

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ศักยภาพของลำต้นข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิงชีว

ผู้รับผิดชอบโครงการ
ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ
ผศ.ดร.ศรายุทธ ้วยวุฒิ
นายบงกช ประสิทธิ์
นายวิกานต์ วันสูงเนิน
นายสมานชัย นุกุลเสาวลักษณ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553



หน่วยวิจัยพลังงานชุมชน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ระเบียบวิจัย.....	2
แผนการดำเนินงานวิจัย.....	3
งบประมาณ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
เชื้อเพลิง.....	4
เชื้อเพลิงเขียว.....	5
เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	6
ข้าวโพด.....	7
เครื่องมืออัดแท่งเชื้อเพลิง.....	13
คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง.....	14
การวิเคราะห์ที่ใช้ในการจำแนกชนิดของเชื้อเพลิง.....	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	21
วัตถุดิบผลิตเชื้อเพลิง.....	21
เครื่องมือและการพัฒนาเครื่องมือ.....	21
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	28
ผลการสำรวจการใช้เชื้อเพลิงและความต้องการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	28
ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล.....	30
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	30
รายละเอียดคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัด แท่งจากลำต้นข้าวโพดที่ผลิตได้.....	33
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	34
สรุปผล.....	34
ข้อเสนอแนะ.....	34
บรรณานุกรม.....	35
ภาคผนวก.....	38

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงข้อมูลทางการเกษตรเบื้องต้น.....	28
2 แสดงข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงประจำวัน.....	28
3 แสดงข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงเขียว.....	30
4 แสดงข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงเขียว.....	31
5 แสดงข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงเขียว.....	31
6 แสดงข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเขียว.....	32
7 แสดงค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง.....	32
8 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากลำต้น ข้าวโพด.....	33

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงรากข้าวโพด.....	8
2 แสดงลำต้นข้าวโพด.....	8
3 แสดงโครงสร้างช่อดอกตัวผู้และตัวเมีย.....	10
4 แสดงการเก็บเกี่ยวข้าวโพดและการนำไปใช้.....	12
5 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว.....	13
6 แผนผังขั้นตอนการวิจัย.....	21
7 สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....	22
8 เครื่องสืบเศษไม้.....	23
9 เครื่องอัดแบบเอ็กซ์ทราซัน.....	24
10 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์.....	25
11 ระยะเวลาในการใช้เตาต่อครั้ง.....	29
12 ความถี่ในการใช้เตาต่อครั้ง.....	29
13 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง.....	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเกษตรกรรมในประเทศไทยจัดว่าเป็นอันดับต้นๆของโลกที่สามารถผลิตเพื่อ เป็นอาหารให้กับ ประชากรในประเทศและส่งออกไปจำหน่ายทั้งในรูปของสินค้าทางการเกษตรและการแปรรูป จึงต้องใช้ เทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาจัดการในด้านการผลิตเพื่อให้ทันกับความต้องการของตลาดทำให้เกษตรกรต้อง พึ่งพาพลังงานฟอสซิล (Fossil) ทั้งน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติการผลิตที่แข่งขันกับเวลาดังกล่าวทำให้เกษตรกร สนใจเพียงผลผลิตที่สามารถนำไปขายได้โดยไม่ได้สนใจ ที่จะพัฒนาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นผล พลอยได้ที่มีเป็นจำนวนมาก

จากสถิติการทำเกษตรในประเทศไทย [1] พบว่าข้าวเปลือกมีพื้นที่ปลูกประมาณ 60 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้คือ ฟางข้าวและแกลบ อ้อยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 6 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรคือ ชานอ้อยและยอดอ้อย และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีพื้นที่ปลูกประมาณ 6 ล้านไร่ มีวัสดุเหลือใช้ ทางการเกษตรคือ ชังข้าวโพดและลำต้น สวนยางพารามีพื้นที่ปลูกประมาณ 12 ล้านไร่ มีเศษวัสดุที่เหลือใช้ ทางการเกษตรคือ ชี้อ้อย ปีกไม้ ปลายไม้และรากไม้ ปาล์มน้ำมันมีพื้นที่ปลูกประมาณ 1.5 – 2 ล้านไร่ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ ทางปาล์ม ทะลายเปล่า กะลาปาล์มและลำต้น เป็นต้น

จากคำแนะนำวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ [2] ได้ให้คำแนะนำเกษตรกรเกี่ยวกับการปลูกข้าวโพด ว่า การปลูกข้าวโพดที่จะได้ผลผลิตที่ดีนั้นจะต้องมีระยะห่างระหว่างต้น 75 x 75 เซนติเมตร โดยมีวิธีการ ปลูกคือ ให้หยอดเมล็ดข้าวโพด 3 เมล็ดต่อหนึ่งหลุมและถอนออก 1 ต้นจึงทำให้ใน 1 ไร่ เราจะมี ต้น ข้าวโพดอยู่ประมาณ 8500 ต้น เมื่อรวมกับพื้นที่ทั้งหมดในการเพาะปลูกทั้งประเทศเราจะมีลำต้นข้าวโพด เหลือทิ้งในแต่ละปีจำนวนมากถึง 51,000 ล้านต้น เมื่อนำลำต้นข้าวโพดมาซึ่งน้ำหนักจะมีน้ำหนักราว 75 กรัมต่อหนึ่งต้น ดังนั้นในแต่ละปีเราจะมีปริมาณลำต้นข้าวโพดเหลือทิ้งคิดเป็น 4,000,000 ตันต่อปี เมื่อ นำมาแปลงเป็นค่าพลังงานโดยคิดจากศักยภาพของลำต้นข้าวโพดที่ 0.82 [3] จะได้ปริมาณลำต้น ข้าวโพด 3.28 ล้านตันต่อปี ลำต้นข้าวโพดมีค่าความร้อนต่ำที่ 9.8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อนำมา เปลี่ยนเป็นค่าศักยภาพพลังงานจะมีค่าเป็น 39,320 เทสลาจูล เรายังไม่ได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ ในการที่จะนำ ลำต้นข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานอย่างแท้จริง

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมกับมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อมได้ร่วมมือ กันสำรวจวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรในโครงการ โครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีว มวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับมหภาค) จำนวน 16 จังหวัดภาคกลาง พบว่า จำนวนลำต้นข้าวโพด

หลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรแล้ว เกือบทั้งหมดของลำต้นข้าวโพด ได้ถูกปล่อยทิ้งไว้ในแปลงเกษตรโดยที่เกษตรกรไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์อะไรเลย

จะเห็นได้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่กล่าวมาข้างต้นในพืชแต่ละชนิดสามารถนำกลับมาเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพในรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของการนำไปใช้งานและ ความหนาแน่นในภูมิภาค มีเพียงแต่ลำต้นข้าวโพดเท่านั้นที่ยังไม่เคยมีรายงานว่านำไปใช้ประโยชน์ใดๆเลยในด้านพลังงาน ถ้าเราดูจากรายงานของของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กล่าวถึงจำนวนพื้นที่การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใน 40 จังหวัดมีพื้นที่การเพาะปลูกทั้งหมด 6,081,656 ไร่ มีความหนาแน่นอยู่ในบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงภาคกลางบางส่วน เกษตรกรจะปลูกข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดขายเพียงอย่างเดียว โดยเมื่อเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดแล้วเกษตรกรปล่อยให้ลำต้นข้าวโพดแห้งตายอยู่ในบริเวณแปลงเพาะปลูก รอจนถึงฤดูกาลเพาะปลูกใหม่เกษตรกรจึงมาไถกลบต้นข้าวโพดนี้อีกครั้งหนึ่ง

การวิจัยนี้จึงเป็นการที่จะศึกษาและตั้งศักยภาพของลำต้นข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน และยังสามารเพิ่มมูลค่าให้ลำต้นข้าวโพด รวมถึงยังเป็นแนวทางส่งเสริมเกษตรกรให้มีรายได้เพิ่มขึ้นจากการนำลำต้นข้าวโพดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำลำต้นข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อหาความเหมาะสมในการนำลำต้นข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจและการยอมรับจากการนำลำต้นข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทดสอบหาค่าความร้อนของลำต้นข้าวโพด
3. ผลิตเชื้อเพลิงชีวด้วยเทคนิคอัดแท่ง ด้วยเครื่องอัดเชื้อเพลิงเขียวขนาด 2 แรงม้า
4. ทดสอบเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตได้
5. สสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้
6. วิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้
7. สรุปผลการศึกษา
8. เผยแพร่ สรุป และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	งบประมาณปี 2552												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาข้อมูล สํารวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง													
2. ทดสอบหาค่าความร้อนของลำต้นข้าวโพด													
3. ผลิตเชื้อเพลิงชีวด้วยเทคนิคพิเศษ													
4. ทดสอบเชื้อเพลิงชีวที่ผลิตได้													
5. สํารวจความพึงพอใจของผู้ใช้													
6. วิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้													
7. สรุปผลการศึกษา													
8. เผยแพร่ สรุป และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์													

1.5 งบประมาณ

รายการ	งวดที่ 1 (บาท)	งวดที่ 2 (บาท)	งวดที่ 3 (บาท)	รวม (บาท)
1. หมวดค่าตอบแทน				
1.1 ค่าตอบแทนผู้ปฏิบัติงานให้ราชการ (4 คน x 200 x 30 วัน)	12,000	12,000		24,000
2. หมวดค่าใช้จ่าย				
2.1 ค่าจ้างเหมาปรับปรุงเทคโนโลยีเครื่องอัดเชื้อเพลิงชีว	80,000	20,000		100,000
2.2 ค่าเดินทาง เบี้ยเลี้ยง และที่พัก	3,000	20,000	7,000	30,000
2.3 ค่าใช้จ่ายในการจัดฝึกอบรมฯ		26,000		26,000
2.4 ค่าจ้างเหมาจัดทำรายงานสรุปโครงการฉบับสมบูรณ์		5,000		5,000
2.5 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ			10,000	10,000
3. หมวดค่าวัสดุ				
3.1 วัสดุสำหรับวิจัย	15,000	9,000	6,000	30,000
3.2 ค่าวัสดุสำนักงาน	5,000			5,000
รวมงบประมาณโครงการ	115,000	92,000	23,000	230,000

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากสภาพความเป็นจริง เกี่ยวกับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของประชาชนในชนบทยังนิยมใช้ถ่าน และฟืน เป็นเชื้อเพลิงภาคครัวเรือน ซึ่งกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานได้รายงานในปี 2550 ประชาชนมีการใช้ถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2,932 กิโลตันน้ำมันดิบ และใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2,737 กิโลตันน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 30.75 และ 27.81 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในครัวเรือน ประกอบกับพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับฟืนและถ่านได้ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 33 ของพื้นที่ในประเทศ [4]

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานทดแทนอื่นๆ มาใช้ประโยชน์เป็นสิ่งจำเป็นและเร่งด่วน แต่เนื่องจากประเทศไทยยังเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร เช่น ลำต้นข้าวโพดหรือวัชพืชต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทนฟืนและถ่าน โดยเฉพาะประชาชนในชนบทจะทำให้มีเชื้อเพลิงใช้ในราคาถูกลง และเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดรายจ่ายทางด้านพลังงาน รวมถึงในระดับมหภาคยังสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน อันเนื่องมาจากขบวนการผลิตในภาคการเกษตรลงได้

2.1 เชื้อเพลิง [5]

เชื้อเพลิง หมายถึง วัสดุที่มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน เมื่อเผาไหม้จะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนทำให้เกิดพลังงานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เชื้อเพลิงบางอย่างสามารถนำมาใช้งานได้ทันที บางอย่างต้องนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เชื้อเพลิงที่นำมาใช้กันอยู่ทั่วไปทั้งเพื่อ การคมนาคม การอุตสาหกรรม และการนำมาใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ สามารถแยกตามลักษณะได้ 3 ชนิด คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง (Solid Fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนจะเกิดการเผาไหม้ให้พลังงานความร้อน นักวิทยาศาสตร์สันนิษฐานว่ามนุษย์รู้จักการนำเชื้อเพลิงแข็งมาใช้ก่อนเชื้อเพลิงชนิดอื่น เพราะเป็นเชื้อเพลิงที่นำมาใช้งานได้ทันที ไม่ต้องนำมาผ่านกรรมวิธีในการปรับปรุง หรือแปรสภาพก่อนใช้งาน

เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว (Liquid Fuel) เชื้อเพลิงชนิดนี้ได้จากน้ำมันดิบหรือน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันดิบเกิดจากซากพืช ซากสัตว์ที่ตายทับถมกันเป็นเวลาด้านปี มีชั้นหินปกคลุม ชั้นน้ำมันดิบอยู่ น้ำมันดิบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดรวมกัน โดยมีองค์ประกอบทั่วไป ดังนี้คือ คาร์บอนร้อยละ

ละ 83-87 ไฮโดรเจนร้อยละ 11-15 ออกซิเจนร้อยละ 5 กำมะถัน ร้อยละ 6 ไนโตรเจนร้อยละ 0.05 ในการนำน้ำมันดิบหรือน้ำมันปิโตรเลียมมาใช้ต้องผ่านกรรมวิธีการกลั่น

เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ (Gas Fuel) เชื้อเพลิงก๊าซ หมายถึง ก๊าซทุกชนิดที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดการเผาไหม้ทำให้ได้พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เชื้อเพลิงก๊าซส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชื้อเพลิงก๊าซที่สำคัญคือ

1. ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)
2. ก๊าซอะเซทิลีน (Acetylene Gas)
3. ก๊าซเตาสูง (Blast Furnace Gas)

2.2 เชื้อเพลิงเขียว [6]

แท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้พัฒนาขึ้นมาจากแนวคิดการอัดถ่านเขียวในประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ. 2523 ซึ่งก็เริ่มโดย นายคอนซาโล คาแทน และคณะที่นำเอาเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์ แล้วจึงอัดเป็นแท่ง ส่วนในประเทศไทย แท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้พัฒนาขึ้นโดยนักวิชาการจากกรมป่าไม้ ร่วมกับกองทุนเพื่อส่งเสริม การอนุรักษ์พลังงาน แท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้ได้จากการอัดแท่ง โดยไม่ใช้ความร้อน จากเศษวัชพืช หรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรต่าง ๆ เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย ผักตบชวา ชุยมะพร้าว มาอัดเป็นแท่ง โดยอาศัย ความเหนียวของยาง ในวัสดุเหล่านั้นเป็นตัวประสานและความชื้นที่พอเหมาะ จะเห็นได้ว่าวิธีทำแท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้ไม่ยาก เพียงรวบรวมเศษวัสดุที่จะทำเชื้อเพลิงมาดับเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอัดในเครื่องอัดให้เป็นแท่ง ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้อัด เช่น หากใช้ ชานอ้อยเน่าเปื่อยอย่างเดียว จะให้ค่าความร้อนประมาณ 3,100 แคลอรีต่อกรัม หากใช้ชานอ้อย เน่าเปื่อยผสมกับ ชุยมะพร้าว ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จะให้ค่าความร้อนประมาณ 3,000 แคลอรีต่อกรัม ในขณะที่ไม้ฟืน มะขามเทศ ให้ ค่าความร้อน 4,721 แคลอรีต่อกรัม หรือ เมื่อนำเชื้อเพลิงเขียว ไปใช้ต้มน้ำ น้ำจะเดือดภายในเวลาเฉลี่ย 18-34 นาที ในขณะที่ฟืน ไม้มะขามเทศ ใช้เวลา 28 นาที ถ่านไม้มะขามเทศใช้เวลา 36 นาที

ประลอง ดำรงค์ไทย [7] กล่าวไว้ว่า แท่งเชื้อเพลิงเขียวคือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการ อัดแท่ง (โดยไม่ใช้ความร้อน) จากวัสดุชีวมวลต่อเศษวัชพืชต่างๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคอุตสาหกรรม การเกษตร เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย ผักตบชวาหรือวัสดุอื่นๆ มาอัดเป็นแท่งโดยอาศัยความเหนียวของยางในวัสดุเหล่านั้นเป็นตัวเชื่อมประสานและมีความชื้นพอดี เมื่ออัดออกมาเป็นแท่งแล้วก็จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ประโยชน์แทนฟืน ถ่าน หรือแก๊สหุงต้มได้เป็นอย่างดี

2.3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง [8]

การอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งการอัดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือ การอัดแท่ง อยู่ที่วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน เช่น ในครัวเรือน หรือในทางอุตสาหกรรม ในกรรมวิธีการอัดแท่งนั้นเป็นผลมาจากความเหมาะสมของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นด้านหลัก

วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของการอัดได้เป็น 3 วิธี คร่าวๆดังนี้

1. การอัดสด เป็นการอัดเชื้อเพลิงโดยใช้วัสดุที่ยังมีความสดอยู่ เช่น การอัดสดพืชที่มีสารเหนียวประเภทเพคติน (Pectin) หรือเจลาติน (Gelatin) รวมถึงสารเหนียวประเภทอื่นๆ ที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้พืชนั้นสามารถจับตัวกันเป็นแท่งได้ การอัดสดพืชที่ไม่มี สารเหนียวในตัวเองแต่นำไปผสมกับพืชชนิดอื่นที่มีสารเหนียว เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแทนพืชหลักการอัดพืชสดกับตัวประสานโดยตรง เช่น แป้งมัน กากน้ำตาล ผสมลงไปเพื่อทำหน้าที่เชื่อมประสานให้สามารถอัดเป็นแท่งได้

2. การอัดหมัก เป็นการอัดพืชซึ่งถูกนำไปหมักเพื่อให้สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ การอัดหมักสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- การอัดหมักพอให้ชุ่มน้ำ เป็นการหมักให้พืชเกิดการเน่าเปื่อยในระยะเริ่มต้น เพื่อให้พืชเกิดการเน่าเปื่อยจนได้ที่ ก่อนจะนำไปอัดทำให้พืชที่ถูกหมักสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ง่ายขึ้น

- การอัดหมักโดยการนำพืชที่หมักแล้วไปผสมกับตัวเชื่อมประสานจากภายนอก เพื่อทำหน้าที่เชื่อมประสานให้สามารถอัดเป็นแท่งได้

3. การอัดแห้งโดยใช้ตัวเชื่อมประสาน ซึ่งวัสดุที่แห้งนั้นสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้โดยการนำมาผสมกับตัวเชื่อมประสาน ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมประสานให้สามารถอัดเป็นแท่งได้

การอัดแท่งในวงการอุตสาหกรรม นิยมการใช้วิธีการอัดเกลียวสกรูเนื่องจากสะดวก โดยที่การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดเกลียวสกรูสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ

1. การอัดแห้งและใช้ความร้อน เป็นการอัดซึ่งมีการคิดค้นในประเทศอเมริกา พบว่าเครื่องอัดในลักษณะดังกล่าวจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เกลียวหรือ สกรู ครอบอกได และระบบการให้ความร้อนต่อครอบอกได รวมไปถึงระบบการระบายความร้อนให้กับชุดเฟือง เพื่อให้การอัดเชื้อเพลิงในลักษณะดังกล่าวสามารถควบคุมความชื้นได้ โดยที่ความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึง 12 และวัสดุจะต้องผ่านการบดมาแล้ว ถ้าความชื้นสูงหรือต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะทำให้ การอัดแท่งไม่ได้ผลเท่าที่ควร การอัดแห้งจะใช้แรงอัดที่สูงประมาณ 11,000 ถึง 17,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2. การอัดแท่งแบบเปียกโดยไม่ใช้ความร้อน เป็นการอัดที่สามารถทำได้กับวัตถุดิบ ที่ยังคงมีความสดและวัสดุแห้ง เครื่องอัดแบบต่อเนื่องดังกล่าวประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ คือ เกลียว ครอบอกได และครอบอกได ซึ่งระบบดังกล่าวนี้จะแตกต่างจากการอัดแห้งและ ใช้ความร้อน คือไม่มีทั้งระบบให้ความร้อนและระบายความร้อน โดยในการผลิตนั้น วัตถุดิบที่จะถูกนำไปอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง

จะผ่านกระบวนการลดขนาดให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยไม่จำเป็นต้องลดความชื้นหรือให้เหลือความชื้นที่พอดี การอัดเปียกจะใช้แรงอัดต่ำกว่าการอัดแห้งและใช้ความร้อนเป็นอย่างมาก การอัดสามารถเลือกใช้วัสดุได้อย่างมากมาย แต่การอัดเปียกจะมีข้อเสียตรงที่เมื่ออัดแล้วจะต้องนำไปอบแห้งหรือตากแดดจนกว่าเชื้อเพลิงที่อัดได้จะแห้ง ดังนั้นความชื้นที่เหมาะสมจะมีความสำคัญต่อการอัดเปียกเพราะจะทำให้ใช้เวลาในการตากน้อยลง และตัวเชื่อมประสานจากภายนอกจะเป็นสิ่งที่ช่วยให้การอัดเปียกมีการเกาะติดกันดี เป็นอย่างดี

ในขบวนการอัดแท่งตามที่น่าเสนอข้างต้น จะมีลักษณะเด่นและด้อยที่แตกต่างกัน เช่น การอัดสดจะอาศัยความสดของวัสดุที่ใช้ทำเชื้อเพลิงมาอัดเลยซึ่งสารเหนียวต่างๆในตัววัสดุจะเป็นตัวประสานได้ดี ทำให้ก้อนเชื้อเพลิงจับตัวกันดีเป็นปกติแต่ความหนาแน่นในการอัดตัวของวัสดุจะทำให้เป็นก้อน อยางการอัดในแบบหมักไม่ได้เนื่องจากการอัดหมักได้มีการนำวัสดุไปหมักมาก่อนแล้วเมื่อนำมาอัดการคืนตัวจึงมีน้อยกว่าการอัดสด ส่วนการอัดแห้งจะต้องใช้ตัวประสานจากภายนอกมาช่วยยึดวัสดุรวมถึงแรงอัดจะต้องสูงมากเพราะวัสดุที่ใช้จะมีการคืนตัวสูง

2.4 ข้าวโพด [9] [10]

ข้าวโพดเป็นพืชในเผ่า (tribe) Maydeae ซึ่งลักษณะสำคัญของพืชในเผ่านี้คือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) ข้าวโพดซึ่งเป็นพืชปลูกเพียงชนิดเดียวในเผ่านี้จะมีช่อดอกตัวผู้ทางปลายยอด และมีช่อดอกตัวเมียอยู่บนแกน ซึ่งแตกต่างทางด้านข้างของลำต้น การที่ดอกอยู่แยกกันเช่นนี้อีกทั้งการที่ดอกตัวผู้โปรยละอองเกสรก่อนที่ตัวรับ (stigma) ของดอกตัวเมียแก่พร้อมจะผสมทำให้ดอกตัวเมียส่วนใหญ่จะถูกผสมข้ามต้น

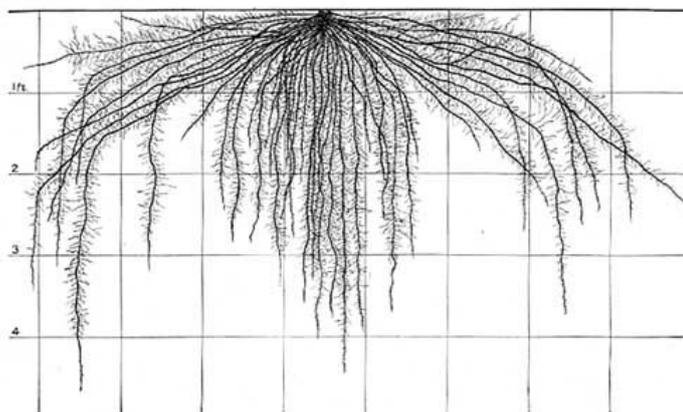
ข้าวโพดแบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้หลายกลุ่ม ตามความแตกต่างในลักษณะของเมล็ด คือ เป็นข้าวโพดไร่ชนิดหัวบุบ (dent corn) ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง (flint corn) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) ข้าวโพดแป้ง (flour corn) และข้าวโพดป่า (pod corn)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพด

1. ราก (Roots)

ข้าวโพดมีรากระบบรากฝอย (fibrous root system) เมื่อข้าวโพดเริ่มงอกรากที่งอกออกจากเมล็ดโดยตรงจะมี 4 ราก หรืออาจจะมีมากกว่า 4 ราก รากพวกนี้จัดเป็นรากชั่วคราว (seminal roots) เมื่อข้าวโพดงอกได้ 7-10 วัน รากพิเศษ (adventitious roots) จะงอกออกจากข้อของลำต้นส่วนที่อยู่ใต้ระดับดินเรียก crown roots รากพวกนี้จัดเป็นรากถาวร (permanent root) ซึ่งสามารถแผ่ออกไปโดยรอบได้กว้างถึง 1 เมตร และลึกลงในแนวดิ่งยาวมาก อาจถึง 3 เมตร

รากพิเศษที่มีเส้นใหญ่และแตกจากข้อล่าง ๆ ของลำต้นที่อยู่เหนือดิน จะทำหน้าที่ช่วยค้ำ
 จุนลำต้น รากพวกนี้เรียกว่า prop root, aerial root หรือ brace root

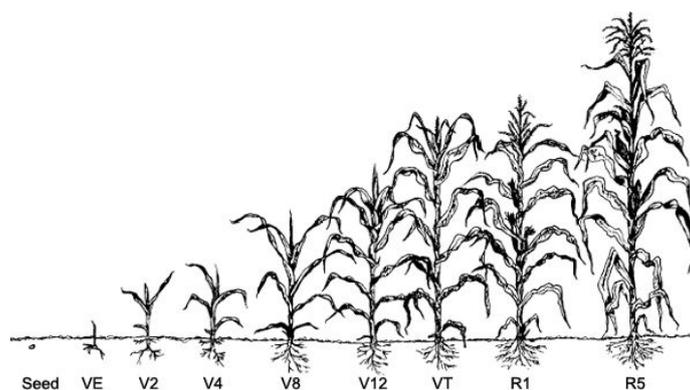


รูปที่ 1 แสดงรากข้าวโพด

ที่มา : JOHN E. WEAVER (1926.)

