำต่อหน่วย	**0.001**	**บาท/ก้อน**
ค่าแป้งมันสำปะหลัง	0.05	บาท/กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าแป้งมันสำปะหลัง	40	บาท
ค่าแป้งมันสำปะหลังต่อหน่วย	**0.005**	**บาท/ก้อน**

ราคาขายต่อหน่วย (p)		
ราคาขายถ่านอัดเย็น	10.5	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตได้	10	ก้อน
ราคาขายต่อหน่วย	**1.05**	**บาท/ก้อน**

* **สมมติ** ราคาขายถ่าน 10.5 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย (v)		
ค่าแรงต่อหน่วย	0.0215	บาท/ก้อน
ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย	0.0625	บาท/ก้อน
ต้นทุนขนส่งตะกอนเปียกต่อหน่วย	0.2175	บาท/ก้อน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	0.01	บาท/ก้อน
ค่าน้ำต่อหน่วย	0.001	บาท/ก้อน
ค่าแป้งมันสำปะหลังต่อหน่วย	0.005	บาท/ก้อน
ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	**0.3175**	**บาท/ก้อน**

การผลิตชิ้นงานต่อปี (N)		
การทำงาน 1 ปี	250	วัน
ผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน	8,000	ก้อน/วัน
ดังนั้น ผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น	2,000,000	**ก้อน/ปี**

ต้นทุนรวมในการผลิต C= F+V **สมการที่ 1**

แต่ V = vN **สมการที่ 2**

แทนค่าในสมการที่ 1 จะได้ C = F + vN

F ต้นทุนคงที่	**250,000 บาท**

V ต้นทุนแปรผัน	vN
v ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.3175 บาท/ก้อน
N จำนวนชิ้นที่ผลิต/ปี	2,000,000 ก้อน
ดังนั้น vN	**635,000 บาท**

C ต้นทุนรวมในการผลิต	F + vN
F ต้นทุนคงที่	250,000 บาท
V ต้นทุนแปรผัน	635,000 บาท
C ต้นทุนรวมในการผลิต	**885,000 บาท**

รายได้ R = pN **สมการที่ 3**

กำไร P = รายได้ R - ต้นทุนรวม C **สมการที่ 4**

R รายได้	pN
p ราคาขายต่อหน่วย	1.05 บาท/ก้อน
N จำนวนชิ้นที่ผลิต/ปี	2,000,000 ก้อน
R รายได้	**2,100,000 บาท**

P กำไร	R - C
R รายได้	2,100,000 บาท
C ต้นทุนรวม	885,000 บาท
P กำไร	**1,215,000 บาท**

แทนค่าในสมการที่ 3 และ 4 ลงในสมการที่ 5 ให้กำไร (P) เท่ากับศูนย์จะได้ต้นทุนเท่ากับรายได้

$$\text{กำไร}(P) = pN - (F+vN)$$

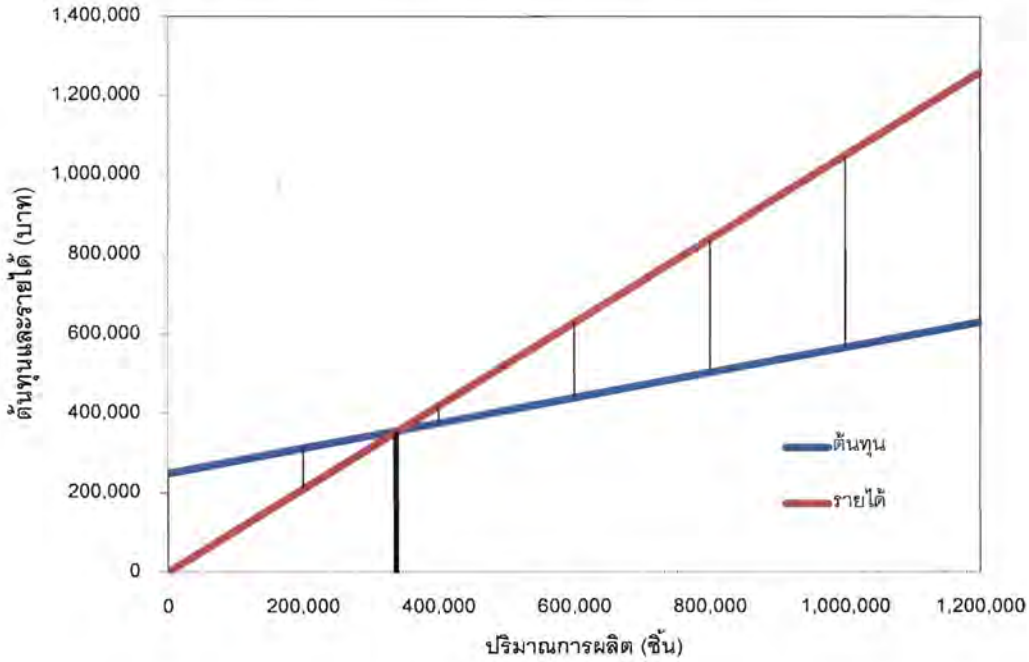
$$0 = pN-(F+vN)$$

$$= pN-F-vN$$

$$N(p-v) = F$$

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

N^* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	$\frac{F}{p-v}$
F ต้นทุนคงที่	250,000 บาท
p ราคาขายต่อหน่วย	1.05 บาท/ก้อน
v ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.3175 บาท/ก้อน
N^* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	**341,297 ชิ้น**



รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น

ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(เย็น)	$\frac{N^*}{N}$
N^* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	341,297 ชิ้น
N จำนวนการผลิตต่อปี	2,000,000 ชิ้น/ปี
ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(เย็น)	**0.17 ปี (~ 2 เดือน)**

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีสีดำ ร่วนซุย กลิ่นคล้ายยีสต์ เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากในแต่ละวันยากแก่การจัดการ การนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่ชัดเจน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อน พบว่า มีคุณภาพต่ำ คือ มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานเพียงร้อยละ 13.33 และค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ คือ 13,864.38 KJ/kg จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน จากนั้นนำไปคาร์บอไนเซชันในสภาวะต่างๆ ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก คือ **อุณหภูมิ** 500°C **ที่ระยะเวลา** 60 **นาที โดยสภาวะดังกล่าว มีความชื้น** 1.17% **สารระเหย** 16.57% **เถ้า** 34.42% **และคาร์บอนคงตัว** 47.84% เมื่อทราบสภาวะคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมจึงนำตะกอนเปียกมาอัดแบบร้อนและแบบเย็นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน พบว่า ถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 59.01 และค่าความร้อน 24,790.38 KJ/kg ในขณะที่ถ่านอัดแบบร้อนมีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 42.66 และค่าความร้อน 20,257.25 KJ/kg การนำใช้ประโยชน์ถ่านอัดแบบเย็นให้ความร้อนสูงนานสม่ำเสมอ ไม่แตกประทุ ไม่มีกลิ่น ไม่มีคราบเขม่า เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในร้านอาหารประเภทหมูกระทะ ปิ้งย่าง เป็นต้น ถ่านอัดแบบร้อน ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เกิดคราบเขม่าปานกลาง ปริมาณเถ้ามาก เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่บอยเลอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับเถ้าของถ่านทั้ง 2 แบบ มีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ แต่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย หากนำมาผสมทำปุ๋ยควรใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยคอกร่วมด้วย หรืออาจใช้ฟางข้าวในการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว สำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ ถ่านอัดแบบร้อนมีต้นทุน 0.17 บาท/ก้อน ราคาขาย 0.525 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 704,225 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.18 ปี ถ่านอัดแบบเย็นมีต้นทุน 0.3175 บาท/ก้อน ราคาขาย 1.05 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 338,524 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.17 ปี โดยอ้างอิงจากต้นทุนคงที่ 250,000 บาท ราคาขายถ่านทั้ง 2 แบบราคา 10.5 บาท/กิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุนคิดเทียบกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล สามารถผ่านกระบวนการไพโรไลซิสให้เกิดเป็น Bio Oil หรือจะนำมากลั่นต่อเพื่อให้ได้เอทานอลออกมา
- ในขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียกในแต่ละช่วงอุณหภูมิควรเพิ่มช่วงระยะเวลาให้ยาวนานมากขึ้น เพื่อจะได้เห็นความแตกต่างของชาร์ที่ได้อย่างชัดเจน
- ชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันสามารถนำมากระตุ้นด้วยสารเคมีเพื่อให้เกิดเป็นถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษ หรือ โลหะหนักในน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งถือเป็นการเพิ่มมูลค่าและประโยชน์ในการใช้งานในวงกว้าง

เอกสารอ้างอิง

1. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551.นโยบายพลังงานทดแทนด้านเชื้อเพลิงเอทานอล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th.

2. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551. โรงงานที่ดำเนินการผลิตและที่อยู่ระหว่างก่อสร้างโรงงานเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th.

3. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th.

4. พลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, มูลนิธิ. คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.efe.or.th

5. ทรัพย์ทิพย์,บริษัท.การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น).ชนิด.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.sapthip.com/product.php.

6. Aunsholt, Knud E., "Fuel briquettes and method of making," U.S. patent No.4, 589,887; Chemical Abtracts : 112850z, 1985.

7. Donald L. Klass, "Biomass for renewable energy, fules, and chemicals," The United States of America: Academic press limited, 1998.

8. Kazuhiro Mochidzuki, Lloyd S. Paredes, and Michael J. Antal, Jr., "flash Carbonization of Biomass," Prepared for Presentation at AIChE 2002 Annual Meeting, Indianapolis, IN, November 3-8

9. K.O. LIM, S. Malar Vizhi, "Carbonization of cocoa tree Pruning at Moderate Temperatures," *Bioresource Technology* vol *44* , pp. *85-87*,1993.

10. Zanzi R., Sjostrom K., Bjornbom E. "Rapid High-Temperature Pyrolysis of Biomass in a Free-fall Reactor," *Fuel. 75(5)*, pp. *545-550*, 1996.

11. Michael Jerry Antal., Jr., Kazubiro Mocbidzuki and Lloyd S. Parades,"Flash carbonization of biomass," *Ind. Eng. Chem. Res*, vol *42*, pp. *3690-3699*, 2003.

12. R.J.A. Gosselink, A.M.A. Krosse, J.C. van der Putten, J.C. van der Kolk, B. de Klerk-Engels, J.E.G. van Dam,"Wood Presservation by low-temperature carbonization," *Industrial Crops and Products*, vol *19*, pp. *3-12*, 2004.

13. สุภานันท์ สินธุพันธ์ และ สุธนา จินายน, "การทำคาร์บอไนเซชันชีวมวลที่อุณหภูมิต่ำ" ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

14. กฤติยาณี รักสนิท และ กิดาการ แสงเดือน, "การทำคาร์บอไนเซชันชีวมวลที่อุณหภูมิต่ำ" ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

15. ASTM D 3172 ; Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke

16. ASTM D 3173 ; Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke

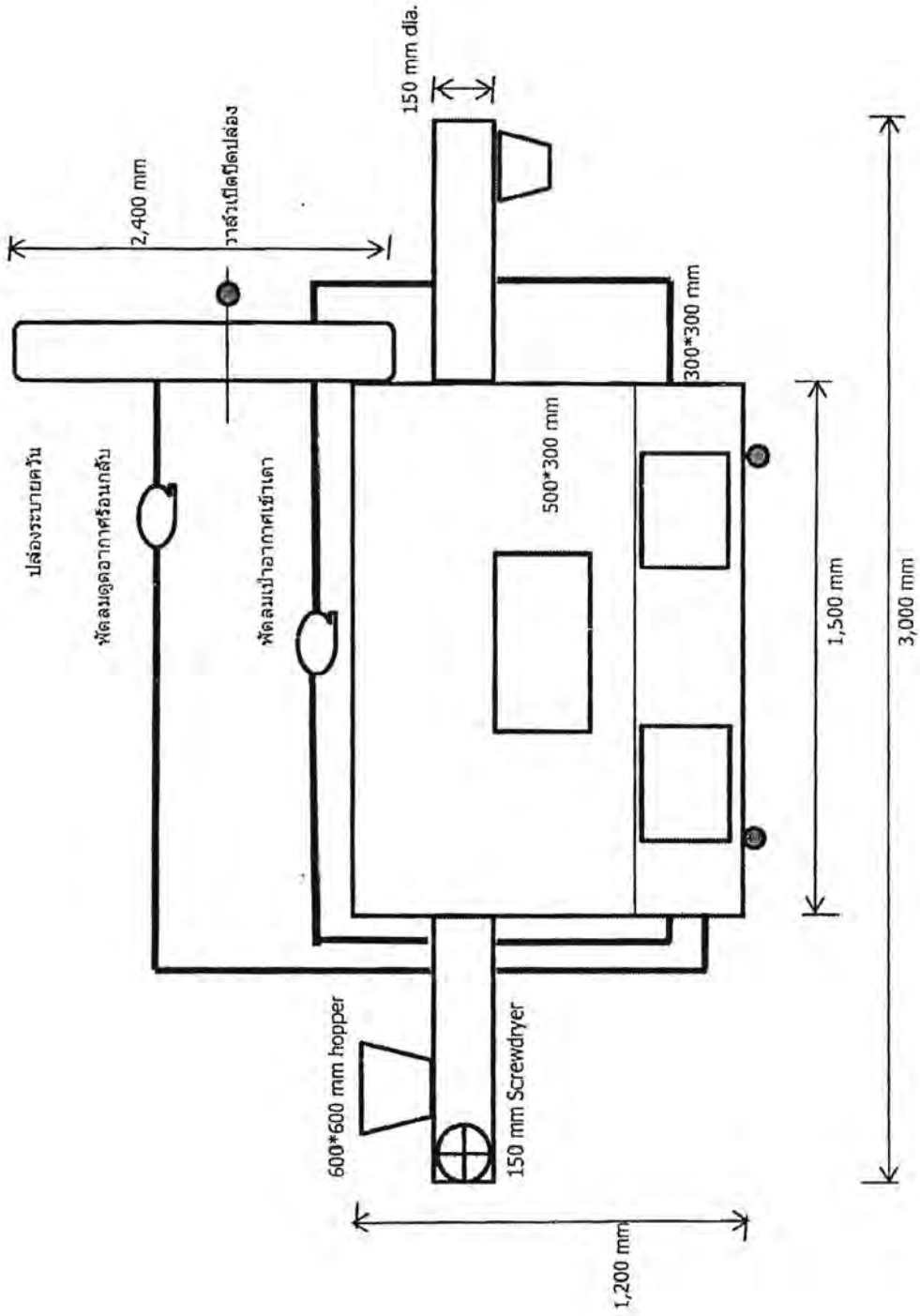
17. ASTM D 3174 ; Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal

18. ASTM D 3175 ; Standard Test Method for Volatile in the Analysis Sample of Coal and Coke

19. ASTM D 3286 ; Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke

ภาคผนวก ก

แผนผังระบบอบแห้ง (SCREWDRY)



ภาคผนวก ข

ราคาชีวมวล ม.ค. - เม.ย. 2554

ลำดับ (Order)	ชีวมวล (Biomass)	จังหวัด (Province)	ม.ค. 2554 January 2011 Baht/ton	ก.พ. 2554 February 2011 Baht/ton	มี.ค. 2554 March 2011 Baht/ton	เม.ย. 2554 April 2011 Baht/ton
1.	แกลบ (Rice Husk)	สุรินทร์ (Surin)	1,000	1,000	1,100	1,100
		กำแพงเพชร(Kamphaeng Phet)	1,600	800	1,000	900
		สุพรรณบุรี (Suphanburi)	1,300	1,100	1,100	1,100
		พะเยา (Phayao)	300	-	-	-
		ฉะเชิงเทรา (Chachoengsao)	1,800	1,300	1,200	1,200
2.	ปีกไม้ยางพารา (Off-Cut Para Rubber Wood)	กระบี่ (Krabi)	800	850	850	900
		สงขลา (Songkhla)	950	1,020	900	900
		นครศรีธรรมราช (Nakhon Si Thammarat)	750	750	900	900
		สุราษฎร์ธานี (Surat Thani)	950	950	-	-
		นราธิวาส (Narathiwat)	950	1,500	-	-
3.	กะลาปาล์ม (Oil Palm Shell)	สุราษฎร์ธานี (Surat Thani)	-	-		
		กระบี่ (Krabi)	-	1,800	1,800	1,800
		เพชรบูรณ์ (Phetchabun)	-	-		
4.	ทะลายปาล์มเปล่า (Oil Palm Empty Bunch)	สุราษฎร์ธานี (Surat Thani)	-	-		
		กระบี่ (Krabi)	50	50	50	50
5.	ไม้ชิ้นสับ	นครปฐม (Nakornpathom)	-	-	-	-
		อุดรธานี (Udontanee)	-	-	-	-
		ขอนแก่น (khonkaen)	-	-	-	-
		กาญจนบุรี(Kanchanaburi)	-	-	-	-
6.	ใบอ้อยและยอดอ้อย	สุพรรณบุรี(Suphanburi)	-	-	-	-
7.	ซังข้าวโพด	เพชรบูรณ์ (Phetchabun)	-	-	-	-
8.	เหง้ามัน	เพชรบูรณ์ (Phetchabun)	-	-	-	-

ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
ถ่านอัดแท่ง

๑ ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านผงหรือถ่านเม็ดมาอัดเป็นแท่งหรือทำจากวัสดุธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน

๒. บทนิยามความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

๒.๑ ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพดมาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน

๒.๒ ค่าความร้อน หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก ๑ กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

๓. คุณลักษณะที่ต้องการ

๓.๑ ลักษณะทั่วไปในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะอาจแตกหักได้บ้าง

๓.๒ การใช้งาน เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น

๓.๓ ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ ๘ โดยน้ำหนัก

๓.๔ ค่าความร้อน ต้องไม่น้อยกว่า ๕ ๐๐๐ แคลอรีต่อกรัม

๔. การบรรจุ

๔.๑ หากมีการบรรจุ ให้บรรจุถ่านอัดแท่งในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับถ่านอัดแท่งได้

๔.๒ น้ำหนักสุทธิของถ่านอัดแท่งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

๕. เครื่องหมายและฉลาก

๕.๑ ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุถ่านอัดแท่งทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อผลิตภัณฑ์ (๒) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ

(๓) น้ำหนักสุทธิ (๔) เดือน ปีที่ทำ

(๕) ข้อแนะนำในการใช้

(๖) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

๖. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๖.๑ รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ถ่านอัดแท่งที่ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

๖.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๖.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวนไม่น้อยกว่า ๓ กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๑ ข้อ ๔. และข้อ ๕ จึงจะถือว่าถ่านอัดแท่งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๖.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการใช้งาน ความชื้น และค่าความร้อน ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ ๖ ๒.๑ แล้ว จำนวนไม่น้อยกว่า ๓ กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓ ๒ ถึงข้อ ๓ ๔ จึงจะถือว่าถ่านอัดแท่งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๖.๓ เกณฑ์ตัดสินตัวอย่างถ่านอัดแท่งต้องเป็นไปตามข้อ ๖ ๒.๑ และข้อ ๖.๒.๒ ทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านอัดแท่งรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๗. การทดสอบ

๗.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

๗.๒ การทดสอบการใช้งานให้ทดสอบโดยการจุดตัวอย่างถ่านอัดแท่ง แล้วตรวจพินิจ

๗.๓ การทดสอบความชื้นให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3173

๗.๔ การทดสอบค่าความร้อนให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 5865

๗.๕ การทดสอบน้ำหนักสุทธิให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

ภาคผนวก ง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. "การใช้ประโยชน์ของตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลเป็นชีวมวลอัดแท่ง"
   วารสารวิจัยพลังงานปีที่ 6 ฉบับที่ 2 .สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2552

2. "การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสของยางในรถจักรยานและจักรยานยนต์"
   วารสารวิจัยพลังงานปีที่ 6 ฉบับที่ 2 .สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

3. "การผลิตถ่านอัดแท่งจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น"
   รอการตอบรับและตีพิมพ์ในวารสารวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

การใช้ประโยชน์ของตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอล เป็นชีวมวลอัดแท่ง

