บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถผลิตได้โดยใช้วัสดุจากแหล่งต่างๆ อันได้แก่ ของเหลือใช้ที่มาจากกระบวนการอุตสาหกรรมที่เป็นเชื้อเพลิง เช่น เศษไม้ แกลบ ขี้เลื่อย ชานอ้อย และพวกชีวมวลที่เหลือจากกิจกรรมทางการเกษตรที่เป็นเชื้อเพลิง เช่น ฟางข้าว และเศษต้นพืชต่างๆ ที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวของเกษตรกร ซึ่งการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุดังกล่าวนี้มีเทคนิคและการใช้ตัวประสานที่แตกต่างกันซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล และการนำแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้ประโยชน์มีดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล

ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และคณะ [1] ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็นโดยใช้ตัวประสานที่ทำจากการนำฟางข้าวแห้งที่มีความชื้นประมาณ 15 % db ไปทำการหมักกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนการผสมตัวประสานต่อน้ำหนักของวัตถุดิบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง เช่น ความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด และค่าความร้อน โดยวัตถุดิบที่จะนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงคือผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับผงถ่านใยมะพร้าวที่สัดส่วน 50 : 50 และปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมของตัวประสานฟางข้าวหมักต่อน้ำหนักของวัตถุดิบจาก 15 : 100 ไปเป็น 20 : 100 และ 25 : 100 ผลที่ได้พบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสมตัวประสานที่เพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่น และความต้านทานแรงกดจะลดลงตามสัดส่วนของประสานที่เพิ่มขึ้นโดยที่ความหนาแน่นมีค่าในช่วง 1328-1388 kg/m^3 ค่าความต้านทานแรงกดอยู่ระหว่าง 0.33-0.49 MPa ซึ่งค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ในภาคอุตสาหกรรมมีค่า 0.375 MPa สำหรับค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ระหว่าง 23.6-24.5 MJ/kg

ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็นโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสานเปรียบเทียบกับการใช้ฟางข้าวหมักเป็นตัวประสาน สัดส่วนที่ใช้ในการผสมของตัวประสานต่อวัตถุดิบโดยมวลจะปรับเปลี่ยนไปจาก 10 : 100 ไปเป็น 15 : 100 และ 20 : 100 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนตัวประสานจะทำให้ความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิงลดลงเนื่องจากตัวประสานทั้งสองชนิดเป็นน้ำ ดังนั้นเมื่อนำเชื้อเพลิงที่ได้ไปทำการอบ จะทำให้น้ำที่มีอยู่ในตัวประสานระเหยออกไปซึ่งหากผสมตัวประสานในสัดส่วนที่มากก็จะทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปมากเป็นผลให้เกิดช่องว่างระหว่าง

อนุภาคของแท่งเชื้อเพลิงมากขึ้น ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงจึงลดลง แต่เชื้อเพลิงแท่งที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานจะมีความแข็งแรงกว่าเชื้อเพลิงแท่งที่ใช้ฟางข้าวหมักเป็นตัวประสาน ในขณะที่ผลของการเพิ่มสัดส่วนตัวประสานจะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสัดส่วนในการผสมโมลาสจะส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงลดลง แต่ในกรณีของการใช้ฟางข้าวหมักเป็นตัวประสานนั้นค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของตัวประสาน สำหรับค่าความต้านทานแรงกระแทกของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานในทุกสัดส่วนการผสมจะให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเป็นอนันต์ แต่ในกรณีการใช้ฟางข้าวหมักเป็นตัวประสานพบว่าความต้านทานแรงกระแทกจะแปรผกผันกับสัดส่วนตัวประสาน

นอกจากนี้ ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานในสัดส่วน 8 : 100, 10 : 100 และ 12 : 100 ซึ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มสัดส่วนการผสมแป้งเปียกทำให้ความหนาแน่น และความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความร้อนจะลดลงตามปริมาณสัดส่วนของแป้งเปียกที่เพิ่มขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 0.69-1.35 MPa ค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ระหว่าง 675-830 kg/m^3 และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าระหว่าง 24.3-26.0 MJ/kg

รัติยา มณีศรี [4] ได้ศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดความหนาแน่นปานกลางจากต้นหญ้าสลาบหลวง โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารยึดติด ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความต้านทานแรงอัด และค่าความต้านทานแรงดึง จากการทดสอบพบว่าสิ่งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ คือ ชนิดของสารยึดติด และปริมาณของสารยึดติดกล่าวคือถ้าใช้สารยึดติดกาวยูเรีย-เมลามีนฟอร์มานดีไฮด์ (Urea-Melamine formaldehyde resin) กับหญ้าสลาบหลวง ที่ปริมาณสารยึดติดเท่ากัน จะพบว่าการที่ใช้กาวยูเรียเมลามีนฟอร์มานดีไฮด์เป็นสารยึดติดจะดีกว่าการใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์

