



รายงานการวิจัย

การบูรณาการเตาชีวมวลชนิด TLUD สู่อุปกรณ์แพทย์แผนไทย กรณีศึกษา การ
นึ่งลูกประคบ โรงพยาบาลบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

The Integrated TLUD Biomass Cookstove to Thai Traditional
Medicine : Steaming Thai Herbal Compress Ball, Bangklam
Hospital, Songkhla Province

ผศ.พลชัย ขาวนวล

ผศ.จิรภัทร ภู่วัฒนทอง

ผศ.สมบุรณ์ ประสงค์จันทร์

คณะศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมการพัฒนางานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564 ขอขอบคุณบุคลากรหลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ และบุคลากรคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และครอบครัวที่มีส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ผศ.พลชัย ขาวนวล

ผศ.จิรภัทร ภูขวัญทอง

ผศ.สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่เหมาะกับการแพทย์แผนไทยสำหรับการนึ่งลูกประคบ ใช้งานสะดวก ประหยัดพลังงาน และมีสมรรถนะที่สูงขึ้น และการบูรณาการเตาชีวมวลชนิด TLUD สู่การใช้ประโยชน์กับการแพทย์แผนไทยสำหรับการนึ่งลูกประคบ ทดสอบสมรรถนะใช้วิธีการต้มน้ำเดือด โดยทำการวัดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ อัตราการเผาไหม้ กำลังไฟ และเวลาในการเดือดของน้ำ ในการพัฒนาระบบห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD ได้ทำการสร้างระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ที่สามารถปรับความลึกห้องเผาไหม้ขณะใช้งานได้ โดยผลการทดสอบสมรรถนะพบว่า การใช้ระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ขณะใช้งานเตา มีสมรรถนะที่ดีกว่าการใช้งานเตาในลักษณะการตรึงระดับห้องเผาไหม้ที่ 7 นิ้ว และ 11 นิ้ว และจากผลการศึกษาพบว่าเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้ไม่เหมาะกับบริบทผู้ใช้ประโยชน์เนื่องจากมีกำลังไฟที่สูงเกินไป อาจทำให้ภาชนะเกิดการเสียหายในบางส่วน ต้องเติมเชื้อเพลิงค่อนข้างถี่ และมีควันเล็กน้อยในบางช่วง ทำให้ไม่เหมาะกับบริบทการทำงานของหน่วยงานแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล้า จังหวัดสงขลา ทำให้ต้องพัฒนาหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะที่มีระบบการเตือนระดับน้ำและแจ้งอุณหภูมิภายในชั้นที่นึ่งลูกประคบเพื่อป้องกันน้ำแห้งอันเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์และเกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ ซึ่งสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้ได้ตอบโจทย์กลุ่มแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล้าได้เป็นอย่างดี

Abstract

This research aims to develop a TLUD biomass combustion chamber system suitable for Thai traditional medicine for steaming herbal compresses, convenient to use, energy saving and have higher performance and integrated the TLUD biomass stoves into utilization in Thai traditional medicine for steaming herbal compresses. Test performance using the Water Boiling Test (WBT) method by measuring the thermal efficiency, specific energy consumption, specific cost consumption, burning rate, power and boiling time of water. In the development of the TLUD biomass stove combustion chamber system, a combustion chamber leveling system was created that can adjust the combustion chamber depth during operation. The performance test results showed that the use of the combustion chamber adjustment system while operating the TLUD biomass stove has better performance than the use of the stove in the 7 inch and 11 inch level of the combustion chamber. The development TLUD biomass stove is not suitable for the user context because the power is too high, that cause partial damage to the container, need to refuel quite often and there is a little smoke at some time. This makes it not suitable for the working context of the Thai traditional medicine unit, Bangklam Hospital, Songkhla Province. Therefore, it is necessary to develop a smart herbal compress steamer that has a water level warning system and an internal temperature notification system. The smart herbal compress steamer was using to warning dry water, which can cause damage to the device and cause a short circuit, which this invention meets the needs of Thai traditional medicine unit, Bangklam Hospital.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	11
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	12
2.1 ประกอบเตา	12
2.2 ทดสอบสมรรถนะเตา	12
2.3 การทดสอบใช้งานจริง	14
บทที่ 3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	15
3.1 การพัฒนาระบบห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD	15
3.2 สมรรถนะเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิด TLUD.....	19
3.3 หม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะ.....	23
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	30
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	30
4.2 ข้อเสนอแนะ	30
บรรณานุกรม.....	32
ภาคผนวก ก แบบเตาชีวมวลชนิด TLUD สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้	34

