บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการวิจัยคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากการผลิตยาสมุนไพรและกิ่งสละ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 สมุนไพรในการรักษาโรคสะเก็ดเงิน

2.2 สละ

2.3 พลังงานชีวมวล

2.4 การผลิตถ่านชีวมวลอัดแท่ง

2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมุนไพรในการรักษาโรคสะเก็ดเงิน

การรักษาผู้ป่วยโรคสะเก็ดเงินของศูนย์รักษาโรคสะเก็ดเงิน เทศบาลเมืองท่าช้าง ใช้สมุนไพรหลายชนิดมาผลิตเป็นยาสำหรับอาบและยาทาแผล เช่น ใบคันทรง เถาสะบ้า กระไดลิง สิงหโมรา ใบอินทนิล ขมิ้นชัน และขมิ้นอ้อย เป็นต้น สมุนไพรเหล่านี้จะผ่านกระบวนการบดย่อยและนำไปต้มหรือหมักตามตำรับยาสมุนไพร ก่อนจะทำการแยกกากสมุนไพรและน้ำสมุนไพรที่ใช้เป็นยารักษาออกจากกัน โดยสมุนไพรและตัวยา สามารถแยกได้เป็นยาสำหรับอาบ จะประกอบด้วย ใบคันทรง เถาสะบ้า กระไดลิง สิงหโมรา ใบอินทนิล ขมิ้นชัน โดยสมุนไพรแต่ละชนิดจะต้องผ่านกระบวนการอบแห้งก่อนนำมาใช้จากนั้นจำนำไปต้ม กรองกากสมุนไพรออกก็จะได้น้ำมันไพรสำหรับอาบ ในส่วนของยาสำหรับทาจะประกอบด้วย ยาฉุน ใบพลู กระชายดำ น้ำผึ้ง บอระเพ็ด ผิวมะกรูด ซึ่งผิวมะกูดจะต้องผ่านกระบวนการทำแห้ง จากนั้นนำสมุนไพรไปเข้าสู่กระบวนการหมัก เมื่อหมักจนได้ตามต้องการจึงนำสมุนไพรมากรองซึ่งจะได้น้ำสมุนไพรสำหรับทาในการรักษาโรคสะเก็ดเงิน

2.2. สละ

สละมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Salacca edulis อยู่ในวงศ์ Palmae เป็นผลไม้ที่ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี สละเป็นพืชที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศเนื่องจากมีรสชาติที่หอมหวานหรือหวานอมเปรี้ยวและยังมีกลิ่นเฉพาะตัว ลักษณะโดยทั่วไปของสละ ลำต้นจะมีขนาดเล็กกว่าต้นระกำ กาบใบมีสีน้ำตาลทอง ปลายใบยาวหนามของยอดที่ยังไม่คลี่มีสีขาว ผลมีรูปร่างยาว หัวท้ายเรียวคล้ายกระสวย หนามผลยาวอ่อนนิ่มเนื้อมีสีเหลืองนวลคล้ายน้ำผึ้ง หนานุ่ม ลำต้นเป็นแกนอยู่ด้าน

ในที่หุ้มด้วยกาบใบ ใบจะแตกออกลำต้นที่มีความสูง 3 ถึง 7 เมตรโดยรากของสละจะเป็นระบบราก ฝอยเหมือนกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอื่น ๆ โดยรากจะแตกออกจากบริเวณโคนเหง้าเหนือดินเพื่อเป็นรากค้ำยันหรืออากาศและรากส่วนมากจะแตกออกจากเหง้าใต้ดินแทงออกในแนวขนานกับดินยาวได้มากกว่า 2 เมตร ใบประกอบด้วยใบย่อยที่แตกออก ใบคล้ายใบมะพร้าวมีความยาวประมาณ 2-3 เมตร ใบเป็นใบประกอบแบบขนนกและใบอ่อนที่แตกออกจากยอดใหม่จะห่อรวมกันเรียกว่าใบรูปหอกที่แทงออกจากกลางยอด เมื่อแก่จะแผ่คลี่ออกเป็นใบและใบของสละจะมีลักษณะอ่อนและลู่มากกว่าใบระกำ ปลายใบมีหนามขนาดเล็กและขอบใบมีลักษณะโค้งลงบริเวณกลางใบจนถึงปลายใบส่วนบนมีลักษณะเว้าลงเป็นร่อง กิ่งของสละจะแตกออกบริเวณแกนของลำต้นจะมีหนามแหลมจำนวนมากทั่วก้าน กิ่งของสละที่แก่และเหี่ยวตายจะไม่ร่วงหลุดออกจากต้นแต่จะค่อย ๆ กรอบผุไปเรื่อย ๆ สำหรับสละที่ได้รับความนิยมได้แก่พันธุสุมาลีลักษณะลำต่นคล้ายระกำ ทางใบยาวมีสีเขียวอมเหลือง ใบใหญกวางและปลายใบสั้น หนามของยอดออนที่ยังไม่คลี่มีสี สมออน คานดอกยาว ชอดอกใหญ ติดผลงาย ผลมีรูปรางปอมสั้น เนื้อหนากวาระกำ รสชาติหวาน มีกลิ่นเฉพาะ เจริญเติบโตเร็วและทนต่อสภาพแสงแดดจัดไดดี โดยสละสุมาลีจะแสดงดังภาพที่ 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2560 : 1)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของต้นสละพันธ์สุมาลี