2. ลำต้น (Stem, stalk)

ต้นข้าวโพดมีลักษณะแข็งและตัน ไม่มีกิ่งก้านด้านข้าง ส่วนใหญ่มักจะไม่มีการแตกกอ ยกเว้นข้าวโพดบางพันธุ์ที่อาจแตกกอได้ 3-4 ต้น ลำต้นจะประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) สลับกัน ปล้องที่อยู่ด้านล่าง ๆ จะใหญ่และสั้นกว่า ปล้องที่อยู่เหนือขึ้นมาบนปล้องจะมีร่องลึก (groove) ซึ่งเกิดจากรอยกดของตาที่มุมใบ ในขณะที่ปล้องกำลังอยู่ในระยะ ยึดตัว ปลายยอดสุดของลำต้นจะเป็นที่เกิดของช่อดอกตัวผู้ ความสูงของลำต้นข้าวโพดจะแปร ไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก



รูปที่ 2 แสดงลำต้นข้าวโพด

ที่มา : JOHN E. WEAVER (1926.)

3. ใบ (Leaf)

ข้าวโพดจะมีใบระหว่าง 8-21 ใบ ซึ่งใบจะเกิดที่ข้อของลำต้นอย่างสลับข้อละ 1 ใบ พันธุ์ที่มีต้นเตี้ยและอายุสั้นจะมีใบน้อยกว่าพันธุ์ที่มีต้นสูงและอายุยาว ใบประกอบด้วยกาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) ฐานของกาบใบจะเรียบและหุ้มรอบข้อของลำต้น เนื้อขึ้นมากาบใบจะแยกออก และห่อหุ้มปล้องของลำต้น และอยู่แนบชิดกับปล้อง

แผ่นใบจะมีลักษณะแบนและยาวเรียว มีเส้นใบแบบขนาน ที่ผิวด้านบนของ แผ่นใบจะมีขนขึ้นปกคลุม ซึ่งเมื่อลูบจะรู้สึกสากมือ ที่รอยต่อระหว่างแผ่นใบและกาบใบ (leaf collar) จะมีเยื่อเกี่ยวพัน (ligule) ซึ่งเป็นเยื่อบาง ๆ ใส และมีหูใบ (auricle) ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่สามเหลี่ยมที่ฐาน 2 ข้างของแผ่นใบ

4. ช่อดอกตัวผู้ (Male inflorescence, staminate inflorescence)

ข้าวโพดมีช่อดอกตัวผู้ที่ส่วนยอดของลำต้น เป็นช่อแบบ panicle ซึ่งเรียกว่า tassel ดอก (spikelet) จะเกิดเป็นคู่โดยดอกหนึ่งจะไม่มีก้านดอก (sessile spikelet) และอีกดอกมี ก้านดอก (pedicelled spikelet) ดอกหนึ่งๆ จะประกอบด้วยดอกย่อย (florets) 2 ดอกย่อยอยู่ภายใน glumes ดอกย่อยแต่ละดอกจะมีกลีบ lemma ลักษณะเว้ารูปไข่ และกลีบ palea หุ้มอยู่ หนึ่งดอกย่อยจะมี stamens 3 อัน และ lodicules 2 อัน ก้านชูเกสรตัวผู้ (filament) จะยึดตัวอย่างรวดเร็วในระยะดอกบานชูอัปเรณู (anther) ออกมาพันดอก อัปเรณูอาจมีสีม่วง สีชมพู สีเหลือง หรือสีเขียว อัปเรณูหนึ่ง ๆ มีละอองเกสร (pollen grain) ได้ถึง 2,500 ละอองเกสร ช่อดอกตัวผู้ของข้าวโพดหนึ่งต้นอาจผลิตละอองเกสรได้ถึง 25,000,000 ละอองเกสร การโปรยละอองเกสรจะเกิดขึ้นก่อนการออกไหมของช่อดอกตัวเมีย ต้นเดียวกัน 1-3 วัน ดังนั้นข้าวโพดจึงเป็นพืชที่ผสม ข้ามต้น (cross - pollinated crop) การบานของดอกและการโปรยละอองเกสรจะเกิดขึ้นจากปลายช่อก่อน แล้วส่วนล่างลงมาก็คะทยอยบาน การโปรยละอองเกสรอาจจะเกิดติดต่อกันไปนานถึง 2 สัปดาห์

5. ช่อดอกตัวเมีย (Female inflorescence, pistillate inflorescence)

ช่อดอกตัวเมียของข้าวโพดก็คือ ฝัก (ear) ซึ่งเป็นช่อดอก (spike) มีแกนช่อดอกใหญ่ เรียกว่า rachis หรือ cob แกนช่อดอกจะอยู่ส่วนปลายของกิ่งที่แตกจากตาข้างของลำต้น กิ่งนี้จะประกอบด้วยปล้องสั้น ๆ หลายปล้องอยู่ติด ๆ กัน ซึ่งเรียกว่า ก้านช่อดอกหรือก้านฝัก (shank) และที่บนก้านช่อดอกนี้ตามข้อจะมีใบซึ่งเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยมีกาบใบใหญ่แต่ไม่มีแผ่นใบ หากแต่มี ligules อยู่ที่ปลายใบซึ่งอยู่ตามข้อของก้านช่อดอกเหล่านี้จะอยู่ซ้อนเหลื่อมกันหุ้ม ช่อดอกไว้ ทำหน้าที่เป็นเปลือกหุ้มฝัก (husk) ที่ฐานของก้านช่อดอกจะมีใบที่มีกาบใบใหญ่ และห่อหุ้มฝักไว้ ใบนี้เรียกว่า subtending leaf ขณะเดียวกันฐานของก้านช่อดอกจะมีใบที่แปลงลักษณะอีกแบบหนึ่งคือ มีกาบใบใหญ่เช่นกัน ไม่มีแผ่นใบ

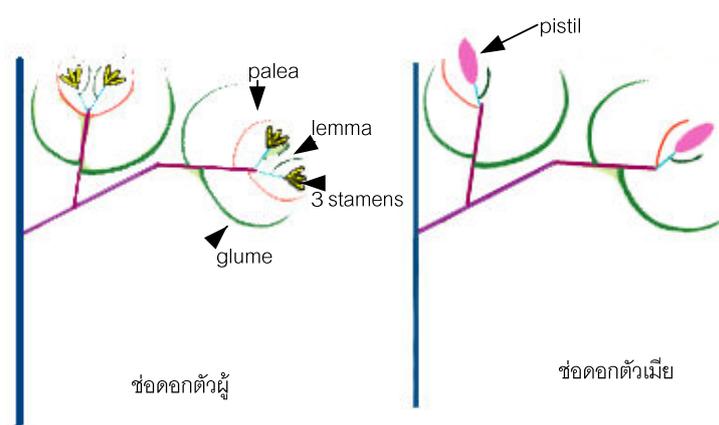
และมีสันสองสันอยู่บนกาบใบ ใบที่แปลงลักษณะนี้จะอยู่ชั้นนอกสุดของกาบหุ้มฝักและจะกั้นระหว่างฝักกับลำต้นไว้เรียกว่า prophyllum

บนแกนช่อดอกจะมีดอก (spikelet) เกิดเป็นคู่อยู่รอบแกนช่อดอก เป็นดอกชนิดที่ไม่มีก้านดอก (sessile spikelet) ดอกหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยดอกย่อย (florets) 2 ดอก ดอกย่อยที่อยู่ด้านล่างจะไม่เจริญและเป็นหมัน (sterile) มีเพียงส่วนของ lemma กับ palea ส่วนดอกย่อยอีกดอกที่อยู่ด้านบนจะสมบูรณ์พันธุ์ (fertile) และประกอบด้วยรังไข่กับก้านรับละอองเกสรตัวผู้ (style) ซึ่งเรียกว่าไหม (silk) ดอกย่อยที่สมบูรณ์จะมี lemma และ palea หุ้มเช่นเดียวกับดอกที่เป็นหมัน และทั้งดอกจะมีกลีบชั้นนอก (glume) หุ้มอยู่อีกชั้นหนึ่ง

ไหมที่ทำหน้าที่รับละอองเกสรตัวผู้ จะมีความยาวระหว่าง 15-30 เซนติเมตร และจะโผล่พ้นกาบหุ้มฝักออกมาทางปลายฝักทุกจุดบนเส้นไหมสามารถที่จะรับละอองเกสรตัวผู้เข้าผสมได้ในต้นเดียวกันดอกตัวผู้จะโปรยละอองเกสรก่อนที่ดอกตัวเมียพร้อมจะรับการผสมเล็กน้อย ดังนั้นข้าวโพดจึงเป็นพืชผสมข้ามโดยธรรมชาติ และดอกตัวเมียมักจะได้รับการผสมเกสรจากต้นที่อยู่ข้างเคียง ข้าวโพดมีฝักที่ไม่มีเมล็ด (barrenness) เนื่องจากไหมของข้าวโพดโผล่ไม่ทันระยะที่มีการโปรยละอองเกสร

การผสมระหว่างละอองเกสรกับไข่จะเกิดขึ้นภายใน 12 ถึง 28 ชั่วโมงนับตั้งแต่ละอองเกสรสัมผัสเส้นไหม เมื่อเมล็ดพัฒนาขึ้นมาจำนวนแถวของเมล็ดในฝักจะเป็นจำนวนคู่เสมอ เนื่องจาก spikelet เกิดเป็นคู่และในแต่ละ spikelet จะมี floret เดียวที่สมบูรณ์พันธุ์

หลังจากผสมแล้ว 20-40 วัน รังไข่จะเจริญเป็นเมล็ดที่แก่เต็มที่ ข้าวโพดที่ได้รับการผสมโดยไม่มีการควบคุมการถ่ายละอองเกสรเรียกว่า ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated variety)



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างช่อดอกตัวผู้และตัวเมีย

ที่มา : Bortiri E และ Hake S (2007.)

6. เมล็ด (Fruit, caryopsis, kernel, grain)

เมล็ดข้าวโพดคือ ผลชนิด caryopsis ซึ่งอาจเรียกว่า kernel หรือ grain หลังจากดอกตัวเมียได้รับการผสม รังไข่ก็จะเจริญเป็นผล ผักรังไข่ที่สุกจะเจริญเป็นเปลือกของเมล็ด(pericarp) นี้จะอยู่เชื่อมติดกับเปลือกเมล็ด (testa) แต่ชั้นของ testa มักจะไม่ปรากฏในเมล็ดข้าวโพด เนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นในถัดจาก pericarp และ testa เข้ามาคือ aleurone layer ซึ่งจะห่อหุ้ม endosperm และคัพภะ (embryo หรือ germ) endosperm จะประกอบ ด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแป้งใน endosperm จะมี 2 ชนิด คือแป้งแข็งซึ่งมักจะโปร่งแสงเลื่อมเป็นมัน และมีสัดส่วนของโปรตีนผสมอยู่มากกว่าแป้งอ่อน แป้งอ่อนมักจะมีสีขาวและชุ่ม สัดส่วนของแป้งทั้งสองชนิดในข้าวโพด และบริเวณที่แป้งแต่ละชนิดกระจายอยู่จะแตกต่างกันไปตามพันธุ์

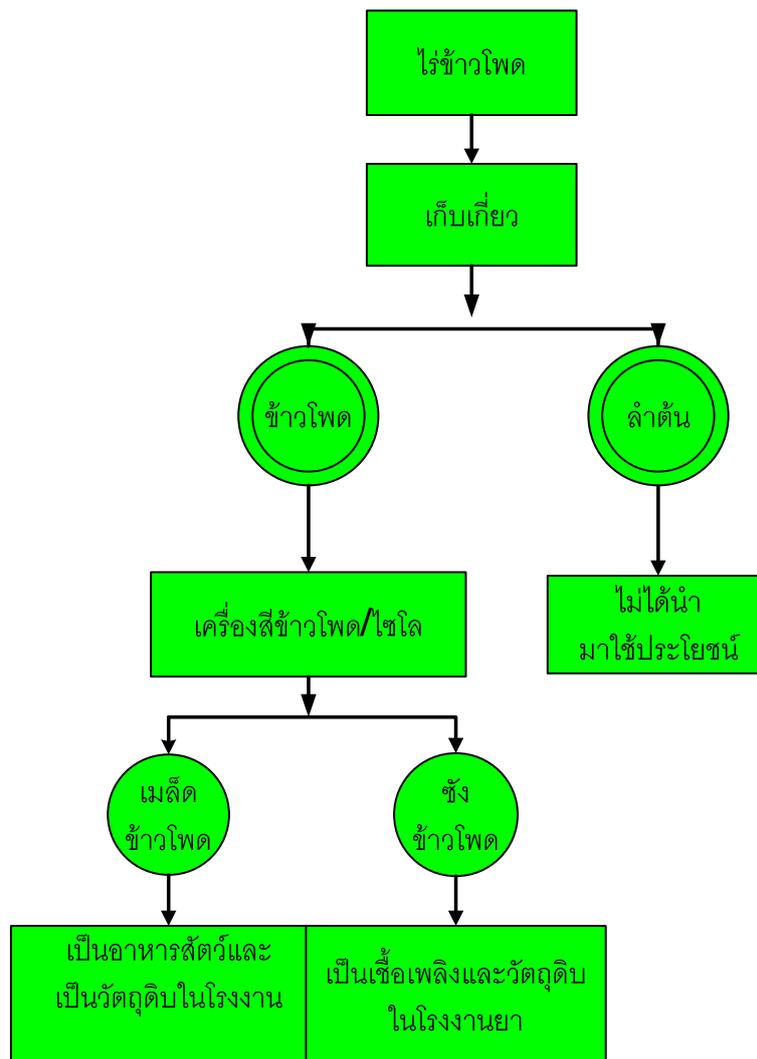
การนำเข้ามาในประเทศไทย คนไทยรู้จักนำข้าวโพดมาเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 โดย หม่อมเจ้าสิทธิพร กฤดากร ได้นำข้าวโพดพันธุ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์มาปลูกและทดลอง ใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งในขณะนั้นเป็นยังเป็นที่รู้จักกันน้อย จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การใช้ข้าวโพดเริ่มแพร่หลายขึ้นเนื่องจาก หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ (ทองดี เรศานนท์) ได้นำการเลี้ยงไก่แบบการค้ามาเริ่มสาธิต และกระตุ้นให้ประชาชนปฏิบัติตามผู้เลี้ยงไก่จึงรู้จักใช้ข้าวโพดมากขึ้นกว่าเดิม แต่เนื่องจากระยะนั้นข้าวโพดมีราคาสูงและหายาก การใช้ข้าวโพดจึงใช้เป็นเพียงส่วนประกอบของอาหารหลัก ซึ่งมีรำและปลายข้าวเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันผู้เลี้ยงสัตว์รู้จักข้าวโพดกันทั่วไป และในปัจจุบันประเทศไทยได้ปลูกข้าวโพดในปีหนึ่ง ๆ เป็นจำนวนมาก