ภาคผนวก ข เกียรติบัตรประกวดนวัตกรรม	36
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ทำวิจัย.....	37

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก	10
ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD	19

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	คลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล้า	3
รูปที่ 1.2	กองขยะชีวมวลบริเวณด้านหลังของโรงพยาบาลบางกล้า	3
รูปที่ 1.3	ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก	8
รูปที่ 3.1	โมเดลเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ทำการพัฒนา.....	15
รูปที่ 3.2	เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้.....	15
รูปที่ 3.3	เชื้อเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้.....	16
รูปที่ 3.4	กระเบื้องรองซีเมนต์เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้.....	17
รูปที่ 3.5	ห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้	17
รูปที่ 3.6	ระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ของเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้	18
รูปที่ 3.7	เปรียบเทียบสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD	20
รูปที่ 3.8	ทดสอบการใช้งานเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้	22
รูปที่ 3.9	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบหม้อน้ำลูกประคบ	24
รูปที่ 3.10	Flowchart หม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะ.....	26
รูปที่ 3.11	รูปแบบโครงสร้างวงจรหม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะ	27
รูปที่ 3.12	ลักษณะหม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะ	28
รูปที่ 3.13	ส่งมอบหม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะให้แก่กลุ่มงานแพทย์แผนไทยและ การแพทย์ทางเลือก โรงพยาบาลบางกล้า อำเภอบางกล้า จังหวัดสงขลา	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ใช้แล้วหมดสิ้นไป และพลังงานหลักกำลังจะหมดไปในอีกไม่ช้า และการใช้พลังงานอาจก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม หลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนจึงมีการคิดริเริ่มในการสรรหาพลังงานจากแหล่งพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานทดแทน และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ปัจจุบันการนำพลังงานทดแทนมาใช้ได้รับความนิยมสูงขึ้น โดยเฉพาะพลังงานความร้อนจากเตาชีวมวลเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่นำวัสดุเหลือใช้ในบ้านเรือนหรือชุมชน เช่น กิ่งไม้ เศษไม้ที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์มาแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการหุงต้ม ประกอบอาหาร การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และการสนับสนุนการประยุกต์ใช้ประโยชน์พลังงานทางเลือกในกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและวิสาหกิจชุมชน ทำให้ลดค่าใช้จ่าย เพิ่มรายได้ และนอกจากนี้ยังเป็นการลดมลพิษที่เกิดจากการเผาขยะบางส่วน และสามารถนำเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาชีวมวลไปใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปรับปรุงดินเพื่อการเพาะปลูกพืชต่อไป

ในปัจจุบันสถานการณ์พลังงานทดแทนในประเทศไทยนั้นมีการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากนโยบายส่งเสริมการผลิตการใช้พลังงานทดแทน โดยการใช้พลังงานอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยในปี 2557 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 9,025 ktoe เป็นลักษณะพลังงานความร้อน 5,775 ktoe โดยที่พลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานความร้อนนี้มาจากพลังงานชีวมวล 5,144 ktoe คิดเป็นร้อยละ 89 ของพลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานความร้อน อุตสาหกรรมหลักที่มีการใช้เชื้อเพลิงพลังงานทดแทนเพื่อผลิตความร้อนจะเป็นอุตสาหกรรมเกษตรทั้งสิ้น ได้แก่ อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ อุตสาหกรรมกระดาษ โรงสีข้าว และฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งล้วนเป็นอุตสาหกรรมที่มีเศษวัสดุเหลือทิ้งและของเสียจากกระบวนการผลิต ที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานในรูปแบบของเชื้อเพลิงชีวมวลและก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายจากการจัดซื้อเชื้อเพลิงจากภายนอกมาใช้ ทำให้วัสดุเหลือทิ้งประเภทเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ชานอ้อย แกลบ เศษไม้ ใบปาล์ม กะลาปาล์ม และขี้เลื่อย ได้รับความนิยมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมเกษตรอย่างกว้างขวาง

เป้าหมายปี 2579 การผลิตความร้อนจากพลังงานทดแทนประเภทชีวมวล 22,100 ktoe โดยมีการขับเคลื่อนการขับเคลื่อนการพัฒนาพลังงานทดแทนตามยุทธศาสตร์ (โดยเฉพาะพลังงานความร้อน) ได้แก่

