บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวลและเศษวัสดุเหลือทิ้ง

ชีวมวล คือ วัตถุหรือสสารที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือส่วนประกอบของธรรมชาติ และรวมไปถึงสิ่งเหลือทิ้งจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างทดแทนได้ พลังงานจากชีวมวลจัดว่าเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากชีวมวลที่นำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่เป็นพืชหรือส่วนประกอบของพืช โดยพืชจะนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตก๊าซออกซิเจน ดังนั้นเมื่อนำชีวมวลที่ได้จากพืชมาใช้ในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงโดยการนำไปเผา จึงทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสู่ชั้นบรรยากาศ [5] ซึ่งชีวมวลที่มีอยู่มากมายสามารถจำแนกแหล่งที่มาได้ดังนี้ [6]

- พืชเกษตรกรรม (Agricultural crop) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาลสามารถปลูกเป็นพืชที่ให้พลังงานและผลิตเป็นน้ำมันพืช ได้นอกจากนี้ยังมีพืชที่ปลูกเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ เช่น ปาล์มน้ำมัน และสบู่ดำ
- วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural residues) เช่น แกลบ ลำต้นมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กากถั่วเหลือง
- เนื้อไม้และเศษเหลือทิ้งของเนื้อไม้ (Wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ไม้ยืนต้น เศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตไม้ รวมทั้งเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ฯลฯ
- เศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปในอุตสาหกรรม เช่น แกลบจากโรงสีข้าว ชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล และทะลายปาล์มจากการสกัดปาล์มน้ำมัน
- ขยะมูลฝอยและมูลสัตว์ เช่น ขยะที่เป็นของสด และมูลสัตว์ต่างๆ
- สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น สาหร่าย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไบโอดีเซลจากสาหร่าย และการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน [7]

สำหรับประเทศไทยชีวมวลส่วนใหญ่ได้มาจากภาคการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวทำให้เกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ได้แก่ แกลบ (ได้จากกระบวนการกะเทาะข้าว) ลำต้นมันสำปะหลัง (ได้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง) ไม้ยางพารา (ได้จากกระบวนการกำจัดต้นยางที่ไม่สามารถให้น้ำยางได้) ทะลายปาล์ม (ได้จากกระบวนการหีบน้ำมันปาล์ม) และ ดินฟอกสี (ได้จากกระบวนการฟอกสีน้ำมันปาล์ม) เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวสามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ เนื่องจากชีวมวลเหล่านี้มีปริมาณมากและมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีและให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น แกลบให้ค่าความร้อน 14,204 kJ/kg ไม้ยางพาราให้ค่าความร้อน 8,600 kJ/kg และทะลายปาล์มให้ค่าความร้อน 7,204 kJ/kg [4] เป็นต้น ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่เพาะปลูกมากในภาคใต้ของประเทศในแถบจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ซึ่งในปัจจุบันมีปริมาณความต้องน้ำมันปาล์มในประเทศเพิ่มมากขึ้นตามแนวโน้มของราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันและเพิ่มกำลังการผลิตน้ำมันปาล์มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีชีวมวลจากปาล์มเป็นปริมาณมากที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานได้ เช่น ทะลายปาล์มเปล่า กะลาปาล์ม และเส้นใยปาล์ม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีดินฟอกสีเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยดินฟอกสีเป็นตัวดูดซับอย่างดี

มักใช้ในการกรองของเสียหรือสิ่งเจือปนออกจากน้ำมัน ซึ่งเกือบ 40% ของน้ำหนักดินฟอกสีหลังการใช้งานเป็นน้ำมันที่ถูกดูดซับไว้ ดังนั้นน้ำมันที่ถูกดูดซับในดินฟอกสีสามารถถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานได้ ในการศึกษานี้จึงนำทะลายปาล์มเปล่า (ดังแสดงในภาพที่ 2.1) และดินฟอกสี (ดังแสดงในภาพที่ 2.2) มาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

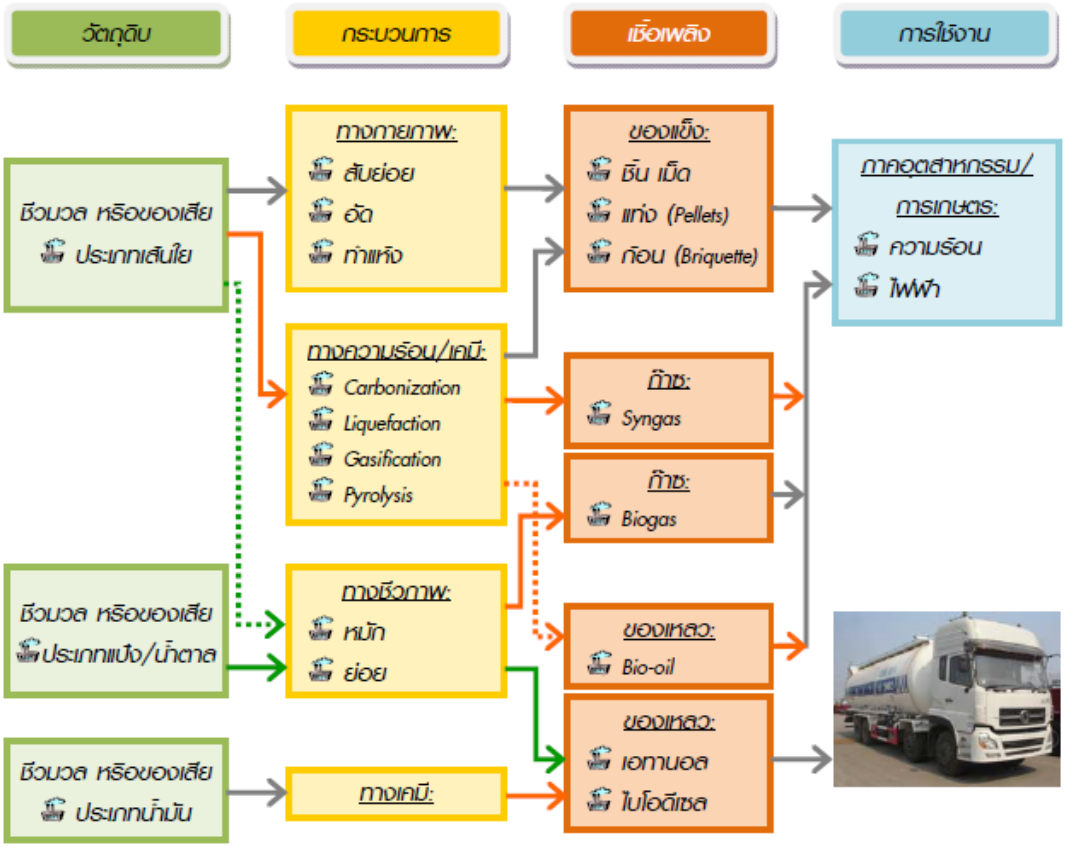
ภาพที่ 2.1 ทะลายปาล์มเปล่า

ภาพที่ 2.2 ดินฟอกสี

2.2 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน

ประเทศไทยมีชีวมวลที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทั้งจากภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำชีวมวลเหล่านี้มาแปรรูปให้เป็นพลังงาน ซึ่งนอกจากจะได้พลังงานทดแทน แล้วยังช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัดให้เหลือน้อยลงด้วย การแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง หมายถึง การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผ่านกระบวนการจัดการต่างๆเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีให้