2.3 พลังงานชีวมวล

พลังงานชีวมวลคือ พลังงานที่ถูกเก็บสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ทั่วไปตามธรรมชาติ พืช เศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตร หรือกากที่เหลือจากกระบวนการอุตสาหกรรม เช่นฟางข้าว ขี้เลื่อย แกลบ ชานอ้อย ซังข้าวโพด เศษไม้ เปลือกไม้ มูลสัตว์ รวมทั้งของเหลือหรือขยะจากครัวเรือนมนุษย์ ของเหลือจากโรงงานแปรผลิตภัณฑ์ทางเกษตร ฟาร์มปศุสัตว์ เป็นต้น ในชีวมวลจะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) กำมะถัน (S) ไนโตรเจน (N) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะในขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืชนั้นพืชได้ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้ได้แป้งและน้ำตาลและนำไปเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานที่ออกมาทั้งที่ได้จากพืชโดยตรงและโดยอ้อม เช่น จากสิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืชหรือของเสียต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรและของเสียจากชุมชนซึ่งเป็นพลังงานชีวมวลในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในรูปของแข็ง ของเหลวและแก๊ส การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) และการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ เอทานอล (Ethanol) และไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นต้น

2.3.1 แหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล

การใช้พลังงานจากมวลชีวภาพสามารถจำแนกแหล่งพลังงานจากมวลชีวภาพออกเป็น 2 แหล่งหลัก ๆ คือ

1) แหล่งพลังงานที่เป็นพืช

ประเภทที่มีลักษณะเป็นไม้ (Woody Crops) สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไปโดยเฉพาะตามแหล่งป่าไม้ต่าง ๆ

2) ประเภทที่มีลักษณะเป็นพืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) ในปัจจุบันมีการปลูกพืชผลทางการเกษตรจำพวกอ้อยและข้าวโพดเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งเป็นสิ่งที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ

2.3.2 แหล่งพลังงานที่เป็นของเหลือใช้

หลังการใช้ประโยชน์จากไม้หรือการเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตรแล้วจะมีของเหลือใช้จำพวกเศษไม้ ขี้เลื่อย ซังหรือเปลือกของพืชต่าง ๆ รวมถึงมูลสัตว์จากการปศุสัตว์สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานชีวมวลอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้

1) เศษไม้ เป็นแหล่งพลังงานมวลชีวภาพที่อยู่ในรูปของของแข็ง (Solid Biomass) ที่มีมากมายจากอุตสาหกรรมทางป่าไม้

2) เศษพืชผลทางการเกษตร เช่นข้าวโพด ชานอ้อย และแกลบ เป็นต้น เศษวัสดุต่าง ๆ ที่เกิดจากพืชผลทางการเกษตรจำพวกฟางข้าว ข้าวสาลี

3) สิ่งปฏิกูลจากสัตว์ (Animal Wastes) เนื่องจากในแต่ละวันสัตว์จะมีการถ่ายสิ่ง

ปฏิกูลออกมาปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นการเลี้ยงสัตว์ในลักษณะเป็นฟาร์มจะสามารถรวบรวมสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ได้ในปริมาณที่มากพอที่จะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้