- **ยุทธศาสตร์ที่ 1** การเตรียมความพร้อมด้านวัตถุดิบและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน

เป้าประสงค์ การพัฒนาความสามารถในการผลิต บริหารจัดการวัตถุดิบด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม

กลยุทธ์ 1.3 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับความสามารถการผลิตและการใช้พลังงานทดแทน **การผลิตความร้อน** : พัฒนาเทคโนโลยีผลิตพลังงานประสิทธิภาพสูง หรือเทคโนโลยีขั้นสูง

- **ยุทธศาสตร์ที่ 2** การเพิ่มศักยภาพการผลิต การใช้ และตลาดพลังงานทดแทน **เป้าประสงค์** การผลักดันความสามารถในการผลิตและความต้องการพลังงานทดแทน **กลยุทธ์ 2.1** สนับสนุนครัวเรือนและชุมชนให้มีส่วนร่วมในการผลิตการใช้พลังงานทดแทน **การผลิตความร้อน** : ส่งเสริมการใช้วัสดุ อุปกรณ์ผลิตความร้อนประสิทธิภาพสูงในครัวเรือน เช่น เตาถ่านและเตาก๊าซ หุงต้มประสิทธิภาพสูง เตาวิสาหกิจชุมชน (แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579)

ไม้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของภาคใต้ที่มีการปลูกเป็นจำนวนมาก ในปี 2559 จังหวัดสงขลามีพื้นที่ปลูกเป็นอันดับ 2 2,17,1411 ไร่ จากพื้นที่เพาะปลูกทั้งสิ้น 24,721,076 ไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร) โดยไม้ยางพาราที่ปลูกมานี้จะมีส่วนที่เหลือใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ จากข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556 ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เกือบทั้งต้นไม่ว่าจะเป็นปลาย ปีก ขี้เลื่อย และเศษไม้ยางพารา ยกเว้นตอ ราก และกิ่งก้านไม้ยางพาราเท่านั้นที่ยังไม่มีการนำมาใช้ได้ทั้งหมด ซึ่งปริมาณตอ ราก และกิ่งก้านไม้ยางพาราส่วนที่ยังไม่ได้นำมาใช้คิดเป็นร้อยละ 80 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

โรงพยาบาลบางกล่ำ ตั้งอยู่ที่ตำบลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา โดยกลุ่มงานการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือกเป็นหน่วยงานหนึ่งที่สังกัดในโรงพยาบาลแห่งนี้ ซึ่งกลุ่มงานดังกล่าวมีการดำเนินการในหลายกิจกรรม โดยที่หนึ่งในหลายกิจกรรมนั้นจะมีกิจกรรมที่ต้องใช้พลังงานความร้อนคือ การอบสมุนไพร และการนึ่งลูกประคบดังรูปที่ 1.1



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1.1 คลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล้า

บุคลากรของกลุ่มงานฯ มีแนวคิดริเริ่มต้องการนำขยะชีวมวลในบริเวณโรงพยาบาลและชุมชนบางกล้า (รูปที่ 1.2) มาใช้ประโยชน์แทนการเผาทำลาย เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานหลัก ลดการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาทำลายขยะชีวมวล



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.2 กองขยะชีวมวลบริเวณด้านหลังของโรงพยาบาลบางกล้า