กลายเป็นเชื้อเพลิง โดยกระบวนการที่นำมาใช้แปรรูปเชื้อเพลิงในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี และสามารถผลิตเชื้อเพลิงออกมาได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการขนส่ง ดังในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นเชื้อเพลิง [8]

ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งที่จะนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงควรมีสารที่เผาไหม้ได้เป็นองค์ประกอบ โดยสารดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้อย่างรวดเร็วในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ (ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับสารที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิง) ซึ่งสารที่เผาไหม้ได้เหล่านั้นได้แก่ เส้นใย แป้ง น้ำตาล และน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลบางชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิง	หน่วย	ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี่/หน่วย)
ก๊าซชีวภาพ	ลบ.ม.	5,000
ไม้ยางพารา	กก.	4,560
ถ่านไม้ยางพารา	กก.	7,650
กะลามะพร้าว	กก.	4,830
ถ่านกะลามะพร้าว	กก.	7,760
ถ่านกะลาปาล์ม	กก.	7,460
เส้นใยปาล์ม	กก.	4,820
ซังข้าวโพด	กก.	4,540
ชี้เลื่อย	กก.	4,990
ผักตบชวา	กก.	3,010
กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	กก.	2,390 – 4,060

ในการแปรรูปชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ [5,8]

2.2.1 วิธีเคมีความร้อน (Thermochemical process)

วิธีการเคมีความร้อนเป็นการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตเป็นพลังงานโดยการใช้ความร้อนจนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งวิธีที่ดำเนินการในปัจจุบัน ได้แก่

- การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนหรือการสันดาป (Combustion) เป็นวิธีการนำชีวมวลมาเผาโดยตรง เชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นก๊าซร้อนที่มีความร้อนตามค่าความร้อนของชีวมวลที่นำมาเผา

- การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือไพโรลิซิส (Pyrolysis) เป็นวิธีการให้ความร้อนกับชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 500–600°C ในสภาพไร้ออกซิเจนเพื่อให้เกิดการสลายตัวของชีวมวลกลายเป็นเชื้อเพลิงเหลวและก๊าซผสมกัน เรียกว่า Bio-oil

- การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) เป็นวิธีการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงด้วยปฏิกิริยาเคมีโดยมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการอบแห้ง ขั้นตอนการไพโรไลซิส ขั้นตอนการเผาไหม้ และขั้นตอนการรีดักชัน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ประกอบด้วยก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible gases) ได้แก่ มีเทน (CH_4) ไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ส่วนก๊าซที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (Non-combustible gases) ได้แก่ ไนโตรเจน (N_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

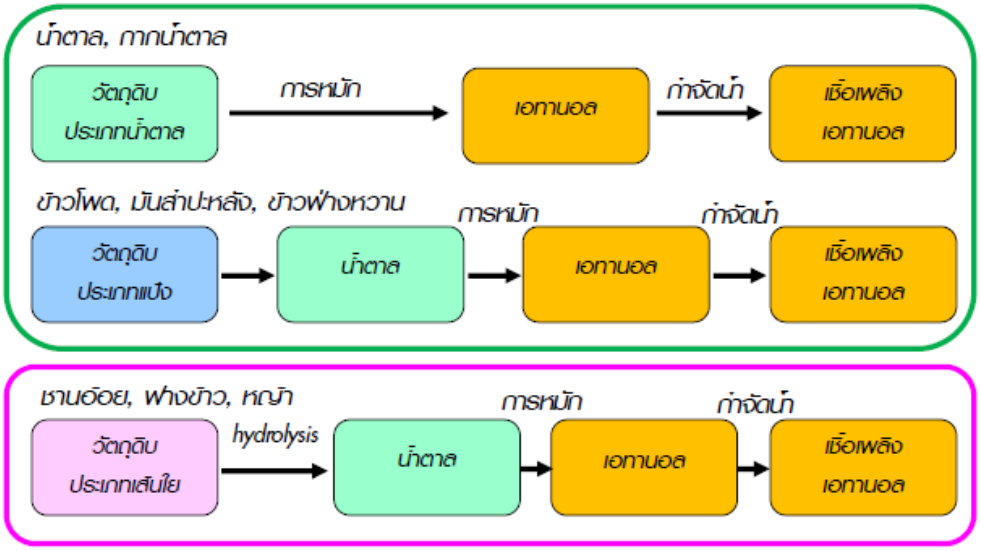
ภาพรวมของวิธีการเคมีความร้อนที่ใช้แปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ดังสรุปในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ภาพรวมของวิธีการเคมีความร้อนที่ใช้แปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง [8]

กระบวนการ	ปฏิกิริยาเคมี/ความร้อน	ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง
การเผาไหม้ (Combustion)	Complete oxidation	Hot flue gas
การเผาไหม้ในสภาพไร้ออกซิเจน (Pyrolysis)	No oxygen	Bio-oil
การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification)	Partial oxidation	$H_2 + CO + CH_4$

2.2.2 วิธีชีวเคมี (Biochemical process)

วิธีชีวเคมีเป็นการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งต้องพึ่งพาจุลชีพชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรียและรา โดยนำชีวมวลจำพวกสารอินทรีย์ที่มีแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบไปหมักในสภาพไร้อากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายองค์ประกอบในชีวมวลให้เปลี่ยนเป็นเอทานอลและก๊าซมีเทน (CH_4) โดยเอทานอลสามารถผลิตได้จากชีวมวลหลายชนิดดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วิธีการผลิตเอทานอลจากชีวมวล [8]

2.2.3 วิธีปฏิกิริยาเคมี (Chemical process)

วิธีปฏิกิริยาเคมีเป็นการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยการใช้ปฏิกิริยาเคมี เช่น การผลิตไบโอดีเซล โดยในการผลิตจะทำการสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อให้ได้เป็นไบโอดีเซล สำหรับวิธีการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ในปัจจุบันเป็นการเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงและมีความซับซ้อนน้อยกว่า เพื่อลดความหนืดและความถ่วงจำเพาะ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