4) ของเหลือใช้จากชุมชน (Municipal Wastes) โดยทั่วไปเกิดจากชุมชนการบริโภคของมนุษย์ทำให้มีการทิ้งหรือสิ่งของที่เหลือกินเหลือใช้ที่อยู่ในสภาพขยะ ขยะที่เป็นสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการย่อยสารอินทรีย์แบบไม่ต้องใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และผลที่ได้จากกระบวนการส่วนใหญ่คือแก๊สมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ต่อไป

ส่วนขยะประเภทอื่นอาจใช้วิธีคัดแยกเพื่อเอาไปใช้ใหม่ (Recycling) เช่นพวกขยะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะอยู่ เป็นต้น นอกจากนี้ขยะส่วนที่เหลือยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ (Combustion) หรืออาจใช้วิธีฝังกลบ (Landfill) โดยวิธีนี้เมื่อเวลาผ่านไปนานเป็นปีๆ ผลที่เกิดขึ้นคือจะเกิดแก๊สจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas, LFG) ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์, 2560 : 3)

2.4 การผลิตถ่านชีวมวลอัดแท่ง

2.4.1 กระบวนการย่อย (crushing process) เป็นกระบวนการบดย่อยวัตถุดิบที่ยังมีขนาดไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตต้องนำลดขนาดก่อน เช่น เศษไม้ ปีกไม้ เปลือกไม้ ฟางข้าว ใบอ้อย หญ้า เป็นต้น

2.4.2 กระบวนการลดความชื้น (drying process) เป็นกระบวนการผลิตการลดความชื้นเพื่อให้วัตถุมีความชื้นที่เหมาะสมกับกระบวนการอัด

2.4.3 กระบวนการผสม (mixing process) เป็นกระบวนในการผสมวัตถุดิบที่ใช้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเพื่อให้เข้ากัน

2.4.2 กระบวนการอัด (pelleting process) เป็นกระบวนการขึ้นรูปวัตถุดิบให้เป็นเม็ด หรือแท่ง จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะ คือ กระบวนการอัดร้อน และกระบวนการอัดเย็น

กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process) เป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียสเหมาะสมกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดร้อน คือวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร (แกลบ ขี้เลื้อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ ซังข้าวโพด ชานอ้อย ฯลฯ) วัชพืชบก

และน้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวฟ่าง ฯลฯ)

กระบวนการอัดเย็น (Cold Press Process) เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธี คือ การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสานและการอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสานเป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากเครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

สำหรับการอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มีความจำเป็นที่จะต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัด หากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก

3.4.5 กระบวนการระบายความร้อน (cooling process) เป็นกระบวนการระบายความร้อนให้กับเชื้อเพลิง ชีวมวลที่ขึ้นรูปแล้วให้เย็นตัวลงและคงรูปของเชื้อเพลิง

2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุด มีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้องค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ คือ

2.5.1 ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) องค์ประกอบ ส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงจะประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน (H) และธาตุคาร์บอน (C) ซึ่งเชื้อเพลิงมีอยู่ได้ทั้ง 3 สถานะ คือ เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง เช่น พื้น ถ่านหิน ขี้เลื่อย แคลเซียมคาร์ไบด์ เป็นต้น เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันก๊าด แอลกอฮอล์ เป็นต้น และเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส เช่น แก๊สหุงต้ม แก๊สอะเซติลีน เป็นต้น เชื้อเพลิง แต่ละชนิดจะให้พลังงานความร้อนไม่เท่ากันโดยพิจารณาได้จากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น ๆ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value) หมายถึงปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงนั้น ๆ 1 หน่วยมวล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) หรือ 1 หน่วยปริมาตร (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส) เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงเป็น เชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนได้ดีเมื่อทดสอบด้วยการต้มน้ำเดือดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าเชื้อเพลิงที่ มีค่าความร้อนต่ำ

2.5.2 ปริมาณความชื้น Moisture Content) คือปริมาณความชื้นต่อปริมาณของ เนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงและทำให้เชื้อเพลิง อัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย

2.5.3. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณสารระเหยคือส่วนของเนื้อ เชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีเปอร์เซ็นต์สารระเหยสูงแสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจุดติดไฟได้ดี

2.5.4. ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากสภาวะ สันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น ปริมาณมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อน หาก เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนสูงส่งผลให้มีปริมาณเถ้าต่ำ แต่ถ้าแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อน ต่ำส่งผลให้มีปริมาณเถ้าสูง