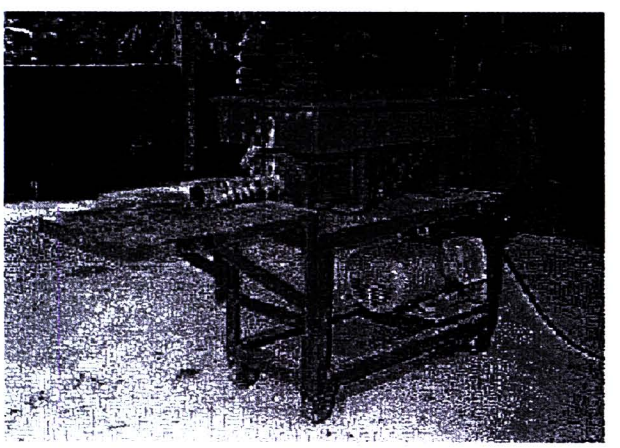
Odozi และคณะ [5] ได้ศึกษาถึงลักษณะของแผ่นปาติเกิลบอร์ดจากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้เปลือกไม้โกงกาง ซังข้าวโพดและชานอ้อยนำมาบดให้มีขนาด 60 mesh และใช้กาว Tannin-Resorcinol formaldehyde resin เป็นสารยึดติด แผ่นที่ใช้กาว Tannin-Resorcinol formaldehyde resin 10 % ผสมกับชานอ้อย 25 % และซังข้าวโพด 75 % จะมีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 177.6 psi ส่วนแผ่นที่ใช้อัตราส่วนผสมกับซังข้าวโพด และชานอ้อยอย่างละ 50 % จะมีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 200 psi แผ่นที่ใช้กาว Tannin-Resorcinol formaldehyde resin 25 % ผสมกับชานอ้อย ซังข้าวโพดอย่างละ 25 % และเปลือกไม้โกงกาง 50 % จะมีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 204.7 psi

2.2 การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล

2.2.1 การอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (การอัดเปียก)

ประลองค์ ดำรงค์ไทย [6] นักวิชาการป่าไม้ได้ศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเขียวโดยการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร หรืออุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย และขุยมะพร้าวมาอัดเป็นแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็นจากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากสกรูที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าแล้วนำไปตากแดดให้แห้งจะได้แท่งเชื้อเพลิงที่สามารถใช้แทนฟืน และถ่านได้เป็นอย่างดี

การศึกษานี้เป็นการอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวหรือสกรูซึ่งจะสามารถทำได้ทั้งกับวัสดุสด และแห้ง (แต่ถ้าวัสดุมีความชื้นปานกลางจะอัดได้สะดวกและรวดเร็ว) และสามารถทำได้กับวัสดุชนิดต่างๆ อย่างกว้างขวาง เป็นเทคโนโลยีการอัดแท่งแบบง่ายๆ สะดวก และไม่สร้างความยุ่งยากให้ชาวบ้านในท้องที่ การอัดแท่งเชื้อเพลิงในลักษณะนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (green charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อพ.ศ.2523 ซึ่งค้นพบโดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะโดยการนำเศษใบไม้ ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจากภายนอกช่วย



รูปที่ 2.1 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบสกรู

2.2.1.1 กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิงในโครงการนี้ จะใช้ชานอ้อยเน่าเปื่อยเป็นวัตถุดิบ จากการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวกับเครื่องมือ พบว่าถ้าผสมชานอ้อยกับขุยมะพร้าวในสัดส่วน ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว ตั้งแต่ 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1 และ 4 : 1 จะสามารถผลิตแท่งเชื้อเพลิงได้เร็วกว่าใช้ชานอ้อยล้วนๆ รายละเอียดการทดลองแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาของการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในอัตราส่วนผสมต่างๆ

ส่วนผสม	ความยาวแท่งเชื้อเพลิง (m)	เวลาที่ใช้	หมายเหตุ
ชานอ้อย (100%)	1	3.5 min	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน คือ 7 cm.
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1 : 1)	1	1.5 min	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (2 : 1)	1	1.5 min	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (3 : 1)	1	2 min	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (4 : 1)	1	2 min	
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (5 : 1)	1	3-3.5 min	เป็นสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม

2.2.1.2 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล จากการเอาแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลไปทดสอบหาค่าความร้อนกับเครื่อง Calorimeter Bomb แล้วค่าที่ได้จากการใช้ชานอ้อยเน่าเปื่อยล้วนๆ จะสูงกว่าที่ผสมกับขุยมะพร้าวแต่จะต่ำกว่าของไม้ฟืนและถ่าน ทั้งนี้เนื่องมาจากถ่านที่ได้ผ่านขบวนการเผา (Carbonization) จะทำให้มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูงจึงทำให้ค่าความร้อนก็สูงตาม แต่ทั้งนี้แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลก็ยังให้ค่าความร้อนสูง ซึ่งสามารถต้มน้ำให้เดือดได้ภายในเวลาประมาณ 18-34 min ในขณะที่ฟืน (ไม้มะขามเทศ) ใช้เวลาเฉลี่ย 28 min และถ่าน (ไม้มะขามเทศ) ใช้เวลาเฉลี่ย 36 min

2.2.1.3 การตากแห้ง ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น จะใช้วัสดุที่มีความชื้นสูง (สูงกว่า 100 %) ดังนั้นก่อนนำไปใช้ก็จะต้องทำให้แห้ง วิธีการที่สะดวก และประหยัดสำหรับชาวบ้านก็คือการตากแดดโดยตรง อาจจะตากบนพื้นซีเมนต์ หรือบนสังกะสีลูกฟูก ฯลฯ ก็นับว่าเป็นวิธีการที่ประหยัด ซึ่งสำหรับโครงการนี้ทำการทดลองตากแดดโดยตรงบนพื้นซีเมนต์โดยใช้เวลาเพียง 2-3 วัน ก็จะสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ก็มีวิธีการทำให้แห้งหลายวิธี นอกจากตากแดดโดยตรง คือ

- อบในตู้อบแสงอาทิตย์
- อบด้วยความร้อนจากเตาเผาขยะ
- อบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน

2.2.1.4 สมบัติโดยทั่วไปของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล โดยทั่วไปเชื้อเพลิงชีวมวลมีคุณลักษณะคล้ายฟืน จะมีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุดมีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน เชื้อเพลิงชีวมวลที่ทำจากเศษพืชเน่าเปื่อย เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพดี หากผสมผงถ่านที่เหลือทิ้งสักเล็กน้อย จะช่วยทำให้มีคุณภาพสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพไม่แพ้ถ่านหรือจะดีกว่าถ่านเสียอีก เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงเขียวมีค่าความหนาแน่น (Density) ใกล้เคียง 1 ดังนั้นจึงสามารถนำไป

เผาเป็นถ่านได้ (Carbonization) โดยจากการทดลองเผาแบบแกลบกลบ ใช้เวลาประมาณ 20-24 ชั่วโมง และถ่านที่ได้สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ และให้ค่าความร้อนได้สูง

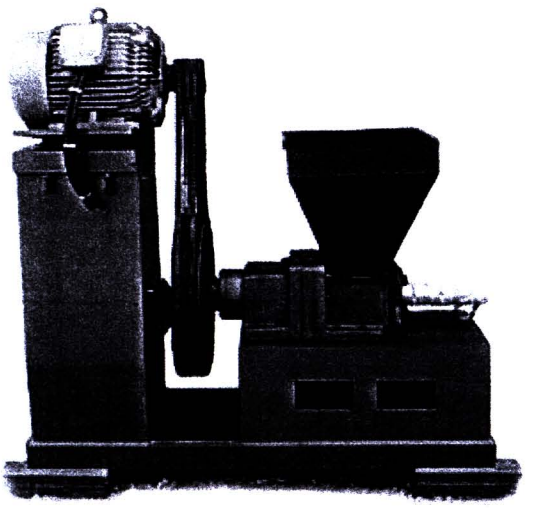
2.2.2 การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากผักตบชวา

2.2.2.1 วัตถุดิบ ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งนอกจากจะใช้ผักตบชวาแล้วยังใช้แกลบผสมในอัตราส่วนต่างๆ กันด้วยเพื่อให้สารลิกนินซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่มีอยู่ในแกลบได้รับความร้อนจากกระบวนการอัดสลายตัวออกมาทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งที่ได้มีความแข็งแรงขึ้นไม่เปราะหรือแตกง่าย

2.2.2.2 การเตรียมวัตถุดิบ นำผักตบชวามาทำการสับให้มีขนาดยาวประมาณ 0.5-1.5 cm จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้นพบว่าผักตบชวาสดมีความชื้นโดยเฉลี่ย 93.1 % จากนั้นนำผักตบชวาส่วนที่ย่อยขนาดแล้วไปผึ่งแดดบนลานซีเมนต์ เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณ 8-10 % ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมในการอัดเป็นแท่ง สำหรับระยะเวลาในการตากผักตบชวาให้แห้งตามต้องการนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของลำต้นของผักตบชวา อุณหภูมิ และความหนาของการตาก ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 35 °C ระยะเวลาของการตากแดดวันละ 7 ชั่วโมง ต้องใช้เวลาประมาณ 6 วันจึงจะได้ผักตบชวาที่มีความชื้นตามต้องการ ผักตบชวาที่มีความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ถูกนำไปย่อยขนาดอีกครั้งหนึ่งโดยใช้แฮมเมอร์มิลล์ (Hammer mill) เพื่อบดย่อยให้ผักตบชวามีขนาดใกล้เคียงกับแกลบคือประมาณ 1 cm ทั้งนี้เพื่อทำให้การผสมกันระหว่างผักตบชวาและแกลบรวมกันดีขึ้นและทำการอัดแท่งได้สะดวก นำผักตบชวาที่มีขนาดตามต้องการผสมกับแกลบที่มีความชื้นใกล้เคียงกันที่อัตราส่วนผสม 75 : 25, 50 : 50 และ 25 : 75 แล้วทำการวิเคราะห์หาสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

2.2.2.3 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของผักตบชวา สำหรับคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผักตบชวาที่ส่วนผสมของผักตบชวาและแกลบต่างๆ กันนั้น จะพบว่าสารระเหยมีค่าอยู่ระหว่าง 54.4-58.9 % ในระหว่างค่าความชื้น 8.7-9.6 % กำมะถันในผักตบชวาสูงถึง 1.2 % เมื่อเทียบกับแกลบซึ่งมีเพียง 0.4 % และในด้านของค่าความร้อนของผักตบชวาและแกลบจะมีค่าใกล้เคียงกันคือ 3,010 และ 3,120 kcal/kg ตามลำดับ

2.2.2.4 กรรมวิธีในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากผักตบชวา ในการอัดส่วนผสมของผักตบชวาและแกลบจะถูกบรรจุลงในถังป้อนที่ติดตั้งอยู่เหนือกระบอกอัดที่มีความยาว 28.5 cm ภายในกระบอกอัดมีสกรูชนิดเกรียวตัวหนอน ซึ่งหมุนด้วยความเร็วประมาณ 250 rpm ในการขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 15 แรงม้า ความเร็ว 1450 rpm ที่ปลายกระบอกอัดมีแผ่นความร้อนขนาด 0.8 kW 3 ตัวเรียงกันอยู่ ทำหน้าที่เป็นตัวให้ความร้อนกับผักตบชวาหรือแกลบที่ถูกอัดผ่านกระบอกอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งที่อัดได้จะค่อยๆ เคลื่อนผ่านปลายกระบอกอัดไปตามรางเหล็กและถูกทำให้หักโดยเหล็กที่งอโค้งอยู่ปลายรางเหล็ก



รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบสกรูชนิดเกลียวตัวหนอน

2.3 ตัวประสาน (Binder)

ตัวประสานทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งให้มีลักษณะคงอยู่ ดังรูปแบบที่ต้องการให้อัดออกมาได้ และตัวประสานยังทำหน้าที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น ความต้านทานแรงกด ความต้านทานแรงกระแทก ค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงระดับคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงแข็งว่าดีหรือไม่ โดยตัวประสานทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ตัวประสานที่เป็นอนินทรีย์สาร (Inorganic binders) เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate), ซัลไฟท์ไล (Sulphite-lye), ไลม์-ซิลิกา (Lime-silica) นอกจากนี้ยังมีแมกนีเซียมออกซีคลอไรด์ (Magnesium oxychloride) และซีเมนต์(Cement) เป็นต้น
2. ตัวประสานที่ได้จากธัญพืช (Cereal binder) เช่น แป้ง (Starches)
3. ไฮโดรคาร์บอนหนัก หรือแอสฟัลต์ (Heavy hydrocarbons or asphalt) เช่น Coal-tar pitch หรือบิทูเมน (Bitumen)

ปัจจุบันมีการทดลองผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งโดยใช้วัตถุหลายอย่าง เช่น ชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษถ่านหินขนาดเล็ก และอื่นๆ โดยมีการใช้ตัวประสานกันหลายชนิดซึ่งตัวประสานที่นิยมใช้กันมากคือน้ำแป้ง (Starch) เพราะมีการเตรียมการที่ไม่ยุ่งยากมากนัก และวัตถุดิบหาได้ง่าย โดย Husain และคณะ [7] ได้นำแป้งมาผสมน้ำเพื่อใช้เป็นตัวประสานในการทำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง

จากผลปาล์มซึ่งมีสัดส่วนการใช้ผงถ่านกะลาต่อเส้นใยในปริมาณ 40 : 60 จากนั้นจึงนำไปอัดด้วยกระบอกไฮดรอลิกส์ที่มีความดันประมาณ 5-13.5 MPa จำนวน 3 ขนาด แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆ นอกจากนี้ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และคณะ [8] ได้มีการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากผงถ่านซังข้าวโพด และผงถ่านกะลามะพร้าวโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานในสัดส่วนการผสมตัวประสานแป้งเปียกต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1 : 10 พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 – 833 kg/m^3 ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.07 -1.23 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ และยังมี Xianglan และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาถึงการนำเศษถ่านหินซึ่งมีขนาดเล็กมาทำการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็ง โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อต้องการหาตัวประสานที่มีสมบัติที่ดี เหมาะสมกับการนำมาใช้ผสมกับเศษถ่านหิน ซึ่งตัวประสานที่เลือกใช้ในการทดลอง คือตัวประสานที่ทำมาจากฟางข้าวหมักกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำปูนใส และกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าตัวประสานที่ทำจากฟางข้าวหมักกับโซเดียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติดีที่สุด และพบว่ากรดซัลฟิวริกไม่มีสมบัติเป็นสารทำปฏิกิริยาที่นำมาใช้หมักกับฟางข้าว คณะที่ทำการวิจัยได้อธิบายถึงเหตุผลที่ตัวประสานที่ทำมาจากฟางข้าวหมักกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ดีที่สุด การหมักฟางข้าวกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 80 °C จะทำให้อัตราการแตกตัวของลิกนินของฟางข้าวที่หมักกับโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นถึง 70 % แล้วจะทำให้เซลูโลส และกึ่งเซลลูโลสในฟางข้าวแตกตัวออกมาบางส่วน โดยที่การแตกตัวนี้จะส่งผลต่อความยืดหยุ่นของฟางข้าว และเกิดการแยกตัวของลิกนิน ซึ่งลิกนินนี้เองเป็นตัวที่ทำให้เซลูโลสที่แตกตัวออกมาแยกออกจากส่วนอื่นๆ เซลูโลสส่วนนี้ทำหน้าที่เสมือนกับเหล็กที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุเพื่อเสริมความแข็งแรง นอกจากตัวประสานดังกล่าวข้างต้นที่กล่าวมาแล้วนี้ยังมีการนำกากน้ำตาล (Molasses) มาใช้เป็นตัวประสานด้วย โดย Mayoral และคณะ [10] นำกากน้ำตาลมาเป็นตัวประสานของการอัดแท่งถ่านหิน ซึ่งสมบัติเด่นของการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน คือ ถ่านอัดแท่งที่ได้เมื่อนำไปเผาแล้วจะเกิดควันจากการเผาไหม้น้อยกว่าถ่านที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน ตัวประสานอีกชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ คือ ลิกนิน โดยในส่วนประกอบของวัสดุธรรมชาติที่มียางเหนียวจะมีลิกนิน หากต้องการลิกนินออกมาใช้ประโยชน์ต้องให้ความร้อนกับวัสดุเพื่อที่จะให้ลิกนินที่มีในวัสดุหลอมตัวซึ่ง Alexy และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาถึงผลการผสมโพลีเอทธิลีน (PE) และโพลีโพไพลีน (PP) ลงในสารลิกนินเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นตัวประสานซึ่งจะทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดี

2.4 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง

(Physical properties of briquette)

สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นดัชนีที่ระบุว่าเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตมาได้มีคุณภาพดีมากน้อยเพียงใด โดยส่วนใหญ่สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื่อเพลิงจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และตัวประสานที่ใช้ สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงแข็งที่นิยมวัดค่า คือ ความต้านทานแรงกด (Compressive strength) ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง (Density) และค่าความร้อน (Heating Value)

2.4.1 ความต้านทานแรงกด (Compressive strength)