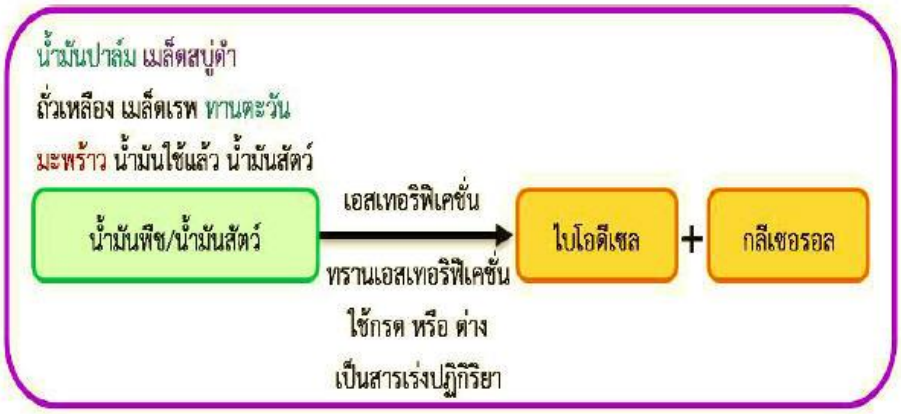
- กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Tranesterification) หรือแอลกอฮอไลซิส (Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่หรือโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็ก ในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา อันได้แก่ กรดและเบส แต่ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยเบสจำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระใน

วัตถุดิบน้ำมันให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ส่งผลให้วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ผลิตจำกัดเฉพาะพืชน้ำมันบางชนิดเท่านั้น

- กระบวนการเอสเทอริฟิเคชั่นและทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Esterification tranesterification) ใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-30 เนื่องจากกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันด้วยแอลกอฮอล์จะกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากวัตถุดิบก่อน โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ จากนั้นจึงแยกน้ำออกและทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยเบส แล้วนำเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงให้กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น โดยใช้โลหะออกไซด์ (Metal oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนเบส ร่วมกับการนำคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเรียกว่าเทคโนโลยีไมโครเวฟ (Microwave Technology)

- กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชั่น (Hydrolysis and esterification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำมันพืชตั้งต้นทั้งหมดเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นกรดไขมันบริสุทธิ์จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการเอสเทอริฟิเคชั่นด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดต่อไป ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์

สำหรับภาพรวมของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน แสดงดังภาพที่ 2.5 2.6 และ 2.7



ภาพที่ 2.5 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น [8]

ภาพที่ 2.6 กระบวนการเอสเทอริฟิเคชั่นและทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น [8]

ภาพที่ 2.7 กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชั่น [8]

2.2.4 วิธีทางกายภาพ (Physical process)

วิธีการทางกายภาพเป็นการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเหมาะสำหรับชีวมวลที่มีคุณสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมหากจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจำเป็นต้องนำมาผ่านวิธีการทางกายภาพก่อน เช่น

- ชีวมวลมีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้พื้นที่ในการเก็บมาก การนำไปใช้งานมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เพียงพอต่อการใช้งาน
- ชีวมวลมีความชื้นสูงทำให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ต่ำและทำให้ไม่สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานานได้
- เนื้อวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของชีวมวลไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenious) ทำให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นไม่คงที่ยากต่อการควบคุมเมื่อนำไปใช้งาน
- ขนาดและรูปทรงของชีวมวลที่อาจทำให้เกิดช่องว่าง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการเกิดความดันลดเมื่อนำไปใช้ในอุปกรณ์ สำหรับในทางทฤษฎีต้องพยายามให้อากาศสัมผัสกับพื้นที่ผิวของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้มากที่สุดและมีเวลานานเพียงพอในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

วิธีการทางกายภาพเพื่อแก้ไขและปรับปรุงข้อจำกัดของชีวมวลในลักษณะดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ วิธีการอัดแท่ง (Densification) ซึ่งเป็นวิธีการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง (ดังแสดงในภาพที่ 2.8) และการอัดแท่งชีวมวลยังช่วยไล่ความชื้นออกจากชีวมวล รวมไปถึงช่วยปรับปรุงด้านขนาดและรูปร่างทำให้ลดช่องว่าง และก่อให้เกิดการรวมเป็นเนื้อเดียวกันขององค์ประกอบต่างๆ ในชีวมวล

ภาพที่ 2.8 การอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล [5]

2.3 วิธีการอัดแท่ง (Densification)

เป็นวิธีการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง และช่วยลดความชื้นในชีวมวล ขณะเดียวกันยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างของชีวมวลให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน วิธีการอัดแท่งสามารถแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงได้ในหลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (Pelleting) อัดเป็นก้อนรูปลูกบาศก์ (Cubing) และอัดเป็นแท่งฟืน (Extruded log) เป็นต้น

2.3.1 ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

- ถ่านอัดแท่งเป็นการนำชีวมวลที่เผาจนเป็นถ่านแล้วมาอัดเป็นแท่ง หรืออาจนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่าน

- แท่งเชื้อเพลิงเขียวเป็นการนำชีวมวลมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรงไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างของแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 และ 2.10

ภาพที่ 2.9 แท่งเชื้อเพลิงเขียวชนิดอัดแท่ง [8]

ภาพที่ 2.10 แท่งเชื้อเพลิงเขียวชนิดอัดเม็ด [8]

2.3.2 กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

2.3.2.1 กระบวนการอัดร้อน (Hot press process) เป็นการอัดชีวมวลโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัดโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350°C เหมาะกับชีวมวลที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน ตัวอย่างชีวมวลที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดร้อน คือ ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (แกลบ ขี้เลื้อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ซังข้าวโพด และ ชานอ้อย ฯลฯ) วัชพืชบกและน้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และข้าวฟ่าง ฯลฯ)

2.3.2.2 กระบวนการอัดเย็น (Cold press process) เหมาะกับชีวมวลที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธี คือ

- การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน เครื่องมือที่ใช้ในการอัดหาได้ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ตัวประสานที่ใช้ในการอัดเย็นโดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากชีวมวลมีขนาดใหญ่ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

- การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเย็นที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของชีวมวลเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มีความจำเป็นที่จะต้องบดชีวมวลก่อนเข้าอัดหากชีวมวลไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไป

2.4 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

2.4.1 ค่าความร้อน (Calorimetric value or heating value)