THE UTILIZATION OF WET CAKE FROM ETHANOL INDUSTRY AS BIOMASS BRIQUETTES

วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยศึกษาการนำตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลไปใช้ประโยชน์สำหรับผลิตเป็นชีวมวลอัดแท่งที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งในการให้ความร้อน โดยทั่วไปตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเอทานอลมีองค์ประกอบเป็นกากมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยสลายและยีสต์ ทำให้มีเนื้อร่วนและมีสีดำ กลิ่นค่อนข้างฉุนคล้ายกลิ่นยีสต์ ที่มักถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง แนวทางการวิจัยเริ่มจากการนำตัวอย่างตะกอนเปียกมาวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน พบว่า ตะกอนเปียกมีค่าความชื้น 8.68% สารระเหย 67.76% เถ้า 15.75% คาร์บอนคงตัว 7.81 ค่าความร้อน 15,486 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งให้ปริมาณความร้อนระดับปานกลาง จากนั้นจึงนำเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งเพื่อให้มีขนาดและความหนาแน่นที่เหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิง โดยนำไปวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนอีกครั้ง ตะกอนเปียกอัดแท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ซม. ยาว 10 ซม. ***มีค่าความชื้น 11.61% สารระเหย 68.82% เถ้า 16.59% คาร์บอนคงตัว 2.97 ค่าความร้อน 15,512 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ค่าซัลเฟอร์ 0.08%*** พบว่าค่าวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การอัดแท่งเป็นการปรับปรุงสภาพของตะกอนเปียกให้มีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ การให้ค่าความร้อนจึงสูง ลักษณะทั่วไปของตะกอนเปียกอัดแท่งสามารถติดไฟได้ง่ายเนื่องจากมีค่าสารระเหยสูง มีควันพอสมควรในช่วงจุดติดไฟสมบูรณ์ คาร์บอนคงตัวต่ำปริมาณของแข็งที่เหลือน้อยให้มีปริมาณขี้เถ้าค่อนข้างสูงดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลดปล่อยซัลเฟอร์ในปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่งจึงไม่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาคำนวณความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแง่ผลประหยัดเปรียบเทียบระหว่างการใช้ถ่านหินและตะกอนเปียกอัดแท่ง โรงงานใช้ถ่านหินปีละ 38,332.8 ตัน/ปี มีค่าใช้จ่ายประมาณ 124,581,600 บาท/ปี หากมีการใช้ตะกอนเปียกอัดแท่งปีละ 55,760 ตัน/ปี มีค่าใช้จ่ายประมาณ 5,973,600 บาท/ปี โดยโรงงานสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงไปได้ถึง

[1] นักวิจัย สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10330

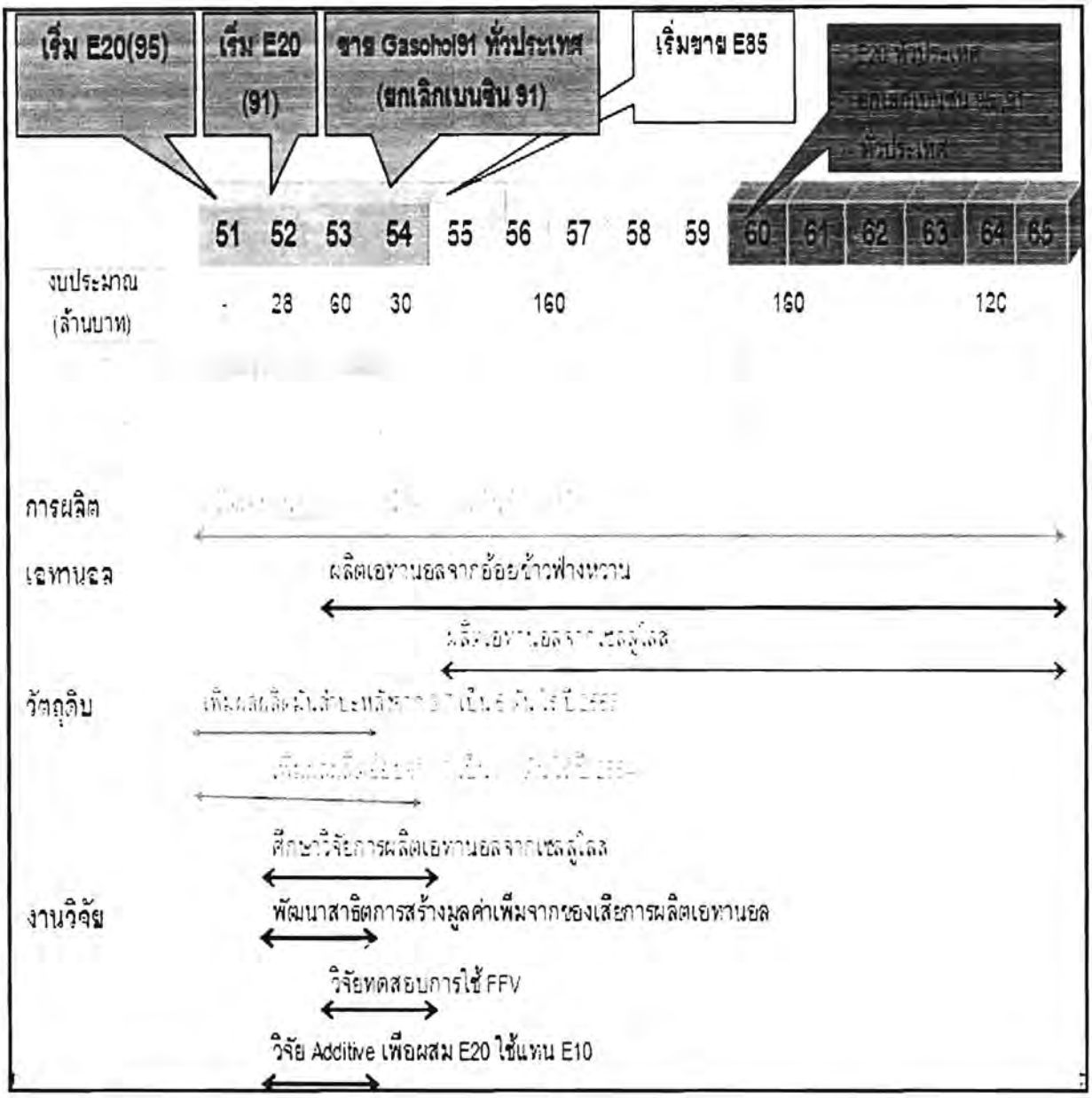
ปีละ ***118,545,000 บาท/ปี*** เมื่อเทียบกับต้นทุนของโครงการ (Fixed Cost) ระยะยาวที่มีมูลค่าประมาณ 9,184,000 บาท ตะกอนเปียกจึงมีความเหมาะสมอย่างมากในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง นอกจากจะเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ต้องจัดซื้อแล้วยังเป็นการจัดการของเสียให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างมาก

คำสำคัญ: *ตะกอนเปียก ชีวมวลอัดแท่ง เอทานอล*

1. ความเป็นมาของปัญหา

จากสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดภาวะขาดแคลนพลังงาน เนื่องจากมีความต้องการน้ำมันดิบเพิ่มขึ้น ประกอบกับความไม่เสถียรของราคาน้ำมันที่ขึ้นลงรายวัน แนวทางออกในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้เกิดความยั่งยืน และสามารถทำได้ในรูปธรรม คือ การส่งเสริมพลังงานทดแทน โดยนำสิ่งที่มีอยู่มาทำให้เกิดประโยชน์ในรูปพลังงาน จากการสำรวจศักยภาพของพลังงานทดแทนทั้งหลายในประเทศ อาทิเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานขยะ เป็นต้น แต่ด้วยปัญหาและอุปสรรคมากมายในการพัฒนา ไม่ว่าจะเป็นตัววัสดุที่ราคาสูง เทคโนโลยี การเดินระบบ และดูรักษา ตลอดจนนโยบายของภาครัฐ แหล่งพลังงานที่มีความเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุดคือพลังงานชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีพืชพรรณทางการเกษตรหลากหลาย จึงมีความได้เปรียบทางวัตถุดิบ หลายฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนจึงให้ความสนใจในการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ไบโอ เอทานอล (Bioethanol) และไบโอดีเซล (Biodiesel)

จากความต้องการพลังงานที่สูงขึ้นเป็นเหตุให้ภาครัฐวางยุทธศาสตร์ในการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศอย่างชัดเจน หนึ่งในเป้าหมายของยุทธศาสตร์ คือ แผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551-2565 โดยส่งเสริมให้มีการเปิดเสรีของอุตสาหกรรมเอทานอล ส่งผลให้อุตสาหกรรมเอทานอลเกิดการขยายตัวอย่างกว้างขวาง โดยตั้งเป้าหมายในปี พ.ศ. 2554 ให้มีการใช้เอทานอล 3 ล้านลิตร/วัน เพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91 ในปี 2555 เริ่มจำหน่าย E85 ในปี 2560 จำหน่าย E20 และยกเลิกเบนซิน 95 และ 91 ทั่วประเทศ และในปี 2565 ให้มีการใช้เอทานอล 9 ล้านลิตร/วัน โดยส่งเสริมให้มีงานวิจัยต่างๆมากมายที่สอดรับกับแผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551 – 2565 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551 – 2565

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กระทรวงพลังงาน) , 8 เมษายน 2551

จากข้อมูลโรงงานผลิตเอทานอลของกระทรวงพลังงาน มีจำนวนผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 47 ราย แสดงดังตารางที่ 1 โรงงานเอทานอลที่ดำเนินการผลิตแล้วในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 13 ราย แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

ประเภทของวัตถุดิบ	จำนวนโรงงาน	กำลังการผลิตรวม (ลิตร/วัน)
อ้อย	1	200,000
มันสำปะหลัง	27	8,290,000
กากน้ำตาล	5	675,000
อ้อย/กากน้ำตาล	12	1,810,000
มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	5	770,000
อ้อย/มันสำปะหลัง	1	200,000
กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง/อ้อย	2	250,000
กากมันสำปะหลัง	1	100,000
รวมกำลังการผลิต		12,295,000

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , (1 ตุลาคม 2551)

ตารางที่ 2 โรงงานที่ดำเนินการผลิตเอทานอลแล้ว

ประเภทของวัตถุดิบ	จำนวนโรงงาน	กำลังการผลิตรวม (ลิตร/วัน)
กากน้ำตาล	4	575,000
อ้อย/กากน้ำตาล	6	770,000
มันสำปะหลัง	2	330,000
กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง	1	150,000
รวมกำลังการผลิต		1,825,000

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , (1 ตุลาคม 2551)

อุตสาหกรรมเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีการขยายตัวอย่างมากดังแสดงในตารางที่ 1 เทียบกับกำลังการผลิต ณ ปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2 ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาวงจรการผลิตเอทานอลตั้งแต่ต้นจนจบ เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างเป็นระบบเบ็ดเสร็จ เพื่อให้เป็นอุตสาหกรรมตัวอย่างแก่อุตสาหกรรมอื่น จึงต้องมีการพิจารณาในหลายด้าน ได้แก่ การจัดการวัตถุดิบ การพัฒนาเทคโนโลยี การจัดการด้านขนส่ง การตลาด รวมถึงการจัดการของเสียและผลพลอยได้จากการผลิต ซึ่งจำเป็นต้องดำเนินการพร้อมกันทุกภาคส่วน *โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาถึงการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเอทานอล*

อุตสาหกรรมเอทานอลในประเทศไทยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นหลัก จากการประเมินปริมาณของวัตถุดิบอย่างคร่าวๆ ตามจำนวนโรงงานเอทานอลที่มีการขอใบอนุญาตจัดตั้งโรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง พบว่าจะเกิดของเสีย (Waste) มากมาย เช่น โรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง (มันสำปะหลัง) ขนาดกำลังการผลิตประมาณ 200,000 ลิตร/วัน จะมีปริมาณน้ำเสียจากการผลิต มากถึงปีละประมาณ 521,400 m^3 กากตะกอนเปียกจากกระบวนการผลิตประมาณ 82,500 ตัน/ปี โรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง (กากน้ำตาล) ขนาดกำลังการผลิตประมาณ 100,000 ลิตร/วัน จะมีปริมาณน้ำเสียจากการผลิต มากถึงปีละประมาณ 330,000 m^3 ปริมาณกากหม้อกรองประมาณ 125,000 ตัน/ปี (ข้อมูลจริงจากโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพปี2552) ยังไม่นับรวมผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง คาดว่าในอนาคตอาจมีปริมาณน้ำเสีย 100 ล้าน m^3/ปี ของเสียประมาณ 10 ล้านตัน/ปี จะเห็นได้ว่ามีปริมาณน้ำเสีย และของเสียจากการผลิตมหาศาล หากโรงงานไม่มีระบบการจัดการที่ดีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างความเดือดร้อนให้กับชาวบ้าน

จากการสำรวจสถานภาพการจัดการของเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตเอทานอลที่มีอยู่ในปัจจุบันพบว่า น้ำเสีย จะนำไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อได้พลังงานในรูปความร้อน ส่วนกากมันสำปะหลัง จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย เป็นต้น ขณะเดียวกันการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีการนำน้ำกากส่ามาใช้ในการผลิตปุ๋ย โดยผสมกับกากที่เหลือทิ้งจากการกรองน้ำเชื่อมของโรงงานน้ำตาล หรือชานอ้อย เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะศึกษา *ตะกอนเปียก* ที่เกิดจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงแข็งทดแทนเชื้อเพลิงหลัก อาทิเช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ในการผลิตความร้อนใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นการจัดการของเสียอย่างครบวงจรและเกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเชื้อเพลิงอีกด้วย

2.ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอทานอล

เอทานอลหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เอทิลแอลกอฮอล์ คือแอลกอฮอล์ที่ได้จากการแปรรูปพืชผลทางเกษตรประเภทแป้งและน้ำตาล เช่น มันสำปะหลัง,อ้อย, กากน้ำตาล, ข้าวโพด เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายและหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและกลั่นเป็นแอลกอฮอล์จนได้ความบริสุทธิ์ถึง 99.5%

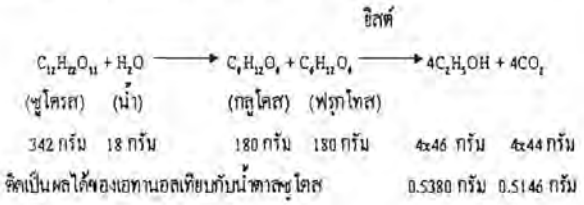
เอทานอลมีสูตรโมเลกุล C_2H_5OH มีจุดเดือดประมาณ 78 องศาเซลเซียสคุณสมบัติโดยทั่วไปเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูง เนื่องจากมีออกซิเจนสูงถึง 35% ดังนั้นหากนำเอาเอทานอลไปผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์ขึ้น และช่วยลดการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

2.2 การผลิตเอทานอล

เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง เมื่อนำไปผสมกับน้ำมันสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล โดยวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.2.1 การหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาล

วัตถุดิบประเภทน้ำตาลที่ใช้การผลิตเอทานอล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล และบีทน้ำตาล ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโทส ในการหมักเอทานอลจากน้ำตาลซูโครสนั้นมีขั้นตอนดังนี้ คือ ขั้นแรกน้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)ได้น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสอย่างละโมเลกุล จากนั้นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสจะถูกยีสต์เปลี่ยนไปเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 4 โมเลกุล

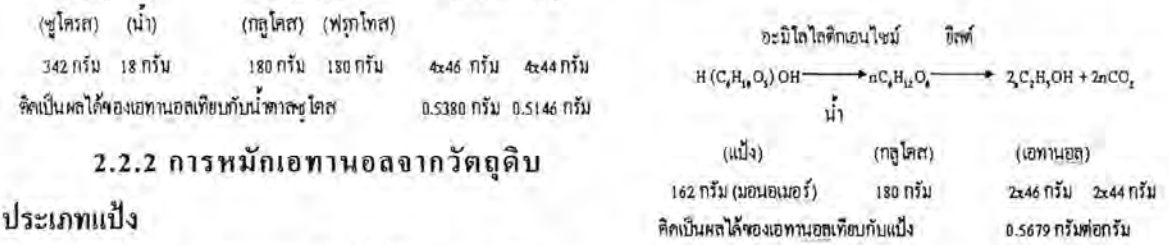


2.2.2 การหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้ง

วัตถุดิบประเภทแป้งที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรพวกธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง (ทั้งหัวมันสด และมันเส้น) มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น โดยแป้งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เมื่อนำแป้งมาผ่านกระบวนการย่อย (Hydrolysis) ด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอลได้ โดยปัจจุบันจะนิยมย่อยแป้งด้วยเอนไซม์มากกว่ากรด เนื่องจากสามารถควบคุมการย่อยได้ง่ายกว่าและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์มีความบริสุทธิ์มากกว่า การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์จะประกอบด้วยการย่อย 2 ครั้ง คือ

1. การย่อยแป้งครั้งแรกหรือการทำให้แป้งเหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์แอลฟา อะมิเลส (α-amylase) ย่อยแป้งที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าเด็กทรินซ์ (Dextrin)

2. การย่อยแป้งครั้งสุดท้ายหรือการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Saccharification) ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์กลูโคอะมิเลส (Glucoamylase) ย่อยเด็กทรินซ์ที่อุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส ให้ได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่งยีสต์สามารถใช้หมักเป็นเอทานอลได้โดยกระบวนการหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้งสามารถแสดงได้ดังสมการ

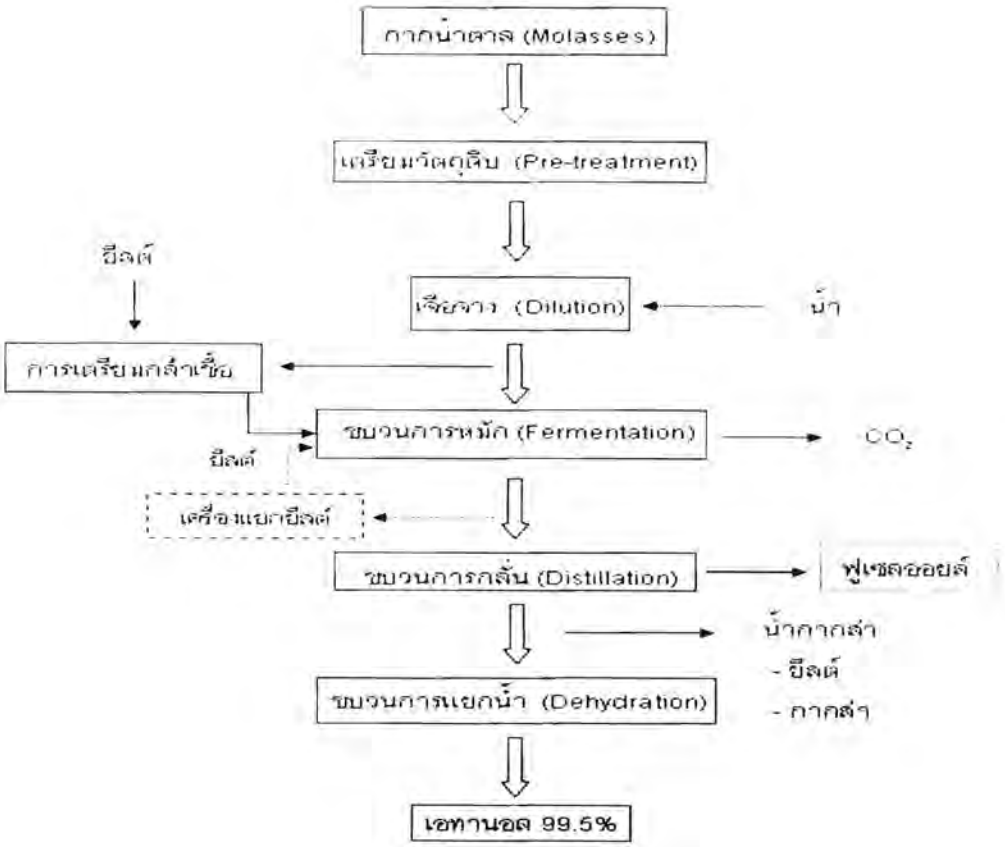


2.2.3 การหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทเส้นใย

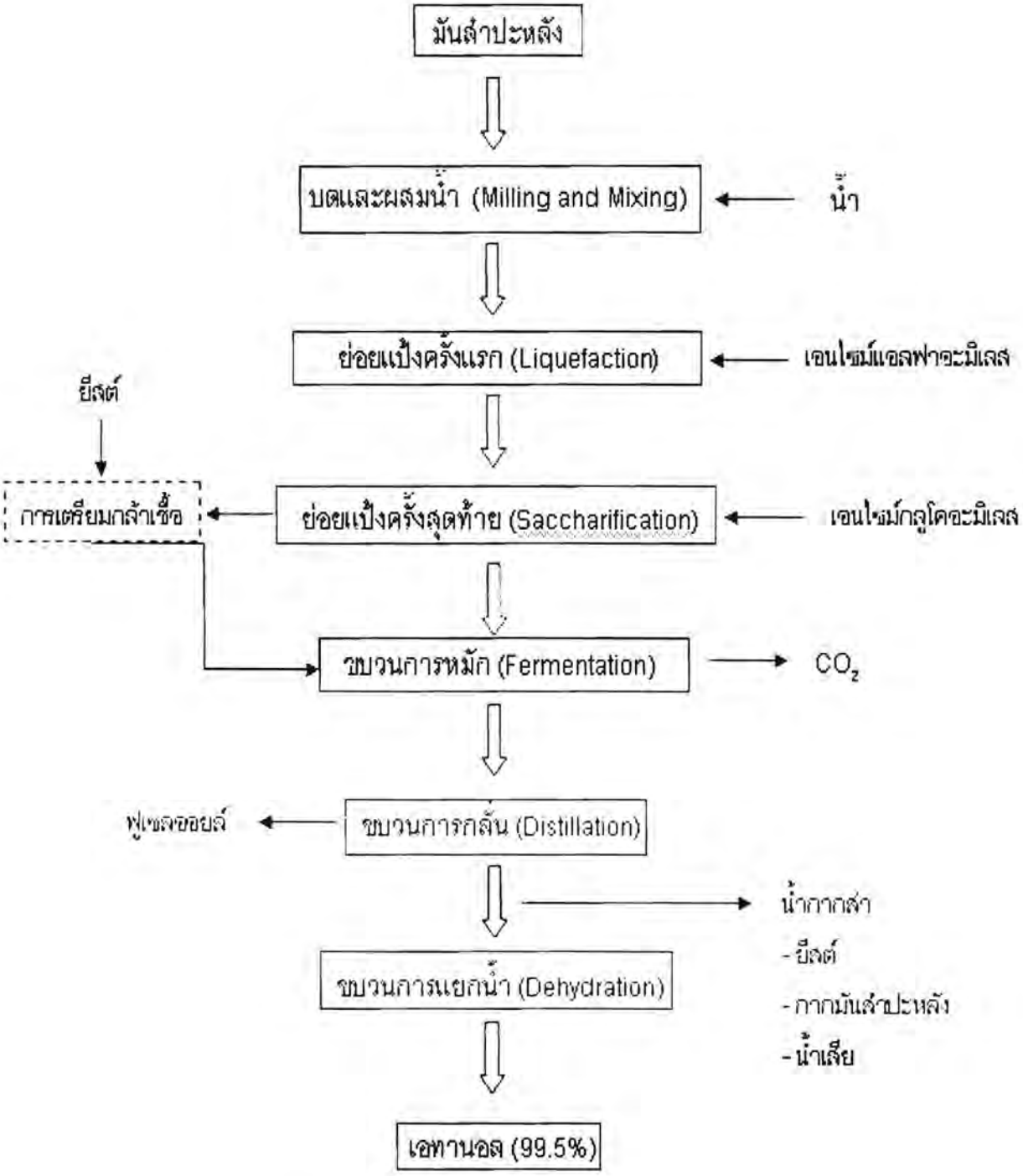
วัตถุดิบประเภทเส้นใย ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด และเศษไม้ เป็นต้นวัตถุดิบประเภทนี้มีองค์ประกอบที่เป็น เซลลูโลส