Richard [12] กล่าวว่า ความต้านทานแรงกด คือ ความสามารถทนแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อพื้นที่ของแท่งเชื้อเพลิงก่อนที่จะเกิดการแตกหัก ความต้านทานแรงกดนี้เป็นดัชนีระบุถึงความสามารถในการรับแรงกดได้สูงสุดในปริมาณเท่าใดซึ่งจะเป็นตัวระบุถึงระดับความแข็งของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพราะในการนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์จะมีการระบุถึงระดับของความแข็งแรงของเชื้อเพลิงแข็งที่ยอมรับได้ในงานแต่ละประเภท อีกทั้งในแง่ของการขนส่งละจัดเก็บ ค่าความแข็งนี้จะเป็นตัวระบุความสูงในการวางซ้อนทับกันซึ่งหากค่าความต้านทานแรงกดมีค่าน้อยแท่งเชื้อเพลิงก็อาจเกิดความเสียหายได้ ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ที่ยอมรับได้อยู่ที่ 0.375 MPa

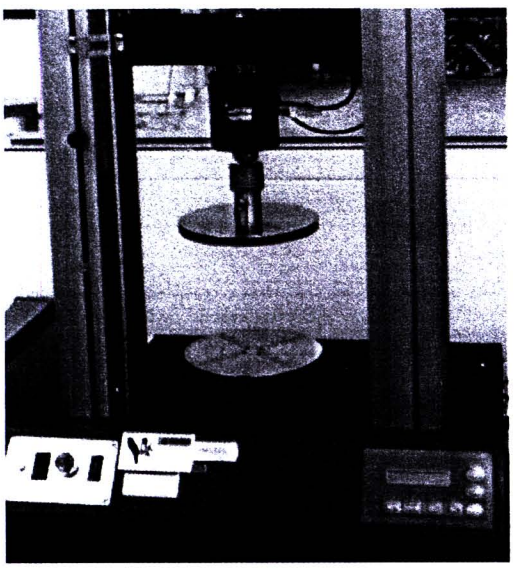
2.4.1.1 การหาค่าความต้านทานแรงกด การทดสอบการต้านทานแรงกดทำโดยการใช้เครื่องทดสอบ UTM (Universal Testing Machine) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอบมาแล้วมาทำการตัดให้มีขนาดความยาวเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง แล้วนำมาวางลงบนผิวสัมผัสที่เรียบของแผ่นกดของเครื่อง UTM โดยให้วางตามแนวนอนของแท่งเชื้อเพลิงเพราะเป็นทิศทางที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด จากนั้นทำการปรับเพิ่มน้ำหนักที่จะกดลงบนแท่งเชื้อเพลิงในอัตราคงที่ จนกระทั่งแท่งเชื้อเพลิงเกิดการแตกหักแล้วทำการบันทึกผลของน้ำหนักกดที่สูงที่สุดที่ทำให้แท่งเชื้อเพลิงเกิดการแตกหัก และนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานแรงกดจากความสัมพันธ์ที่ 2.1

$$\sigma = \frac{F}{A} \; ; \mathrm{N/m^2\ (Pa)} \qquad (2.1)$$

σ คือ การต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงสูงสุด (N/m^2, Pa)

F คือ น้ำหนักที่กดลงบนแท่งเชื้อเพลิงแล้วเกิดการแตกหัก (N)

A คือ พื้นที่ที่น้ำหนักกดทับจนเกิดจากการแตกหัก (m^2)



รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบ UTM (Universal Testing Machine)

2.4.2 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง (Heating value of briquette)

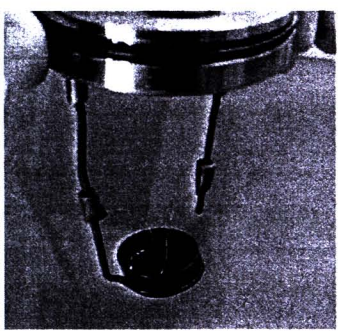
ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเป็นดัชนีชี้วัดที่จะทำให้ทราบถึงพลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทออกมาจากแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยปกติค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมี 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง และค่าความร้อนต่ำ การทดสอบหาค่าความร้อนสูงของแท่งเชื้อเพลิงแข็งได้จากการทดสอบในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) โดยค่าความร้อนต่ำ LHV (Lower Heating Value) คือ ค่าความร้อนที่คิดไว้แล้วว่า ไอน้ำจากการเผาไหม้นั้นอยู่ในสภาพเป็นไอ และความร้อนของเชื้อเพลิงหลังการเผาไหม้ก็ต้องอยู่ในสภาพที่เป็นไอ และได้ใช้ความร้อนจำนวนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอไปเรียบร้อยแล้ว ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง HHV (Higher Heating Value) คือค่าความร้อนส่วนที่มีความชื้นปนอยู่ซึ่งความชื้นเกิดจากไอน้ำที่ได้จากการรวมตัวของไฮโดรเจนและออกซิเจนในขณะที่มีการเผาไหม้ ค่าความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งในการเลือกใช้เชื้อเพลิงในงานแต่ละประเภท และเป็นดัชนีที่จะบอกถึงศักยภาพของแท่งเชื้อเพลิงนั้นๆ

2.4.2.1 การหาค่าความร้อนสูงของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง การหาค่าความร้อนสูงของแท่งเชื้อเพลิงแข็งจะใช้อุปกรณ์ในการทดสอบคือ บอมบ์แคลอริมิเตอร์ การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงด้วยการใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. เติมน้ำลงในถัง JACKET ของเครื่อง Test bomb ปริมาณ 2 kg (ไม่รวมน้ำหนักของ JACKET)
2. เตรียมเชื้อเพลิงที่จะทดลองโดยบดเชื้อเพลิงแข็งให้ละเอียดแล้วใส่ลงใน Combustion cup ปริมาณ 1g แล้วชั่งน้ำหนักกับตาชั่งดิจิตอล