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) หรือ กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง (kcal/kg) ค่าความร้อนสูง (High heating value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเกิดการควบแน่น ค่าความร้อนต่ำ (Low heating value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝง ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิง ดังนั้นในกรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นมากๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในเชื้อเพลิง แล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูง เนื่องจากในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงแท่งนั้น กระบวนการอัด และการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้จะทำให้น้ำในเชื้อเพลิงถูกกำจัดออกไปบางส่วน และคงเหลือในแท่งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

2.4.2 ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile matters)

ปริมาณสารที่ระเหยได้ คือ องค์ประกอบในเชื้อเพลิงที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน เชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยได้สูงจะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูง อย่างไรก็ตามสารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำเชื้อเพลิงไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง

2.4.3 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งเชื้อเพลิง ความชื้นของเชื้อเพลิงมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากเชื้อเพลิงมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

2.4.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงตัว คือ ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750°C เชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

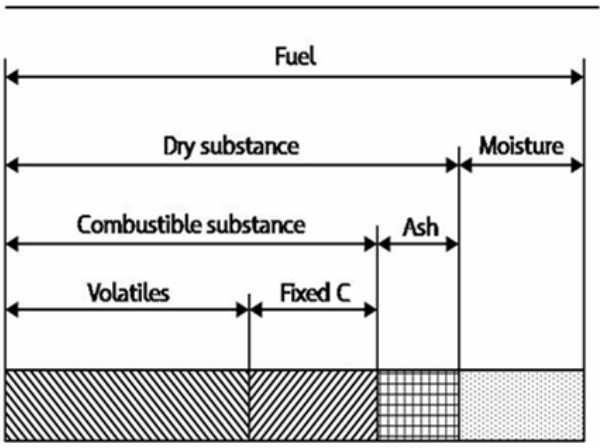
2.4.5 กำมะถันรวม (Total sulfur)

เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจน จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ดังนั้นหากเชื้อเพลิงใดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมากจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ในปริมาณมาก

2.4.6 เถ้า (Ash)

เถ้า คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ดังนั้นหากเชื้อเพลิงมีขี้เถ้าปริมาณมากจะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น

สำหรับคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง [8]

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

วัสดุเหลือใช้	สารระเหย (% โดยน้ำหนัก)	คาร์บอนคงตัว (% โดยน้ำหนัก)	เถ้า (% โดยน้ำหนัก)	กำมะถัน (% โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (% โดยน้ำหนัก)
ขี้เลื่อย	75.4	22.4	2.0	0.20	4,500
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	0.3	4,400
แกลบ	62.7	17.4	20.0	0.14	3,600
ฟางข้าว	74.4	18.3	7.3	-	4,000
ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,400
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,800
ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,500
ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.3	4,000
เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,500
เศษหวาย	70.5	23.7	5.7	-	4,800
ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,600
ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	1.19	3,100

2.5 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ชีวมวลที่นำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงนอกจากควรจะต้องมีค่าความร้อนที่สูง (ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 kcal/kg) ยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) โดยควรจะมีคาร์บอนคงตัวในปริมาณที่สูง (ไม่ควรต่ำกว่า 15%) และมีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือเถ้าในปริมาณต่ำ (ไม่ควรเกิน 20%) เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องกำจัดออกจากห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ยังจะต้องมีปริมาณกำมะถันรวมต่ำ (ไม่ควรเกิน 2%) เพื่อไม่ให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ (ไม่ควรเกิน 60 ppm) สำหรับความชื้นในชีวมวลแม้ว่าการตากแดดหรืออบแห้งสามารถลดความชื้นในชีวมวลได้ แต่จะเป็นการเพิ่มขั้นตอนและความยุ่งยากในการดำเนินงาน และอาจเพิ่มต้นทุนการผลิตหากต้องใช้วิธีลดความชื้นด้วยการอบแห้ง ซึ่งคุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

คุณสมบัติของเสียที่สามารถแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	
ค่าความร้อน (Heating Value)	สูง
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	สูง
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Mattetrs)	สูง
เถ้า (Ash)	ต่ำ
ความชื้น (Moisture Content)	ต่ำ
กำมะถันรวม (Total Sulfur)	ต่ำ

2.6 การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง

สำหรับวัสดุชีวมวลที่ไม่ต้องปรับปรุงคุณสมบัติ และเนื้อวัสดุสามารถยึดเกาะกันได้โดยไม่ต้องเติมตัวประสาน การผลิตแท่งเชื้อเพลิงเป็นเพียงการนำวัสดุชีวมวลเหล่านั้นเข้าเครื่องอัดเป็นแท่งหรือเม็ดตามรูปแบบที่ต้องการ แต่สำหรับวัสดุชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยส่วนใหญ่ มักพบว่ามีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนกว่าเช่น มีปริมาณความชื้นมากเกินไป เนื้อวัสดุไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดใหญ่เกินไป ค่าความร้อนต่ำเกินไป ฯลฯ ทำให้ต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุชีวมวลก่อนนำมาอัดเป็นแท่ง เช่น การนำวัสดุชีวมวลมาบดย่อยก่อนนำมาทำการอัดเป็นแท่ง การนำมาผสมกับวัสดุชีวมวลอื่นเพื่อเพิ่มค่าความร้อนให้สูงขึ้น หรือการเติมตัวประสานเพื่อช่วยให้วัสดุที่จะอัดแท่งเกาะยึดกัน ดังนั้นในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง จำเป็นต้องทำการศึกษาทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณวัสดุชีวมวลกับตัวประสาน และ/หรือหาสูตรผสมกับวัสดุอื่นที่มีค่าความร้อนสูงเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนตามต้องการ เมื่อได้ส่วนผสมที่เหมาะสมแล้วจึงนำวัสดุชีวมวลและวัสดุผสมต่างๆ มาทำการผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงให้ได้ปริมาณมากพอสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป โดยขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงดังแสดงในภาพที่ 2.12

ภาพที่ 2.12 ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง [8]

2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การออกแบบสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่าจะประกอบด้วยชิ้นส่วนเครื่องจักรหลายชนิด เพื่อให้การเลือกใช้ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเป็นไปอย่างเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน จึงต้องมีการคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลตามหลักการทางวิศวกรรม ซึ่งทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบในส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

2.7.1 สายพานร่องวี (V-belt)