เตาชีวมวลเป็นเตาที่ใช้พลังงานจากการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งเตาชีวมวลมีหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันออกไป เช่น เตาอั้งโล่เป็นเตาที่ชาวเกษตรมีความนิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างสูง สามารถเติมเชื้อเพลิงต่อเนื่องได้ แต่มีข้อเสียคือควันขาวมาก และกำลังไฟต่ำ เตาแกลมมีข้อดีคือการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงค่อนข้างสม่ำเสมอ ให้ความร้อนสูง มีควันน้อย แต่ก็มีข้อเสียคือ มีน้ำหนักมาก ต้องใช้ไฟฟ้า ใช้เชื้อเพลิงที่เป็นแกลมเท่านั้น และไม่สามารถเติมเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องได้ เตาจรวดมีจุดเด่นคือกำลังไฟที่สูง สามารถใช้เชื้อเพลิงขนาดยาวได้ มีควันน้อย ควบคุมกำลังไฟได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียเช่นกันคือ ให้ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ เตา TLUD ซึ่งเป็นเตาชีวมวลรุ่นที่คณะผู้วิจัยได้ทำการวิจัยและบริการวิชาการมาก่อนแล้ว โดยเตาดังกล่าวมีข้อดีคือมีควันขาวไม่มาก มีกำลังไฟสูงทำให้มีความรวดเร็วในการปรุงอาหาร แต่ก็มีข้อเสียคือการเติมเชื้อเพลิงค่อนข้างลำบาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาระบบห้องเผาไหม้ให้เหมาะกับกิจกรรมการนั่งลูกประคบ ใช้งานสะดวก ประหยัดพลังงาน และมีสมรรถนะที่สูงขึ้น และทำการบูรณาการเตาชีวมวลชนิด TLUD กับการแพทย์แผนไทยสำหรับการนั่งลูกประคบ และหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงชีวมวลต่อถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตถ่านที่นำมาใช้กับเตา ซึ่งเป็นการนำขยะชีวมวลมาให้เป็นประโยชน์แทนการเผาทำลาย โดยการวิจัยครั้งนี้จะสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในยุทธศาสตร์ที่ 2 สร้างงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่และก่อให้เกิดคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ เป้าประสงค์ ผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ และงานสร้างสรรค์ นำไปสู่การใช้ประโยชน์และขับเคลื่อนเศรษฐกิจ สังคม ระดับภูมิภาค กลยุทธ์ที่ 2 พัฒนางานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับภูมิภาค มาตรการที่ 1 สร้างงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ที่สอดคล้องกับความต้องการของสังคมและอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งมากจากการสังเคราะห์ด้วยแสงและเกิดขึ้นหมุนเวียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ในธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานเพื่อใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลอาจ

มองว่าเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต พืช และสัตว์ หรือกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีความหลากหลายของรูปแบบและลักษณะเฉพาะแหล่งตามความหลากหลายและซับซ้อนทางชีววิทยาและสภาพสิ่งแวดล้อม ชีวมวลเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งที่ไม่มีวันหมดไป เพราะวงจรการผลิตชีวมวลคือวงจรของพืชที่มีระยะเวลาสั้น ในกรณีที่มีการผลิตชีวมวลขึ้นมาทดแทนชีวมวลที่ได้ใช้ไป แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกหมุนเวียนมาใช้ในชีวมวลที่ผลิตใหม่เท่ากับปริมาณแก๊สที่ถูกผลิตจากการเผาไหม้ชีวมวลนั้น ๆ เนื่องจากพืชต้องหายใจเพื่อเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใช้ในการเจริญเติบโต นั่นหมายถึง การใช้ชีวมวลจะลดโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553)

ชีวมวลประกอบด้วยธาตุหลัก ๆ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อยในรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตหรือเซลลูโลส โดยทั่วไปชีวมวลอาจจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลัก ๆ คือ ชีวมวลแบบไม้ (Woody) แบบไม้ใช้ไม้ (Non Woody) และของเสียจากสัตว์ ซึ่งมาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- ผลผลิตจากป่า ไร่สวน ต้นไม้ และวัชพืชต่าง ๆ ทั้งบนบกและในน้ำ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ไม้โตเร็ว ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า พืชล้มลุก จากส่วนเมล็ด เปลือก ผล และจากมวลสาหร่าย พืชน้ำ เป็นต้น

- ผลผลิตจากพืชเกษตร เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ปาล์มน้ำมัน แกลบ ฟาง ชานอ้อย ยอดใบอ้อย เหง้ามัน ชังข้าวโพด ทะลายปาล์ม

- เศษวัสดุและของเสียจากกระบวนการและการประกอบการของภาคอุตสาหกรรม เช่น ขี้เลื่อย กลีเซอริน สำเหล้า กากอาหาร รวมไปถึงของเสียจากโรงงานแปรรูป ของเสียประเภทพลาสติก และกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

- ของเสียจากแหล่งชุมชน เช่น ขยะชุมชน กากตะกอนจากแหล่งบำบัดน้ำเสียชุมชน

- ผลิตภัณฑ์และของเสียจากสัตว์ เช่น ไขมัน มูลสัตว์ เป็นต้น

แหล่งพลังงานชีวมวลปฐมภูมิที่ชัดเจน ได้แก่ ไม้ฟืน ซึ่งมีความสะดวกในการใช้และมีการใช้กันมากอย่างแพร่หลาย แหล่งที่มาของไม้ฟืนเหล่านี้หาได้ตามป่า พื้นที่ป่ากร้าง ป่าปลูก และต้นไม้ตามหัวไร่ปลายนา หรือในสวน ซึ่งจะเป็นส่วนลำต้น กิ่ง ก้านใบ หรือบางครั้งอาจรวมถึงโคนและรากด้วย

