บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากสภาพความเป็นจริงเกี่ยวกับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของประชาชนในชนบทยังนิยมใช้ถ่านและฟืนเป็นเชื้อเพลิงภาคครัวเรือน ซึ่งกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานได้รายงานว่าปี 2550 ประชาชนมีการใช้ถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2,932 กิโลตันน้ำมันดิบ และใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2,737 กิโลตันน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 30.75 และ 27.81 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในครัวเรือน ประกอบกับพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับฟืนและถ่านได้ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 33 ของพื้นที่ในประเทศ [4]

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานทดแทนอื่นๆ มาใช้ประโยชน์เป็นสิ่งจำเป็นและเร่งด่วน แต่เนื่องจากประเทศไทยยังเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร เช่น ลำต้นข้าวโพดหรือวัชพืชต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทนฟืนและถ่าน โดยเฉพาะประชาชนในชนบทจะทำให้มีเชื้อเพลิงใช้ในราคาถูก และเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดรายจ่ายทางด้านพลังงาน รวมถึงในระดับมหภาคยังจะสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน อันเนื่องมาจากขบวนการผลิตในภาคการเกษตรลงได้

2.1 เชื้อเพลิง [5]

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

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

เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว (Liquid Fuel) เชื้อเพลิงชนิดนี้ได้จากน้ำมันดิบหรือน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันดิบเกิดจากซากพืช ซากสัตว์ที่ตายทับถมกันเป็นเวลาล้านปี มีชั้นหินปกคลุม ชั้นน้ำมันดิบอยู่ น้ำมันดิบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดรวมกัน โดยมีองค์ประกอบทั่วไป ดังนี้คือ คาร์บอนร้อย

ละ 83-87 ไฮโดรเจนร้อยละ 11-15 ออกซิเจนร้อยละ 5 กำมะถันร้อยละ 6 ไนโตรเจนร้อยละ 0.05 ในการนำน้ำมันดิบหรือน้ำมันปิโตรเลียมมาใช้ต้องมาผ่านกรรมวิธีการกลั่น

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 เริ่มโดย นายกอนซาโล คาแทน และคณะที่นำเอาเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์แล้วจึงอัดเป็นแท่ง ส่วนในประเทศไทยแท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้พัฒนาขึ้นโดยนักวิชาการจากกรมป่าไม้ร่วมกับกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้ได้จากการอัดแท่งโดยไม่ใช้ความร้อนจากเศษวัชพืช หรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรต่างๆ เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย ผักตบชวา ขุยมะพร้าว มาอัดเป็นแท่ง โดยอาศัยความเหนียวของยางในวัสดุเหล่านั้นเป็นตัวประสานและความชื้นที่พอเหมาะ จะเห็นได้ว่าวิธีทำแท่งเชื้อเพลิงเขียวนี้ไม่ยาก เพียงรวบรวมเศษวัสดุที่จะทำเชื้อเพลิงมาสับเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอัดในเครื่องอัดให้เป็นแท่ง ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้อัด เช่น หากใช้ ชานอ้อยเน่าเปื่อยอย่างเดียว จะให้ค่าความร้อนประมาณ 3,100 แคลอรีต่อกรัม หากใช้ชานอ้อยเน่าเปื่อยผสมกับขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จะให้ค่าความร้อนประมาณ 3,000 แคลอรีต่อกรัม ในขณะที่ไม้ฟืนมะขามเทศให้ค่าความร้อน 4,721 แคลอรีต่อกรัม หรือเมื่อนำเชื้อเพลิงเขียวไปใช้ต้มน้ำ น้ำจะเดือดภายในเวลาเฉลี่ย 18 - 34 นาที ในขณะที่ฟืนไม้มะขามเทศใช้เวลา 28 นาที ถ่านไม้มะขามเทศใช้เวลา 36 นาที

ประลอง ดำรงไทย [7] กล่าวไว้ว่า แท่งเชื้อเพลิงเขียว คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่ง (โดยไม่ใช้ความร้อน) จากวัสดุชีวมวลต่อเศษวัชพืชต่างๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย ผักตบชวาหรือวัสดุอื่นๆ มาอัดเป็นแท่งโดยอาศัยความเหนียวของยางในวัสดุเหล่านั้นเป็นตัวเชื่อมประสานและมีความชื้นพอดี เมื่ออัดออกมาเป็นแท่งแล้วก็จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ประโยชน์แทนฟืน ถ่าน หรือแก๊สหุงต้มได้เป็นอย่างดี

2.3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง [8]

การอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งการอัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ หรือการอัดแท่ง อยู่ที่วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน เช่นในครัวเรือน หรือในทางอุตสาหกรรม ในกรรมวิธีการอัดแท่งนั้น เป็นผลมากจากความเหมาะสมของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นด้านหลัก

วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของการอัดได้เป็น 3 วิธี คร่าวๆดังนี้

1. การอัดสด เป็นการอัดเชื้อเพลิงโดยใช้วัสดุที่ยังมีความสดอยู่ เช่นการอัดสดพืชที่มีสารเหนียวประเภทเพคติน (Pectin) หรือเจลาติน (Gelatin) รวมถึงสารเหนียวประเภทอื่นๆ ที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้พืชนั้นสามารถจับตัวกันเป็นแท่งได้ การอัดสดพืชที่ไม่มีสารเหนียวในตัวเองแต่นำไปผสมกับพืชชนิดอื่นที่มีสารเหนียว 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. การอัดแห้งและใช้ความร้อนสูง เป็นการอัดซึ่งมีการคิดค้นในประเทศอเมริกา พบว่าเครื่องอัดในลักษณะดังกล่าวจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เกลียวหรือ สกรู กระบอกได และระบบการให้ความร้อนต่อกระบอกได รวมไปถึงระบบการระบายความร้อนให้กับชุดเฟือง เพื่อให้การอัดเชื้อเพลิงในลักษณะดังกล่าวสามารถควบคุมความชื้นได้ โดยที่ความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึง 12 และวัสดุจะต้องผ่านการบดมาแล้ว ถ้าความชื้นสูงหรือต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะทำให้การอัดแท่งไม่ได้ผลเท่าที่ควร การอัดแห้งจะใช้แรงอัดที่สูงประมาณ 11,000 ถึง 17,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2. การอัดแท่งแบบเปียกโดยไม่ใช้ความร้อน เป็นการอัดที่สามารถทำได้กับวัตถุดิบที่ยังคงมีความสดและวัสดุแห้ง เครื่องอัดแบบต่อเนื่องดังกล่าวประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ คือเกลียว กระบอกเกลียว และกระบอกได ซึ่งระบบดังกล่าวนี้จะแตกต่างจากการอัดแห้งและใช้ความร้อน คือไม่มีทั้งระบบให้ความร้อนและระบายความร้อน โดยในการผลิตนั้นวัตถุดิบที่จะถูกนำไปอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงจะผ่าน