ข้าวโพดเป็นพืชล้มลุกที่ใช้เวลาปลูกและให้ผลผลิต 3 ถึง 4 เดือน ข้าวโพดที่ปลูก ในประเทศนิยมปลูกกันอยู่ 2 ชนิดคือข้าวโพดหวาน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีปริมาณการปลูกมากกว่าข้าวโพดหวาน และการปลูกของเกษตรกรจะนิยมปลูกกันแค่ปีละ 1 ครั้ง โดยมีช่วงการปลูก 2 ช่วง ดังนี้คือ

1. การปลูกช่วง พฤษภาคม ถึง ธันวาคม เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด ของการปลูกข้าวโพด เนื่องจากช่วงฤดูฝนโดยทั่วไป จะอยู่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมรวมถึงเมื่อเข้าสู่การเก็บเกี่ยวเป็นระยะที่อากาศร้อนและแห้งแล้งจึงสะดวกในการ เก็บเกี่ยวและสามารถตากแห้งได้ดี

2. การปลูกช่วง มกราคม ถึง กุมภาพันธ์ สภาพอากาศค่อนข้างเย็นแล้ว หลังจากนั้นอากาศจะร้อนขึ้น ทำให้ต้นข้าวโพดมีอาการใบเหี่ยวแม้ความชื้นในดินจะมีเพียงพอดินนาส่วนมากเป็นดินเหนียวถึงเหนียวจัดเมื่ออากาศแห้งแล้งมักจะเกิดการแตกกระแหงของผิวดินทำให้กระทบกระเทือนต่อราก นอกจากนี้การที่อุณหภูมิสูงมาก จะเป็นอันตรายต่อการผสมเกสรและการสร้างเมล็ดด้วย

มีระยะเวลาการปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้ระยะ 75 x 75 เซนติเมตร หยอดเป็นหลุมหลุมละ 4 เมล็ด กลบดินหนา ประมาณ 5 เซนติเมตร ให้แน่นพอประมาณเมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 15 วัน ควรถอนต้นที่ไม่ แข็งแรงทิ้ง เหลือไว้ หลุมละ 3 ต้น หรือ ใช้ระยะ 75 x 50 เซนติเมตร หยอดหลุมละ 3 เมล็ด ถอนให้เหลือ หลุมละ 2 ต้น ถ้าใช้เครื่องจักรปลูก ควรใช้ระยะ 75 x 50 เซนติเมตร โดยให้มีจำนวนต้นข้าวโพดประมาณ 8500 ต้นต่อไร่ ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ 3 ถึง 4 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนข้าวโพดหวานหรือข้าวโพดเทียน ใช้ระยะปลูก เดียวกัน แต่ปลูกให้มีจำนวนต้นต่อไร่ มากกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อีกร้อยละ 25 ถึง 50 [11]



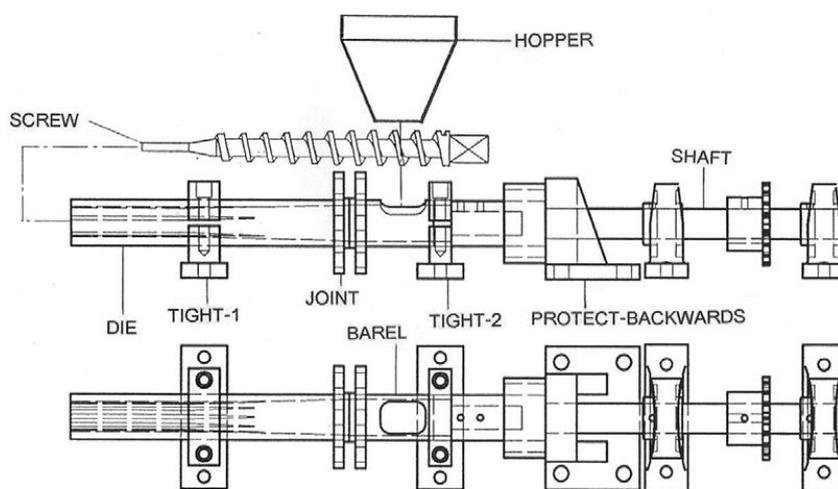
รูปที่ 4 แสดงการเก็บเกี่ยวข้าวโพดและการนำไปใช้

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2549.)

2.5 เครื่องมืออัดแท่งเชื้อเพลิง [12]

1. การอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญในเครื่องอัด (Extruder) ดังนี้คือ สกรูอัด (Pressure Screw) ช่องป้อนวัสดุ (Barrel) แม่พิมพ์ (Die) และต้นกำลัง (driver) ที่ใช้ขับสกรูอัด ซึ่งชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุดในขบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งคือตัวสกรูอัด โดยสกรูอัด ที่ใช้เป็นแบบสกรูอัดเดี่ยวและมีหลักการทำงานของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งและองค์ประกอบของการอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็ง ดังนี้

การอัดรีด คือ กระบวนการบังคับให้วัสดุดิบ (ชีวมวล) เคลื่อนตัวผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อให้ได้ลักษณะของรูปทรงตามความต้องการออกมาสู่ภายนอกอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

ที่มา : ประสาน สถิตเรือง (2546.)

หลักการพื้นฐานในการเคลื่อนตัวของอนุภาคของชีวมวล ภายในสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะเกิดจากแรงเสียดทาน โดยที่แรงเสียดทานจะเป็นตัวกลางที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้และนำความรู้จากอุตสาหกรรมและกระบวนการฉีดพลาสติกมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากเชื้อเพลิงชีวมวล (Extruder) จำพวก กะลามะพร้าว แกลบ ชี้อ้อย เป็นต้น เพื่ออัดชีวมวลเหล่านี้ให้รวมกันได้เป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งทำการพิจารณาออกแบบได้ง่าย หลักการทำงานไม่สลับซับซ้อนและสามารถทำงานได้ต่อเนื่องรวมถึงมีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ โดยปกติกระบวนการอัดรีดเย็นจะแบ่งช่วงการทำงานของสกรูออกเป็น 2 ช่วงคือ

1. ช่วงการป้อนวัตถุดิบและลำเลียง (Feed section)

ช่วงการป้อนและการลำเลียงวัตถุดิบนั้น ชีวมวลจะถูกป้อนลงมาจากด้านบนมาเก็บไว้ที่ถังพักทรงกรวย (Hopper) ซึ่งชีวมวลจะอยู่ในลักษณะของเม็ดหรือผงแล้วจะเคลื่อนตัวหล่นลงบนเกลียวลำเลียง จากนั้นเกลียวลำเลียงจะขนถ่ายชีวมวลเข้าสู่ช่องการอัดตัว การไหลของชีวมวลลงในช่องสกรูจะพิจารณาเป็นการไหลแบบจุกอัด (plug flow) ซึ่งการไหลของชีวมวลจะมีความเร็วเท่า ๆ กัน

2. ช่วงการอัดตัว (Compression section) วัตถุดิบจะถูกอัดตัวโดยการเพิ่มขึ้นของความดันในแนวแกนสกรูซึ่งวัตถุดิบจะถูกอัดตัวกันแน่นและผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์ แต่หากการไหลในร่องของสกรูยังไม่เกิดความดันจะทำให้จะไม่เกิดการไหลแบบจุกอัด โดยมากจะเกิดในกรณีที่เป็นกรูไหลแบบไม่เต็มร่องเกลียวการอัดตัว คือ การที่อนุภาคชีวมวลถูกแรงกดอัดจนอนุภาค เกาะตัวกันเป็นก้อนแข็ง และเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งได้ใช้สกรูในการอัดรีดชีวมวลให้ผ่านแม่พิมพ์ (Die) ออกมาเป็นเชื้อเพลิงแท่งแข็ง โดยในการอัดรีดแบบเย็นต้องมีการเตรียมวัตถุดิบและตัวประสานซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวยึดเกาะอนุภาคชีวมวลให้เป็นแท่งหลังจากผ่านกระบวนการอัดรีดแล้ว

2.6 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง [13]

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติคล้ายฟืน คือมีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่าน เวลาจุดจะมีควันมาก ซึ่งการใช้เชื้อชีวมวลอัดแท่งจึงเหมาะกับการใช้กับเตาไฟที่มีปล่องควันเพราะ การใช้เตาไฟลักษณะนี้จะช่วยลดควันได้ การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้องค์ประกอบหลักๆที่สำคัญของเชื้อเพลิงในการประเมินคุณภาพได้แก่

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ความชื้นจะเป็นตัวที่ทำให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลลดลงและจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงแตกร่วนได้ง่าย

สารระเหย (Volatile matter) คือส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถระเหยได้ ซึ่งเป็นสารที่มีองค์ประกอบของ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ ปริมาณของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งหลังจากการนำสารระเหยออกไปแล้วและโดนเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส คาร์บอนเสถียรนี้ คือตัวบ่งบอกถึงค่าความร้อนในวัสดุ ถ้ามีค่าคาร์บอนเสถียรมากแสดงว่าวัสดุนั้นจะมีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย

ปริมาณเถ้า (Ash content) คือส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาที่มีอุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสที่เผาไหม้ 6 ชั่วโมง ประกอบด้วย ซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

ค่าความร้อน (Heating value) เป็นค่าความร้อนของการสันดาป จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงเชื้ออัดแท่ง

กำมะถันรวม (Total sulfur)

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีค่าคาร์บอนคงตัวอยู่ในระดับที่สูงและมีปริมาณของสารระเหยในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจึงทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำแต่เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี ไม่จำเป็นต้องมีค่าความร้อนที่สูงสุดแต่จะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การแตกปะทุขณะติดไฟ น้ำหนักของเชื้อเพลิง คว้น และความแข็งของเชื้อเพลิง

2.7 การวิเคราะห์ที่ใช้ในการจำแนกชนิดของเชื้อเพลิง [14]

1. การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุนี้ ธาตุหลักที่วิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นตัวหลัก นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันและไนโตรเจนประกอบด้วย เครื่องมือวิเคราะห์ ultimate analysis มักใช้วิธีเผาตัวอย่างให้เป็นออกไซด์ แล้วใช้สารเคมีดูดซับ แล้วหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นหลัก ส่วนออกซิเจนจะหาได้จากผลต่างของธาตุที่เหลือหรือวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางเคมีในเครื่องมือเฉพาะ

2. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) การวิเคราะห์วิธีนี้ใช้วิธีวิเคราะห์หาค่าความชื้น สารระเหย เถ้าและค่าคาร์บอนคงตัว วิธีวิเคราะห์ทำโดยอบตัวอย่างเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิระดับต่างๆ ในเตาอบเพื่อหาปริมาณน้ำหนักที่หายไป สำหรับค่าความชื้นและสารระเหยและหาน้ำหนักของเถ้าเชื้อเพลิงจากการเผาให้เหลือแต่เถ้า ส่วนค่าคาร์บอนคงตัวนั้น จะหาได้จากเอาเปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย หักออกจากร้อยละเถ้า

3. การวิเคราะห์ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Energy) ค่าความร้อนจำเพาะจะสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิง ในเครื่องมือที่ใช้เฉพาะหาค่าความร้อน การวิเคราะห์ค่าความร้อนจะได้ค่าที่ถูกต้องก็ต่อเมื่อ หักค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกำมะถัน ซึ่งจะหาได้จากการหาปริมาณกำมะถัน ที่ยังคงอยู่ในภาชนะที่ใช้วิเคราะห์หาค่าความร้อน หรือคำนวณจากค่ากำมะถันที่วิเคราะห์โดยวิธีอื่น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตติพงษ์ ทศวงศ์ และวิบูลย์ อันพิมมา [15] ได้ศึกษาด้านชีวภาพจากฟางข้าวโดยมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญอยู่ 2 วิธี คือการผลิตถ่านจากฟางข้าวและการอัดแท่งถ่านจากฟางข้าวโดยใช้ตัวประสาน ซึ่งการผลิตถ่านฟางข้าวนั้นใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตรเป็นเตาเผาและสังเกตจาก สีคว้นและการลุกไหม้ คว้นเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเป็นการสิ้นสุดกระบวนการผลิตถ่าน สัดส่วนผลการผลิตถ่านเฉลี่ยร้อยละ 20.08 การอัดแท่งถ่านใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว โดยใช้มันสำปะหลังดิบบดเป็นตัวเชื่อมประสาน อัตราส่วนตัว