แหล่งพลังงานชีวมวลทุติยภูมิได้จาก ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษกากจากกระบวนการโรงงาน ชีวมวลจากสัตว์เลี้ยง หรือจากชีวมวลที่ผ่านกระบวนการแปลงสภาพมาแล้ว เศษกากที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของ

ประเทศ ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป บางชนิดไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้า เช่น กากมันสำปะหลังและส่าเหล้า เพราะมีความชื้นสูงถึง 80-90% บางชนิดต้องนำมาย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ เช่น เศษไม้ยางพารา เป็นต้น (นคร ทิพย์วงศ์, 2553)

2. กระบวนการแปรรูปทางเคมีความร้อน (Thermochemical Conversion)

กระบวนการแปรรูปทางเคมีความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพสูงขึ้น ได้แก่วิธีการเผาไหม้โดยตรง การย่อยสลายด้วยความร้อน และการแปรรูปเป็นแก๊สชีวมวล ดังนี้

2.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion)

การเผาไหม้โดยตรงเป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลโดยใช้ความร้อนในที่ที่มีอากาศเพื่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ สารอินทรีย์ในชีวมวลจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และให้พลังงานออกมา ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ปริมาณความชื้นของชีวมวล เตาเผา ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และอุณหภูมิในการเผาไหม้ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงพลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในการระเหยน้ำทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ต่ำ องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วยส่วนที่ติดไฟ 2 ส่วน คือ สารระเหยง่ายและคาร์บอน ในกระบวนการเผาไหม้สารระเหยง่ายมักสูญเสียไป โดยทั่วไปเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีพลังงานอยู่ในสารระเหยง่ายถึง 3 ใน 4 ส่วนของพลังงานทั้งหมด ถ้าไม่มีการเก็บสารระเหยนี้กลับมา ก็จะทำให้สูญเสียพลังงานไปในรูปของสารระเหยเหล่านี้

2.2 การย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

การย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนหรือที่เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนในที่ที่มีปริมาณอากาศจำกัด ซึ่งจะเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส การย่อยสลายด้วยความร้อนเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible Chemical Process) โดยความร้อนที่ใช้มีอุณหภูมิตั้งแต่ 150 องศาเซลเซียส ขึ้นไป และจะต้องป้อนอากาศในปริมาณที่จำกัด แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ของแข็งที่เหลือจากกระบวนการนี้ได้แก่ ถ่าน และขี้เถ้า สำหรับส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่ น้ำมัน น้ำ และน้ำมันดิน (Tar)

กระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนตามระดับอุณหภูมิในการเผาไหม้ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1) ช่วงระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 100 – 120 องศาเซลเซียส ความชื้นจะถูกดึงออกมาจากชีวมวล

2) อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาส่วนใหญ่จะเป็นแก๊ส เช่น ไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้กรดน้ำส้มและเมทานอลจะถูกกลั่นออกมา

3) ช่วงระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 280 -350 องศา ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน องค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อนจะถูกกลั่นออกมา คือ คีโตน (Ketone) แอลดีไฮด์ (Aldehydes) ฟีนอล (Phenol) และเอสเทอร์ (Esters) รวมทั้งแก๊สต่าง ๆ ด้วย ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน เป็นต้น

4) อุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียส สารระเหยง่ายจะถูกขับออกมา และคาร์บอนที่เหลือจะเป็นถ่านและเถ้า

2.3 กระบวนการแปรรูปเป็นแก๊สชีวมวล (Gasification)

กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นแก๊สชีวมวล หรือเรียกว่ากระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการสลายคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊ส โดยการเผาชีวมวลในอุปกรณ์ที่ควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า แก๊สชีวมวลหรือไพโรดิวเซอร์แก๊ส แก๊สชีวมวลที่ได้ประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีแก๊สมิเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นแก๊สชีวมวลเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อน แต่จะเกิดที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 600 องศาเซลเซียส ขึ้นไป การผลิตแก๊สชีวมวลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ปฏิกริยาเคมีที่เกิดในแต่ละชั้นของเตาเผา สารตั้งต้นในการผลิตแก๊สชีวมวล และลักษณะของเตาเผาที่ใช้ในการผลิตแก๊สชีวมวล (วรรณุช แจงสว่าง, 2553)

3. การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

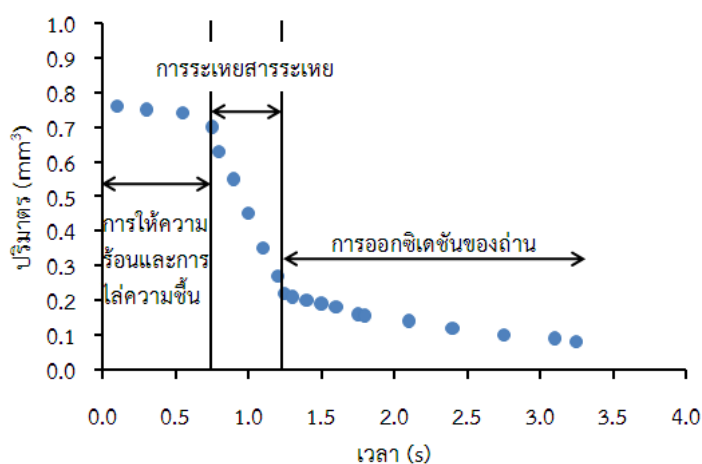
ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้คือ การให้ความร้อน การไล่ความชื้น (อบแห้ง) การระเหยสารระเหยหรือไพโรไลซิส เพื่อผลิตสารระเหยและถ่านคาร์บอน

ขั้นตอนต่าง ๆ ของการเผาไหม้สารระเหยและการเผาไหม้ถ่านคาร์บอนสามารถเขียนตามลำดับได้ดังต่อไปนี้

- 1) ชีวมวลขึ้น → การให้ความร้อน/การไล่ความชื้น → ชีวมวลแห้ง
- 2) ชีวมวลแห้ง → สารระเหย (ทาร์และแก๊ส) → ถ่านคาร์บอน
- 3) สารระเหย + อากาศ → $\text{CO} + \text{CO}_2$ (+ PAH + ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด + เขม่า + แอโรซอลอินทรีย์)
- 4) ถ่านคาร์บอน + อากาศ → $\text{CO} + \text{CO}_2$
- 5) N, S, K และสารอินทรีย์อื่น ๆ ในสารระเหย → มลพิษอากาศที่มี N, S, K เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน
- 6) N, S, K และสารอินทรีย์อื่น ๆ ในถ่านคาร์บอน → มลพิษอากาศที่มี N, S, K เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน

การอบแห้งและไพโรไลซิส/แก๊สซิฟิเคชันเป็นขั้นตอนแรกของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งเสมอ ความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่ใช้ รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก

ขั้นตอนต่าง ๆ ของการเผาไหม้ถ่านคาร์บอนเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก ซึ่งจะเห็นได้ว่าได้มีพัฒนาการที่เกิดขึ้นตามลำดับของแต่ละขั้นตอนที่ค่อนข้างชัดเจน แต่สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่จะมีการทับซ้อนกันของขั้นตอนต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการเผาไหม้ท่อนแบบหวดในการเผาไหม้ไม้



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก

ดัดแปลงจาก ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2558 ; 528

มลพิษจะเกิดควบคู่กันไปกับการเผาไหม้จากการทำปฏิกิริยาของ N, S, Cl และ K รวมทั้งธาตุอื่นที่มีอยู่ในปริมาณน้อยในสารระเหยและถ่าน นอกจากนี้ CO, PAH, เขม่า และควันไฟจะถูกปลดปล่อยออกมาด้วยหากว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีปัจจัยมาจากการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ อุณหภูมิ ระยะเวลา และอื่น ๆ ดังนั้นมลพิษในบรรยากาศจึงอาจมีแอโรซอลของทาร์และเขม่าเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อรวมกับอนุภาคถ่านคาร์บอนขนาดเล็กมากและแอโรซอลที่มีโลหะแอลคาไลเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (ได้แก่ KCl) จึงทำให้เกิดเป็นควันไฟ สารประกอบไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาบางส่วนพร้อมกับสารระเหย ในขณะที่บางส่วนซึ่งอยู่ในโครงสร้างของถ่านคาร์บอนจะถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างขั้นตอนการเผาไหม้ถ่านคาร์บอนก่อให้เกิดเป็น NO_x และสารประกอบเริ่มต้นซึ่งเป็นที่มาของ NO_x ได้แก่ HCN และ HNCO ซัลเฟอร์จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปแก๊ส SO_2 ระหว่างการเผาไหม้สารระเหยและถ่านคาร์บอน สารประกอบ KCl และ KOH และสารประกอบโลหะอื่น ๆ รวมทั้งสารประกอบซัลเฟอร์จะก่อให้เกิดเป็นสารย่อยแก๊สต่าง ๆ ซึ่งนำไปสู่การเกิดแอโรซอล (ละอองลอย) (ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2558)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 งานวิจัยภายในประเทศ