กระบวนการลดขนาดให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยไม่จำเป็นต้องลดความชื้นหรือให้เหลือความชื้นที่พอดี การอัดเปียกจะใช้แรงอัดต่ำกว่าการอัดแห้งและใช้ความร้อนเป็นอย่างมาก การอัดสามารถเลือกใช้วัสดุได้อย่างมากมาย แต่การอัดเปียกจะมีข้อเสียตรงที่เมื่ออัดแล้วจะต้องนำไปอบแห้งหรือตากแดดจนกว่าเชื้อเพลิงที่อัดได้จะแห้ง ดังนั้นความชื้นที่เหมาะสมจะมีความสำคัญต่อการอัดเปียกเพราะจะทำให้ใช้เวลาในการตากน้อยลง และตัวเชื่อมประสานจากภายนอกจะเป็นสิ่งที่ช่วยให้การอัดเปียกมีการเกาะติดกันได้เป็นอย่างดี

ในขบวนการอัดแท่งตามที่นำเสนอข้างต้น จะมีลักษณะเด่นและด้อยที่แตกต่างกัน เช่น การอัดสดจะอาศัยความสดของวัสดุที่ใช้ทำเชื้อเพลิงมาอัดเลยซึ่งสารเหนียวต่างๆในตัววัสดุจะเป็นตัวประสานได้ดี ทำให้ก้อนเชื้อเพลิงจับตัวกันได้เป็นอย่างดีแต่ความหนาแน่นในการอัดตัวของวัสดุจะทำให้เป็นก้อน อย่างการอัดในแบบหมักไม่ได้เนื่องจากการอัดหมักได้มีการนำวัสดุไปหมักมาก่อนแล้วเมื่อนำมาอัดการคืนตัวจึงมีน้อยกว่าการอัดสด ส่วนการอัดแห้งจะต้องใช้ตัวประสานจากภายนอกมาช่วยยึดวัสดุรวมถึงแรงอัดจะต้องสูงมากเพราะวัสดุที่ใช้จะมีการคืนตัวสูง

2.4 **ข้าวโพด** [9] [10]

ข้าวโพดเป็นพืชในเผ่า (tribe) Maydeae ซึ่งลักษณะสำคัญของพืชในเผ่านี้คือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) ข้าวโพดซึ่งเป็นพืชปลูกเพียงชนิดเดียวในเผ่านี้จะมีช่อดอกตัวผู้ทางปลายยอดและมีช่อดอกตัวเมียอยู่บนแกนซึ่งแตกจากด้านข้างของลำต้น การที่ดอกอยู่แยกกันเช่นนี้อีกทั้งการที่ดอกตัวผู้โปรยละอองเกสรก่อนที่ตัวรับ (stigma) ของดอกตัวเมียแก่พร้อมจะผสม ทำให้ดอกตัวเมียส่วนใหญ่จะถูกผสมข้ามต้น

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

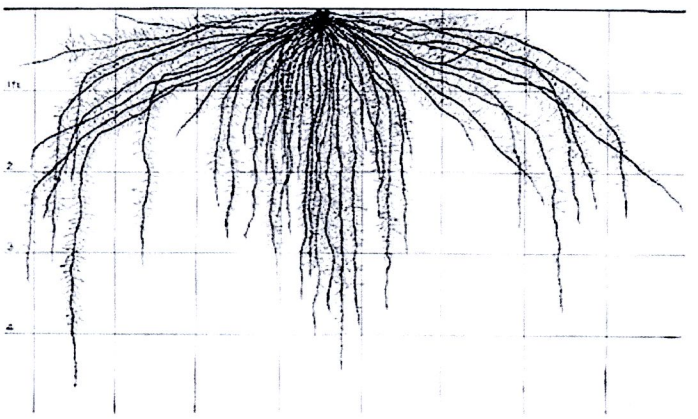
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพด

1. ราก (Roots)

ข้าวโพดมีรากระบบรากฝอย (fibrous root system) เมื่อข้าวโพดเริ่มงอก รากที่งอกออกจากเมล็ดโดยตรงจะมี 4 ราก หรืออาจจะมากกว่า 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

รากพิเศษที่มีเส้นใหญ่และแตกจากข้อล่างๆ ของลำต้นที่อยู่เหนือดิน จะทำหน้าที่

ช่วยค้ำจุนลำต้น รากพวกนี้เรียกว่า prop root, aerial root หรือ brace root

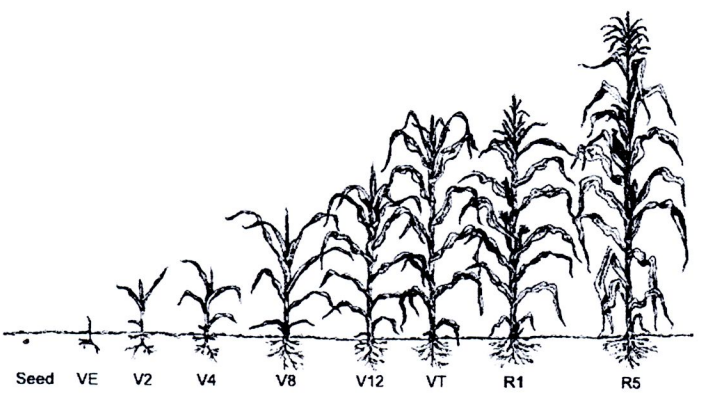


รูปที่ 1 แสดงรากข้าวโพด

ที่มา : JOHN E. WEAVER (1926.)