(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) โดยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวและอยู่ในรูปผลึกมีลักษณะเป็นเส้นใยเหนียวและไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโทส (Pentose) หลายชนิด เช่น ไซโลส (Xylose) แมนโนส (Mannose) และอะราบิโนส (Arabinose) เป็นต้น ส่วนลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (Phenylpropane) ซึ่งทนต่อการย่อยสลายอย่างมาก

ขั้นตอนในการผลิตเอทานอล โดยทั่วไปจะประกอบด้วยการเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) การหมัก (Fermentation) การกลั่น (Distillation) และการกำจัดน้ำ (Dehydration) ซึ่งในกรณีที่วัตถุดิบเป็นแป้งหรือวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส จะต้องมีขั้นตอนการย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อนการหมัก (Hydrolysis) แผนภาพการผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 การผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาล



รูปที่ 3 การผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลัง

2.3. โรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย

จากการสำรวจสถานภาพการผลิตเอทานอลของโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย พบว่าโรงงานผลิตเอทานอลจะใช้วัตถุดิบหลัก 2 ประเภท คือ วัตถุดิบที่เป็นน้ำตาล ได้แก่ กากน้ำตาล และวัตถุดิบที่เป็นแป้ง ได้แก่ มันสำปะหลัง ทั้งนี้เทคโนโลยีที่ใช้ผลิตเอทานอลในประเทศไทยจะมีหลากหลาย เช่น Shandong ประเทศจีน เทคโนโลยีของ Katzen ประเทศสหรัฐอเมริกา เทคโนโลยีของ Maguin Interis ประเทศฝรั่งเศส เทคโนโลยี Praj และ Alfa Laval ประเทศอินเดีย เป็นต้น โดยแต่ละเทคโนโลยีจะมีขั้นตอนการผลิตที่คล้ายกันแต่แตกต่างกันในรายละเอียดของกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนในการผลิตทั่วไปจะประกอบด้วยการเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) การหมัก (Fermentation) การกลั่น (Distillation) และ การกำจัดน้ำ (Dehydration) ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นมันสำปะหลัง จะต้องมีขั้นตอนการย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อนการหมัก (Hydrolysis) รายละเอียดของกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังในรูปของมันเส้น ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบมันสำปะหลังในรูปมันเส้นและกากน้ำตาล

วัตถุดิบและขั้นตอนการผลิต	กระบวนการผลิต	
	มันเส้น	กากน้ำตาล
1. การเตรียมวัตถุดิบ	- โม่ ผสมน้ำร้อนให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 17-25% TS	- การกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Calcium) ด้วย H_2SO_4 และแยกตะกอนออก - เจือจางความเข้มข้นประมาณ 25% TS
2. การย่อยแป้งเป็นน้ำตาล	- ส่วนใหญ่ใช้ระบบการย่อยและหมักแบบ SSF (Simultaneous Saccharificationand Fermentation) โดยย่อย Liquefaction ด้วยเอนไซม์ α-amylase 100-105°C 1-2 ชม. และ Presaccharification ด้วยเอนไซม์ Gluamylase 50-55°C 1-2 ชม.	- ไม่มี
3. การหมัก	- ย่อยและหมักแบบ SSF โดยระบบการหมักจะเป็นแบบ Batch Fermentation ทีละถัง - ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 90-91% (น้อยกว่ากากน้ำตาลเนื่องจากสูญเสียประสิทธิภาพในขั้นตอนการย่อยด้วย)	- แบบ Continuous Fermentation, Fed Batch และ Batch - ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 92%
4. การกลั่นและทำให้บริสุทธิ์	- Distillation และ Molecular Sieve Dehydration - ประสิทธิภาพการกลั่นประมาณ 98.5%	- Distillation และ Molecular Sieve Dehydration - ประสิทธิภาพการกลั่นประมาณ 98.5%

ที่มา : การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า,กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 4 เทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเอทานอลในประเทศไทย

รายชื่อโรงงาน	สถานที่	วัตถุดิบ	เทคโนโลยี	กำลังการผลิตติดตั้ง (ลิตร/วัน)
บริษัท ไทยง้วน เอทานอล จำกัด	ขอนแก่น	มันสำปะหลัง	(China)	150,000
บริษัท ขอนแก่น เอทานอล จำกัด	ขอนแก่น	อ้อย/ กากน้ำตาล	Praj (India)	150,000
บมจ. ไทยแอลกอฮอล์	นครปฐม	กากน้ำตาล	Praj (India)	200,000
บจ.ไทย อะโกร เอ็นเนอร์ยี่	สุพรรณบุรี	กากน้ำตาล	Maguin Interis (France)	150,000
บริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล แก๊สโซฮอล์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด	ระยอง	มันสำปะหลัง	Alfa Laval (India)	150,000
องค์การสุรา กรมสรรพสามิต	ฉะเชิงเทรา	กากน้ำตาล	หมักแบบ Fed Batch Fermentation	55,000
Kang De Jiu Ye You Xian Gong Si		มันสำปะหลัง /มันเทศ	SDMECO	30,000

หมายเหตุ SDMECO = Shandong Machinery & Equipment Import & Export Group Corporation.

2.4 การจัดการของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล

ในกระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากจะได้เอทานอลแล้ว ยังมีผลพลอยได้อื่น ๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก และฟูเซลออยล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกลั่น รวมถึงของเสียจากกระบวนการผลิตคือน้ำเสีย หรือน้ำกากส่า ซึ่งมีเซลล์ยีสต์ปนอยู่เกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้คุณภาพของน้ำกากส่าจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้และผลพลอยได้รวมถึงของสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอลทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 5

จากการสำรวจ พบว่า การจัดการของเสียและผลพลอยได้ของโรงงานผลิตเอทานอลในปัจจุบัน พบว่า น้ำกากส่ายังไม่มีการแยกเซลล์ยีสต์มาใช้ประโยชน์ แต่จะนำน้ำกากส่าไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ภายในโรงงาน ในบางโรงงานที่มีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีการนำน้ำกากส่ามาใช้ในการผลิตปุ๋ย โดยผสมกับกากที่เหลือทิ้งจากการกรองน้ำเชื่อมของโรงงานน้ำตาล หรือชานอ้อย เป็นต้น

ตารางที่ 5 ข้อมูลการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง คำนวณที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน

วัตถุดิบและผลพลอยได้	ปริมาณและคุณภาพ			
	มันเส้น		กากน้ำตาล	
	ปริมาณ	คุณภาพ	ปริมาณ	คุณภาพ
วัตถุดิบ (INPUT)				
1. วัตถุดิบ (ตันต่อวัน)	350-370	- ความชื้น 12-16% - ปริมาณแป้ง 64%	540-550	-น้ำตาลทั้งหมด 48-50% - ของแข็งละลายได้ 80 บริกซ์
2. น้ำ (ลบ.ม. ต่อวัน)	1,200-1,500	-	1,000-1,300	-
3. สารเคมี				
- ยีสต์ผง (กก./วัน)	20-80	-	20-80	-
- เอนไซม์ (กก./วัน)	20-800	-	-	
				-
- สารเคมีอื่น (กก./วัน)	1,000-5,000	-	1,000-5,000	-
4. พลังงาน				
- ไฟฟ้า (Kw-hr/day)	25,000-47,000	380 V 50 Hz	22,000-44,000	380 V 50 Hz
- ไอน้ำ(ตัน./วัน)	300-500	3-10 บาร์	200-400	3-10 บาร์
				-
ผลได้ (OUTPUT)				
1. เอทานอล(ลิตรต่อวัน)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)
2. CO_2 (ตัน ต่อวัน)	100-120	-	100-120	-
3. Fusel Oil (ลิตร/วัน)	300-600	-	300-600	-
4. น้ำกากส่า (ลบ.ม./วัน)	1,400-1,600	- TS 5-7% - COD 40,000-60,000 mg/l - BOD 15,000-35,000 mg/l	1,000-1,300	TS 15% - COD 100,000-150,000 mg/l - BOD 40,000-70,000 mg/l
4.1 ตะกอนเปียก (ตันต่อวัน)	100-200	20-30% TS		
4.2 น้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	1,200-1,400	TS 5-7% - COD 20,000-40,000 mg/l - BOD 10,000-30,000 mg/l	1,000-1,300	TS 10-12% - COD 120,000-150,000 ppm - BOD 40,000-70,000 ppm

ที่มา : การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า,กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

โดยในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการนำตะกอนเปียก (ของเสีย) ที่เกิดจากขั้นตอนการกลั่นและการแยกน้ำจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น ในปัจจุบันทางโรงงานจะนำตะกอนเปียกไปผสมทำปุ๋ยเป็นอาหารสัตว์ หรือทิ้งรวมในบ่อน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการจัดการที่ง่ายและสะดวกที่สุด ณ ปัจจุบัน โดยจะศึกษาความเหมาะสมและสมบัติในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง

2.5 ทบทวนวรรณกรรม

Youngmi et al. (2007) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบใน การผลิตเอทานอลจะมีการผลิต DDGS เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรวมกันของกากที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งเป็นส่วนของกากที่เป็นของแข็งหรือเรียกว่า wet cake (wet distillers' grains) กับส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (thin stillage) หลังการกลั่นแยกเอทานอล แล้วทำแห้งเพื่อให้มีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 10 ถึง 12 เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ โดย DDGS จะเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงานที่สำคัญสำหรับโคนมและโคเนื้อ อีกทั้งเป็นแหล่งของไฟเบอร์และฟอสฟอรัสของสัตว์จำพวกที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง รวมทั้งสัตว์ปีกและสัตว์น้ำ โดยได้ทำการศึกษาส่วนประกอบของ DDGS ดังตารางที่ 6

Scott Lander (2007) ได้ศึกษาการนำเนื้อ DDGS 100% มาอัดแท่งโดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน ได้สำเร็จ โดยออกแบบ mold เฉพาะสำหรับอัดเนื้อ DDGS จากการทดลองนำเนื้อ DDGS มาอัดแท่ง ในครั้งแรกพบว่ามีค่า Pellet Durability Index (PDI) เป็นค่าความทนทาน 92% เมื่อเปรียบเทียบกับพืชพลังงานชนิดอื่นที่นำมาอัดแท่งเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีค่า PDI ประมาณ 99% เหตุที่ DDGS มีค่า PDI ต่ำกว่าพืชพลังงาน เนื่องจากมีปริมาณ

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของ Distillers' dried grains with soluble (DDGS)

	Spiehs et al., mean value, coefficients of variation	Belyea et al., mean (%)
Moisture content (% total)	11.1	Na
Dry matter content (% total)	88.9 (1.7)	Na
Total mass closure	100.0	
Crude Protein	30.2% (6.4)	31.8
Crude Fat	10.9% (7.8)	11.9
Crude Fiber	8.8% (8.7)	10.2
Starch	Na	5.1
ADF	16.2% (28.4)	17.2
Ash	5.8% (14.7)	4.6

ลิกนินในปริมาณน้อยทำให้มีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงบีบดอัดได้น้อย หลังจากนั้นได้นำ DDGS มาทดลองมาอัดแท่งใหม่ พบว่ามีค่า PDI สูงกว่าเดิมประมาณ 94% เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการอัดแท่งทั่วไปมีค่า PDI ประมาณ 72% ไม้มีค่า PDI 96% และได้ทดลองนำ DDGS อัดแท่งในอัตราส่วน 10% มาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในโรงไฟฟ้า Corn Belt Power Cooperative's wisdom Station เมืองสเปนเซอร์ รัฐไอโอวา การเผาไหม้ DDGS อัดแท่งให้ค่าความร้อนประมาณ 8,400 Btu/pounds ร่วมกับถ่านหินบิทูมินัส 10,500 Btu/pounds ในการทดลองเดินระบบพบว่าไม่เกิดปัญหาใดในการเดินระบบ อีกทั้งยังลดการปล่อยซัลเฟอร์อีกด้วย

3. ขั้นตอนทำการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1

1. ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทยทางเว็บไซต์
3. เข้าพื้นที่โรงงานเป้าหมายเพื่อทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น และนำตัวอย่างตะกอนเปียกมาวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อน

ขั้นตอนที่ 2

1. นำตัวอย่างตะกอนเปียก (wet cake) ผ่านการขึ้นรูปเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิคสำเร็จรูปเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง
2. นำตะกอนเปียกอัดแท่งมาวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อนอีกครั้ง
   - ค่า Heating Value ตามมาตรฐาน ASTM 5865-04 (Gross Calorific Value)
   - ค่า Proximate Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 31202-31205
3. ศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณผลประหยัดระหว่างการใช้ถ่านหินกับการใช้ตะกอนเปียกอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

1) เตาเผา TUBULAR FURNACE MODEL 12/65/550 ยี่ห้อ CARBOLITE

2) ตู้อบ TREMAK MODEL TS 8136

3) เตาเผา MUFFLE FURNACE MODEL ELF 11/14 (201) ยี่ห้อ CARBOLITE

4) BOMB CALORIMETER MODEL 6200 ยี่ห้อ PARR

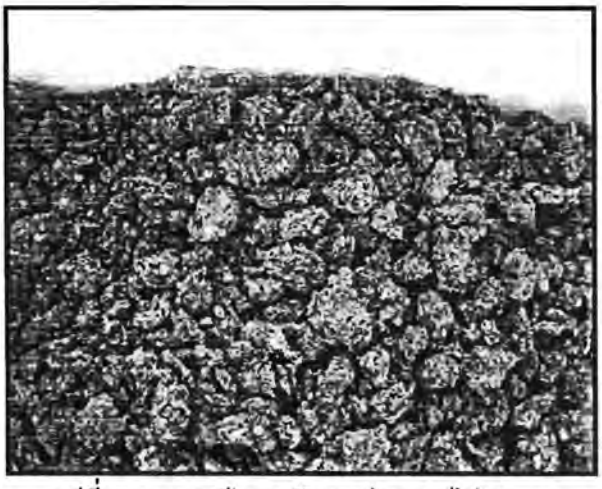
5) เครื่องชั่งน้ำหนัก

6) เครื่องอัดขึ้นรูป

1.2 วัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ คือ ตะกอนเปียกจากโรงงานผลิตเอทานอล มีลักษณะร่วนซุย สีดำ มีเศษกากของมันสำปะหลัง และมีกลิ่นฉุนคล้ายยีสต์ แสดงดังรูปที่ 4 และ 5

รูปที่ 4 ตัวอย่างตะกอนเปียกจากโรงงานเอทานอลจากมันเส้น



รูปที่ 5 ตะกอนเปียกหลังจากผ่านการไล่เอาความชื้นออกจะมีลักษณะจับกันเป็นก้อนแข็งของเศษกากมันสำปะหลัง

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองในส่วนแรก

4.1.1. ข้อมูลทั่วไป

หัวข้อ	รายละเอียด
1. ชนิดและประเภทของโรงงาน	อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล
2. กำลังการผลิตติดตั้ง	200,000 ลิตร / วัน
3. เวลาทำงานของโรงงาน (ชั่วโมง/ปี)	7,920 ชม./ปี
4. ปริมาณการใช้พลังงานของโรงงาน (ไฟฟ้า/ความร้อน) ตามรายการดังนี้	a. ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (kW-peak) : 3,620 b. การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี) : 22,750,000 c. ประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ : ถ่านหิน d. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (หน่วย/ปี) : 38,332.8 ตัน/ปี
5. ตะกอนเปียกเกิดจากส่วนใดของการผลิต และมีปริมาณวันละเท่าไร	ส่วนของการกลั่นเอทานอล เกิดตะกอนเปียกประมาณวันละ 250 ตัน
6. ทางโรงงานมีวิธีการจัดการตะกอนเปียกอย่างไร	ขายให้กับผู้ที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์
7. ทางโรงงานมีการใช้งาน BOILER หรือไม่ ระยะเวลาในการทำงานของเครื่อง	• มี BOILER ขนาด 20 ตัน 2 ตัว • ระยะเวลาในการทำงาน 24 ชม. 330 วัน/ปี
8. ชนิด หรือ ประเภทของ BOILER ที่ใช้งาน	เตาเผาตะกรับแบบเคลื่อนที่ได้ ใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวล, ถ่านหิน, และก๊าซชีวภาพ
9. ความร้อนที่ได้จาก BOILER นำไปใช้ในส่วนใด	1. Disinfection 2. Fermentation 3. Disstillation 4. Dehydration

4.1.2 นำตัวอย่างตะกอนเปียกมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนของตะกอนเปียก

สมบัติ	**ร้อยละขององค์ประกอบโดยน้ำหนัก**
ความชื้น (% Moisture)	8.68
สารระเหย (% Volatile matter)	67.76
เถ้า (% Ash content)	15.75
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	7.81
ความร้อน (Heating Value)	15,486 (KJ/Kg)

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอล สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากตะกอนเปียก คือ กากมันสำปะหลัง จัดเป็นของเสียชีวมวลที่เกิดจากอุตสาหกรรม ซึ่งเชื้อเพลิงประเภทนี้จะให้ปริมาณความร้อนค่อนข้างสูง

4.2 ผลการทดลองส่วนที่สอง

4.2.1 นำตัวอย่างตะกอนเปียก (wet cake) ผ่านการขึ้นรูปเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิคสำเร็จรูปผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

นำตะกอนเปียกความชื้นประมาณ 70% มาตากแดดประมาณ 2-3 ชั่วโมง ให้เหลือความชื้นประมาณ 30-40%

นำตะกอนเปียกเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดถ่านกำลังอัดสูงมาก

อัดถ่านให้ได้ขนาดที่ต้องการซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 ซม. ความยาวประมาณ 10-20ซม.