สายพานร่องวีใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยใช้แรงดึงขั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อยทั้งนี้เป็นผลมาจากการยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานเรียวกับร่องรูปตัววีของสายพานทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลทำให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนสายพานและในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉิน อาจจะใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่ในการเบรกได้ การขับด้วยสายพานร่องวีมีข้อดี คือ เงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่สามารถใช้สายพานขับได้โดยที่มีอัตราทดประมาณ 7:1 หรืออาจสูงถึง 10:1 ในการออกแบบการขับด้วยสายพาน จะออกแบบให้เกิดการคืบ (Creep) และการลื่นไถล (Slip) น้อยที่สุด เนื่องจาก การเกิดการคืบและการลื่นไถลทำให้สูญเสียกำลังงานและความเร็ว แต่โดยทั่วไปการสูญเสียที่เกิดจากการคืบมีน้อยมาก ในขณะที่การลื่นไถลอาจทำให้เกิดความร้อนมากเพียงพอที่จะทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้เกิดการลื่นไถล ด้วยวิธีการดึงสายพานให้ตึงเพียงพอก่อนการใช้งานเพื่อลดการลื่นไถล

เมื่อให้ d และ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับและล้อตาม n_1 และn_2 เป็นความเร็วรอบของล้อขับและล้อตาม โดยความเร็วรอบของล้อขับสามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

$$v_1 = \pi d n_1 \quad (1)$$

ความเร็วรอบของล้อตามสามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

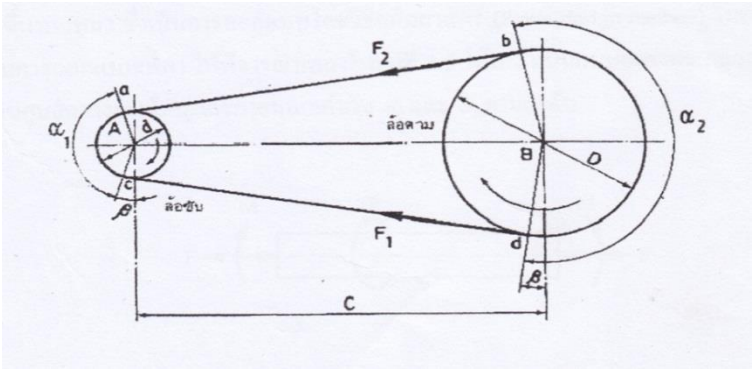
$$v_2 = \pi D n_2 \quad (2)$$

อัตราทดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (3)

$$m = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

เมื่อ v_1 คือ ความเร็วเชิงเส้นของล้อขับ (m/s)
v_2 คือ ความเร็วเชิงเส้นของล้อตาม (m/s)
n_1 คือ ความเร็วรอบของล้อขับ (round/s)
n_2 คือ ความเร็วรอบของล้อตาม (round/s)
m คือ อัตราทด (ไร้หน่วย)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับ (m)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อตาม (m)

ในการคำนวณหามุมสัมผัสและความยาวของสายพานร่องวีคำนวณได้จากสมการ (4) และ (5) ตามลำดับ



ภาพที่ 2.13 การขับสายพาน [9]

$$\alpha_1 = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2c}\right) \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2c}\right) \quad (5)$$

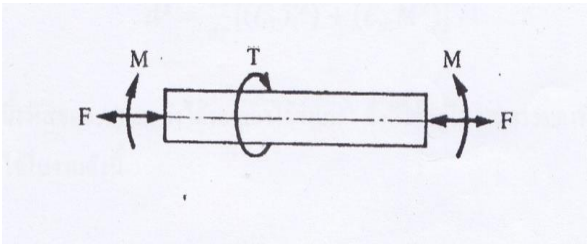
$$L = (4c^2-(D-d)^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D\alpha_1+d\alpha_2) \quad (6)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของสายพานร่องวี (m)

α คือ มุมสัมผัสของสายพานร่องวี (radian)

2.7.2 เพลา (Shaft)

ขนาดของเพลาขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน โดยเพลาต้องสามารถทนต่อแรงที่มากระทำและมุมบิดของเพลาในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งอาจมีผลทำให้ล้อสายพานและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นเพลาจะต้องมีความแข็งเกร็งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ในการคำนวณหาขนาดของเพลาทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (Double integration) และวิธีพื้นที่ของโมเมนต์ (Moment area) เป็นต้น ในการศึกษานี้ใช้การออกแบบเพลาตามมาตรฐานของ ASME โดยใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่คิดความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่จะเกิดขึ้นบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลาให้พิจารณาเพลาในภาพที่ 2.14 ให้เพลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_1 และ d_2 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.14 เพลาภายใต้แรงกระทำต่างๆ [10]

ความเค้นที่เกิดขึ้นที่เพลาสามารถแสดงได้ดังสมการ (7) (8) และ (9)

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi\left(d^2-d_i^2\right)} \quad (7)$$

$$\sigma_b = \frac{32Md}{\pi\left(d^4-d_i^4\right)} \quad (8)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16Td}{\pi\left(d^4-d_i^4\right)} \quad (9)$$

เมื่อ σ_a คือ ความเค้นดึง (N/m^2)

σ_b คือ ความเค้นดัด (N/m^2)

τ_{xy} คือ ความเค้นเฉือน (N/m^2)

F คือ แรงที่กระทำในแนวแกนเพลา (N)

M คือ โมเมนต์ที่กระทำต่อเพลา (N.m)
T คือ ทอร์คที่กระทำต่อเพลา (N.m)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเพลา (m)
d_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลา (m)

เพลาส่วนมากจะใช้งานอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ดังนั้นเพลาอาจเกิดการเสียหายเนื่องจากการโก่งงอ ความล้า (จากการบิดและการดัด) ดังนั้นจึงต้องนำตัวแปรดังกล่าวมาพิจารณาด้วยดังแสดงในสมการ (10) (11) และ (12)

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi\left(d^2-d_i^2\right)} \tag{10}$$

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi\left(d^4-d_i^4\right)} \tag{11}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t T d}{\pi\left(d^4-d_i^4\right)} \tag{12}$$

เมื่อ α คือ ตัวประกอบการโก่ง (ไร้หน่วย)
C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด (ไร้หน่วย)
C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (ไร้หน่วย)

ขนาดของเพลาหาได้จากสมการ (13) (14) และ (15)

$$d^3 = \frac{16}{\left(1-\left(\frac{d_i}{d}\right)^4\right)} \times \left(\frac{1}{\pi\tau_d}\right) \times \left[\left(C_t T\right)^2+\left(\frac{\alpha FD\left(1+\left(\frac{d_i}{d}\right)^2\right)}{8}+C_m M\right)^2\right]^{1/2} \tag{13}$$

กรณีไม่มีแรง F

$$d^3 = \frac{16}{\left(1-\left(\frac{d_i}{d}\right)^4\right)} \times \left(\frac{1}{\pi\tau_d}\right) \times \left[\left(C_t T\right)^2+\left(C_m M\right)^2\right]^{1/2} \tag{14}$$