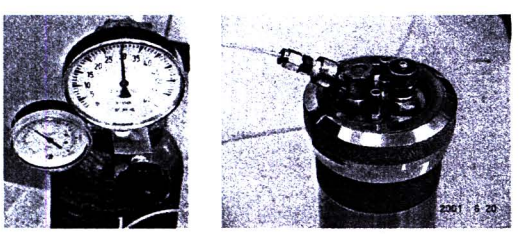
รูปที่ 2.4 การชั่งบนตาชั่งดิจิทัล

3. จากนั้นนำเส้นลวดชนวน (Wire Fuse) ความยาว 10 cm ต่อเส้นลวดเข้าขั้วไฟฟ้าทั้งสองข้างให้กลาง สายยาวพอแตะกับเชื้อเพลิงใน Combustion cup ที่จะทำการทดลอง



รูปที่ 2.5 การผูกลวดชนวน

5. เติมออกซิเจน (O_2) ทำการเติมออกซิเจนลงใน Bomb โดยให้แรงดันให้ได้ค่าอยู่ระหว่าง 20-25 atm



รูปที่ 2.6 ถังออกซิเจน และการเติมออกซิเจน

6. นำชุดตัว Bomb ไปใส่ลงใน Bucket ของเครื่อง Test bomb (ซึ่งมี Jacket ที่ใส่น้ำวางอยู่)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.7 การนำบอมบ์ใส่ลงใน Bucket

7. เปิดสวิทช์เครื่องแล้วรอให้อุณหภูมิของน้ำคงที่ประมาณ 3 นาที ทำการบันทึกอุณหภูมิโดยให้ถือเป็นอุณหภูมิเริ่มต้น จากนั้นกดสวิทช์ที่ ignition unit เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้
8. ทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำใน bucket ทุกๆ 10 วินาที จนกระทั่งได้อุณหภูมิสูงสุด (อุณหภูมิของน้ำไม่เปลี่ยนแปลงในทิศทางการเพิ่มขึ้น)
9. หลังจากได้อุณหภูมิสูงสุดแล้ว ปิดสวิทช์เครื่องทั้งหมด นำ Combustion cup ออกจาก Bucket ลดความดันภายใน bomb แล้วเปิดฝา bomb จากนั้นนำลวดชนวนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองมาวัดความยาวเพื่อหาความยาวของลวดชนวนที่ถูกเผาไหม้ไป

ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้น้ำหล่อเย็นรอบตัวบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งเมื่อทำการวัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แล้วปริมาณความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = mc(T_2 - T_1) \tag{2.2}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิง

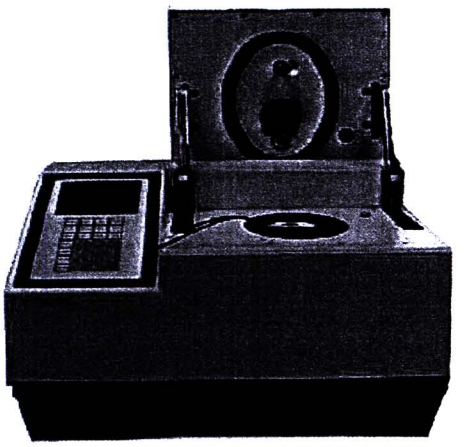
m คือ มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์ (kg)

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.°C)

T_1 คือ อุณหภูมิน้ำก่อนการเผาไหม้ (°C)

T_2 คือ อุณหภูมิน้ำหลังการเผาไหม้ (°C)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 2 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 246778
เลขเรียกหนังสือ



รูปที่ 2.8 บอมบ์แคลอริมิเตอร์

ปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากสมการ 2.2 ยังมิใช่ค่าความร้อนที่ถูกต้องของเชื้อเพลิงเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำบอมบ์แคลอริมิเตอร์จะดูดซับความร้อนบ่างส่วนไว้ในตัวเอง และความร้อนบางส่วนก็สูญเสียไปให้กับบรรยากาศรอบๆ และอาจจะมีไอน้ำบางส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้ยังกลั่นตัวไม่หมดซึ่งไอน้ำดังกล่าวจะดูดความร้อนไว้ด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นยังมีความร้อนบางส่วนที่มาจากลวดชนวนขณะจุดเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศของออกซิเจน จากการทดลองเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่แท้จริงจะต้องแก้ไขข้อผิดพลาดดังนี้

1. ต้องตรวจสอบค่าน้ำสมมูลของเครื่องทดสอบบอมบ์แคลอริมิเตอร์
2. ให้อุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าบรรยากาศโดยรอบปริมาณครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเผาไหม้
3. ต้องทำการหยดน้ำลงในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เล็กน้อยเพื่อที่จะให้ไอน้ำสามารถควบแน่นได้
4. หาปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของลวดชนวน แล้วนำไปหักลบออกจากค่าความร้อนที่คำนวณได้

การคำนวณเพื่อให้ได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ทำการทดลองสามารถหาได้จากสมการ (2.3)

$$HHV = \frac{(\Delta T \bullet w) - e}{g} \tag{2.3}$$

เมื่อ HHV = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (cal/g)

ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น (°C)

w = ค่าสมมูลของบอมบ์ (Energy equivalent of calorimeter)