2. ลำต้น (Stem, stalk)

ต้นข้าวโพดมีลักษณะแข็งและตัน ไม่มีกิ่งก้านด้านข้าง ส่วนใหญ่มักจะไม่มีการแตกกอ ยกเว้นข้าวโพดบางพันธุ์ที่อาจแตกกอได้ 3-4 ต้น ลำต้นจะประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) สลับกัน ปล้องที่อยู่ด้านล่างๆจะใหญ่และสั้นกว่าปล้องที่อยู่เหนือขึ้นมา บนปล้องจะมีร่องลึก (groove)ซึ่งเกิดจากรอยกดของตาที่มุมใบ ในขณะที่ปล้องกำลังอยู่ในระยะยืดตัวปลายยอดสุดของลำต้นจะเป็นที่เกิดของช่อดอกตัวผู้ ความสูงของลำต้นข้าวโพดจะแปรไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก



รูปที่ 2 แสดงลำต้นข้าวโพด

ที่มา : JOHN E. WEAVER (1926.)

3. ใบ (Leaf)

ข้าวโพดจะมีใบระหว่าง 8-21 ใบ ซึ่งใบจะเกิดที่ข้อของลำต้นอย่างสลับข้อละ1ใบ พันธุ์ที่มีต้นเตี้ยและอายุสั้นจะมีใบน้อยกว่าพันธุ์ที่มีต้นสูงและอายุยาว ใบประกอบด้วยกาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) ฐานของกาบใบจะเรียบและหุ้มรอบข้อของลำต้น เหนือขึ้นมากาบใบจะแยกออกและห่อหุ้มปล้องของลำต้นและอยู่แนบชิดกับปล้อง

แผ่นใบจะมีลักษณะแบนและยาวเรียว มีเส้นใบแบบขนาน ที่ผิวด้านบนของแผ่นใบจะมีขนขึ้นปกคลุมซึ่งเมื่อลูบจะรู้สึกสากมือ ที่รอยต่อระหว่างแผ่นใบและกาบใบ (leaf collar) จะมีเยื่อกันฝน (ligule) ซึ่งเป็นเยื่อบางๆใส และมีหูใบ (auricle) ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่สามเหลี่ยมที่ฐาน 2 ข้างของแผ่นใบ

4. ช่อดอกตัวผู้ (Male inflorescence, staminate inflorescence)

ข้าวโพดมีช่อดอกตัวผู้ที่ส่วนยอดของลำต้นเป็นช่อแบบ panicle ซึ่งเรียกว่า tassel ดอก (spikelet) จะเกิดเป็นคู่โดยดอกหนึ่งจะไม่มีก้านดอก(sessile spikelet) และอีกดอกมีก้านดอก (pedicelled spikelet) ดอกหนึ่งๆจะประกอบด้วยดอกย่อย (florets) 2 ดอกย่อยอยู่ภายใน glumes ดอกย่อยแต่ละดอกจะมีกลีบ lemma ลักษณะเว้ารูปไข่ และกลีบ palea หุ้มอยู่ หนึ่งดอกย่อยจะมี stamens 3 อัน และ lodicules 2 อัน ก้านชูเกสรตัวผู้ (filament)จะยืดตัวอย่างรวดเร็วในระยะดอกบานชูอับเรณู (anther) ออกมาพ้นดอก อับเรณูอาจมีสีม่วง สีชมพู สีเหลือง หรือสีเขียว อับเรณูหนึ่งๆมีละอองเกสร (pollen grain) ได้ถึง 2,500 ละอองเกสร ช่อดอกตัวผู้ของข้าวโพดหนึ่งต้นอาจผลิตละอองเกสรได้ถึง 25,000,000 ละอองเกสร การโปรยละอองเกสรจะเกิดขึ้นก่อนการออกไหมของช่อดอกตัวเมียต้นเดียวกัน 1-3 วัน ดังนั้นข้าวโพดจึงเป็นพืชที่ผสม ข้ามต้น (cross - pollinated crop) การบานของดอกและการโปรยละอองเกสรจะเกิดขึ้นจากปลายช่อก่อน แล้วส่วนล่างลงมาก็จะทยอยบาน การโปรยละอองเกสรอาจจะเกิดติดต่อกันไปนานถึง 2 สัปดาห์

5. ช่อดอกตัวเมีย (Female inflorescence, pistillate inflorescence)

ช่อดอกตัวเมียของข้าวโพดก็คือ ฝัก (ear) ซึ่งเป็นช่อดอก (spike) มีแกนช่อดอกใหญ่เรียกว่า rachis หรือ cob แกนช่อดอกจะอยู่ส่วนปลายของกิ่งที่แตกจากตาข้างของลำต้น กิ่งนี้จะประกอบด้วยปล้องสั้น ๆ หลายปล้องอยู่ติด ๆ กัน ซึ่งเรียกว่า ก้านช่อดอกหรือก้านฝัก (shank) และที่บนก้านช่อดอกนี้ตามข้อจะมีใบซึ่งเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยมีกาบใบใหญ่แต่ไม่มีแผ่นใบ หากแต่มี ligules อยู่ที่ปลายใบซึ่งอยู่ตามข้อของก้านช่อดอกเหล่านี้จะอยู่ซ้อนเหลื่อมกันหุ้มช่อดอกไว้ ทำหน้าที่เป็นเปลือกหุ้มฝัก (husk) ที่ฐานของก้านช่อดอกจะมีใบที่มีกาบใบใหญ่และห่อหุ้มฝักไว้ ใบนี้เรียกว่า subtending leaf ขณะเดียวกันฐานของก้านช่อดอกจะมีใบที่แปลงลักษณะอีกแบบหนึ่งคือ มีกาบใบใหญ่เช่นกัน ไม่มีแผ่นใบ

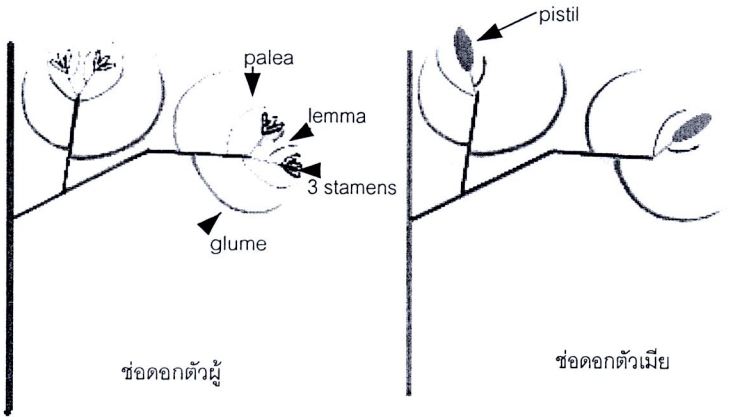
และมีสันสองสันอยู่บนกาบใบ ใบที่แปลงลักษณะนี้จะอยู่ชั้นนอกสุดของกาบหุ้มฝักและจะกั้นระหว่างฝักกับลำต้นไว้เรียกว่า prophyllum