กรณีเพลาตัน

$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi\tau_d}\right) \times \left[\left(C_t T\right)^2+\left(C_m M\right)^2\right]^{1/2} \tag{15}$$

เมื่อ τ_d คือ ความเค้นเฉือนใช้งาน (N/m^2)

ค่าความเค้นเฉือนใช้งานของเพลาในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งาน 55 N/m^2 (สำหรับกรณีเพลาไม่มีร่องลิ่ม) และ 41 N/m^2 (สำหรับกรณีเพลามีร่องลิ่ม)

2.7.3 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรมที่มีหลักการพื้นฐานคือเมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทางสูงส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นบนลวดตัวนำ ดังนั้นลวดที่จะนำมาผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนความร้อนได้สูง ในปัจจุบันมีฮีตเตอร์หลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band heater) ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับการทำความร้อนให้กับท่อหรือถังรูปทรงกระบอก ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจากแผ่น Mica และลวดฮีตเตอร์เป็นแบบแบน (Ribbon wire heating element) จึงทำให้ฮีตเตอร์ชนิดนี้มีเส้นผ้าศูนย์กลางตั้งแต่ขนาดเล็กประมาณ 25 mm ไปจนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 600 mm มีความกว้างอยู่ระหว่าง 20–300 mm ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือสแตนเลส

ภาพที่ 2.15 ฮีตเตอร์รัดท่อ [11]

2.7.4 มอเตอร์ (Motor)

ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ที่จะให้แรงขนาด F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาทำให้เพลาหมุนไป 1 รอบ ด้วยความเร็วรอบ n rev/min สามารถคำนวณได้ โดยเริ่มจากการคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (16)

$$S = 2\pi r \tag{16}$$

เมื่อ S คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ (m)
r คือ รัศมีของเพลา (m)

คำนวณหางานจากการหมุนเพลา 1 รอบ โดยคำนวณได้จากสมการ (17)

$$W_F = F \times 2\pi r \tag{17}$$

เมื่อ W_F คือ งานจากการหมุนเพลา 1 รอบ (J)
r คือ รัศมีของเพลา (m)
F คือ แรงที่กระทำต่อเพลา (N)

คำนวณหางานในขณะที่เพลาหมุน n rev/min โดยคำนวณได้จากสมการ (18)

$$W_F = F \times 2\pi r \times n \quad (18)$$

เมื่อ W_F คือ งานจากการหมุนเพลา 1 รอบ (J)
r คือ รัศมีของเพลา (m)
F คือ แรงที่กระทำต่อเพลา (N)
n คือ ความเร็วรอบการหมุนของเพลา (rev/min)

คำนวณหาทอร์คจากการหมุนของเพลา โดยคำนวณได้จากสมการ (19)

$$T = F \times r \quad (19)$$

เมื่อ T คือ ทอร์คจากการหมุนเพลา (N.m)
r คือ รัศมีของเพลา (m)
F คือ แรงที่กระทำต่อเพลา (N)

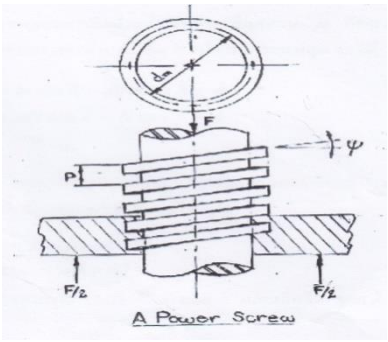
คำนวณหากำลังมอเตอร์ โดยคำนวณได้จากสมการ (20)

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (20)$$

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์ (W)
T คือ ทอร์คจากการหมุนเพลา (N.m)
n คือ ความเร็วรอบการหมุนของเพลา (rev/min)

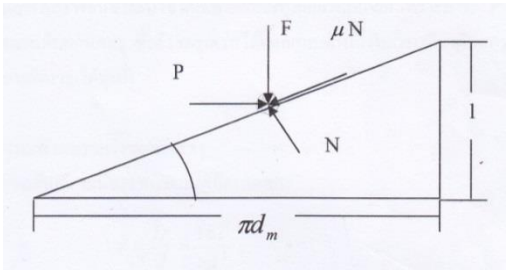
2.7.5 สกรู (Screw)

ในเครื่องจักรกลต่างๆมักจะใช้สกรูในการส่งกำลัง เพื่อเป็นการเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง หรือถ่ายทอดกำลังจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง สกรูส่งกำลังจะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่จากการหมุนเป็นการเลื่อน ตัวอย่างของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในเครื่องจักรกลต่างๆ ได้แก่ แม่แรง (Screw jack) สำหรับยกน้ำหนัก สกรูเพรส (Screw press) สำหรับใช้กดอัดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามต้องการ สำหรับการทำงานของสกรูเพรสของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่ามีหลักการคล้ายคลึงกับการทำงานของสกรูส่งกำลัง ดังนั้นจึงใช้หลักในการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณสกรูส่งกำลัง



ภาพที่ 2.16 สกรูส่งกำลัง [9]

ภาพที่ 2.16 เป็นสกรูส่งกำลังแบบเกลียว มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (dm) ระยะพิตท์ (P) มุมลีด (λ) และมุมฮีลิก (ϕ) ถูกกระทำโดยโหลดในแนวแกน F ในการคำนวณหาโมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักขึ้นทำได้โดยสมมติว่าคลี่เกลียวออกหนึ่งรอบ ดังในภาพที่ 2.17 จะได้ฐานของสามเหลี่ยมเท่ากับเส้นรอบวงของวงกลมเฉลี่ยและส่วนสูงของสามเหลี่ยม คือ มุมลีดของเกลียว การที่จะยกภาระขึ้นต้องมีแรง P กระทำไปทางด้านขวา



ภาพที่ 2.17 แรงปฏิกิริยาบนเกลียว [9]

แรงเสียดทาน คือ ผลคูณของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ กับแรงปฏิกิริยา N และกระทำสวนทางกับการเคลื่อนที่ สำหรับการยกน้ำหนักขึ้นภายใต้สภาวะสมดุล ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (21) และ (22)

$$F_H = P - N \sin\lambda - \mu N \cos\lambda \quad (21)$$

$$F_V = F + \mu N \sin\lambda - N \cos\lambda \quad (22)$$

เมื่อ F_H คือ แรงกระทำในแนวนอน (N)
F_V คือ แรงกระทำในแนวตั้ง (N)

จากสมการ (21) และ (22) แก้สมการหาแรง P จะได้

$$P = [F(\sin\lambda + \mu\cos\lambda)]/(\cos\lambda - \mu\sin\lambda) \quad (23)$$