สหิตยา ทองสาร และคณะ (2558) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบที่หาง่ายในชุมชน ได้แก่ แกลบดำ ดินร่วน และทราย ทดสอบโดยใช้วิธีต้มน้ำเดือด (Water Boiling Test) ใช้เตาแก๊สชีวมวลแบบอินเวอร์สดาวนดราฟแก๊สซีไฟเออร์ ผลการศึกษาพบว่าแกลบดำมีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีที่สุดโดยมีประสิทธิภาพ 14.13% ในขณะที่ดินร่วน และทรายมีค่าประสิทธิภาพ 11.70% และ 10.59% ตามลำดับ

4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Bhattacharya and Salam (2002) ศึกษาการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์) จากการใช้เชื้อเพลิงได้แก่ น้ำมัน ไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ชานอ้อย ฟางข้าว ถ่านชาร์ และมูลสัตว์ ในประเทศเนปาล อินเดีย Philipinas ไทย แชมเปีย ผลการศึกษปรากฏดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก

เชื้อเพลิง	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก (g-CO ₂ /MJ)
เตาหุงต้มแบบพื้นบ้าน	110
น้ำมันก๊าด	350
เตาหุงต้มที่พัฒนาแล้ว	42
เตาแก๊สชีวมวล	2
เตาแก๊สชีวภาพ	5
แก๊สธรรมชาติ	166
แก๊ส LPG	196

Tryner *et al* (2014) ทำการศึกษาหลักการการทำงานของเตา TLUD พบว่าเตาชีวมวลเป็นเตาที่เกิดมลพิษจากการเผาไหม้ชีวมวลต่ำ โดยส่วนใหญ่แล้วเตาชีวมวลเป็นเตาที่ประยุกต์หลักการจุดไฟจากด้านบน และอากาศไหลขึ้น (Top-Lit Up Draft: TLUD) สำหรับการใช้เตาชีวมวลประเภท TLUD เริ่มต้นจากการป้อนเชื้อเพลิงไปในห้องเผาไหม้ แล้วทำการจุดไฟจากด้านบน ทำให้การลุกลามของเปลวไฟลงสู่ด้านล่าง อากาศปฐมภูมิที่ไหลจากด้านล่างของเตาจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงบางส่วน ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ปฐมภูมิ ชั้นของถ่านชาร์ที่ให้ความร้อนสูงซึ่งเกิดเหนือชั้นของเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำที่มาจากบริเวณการเผาไหม้ปฐมภูมิบางส่วนให้กลายเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน อากาศทุติยภูมิที่มาจากผนังด้านนอกของห้องเผาไหม้จะมาผสมกับแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ในชั้นของถ่านชาร์และเกิดการเผาไหม้แก๊สดังกล่าว โดยการเผาไหม้ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นบริเวณช่องอากาศทุติยภูมิ ซึ่งเป็นคนละส่วนกับชั้นของเชื้อเพลิงแข็ง และชั้นของถ่านชาร์ ซึ่งการเผาไหม้แบบนี้เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้ง

Grimsby *et al* (2016) ทำการศึกษาชีวมวลประเภทต่าง ๆ และเตาหุงต้มที่พัฒนาแล้วในประเทศแทนซาเนีย พบว่า มีการใช้พลังงานทางเลือกจาก แก๊สชีวภาพ ถ่าน ชี้อ้อย ไม้ เชื้อเพลิง และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานหลักสำคัญในครัวเรือน ดังนั้นประเทศแทนซาเนียจึงให้ความสำคัญในการพัฒนาเตาหุงต้มพื้นบ้านเป็นเตาหุงต้มที่พัฒนา โดยให้ความสำคัญในการพัฒนาเตาชีวมวลเพื่อใช้ไม้เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยหวังว่าจะนำเตาชีวมวลที่พัฒนาแล้วมาใช้ประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่หลากหลายให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ใน