= 1724.187 (cal/°C)

e = การแก้ค่าความร้อนของการเผาไหม้

= 2.3 (cal/cm)×ความยาวลวดที่ใช้ในการเผาไหม้ (cm)

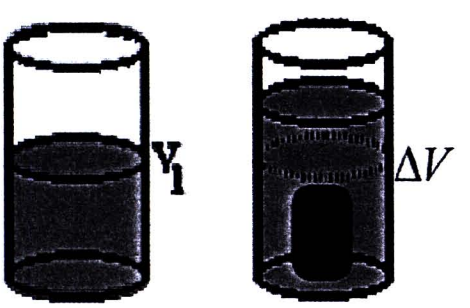
g = น้ำหนักของตัวอย่างเชื้อเพลิง (g)

2.4.3 ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง (Bulk Density of briquette)

ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงเป็นสมบัติอย่างหนึ่ง ที่ทำให้ทราบถึงน้ำหนักต่อปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง เนื่องจากในการบรรจุเพื่อการขนส่งในเชิงพาณิชย์นั้นนิยมบรรจุใส่กระสอบโดยจะระบุน้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิงภายในกระสอบ หากว่าแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นสูงก็จะทำให้สามารถลดขนาดของกระสอบที่จะใช้ในการบรรจุเพื่อการขนส่ง ทำให้ต้นทุนของแท่งเชื้อเพลิงลดลง

2.4.3.1 การหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง ในการหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้ว สามารถหาได้โดยนำมาทำการตัดให้มีขนาดเล็กประมาณ 2×2×2 cm^3 (เพื่อให้สามารถใส่ในหลอดแก้วสำหรับวัดปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิงดังกล่าวได้) หลังจากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ตัดแล้วมาชั่งน้ำหนัก การหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงจะใช้สารละลายโทลูอีนเป็นสารตัวกลางในการทดสอบ โดยนำเอาโทลูอีนมาใส่ในหลอดวัดปริมาตรหลังจากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการตัดมาใส่ลงในหลอดแก้วแล้วอ่านค่าปริมาตรของโทลูอีนที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงได้ดังนี้

$$D = \frac{M}{V} \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.9 การหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง

2.5 ส่วนประกอบและค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส

ตามที่ สำเริง สุชานุยุทธ์ [13] ได้ทำการศึกษาการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้โปรดิวเซอร์แก๊สจากผักตบชวาอัดแท่ง พบว่าส่วนประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ของเชื้อเพลิง

แต่ละชนิด เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของชีวมวล ความชื้น สารระเหยที่มีอยู่ และเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้า ซึ่งหากต้องการที่จะทราบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดประกอบด้วยปริมาณธาตุต่างๆ เป็นปริมาณเท่าไร ทำได้โดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบของชีวมวลซึ่งใช้กันอยู่ 2 วิธี คือ

2.5.1 Proximate Analysis

เป็นการวัดค่าสารระเหย ความชื้น คาร์บอนเสถียร (fixed carbon) เถ้าถ่านของเชื้อเพลิง และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ดังที่แสดงในตารางที่ 2.2

2.5.2 Ultimate Analysis

เป็นการวิเคราะห์ธาตุของชีวมวล แสดงในตารางที่ 2.3 ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ซึ่งค่าความร้อนที่มีอยู่ในชีวมวลสามารถทำการวัดได้โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยทั่วไปพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในโปรดิวเซอร์แก๊สจะมีค่าต่ำกว่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการหมัก (Biogas) เนื่องจากแก๊สที่ได้มาจากการหมักส่วนใหญ่จะเป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สที่มีอยู่ส่วนมากในโปรดิวเซอร์แก๊สดังที่แสดงในตารางที่ 2.4 ส่วนค่าความร้อน และส่วนประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตจากถ่านไม้และไม้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 จะเห็นว่าโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากถ่านไม้จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าโปรดิวเซอร์-แก๊สที่ได้จากถ่านไม้เนื่องจากไม้มีพวกสารระเหยอยู่มากกว่าถ่านซึ่ง Volatile Matter บางชนิดเป็นสารเชื้อเพลิงสามารถทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับอากาศได้จึงทำให้เพิ่มค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากไม้ให้มีค่าสูงขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าโปรดิวเซอร์แก๊สสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่กระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซิเมนต์ แก้ว เซรามิคส์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังได้โดยตรง คือ เครื่องยนต์สันดาปภายนอก เช่น กลจักรไอน้ำ ส่วนเครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น เครื่องยนต์ดีเซล เบนซิน และกังหันแก๊ส เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Proximate Analysis

ส่วนประกอบ	ถ่านไม้ (%โดยมวล)	ไม้สน (%โดยมวล)
ความชื้น (Moisture)	6.3	10.3
เถ้าถ่าน (Ash)	3.6	0.5
สารระเหย (Volatile Matter)	19.4	68.3
คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon)	70.7	20.9
ค่าความร้อน (kJ/kg)	28,700.51	17,241.24

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Ultimate Analysis

ส่วนประกอบ	ถ่านไม้ (%โดยมวล)	ไม้สน(%โดยมวล)
Carbon	79.6	43.1
Hydrogen	3.0	6.8
Oxygen	13.2	49.3
Nitrogen	0.29	0.17
Sulphur	0.28	0.14

นอกจากนี้ตามการศึกษาของ Tanthansakun และคณะ [14] พบว่าค่าความร้อน และแก๊สที่ผลิตได้จากชีวมวลที่เป็นไม้ และจากเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านจะมีค่าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.4 ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้จากแหล่งผลิตต่างๆ