เมื่ออัดตะกอนเปียกได้ขนาดที่ต้องการแล้วเตรียมเข้าสู่กระบวนการอบอุณหภูมิประมาณ 80°C ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกให้เหลือประมาณ 10%

นำตะกอนเปียกอัดแท่งมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณน้ำหนักที่แท้จริงของตะกอนเปียก (ตะกอนเปียกอัดแท่ง 14 ก้อน มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม)

4.2.2 นำตะกอนเปียกอัดแท่งมาวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อน แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่าวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนของตะกอนเปียกอัดแท่ง

สมบัติ	ร้อยละขององค์ประกอบโดยน้ำหนัก
ความชื้น (% Moisture)	11.61
สารระเหย (% Volatile matter)	68.82
เถ้า (% Ash content)	16.59
คาร์บอนคงตัว (Fix Carbon)	2.97
ความร้อน (Heating Value)	15,512 KJ/Kg
สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0876

จากสมบัติแบบประมาณของตะกอนเปียกแสดงดังตารางที่ 9 พบว่า

- ***ค่าความชื้น (% Moisture) 11.61*** ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้ามีความชื้นเกินร้อยละ 50 ก็ไม่เหมาะที่จะนำมา เผาไหม้
- ***สารระเหย (% Volatile matter) 68.82*** พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง สารระเหย คือ ส่วนที่ลุกไหม้ง่ายสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนในที่ที่ไม่มีอากาศ ดังนั้นชีวมวลที่มีค่าสารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย
- ***เถ้า (% Ash content) 16.59*** มีค่าสูง ขี้เถ้าคือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 หากมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10-20 จะมีปัญหาการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ***คาร์บอนคงตัว (Fix Carbon %) 2.97*** มีค่าต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความร้อน นอกจากจะเป็นการบ่งบอกถึงค่าความร้อนแล้ว คาร์บอนคงตัวยังบอกให้ทราบถึงเป็นของแข็งที่เป็นคาร์บอนที่เหลืออยู่
- ***Higher heating value, (KJ/Kg) 15,512*** ให้ค่าความร้อนปานกลาง สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้

สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.08 มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีการกำหนดมาตรฐานของถ่านอัดแท่งไม่เกิน 0.2% จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.2.3 ศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณผลประหยัดจากการใช้ถ่านหิน เปรียบเทียบกับการใช้ตะกอนเปียกอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง

4.2.3.1 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระหว่างถ่านหินและตะกอนเปียก

ตารางที่ 9 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณและค่าความร้อนของชีวมวล

Proximate analysis	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ไม้ยางพารา	ใยปาล์ม	กะลาปาล์ม
Moisture, %	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00
Ash, %	12.65	10.39	1.43	6.10	1.59	4.42	3.50
Volatile Matter, %	56.46	60.70	41.98	67.80	45.70	42.68	68.20
Fixed Carbon, %	18.88	18.90	5.86	16.90	7.71	14.39	16.30
Higher heating value, (KJ/Kg)	14,755	13,650	9,243	16,794	10,365	13,127	18,287

Proximate analysis	ทะลายปาล์ม	ลำต้นปาล์ม	ทางปาล์ม	ซังข้าวโพด	ลำต้นข้าวโพด	เหง้ามันสำปะหลัง	เปลือกไม้ยูคาฯ
Moisture, %	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
Ash, %	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
Volatile Matter, %	30.46	38.70	16.30	45.42	46.46	31.00	28.00
Fixed Carbon, %	8.90	11.70	4.60	13.68	8.14	8.10	9.56
Higher heating value, (KJ/Kg)	9,196	9,370	3,908	11,298	11,704	7,451	6,811

ที่มา : http://www.efe.or.th

ตารางที่ 10 ข้อมูลทั่วไปของเชื้อเพลิง

ข้อมูล	ถ่านหิน	ตะกอนเปียกอัดแท่ง
1. ค่าความร้อน	5,500 Kcal/Kg	3,705.10 Kcal/Kg
2. ปริมาณ	116.16 ตัน/วัน	172 ตัน/วัน
3. ราคา	3.25 บาท/กก.	-

ตารางที่ 11 ข้อมูลเบื้องต้นของการใช้พลังงานของ BOILER ขนาด 20 ตัน

BOILER	20	Ton/hr
OPERATE	24	Hr/day
	330	Day/year
Pressure	8	bar
Steam Product	158,400	Ton/year
Heat content of steam	660	Kcal/kg
Feed water inlet temp.	130	^{o}C
Efficiency of coal-fired boiler	0.72	
Energy Require	105,415,200,000	Kcal/year

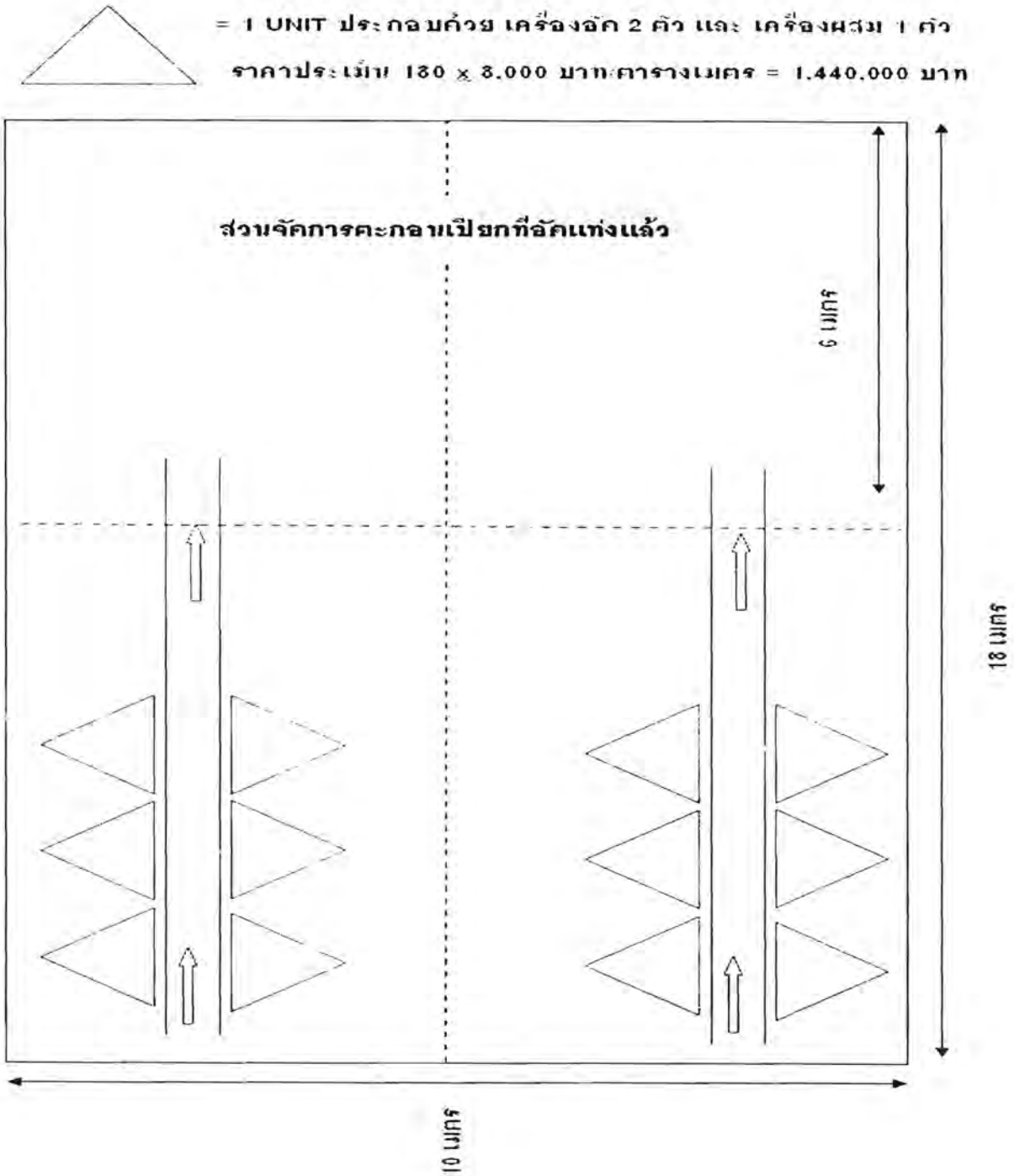
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระหว่างถ่านหินและตะกอนเปียกอัดแท่ง

ถ่านหิน			**ตะกอนเปียกอัดแท่ง**		
Energy Require	105,415,200,000	Kcal/year	Energy Require	105,415,200,000	Kcal/year
GCV of coal	5,500	Kcal/kg	GCV of compressed wet cake	3,705	Kcal/kg
Mass of Coal require	19,166,400	Kg/year	Mass of compressed wet cake	28,452,146	Kg/year
ถ่านหิน			**ตะกอนเปียกอัดแท่ง**		
Or	19,166	Ton/year	Or	28,452	Ton/year
Quantity	2	Unit	Quantity	2	Unit
Total Mass of Coal	38,332	Ton/year	Total Mass of Coal	59,604	Ton/year
Or	116	Ton/day	Or	172	Ton/day

ตารางที่ 13 การคำนวณการติดตั้งเครื่องอัดแท่งตะกอนเปียก

ปริมาณตะกอนเปียกที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	**เครื่องอัดแท่งกำลังการผลิต 300 กก./ชม.**
172,000 กก./วัน	**172,000/300 ≅ 24 เครื่อง**

รูปที่ 6 แผนผังการวางระบบผลิตตะกอนเปียกอัดแท่ง ประกอบด้วยเครื่องผสม และเครื่องไฮโดรลิคกำลังสูง



เมื่อคำนวณทราบถึงปริมาณตะกอนเปียกที่ใช้ในกระบวนการผลิตความร้อน เพื่อทดแทนการใช้ถ่านหิน จึงออกแบบผังกระบวนการผลิตตะกอนเปียกอัดแท่ง เพื่อสามารถผลิตให้เพียงพอกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องทดแทนเข้าไป ผังกระบวนการผลิตประกอบด้วย เครื่องผสมตะกอนเปียก 1 ตัว ต่อเครื่อง อัดแท่ง 2 ตัว ทั้งหมด 12 ชุด (เครื่องอัดแท่ง 24 เครื่อง กำลังการผลิต 300 กก./ชม.) โดยใช้พื้นที่ขนาด 18 x 10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6

4.2.3.2 วิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านการเงิน

การศึกษาการนำตะกอนเปียก (WET CAKE) จากอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง เพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตความร้อน

ตารางที่ 14 มูลค่าการลงทุนของโครงการ (Fixed Cost)

รายการ	ราคา	มูลค่าการลงทุน
1. อาคารขนาด 10 x 18 เมตร	8,000 บาท/ตารางเมตร	1,440,000 บาท
2. เครื่องผสม (MIXER)	82,000 บาท/เครื่อง	82,000 x 12 = 984,000 บาท
3. เครื่องอัดแท่ง	145,000 บาท/เครื่อง	145,000 x 24 = 3,480,000 บาท
4. เตาอบ	(8 ตัน/12 ชม.) 200,000 บาท	10 x 200,000 = 2,000,000 บาท
5. ระบบไฟฟ้าและติดตั้งเครื่องจักร	15,000 บาท/ชุด (เครื่องอัดแท่ง 2 เครื่อง ต่อ เครื่องผสม 1 เครื่อง)	15,000 x 12 = 180,000 บาท
6. ระบบสายพานลำเลียงแบบมีมอเตอร์ขนาด 5 ตัน	550,000 บาท/ชุด	550,000 x 2 = 1,100,000 บาท
รวม		*9,184,000 บาท*

2. Variable Cost

- **ค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้า**

ปริมาณตะกอนเปียกอัดแท่ง		ตัน/วัน	172
	อัตราค่ากระแสไฟฟ้า	บาท/กก.	0.07
คิดเป็นค่ากระแสไฟฟ้า		บาท/วัน	12,040
	จำนวนวันที่ทำงาน	วัน/ปี	330
คิดเป็นค่ากระแสไฟฟ้า		บาท/ปี	[illegible]

• <u>ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุง</u>

เครื่องผสม + เครื่องอัดแท่ง		บาท/เครื่อง	11,350
	จำนวนเครื่อง	เครื่อง	24
		บาท/ปี	272,400

• <u>ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร</u>

พนักงานอัดแท่ง	24	คน	บาท/เดือน	6,000
คิดเป็นเงิน			บาท/ปี	1,728,000

• <u>ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงถ่านหิน</u>

ถ่านหิน		กิโลกรัม/ปี	38,332,800
	ราคาถ่านหิน	บาท/กิโลกรัม	3.25
		บาท/ปี	***124,581,600***

ตารางที่ 15 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

สรุปค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายการใช้ถ่านหิน	ค่าใช้จ่ายการใช้ตะกอนเปียก
ค่าใช้จ่ายต่อปี	38,332,800 x 3.25 ***=124,581,600 บาท/ปี***	(172 x 1,000 x 0.07 x 330) +(24x6,000x12)+(11,350 x 24) ***= 5.973,600 บาท/ปี***

<u>สรุป</u> : จากตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเห็นได้ชัดเจนว่าหากมีการนำตะกอนเปียกอัดแท่งใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านหิน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงไปได้ปีละ

124,581,600 – 5,973,600 = *118.545,000 บาท/ปี*

แม้จะนำต้นทุนของโครงการ (Fixed Cost) เข้ามาคำนวณด้วย ก็ยังมีความคุ้มทุนของโครงการ เนื่องจากตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการผลิต และเกิดเป็นปริมาณมากทุกวัน การนำตะกอนเปียกมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงหลัก เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการอย่างครบวงจรและประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเชื้อเพลิงอีกด้วย

5. สรุปผลการวิจัย

ตะกอนเปียกจากการผลิตเอทานอลมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อน จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนในเบื้องต้นของตะกอนเปียก พบว่าให้ค่าความร้อนในระดับปานกลาง 15,486 KJ/Kg จากนั้นจึงนำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง และนำมาวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนอีกครั้ง พบว่า ชีวมวลอัดแท่งมีค่า***ความชื้น 11.61% สารระเหย 68.82% เถ้า 16.59% คาร์บอนคงตัว 2.97% ความร้อน 15,512 KJ/Kg ปริมาณซัลเฟอร์***

0.08% ชีวมวลอัดแท่งมีค่าความร้อนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากการอัดแท่งเป็นการปรับปรุงสภาพของตะกอนเปียกให้มีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอเป็นผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น ลักษณะทั่วไปของชีวมวลอัดแท่งสามารถติดไฟได้ง่ายเนื่องจากมีค่าสารระเหยสูง มีควันพอสมควรในช่วงจุดติดไฟสมบูรณ์ คาร์บอนคงตัวต่ำปริมาณของแข็งที่เหลือในชีวมวลอัดแท่งมีน้อย ให้มีปริมาณขี้เถ้าค่อนข้างสูงดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จำเป็นต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลดปล่อยซัลเฟอร์ในปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่งจึงไม่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อนำมาคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในแง่ผลประหยัดของเชื้อเพลิง เปรียบเทียบระหว่างการใช้ถ่านหินและ ชีวมวลอัดแท่ง พบว่า สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงไปได้ถึงปีละประมาณ ***118,545,000บาท/ปี*** เมื่อเทียบกับต้นทุนของโครงการ (Fixed Cost) ระยะยาวที่มีมูลค่าประมาณ 9,184,000 บาท ตะกอนเปียกจึงมีความเหมาะสมอย่างมากในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงหลักเพื่อผลิตความร้อนในกระบวนการต่างๆของโรงงาน เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ต้องจัดซื้อ และยังเป็นการจัดการของเสียให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างมาก

6. รายการอ้างอิง

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551.นโยบายพลังงานทดแทนด้านเชื้อเพลิงเอทานอล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์ การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2552.การส่งเสริมการผลิตการใช้เอทานอลของประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551. โรงงานที่ดำเนินการผลิตและที่อยู่ระหว่างก่อสร้างโรงงานเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, มูลนิธิ. คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.efe.or.th. [4/5/2552].

อัมพร ยังโหมด. เอกสารวิชาการเอทานอลจากมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://210.246.186.28/fieldcrops/cas/eth/index.HTM. [14/5/2552].

Belyea,R.L., Rausch,K.D. and Tumbleson,M.E. 2004. Composition of corn and distillers' dried grains with soluble from dry grind ethanol processing. Journal of Bioresearch Technology 94 : 293-298.

Scott Landers. 2007. Perfecting the DDGS pellet. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www. ethanolproducer.com . [4/5/2552].

Spiehs,M.J., Whitney, M.H. and Shurson,G.C. 2002. Nutrients database for distillers' dried grains with soluble produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. Journal of Animal Science 80 : 2639-2645.

Yongmi Kim, Nathan S. Moiser and Rick Hendrickson. 2008. Composition of corn dry-grind ethanol by-products : DDGS, wet cake and thin stillage.Journal of Bioresearch Technology 99 : 5165-5176.

การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสของยางในรถจักรยานยนต์และรถจักรยาน

PRODUCTION OF LIQUID FUEL DERIVED FROM PYROLYSIS OF INNER TUBES FOR MOTORCYCLE AND BICYCLE

กนกพร เอกสกุลบัณฑิต[1], , วิมลรัตน์ ชยาพิวัฒน์[1], วลัยรัตน์ อุดตมะปรากรม[1], นพิดา หิญชีระนันทน์[1,2] และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ[1,2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำยางในรถจักรยานยนต์และยางในรถจักรยานที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นยางธรรมชาติและยางบิวทิล ตามลำดับมาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส จากการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์และยางในรถจักรยานมีปริมาณสูงสุดเมื่อทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 450 และ 550 องศาเซลเซียส ตามลำดับภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อัตราการไหล 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ประกอบด้วยแนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา แก๊สออยล์ และ กากคาร์บอน ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบา และผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหรือถ่านชาร์

คำสำคัญ: ไพโรไลซิส ยางธรรมชาติ ยางบิวทิล ยางใน

1. ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันโรงงานผลิตยางล้อรถประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทยก่อให้เกิดขยะยางปริมาณมากในแต่ละปี เช่น โรงงานผลิตยางในจักรยานยนต์และจักรยานแห่งหนึ่งมีปริมาณยางเสียรวมถึง 44.8 ตันต่อปี หรือคิดเป็นปริมาณยางดิบถึง 24.7 ตันต่อปี [1] เป็นต้น ซึ่งหากประเมินปริมาณยางเสียรวมทั่วประเทศอาจมีปริมาณมากกว่าร้อยตันต่อปี เศษยางเหล่านี้เป็นภาระต่อโรงงานทั้งในแง่ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการกำจัด ทั้งยังส่งผลต่อสภาพแวดล้อมและสังคมโดยรวมอีกด้วย ดังนั้นหากสามารถนำยางเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะสามารถลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานของบริษัทต่าง ๆ ได้ จากการศึกษา

[1] ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพ 10330
[2] ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพ 10330
[3] สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพ 10330

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำยางรถยนต์ใช้แล้วไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ [2] เช่น น้ำมันแก๊สโซลีน น้ำมันก๊าด ดีเซล น้ำมันเตาและน้ำมันเตาหนัก ซึ่งแก๊สและน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมีค่าพลังงานความร้อนประมาณ 30,000 – 35,000 กิโลจูล/กิโลกรัม [3] จึงสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมได้โดยตรง เช่นนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเตาซึ่งเป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ทดแทนน้ำมันเบนซินและดีเซลในรถยนต์-รถจักรยานยนต์ หรืออาจขายเป็นวัตถุดิบให้กับโรงกลั่นน้ำมันเพื่อผลิตเป็นน้ำมันคุณภาพสูงขึ้นได้ การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [4-8] พบว่ายังไม่มีการศึกษาการผลิตน้ำมันจากยางในรถจักรยานยนต์และยางในรถจักรยานซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมักเกิดปัญหารอยรั่วในขั้นตอนการผลิตทำให้มีชิ้นงานเสียเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการแปรรูปยางในที่ไม่ได้มาตรฐานเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนให้กับโรงงานจึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำยางในรถจักรยานยนต์และจักรยานผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอนาคต วิธีการนี้จะช่วยเพิ่มมูลค่าของของเสียและลดต้นทุนด้านพลังงานให้กับโรงงานได้ รวมทั้งยังมีส่วนในการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

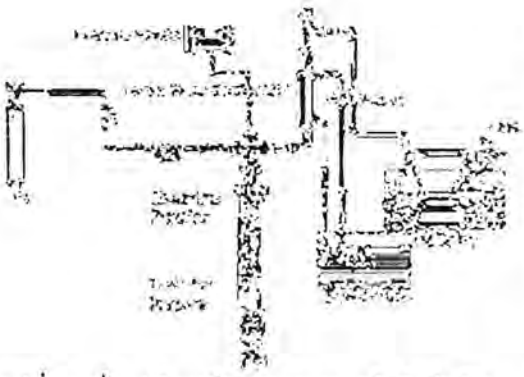
2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของยางใน

ใช้การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, ASTM D3173-3175) เพื่อหาค่าร้อยละของความชื้น สารระเหย เถ้า และปริมาณคาร์บอน และวิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัวยางในรถจักรยานยนต์และรถจักรยานด้วยเครื่อง Thermogravimetric/differential thermal analyzer (TGA) (Perkin Elmer รุ่น Diamond TG/DTA)

2.1 การไพโรไลซิส

งานวิจัยนี้ใช้ยางใน 2 ชนิด ได้แก่ ยางในรถจักรยานยนต์ที่มียางธรรมชาติ (NR: natural rubber) เป็นองค์ประกอบหลักและยางในรถจักรยานซึ่งมียางบิวทิล (IIR: butyl rubber) เป็นองค์ประกอบหลัก เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่ใช้ในทดลองแสดงดังรูปที่ 1 โดยนำยางในขนาด 1x1 ซม.^{2} น้ำหนัก 40 กรัม บรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) ที่ทำจากแสตนเลส 316 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.80 นิ้ว ความหนา 0.035 นิ้ว และความยาว 32 นิ้ว) จากนั้นนำเครื่องปฏิกรณ์ไปให้ความร้อนในเตาเผาแบบท่อที่มีสามารถควบคุมอุณหภูมิในการไพโรไลซิส ตามอุณหภูมิที่ต้องการระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน และมีการควบคุมอัตราการไหลของไนโตรเจนที่ 0.05-0.1 มิลลิลิตรต่อนาที โดยผลิตภัณฑ์ไอที่เกิดขึ้นถูกควบแน่นที่ทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งเรียกส่วนนี้ว่าเป็นน้ำมันเบา (Light oil) สำหรับน้ำมันหนัก (Heavy oil) และถ่านชาร์ (Char) จะคงอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งน้ำมันหนักจะถูกแยกออกโดยการการสกัดด้วยเตตระไฮโดรฟูแรนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันหนักและถ่านชาร์