หารสมการ (23) ด้วย $\cos\lambda$ และเมื่อได้ $\tan\lambda$ ให้แทนด้วย $\frac{l}{\pi dm}$ จะได้สมการ (24)

$$P = F[\mu + (\frac{1}{\pi dm})]/[\tau - \mu(\frac{l}{\pi dm})] \quad (24)$$

โมเมนต์บิด T คือ ผลคูณของแรง P กับรัศมีเฉลี่ย dm สำหรับยกน้ำหนักขึ้น จะได้สมการ (25) ซึ่งโมเมนต์ที่ใช้เพื่อจุดประสงค์เอาชนะความเสียดทานของเกลียวและยกน้ำหนักขึ้นสมการที่สร้างขึ้นข้างต้นใช้ได้เฉพาะกับสกรูเกลียวสี่เหลี่ยม เพราะภาระ F กระทำตั้งฉากกับฟันเกลียวและขนานกับแกนสกรู ซึ่งตัวสกรูเพรสได้ออกแบบด้านที่รับภาระเดียวกับสกรูสี่เหลี่ยม ดังนั้นจึงใช้สมการข้างบนคำนวณได้ทันที

$$T = (Fdm/2)[(l + \mu\pi dm)/(\pi dm - \mu l)] \quad (25)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาวิตรี จันทรานุรักษ์ [12] งานวิจัยนี้เป็นการทดลองนำทะลายปาล์ม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มเพื่อลดการตัดไม้ทำลายป่า โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำทะลายปาล์มมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงและศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้โดยเปรียบเทียบจากการวิเคราะห์โดยประมาณ ได้แก่ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากทะลายปาล์มในลักษณะ 2 รูปแบบ คือฟืนทะลายปาล์ม และถ่านอัดแท่งที่ผ่านการคาร์บอไนซ์ ซึ่งฟืนทะลายปาล์มมี 2 ลักษณะ คือฟืนใยฝอยทะลายปาล์มและฟืนทะลายปาล์มอัดแท่ง ส่วนในรูปแบบของถ่านคือถ่านทะลายปาล์มอัดแท่งและถ่านกะลาปาล์มที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ โดยถ่านทะลายปาล์มอัดแท่งที่อุณหภูมิระหว่าง 250-400°C เป็นเวลาตั้งแต่ 30-120 นาที ผลการทดลองพบว่าฟืนจากทะลายปาล์มอัดแท่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนใยฝอยทะลายปาล์ม แต่ฟืนจากทะลายปาล์มอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าเพราะมีความหนาแน่นสูงกว่าจึงให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ได้ยาวนานกว่า และเมื่อนำฟืนทะลายปาล์มอัดแท่งมาพัฒนาเป็นถ่านทะลายปาล์มอัดแท่งโดยการคาร์บอไนซ์ พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดและประหยัดพลังงานที่สุดในการคาร์บอไนซ์คือที่อุณหภูมิ 350°C ขึ้นไป เป็นเวลา 45 นาที โดยถ่านทะลายปาล์มที่ได้จากเครื่องอัดกำลังสูงจะมีค่าความร้อนสูงสุดที่ 4,387 แคลอรีต่อกรัม สำหรับการผลิตถ่านกะลาปาล์มมีสภาวะที่ดีที่สุดคือการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 45 นาที โดยให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 6,798 แคลอรีต่อกรัม

Suhartini et al. [13] ได้ศึกษาถึงแนวทางในการนำดินฟอกสีเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปรุงอาหารในประเทศอินโดนีเซียผลิตขยะทางอุตสาหกรรมที่เรียกว่าดินฟอกสีเป็นจำนวนมาก การนำดินฟอกสีมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงถือว่าเป็นทางเลือกที่ดีทางนึงสำหรับการกำจัดขยะเหลือทิ้งและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาคุณสมบัติของดินฟอกสีในการนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยศึกษาถึงการใช้ค่าความดันที่แตกต่างในการอัดและศึกษาถึงสัดส่วนปริมาณในการใช้มอลทอเดกซ์ทรินเป็นตัวประสานในการผสม ผลการศึกษาพบว่ามอลทอเดกซ์ทรินที่ปริมาณ 10% และความดันที่ 100 kg/cm^2 เมื่อนำมาผสมกับดินฟอกสีและผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ค่าความร้อนสูงที่สุด และมีคุณสมบัติเป็นลักษณะเดียวกันกับ

เชื้อเพลิงที่ได้มาตรฐาน SNI 1-6235-2000 ดังนั้นดินฟอกสีเหลือทิ้งจึงสามารถนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้

กษิรา และคณะ [14] ได้นำดินฟอกสี (Bleaching earth) ซึ่งถูกใช้เป็นสารฟอกสีในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชของไทยมาใช้ประโยชน์ การใช้ดินฟอกสีในประเทศไทยมีปริมาณมากถึง 15-18 ตัน/วัน ดินฟอกสีเหล่านี้ถูกกำจัดทิ้งด้วยการนำไปถมดินโดยไม่เกิดประโยชน์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้มีแนวคิดในการผลิตเชื้อเพลิงจากดินฟอกสี โดยศึกษาถึงแรงที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า แรงที่เหมาะสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิงอยู่ที่ 100 (kg/m^3) แท่งเชื้อเพลิงให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 13,440 (kcal / kg) ค่าความชื้นเฉลี่ย 3.67% ปริมาณสารระเหย 43.75% และปริมาณเถ้าถ่าน 68%

Singh et al. [15] ได้รายงานถึงแนวทางในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งพบว่าเศษวัสดุเหล่านั้นเมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นประมาณ 1200 kg/m^3 จะให้ค่าพลังงานความร้อนประมาณ 3500–5000 kcal/kg

อุกฤษฎ์ และคณะ [16] ได้ศึกษาถึงการประเมินคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง อันได้แก่ เศษไม้ยางพารา ทางปาล์ม ลำต้นปาล์ม และทะลายปาล์ม จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความร้อนของทะลายปาล์มมีค่าสูงสุดถึง 19.3 MJ/kg ซึ่งผ่านมาตรฐาน ในขณะที่ค่าความร้อนของเศษไม้ยางพารา ทางปาล์ม ลำต้นปาล์ม มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในชีวมวลพบว่าชีวมวลทั้ง 4 ชนิด มีโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 2,000–17,000 mg/kg และซัลเฟอร์ อยู่ในช่วง 2.1–3.8 wt.-% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากและยังพบปริมาณโลหะหนักอื่นๆ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ศุภชัย และภูมิพัฒน์ [17] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์ สายพันธุ์ปากช่อง โดยนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งใช้เป็นตัวประสานให้ได้สัดส่วนหญ้าเนเปียร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 จากนั้นจึงนำไปอัดแท่งและนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น และค่าต้านทานแรงกด วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง คือ ดัชนีการแตกร่วน และค่าความร้อน ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100 : 0 เมื่ออัดแท่งออกมาแล้วไม่สามารถคงรูปได้ เนื่องจากไม่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์ คือ สัดส่วนหญ้าเนเปียร์:แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 90:10 เนื่องจากมีค่าความร้อนที่สูงเท่ากับ 3,887.1 cal/g มีค่าต้านทานแรงกดที่สูง 24.727 kg/cm^2 แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความแข็งแรง ง่ายต่อการขนส่งและการเก็บรักษาที่สะดวก มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.723 g/cm^3 และมีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.942 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