ประสานที่ดีที่สุด คือ ถ่านฟางข้าวต่อมันสำปะหลังดิบบดละเอียดต่อน้ำ เท่ากับ 6 ต่อ 1 ต่อ 1 (โดยปริมาตร) ถ่านอัดฟางข้าวที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับถ่านไม้ ยูคาลิปตัส สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มได้

พัชฎาภรณ์ เจริญรอย และอรชุนมา นุสีวอ [16] ได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและแกลบ โดยใช้ผักตบชวาเป็นตัวเชื่อมประสานพร้อมทั้งศึกษาหา ค่าความร้อน อัตราการให้ค่าความร้อน และก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิง ในการศึกษาได้นำวัสดุเหลือใช้มาอัดให้เป็นแท่งด้วยวิธีการอัดแบบเปียกโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิกและแม่แรงอย่างง่ายในอัตราส่วน 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 3 และ 1 ต่อ 4 โดยน้ำหนัก จากการศึกษพบว่า อัตราส่วนฟางข้าว ผักตบชวา และแกลบ ผักตบชวา ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนักทำให้แท่งเชื้อเพลิงอยู่ตัวไม่แตกเพราะสามารถยึดเกาะได้ดีและให้ค่าความร้อน 3,956 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และ 2,358 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อัตราส่วนของฟางข้าว: ผักตบชวา ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 3 และ 1 ต่อ 4 ใช้เวลาต้มน้ำจนเดือดที่ 7, 8 และ 9 นาที ตามลำดับ แกลบ ผักตบชวา ในทุกอัตราส่วนใช้เวลาต้มน้ำจนเดือดที่ 7 นาทีเท่ากัน ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและแกลบ มีปริมาณ CO_2 ร้อยละ 2.27 CO ร้อยละ 0.37 SO_2 ร้อยละ 0.00 และ CO_2 ร้อยละ 1.82 CO ร้อยละ 0.38 ตามลำดับ เมื่อนำค่าของปริมาณก๊าซมาเทียบกับค่ามาตรฐานสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานเผาขยะมูลฝอยของกระทรวงอุตสาหกรรมพบว่าปริมาณก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นในทุกอัตราส่วนเกินค่ามาตรฐาน

อาทิศย์ มลิตทอง [17] ได้มีการศึกษาวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ ที่มีอัตราส่วนแตกต่างกันตลอดจนศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของแท่งเชื้อเพลิงเขียว เพื่อเป็นการนำเอาผักตบชวา ซึ่งเป็นวัชพืชที่สำคัญมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มและกิจกรรมในครัวเรือน ทดแทนฟืนและถ่านเพื่อสนองนโยบายของรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ

เชื้อเพลิงเขียวที่ผลิต จากผักตบชวาล้วนและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ มีอัตราส่วนแตกต่างกัน โดยปริมาตร ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตจากตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ที่อัตราส่วน 10ต่อ90 ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 4,194 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับถ่านลิกไนท์ที่ 20 ต่อ 80, 50 ต่อ 50, 30 ต่อ 70, 70 ต่อ 30, 80 ต่อ 20, 90 ต่อ10 ผักตบชวาล้วน (100 ต่อ 0) มีค่าความร้อนเรียงที่ 4,108 3,853 3,847 3,754 3,554 3,402 และ 3,234 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวเมื่อทดสอบโดยใช้เตาประสิทธิภาพสูงกรรมป่าไม้ 1 (เตาถ่าน) พบว่าเชื้อเพลิงเขียวอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อ ถ่านลิกไนท์ที่ 10 ต่อ 90 มีประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนสูงที่สุด ในเชิงพาณิชย์พบว่าได้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนคือ ผลตอบแทนต่อการใช้จ่าย 1.2 และอัตราผลการตอบแทนของโครงการร้อยละ 47

กลยุทธ ดิษเจริญ และ เนตรรัตน์ เนตรประเสริฐ [18] ได้ศึกษาวิจัยพบว่า เมื่อนำ กากอ้อยมา ทำการอัดแห้งแบบอัดเย็น โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน อัตราส่วนผสมกากอ้อยต่อกากน้ำตาลเป็น 87.5 ต่อ 12.5 โดยปริมาตร จะให้ค่าความร้อนสูงสุด 3916.65 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียง กับฟืนไม้ยูคาลิปตัสแต่ต่ำกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส จากผลการศึกษารูปได้ว่า กากอ้อยมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้ง และผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนได้

นฤมล พินเนียบ [19] ได้ศึกษาถึงการผลิตและการยอมรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงชีว ในครัวเรือนชนบท กรณีศึกษา อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้งทำมาจากแกลบ ส่วนเชื้อเพลิงชีวจากผักตบชวา (*Eichornia carssipes* Solms.) ผสมซีลี้อย เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านความชื้น ปริมาณสารระเหย ค่าความร้อน คาร์บอนคงตัวและพลังงานที่นำไปใช้งาน และทดสอบการยอมรับของประชาชนในเขตอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยการสัมภาษณ์จาก ประชากรเป้าหมาย การเลือกตัวอย่าง โดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น การสุ่มตัวอย่างระบบ (Systematic Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างประชากรแบบสุ่มเป็นช่วง ๆ ทำการสุ่มประชากร จากตัวสุ่มเริ่มต้น (Random start) แล้วนับไปตามช่วงของการสุ่ม (Random interval) โดยการสุ่ม ประชากรอำเภอคลองหลวง ทั้ง 7 ตำบล ตั้งแต่ตำบลคลองหนึ่งถึงตำบลคลองเจ็ด โดยการสุ่มประชากร ทุกหมู่บ้านในตำบล

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในด้านความชื้น ปริมาณสารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัว และค่า ความร้อน และพลังงานความร้อนที่นำไปใช้งาน พบว่ามีความเป็นไปได้ในเชิงการผลิต และพลังงานนำ ความร้อนที่นำไปใช้งาน แห่งเชื้อเพลิงชีวมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย และค่าความร้อนสูงกว่าแห่ง เชื้อเพลิงแข็ง แต่มีเถ้าและคาร์บอนคงตัวต่ำกว่า นอกจากนี้ ค่าพลังงานของแห่งเชื้อเพลิงชีวจาก ผักตบชวา มีค่าประสิทธิภาพพลังงานสูงเหมาะสมในการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง แต่ประสิทธิภาพการใช้งาน ของความร้อนนั้นเชื้อเพลิงแข็งให้ผลดีกว่า ส่วนการทดสอบการยอมรับจากประชากรกลุ่มเป้าหมายที่ได้ทำ การทดลองใช้แห่งเชื้อเพลิงชีวและแห่งเชื้อเพลิงแข็ง พบว่าส่วนใหญ่ยังไม่ยอมรับแห่งเชื้อเพลิงแข็งและ แห่งเชื้อเพลิงชีว ในกรณีที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มอยู่แล้ว และหากต้องใช้เชื้อเพลิงอัดแห้ง ประชากร กลุ่มเป้าหมายจะยอมรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตจากแกลบ มากกว่าเชื้อเพลิงชีวที่ผลิตจากผักตบชวา

วัลลภ วัฒนธรรม [20] ได้ศึกษาการผลิตแห่งเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ชั้นอุตสาหกรรม พบว่าผลการศึกษารูปด้านเทคนิค ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีการผลิตแห่งเชื้อเพลิงแข็งที่สร้างโดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มีเครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงแข็งจำนวน 4 เครื่อง ระบบอบแห้งประกอบด้วยเครื่องร่อนเตาให้ความร้อน เครื่องอบแห้งแบบหมุน เครื่องป้อน (screw feed)

และเครื่องแยกฝุ่น (cyclone) สามารถผลิตแท่งฟืนที่เล็กลงเพื่อใช้แทน ไม้ฟืนในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิต พบว่าต้นทุนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากขี้เลื่อยชั้นอุตสาหกรรม ราคาภิโกรัมละ 1.05 บาท ปัจจุบันโรงงานที่ผลิตขายราคาภิโกรัมละ 1.70 ถึง 2 บาท ผู้ผลิตสามารถที่จะขายเป็นอุตสาหกรรมได้ แต่ควรตั้งอยู่ใกล้วัตถุดิบเพื่อจะได้ลดต้นทุนการผลิต

ทองทิพย์ พูลเกษม [21] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้ง มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด

ผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่งและคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียน ทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นจะให้ค่าความร้อน ที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแบบใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานโดยให้ค่าความร้อน 3,699, 3,625 และ 3,671 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าแบบเย็นคือ 3,841.5 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับความร้อนที่ได้จากไม้พินยูคาลิปตัส แต่การอัดแบบร้อนจะใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น (0.08 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) คือ 0.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนจากเปลือกทุเรียนอัดแท่งทั้งแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น พบว่าเปลือกทุเรียนอัดแท่งจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนสูงกว่าพินไม้ยูคาลิปตัสร้อยละ 6 และเนื่องจากเปลือกทุเรียนจะมีลักษณะเหนียวคล้ายแป้งเปียกเป็นตัวประสานอยู่แล้วดังนั้นเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดเย็นโดยไม่ใช้ตัวประสานจึงเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำที่สุด เหมาะสมในการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้

จารุณี แสงสุวรรณวาว [22] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวจากเศษวัสดุเกษตรผสม กากส่าเหล้าและกากน้ำตาล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน โดยมีวิธีการศึกษามีรายละเอียดดังนี้ นำวัสดุทั้ง 3 ชนิดมาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาล ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสาน แล้วอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า นำแท่งเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงมาตากให้แห้งโดยทำการเปรียบเทียบ 3 วิธี คือ 1. อบในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน 2. ตากในตู้อบแสงอาทิตย์อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ถึง 4 วัน และ 3. ตากบนแผ่นสังกะสีเป็นเวลา 3 ถึง 4 วัน ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงจะมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 5 ถึง 6 สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มและครัวเรือนได้ เชื้อเพลิงที่มีกากส่าเหล้าเป็นตัวเชื่อมประสานมีน้ำหนักแห้งร้อยละ 46.3 ของน้ำหนักสด ส่วนเชื้อเพลิงที่มีกากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานมีน้ำหนักแห้ง

ร้อยละ 87.2 ของน้ำหนักสด เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปของเชื้อเพลิง ทดสอบประสิทธิภาพในการอัด และประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนกับเตาที่สร้างขึ้นสำหรับเชื้อเพลิงชีว

ผลการศึกษาร้อยละขององค์ประกอบและคุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงชีวเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศพบว่าเชื้อเพลิงชีวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืนคือให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 4,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม แต่มีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศที่มีค่าความร้อน 7,390 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอัดของเชื้อเพลิงชีว(พลังงานเอาท์พุท/อินพุท)สูงกว่าร้อยละ 100 ส่วนประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนเมื่อใช้กับเตาเชื้อเพลิงชีว(เตาโลหะ)สูงสุดถึงร้อยละ 28.54 สูงกว่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ แต่การใช้เชื้อเพลิงชีวที่ทำจากแกลบผสมกากสาหร่ายกับเตาที่ใช้ในการทดลองยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนยังต่ำอยู่

อภิชาติ จิรัฐติยางกรและธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ [23] ได้ศึกษาการใช้เศษไม้ไผ่จากอุตสาหกรรมเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยได้ทดลองหาแนวทางที่เหมาะสมในการนำเศษไม้หวายหรือไม้ไผ่ที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมพร้อมทั้งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้แก่ กากขานอ้อย ผักตบชวา มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับฟืนไม้มะขามเทศและถ่าน

จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาไม่จำเป็นต้องใช้ ตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากผักตบชวามียางเหนียวประเภทลิกนินอยู่ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของ เศษวัสดุต่อน้ำและตัวเชื่อมประสานในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆมีดังนี้ เชื้อเพลิง (A) ใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักมากที่สุดคือ 3ต่อ6 ต่อ2 เชื้อเพลิง (B) เท่ากับ 3ต่อ4ต่อ0 เชื้อเพลิง (C) เท่ากับ 3ต่อ2ต่อ1.5, เชื้อเพลิง (D) เท่ากับ 3ต่อ4ต่อ0, เชื้อเพลิง (E) เท่ากับ 3ต่อ4ต่อ1 และเชื้อเพลิง (F) เท่ากับ 3ต่อ4ต่อ0 ส่วนคุณสมบัติทั่วไปทั้ง 6 ชนิดใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับฟืนไม้มะขามเทศ ยกเว้นปริมาณค่าซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของเซลล์พืช ค่าความร้อนที่ได้ก็ใกล้เคียงกันคืออยู่ระหว่าง 3,020.20 ถึง 4,572.41 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยเชื้อเพลิง (E) มีค่าความร้อนมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับฟืนไม้มะขามเทศ (4,721.76 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) และเชื้อเพลิง (B) มีค่าน้อยที่สุด