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 ผนังรังไข่ที่สุกจะเจริญเป็นปลอกของเมล็ด(pericarp) นี้จะอยู่เชื่อมติดกับปลอกเมล็ด (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 แป้งอ่อนมักจะมีสีขาวและขุ่น สัดส่วนของแป้งทั้งสองชนิดในข้าวโพด และบริเวณที่แป้งแต่ละชนิดกระจายอยู่จะแตกต่างกันไปตามพันธุ์

การนำเข้ามาในประเทศไทย คนไทยรู้จักนำข้าวโพดมาเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 โดยหม่อมเจ้าสิทธิพร กฤดากร ได้นำข้าวโพดพันธุ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์มาปลูกและทดลองใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งในขณะนั้นเป็นยังเป็นที่รู้จักกันน้อย จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การใช้ข้าวโพดเริ่มแพร่หลายขึ้น เนื่องจากหลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ (ทองดี เรศานนท์) ได้นำการเลี้ยงไก่แบบการค้ามาเริ่มสาธิตและกระตุ้นให้ประชาชนปฏิบัติตามผู้เลี้ยงไก่จึงรู้จักใช้ข้าวโพดมากขึ้นกว่าเดิม แต่เนื่องจากระยะนั้นข้าวโพดมีราคาสูงและหายากการใช้ข้าวโพดจึงใช้เป็นเพียงส่วนประกอบของอาหารหลัก ซึ่งมีรำและปลายข้าวเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันผู้เลี้ยงสัตว์รู้จักข้าวโพดกันทั่วไป และในปัจจุบันประเทศไทยได้ปลูกข้าวโพดในปีหนึ่งๆเป็นจำนวนมาก

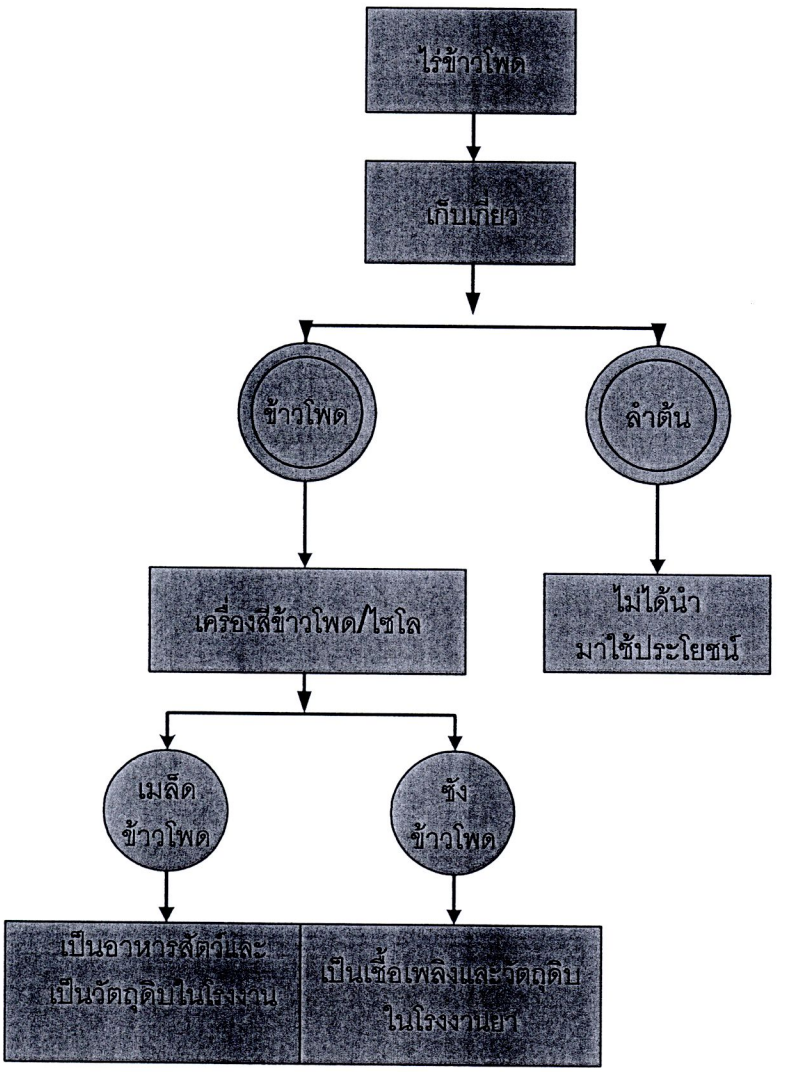
ข้าวโพดเป็นพืชล้มลุกที่ใช้เวลาปลูกและให้ผลผลิต 3 ถึง 4 เดือน ข้าวโพดที่ปลูกในประเทศนิยมปลูกกันอยู่ 2 ชนิดคือข้าวโพดหวาน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณการปลูกมากกว่าข้าวโพดหวาน และการปลูกของเกษตรกรจะนิยมปลูกกันแค่ปีละ 1ครั้ง โดยมีช่วงการปลูก 2 ช่วง ดังนี้คือ

1. การปลูกช่วง พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดของการปลูกข้าวโพด เนื่องจากช่วงอุณหภูมิโดยทั่วไปจะอยู่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมรวมไปถึงเมื่อเข้าสู่การเก็บเกี่ยวเป็นระยะที่อากาศร้อนและแห้งแล้งจึงสะดวกในการเก็บเกี่ยวและสามารถตากแห้งได้ดี

2. การปลูกช่วง มกราคม ถึง กุมภาพันธ์ สภาพอากาศค่อนข้างเย็นแล้ว หลังจากนั้นอากาศจะร้อนขึ้น ทำให้ต้นข้าวโพดมีอาการใบเหี่ยวแม้ความชื้นในดินจะมีเพียงพอดินนาส่วนมากเป็นดินเหนียวถึงเหนียวจัดเมื่ออากาศแห้งแล้งมักจะเกิดการแตกระแหงของผิวหน้าดินทำให้กระทบกระเทือนต่อราก นอกจากนี้การที่อุณหภูมิสูงมาก จะเป็นอันตรายต่อการผสมเกสรและการสร้างเมล็ดด้วย

มีระยะการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้ระยะ 75 x 75 เซนติเมตร หยอดเป็นหลุมหลุมละ 4 เมล็ด กลบดินหนาประมาณ 5 เซนติเมตร ให้แน่นพอประมาณเมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 15 วัน ควรถอนต้นที่ไม่

แข็งแรงทิ้ง เหลือไว้หลุมละ 3 ต้น หรือ ใช้ระยะ 75 x 50 เซนติเมตร หยอดหลุมละ 3 เมล็ด ถอนให้เหลือหลุมละ 2 ต้น ถ้าใช้เครื่องจักรปลูก ควรใช้ระยะ 75 x 50 เซนติเมตร โดยให้มีจำนวนต้นข้าวโพดประมาณ 8500 ต้นต่อไร่ ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ 3 ถึง 4 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนข้าวโพดหวานหรือข้าวโพดเทียน ใช้ระยะปลูกเดียวกัน แต่ปลูกให้มีจำนวนต้นต่อไร่ มากกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อีกร้อยละ 25 ถึง 50 [11]



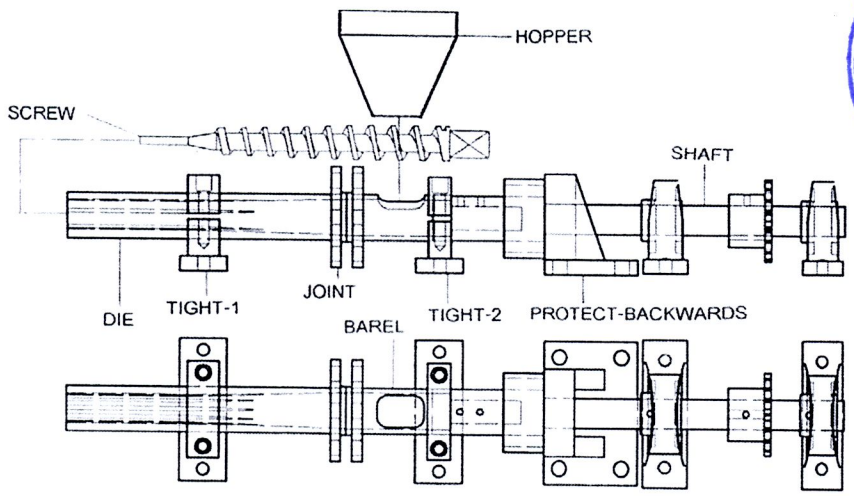
รูปที่ 4 แสดงการเก็บเกี่ยวข้าวโพดและการนำไปใช้

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2549.)

2.5 เครื่องมืออัดแท่งเชื้อเพลิง [12]

1. การอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrution) ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญในเครื่องอัด (Extruder) ดังนี้คือ สกูรอัด (Pressure Screw) ช่องป้อนวัสดุ (Barrel) แม่พิมพ์ (Die) และต้นกำลัง (driver) ที่ใช้ขับสกูรอัด ซึ่งชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุดในขบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งคือตัวสกูรอัด โดยสกูรอัด ที่ใช้เป็นแบบสกูรอัดเดี่ยวและมีหลักการทำงานของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งและองค์ประกอบของการอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็ง ดังนี้

การอัดรีด คือ กระบวนการบังคับให้วัตถุดิบ (ชีวมวล) เคลื่อนตัวผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อให้ได้ลักษณะของรูปทรงตามความต้องการออกมาสู่ภายนอกอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

ที่มา : ประสาน สถิตเรือง (2546.)

หลักการพื้นฐานในการเคลื่อนตัวของอนุภาคของชีวมวล ภายในสกูรอัดแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะเกิดจากแรงเสียดทาน โดยที่แรงเสียดทานจะเป็นตัวกลางที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้และนำความรู้จากอุตสาหกรรมและกระบวนการฉีดพลาสติกมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากเชื้อเพลิงชีวมวล (Extruder) จำพวก กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อย เป็นต้น เพื่ออัดชีวมวลเหล่านี้ให้รวมกันได้เป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งทำการพิจารณาออกแบบได้ง่าย หลักการทำงานไม่สลับซับซ้อนและสามารถทำงานได้ต่อเนื่องรวมถึงมีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ โดยปกติกระบวนการอัดรีดเย็นจะแบ่งช่วงการทำงานของสกูรออกเป็น 2 ช่วงคือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 30 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 250778

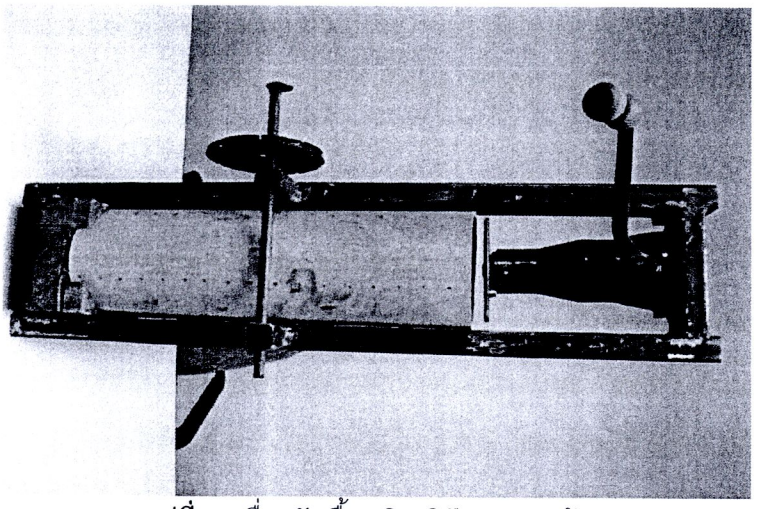
1. ช่วงการป้อนวัตถุดิบและลำเลียง (Feed section)

ช่วงการป้อนและการลำเลียงวัตถุดิบนั้น ชีวมวลจะถูกป้อนลงมาจากด้านบนมาเก็บไว้ที่ถังพักทรงกรวย (Hopper) ซึ่งชีวมวลจะอยู่ในลักษณะของเม็ดหรือผงแล้วจะเคลื่อนตัวหล่นลงบนเกลียวลำเลียงจากนั้นเกลียวลำเลียงจะขนถ่ายชีวมวลเข้าสู่ช่องการอัดตัว การไหลของชีวมวลลงในช่องสกูรจะพิจารณาเป็นการไหลแบบจุกอัด (plug flow) ซึ่งการไหลของชีวมวลจะมีความเร็วเท่า ๆ กัน