2.5.5. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัด แท่งหลังจากเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 °C เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวสูงทำให้เกิดการสันดาปได้ดีและใช้ระยะเวลาในการลุกไหม้ได้นาน

2.5.6. ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนโดยการต้มน้ำเดือด เป็นวิธีการ ทดสอบประสิทธิภาพของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล เริ่มต้นตั้งแต่อุณหภูมิเมื่อแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลติดไฟไป จนถึงอุณหภูมิสูงสุดเปรียบเทียบกับค่าความร้อนและน้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งคำนวณได้ จากสูตร

$$\mu = \Sigma\left(\frac{ms\left(t_2 - t_1\right) + ms\left(t_3 - t_1\right)}{wq} \times 100\%\right) \qquad (1)$$

เมื่อ

μ = ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของเชื้อเพลิง (%)

w= น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)

q= ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (cal/g)

M=น้ำหนักของน้ำในหม้อ (g)

S= ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (1 cal/g °C)

t_1= อุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มแรก (°C)

t_2= อุณหภูมิของน้ำเดือด (°C)

t_3= อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายของหม้อ (°C)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนาพล ตันติสัตยกุล และคนอื่น ๆ (2558 : 755) ได้ศึกษาความเหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด โดยมีน้ำแป้งมันสาปะหลังเป็นวัสดุประสาน ในการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg และพบว่าการใช้งานเชื้อเพลิงที่เตรียมนี้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 6 ปีครึ่ง

ชีวะ ทัศนา และคนอื่น ๆ (2560 : 2) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำก้านติดใบสละมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและศึกษาเปรียบเทียบผลของคาร์บอนแบล็คต่อสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งประกอบด้วย ระยะเวลาในการเผาไหม้ ปริมานความร้อน ร้อยละปริมาณความชื้นและร้อยละปริมาณเถ้าของถ่าน อัดแท่ง ผลการวิจัยพบว่า ถ่านก้านติดใบสละอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค มีระยะเวลาในการเผาไหม้นานมากที่สุดและมีค่าปริมาณความร้อนสูงที่สุด แต่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด ทั้งนี้คือ ถ่านไม้อัดแท่ง ถ่านไม้อัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค ถ่านก้านติดใบสละอัดแท่งและถ่านก้านติดใบสละอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คมีระยะเวลาในการเผาไหม้เป็น 58, 63, 76และ 81 นาที และมีค่าปริมาณความร้อนประมาณ 76.5, 99.0, 102 และ 105 กิโลแคลอรีตามลำดับ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ร้อยละปริมาณความชื้นและร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านทั้งสี่ชนิดพบว่ามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 11.6 - 8.14 และ 9.33-5.42

ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์ (2560 : 3) ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ไม่ผ่านการเผาจากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามด้วยการอัดเย็นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไม่เผาโดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันของกากกาแฟผสมเปลือกมะขามและตัวประสาน (ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังและผงบง) คือ 80:0:20 ,60:20:20 ,40:40:20 ,20:60:20 และ 0:80:20 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วยความหนาแน่นและระยะเวลามอดดับ ส่วนคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงทำการศึกษาค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว จากผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงทุกอัตราส่วนขึ้นรูปได้แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่อัตราส่วน 80:0:20 และอัตราส่วน 40:40:20 จากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน และแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่อัตราส่วน 80:0:20 จากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามโดยใช้ผงบงเป็นตัวประสาน มีค่าผ่านมาตรฐานแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไม่เผาอัตราส่วนที่เหมาะสมเหล่านี้มีค่าความร้อน 4,495-4,751.8 cal/g ปริมาณความชื้น 7.76-8.42% ปริมาณสารระเหย70.79-74.9%ปริมาณเถ้า 1.25-4.06% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 16.73-26.09% ความหนาแน่น0.46-0.61 g/cm^3 ระยะเวลาการมอดดับของเชื้อเพลิง 18-22 นาที และมีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน 7.17-7.35%

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นว่าการนำวัสดุที่เป็นของเสียทางการผลิตสมุนไพร และ กิ่งสละที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เมื่อนำมาผ่านกระบวนการเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจะทำให้สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางความร้อนได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสียทั้งสองได้อย่างมีประสิทธิภาพ