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจและคณะ [24] ได้ศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง จากชีวมวลโดยอาศัยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น และใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เถ้าแกลบโดยการนำมาผสมวัตถุดิบอื่นเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ขี้เถ้าแกลบที่ได้จากกระบวนการอบข้าวเปลือก ในโรงสีข้าว โดยการนำมาบดผสมกับผงถ่านซึ่งข้าวโพดและผงถ่านกะลามะพร้าว โดยมีสัดส่วนการผสมอยู่ที่ 30 ต่อ 70, 40 ต่อ60 และ 50 ต่อ 50 ตามลำดับ ส่วนแป้งมันจะมีสัดส่วนการผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1 ต่อ 50

จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงกด จะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของผงขี้ข้าวโพดและผงกะลามะพร้าวแต่จะแตกต่างกันไม่มากนัก การทดสอบค่า ความร้อนเชื้อเพลิงพบว่า โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 6,048 ถึง 6,943 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 5.7 ถึง 5.83 โดยน้ำหนัก อัตราการผลิตแห้งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.5 กิโลกรัมต่อนาที่ ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 ถึง 833 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความต้านทานแรงกดของแห้งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.07 ถึง 1.23 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ จุดคุ้มทุนของการผลิตแห้งเชื้อเพลิงประมาณ 9,448 กิโลกรัมจากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

Owen et al. [25] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ต้นข้าวโพด ฟาง หญ้า ใบไม้ เป็นต้น โดยบดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด conflake เติมน้ำแล้วนำมาอัดเป็นแท่งโดยแห้งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะคล้ายโดนัท นำไปตากแห้งสามารถนำไปใช้แทนฟืนและถ่านไม้ได้ โดยให้ความร้อนสูงและติดไฟได้นาน นอกจากนี้ยังได้ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษใบไม้ กิ่งไม้ และขยะจากจดหมายเก่า พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้สามารถจุดติดไฟได้ง่ายโดยใช้เวลาเพียง 2 นาที และให้อุณหภูมิสูงสุดถึง 816 องศาเซลเซียส ในขณะที่ฟืนไม้ใช้เวลาในการจุดไฟติดไฟนานกว่าและให้อุณหภูมิสูงสุดที่ 733 องศาเซลเซียส

Chun [26] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อกระดาษที่มีอยู่ใน น้ำเสีย Black liquor ในโรงงานผลิตกระดาษ โดยทำให้ Black liquor เข้มข้นขึ้นจนมีปริมาณของแข็งมากกว่า ร้อยละ 35 แล้วนำ Black liquor 100 กิโลกรัม ผสมกับปูนดิบ 7 ถึง 10 กิโลกรัม ผงถ่านหิน 25 ถึง 35 กิโลกรัม และผงฟาง (straw powder) 8 ถึง 15 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาอัดให้เป็นแท่งที่อุณหภูมิปกติ นับเป็นการกำจัด Black liquor ไม่ให้ปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถสกัดกากตะกอนที่เป็นด่าง (caustic sludge) ออกจากแท่งหลังการเผาไหม้แห้งเชื้อเพลิง เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษได้อีกด้วย

Elder [27] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง และพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งควรเพิ่มส่วนผสมของสารที่เผาไหม้ได้ และอาจเติมถ่านไม้และตัวออกซิไดซ์ เช่น โซเดียม ไนเตรต หรือโพแทสเซียมไนเตรต เพื่อให้จุดไฟติดได้ โดยตัวประสานจะใช้น้ำตาลเชิงซ้อน (complex sugar) หรือสารจำพวกแป้ง เช่น เซลลูโลส และอาจเพิ่มส่วนผสมของไม้ที่มีกลิ่นหอม (fragrance wood) เข้าไปเพื่อช่วยให้อาหารที่ย่างด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้มีกลิ่นหอม

Arun K .Tripathi และคณะ [28] ศึกษาการประเมินเทคโนโลยีที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งในอินเดีย พบว่าการวิเคราะห์ทางการเงินของเทคโนโลยีสำหรับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นสามารถทำได้ โดยที่เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งราคาไม่สูง และยังคงมีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆซึ่งราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงนั้นจะแปรผันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ทำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์ผลิตเชื้อเพลิง

3.1.1 ลำต้นข้าวโพด

3.1.2 น้ำ

3.2 เครื่องมือและการพัฒนาเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องบดตัวอย่างอาหารสัตว์

3.2.2 เครื่องอัดแท่งแบบเอ็กซ์ทูลูชัน

3.2.3 ตู้อบ (Owen Hot Air) ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น 100-800

3.2.4 เครื่องชั่งดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PL303

3.2.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ EURO THERM รุ่น 2216L

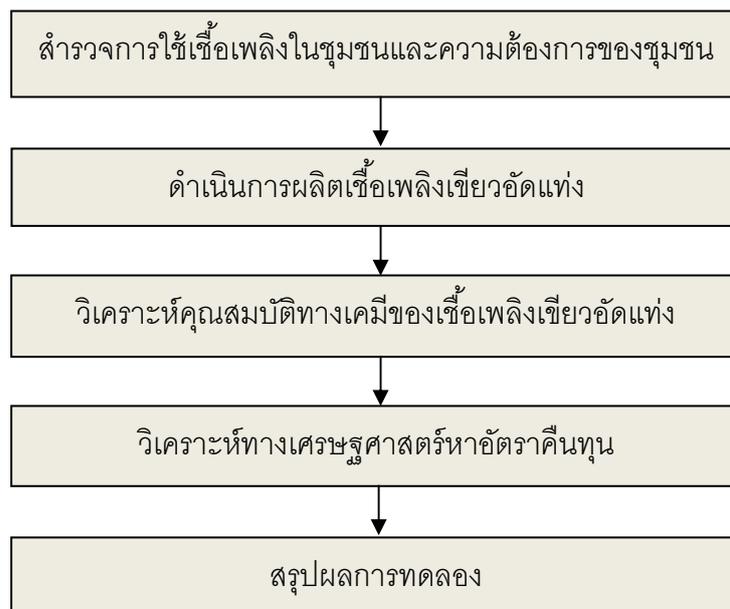
3.2.6 Bomb Calorimeter รุ่น PARR 1261

3.2.7 มีดสับหรือเครื่องบดลำต้นข้าวโพด

3.2.8 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.9 นาฬิกาจับเวลา

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 6 แผนผังขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 วิธีการสำรวจการใช้เชื้อเพลิงและความต้องการใช้เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง

1 ตรวจสอบข้อมูลรายชื่อผู้ขอขึ้นทะเบียนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านการประชาคม และตรวจสอบพื้นที่เรียบร้อยแล้วเพื่อกำหนดกลุ่มตัวอย่าง ดังตัวอย่างในภาคผนวก ก.

2 กำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สูตร ยามาเน่ (Yamane) [29] ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ร้อยละ 5 ที่ระดับค่าความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ดังสมการต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1 + (Ne^2)} \quad (1)$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของกลุ่มประชากร

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

3 ทำการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่หมู่ที่ 6 ต.บ้านแยง อ.นครไทย จ.พิษณุโลก



รูปที่ 7 สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

4 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีแจกแจงความถี่ค่าเฉลี่ยและร้อยละ

3.3.2 ดำเนินการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง

- การเตรียมวัตถุดิบ

1 ทำการเก็บตัวอย่างลำต้นข้าวโพดที่เกษตรกรได้เก็บผลผลิตแล้วและถูกปล่อยทิ้งไว้ในแปลงปลูกประมาณ 2 สัปดาห์

2 นำลำต้นข้าวโพดตัวอย่างมาพักเก็บไว้ที่ วิทยาลัยพลังงานทดแทนเป็นเวลา 1 สัปดาห์

- การสับย่อย

1 ทำการสับย่อยลำต้นข้าวโพดด้วยเครื่องสับเศษไม้ ที่มีมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า เป็นตัวต้นกำลัง การสับย่อยเพื่อจะทำให้ขนาดของลำต้นข้าวโพดเล็กลงมีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร เพราะจะทำให้การอัดเป็นเชื้อเพลิงได้สะดวกขึ้น



รูปที่ 8 เครื่องสับเศษไม้

2 ชั่งน้ำหนักลำต้นข้าวโพดที่ทำการสับย่อยแล้ว

- การหาความชื้นของลำต้นข้าวโพด (Moisture Content)

1 เตรียมวัสดุทดลอง

2 อบจาน (Plate) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบและทิ้งให้เย็นลงในโถที่มีชิลิก้าดูดความชื้น แล้วนำจานออกมาชั่งน้ำหนัก โดยใช้อุปกรณ์ครีบจับจานเพื่อไม่ให้จานสัมผัสกับร่างกายผู้ทำการทดลอง

3 นำลำต้นข้าวโพดที่เตรียมไว้ชั่งน้ำหนักและนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

4 นำตัวอย่างออกจากตู้อบและทิ้งให้เย็นลงในโถที่มีชิลิก้าดูดความชื้น แล้วจึงนำจานออกมาชั่งน้ำหนัก

5 คำนวณหาปริมาณความชื้นตามค่ามาตรฐานเปียก พบว่ามีปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียกที่ร้อยละ 11.20 แต่เนื่องจากตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่งความชื้นของเชื้อเพลิงจะมีค่าไม่เกินร้อยละ 8 [30] ดังนั้นถ้าลำต้นข้าวโพดมีความชื้นต่ำกว่ามาตรฐาน จึงอาจสามารถพัฒนาวิธีการนำไปใช้ใหม่ได้

- การหาอัตราส่วนผสมของตัวประสาน

จากการทดลองนำลำต้นข้าวโพดที่สับย่อยแล้วจำนวน 100 กรัม มาแช่น้ำจนท่วมเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำขึ้นจากน้ำโดยใส่ตะแกรงแล้วใช้แผ่นเหล็กแบนขนาด 20 กิโลกรัมมาวางทับไว้

เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบ 5 นาที จึงนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก พบว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อนำน้ำหนักของลำต้นข้าวโพดมาลบออกจากรน้ำหนักหลังแช่น้ำพบว่าจะมีปริมาณน้ำจากลำต้นข้าวโพดคิดเป็น 2 ต่อ 1

- การอัดเชื้อเพลิงเขียว

ใช้วิธีการอัดเปียก ทำการโดยเครื่องอัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดมอเตอร์ 2 แรงม้า เป็นตัวต้นกำลัง



รูปที่ 9 เครื่องอัดแบบอิเล็กทรอนิกส์

- การตากแห้ง

การตากแห้งจะทำโดยการตากในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เป็นเวลา 3 วัน ในเวลากลางคืนจํานำแผ่นพลาสติกกันเพื่อกันน้ำค้าง



รูปที่ 10 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

3.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่ง ใช้ห้องปฏิบัติการภาควิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีวิธีการดังนี้

- การศึกษาปริมาณความชื้นเชื้อเพลิงชีว (Moisture Content) [31]

1. เตรียมวัสดุทดลอง
2. อบจาน (Plate) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบและทิ้งให้เย็นลงในโถที่มีซิลิกาดูดความชื้น แล้วนำจานออกมาชั่งน้ำหนัก โดยใช้อุปกรณ์คีมจับจาน เพื่อไม่ให้จานสัมผัสกับร่างกายผู้ทำการทดลอง
3. นำเชื้อเพลิงชีวที่เตรียมไว้ซึ่งน้ำหนักและนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างออกจากตู้อบและทิ้งให้เย็นลงในโถที่มีซิลิกาดูดความชื้น แล้วจึงนำจานออกมาชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณหาปริมาณความชื้นตามค่ามาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{w - d}{w} \quad (2)$$

เมื่อ M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก

W = มวลของวัสดุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

D = มวลของวัสดุแห้ง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

ชั่วโมง

- การศึกษาปริมาณเถ้า (Ash Content, A) [32]

1. เผาถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้เย็น
2. ชั่งถ้วยกระเบื้อง ใสตัวอย่างประมาณ 1 กรัม
3. เผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1
4. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้หลังเผา
5. คำนวณหาปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

$$A \text{ (Ash)} = \frac{(T - J) \times 100}{(U - J)} \quad (3)$$

เมื่อ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า

T = น้ำหนักของเถ้าพร้อมถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

J = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

U = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง และตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

- การศึกษาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter, VM) [33]

1. เผาถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้เย็น
2. ชั่งถ้วยกระเบื้อง ใสตัวอย่างประมาณ 1 กรัม
3. เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็น
4. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้หลังเผา
5. คำนวณหาปริมาณน้ำหนักระเหยโดยใช้สูตร

$$C = \frac{(P - Q)}{Q} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ C = ร้อยละน้ำหนักระเหย

P = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

Q = น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

6. คำนวณหาปริมาณสารระเหยโดยใช้สูตร

$$VM = C - M - A \quad (5)$$

เมื่อ VM = ร้อยละปริมาณสารระเหย

C = ร้อยละน้ำหนักระเหย

M = ร้อยละความชื้น

A = ร้อยละเถ้า

- การศึกษาค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) [34]

การหาค่าคาร์บอนคงตัว สามารถหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$FC = 100 - (A + VM + M) \quad (6)$$