รูปที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์และระบบการไพโรไลซิสยางเป็นน้ำมัน

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิส

น้ำมันเบาและน้ำทันหนักที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความร้อน (Gross calorific value, ASTM D2015) ปริมาณซัลเฟอร์ (ASTM D 3172 Method B) และการแจกแจงผลิตภัณฑ์ด้วย Simulated distillation gas chromatograph (Varian รุ่น CP-3800) ดีเทคเตอร์แบบ FID ที่มี Capillary column CP-SIL 5CB ตามวิธีการ ASTM 2887D ส่วนถ่านชาร์ที่ได้จะนำไปวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, ASTM D3173-3175) พร้อมวิเคราะห์ค่าความร้อน (Gross calorific value, ASTM D2015) และปริมาณซัลเฟอร์ (ASTM D 3172 Method B)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

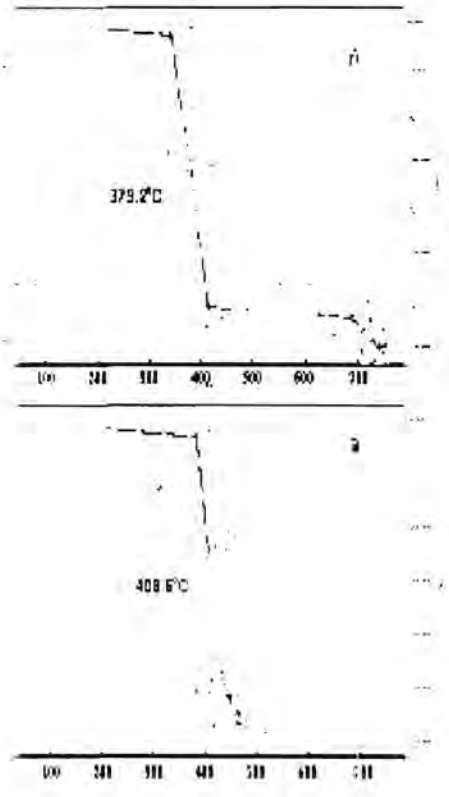
ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของยางในรถจักรยานยนต์ (ยางธรรมชาติ) และยางในรถจักรยาน (ยางบิวทิล) จากการเปรียบเทียบพบว่า ยางในรถจักรยานยนต์มีปริมาณสารระเหยสูงกว่ายางในรถจักรยาน ซึ่งโดยทั่วไปสารระเหยเหล่านี้จะเกิดการสลายตัวในระหว่างการไพโรไลซิสกลายเป็นแก๊ส น้ำมันเบา และน้ำมันหนัก แสดงว่ายางในรถจักรยานยนต์มีแนวโน้มที่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สและของเหลวจากการไพโรไลซิสมากกว่ายางในรถจักรยาน

ตารางที่ 1 สมบัติของยางในจากการวิเคราะห์แบบประมาณ

ประเภทยาง	% ความชื้น	%สารระเหย	% เถ้า	% คาร์บอนคงตัว
ยางในรถจักรยานยนต์ (ยางธรรมชาติ)	0.17	63.91	13.67	22.25
ยางในรถจักรยาน (ยางบิวทิล)	1.34	56.24	5.57	36.85

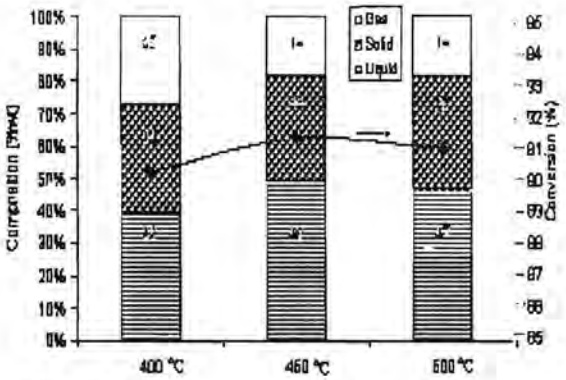
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการไพโรไลซิส คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่วัตถุดิบเกิดการสลายตัวทางความร้อน ซึ่งสามารถหาได้จากการนำยางในไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA เพื่อหาอุณหภูมิในการสลายตัว สำหรับยางในรถจักรยานยนต์พบว่ามีช่วงอุณหภูมิของการสลายตัวแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 340 - 420 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของยางธรรมชาติในปริมาณ 58.7% และช่วงที่สองตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 690 - 735 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของคาร์บอนแบล็กในปริมาณ 6.09% และสำหรับยางในรถจักรยาน พบว่ามีช่วงอุณหภูมิของการสลายตัวแบ่งออกเป็น 2 ช่วง เช่นกัน คือ ช่วงแรกตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 380 - 440 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของยางบิวทิลในปริมาณ 45.24% และช่วงที่สองตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 450 - 465 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของสารเติม

แต่งในยางในปริมาณ 3.78% โดยยางทั้งสองชนิดสามารถสลายตัวได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยยางในรถจักรยานมีอุณหภูมิในการสลายตัวสูงกว่ายางในรถจักรยานยนต์ แสดงว่ายางรถจักรยานยนต์สามารถสลายตัวได้ง่ายกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่า โดยมีสาเหตุจากองค์ประกอบของยางในที่เป็นยางธรรมชาติซึ่งโดยทั่วไปจะสลายตัวได้ง่ายกว่ายางบิวทิวซึ่งเป็นยางสังเคราะห์และมีโครงสร้างอิ่มตัวที่มีความต้านทานต่อความร้อนสูงกว่ายางธรรมชาติ



รูปที่ 1 การสลายตัวด้วยความร้อนของ (ก) ยางในรถจักรยานยนต์และ (ข) ยางในรถจักรยาน

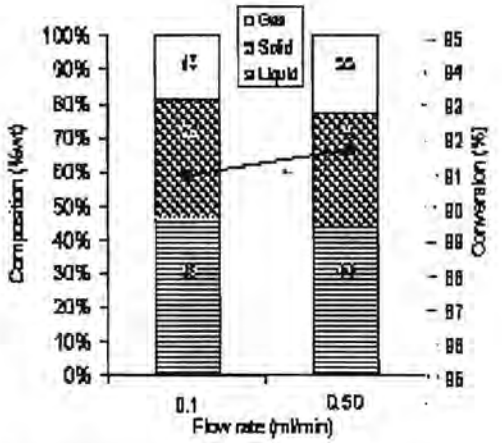
รูปที่ 2 แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานยนต์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ เห็นได้ชัดว่าอุณหภูมิในช่วงของการไพโรไลซิสระหว่าง 400-500 องศาเซลเซียส มีผลต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานยนต์ (คิดเฉพาะในส่วนของเนื้อยางเท่านั้น) เพียงเล็กน้อย โดยจะมีค่าสูงสุดร้อยละ 91.8 ที่อุณหภูมิในการไพโรไลซิส 450 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ พบว่าอุณหภูมิมีผลค่อนข้างมากต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว (น้ำมันไพโรไลซิส) และแก๊ส โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน ไพโรไลซิสมากที่สุดถึงร้อยละ 49 และมีปริมาณแก๊สน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 18 ซึ่งถือเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ ในขณะที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง (ถ่านชาร์) ไม่มากนักโดยมีผลได้ร้อยละ 33 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้นั้นไม่สามารถทำให้ถ่านชาร์เกิดการสลายตัว



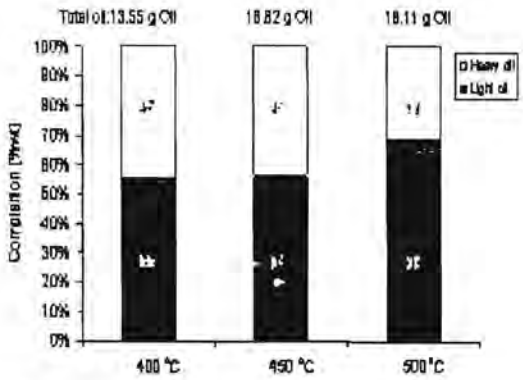
รูปที่ 2 ค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานยนต์ และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ปริมาณยางใน 40 กรัม อัตราการไหลไนโตรเจน 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที)

รูปที่ 3 แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานยนต์ และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ไพโรไลซิสอัตราการไหลไนโตรเจนต่างๆ จากรูปพบว่าอัตราการไหลของไนโตรเจน มีผลต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานยนต์เล็กน้อย โดยมีค่าประมาณร้อยละ 91 และมีผลต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เล็กน้อยเช่นกัน ไนโตรเจนถูกนำมาใช้เป็นแก๊สตัวพาเพื่อนำไอไพโรไลซิสออกจากเครื่องปฏิกรณ์โดยไม่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส และป้องกันการเกิดการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันลดลง อย่างไร

จากรูปที่ 4 พบว่าปริมาณน้ำมันรวมของยางในรถจักรยานยนต์ที่ได้จากการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยมีปริมาณ 13.55 16.82 และ 16.11 กรัม ที่อุณหภูมิ 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้สามารถแบ่งออกเป็นน้ำมันเบา (Light oil) และน้ำมันหนัก (Heavy oil) ซึ่งจะเห็นว่าที่คุณหภูมิในการไพโรไลซิส 500 องศาเซลเซียส จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเบามากที่สุด ประมาณร้อยละ 69 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด ในขณะที่อุณหภูมิ 400 และ 450 องศาเซลเซียส จะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเบาใกล้เคียงกันหรือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



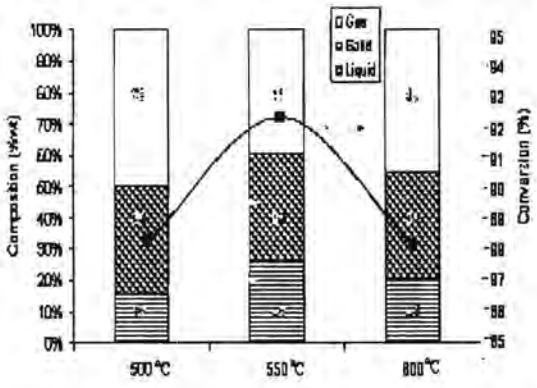
รูปที่ 3 ค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานยนต์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสที่อัตราการไหลไนโตรเจนต่างๆ (ปริมาณยางใน 40 กรัม อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที)



รูปที่ 4 ร้อยละน้ำมันเบา-น้ำมันหนักและปริมาณน้ำมันรวมของยางในรถจักรยานที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ปริมาณยางใน 40 กรัม อัตราการไหลไนโตรเจน 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที)

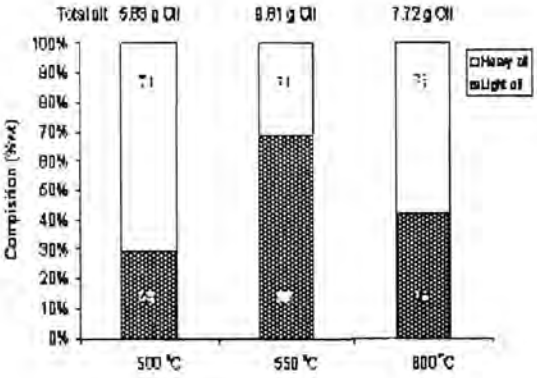
รูปที่ 5 แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักร ยานและร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสในช่วงอุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิของการไพโรไลซิสไม่มีผลต่อค่า

ร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยาน และเมื่อเปรียบ เทียบกับยางในรถจักรยานยนต์พบว่ายางในรถจักร ยานต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการไพโรไลซิส และผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันก็มีปริมาณน้อยกว่ายางในรถจักรยานยนต์และหากอุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส จะไม่สามารถไพโรไลซิสได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากยางในรถจักรยานเป็นยางบิวทิลซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่เกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ยากกว่ายางในรถจักรยานยนต์ที่เป็นยางธรรมชาติ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ TGA อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในการ ไพโรไลซิสส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนยางในรถจักรยานอย่างมาก โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 88-92 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เหลวร้อยละ 26 และพบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สในช่วงอุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียส มีมากถึงร้อยละ 39-50 อาจไม่เหมาะสมในการนำมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อผลิตเป็นน้ำมัน



รูปที่ 5 ค่าร้อยละการเปลี่ยนของยางในรถจักรยานและร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ (ปริมาณยางใน 40 กรัม อัตราการไหลไนโตรเจน 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที)

รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้ พบว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณน้ำมันรวมมากที่สุด ประมาณ 9.81 กรัม และมีองค์ประกอบของน้ำมันเบาถึงร้อยละ 69 ในขณะที่ที่อุณหภูมิต่ำลงที่ 500 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำมันรวมต่ำสุดประมาณ 5.83 กรัม และมีน้ำมันเบาเพียงร้อยละ 29 เท่านั้น ทำให้สรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสยางในรถจักรยาน



รูปที่ 6 ร้อยละน้ำมันเบา-น้ำมันหนักและปริมาณน้ำมันรวมของยางในรถจักรยานที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ปริมาณยางใน 40 กรัม อัตราการไหลไนโตรเจน 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที)

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์และยางในรถจักรยานที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากตารางแสดงว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อสมบัติโดยรวมของถ่านชาร์ทั้งสอง และถ่านชาร์ที่ได้มีร้อยละคาร์บอนคงตัวสูง มีร้อยละสารระเหยและความชื้นต่ำ ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำ

ตารางที่ 2 สมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์แบบ

ถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสยางใน	อุณหภูมิ (°C)	%ความชื้น	%สารระเหย	%เถ้า	%คาร์บอนคงตัว
ยางในรถจักรยานยนต์	ยางในเริ่มต้น	0.17	63.91	13.67	22.25
	400	0.24	14.70	31.85	53.21
	450	0.49	12.93	32.86	53.72
	500	0.30	12.97	32.43	54.30
ยางในรถจักรยาน	ยางในเริ่มต้น	1.34	56.24	5.57	36.85
	500	0.50	13.96	32.14	53.40
	550	0.18	9.90	26.55	63.37
	600	0.59	14.86	29.98	54.57

*อัตราการไหลไนโตรเจน 0.10 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที

ตารางที่ 3 ปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนของน้ำมันเบา น้ำมันหนักและถ่านชาร์

ประเภทยาง	อุณหภูมิ (°C)	กำมะถัน (%)			ค่าความร้อน (Cal/g)		
		น้ำมันเบา	น้ำมันหนัก	ถ่านชาร์	น้ำมันเบา	น้ำมันหนัก	ถ่านชาร์
ยางในรถจักรยานยนต์	400	0.76	1.25	0.72	10,298	8,966	4,695
	450	0.80	1.15	0.78	9,806	8,197	4,608
	500	0.78	1.17	0.53	10,006	9,408	3,883
ยางในรถจักรยาน	500	0.97	1.98	1.94	9,881	8,856	6,589
	550	0.83	2.13	2.82	9,789	8,679	6,629
	600	1.12	1.78	1.25	8,947	8,252	6,884

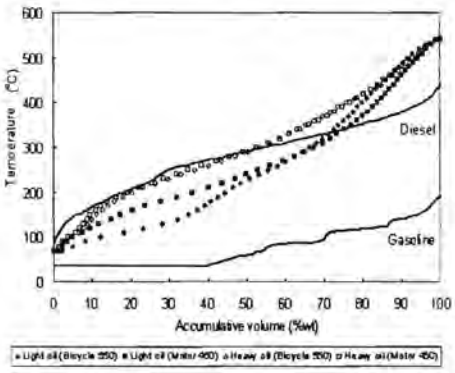
*อัตราการไหลไนโตรเจน 0.10 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที

ให้ถ่านชาร์เหมาะสำหรับการนำใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง อย่างไรก็ตามถ่านชาร์นี้ยังมีข้อเสียที่มีร้อยละเถ้าสูง จึงอาจทำให้มีปริมาณเถ้าสะสมเกิดขึ้นได้

ปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนของน้ำมันเบา น้ำมันหนักและถ่านชาร์ แสดงในตารางที่ 3 พบว่าน้ำมันหนักมีร้อยละกำมะถันสูงสุด คือ ร้อยละ 2.13-1.15 ในขณะที่น้ำมันเบาและถ่านชาร์มีร้อยละกำมะถันใกล้เคียงกัน โดยยางในรถจักรยานมีปริมาณกำมะถันรวมสูงกว่ายางในรถจักรยานยนต์ และเมื่อพิจารณาค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 พบว่า น้ำมันเบามีค่าความร้อนสูงสุด 10,298-8,947 แคลลอรี่/กรัม รองลงมาคือน้ำมันหนัก 9,408-8,197 แคลลอรี่/กรัม และถ่านชาร์มีค่าความร้อนต่ำสุด 6,884-3,883 แคลลอรี่/กรัม

โดยทั่วไปน้ำมันเบาที่ได้สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ในขณะที่น้ำมันหนักมักถูกนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเตา ซึ่งสามารถยืนยันได้จาก

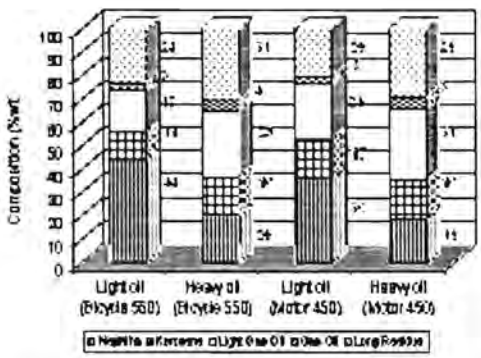
ผลการวิเคราะห์น้ำมันเบาด้วยแก๊สโครมาโตรกราฟีแบบจำลองการกลั่น (Simulated distillation gas chromatograph) ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของน้ำมันตามช่วงจุดเดือดของสารได้ ดังนี้ ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นส่วนของแนฟทา (Naphtha) ช่วงอุณหภูมิ 200-250 องศาเซลเซียส เป็นส่วนของเคโรซีน (Kerosene) ช่วงอุณหภูมิ 250-350 องศาเซลเซียส เป็นส่วนของแก๊สออยล์เบา (Gas light oil) ช่วงอุณหภูมิ 350-370 องศาเซลเซียส เป็นส่วนของแก๊สออยล์ (Gas oil) และช่วงอุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิสุดท้ายเป็นส่วนของกากคาร์บอน (long residue) เมื่อนำน้ำมันเบาที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตรกราฟีแบบจำลองการกลั่นแล้วทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันเบาที่ได้จากการไพโรไลซิสเป็นน้ำมันที่อยู่ในช่วงของน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งหากนำมากลั่นก็จะสามารถผลิตเป็นน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันแก๊สโซลีนที่มีคุณภาพดีขึ้นได้



รูปที่ 7 ร้อยละปริมาตรสะสมและจุดเดือดของน้ำมันเบาและน้ำมันหนักที่วิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตรกราฟีแบบจำลองการกลั่น

จากรูปที่ 8 พบว่าในน้ำมันเบาที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณของแนฟทามากที่สุดซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซลีน ส่วนในน้ำมันหนักที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณของแก๊สออยล์และแก๊สออยล์เบามากที่สุด ซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปผลิตเป็นน้ำมันดีเซล ส่วน กากคาร์บอน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตน้ำมันเตาได้จะมีองค์ประกอบมากที่สุดอยู่ในน้ำมันหนักที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส โดยจะแสดงผลการทดลองเป็นร้อยละองค์ประกอบดังตารางที่ 4

งานวิจัยนี้แสดงถึงองค์ประกอบเบื้องต้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสลายตัวของยางที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีประโยชน์ในการเป็นข้อมูลสำหรับการทดลองด้วยยางชนิดเดียวกัน และควรมีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือดด้วย Simulated Distillation Gas Chromatography (GC-SIMDIS) ทำให้ทราบว่าในน้ำมันเบาและน้ำมันหนักที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์และยางในรถจักรยานมีองค์ประกอบเป็นน้ำมันประเภทใดบ้างและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไรบ้าง รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อนและปริมาณซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารพิษ หากมีปริมาณซัลเฟอร์ในปริมาณมากจะต้องมีการนำไปกำจัดก่อนที่จะนำน้ำมันนั้นมาใช้ประโยชน์



รูปที่ 8 องค์ประกอบต่างๆในน้ำมันเบาและน้ำมันหนักที่ไพโรไลซิสได้จากยางในรถจักรยานยนต์และยางในจักรยาน อัตราการไหลไนโตรเจน 0.10 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 30 นาที

4.สรุปผลการทดลอง

ยางในรถจักรยานยนต์และยางในรถจักรยานสามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ยางในรถจักรยานยนต์มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเกิดการสลายตัวทางความร้อนในระหว่างการไพโรไลซิสได้ง่ายให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนสูงถึงร้อยละ 91.8 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว หรือน้ำมันถึงร้อยละ 49 (น้ำมันเบาร้อยละ 54 และน้ำมันหนักร้อยละ 46) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาได้โดยตรง หรืออาจนำไปกลั่นเพื่อผลิตเชื้อเพลิงคุณภาพสูงได้ สำหรับ ยางในรถจักรยานนั้นจะเกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ยากกว่าเนื่องจากมียางบิวทิลเป็นองค์ประกอบหลักทำให้ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการไพโรไลซิส โดยให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเท่ากับร้อยละ 92 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ขณะที่เป็นของเหลวที่เกิดขึ้นมีเพียงร้อยละ 26 เท่านั้น (น้ำมันเบาร้อยละ 69 และน้ำมันหนักร้อยละ 31) อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ได้จากยางทั้ง 2 ชนิด ยังคงมีปริมาณกำมะถันค่อนข้างสูงอยู่ สำหรับถ่านชาร์ที่ได้จากยางทั้ง 2 ชนิดสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง เนื่องจากมีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูง ประมาณ 3,883-6,884 แคลลอรี่ต่อกรัม

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ที่ 450 องศาเซลเซียส และยางในรถจักรยานที่ 550 องศาเซลเซียส ตามจุดเดือดด้วยแก๊สโครมาโตกราฟีแบบจำลองการกลั่น

ประเภทยาง	ประเภทน้ำมัน	%แนฟทา	%เคโรซีน	%แก๊สออยล์เบา	%แก๊สออยล์	%กากคาร์บอน
ยางใน	น้ำมันเบา	36.10	16.90	24.00	3.00	20.00
รถจักรยานยนต์	น้ำมันหนัก	19.30	15.80	31.10	4.60	29.20
ยางใน	น้ำมันเบา	44.30	11.20	18.20	2.60	23.70
รถจักรยาน	น้ำมันหนัก	20.40	16.20	28.60	4.30	30.50

*อัตราการไหลไนโตรเจน 0.10 มิลลิลิตรต่อนาที

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่ายความร่วมมือระหว่างจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำหรับโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาดที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] สุทานิธิ เจียรอนันต์กุล, สุวิมล จารุมณี, ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และนพิดา หิญชีระนันทน์, รายงานสรุปโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[2] ศิริรัตน์ จิตการค้า และรัตนวรรณ มกรพันธ์, การนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่มีคุณค่าด้วยวิธีการไพโรไลซิส, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[3] กัมปนาท ปราศราคี, เชื้อเพลิงสะอาดจากยางในจักรยานยนต์หรือจักรยานโดยวิธีดำเนินการสองขั้น : ไฮโดรดีซัลเฟอไรเซชัน และไพโรไลซิส, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, กรุงเทพฯ : เคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[4] C. Y. Wen and E. S. Lee, Coal Conversion Technology, 2nd ed. Canada: Addison-Wesley Publishing , 1979.