ธนาพล และคณะ [18] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการจัดการเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ (2) การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ ผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่า

ความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg และมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 12.7-20.5 56.0-68.9 3.1-3.6 และ 9.9-20.7 % ตามลำดับ การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแทนฟืนไม้สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 13.13 kgCO_2eq/kg เปลือกสับปะรดแห้งที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 9.4% มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 12,551 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 ปี 6 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุดคือ จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวันรองลงมาคือค่าแรงคนงานจำนวนวันที่ผลิต และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ

เกรียงไกร และคณะ [19] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปของค่าความร้อนและความต้านทานแรงกด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองคือลำต้นและกิ่งของสบู่ดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานทำมาจากแป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุดิบจะถูกบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 mm จากนั้นวัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสบู่ดำและที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54-15.36 MJ/kg และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46-2.46 MPa

ธนาพล และคณะ [20] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำทางมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิค คือ สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ แท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้นำแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2,865-4,185 cal/g และมีประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 8.55-13.36 ค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 7.25-23.40 67.62-76.31 3.33-5.28 และ 2.26-10.71 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด คือ ทางมะพร้าว 1 kg ต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1.25 l การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 15.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 48,178 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี 1 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุด คือ ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน รองลงมา คือ ค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิต และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ

Jittabut [21] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของถ่านอัดแท่งที่มีการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนของฟางข้าวกับใบอ้อย ด้วยอัตราส่วน 100:0 80:20 50:50 20:80 และ 0:100 โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวผสานในการอัดก้อน และใช้กากน้ำตาลที่อัตราส่วน 100:50 หลังจากนั้นนำไปตรวจสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า มี

คาร์บอนคงตัว 9.06-13.63% สารระเหย 68.14-74.67% ปริมาณเถ้า 7.84-12.85% และความชื้น 4.2-6.2% ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ เป็นดังนี้ 38.6-43.2% 5.4-6.2% 34.5-36.4% 0.27-0.44% และ 0.02-0.04% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วง 16.3-17.83 MJ/kg ความหนาแน่นอยู่ในช่วงของ 0.53-0.58 kg/m^3 แรงอัดอยู่ในช่วง 32.4-44.7 kg/cm^2 จากผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดของฟางข้าวและใบอ้อยคือ 50:50

Li et al. [22] ได้รายงานถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยพลังงานชีวมวลเป็นตัวเลือกนึงในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติชีวมวลจะมีความชื้นที่สูงและมีการเผาไหม้ที่แตกต่างจากถ่านหิน เนื้อชีวมวลนั้นมีความไม่คงที่ทำให้เผาไหม้ได้แตกต่างจากถ่านหิน พฤติกรรมการเผาไหม้และอัตราการให้ความร้อนขึ้นอยู่กับรูปแบบการเผา จลนพลศาตร์การเผาไหม้ถูกกำหนดโดยอุณหภูมิการเผาไหม้ การทดสอบการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงจะให้ผลการทำนายการเผาไหม้ของชีวมวลที่แม่นยำ การเกิดออกซิเดชั่นแตกต่างกันตามอุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจน และขนาดของชีวมวลที่ได้ศึกษา นอกจากนี้ยังมีปัจจัยค่าความไม่แน่นอนและความร้อนที่เกิดจากการระเหยน้ำ

Thabuot et al. [23] ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบแท่นอัดไฮดรอลิมาเพื่ออัดก้อนถ่านชีวมวลแบบมีรู โดยชีวมวลจะถูกทำให้แห้งโดยการตากแดดและนำมาบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนการผสม เส้นใยปาล์มและกากน้ำตาลจะใช้เป็นตัวประสานที่ 20% โดยน้ำหนัก ระดับความดันที่ใช้ 40 50 60 และ 70 kg/cm^2 ความหนาแน่น ค่าความร้อน และอัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดก้อนที่เตรียมไว้ถูกตรวจสอบ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านอัดก้อนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยภายใน เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยภายนอก และความสูงอยู่ที่ 12 38 และ 25-30 mm ตามลำดับ ความหนาแน่นของถ่านอัดก้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความดันอยู่ในช่วงของ 260-416 kg /m^3 ถ่านมีความหนาแน่นสูงสุดได้รับจากการใช้ส่วนผสมของขี้เลื่อยไม้ไผ่กับกากน้ำตาล 20% โดยน้ำหนัก และความดัน 70 kg/cm^2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดก้อนจากไม้ไผ่มีค่าประมาณ 21.26 MJ/kg และไม้ยางพาราอัดก้อนได้รับอัตราการเผาไหม้ช้าที่สุดที่ 2.01 g/min

Prasityousil และ Muenjina [24] การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตโดยการอัดขึ้นรูปของวัสดุที่เหลือทิ้งในการทำปุ๋ยหมัก (MWCC) และขี้เลื่อย (SC) การทดลองดำเนินการ โดยนำถ่านอัดก้อนที่ทำจากอัตราส่วนต่างๆดังนี้ 100:0 80:20 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำกากส่าที่ 10% 15% และ 20% WT เป็นสารยึดเกาะ ในการอัดก้อนเชื้อเพลิงจะอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.8 cm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 cm และมีความยาว 15 cm ถ่านอัดก้อนได้รับการประเมินคุณสมบัติในด้านความชื้น เถ้าสารระเหย คาร์บอนคงที่ กำมะถัน ค่าความร้อนเผาไหม้และความหนาแน่น ผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนเผาไหม้และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของขี้เลื่อยถ่านและอัตราร้อยละที่สูงขึ้นของสารยึดเกาะ สัดส่วนของปุ๋ยหมักต่อขี้เลื่อย 80:20 มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปุ๋ยหมักสามารถนำมาเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

จากการวิจัยข้างต้นยืนยันได้ว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยการนำมาแปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทะลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีที่เหลือทิ้ง