เมื่อ FC = ร้อยละคาร์บอนคงตัว

A = ร้อยละเถ้า

VM = ร้อยละปริมาณสารระเหย

M = ร้อยละความชื้น

- การศึกษาค่าความร้อนและประสิทธิภาพเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง [35]

ใช้ห้องปฏิบัติการภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น PARR 1261 ในการคำนวณหาค่าความร้อนในตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการสำรวจการใช้เชื้อเพลิงและความต้องการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการสำรวจจำนวนประชากรในพื้นที่ หมู่ที่ 6 ต.บ้านแยง อ.นครไทย จ.พิษณุโลก พบว่ามีประชากรทั้งหมด 115 หลังคาเรือน ในการตรวจสอบข้อมูลรายชื่อผู้ขอขึ้นทะเบียนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่ามีเกษตรกรในพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมด 51 ครัวเรือน จากสมการที่ 1

$$n = \frac{51}{1 + (51 \times 0.05^2)} = 6.67 \quad (7)$$

ดังนั้นตัวอย่างที่จะใช้เก็บข้อมูลอย่างน้อยที่สุดคือ $51 - 7 = 44$ ตัวอย่าง และมีผลดังตารางที่ 1 และ

2

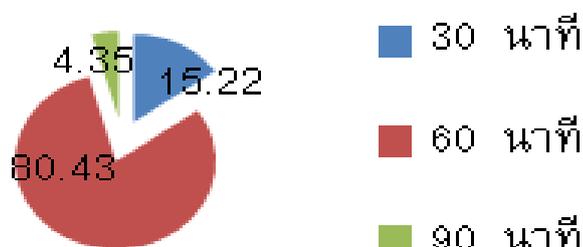
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทางการเกษตรเบื้องต้น

ข้อมูลทางการเกษตรเบื้องต้น	
พื้นที่ปลูกทั้งหมด	1,324 ไร่
พันธุ์ที่ใช้ปลูก	888
ปริมาณลำต้นต่อไร่	8500 ต้น/ไร่
ปริมาณลำต้นเหลือทิ้ง	844.05 ตัน
การใช้ประโยชน์	เผาทิ้ง
ความสนใจในเชื้อเพลิงชีว	100%

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงประจำวัน

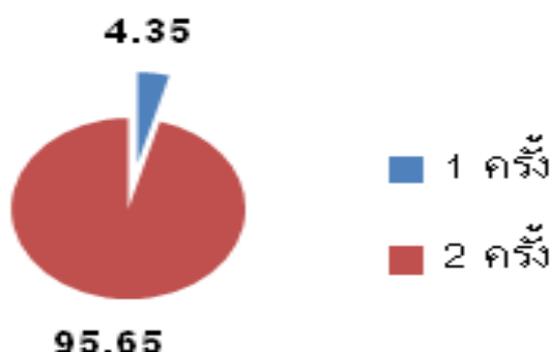
ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงประจำวัน	
เผาถ่านใช้เอง	100%
ปริมาณการใช้ถ่านต่อเดือน	68.11 kg
ปริมาณการใช้ถ่านต่อปี	41.68 ตัน

ระยะเวลาในการใช้เตาต่อครั้ง



รูปที่ 11 ระยะเวลาในการใช้เตาต่อครั้ง

ความถี่ในการใช้เตาหุงต้มต่อวัน



รูปที่ 12 ความถี่ในการใช้เตาต่อครั้ง

จากการสำรวจด้วยวิธีการสัมภาษณ์เกษตรกรทั้ง 46 คน พบว่า เกษตรกรทั้งหมดใช้เตาอั้งโล่หรือเศรษฐกิจในการหุงต้มประกอบอาหาร โดยที่เกษตรกรจำนวน 44 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 95.7 ประกอบอาหารวันละ 2 ครั้ง เกษตรกรจำนวน 37 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 80.4 ใช้เวลาในการประกอบอาหารต่อครั้งนาน 60 นาที แหล่งที่มาของถ่านทั้งหมด เกษตรจะเผาถ่านใช้เองโดยไม่ได้ซื้อถ่านจากภายนอก ปริมาณถ่านที่ใช้ในแต่ละครัวเรือนเฉลี่ยที่ 68.11 กิโลกรัมต่อเดือน หรือประมาณ 41.684 ตันต่อปี มีความสนใจใน

การรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวอัดแท่ง เหตุผลที่เกษตรกรทั้งหมดสนใจเพราะปัจจุบันราคาฟืนที่จะใช้เผาถ่านมีราคาสูงมาก และไม่ทราบมาก่อนว่าลำต้นข้าวโพดสามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงได้

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว

การอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวด้วยเครื่องอัดแบบเอ็กซ์ทรูชัน ที่ทำงานด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า เป็นต้นกำลัง พบว่าการอัดเชื้อเพลิงชีว 1 ก้อน ใช้เวลาในการอัด 5 นาที พบว่าก้อนเชื้อเพลิงมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5.5 เซนติเมตร น้ำหนักของก้อนเชื้อเพลิงจะอยู่ระหว่าง 170 – 200 กรัม



รูปที่ 13 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่ง

4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งที่ผลิตจากลำต้นข้าวโพด ได้ใช้ห้องปฏิบัติการ ณ ของภาควิชาฟิสิกส์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิทยาศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เขตพื้นที่พิษณุโลก เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้นของเชื้อเพลิง ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย เพื่อนำมาคำนวณหาค่าคาร์บอนคงตัว และการหาพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่ง ในการทดลองได้ทำการบดเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งด้วยเครื่องบดละเอียด เพื่อความสะดวกในการทดลอง ซึ่งมีผลปรากฏตามตารางดังต่อไปนี้

4.3.1 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งตาม ASTM D 2866-95

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงชีว

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	3.15	3.08	3.11	3.11
น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	2.90	2.84	2.86	2.87

จากตาราง เมื่อกำหนดตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยที่มีน้ำหนักก่อนอบแห้งอยู่ประมาณ 3 กรัม หรือมีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 3.11 กรัม เมื่อทำการอบด้วยอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าลำต้นข้าวโพดตัวอย่างทั้ง 3 จานมีน้ำหนักเฉลี่ย 2.87 กรัม

เมื่อนำตัวอย่างของลำต้นข้าวโพดไปคำนวณหาปริมาณความชื้นตามสมการที่ 2

$$M_w = \frac{3.11 - 2.87}{3.11} \times 100 = 7.71 \quad (8)$$

จะเห็นได้กว่าปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียกของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 7.71 ต่ำกว่าลำต้นข้าวโพดที่ใช้ในการวิจัย เนื่องจากกรรมวิธีตากแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลทำให้ปริมาณน้ำในก้อนเชื้อเพลิงระเหยไป แต่ลำต้นข้าวโพดไม่ได้มีการนำไปอบจึงมีความชื้นมากกว่าเชื้อเพลิงชีวมวล

จากผลการทดลองตาม ASTM D 2866-95 ใช้สมการที่ 3 ในการคำนวณหาปริมาณแฉะของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ปรากฏผลดังตารางที่ 4

4.3.2 ปริมาณแฉะของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตาม ASTM D 2866-95

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

	น้ำหนัก (กรัม)			ปริมาณแฉะ (ร้อยละ)
	ถ้วยเปล่า	ตัวอย่าง ก่อนเผา	ตัวอย่าง+ถ้วย หลังเผา	
ตัวอย่างที่ 1 (กรัม)	23.35	1.06	23.45	9.88
ตัวอย่างที่ 2 (กรัม)	23.34	1.02	23.44	10.03
ตัวอย่างที่ 3 (กรัม)	22.75	1.01	22.85	10.01
ปริมาณแฉะ (ร้อยละ)				9.96

จากตารางพบว่าปริมาณแฉะเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งมีปริมาณแฉะเฉลี่ยร้อยละ 9.96 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณแฉะของลำต้นข้าวโพด จะพบปริมาณแฉะของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีส่วนผสมของแป้งเปียกที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดปริมาณแฉะเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณแฉะจากลำต้นข้าวโพดเพียงอย่างเดียว

4.3.3 ปริมาณร้อยละสารระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตาม ASTM D 2866-94

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

	น้ำหนัก (กรัม)			ปริมาณน้ำหนัก ที่สูญเสีย (ร้อยละ)	สารระเหย ในลำต้นข้าวโพด
	ถ้วยเปล่า	ตัวอย่าง ก่อนเผา	ตัวอย่าง หลังเผา		
ตัวอย่างที่ 1 (กรัม)	22.81	1.07	0.11	89.80	46.46
ตัวอย่างที่ 2 (กรัม)	23.35	1.19	0.12	89.82	

ตัวอย่างที่ 3 (กรัม)	20,22	1.01	0.10	90.09
ปริมาณร้อยละน้ำหนักที่สูญเสีย เฉลี่ย				89.90
ปริมาณสารระเหยในเชื้อเพลิงเขียว				71.30

จากสูตร ปริมาณสารระเหย หาได้จากน้ำหนักที่สูญเสีย หักออกจากผลรวมปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า จะได้ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) 71.31 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณสารระเหยในลำต้นข้าวโพด จะเห็นได้ว่า ปริมาณสารระเหยในเชื้อเพลิงเขียวสูงกว่าเกือบร้อยละ 50

4.3.4 แสดงปริมาณร้อยละค่าคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง ตาม ASTM D 5832-95

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเขียว

	ความชื้น	เถ้า	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว
เชื้อเพลิงเขียว	7.71	9.96	71.30	11.03
ลำต้นข้าวโพด	41.70	3.70	46.46	8.14

การหาปริมาณค่าคาร์บอนคงตัว โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 5832-95 สามารถที่จะคำนวณหาได้จาก การกำหนดค่าปริมาณสารในวัตถุทั้งหมดให้มีค่าเป็น 100 แล้วหักออกด้วยผลรวมของปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยและปริมาณความชื้น ดังนั้นเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยที่ร้อยละ 11.03 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าคาร์บอนคงตัวของลำต้นข้าวโพด ค่าคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงเขียวสูงกว่าอันเนื่องมาจากตัวประสานที่เป็นแป้งเปียก

การศึกษาศักยภาพของเชื้อเพลิง ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการศึกษาทดลองเพื่อจะได้ทราบถึงค่าพลังงานของเชื้อเพลิงอย่างแท้จริง การวิจัยเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพด จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งซึ่งปรากฏผลดังตารางที่ 7

4.3.5 ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง

ตารางที่ 7 แสดงค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง

	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าพลังงาน (แคลอรี/กรัม)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
ตัวอย่างที่ 1 (กรัม)	0.205	3761.50	
ตัวอย่างที่ 2 (กรัม)	0.303	3805.94	15831.08
ค่าพลังงาน(เฉลี่ย)		3783.72	
ลำต้นข้าวโพด			9,830

จากตาราง พบว่าค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value) ที่มีความชื้นมาตรฐานเปียกเฉลี่ยร้อยละ 7.71 มีค่าความร้อนอยู่ 15,831.08 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เมื่อนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนต่ำของลำต้นข้าวโพด พบว่าลำต้นข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการอัดด้วยแรงอัดโดยใช้ตัวประสานแป้งเปียก สามารถที่จะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากเมื่อลำต้นข้าวโพดได้รับแรงอัดจึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4.4 รายละเอียดคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพดที่ผลิตได้

ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพด

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตได้	
ปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยร้อยละ	11.03
ปริมาณค่าคาร์บอนคงตัวโดยเฉลี่ยร้อยละ	9.96
ปริมาณสารระเหยโดยเฉลี่ยร้อยละ	71.30
ปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยร้อยละ (M_w)	7.71
ค่าความร้อนสูง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	16,891
ค่าความร้อนต่ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	15,831

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพดที่ผลิตจากเครื่องอัดแบบเอ็กซ์ทรูชัน มีค่าความชื้น 7.71% เถ้า 11.03% สารระเหย 71.3% คาร์บอนคงตัว 9.96% ค่าความร้อนสูง 16,891 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และค่าความร้อนต่ำ 15,831 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้นการผลิตเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพดสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนซึ่งเป็นประโยชน์และเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งของผู้ใช้เชื้อเพลิงได้ เครื่องอัดแบบเอ็กซ์ทรูชันยังสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อสังเกตที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมในภายภาคหน้า เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสะดวกในการใช้งานของเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพดต่อไปในอนาคต

1 การกำหนดตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวควรจะมีการกำหนดให้อัตราส่วนผสมให้ครอบคลุมกว่าครั้งนี้เนื่องจากจะทำให้ผลการศึกษามีความสมบูรณ์ที่สุด

2 การพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเพลิงเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้เชื้อเพลิงชีวอัดแท่งมีความหลากหลายในการใช้งานและก่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานได้อย่างสูงสุด จึงควรมีการพัฒนาควบคู่กันไปกับส่งเสริมให้เกษตรกรกับการผลิตเชื้อเพลิงชีว

3 ควรให้ความรู้เกี่ยวกับผลดีและผลเสียจากการเผาวัตถุเหลือใช้ทางการเกษตรในแปลงปลูกของเกษตรกรว่ามีวิธีการที่ดีและเกิดประโยชน์มากกว่าการเผาทิ้ง อย่างที่เคยปฏิบัติกันมาตั้งแต่ก่อน