[5] M. Howe-Grant, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.21 4th ed. Wiley-interscience Publication, 1998.

[6] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ยางรถยนต์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เมษายน–มิถุนายน 2547): 20-24.

[7] S. Ucar, S. Karagoz, A. R. Ozkan, J Yanik, Evaluation of Two Different Scrap Tires as Hydrocarbon Source by Pyrolysis, Fuel, 84 (2005) 1884–1892.

[8] V. Dubey, S. K. Pandey, N. B. S. N. Rao, Research trends in the Degradation of Butyl Rubber, J. Anal Appl Pyrol, 34 (1995) 111-125.

การผลิตถ่านไร้ควันจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น
Production of smokeless briquette from wet cake waste of ethanol industry from chiped cassava

วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม[1] และ ธราพงษ์ วิทิตศานท์[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อน พบว่า มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานเพียงร้อยละ 13.33 และค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ คือ 13,864.38 KJ/kg จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน จากนั้นนำไปคาร์บอไนเซชันในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก คือ อุณหภูมิ 500°Cที่ระยะเวลา 60 นาที โดยสภาวะดังกล่าว มีความชื้น 1.17% สารระเหย 16.57% เถ้า 34.42% และคาร์บอนคงตัว 47.84% เมื่อทราบสภาวะคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมจึงนำตะกอนเปียกมาอัดแบบร้อนและแบบเย็นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน พบว่า ถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 59.01 และค่าความร้อน 24,790.38 KJ/kg ในขณะที่ถ่านอัดแบบร้อนมีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 42.66 และค่าความร้อน 20,257.25 KJ/kg สำหรับการผลิตถ่านทั้ง 2 แบบในเชิงพาณิชย์ ถ่านอัดแบบร้อนมีต้นทุน 0.17 บาท/ก้อน ราคาขาย 0.525 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 704,225 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.18 ปี ถ่านอัดแบบเย็นมีต้นทุน 0.3175 บาท/ก้อน ราคาขาย 1.05 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 338,524 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.17 ปี โดยอ้างอิงจากต้นทุนคงที่ 250,000 บาท ราคาขายถ่านทั้ง 2 แบบราคา 10.5 บาท/กิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุนคิดเทียบกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร

คำสำคัญ : คาร์บอไนเซชัน, ตะกอนเปียก, ถ่านอัดแบบร้อน, ถ่านอัดแบบเย็น

[1] สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 12 อาคารสถาบัน 3 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10300

E-mail: walairat@eri.chula.ac.th

[2] ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

Abstract

This research study, the wet cake to be used as alternative fuels by providing proximate analysis and heating value found that low fixed carbon content which is burned for energy only 13.33 percent and relatively low heating value is 13,864.38 KJ / kg. Perfectly suited for research to improve quality prior to use. Then bring the wet cake to carbonization in various conditions at 400, 450, 500 and 550°c in each temperature range of the experimental period, 30, 45, 60 and 90 minutes in oxygen-limited conditions. It was found that the appropriate condition for carbonization is the temperature at 500°c for 60 minutes. The condition has 1.17% moisture, 34.42% ash, 16.57% volatile matter and 47.84% fixed carbon. When get the appropriate carbonization condition, thus bring the wet cake to hot and cold compressed to compare the efficiency of thermal energy found that cold compressed high fixed carbon content 59.01% and heating value 24,790.38 KJ/kg while hot compressed fixed carbon content 42.66% and heating value 20,257.25 KJ/kg. Both of the production of briquette charcoal in commercial, hot compressed cost 0.17 baht / piece, sale price 0.525 baht / pieces, total production at breakeven 704,225 pieces and payback period of 0.18 years, cold compressed cost 0.3175 baht/piece, sale price 1.05 baht / pieces, total production at breakeven 338,524 pieces and payback period of 0.17 years. Based on fixed cost 250,000 Baht ,assuming sale price of both briquette charcoal 10.5 baht / kg and the payback period compared with the capacity of the machines.

Keyword: carbonization, wet cake, hot compressed, cold compressed

1 บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการตระหนักถึงภาวะของปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงได้มีความพยายามที่จะหาเชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาทดแทน ซึ่งเชื้อเพลิงหนึ่งที่น่าสนใจในที่นี้คือ ชีวมวล เนื่องจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีแหล่งชีวมวลจากภาคการเกษตรมากมาย เช่น มันสำปะหลัง อ้อย แกลบ ซานอ้อย ฯลฯ จึงมีความได้เปรียบทางวัตถุดิบ นอกจากนี้ชีวมวลยังได้มาจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมบางประเภททำให้มีปริมาณมากและราคาถูก ปัจจุบันหลายฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนต่างให้ความสนใจกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ไบโอเอทานอล (Bioethanol) และไบโอดีเซล (Biodiesel) นอกจากนี้การนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

จากความจำเป็นในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนที่หมุนเวียน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในรูปแบบของแก๊สโซฮอล์ของประเทศไทยขยายตัวอย่างมาก เมื่อ 12 ธันวาคม 2549 คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบแนวทางการเปิดเสรีโรงงานเอทานอล ส่งผลให้อุตสาหกรรมเอทานอลเกิดการขยายตัวอย่างกว้างขวาง โดยตั้งเป้าหมายในปี พ.ศ. 2554 ให้มีการใช้เอทานอล 3 ล้านลิตร/วัน เพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91 ในปี 2555 เริ่มจำหน่าย E85 ในปี 2560 จำหน่าย E20 และยกเลิกเบนซิน 95 และ 91 ทั่วประเทศ และในปี 2565 ให้มีการใช้เอทานอล 9 ล้านลิตร/วัน โดยส่งเสริมให้มีงานวิจัยต่าง ๆมากมายที่สอดรับกับแผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551-2565 จากข้อมูลล่าสุดพบว่ามีจำนวนผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 47 ราย แสดงดังตารางที่ 1.1 โดยโรงงานเอทานอลที่ดำเนินการผลิตแล้วในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 13 ราย แสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

ประเภทของวัตถุดิบ	จำนวนโรงงาน	กำลังการผลิตรวม (ลิตร/วัน)
อ้อย	1	200,000
มันสำปะหลัง	27	8,290,000
กากน้ำตาล	5	675,000
อ้อย/กากน้ำตาล	12	1,810,000
มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	5	770,000
อ้อย/มันสำปะหลัง	1	200,000
กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง/อ้อย	2	250,000
กากมันสำปะหลัง	1	100,000
รวมกำลังการผลิต		**12,295,000**

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ,2551[1]

ตารางที่ 1.2 โรงงานที่ดำเนินการผลิตเอทานอลแล้ว

ประเภทของวัตถุดิบ	จำนวนโรงงาน	กำลังการผลิตรวม (ลิตร/วัน)
กากน้ำตาล	4	575,000
อ้อย/กากน้ำตาล	6	770,000
มันสำปะหลัง	2	330,000
กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง	1	150,000
รวมกำลังการผลิต		**1,825,000**

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ,2551[1]

อุตสาหกรรมเอทานอลในประเทศไทยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นหลักจากการประเมินปริมาณของวัตถุดิบอย่างคร่าวๆ ตามจำนวนโรงงานเอทานอลที่มีการขอใบอนุญาตจัดตั้งโรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง พบว่าจะเกิดของเสีย (Waste) มากมาย ยกตัวอย่าง โรงงานเอทานอลเชื้อเพลิงขนาดกำลังการผลิตประมาณ 150,000 ลิตร/วัน จะมีปริมาณน้ำจากหอกลั่นมากถึงวันละประมาณ 1,500,000 ลิตร/วัน หากโรงงานไม่มีขั้นตอนการนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำจากหอกลั่นทั้งหมดจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งการจัดการกับน้ำเสียวันละ 1.5 ล้านลิตร/วัน ต้องใช้พื้นที่มากหรือต้องมีการลงทุนระบบบำบัดน้ำเสียประสิทธิภาพสูง เนื่องจากปริมาณของน้ำเสียมาก โดยเฉพาะโรงงานที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบจะต้องบำบัดสีของน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะในกระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากเอทานอลแล้ว ยังมีผลพลอยได้อื่นๆที่สำคัญได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักและฟูเซลล์ออยล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกลั่น รวมถึงของเสียจากกระบวนการผลิตคือน้ำเสียหรือน้ำกากส่า ซึ่งมีเซลล์ยีสต์ปนอยู่เกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้คุณภาพของน้ำกากส่าจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และผลได้วมถึงของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการผลิตเอทานอล (ตารางที่ 1.3)

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นและกากน้ำตาลคำนวณที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตร/วัน

วัตถุดิบและผลพลอยได้	ปริมาณและคุณภาพ			
	มันเส้น		กากน้ำตาล	
	ปริมาณ	คุณภาพ	ปริมาณ	คุณภาพ
วัตถุดิบ (INPUT)				
1. วัตถุดิบ (ตันต่อวัน)	350-370	- ความชื้น 12-16% - ปริมาณแป้ง 64%	540-550	-น้ำตาลทั้งหมด 48-50% - ของแข็งละลายได้ 80 บริกซ์
2. น้ำ (ลบ.ม. ต่อวัน)	1,200-1,500	-	1,000-1,300	-
3. สารเคมี				
- ยีสต์ผง (กก./วัน)	20-80	-	20-80	-
- เอนไซม์ (กก./วัน)	20-800	-	-	-
- สารเคมีอื่น (กก./วัน)	1,000-5,000	-	1,000-5,000	-
4. พลังงาน				
- ไฟฟ้า (Kw-hr/day)	25,000-47,000	380 V 50 Hz	22,000-44,000	380 V 50 Hz
- ไอน้ำ(ตัน./วัน)	300-500	3-10 บาร์	200-400	3-10 บาร์
ผลได้ (OUTPUT)				
1. เอทานอล(ลิตรต่อวัน)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)
2. CO_2 (ตัน ต่อวัน)	100-120	-	100-120	-
3. Fusel Oil (ลิตร/วัน)	300-600	-	300-600	-
4. น้ำกากส่า (ลบ.ม./วัน)	1,400-1,600	- TS 5-7% - COD 40,000-60,000 mg/l - BOD 15,000-35,000 mg/l	1,000-1,300	TS 15% - COD 100,000-150,000 mg/l - BOD 40,000-70,000 mg/l
4.1 ตะกอนเปียก (ตันต่อวัน)	100-200	20-30% TS		
4.2 น้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	1,200-1,400	TS 5-7% - COD 20,000-40,000 mg/l - BOD 10,000-30,000 mg/l	1,000-1,300	TS 10-12% - COD 120,000-150,000 ppm - BOD 40,000-70,000 ppm

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2549 [2]

จากการสำรวจสถานภาพการจัดการของเสียและผลพลอยได้ของโรงงานผลิตเอทานอลที่มีในปัจจุบันยังไม่สามารถจัดการของเสียต่างๆที่เกิดขึ้นจากการผลิตในแต่ละขั้นตอนและนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ ตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นเอทานอลเป็นปริมาณมากในแต่ละวัน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาตะกอนเปียก (Wet cake) เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน อย่างไรก็ตามการใช้ตะกอนเปียกเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนั้นประสบปัญหาในด้านความชื้นและการควบคุมขนาดเชื้อเพลิงในเตาปฏิกรณ์ จึงมีการนำมาอัดแท่งเพื่อให้มีขนาดเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิง รวมทั้งศึกษากระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) เพื่อเพิ่มประโยชน์ในการนำไปใช้งาน โดยเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ชาร์ และยังเป็นการเพิ่มคุณภาพของของถ่านชาร์เนื่องจากปริมาณคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนที่สูงขึ้น เพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตถ่านอัดแท่งในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2 ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

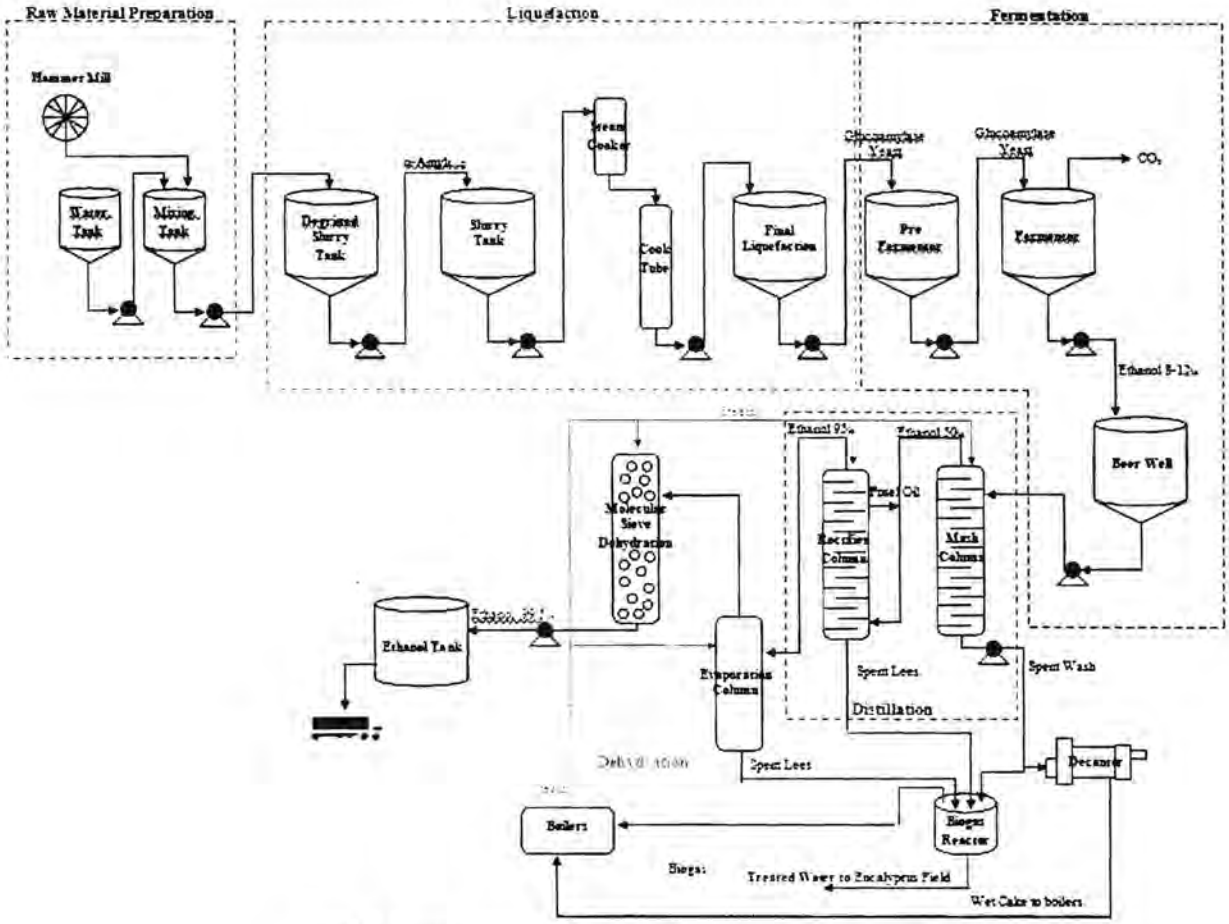
2.1 ตะกอนเปียกตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการกลั่นและการแยกน้ำจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มีสีดำ ลักษณะร่วนซุย มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นยีสต์ และมีเศษกากมันสำปะหลังปนอยู่มีความชื้นประมาณ 40% ถือเป็นของเสียชีวมวลที่เกิดจากอุตสาหกรรม เกิดเป็นปริมาณมากต่อวันยากแก่การจัดการ อาทิเช่น โรงงานผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลกำลังการผลิต 200,000 ลิตร/วัน จะมีตะกอนเปียกเกิดขึ้น 250 ตัน/วัน หากอนาคตมีโรงงานผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลกำลังการผลิต 200,000 ลิตร/วัน ประมาณ 20 โรง จะมีตะกอนเปียกเกิดขึ้นประมาณ 37 ล้านตัน/ปี

2.2 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น)

กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น) เริ่มจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบคือ มันเส้นนำมาบดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นทำการคัดขนาดแล้วนำไปผสมกับน้ำในถังผสม (Mixing tank) เป็นน้ำแป้ง (Slurry) เพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล โดยทำการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) และต้มน้ำแป้งด้วยไอน้ำในหม้อต้ม (Steam cooker) เพื่อให้น้ำแป้งมีอุณหภูมิที่เหมาะในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ 90-100°C ขั้นตอนนี้จะเป็นการย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลเด็กซ์ทริน

จากนั้นจะทำการย่อยครั้งสุดท้ายในถัง Final Liquefaction โดยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสอุณหภูมิ 50-60°C จะเป็นการย่อยน้ำตาลเด็กซ์ทรินให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการหมักโดยจะเติมยีสต์ในถัง Prefermentor ก่อนที่จะเข้าสู่ถัง Fermentor เพื่อทำการหมักน้ำตาลกลูโคสให้เปลี่ยนเป็นเอทานอล ซึ่งในกระบวนการนี้จะได้เอทานอลออกมาร้อยละ 8-12 แล้วยังได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตผลพลอยได้ด้วย

น้ำหมักที่ได้จะถูกนำไปเก็บไว้ในถังเบียร์ (Beer Well) รอเข้าสู่กระบวนการกลั่น เพื่อทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยผ่านเข้าสู่หอกลั่น Mash Column จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 50 น้ำกากส่า (น้ำเสีย) ที่ออกจากหอกลั่นนี้จะผ่านเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำด้วยเครื่องแยกกาก (Decanter) เพื่อแยกกากมันสำปะหลังออกมาสามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ได้ ส่วนน้ำที่แยกได้จะผ่านเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสีย จากนั้นจะนำเอทานอลที่ได้ไปทำการกลั่นอีกครั้งที่หอกลั่น Rectifier Column จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ในกระบวนการนี้จะเกิดผลิตผลพลอยได้คือ Fusel Oil จากนั้นจะทำการแยกน้ำออกจากเอทานอลโดยผ่านเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำที่เครื่อง Molecular Sieve ซึ่งภายในจะมีตัวดูดซับจะทำการดูดซับน้ำออกจากเอทานอลทำให้เอทานอลที่ผ่านกระบวนการนี้มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ได้