2. ช่วงการอัดตัว (Compression section) วัตถุดิบจะถูกอัดตัวโดยการเพิ่มชั้นของความดันในแนวแกนสกรูซึ่งวัตถุดิบจะถูกอัดตัวกันแน่นและผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์ แต่หากการไหลในร่องของสกูรยังไม่เกิดความดันจะทำให้จะไม่เกิดการไหลแบบจุกอัด โดยมากจะเกิดในกรณีที่เป็นการไหลแบบไม่เต็มร่องเกลียวการอัดตัว คือ การที่อนุภาคชีวมวลถูกแรงกดอัดจนอนุภาคเกาะตัวกันเป็นก้อนแข็ง และเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งได้ใช้สกรูในการอัดรีดชีวมวลให้ผ่านแม่พิมพ์ (Die) ออกมาเป็นเชื้อเพลิงแท่งแข็ง โดยในการอัดรีดแบบเย็นต้องมีการเตรียมวัตถุดิบและตัวประสานซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวยึดเกาะอนุภาคชีวมวลให้เป็นแท่งหลังจากผ่านกระบวนการอัดรีดแล้ว

2.การอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวโดยเครื่องอัดภูมิปัญญาชาวบ้าน มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับแนวคิดในการสร้างเพื่อความเหมาะสมที่จะใช้กับงานและวัสดุที่จะใช้อัด ซึ่งในที่นี้เครื่องอัดที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นเครื่องอัดที่สร้างกำลังอัดจากแม่แรงขนาด 1 ตัน ใช้ท่อ พีวีซีขนาด 4 นิ้วเป็นกระบอกดายและมีแผ่นโลหะกลมมาทำหน้าที่แบ่งชั้นก้อนเชื้อเพลิง

การทำงานของเครื่องอัดภูมิปัญญาชาวบ้านชนิดนี้ จะนำกระบอกดายออกจากตัวแท่นเพื่อใส่วัตถุดิบในปริมาณที่เหมาะสม นำแผ่นโลหะใส่กั้นวัตถุดิบไว้เพื่อใส่ก้อนที่เหลือต่อไป เมื่อบรรจุเรียบร้อยแล้วจึงนำกระบอกดายไปบรรจุไว้กับแท่นอัดตามเดิม แล้วจึงออกแรงหมุนแม่แรงไปจนสุดทิ้งไว้ประมาณ 3 นาทีเพื่อให้ก้อนเชื้อเพลิงอยู่ตัวแล้วจึงนำก้อนเชื้อเพลิงที่อัดออกมาตาก



รูปที่ 6 เครื่องอัดเชื้อเพลิงภูมิปัญญาชาวบ้าน

2.6 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง [13]

เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติคล้ายฟืน คือมีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่าน เวลาจุดจะมีควันมาก ซึ่งการใช้เชื้อเขียวอัดแท่งจึงเหมาะกับการใช้กับเตาไฟที่มีปล่องควันเพราะการใช้เตาไฟลักษณะนี้จะช่วยลดควันได้ การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้องค์ประกอบหลักๆที่สำคัญของเชื้อเพลิงในการประเมินคุณภาพได้แก่

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง ความชื้นจะเป็นตัวที่ทำให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวลดลงและจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงแตกร่วนได้ง่าย

สารระเหย (Volatile matter) คือส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถระเหยได้ ซึ่งเป็นสารที่มีองค์ประกอบของ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

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

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

ค่าความร้อน (Heating value) เป็นค่าความร้อนของการสันดาป จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง

กำมะถันรวม (Total sulfur)

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีค่าคาร์บอนคงตัวอยู่ในระดับที่สูงและมีปริมาณของสารระเหยในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจึงทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำแต่เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี ไม่จำเป็นต้องมีค่าความร้อนที่สูงสุดแต่จะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การแตกปะทุขณะติดไฟ น้ำหนักของเชื้อเพลิง ควัน และความแข็งของเชื้อเพลิง

2.7 การวิเคราะห์ที่ใช้ในการจำแนกชนิดของเชื้อเพลิง [14]

1. การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุนี้ ธาตุหลักที่วิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นตัวหลัก นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันและไนโตรเจนประกอบด้วย เครื่องมือวิเคราะห์ ultimate analysis มักใช้วิธีเผาตัวอย่างให้

เป็นออกไซด์ แล้วใช้สารเคมีดูดซับ แล้วหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นหลัก ส่วนออกซิเจนจะหาได้จากผลต่างของธาตุที่เหลือหรือวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางเคมีในเครื่องมือเฉพาะ

2. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) การวิเคราะห์วิธีนี้ใช้วิธีวิเคราะห์หาค่าความชื้น สารระเหย เถ้าและค่าคาร์บอนคงตัว วิธีวิเคราะห์ทำโดยอบตัวอย่างเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิระดับต่างๆ ในเตาอบเพื่อหาปริมาณน้ำหนักที่หายไป สำหรับค่าความชื้นและสารระเหยและหาน้ำหนักของเถ้าเชื้อเพลิงจากการเผาให้เหลือแต่ขี้เถ้า ส่วนค่าคาร์บอนคงตัวนั้น จะหาได้จากเอาเปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย หักออกจากร้อยเปอร์เซ็นต์

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

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตติพงษ์ ทัศวงศ์ และวิบูลย์ อันพิมมา [15] ได้ศึกษาถ่านชีวภาพจากฟางข้าวโดยมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญอยู่ 2 วิธี คือการผลิตถ่านจากฟางข้าวและการอัดแท่งถ่านจากฟางข้าวโดยใช้ตัวประสาน ซึ่งการผลิตถ่านฟางข้าวนั้นใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตรเป็นเตาเผาและสังเกตจากสีควันและการลุกไหม้ ควันเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเป็นการสิ้นสุดกระบวนการผลิตถ่าน สัดส่วนผลการผลิตถ่านเฉลี่ยร้อยละ 20.08 การอัดแท่งถ่านใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว โดยใช้มันสำปะหลังดิบบดเป็นตัวเชื่อมประสาน อัตราส่วนตัวประสานที่ดีที่สุด คือ ถ่านฟางข้าวต่อมันสำปะหลังดิบบดละเอียดต่อน้ำ เท่ากับ 6 ต่อ 1 ต่อ 1 (โดยปริมาตร) ถ่านอัดฟางข้าวที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มได้