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550). สถิติการเกษตรในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
2. บริษัทเศรษฐกิจร่วมด้วยช่วยกัน จำกัด. (2549). คำแนะนำการปลูกข้าวโพด. กรุงเทพฯ.
3. ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. (2549). ชีวมวล. มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: หน้า 56. สำนักพิมพ์ คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด.
4. กรมป่าไม้. การการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวะ. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2553, จาก <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/chevamul.php>
5. สำนักคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. วัสดุเชื้อเพลิง. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2553, จาก http://www.bpcd.net/new_subject/industry/yungyut/km_yongyuth4/material%20subject/unit%2007/knowledge%20sheet.pdf
6. พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. (มปป). หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
7. ประลอง ดำรงไทย. การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวะ. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2552, จาก <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai>.
8. ปณต วิไลพล, วีระศักดิ์ เกิดแสง. (2547). การผลิตกระแสไฟฟ้าหน่วยย่อยโดยใช้เชื้อเพลิงชีวะที่ผลิตจากชังข้าวโพด และการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมการผลิตเชื้อเพลิงชีวะจากชังข้าวโพด โดยเครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวะขนาดเล็กสำหรับจังหวัดพิษณุโลก. พิษณุโลก. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ชนิดของข้าวโพด. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2552, จาก http://web.ku.ac.th/agri/cornn/corn_b.htm
10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ชนิดของข้าวโพด. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2552, จาก http://web.ku.ac.th/agri/cornn/corn_b.htm
11. ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. (2549). ชีวมวล. มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: หน้า 46. สำนักพิมพ์ คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด.
12. ประสาน สถิตเรืองศักดิ์. (2546). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
13. สุพจน์ เดชผล. (2546). การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับขาน้อย. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

14. ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. (2549). ชีวมวล. มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: หน้า 5. สำนักพิมพ์ คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด.
15. จิตติพงษ์ ทศวงศ์ และวิบูลย์ อันพิมมา. (2545). การผลิตถ่านชีวภาพจากฟางข้าว. รายงานปัญหาพิเศษ วท.บ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
16. พัชฎาภรณ์ เจริญรอย และอรชума นุสือว. (2545). การทำแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. บทความปัญหาพิเศษสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
17. อาทิตย์ มลิตอง. (2532). การศึกษาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมลิกไนต์. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
18. กลยุทธ ดิษเจริญ และเนตรรัตน์ เนตรประเสริฐ. (2541). การนำกากอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
19. นฤมล พินเนียบ. (2543). การยอมรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงชีวในครัวเรือนชนบท กรณีศึกษาอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
20. วัลลภ วัฒนธรรม. (2536). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ชั้นอุตสาหกรรม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
21. ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). การวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ.
22. จารุณี แสงสุวรรณวาว. (2530). การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวภาพจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
23. อภิชาติ จิรัฐติยางกร และอำรรรัตน์ มุ่งเจริญ. (2534). การใช้เศษไม้ไผ่จากอุตสาหกรรมเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิศวกรรมสาร ปีที่ 5 ฉบับที่ 14. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
24. อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และคณะ. (2552). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน. ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม. กรุงเทพฯ.
25. Owen McDougal, Richard Stanley and Seth C. Holstein. (2001). A Unigue Approach to Conservation. Chemical Innovation. Vol. 31, No.2, pp.22-28.
26. Yu Chengchun. (1999). Briquette Coal Formation by Using Straw Pulp Black Liquor in Paper Making and Forming Method, China Patent, No.1206736.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

27. Greig, Gordon Elder. (2000). Fuel Briquette. S. African, p.18.
28. Arun K. Tripathi, P.V.R.Lyer and Tara Chandra Kandpal. (1998). A Techno-Economic.
29. Yamane, Taro. (1973). Statistics: An Introductor Analysis.2 rd ed. New York: Harper and Row.
30. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2547). ถ่านอัดแท่ง. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2552, จาก <http://www.tisi.go.th/cgi-bin/otop/stdsearch.pl>
31. ASTM D-2866-95. (1996). Standard test method for moisture in Activated Carbon. American Standard of testing Material, U.S.A.
32. ASTM D-2866-95. (1996). Standard test method for total ash content of Activated Carbon. American Standard of testing Material
33. ASTM D-2866-94. (1996). Standard test method for volatile matter content of Activated Carbon. American Standard of testing Material, U.S.A.
34. ASTM D-5832-95. (1996). Standard test method for fixed carbon content of Activated Carbon. American Standard of testing Material, U.S.A.
35. ASTM D-2015 Standard. (1999). Test for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

รายชื่อผู้ขอขึ้นทะเบียนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

รายชื่อผู้ยืมเงินที่ระเบียบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านทางประชาคมและตราลงลงพื้นที่เรียบร้อยแล้ว (พพศ.3/2)

ชื่อ	ข้อมูลเกษตรกร		ข้อมูลแปลงปลูก		ข้อมูลผู้ปลูก (ไร่/งาน)	วันที่ลงทะเบียน	จำนวนเงินที่รับมอบแล้ว	จำนวนเงินที่รับมอบแล้ว
	ชื่อ	เลขที่	บ้านเลขที่	จำนวน				
31. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	23	บ้านเลขที่	0	29	บ้านเลขที่	12,000
32. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	112	บ้านเลขที่	0	112	บ้านเลขที่	75,000
33. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	20	บ้านเลขที่	0	20	บ้านเลขที่	14,000
34. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	18	บ้านเลขที่	0	18	บ้านเลขที่	13,000
35. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	15	บ้านเลขที่	0	15	บ้านเลขที่	30,000
36. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	350	บ้านเลขที่	0	350	บ้านเลขที่	7,000
37. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	46	บ้านเลขที่	0	46	บ้านเลขที่	30,000
38. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	128	บ้านเลขที่	0	128	บ้านเลขที่	8,000
39. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	198	บ้านเลขที่	0	198	บ้านเลขที่	5,000
40. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	130	บ้านเลขที่	0	130	บ้านเลขที่	15,000
41. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	275	บ้านเลขที่	0	275	บ้านเลขที่	3,750
42. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	146	บ้านเลขที่	0	146	บ้านเลขที่	16,000
43. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	213	บ้านเลขที่	0	213	บ้านเลขที่	50,000
44. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	210	บ้านเลขที่	0	210	บ้านเลขที่	21,000
45. บ้านท่าเรือ อําเภอบึงสามพัน	บ้านเลขที่	0	126	บ้านเลขที่	0	126	บ้านเลขที่	21,000

(นาย) นาย...
 (นาง) นาง...
 (นาย) นาย...
 (นาง) นาง...
 (นาย) นาย...
 (นาง) นาง...
 (นาย) นาย...
 (นาง) นาง...
 (นาย) นาย...
 (นาง) นาง...

ภาคผนวก ข.

แบบสัมภาษณ์การใช้เชื้อเพลิงในครัวเรือน

แบบสัมภาษณ์การใช้เชื้อเพลิงในครัวเรือน

ชื่อ.....เบอร์โทร.....

ที่อยู่.....

1. ข้อมูลการเพาะปลูกพืช

พันธุ์ข้าวโพด	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)	ราคาขาย (บาท)	รอบปีในการปลูก พืช

2. ข้อมูลลำต้นข้าวโพดที่เหลือใช้จากการเกษตร

1. สัดส่วนลำต้นต่อผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....
2. การนำไปใช้ประโยชน์.....
3. ลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์.....
4. ราคาขาย (บาท/กก.).....
5. ท่านคิดว่าลำต้นสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้หรือไม่
 ได้ เพราะ.....
 ไม่ได้ เพราะ.....
6. ถ้ามีการนำลำต้นข้าวโพดมาผลิตเชื้อเพลิง ท่านมีความสนใจรับการถ่ายทอดความรู้หรือไม่
 สนใจ เพราะ.....
 ไม่สนใจ เพราะ.....

3. ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงในชีวิตประจำวัน

1. ท่านใช้ถ่านในการประกอบอาหารหรือไม่ ใช่ ไม่ใช่
2. ท่านใช้ถ่านในการประกอบอาหารเฉลี่ยเดือนละ.....กิโลกรัม
3. ท่านนำถ่านมาจากแหล่งใด เค้าเอง ซื้อจากร้านค้าในชุมชน
4. ท่านซื้อถ่านราคาเท่าไรต่อ 1 กิโลกรัม.....บาท
5. เตาที่ท่านใช้ในการประกอบอาหารเป็นเตาชนิดใด.....
6. ในหนึ่งวันท่านประกอบอาหารกี่ครั้ง.....
7. ท่านใช้เวลาในการประกอบอาหารต่อครั้งนานเท่าไร.....
8. ท่านสนใจรับการถ่ายทอดความรู้การผลิตเตาประสิทธิภาพสูงหรือไม่
 สนใจ เพราะ.....
 ไม่สนใจ เพราะ.....

ผู้สัมภาษณ์.....

วันที่.....

ภาคผนวก ค.

ภาพแสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย



ตู้อบ (Oven Hot Air) ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น 100-800



เครื่องชั่งดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PL303



โถดูดความชื้น



ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



มีดสับหรือเครื่องบดลำต้นข้าวโพด



Bomb Calorimeter รุ่น PARR 1261



เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ EUROTHERM รุ่น 2216L



เครื่องอัดแท่งแบบเอ็กซ์ทรูชัน

ภาคผนวก ง.

ภาพแสดงการถ่ายทอดผลงานวิจัยแก่ชุมชนเป้าหมาย

ใบลงชื่อผู้เข้าร่วม
โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ "การผลิตเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพด"

ในวันที่ 15 พฤษภาคม 2555

ณ โรงเรียนวัดเขาน้อย ตำบลดงประคำ อำเภอรพรมพิราม จังหวัดพิษณุโลก

ลำดับที่	ชื่อ - สกุล	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ	หมายเหตุ
1	คุณสมชัย/ชื่อ คุณศรี/ชื่อ		สมชัย	
2	คุณชรินทร์ สัมภัก		ชรินทร์	
3	นายสมยศ สามภพเนตร		สมยศ	
4	นาง จันทิมา อภิมา		จันทิมา	
5	นายวิฑูรย์ พิพิบูล		วิฑูรย์	
6	นางช้อย พรหมเนตร		ช้อย	
7	ศิริลักษณ์ ยี่หว่อ		ศิริลักษณ์	
8	นาง อ้อม อภิมา		อ้อม	
9	นางใจ อภิมา		ใจ	
10	นางจันทิมา พิพิบูล		จันทิมา	
11	นางต้นทองแดง		ต้นทองแดง	
12	นางทองน้อย อภิมา		ทองน้อย	
13	สีอร่าม สอนักสิทธิ์		สีอร่าม	
14	คุณชรินทร์ อภิมา		ชรินทร์	
15	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
16	คุณชรินทร์ อภิมา		ชรินทร์	
17	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
18	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
19	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
20	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
21	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
22	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
23	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
24	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
25	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
26	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
27	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
28	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	
29	นายวิฑูรย์ อภิมา		วิฑูรย์	

ใบลงชื่อผู้เข้าร่วม
โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ "การผลิตเชื้อเพลิงชีวอัดแท่งจากลำต้นข้าวโพด"
ในวันที่ 15 พฤษภาคม 2555
ณ โรงเรียนวัดเขาน้อย ตำบลดงประคำ อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก

ลำดับที่	ชื่อ - สกุล	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ	หมายเหตุ
30	นางพิเชษฐ อธิษิตา		พิเชษฐ	
31	นายเชิด สิงห์วัน		เชิด	
32	นายธรรม สิงห์กลิ่น		ธรรม	
33	พิกุล ชาติภูมิ		พิกุล	
34	นางได้อจข ล้วจจจจจจ		ได้อจข	
35	นางประเสริฐ สอนองจจจ		ประเสริฐ	
36	นางไพฑูริย์ วัฒนวงษา		ไพฑูริย์	
37	นาย ปอง เป็ยข		ปอง	
38	ชวลิตชา วัฒนวงษา		ชวลิตชา	
39	พินทอง วัฒนวงษา		พินทอง	
40	อุษา วัฒนวงษา		อุษา	
41	พิมพ์กานต์ วัฒนวงษา		พิมพ์กานต์	
42	วันเพ็ญ วัฒนวงษา		วันเพ็ญ	
43	จิ่งสงวนันท์ วัฒนวงษา		จิ่งสงวนันท์	
44	พนิตศุภา วัฒนวงษา		พนิตศุภา	
45	อัครวิมล วัฒนวงษา		อัครวิมล	
46	ศุภมาส วัฒนวงษา		ศุภมาส	
47	สุนันท์ วัฒนวงษา		สุนันท์	
48	สมนันทนา วัฒนวงษา		สมนันทนา	
49	ศุภมาส วัฒนวงษา		ศุภมาส	
50	ณัฐกานต์ วัฒนวงษา		ณัฐกานต์	
51	เกศนา วัฒนวงษา		เกศนา	
52	เจษฎาภา วัฒนวงษา		เจษฎาภา	
53	วิภาส วัฒนวงษา		วิภาส	
54	กัญฉิลา วัฒนวงษา		กัญฉิลา	
55	ทองสาร วัฒนวงษา		ทองสาร	
56				
57				
58				