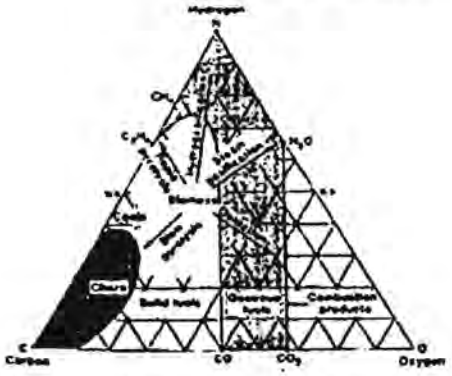
รูปที่ 2.1 แผนผังกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น

ที่มา : http://www.sapthip.com/product.php [3]

2.3 หลักการแปรรูปชีวมวล

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของชีวมวลจะเห็นได้ว่าชีวมวลสามารถที่จะแปรรูปไปเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งอาจเป็นกระบวนการทางชีวภาพหรือกระบวนการทางเคมีความร้อน

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพ กระทำได้โดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปทางความร้อน (Thermal conversion Technology) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) แกซิฟิเคชัน (Gasification) และการเผาไหม้ (Combustion) โดยแผนภาพอธิบายกระบวนการเหล่านี้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แสดงดังกราฟสามเหลี่ยมที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล

2.4 กระบวนการเปลี่ยนแปลงเคมีทางความร้อน

2.4.1 CONVERSION PROCESS

พลังงานศักย์ในชีวมวลสามารถปลดปล่อยออกมาโดยการเผาไหม้ได้โดยตรงหรือโดยการเปลี่ยนแปลงวัสดุอันนั้นให้เป็นเชื้อเพลิง หรือเป็นสารเคมีตัวอื่นโดยวิธีการทางความร้อนหรือวิธีการทางชีวเคมีก็ได้ สามารถกระทำได้หลายวิธี คือกระบวนการทางเคมี-ความร้อน (Thermo-chemical process) หรือเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) เป็นต้น

2.4.1.1 การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้สารอินทรีย์ด้วยออกซิเจนที่มากเกินพอซึ่งจะเกิดเป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์โดยได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำการเผาไหม้ของชีวมวลสามารถอธิบายได้ทั่วๆไปทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1. การระเหยความชื้นออกไป (evaporation of moisture) เป็นกระบวนการดูดความร้อน
2. การกลั่นของสารระเหย (distillation of volatiles) สามารถเป็นได้ทั้งกระบวนการดูดและคายความร้อน
3. การเผาไหม้ของสารระเหย (burning of volatiles) เป็นกระบวนการคายความร้อน
4. การเผาไหม้ของคาร์บอนคงตัว (combustion of fixed carbon) เป็นกระบวนการคายความร้อน

2.4.1.2 กระบวนการไพโรไลซิส : Carbonization

การทำคาร์บอไนเซชันใช้เมื่อสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนนั้นมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้หรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และอุตสาหกรรม โดยวัสดุเหล่านี้จะถูกแยกสลายเป็นธาตุคาร์บอน และสารประกอบเคมีอื่นๆ ซึ่งอาจมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบก็ได้

ประสิทธิภาพในการทำคาร์บอไนเซชันขึ้นกับ 3 ปัจจัยหลัก ดังนี้

1. ปริมาณความชื้นระหว่างการทำคาร์บอไนเซชัน
2. ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ทำคาร์บอนไนเซชัน
3. ความรอบคอบในขั้นตอนการทำคาร์บอไนเซชัน

ระหว่างการเกิดคาร์บอไนเซชันของชีวมวลซึ่งจะจำกัดออกซิเจน หรือจะใช้เพียงปริมาณน้อยเพื่อใช้พอติดไฟเท่านั้น ชีวมวลที่ทำคาร์บอไนเซชันจะแตกสลายได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ charcoal และของแข็งสีดำที่มีรูพรุนโดยมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอน นอกนั้นคือเถ้าจากชีวมวล (ประมาณ 0.5-6%) โดยปริมาณเถ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล

ในขั้นตอนการทำคาร์บอไนเซชันที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ สามารถสรุปได้คร่าวๆ ดังนี้

ช่วงอุณหภูมิ 20 -110°C	ชีวมวลจะรับความร้อนเข้าไปในเนื้อโดยตรง ซึ่งความร้อนส่วนนี้จะทำให้ความชื้นในชีวมวลระเหยออกไป และอุณหภูมิจะยังคงที่อยู่ที่ 110°C จนกว่าชีวมวลจะแห้ง
ช่วงอุณหภูมิ 110 -270°C	ชีวมวลจะเริ่มสลายตัวโดยปล่อย CO, CO_2, Acetic acid และ methanol ออกมา
ช่วงอุณหภูมิ 270-290°C	เป็นจุดที่ไม้เริ่มเกิดการสลายตัวโดยจะคายความร้อนออกมา ซึ่งจะได้ก๊าซผสมหลายชนิดและมีTar เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย
ช่วงอุณหภูมิ 290-400°C	การสลายตัวของไม้ยังคงเกิดขึ้นอยู่ ได้ก๊าซผสมหลายชนิดและได้ Tar ในปริมาณที่มากขึ้น
ช่วงอุณหภูมิ 400-500°C	ที่ช่วงอุณหภูมินี้ชีวมวลจะเปลี่ยนไปเป็น Charcoal อย่างสมบูรณ์

ไพโรไลซิสหรือการกลั่นสลาย (Destructive distillation) เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน มีการถ่ายเทความร้อนโดยทางอ้อม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง คือ ชาร์ ของเหลวที่ควบแน่นได้ทาร์และแก๊ส

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งทางตรงจากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือจากปฏิกิริยาอื่นๆที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ และทางอ้อม (รีทอร์ท) ซึ่งในปัจจุบันการสลายตัว

ทางความร้อนในภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่ที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และแก๊ส เรียกได้ว่าเป็นกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อชีวมวลเกิดการสลายตัวทางความร้อนจะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่างๆ ได้แก่ แก๊สที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อนและชาร์

2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง

Zanzi R et al. [4] ได้ศึกษาไพโรไลซิสชีวมวลอย่างรวดเร็วของไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้กับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Free Fall เพื่อศึกษาถึงผลของอัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิ ขนาดของอนุภาค เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา องค์ประกอบของแก๊ส และความว่องไวของถ่านชาร์ การเกิดถ่านชาร์ในปริมาณต่ำแต่มีความว่องไวที่สูง จะพบทั้งในกระบวนการทำให้เป็นก๊าซและการเผาไหม้ ส่วนความว่องไวของถ่านชาร์นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนในอัตราที่สูง ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงเล็ก และเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่อุณหภูมิสูง

Michael Jerry Antal et al. [5] ศึกษากระบวนการคาร์บอไนเซชันแบบรวดเร็ว โดยชีวมวลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ไม้ลูเซน ไม้โอ๊ค ซังข้าวโพด และเปลือกถั่วแม็กคาเดเมีย ทำการคาร์บอไนเซชันแบบรวดเร็วที่ความดัน 1 megapascal ในเครื่องปฏิกรณ์เตาเผาแบบเบดนิ่ง(fixed bed) ซึ่งถูกออกแบบให้เปลวไฟที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนของเบดสวนทางกับอากาศที่ไหลลงมา ทำให้ชีวมวลเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สและถ่านชาร์ที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง โดยใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์น้อยกว่า 30 นาที จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนได้ของถ่านชาร์เป็น 29.5–40% ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้น 59-63% ของคาร์บอนในชีวมวลถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนที่อยู่ในชาร์ และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงเชิงพลังงานคิดเป็น 55.1-66.3%

กฤติยาณี และ กิดาการ.[6] ศึกษาการคาร์บอไนเซชันชีวมวลสำหรับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ศึกษาการคาร์บอไนเซชันของชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส ชานอ้อย และกะลาปาล์ม ที่อุณหภูมิต่ำ (400-450°C) โดยนำไปผ่านการคาร์บอไนเซชันในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ เพื่อศึกษาผลของชนิดชีวมวลที่ใช้และอุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันสูงขึ้น ร้อยละโดยน้ำหนักคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 450°C จะได้ร้อยละโดยน้ำหนักคาร์บอนสูงสุดในชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของสาระเหยจะลดลง ค่าความร้อนต่อน้ำหนักของถ่านชาร์ที่ได้จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากชีวมวลแต่ละชนิด พบว่า กะลาปาล์มเป็นชีวมวลที่ให้ร้อยละโดยน้ำหนักคาร์บอนและค่าความร้อนสูงสุดเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันเดียวกัน

S.R. Teixeira a, A.F.V. Pena a and A.G. Miguel b [7] บราซิลเป็นผู้ผลิตแอลกอฮอล์และน้ำตาลทรายจากอ้อยที่ใหญ่ที่สุดทั่วโลก และมีโครงการด้านพลังงานทดแทนที่หลากหลายสำหรับเชื้อเพลิงรถยนต์ วัตถุประสงค์ของงานนี้คือการเสนอทางเลือกการจัดการกับ Solid residue ที่ผลิตจากกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ กากชานอ้อยถูกเผาไหม้เพื่อผลิตไอน้ำและไฟฟ้าโดย Cogeneration การเผาไหม้ทำให้เกิดขี้เถ้าที่มีปริมาณซิลิคอนออกไซด์สูงเป็นองค์ประกอบหลัก เถ้าที่เกิดจากกการเผาถ่าน(> 30% โดยน้ำหนัก) ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย การทำให้เป็นแท่งเกิดจากการใช้มือกดอัดโดยการใช้ผงถ่านผสมกับแป้งมันสำปะหลัง จากการวิเคราะห์โดยการใช้เครื่อง Thermogravimetric และ differential scanning calorimetry ถูกนำมาใช้อธิบายลักษณะขี้เถ้าและถ่านอัดแท่ง โดยผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเถ้าที่เกิดจากกากชานอ้อยสามารถนำมาใช้ในการผลิตถ่านได้ โดยถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.12 $g.cm^3$ และมีค่าความร้อนเฉลี่ย 25,551 KJ / Kg

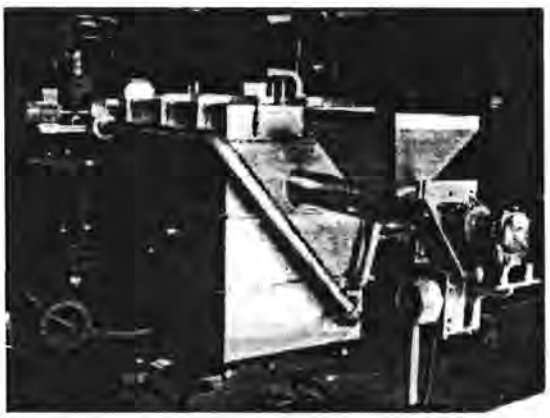
3. เครื่องมือและการดำเนินงานทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

1. เตาเผา TUBULAR FURNACE MODEL CTF 12/75/700/201 ยี่ห้อ CARBOLITE
2. ตู้อบ ยี่ห้อ MMM MODEL ECOCELL
3. เตาเผา MODEL SC 96 AVM ยี่ห้อ MODUTEMP
4. BOMB CALORIMETER MODEL 6200 ยี่ห้อ PARR
5. Tube furnace : type 21100 (0-1,200°C) Thermolyne Corporation, USA
6. CHN Elemental Analyzer รุ่น CHN-2000 ยี่ห้อ LEGO
7. ชุดอุปกรณ์ทดสอบธาตุอาหารในดิน

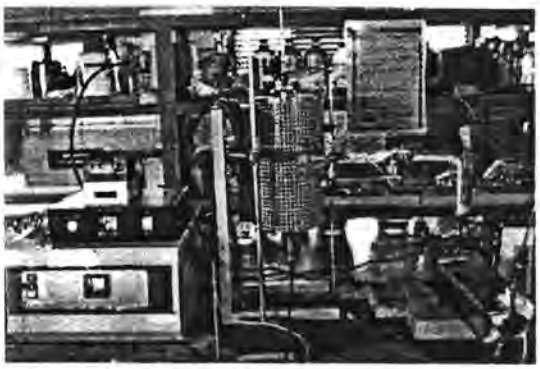
3.2 การทดลอง

1.นำตะกอนเปียก (wet cake) อบไล่ความชื้นด้วยเครื่อง Screwdry ที่กำลังการผลิต 100 กก./ชม. ให้เหลือความชื้นประมาณ 10% (ความชื้นในตะกอนเปียกประมาณ 40%) แสดงดังรูปที่ 3.1

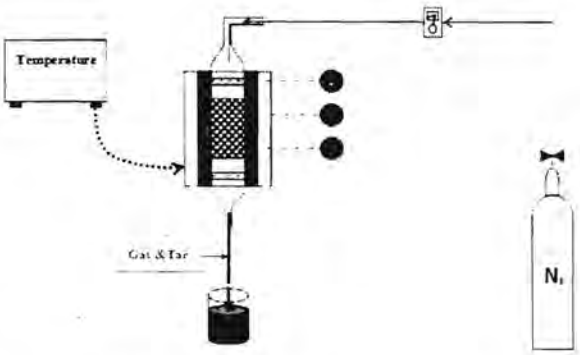


รูปที่ 3.1 เครื่องอบไล่ความชื้นตะกอนเปียก Screwdry กำลังการผลิต 100 กก./ชม.

2. นำผงตะกอนเปียกที่ผ่านการอบมาบดให้มีขนาด 1.18 - 2.36 มม. แล้วคาร์บอไนเซชันในสภาวะที่กำหนด คือ อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน โดยปล่อยให้แก๊สไหลในอัตรา 50 ml/นาที อุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์เครื่องมือคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์เครื่องมือคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก

3. หลังจากทราบสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก จึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ Proximate analysis, Ultimate analysis และ Heating value อีกครั้ง

4. นำตะกอนเปียกเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นถ่านอัดแท่งหลังจากทราบสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนเซชัน โดยผลิตถ่านใน 2 รูปแบบ คือ ถ่านอัดแท่งแบบร้อน และ ถ่านอัดแท่งแบบเย็น

5. ศึกษาลักษณะ ประสิทธิภาพ การลุกจุดติดไฟ และความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ระหว่างถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

6. วิเคราะห์ Proximate analysis, Ultimate analysis และ Heating value ของถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

7. วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็นในเชิงพาณิชย์

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียก

ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และค่าความร้อน เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาคุณสมบัติของตะกอนเปียกก่อนทำการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 3172-3175 และ ASTM D 3286 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียกแบบประมาณและค่าความร้อน

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	7.55 $\pm$ 0.16
เถ้า	15.25 $\pm$ 0.31
สารระเหย	63.87 $\pm$ 0.42
คาร์บอนคงตัว	13.33 $\pm$ 0.04
ค่าความร้อน	13,864.38 KJ/Kg

รูปที่ 4.1 ตะกอนเปียกก่อน – หลังทำการคาร์บอไนเซชัน

ผลของคุณสมบัติทางเคมีของตะกอนเปียกพบว่าคุณภาพอยู่ในระดับต่ำ ตะกอนเปียกมีค่าคาร์บอนคงตัวต่ำ ซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานเพียงร้อยละ 13.33 และค่าความร้อนเพียง 13,864.38 KJ/Kg, จึงมีความเหมาะสมในการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน

4.2 ผลของตัวแปรในการทำคาร์บอไนเซชัน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของตัวแปรต่อการทำคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียกที่สภาวะต่างๆ อันได้แก่ อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากการคาร์บอไนเซชัน คือ ถ่าน ค่าแบบประมาณสมบัติของถ่าน แสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก คือ อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลา 60 นาที โดยสภาวะดังกล่าวมีความชื้น 1.17% สารระเหย 16.57% เถ้า 34.42% และคาร์บอนคงตัว 47.84%

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ตะกอนเปียก

Wet cake						
Temperature (°C)	Time (minutes)	YC (%wt)	M (%wt)	VM(%wt)	ASH (%wt)	FC (%wt)
400	30	45.85	2.13	33.41	29.01	35.45
	45	44.54	2.65	28.30	29.86	39.19
	60	42.22	2.66	26.16	32.12	39.06
	90	40.79	3.32	19.74	30.95	45.99
450	30	42.42	2.02	26.11	29.71	42.16
	45	39.93	2.55	24.00	29.61	43.84
	60	39.81	2.14	18.86	32.99	46.01
	90	37.82	1.95	16.13	34.85	47.07
500	30	41.55	1.89	19.08	40.27	38.76
	45	39.94	1.45	17.13	38.98	42.44
	60	**40.58**	**1.17**	**16.57**	**34.42**	**47.84**
	90	36.55	1.28	15.02	34.99	48.71
550	30	39.13	2.65	14.11	45.99	37.25
	45	38.71	1.86	12.87	41.41	43.86
	60	37.83	1.55	12.15	42.69	43.61
	90	34.53	1.13	11.24	37.85	49.78

4.3 การผลิตถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น

ถ่านอัดแบบร้อน		ถ่านอัดแบบเย็น	
	ตะกอนเปียกจาก อุตสาหกรรมเอทานอล ที่มีความชื้นประมาณ 40%		ตะกอนเปียกจาก อุตสาหกรรมเอทานอล ที่มีความชื้นประมาณ 40%
	นำตะกอนเปียกเข้า สู่เครื่อง Screwdry เพื่ออบไล่ความชื้น		นำตะกอนเปียกเข้า สู่เครื่อง Screwdry เพื่ออบไล่ความชื้น
	ตะกอนเปียกที่ผ่านการอบ ไล่ความชื้นออกแล้ว คงเหลือความชื้น ประมาณ 10%		ทำการบดถ่านและผสม แป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ
	นำตะกอนเปียกเข้าสู่ กระบวนการอัดแท่ง เพื่อให้ได้ขนาด ตามที่ต้องการ		นำตะกอนเปียกเข้าสู่ กระบวนการอัดแท่ง เพื่อให้ได้ขนาด ตามที่ต้องการ
	เมื่อทำการเผาเรียบร้อย แล้วจะได้ถ่านอัดแท่ง แบบอัดร้อนตามที่ต้องการ		สุดท้ายจะได้ ถ่านอัดแท่งแบบเย็น

4.4 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อน ระหว่างถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติระหว่างถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

พารามิเตอร์	ถ่านอัดแท่งแบบร้อน	ถ่านอัดแท่งแบบเย็น
ความชื้น	2.16 ± 0.03%	5.78 ± 0.07%
เถ้า	28.98 ± 0.29%	2.41 ± 0.01%
สารระเหย	26.20 ±	32.80 ±
คาร์บอนคง	42.66 ±	59.01 ±
ซัลเฟอร์	0.110%	0.0534%
ค่าความร้อน	20,257.25 KJ/kg	24,790.21 KJ/kg

ความชื้น : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าความชื้นสูงกว่าถ่านอัดแบบร้อน เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นมีการผสมตัวประสาน คือ แป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้อนุภาคของตะกอนเปียกยึดติดกันดีขึ้น โดยในขั้นตอนการผสมแป้งมันสำปะหลังจะมีการเติมน้ำลงไปในสัดส่วนที่พอเหมาะเพื่อให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถอัดแท่งได้ง่าย

สารระเหย : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าสารระเหยสูงกว่าถ่านอัดแบบร้อน เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นมีการผสมแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดมีน้ำเป็นตัวประสาน เมื่อแป้งมันสำปะหลังได้รับความร้อนจะเกิดการระเหยของน้ำในตัวแป้ง volatile matter บนพื้นผิว รวมทั้งคาร์บอนในตะกอนเปียกจะถูกเผาไหม้กลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็วและระเหยอยู่ในรูป volatile

คาร์บอนคงตัว และ ค่าความร้อน : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแบบร้อนเนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นจะคาร์บอไนซ์ผงตะกอนเปียกที่อุณหภูมิสูง (> 800°C) เกิดการเผาไหม้อย่างเต็มที่จนกลายเป็นผงซาร์ ทำให้สามารถไล่ความชื้นและสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบไปได้มากขึ้น จึงทำให้ % fixed carbon ที่เป็นตัวให้พลังงานได้สูงที่สุดมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น

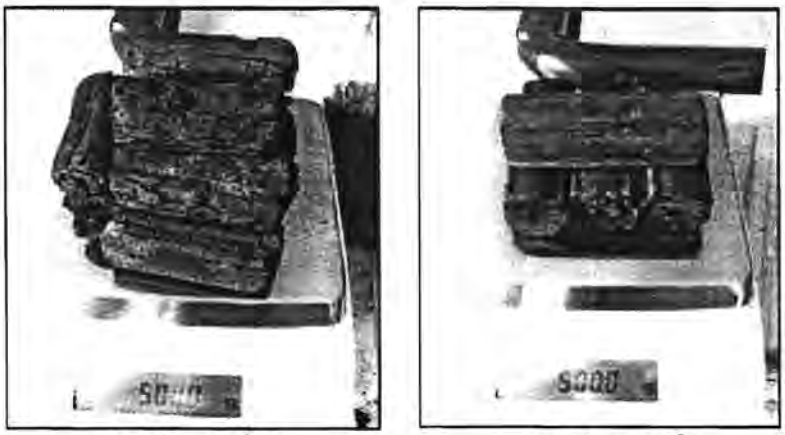
เถ้า : ถ่านอัดแบบร้อนมีเถ้ามากกว่าถ่านอัดแบบเย็นเนื่องจากในช่วงอุณหภูมิต่ำๆจะมีเพียง volatile matter ที่ถูกกำจัด องค์ประกอบต่างๆในตะกอนเปียกยังคงเหลืออยู่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ % ash จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนในตะกอนเปียกจะเกิดปฏิกิริยาและเปลี่ยนไปเป็นขี้เถ้าในที่สุด สำหรับถ่านอัดแบบเย็นแม้จะมีคาร์บอนคงตัวสูงกว่าแต่เกิดขี้เถ้าน้อยกว่า เนื่องจากถ่านอัดแบบเย็นจะประกอบด้วยผงซาร์อนุภาคเล็ก เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็วให้เป็นพลังงานความร้อน จึงเกิดเถ้าน้อย เถ้าที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากตัวประสานที่ผสมลงไปมากกว่า