พัชฎาภรณ์ เจริญรอย และอรชุมา นุสีวอ [16] ได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและแกลบ โดยใช้ผักตบชวาเป็นตัวเชื่อมประสานพร้อมทั้งศึกษาหาค่าความร้อน อัตราการให้ค่าความร้อน และก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิง ในการศึกษาได้นำวัสดุเหลือใช้มาอัดให้เป็นแท่งด้วยวิธีการอัดแบบเปียกโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิกและแม่แรงอย่างง่ายในอัตราส่วน 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 3 และ 1 ต่อ 4 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนฟางข้าว ผักตบชวา และแกลบ ผักตบชวา ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนักทำให้แท่งเชื้อเพลิงอยู่ตัวไม่แตกเปราะสามารถยึดเกาะได้ดีและให้ค่าความร้อน 3,956 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และ 2,358 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม 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 ปริมาณ

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและแกลบ มีปริมาณ CO_2 ร้อยละ 2.27 CO ร้อยละ 0.37 SO_2ร้อยละ 0.00 และ CO_2ร้อยละ 1.82 CO ร้อยละ 0.38 ตามลำดับ เมื่อนำค่าของปริมาณก๊าซมาเทียบกับค่ามาตรฐานสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานเผาขยะมูลฝอยของกระทรวงอุตสาหกรรมพบว่าปริมาณก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นในทุกอัตราส่วนเกินค่ามาตรฐาน

อาทิตย์ มลิทอง [17] ได้มีการศึกษาวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ ที่มีอัตราส่วนแตกต่างกันตลอดจนศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของแท่งเชื้อเพลิงเขียว เพื่อเป็นการนำเอาผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชที่สำคัญมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มและกิจกรรมในครัวเรือนทดแทนฟืนและถ่านเพื่อสนองนโยบายของรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ

เชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตจากผักตบชวาล้วนและผักตบชวาผสมถ่านหินลิกไนต์ มีอัตราส่วนแตกต่างกันโดยปริมาตร ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตจากตบชวาผสมถ่านลิกไนต์ที่อัตราส่วน 10 ต่อ 90 ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 4,194 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับถ่านลิกไนต์ที่ 20 ต่อ 80, 50 ต่อ 50, 30 ต่อ 70, 70 ต่อ 30, 80 ต่อ 20, 90 ต่อ 10 ผักตบชวาล้วน (100 ต่อ 0) มีค่าความร้อนเรียงที่ 4,108 3,853 3,847 3,754 3,554 3,402 และ 3,234 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวเมื่อทดสอบโดยใช้เตาประสิทธิภาพสูงกรมป่าไม้ 1 (เตาถ่าน) พบว่าเชื้อเพลิงเขียวอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อถ่านลิกไนต์ที่ 10 ต่อ 90 มีประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนสูงที่สุด ในเชิงพาณิชย์พบว่าได้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนคือผลตอบแทนต่อการใช้จ่าย 1.2 และอัตราผลการตอบแทนของโครงการร้อยละ 47

กลยุทธ ดิษเจริญ และเนตรรัตน์ เนตรประเสริฐ [18] ได้ศึกษาวิจัยพบว่าเมื่อนำกากอ้อยมาทำการอัดแท่งแบบอัดเย็น โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานอัตราส่วนผสมกากอ้อยต่อกากน้ำตาลเป็น 87.5 ต่อ 12.5 โดยปริมาตร จะให้ค่าความร้อนสูงที่สุด 3916.65 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฟืนไม้ยูคาลิปตัสแต่ต่ำกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส จากผลการศึกษาสรุปได้ว่ากากอ้อยมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนได้

นฤมล พินเนียบ [19] ได้ศึกษาถึงการผลิตและการยอมรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเขียวในครัวเรือนชนบท กรณีศึกษาอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทำมาจากแกลบ ส่วนเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวา (Eichormia carssipes Solms.)ผสมขี้เลื่อย เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านความชื้น ปริมาณสารระเหย ค่าความร้อน คาร์บอนคงตัวและพลังงานที่นำไปใช้งาน และทดสอบการยอมรับของประชาชนในเขตอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยการสัมภาษณ์จากประชากรเป้าหมาย การเลือกตัวอย่างโดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น การสุ่มตัวอย่างระบบ (Systematic Random Sampling)เป็นการสุ่มตัวอย่างประชากรแบบสุ่มเป็นช่วงๆ ทำการสุ่มประชากรจากตัวสุ่มเริ่มต้น

(Random sart) แล้วนับไปตามช่วงของการสุ่ม(Random interval) โดยการสุ่มประชากรอำเภอคลองหลวง ทั้ง 7 ตำบล ตั้งแต่ตำบลคลองหนึ่งถึงตำบลคลองเจ็ด โดยการสุ่มประชากรทุกหมู่บ้านในตำบล

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในด้านความชื้น ปริมาณสารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน และพลังงานความร้อนที่นำไปใช้งาน พบว่ามีความเป็นไปได้ในเชิงการผลิต และพลังงานนำความร้อนที่นำไปใช้งาน แท่งเชื้อเพลิงเขียวมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย และค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงแข็ง แต่มีเถ้าและคาร์บอนคงตัวต่ำกว่า นอกจากนี้ ค่าพลังงานของแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวา มีค่าประสิทธิภาพพลังงานสูงเหมาะสมในการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง แต่ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนนั้นเชื้อเพลิงแข็งให้ผลดีกว่า ส่วนการทดสอบการยอมรับจากประชากรกลุ่มเป้าหมายที่ได้ทำการทดลองใช้แท่งเชื้อเพลิงเขียวและแท่งเชื้อเพลิงแข็ง พบว่าส่วนใหญ่ยังไม่ยอมรับแท่งเชื้อเพลิงแข็งและแท่งเชื้อเพลิงเขียว ในกรณีที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มอยู่แล้ว และหากต้องใช้เชื้อเพลิงอัดแท่ง ประชากรกลุ่มเป้าหมายจะยอมรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตจากแกลบ มากกว่าเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตจากผักตบชวา

วัลลภ วัฒนธรรม [20] ได้ศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ขั้นอุตสาหกรรม พบว่าผลการศึกษาวิจัยทางด้านเทคนิค ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งที่สร้างโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มีเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งจำนวน 4 เครื่อง ระบบอบแห้งประกอบด้วยเครื่องร่อนเตาให้ความร้อน เครื่องอบแห้งแบบหมุน เครื่องป้อน (screw feed) และเครื่องแยกฝุ่น (cyclone) สามารถผลิตแท่งฟืนขี้เลื่อยเพื่อใช้แทนไม้ฟืนในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิต พบว่าต้นทุนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากขี้เลื่อยขั้นอุตสาหกรรม ราคากิโลกรัมละ 1.05 บาท ปัจจุบันโรงงานที่ผลิตขายราคากิโลกรัมละ 1.70 ถึง 2 บาท ผู้ผลิตสามารถที่จะขายเป็นอุตสาหกรรมได้ แต่ควรตั้งอยู่ใกล้วัตถุดิบเพื่อจะได้ลดต้นทุนการผลิตลง

ทองทิพย์ พูลเกษม [21] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด

ผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่งและคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียนทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นจะให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกันทั้งแบบใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานโดยให้ค่าความร้อน 3,699, 3,625 และ 3,671 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าแบบเย็นคือ 3,841.5 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับความร้อนที่ได้จากไม้ฟืนยูคา

ลิปตัส แต่การอัดแบบร้อนจะใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น(0.08 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) คือ 0.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนจากเปลือกทุเรียนอัดแท่งทั้งแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น พบว่าเปลือกทุเรียนอัดแท่งจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนสูงกว่าฟืนไม้ยูคาลิปตัสร้อยละ 6 และเนื่องจากเปลือกทุเรียนจะมีลักษณะเหนียวคล้ายแป้งเปียกเป็นตัวประสานอยู่แล้วดังนั้นเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดเย็นโดยไม่ใช้ตัวประสานจึงเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำที่สุด เหมาะสมในการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้

จารุณี แสงสุวรรณวาว [22] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้าและกากน้ำตาล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน โดยมีวิธีการศึกษามีรายละเอียดดังนี้ นำวัสดุทั้ง 3 ชนิดมาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสาน 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 ส่วนเชื้อเพลิงที่มีกากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานมีน้ำหนักแห้งร้อยละ 87.2 ของน้ำหนักสด เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปของเชื้อเพลิง ทดสอบประสิทธิภาพในการอัดและประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนกับเตาที่สร้างขึ้นสำหรับเชื้อเพลิงเขียว

ผลการศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงเขียวเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศพบว่าเชื้อเพลิงเขียวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืนคือให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 4,000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม แต่มีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศที่มีค่าความร้อน 7,390 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอัดของเชื้อเพลิงเขียว(พลังงานเอาท์พุท/อินพุท)สูงกว่าร้อยละ 100 ส่วนประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนเมื่อใช้กับเตาเชื้อเพลิงเขียว(เตาโลหะ)สูงสุดถึงร้อยละ 28.54 สูงกว่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ แต่การใช้เชื้อเพลิงเขียวที่ทำจากแกลบผสมกากส่าเหล้ากับเตาที่ใช้ในการทดลองยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนยังต่ำอยู่

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

จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากผักตบชวามียางเหนียวประเภทลิกนินอยู่ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของเศษวัสดุต่อน้ำและตัวเชื่อมประสานในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆมีดังนี้ 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 ชนิด ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับฟืนไม้มะขามเทศ ยกเว้นปริมาณเค้าซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของเซลล์พืช ค่าความร้อนที่ได้ก็ใกล้เคียงกันคืออยู่ระหว่าง 3,020.20 ถึง 4,572.41 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยเชื้อเพลิง (E) มีค่าความร้อนมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับฟืนไม้มะขามเทศ (4,721.76 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) และเชื้อเพลิง (B) มีค่าน้อยที่สุด

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจและคณะ [24] ได้ศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากชีวมวลโดยอาศัยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นแบบอัดรีดเย็นและใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เถ้าแกลบโดยการนำมาผสมวัตถุดิบอื่นเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ขี้เถ้าแกลบที่ได้จากกระบวนการอบข้าวเปลือก ในโรงสีข้าว โดยการนำมาบดผสมกับผงถ่านซังข้าวโพดและผงถ่านกะลามะพร้าว โดยมีสัดส่วนการผสมอยู่ที่ 30 ต่อ 70, 40 ต่อ60 และ 50 ต่อ 50 ตามลำดับ ส่วนแป้งมันจะมีสัดส่วนการผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1 ต่อ 10

จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงกดจะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของผงซังข้าวโพดและผงกะลามะพร้าวแต่จะแตกต่างกันไม่มากนัก การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงพบว่า โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 6,048 ถึง 6,943 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 5.7 ถึง 5.83 โดยน้ำหนัก อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.5 กิโลกรัมต่อนาที ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 ถึง 833 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.07 ถึง1.23 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 9,448 กิโลกรัมจากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

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

Chun [26] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อกระดาษที่มีอยู่ในน้ำเสีย Black liquor ในโรงงานผลิตกระดาษ โดยทำให้ Black liquor เข้มข้นขึ้นจนมีปริมาณของแข็งมากกว่า ร้อยละ 35 แล้วนำ Black liquor 100 กิโลกรัม มาผสมกับปูนดิบ 7 ถึง 10 กิโลกรัม ผงถ่านหิน 25 ถึง 35 กิโลกรัม และผงฟาง (straw powder) 8 ถึง15 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาอัดให้เป็นแท่งที่อุณหภูมิปกติ นับเป็นการกำจัด Black liquor ไม่ให้ปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถสกัดกากตะกอนที่เป็นด่าง (caustic sludge) ออกจากเถ้าหลังการเผาไหม้แท่งเชื้อเพลิง 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 พบว่าการวิเคราะห์ทางด้านการเงินของเทคโนโลยีสำหรับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นสามารถทำได้ โดยที่เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเชื้อเพิงอัดแท่งราคาไม่สูง และยังคงมีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆซึ่งราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงนั้นจะแปรผันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ทำ