แหล่งกำเนิดแก๊ส	แก๊สสำคัญที่ผลิตได้	ค่าความร้อน (MJ/m^3)
Sewage Water	CH_4 , CO_2	19-21
Anaerobic digesters	CH_4 , CO_2	19-23
Gasifier	H_2 , CH_4 , CO_2 , N_2	4-6

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบ (Composition) และค่าความร้อน (Heating Value) จากโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นไม้และถ่านไม้

Component	Typical Composition of Charcoal Gas (%)	Typical Composition of Wood Gas (%)
CO_2	3.0	9.5-9.7
C_xH_y	0.1	0-0.3
O_2	1.3	0.6-1.4
CO	28.7	20.5-22.2
H_2	3.8	12.3-15.0
CH_4	0.2	2.4-3.4
N_2	62.9	50.0-53.8
Heating Value	4.1 MJ/m^3	5.0-5.4 MJ/m^3

2.6 กระบวนการแกซิฟิเคชั่น (Gasification)

ประเทศไทยมีการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานกันอย่างแพร่หลายจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้การนำเชื้อดังกล่าวมาผลิตพลังงานสามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

2.6.1 การเผา (Combustion)

จะสามารถผลิตไอน้ำหรือแก๊สร้อนสำหรับใช้ในเครื่องจักรไอน้ำ (Steam Engine) หรือเครื่องจักรแก๊ส (Gas Engine)

2.6.2 การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

โดยกระบวนการทาง Thermo-Chemical สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่า heating value สูง สำหรับใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

กระบวนการแกซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) เป็นกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้องค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่จุดไฟติดได้และมีค่าความร้อนสูงโดยอาศัยปฏิกิริยาอุณหเคมี (Thermo-chemical Reaction) ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ดังกล่าวนี้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) ซึ่งสภาวะที่ทำให้เกิดแก๊สดังกล่าวก็คือ สภาวะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ เป็นสภาวะที่มีการจำกัดปริมาณอากาศหรือแก๊สออกซิเจน เพราะหากมีแก๊สออกซิเจนเพียงพอ หรือมีมากเกินพอจะกลายเป็นกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Combustion) ซึ่งจะทำให้มีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำออกมาซึ่งไม่ติดไฟ

ในกระบวนการแกซิฟิเคชั่น สามารถแบ่งโซนการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 4 โซน ดังนี้

1. Combustion หรือ Oxidation Zone
2. Reduction Zone
3. Pyrolysis หรือ Distillation Zone
4. Drying Zone

Combustion หรือ Oxidation Zone เป็นบริเวณที่ป้อนอากาศ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนเชื้อเพลิงชีว-มวลจะลุกไหม้ เกิดปฏิกิริยาอุณหเคมีระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนซึ่ง

อยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \quad (2.1)$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \quad (2.2)$$

ปฏิกิริยาด้านบนนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาดูดความร้อนในโซน Reduction และโซน Pyrolysis อุณหภูมิในโซน Combustion จะมีค่าระหว่าง 1100-1500 °C

Reduction Zone แก๊สร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ในโซนนี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500-900 °C ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรเจนดังสมการที่ 2.3-2.7

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \quad (2.3)$$

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \quad (2.4)$$

$$C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2 \quad (2.5)$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \quad (2.6)$$

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 \quad (2.7)$$

ในโซนของ Reduction นี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นกับอุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงชีวมวล และพื้นที่ที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้จะมีผลต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ทำให้ยากต่อการจุดเผาภายในเตา และจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงด้วยกันมาก เป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมาก ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะน้อยลงตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวมวลมีค่าต่ำ

แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากยิ่งขึ้น และแก๊สที่ผลิตมาได้ก็จะมีฝุ่นมากยิ่งขึ้นจากปฏิกิริยา

ถ้าอุณหภูมิในโซน Reduction สูงกว่า 900 °C แล้วแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90 % นั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 1100 °C จะส่งผลทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของโซน Reduction

ในขณะที่แก๊สร้อนจากโซน Combustion ไหลเคลื่อนเข้าสู่โซน Reduction จะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง เนื่องจากเป็นปฏิริยาดูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในสมการที่ 2.5 ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 500-600 °C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะทำให้ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สชีวมวลมีค่ามากขึ้นซึ่งมีผลทำให้แก๊สมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น (แก๊สไฮโดรเจนมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์สันดาปภายใน) แต่ถ้ากระบวนการที่มีไอน้ำมากเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนดังสมการที่ 2.6 ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากจนเกินไป นอกจากนี้ในกระบวนการ Reduction แก๊สไฮโดรเจนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนดังสมการที่ 2.7

Pyrolysis หรือ Distillation Zone จะรับความร้อนจากโซน Reduction ซึ่งทำให้ Volatile Matter ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเมทานอล กรดน้ำส้ม และทาร์ อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าประมาณ 200-500 °C ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านกระบวนการนี้ คือ คาร์บอนในรูปของถ่านซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซน Reduction และ Combustion

Drying Zone ในโซนนี้ความร้อนจะลดลงมากทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของ Volatile Matter แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะระเหยออกมาได้ โซนนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100-200 °C

สำหรับชนิดของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasifier) แบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงดิบ (ชีวมวล) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบคอลัมน์ (Fixed bed gasifier) และแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed gasifier) ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ตามลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์ และวัตถุดิบที่ใช้ หากต้องการนำไปใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และวัตถุดิบมีขนาดใหญ่จะพบว่าเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์จะมีความเหมาะสมมากกว่า เพราะนอกจากจะสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงได้ด้วยระบบที่ไม่ซับซ้อนแล้วยังสามารถนำพลังงานที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายอีกด้วย