ซัลเฟอร์ : ถ่านอัดแบบเย็นมีค่าซัลเฟอร์น้อยกว่าถ่านอัดแบบร้อนซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าคาร์บอนคงตัวที่มากกว่า

4.5 ลักษณะการใช้ประโยชน์ของถ่านอัดแท่งทั้ง 2 แบบ

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ความสามารถในการจุดติดไฟ ระยะเวลาการให้ความร้อน และการประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์

4.5.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของถ่านทั้ง 2 แบบ



ถ่านอัดแบบร้อน ถ่านอัดแบบเย็น

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านทั้ง 2 แบบ

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงจำนวนการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่เท่ากัน (500 กรัม) เห็นได้ว่าถ่านอัดแบบร้อน (50 กรัม / ชิ้น) มีจำนวนการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าถ่านอัดแบบเย็น (100 กรัม/ชิ้น)

4.5.2 ความสามารถในการลุกติดไฟ ระยะเวลาการให้ความร้อน และการประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 4.5 สรุปความสามารถของการลุกติดไฟของถ่านทั้ง 2 แบบ

ประเภทถ่าน 500 กรัม	ระยะเวลาลุกติดไฟ	ระยะเวลาให้ความร้อน	ปริมาณเถ้า	คราบเขม่า (บริเวณใต้ภาชนะ)
ถ่านอัดแบบร้อน	~ 5 นาที	30 นาที	มาก	คราบเขม่าปานกลาง
ถ่านอัดแบบเย็น	~ 10 นาที	40-50 นาที	น้อย	ไม่มี

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการทดสอบจริง

ตารางที่ 4.6 สรุปปริมาณธาตุอาหารในเถ้าจากการเผาถ่านทั้ง 2 แบบ

เถ้าจากถ่านชนิดต่าง ๆ	ปริมาณธาตุอาหาร		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ถ่านอัดร้อน	10 (Deficiency)	80 (Surplus)	80 (Surplus)
ถ่านอัดเย็น	10 (Deficiency)	80 (Surplus)	30 (Surplus)

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการทดสอบจริงด้วยชุด kit สำหรับหาปริมาณธาตุอาหารในดิน

ถ่านอัดร้อน : การลุกจุดติดไฟของถ่านใช้เวลาน้อยมีควันเยอะในช่วงแรก เมื่อถ่านแดงแล้วควันน้อยลง ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เกิดคราบเขม่าปานกลาง เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่บอยเลอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณเถ้ามาก จากการทดสอบกับชุดทดสอบ NPK พบว่า เถ้ามีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ ในขณะที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย หากนำมาผสมทำปุ๋ยควรใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยคอกร่วมด้วย หรืออาจใช้ฟางข้าวในการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

ถ่านอัดเย็น : การลุกจุดติดไฟของถ่านใช้เวลานานกว่าถ่านอัดแบบร้อน มีควันในช่วงแรก เมื่อถ่านแดงแล้วไม่มีควัน ให้ความร้อนสูงนานสม่ำเสมอ ไม่แตกประทุ ไม่มีกลิ่น ไม่มีคราบเขม่า เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในร้านอาหารประเภทหมูกระทะ ปิ้งย่าง เป็นต้น ปริมาณเถ้าน้อย จากการทดสอบกับชุดทดสอบ NPK พบว่า เถ้ามีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ ในขณะที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย

4.6 ข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

4.6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก

ข้อมูลเบื้องต้น : ตะกอนเปียกมีความชื้น 40%
: ราคาขายตะกอนเปียก 250 บาท/ตัน
: % คาร์บอไนเซชันปกติที่ 33.33

4.6.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต

ข้อมูลเบื้องต้น : เครื่องอบไล่ความชื้น (Screwdry) 200,000 บาท
กำลังการผลิต 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง
: เครื่องอัดแท่ง (Extruder) 50,000 บาท
กำลังการผลิต 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง

4.6.3 ข้อมูลเบื้องต้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งตะกอนเปียก

ข้อมูลเบื้องต้น : รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกได้ 15,000 กิโลกรัม/เที่ยว
: ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อเที่ยว 13,000 บาท/เที่ยว
: ค่าขนส่งตะกอนเปียก 0.86 บาท/กิโลกรัม

4.6.4 ข้อมูลเบื้องต้นของถ่านอัดแบบร้อนและแบบเย็น

ข้อมูลเบื้องต้น : ถ่านอัดแบบร้อน 0.05 กิโลกรัม/ก้อน
: ถ่านอัดแบบเย็น 0.1 กิโลกรัม/ก้อน

4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อนและแบบเย็น

ค่าใช้จ่ายคงที่ (F)		
1.เงินลงทุนเครื่อง Screw Dry	200,000	บาท
2.เงินลงทุนเครื่องอัดแท่ง	50,000	บาท
รวมเป็นเงิน	**250,000**	**บาท**

ค่าต้นทุนวัตถุดิบ		
ตะกอนเปียก	250	บาท/ตัน
ปริมาณถ่านที่ต้องการต่อวัน	1,000	กิโลกรัม
% คาร์บอไนเซชันปกติ	33.33	%
ต้องการตะกอนเปียกแห้ง	1,333	กิโลกรัม
ตะกอนเปียกมีความชื้น	40	%
ดังนั้น ต้องการตะกอนเปียกจากโรงงาน	**~2,000**	**กิโลกรัม**
ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบ	500	บาท
ถ่านอัดแบบร้อน	0.05	กิโลกรัม/ก้อน
ถ่านอัดแบบเย็น	0.1	กิโลกรัม/ก้อน
ตะกอนเปียก 1,000 กก. ผลิตถ่านอัดแบบร้อน	20,000	ก้อน
ตะกอนเปียก 1,000 กก. ผลิตถ่านอัดแบบเย็น	10,000	ก้อน
อัตราการป้อนเครื่อง SCREWDRY	100	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ทำงานวันละ	8	ชั่วโมง
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบร้อน)	16,000	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบเย็น)	8,000	ก้อน
ต้นทุนถ่านอัดแบบร้อนต่อก้อน	**0.03125**	**บาท/ก้อน**
ต้นทุนถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.0625**	**บาท/ก้อน**

ค่าต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ		
อัตราภาระบรรทุกรถขนส่ง 10 ล้อ	15,000	กิโลกรัม/เที่ยว
ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	13,000	บาท/เที่ยว
ดังนั้น ต้นทุนขนส่งวัตถุดิบ	0.87	บาท/กิโลกรัม
ต้องการตะกอนเปียก	2,000	กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ	1,740	บาท
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบร้อน)	16,000	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบเย็น)	8,000	ก้อน
ต้นทุนขนส่งถ่านอัดแบบร้อนต่อก้อน	**0.11**	**บาท/ก้อน**
ต้นทุนขนส่งถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.2175**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายแปรผัน (v)		
ค่าแรงขั้นต่ำ (สมุทรสงคราม)	172	บาท/วัน
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบร้อน)	16,000	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบเย็น)	8,000	ก้อน
ค่าแรงของถ่านอัดแบบร้อนต่อก้อน	**0.011**	**บาท/ก้อน**
ค่าแรงของถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.0215**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ		
ค่าไฟฟ้า	0.3	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตได้	20	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบร้อน)	16,000	ก้อน
ดังนั้น ค่าไฟฟ้า	240	บาท
ค่าไฟฟ้าของถ่านอัดแบบร้อนต่อก้อน	**0.015**	**บาท/ก้อน**

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ		
ค่าไฟฟ้า	0.1	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตได้	10	ก้อน
ผลิตชิ้นงานวันละ (ถ่านอัดแบบเย็น)	8,000	ก้อน
ดังนั้น ค่าไฟฟ้า	80	บาท
ค่าไฟฟ้าของถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.01**	**บาท/ก้อน**
ค่าน้ำ	0.01	บาท/กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าน้ำ	8	บาท
ค่าน้ำของถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.001**	**บาท/ก้อน**
ค่าแป้งมันสำปะหลัง	0.05	บาท/กิโลกรัม
ดังนั้น ค่าแป้งมันสำปะหลัง	40	บาท
ค่าแป้งมันสำปะหลังของถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.005**	**บาท/ก้อน**

ราคาขายต่อหน่วย (p)		
ราคาขายถ่านอัดแบบร้อนและเย็น	10.5	บาท/กิโลกรัม
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตถ่านอัดแบบเย็น	20	ก้อน
ตะกอนเปียก 1 กก. ผลิตถ่านอัดแบบเย็น	10	ก้อน
ราคาขายถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.525**	**บาท/ก้อน**
ราคาขายถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**1.05**	**บาท/ก้อน**

ต้นทุนแปรผันของถ่านอัดแบบร้อนต่อก้อน (v)		
ค่าแรงต่อหน่วย	0.011	บาท/ก้อน
ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย	0.03125	บาท/ก้อน
ต้นทุนขนส่งตะกอนเปียกต่อหน่วย	0.11	บาท/ก้อน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	0.015	บาท/ก้อน
ต้นทุนแปรผันของถ่านอัดแบบร้อนต่อก้อน	**0.17**	**บาท/ก้อน**

ต้นทุนแปรผันของถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน (v)		
ค่าแรงต่อหน่วย	0.0215	บาท/ก้อน
ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย	0.0625	บาท/ก้อน
ต้นทุนขนส่งตะกอนเปียกต่อหน่วย	0.2175	บาท/ก้อน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	0.01	บาท/ก้อน
ค่าน้ำต่อหน่วย	0.001	บาท/ก้อน
ค่าแป้งมันสำปะหลังต่อหน่วย	0.005	บาท/ก้อน
ต้นทุนแปรผันของถ่านอัดแบบเย็นต่อก้อน	**0.3175**	**บาท/ก้อน**

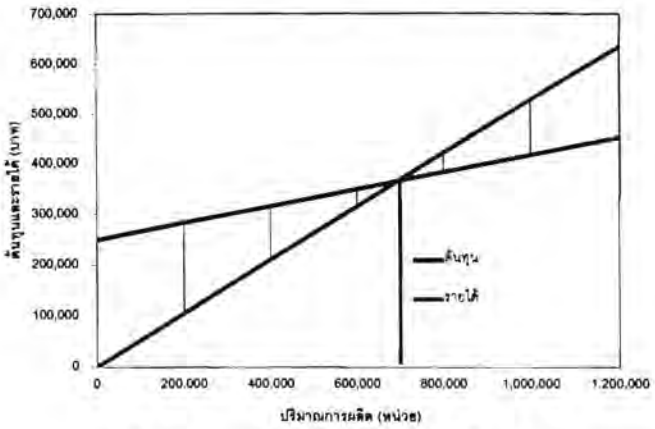
การผลิตชิ้นงานต่อปี (N)		
การทำงาน 1 ปี	250	วัน
ผลิตถ่านอัดแบบร้อน	16,000	ก้อน/วัน
ผลิตถ่านอัดแบบเย็น	8,000	ก้อน/วัน
ดังนั้น ผลิตถ่านอัดแท่งแบบร้อน	**4,000,000**	**ก้อน/ปี**
ดังนั้น ผลิตถ่านอัดแท่งแบบเย็น	**2,000,000**	**ก้อน/ปี**

N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน (ถ่านอัดแบบร้อน)	$\frac{F}{p-v}$
F ต้นทุนคงที่	250,000 บาท
p ราคาขายต่อหน่วย	0.525 บาท/ก้อน
v ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.17 บาท/ก้อน
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	**704,225 ชิ้น**

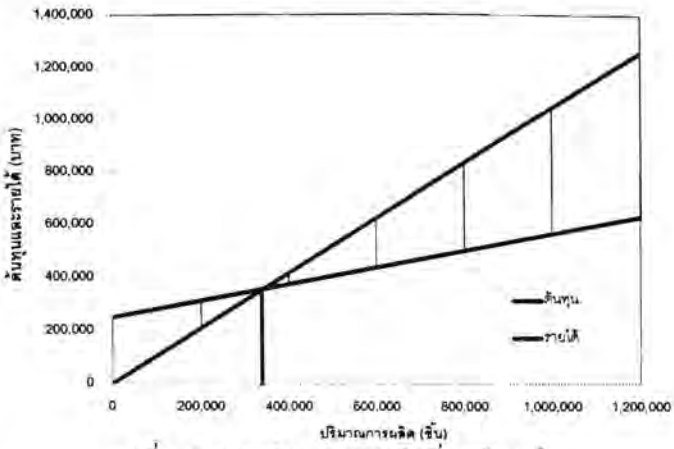
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน (ถ่านอัดแบบเย็น)	$\frac{F}{p-v}$
F ต้นทุนคงที่	250,000 บาท
p ราคาขายต่อหน่วย	1.05 บาท/ก้อน
v ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย	0.3175 บาท/ก้อน
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	**341,297 ชิ้น**

ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(ร้อน)	$\frac{N^*}{N}$
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	704,225 ชิ้น
N จำนวนการผลิตต่อปี	4,000,000 ชิ้น/ปี
ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(ร้อน)	**0.18 ปี (~ 2 เดือน)**

ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(เย็น)	$\frac{N^*}{N}$
N* จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน	341,297 ชิ้น
N จำนวนการผลิตต่อปี	2,000,000 ชิ้น/ปี
ใช้ระยะเวลาผลิตที่จะคุ้มทุน(เย็น)	**0.17 ปี (~2 เดือน)**



รูปที่ 4.4 แสดงจำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแบบร้อน



รูปที่ 4.5 แสดงจำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุนในการผลิตถ่านอัดแบบเย็น

5.สรุปผลการทดลอง

ตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีสีดำ ร่วนซุย กลิ่นคล้ายยีสต์ เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากในแต่ละวันยากแก่การจัดการ การนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่ชัดเจน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อน พบว่า มีคุณภาพต่ำ คือ มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานเพียงร้อยละ 13.33 และค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ คือ 13,864.38 KJ/kg จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน จากนั้นนำไปคาร์บอไนเซชันในสภาวะต่างๆ ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C ในแต่ละช่วงอุณหภูมิทำการทดลองที่ระยะเวลา 30, 45, 60 และ 90 นาที ในภาวะจำกัดออกซิเจน จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียก คือ อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลา 60 นาที โดยสภาวะดังกล่าวมีความชื้น 1.17% สารระเหย 16.57% เถ้า 34.42% และคาร์บอนคงตัว 47.84% เมื่อทราบสภาวะคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมจึงนำตะกอนเปียกมาอัดแบบร้อนและแบบเย็นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน พบว่า ถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 59.01 และค่าความร้อน 24,790.38 KJ/kg ในขณะที่ถ่านอัดแบบร้อนมีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 42.66 และค่าความร้อน 20,257.25 KJ/kg การนำใช้ประโยชน์ถ่านอัดแบบเย็นให้ความร้อนสูงนานสม่ำเสมอ ไม่แตกประทุ ไม่มีกลิ่น ไม่มีคราบเขม่า เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในร้านอาหารประเภทหมูกระทะ ปิ้งย่าง เป็นต้น ถ่านอัดแบบร้อน ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เกิดคราบเขม่าปานกลาง ปริมาณเถ้ามากเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่บอยเลอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับเถ้าของถ่านทั้ง 2 แบบ มีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสมากเกินพอ แต่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย หากนำมาผสมทำปุ๋ยควรใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยคอกร่วมด้วย หรืออาจใช้ฟางข้าวในการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว สำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ถ่านอัดแบบร้อนมีต้นทุน 0.17 บาท/ก้อน ราคาขาย 0.525 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 704,225 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.18 ปี ถ่านอัดแบบเย็นมีต้นทุน 0.3175 บาท/ก้อน ราคาขาย 1.05 บาท/ก้อน จำนวนการผลิตที่จุดคุ้มทุน 338,524 ชิ้น ระยะเวลาคืนทุน 0.17 ปี โดยอ้างอิงจากต้นทุนคงที่ 250,000 บาท ราคาขายถ่านทั้ง 2 แบบราคา 10.5 บาท/กิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุนคิดเทียบกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร

เอกสารอ้างอิง

[1] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551. โรงงานที่ดำเนินการผลิตและที่อยู่ระหว่างก่อสร้างโรงงานเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th.

[2] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th.

[3] ทรัพย์ทิพย์,บริษัท.การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (มันเส้น).ชนิด.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.sapthip.com/product.php.

[4] Zanzi R., Sjostrom K. and Bjornbom E. 1996. Rapid High-Temperature Pyrolysis of Biomass in a Free-fall Reactor. Fuel. ฉบับที่ 75, เล่มที่ 5 : 545-550.

[5] Michael Jerry Antal., Jr., Kazubiro Mocbidzuki and Lloyd S. Parades. 2003.Flash carbonization of bicmass. Ind. Eng. Chem. ฉบับที่ 42 : 3690-3699.

[6] กฤติยาณี รักสนิท และ กิดาการ แสงเดือน.2549. การทำคาร์บอไนเซชันชีวมวลสำหรับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] S.R.Teixeira a, A.F.V. Pena a and A.G. Miguel b. Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. Waste management. ฉบับที่ 30 พิมพ์ครั้งที่ 5 (พฤษภาคม 2010) : 804-807

1. **ชื่อ - นามสกุล** (ภาษาไทย) นางสาว วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม

(ภาษาอังกฤษ) Mrs. Walairat Uttamaprakrom

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3 9099 0 0415 24 4

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** นักวิจัย P7

4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 02-2188089 โทรสาร 02-2547579

E-mail: walairat@eri.chula.ac.th

5. **ประวัติการศึกษา**

ปริญญาโท Master of Science

สาขาวิชา Environmental Science

Chulalongkorn University, Thailand

ปริญญาตรี Bachelor of Science

สาขาวิชา Environmental Health Science

Mahidol University, Thailand

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ** (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) มีความเชี่ยวชาญด้านพลังงานใหม่การอนุรักษ์พลังงานและบริหารของเสียเป็นพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม การศึกษาพลังงานชีวมวลและสิ่งแวดล้อม

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

7.1 **บทความ** :

วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม (2551), กรณีศึกษาศักยภาพและสถานภาพปัจจุบันของเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย วารสารพลังงานปีที่ 9 .สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม (2552), การใช้ประโยชน์ของตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลเป็นชีวมวลอัดแท่ง วารสารวิจัยพลังงานปีที่ 6 ฉบับที่ 2 .สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

7.2 **งานวิจัย** :

โครงการวิจัยที่สำเร็จแล้ว :

- การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสของยางในรถจักรยานและจักรยานยนต์
- การผลิตถ่านไร้ควันจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอล

โครงการวิจัยที่กำลังดำเนินการ :

- โครงการพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยชุมชนโดยการหมักแบบแห้งทุนวิจัย สนพ.

7.3 โครงการวิจัยที่เข้าร่วม :

ปี	โครงการ	เจ้าของโครงการ	ตำแหน่ง	หน้าที่/ ลักษณะงาน
2551 (ดำเนินการแล้วเสร็จสิ้นในปีที่ 1)	โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพโรงงานอุตสาหกรรม	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นักวิจัย	เจ้าหน้าที่ตรวจวิเคราะห์โครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาแก่โครงการ
2552 (ดำเนินการแล้วเสร็จสิ้นในปีที่ 2)	โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพโรงงานอุตสาหกรรม	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นักวิจัย	เจ้าหน้าที่ตรวจวิเคราะห์โครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาแก่โครงการ
2552 (อยู่ระหว่างดำเนินการ)	โครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นักวิจัย	เจ้าหน้าที่ตรวจวิเคราะห์โครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาแก่โครงการ
2552 (ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้วในระยะที่ 1)	โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อจัดการของเสียเศษอาหารจากโรงแรมและสถานประกอบการต่างๆ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นักวิจัย	เจ้าหน้าที่ตรวจวิเคราะห์โครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาแก่โครงการ
2553-2554 (อยู่ระหว่างดำเนินการ)	โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อจัดการของเสียเศษอาหารจากโรงแรมและสถานประกอบการต่างๆ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นักวิจัย	เจ้าหน้าที่ตรวจวิเคราะห์โครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาแก่โครงการ.
2553 (อยู่ระหว่างดำเนินการ)	โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับขยะเศษอาหารในกรมราชทัณฑ์	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน	นักวิจัย	เจ้าหน้าที่ตรวจวิเคราะห์โครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาแก่โครงการ