ครัวเรือน โดยคำนึงถึงการลดปัญหามลพิษทางอากาศและใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย จึงมีแนวทางการจัดการผลิตเตาชีวมวลในครัวเรือน เป็นโครงการพัฒนาเตาชีวมวลเพื่อใช้ในครัวเรือนมุ่งหวังผลสำเร็จและความคุ้มค่าของผลลัพธ์ (Outcome) สำคัญคือ เป็นเตาชีวมวลที่มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูง มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในครัวเรือนต่ำ และมีการสนับสนุนและขยายผลการการใช้เตาชีวมวลในชุมชน การพัฒนาเตาชีวมวลในระยะยาวจะใช้เทคนิคการทดสอบประสิทธิภาพเตาชีวมวลในครัวเรือนโดยใช้วิธี Kitchen Performance Test (KPT) ซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ และวิธีการทดสอบประสิทธิภาพเตาชีวมวลที่รวดเร็วด้วยวิธี Water Boiling Test (WBT) แนวทางการพัฒนาเตาชีวมวลจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพเตาชีวมวลโดยการออกแบบและพัฒนาเตาชีวมวลเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานชีวมวลให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในการใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์และเหมาะสมกับแหล่งพลังงานชีวมวลในท้องถิ่นเป็นสำคัญ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาระบบห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่เหมาะกับการแพทย์แผนไทยสำหรับการนึ่งลูกประคบ ใช้งานสะดวก ประหยัดพลังงาน และมีสมรรถนะที่สูงขึ้น
2. การบูรณาการเตาชีวมวลชนิด TLUD สู่การใช้ประโยชน์กับการแพทย์แผนไทยสำหรับการนึ่งลูกประคบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ชุดเตา TLUD ต้นแบบ ที่สามารถบูรณาการกับการแพทย์แผนไทยได้ กรณีการนึ่งลูกประคบ
- เผยแพร่วิชาการในการประชุมวิชาการระดับชาติ
- การนำไปใช้ประโยชน์ในด้าน เศรษฐกิจ/พาณิชย์/อุตสาหกรรม

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ประกอบเตา

ประกอบเตาชีวมวลชนิด TLUD สำหรับการนึ่งลูกประคบ และพัฒนาระบบห้องเผาไหม้ให้เหมาะกับกิจกรรมการนึ่งลูกประคบ ใช้งานสะดวก ประหยัดพลังงาน และมีสมรรถนะที่สูงขึ้น โดยเตาที่ทำการพัฒนาขึ้นมานี้เป็นเตาที่ทำจากแผ่นเหล็กเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และห้องเผาไหม้ที่พัฒนานี้สามารถปรับระดับความลึกขณะใช้งานตามการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้

2.2 ทดสอบสมรรถนะเตา

ทำการทดสอบสมรรถนะเตา โดยใช้เชื้อเพลิงผงบดอัดผสมกับชีวมวลในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ถ่าน และเชื้อชีวมวลที่อบไล่ความชื้นเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลอันเนื่องมาจากความชื้นของเชื้อเพลิง และทำการทดสอบสมรรถนะเตาโดยใช้วิธีต้มน้ำเดือด (Water Boiling Test : WBT) เพื่อทดสอบค่าสมรรถนะเตาดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency; η) (Berrueta *et al.*, 2008) เป็นการคำนวณค่าร้อยละของพลังงานที่เตาชีวมวลสามารถนำมาใช้ได้ โดยคำนวณได้จาก

$$\eta = \left[\frac{4.186m_w(T_f - T_i) + 2260m_v}{f_d \times LHV} \right] \times 100 \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน มีหน่วยเป็น ร้อยละ (%) m_w คือ มวลของน้ำ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) T_i คือ อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) T_f คือ อุณหภูมิสูงสุดของน้ำ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) m_v คือ มวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) f_d คือ มวลของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) LHV คือ พลังงานทางต่ำของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม (kJ/kg)

2. อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) (สมมาส แก้วล้วน และคณะ, 2556) เป็นการคำนวณค่าพลังงานของชีวมวลในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม โดยคำนวณได้จาก

$$SEC = \frac{E_v}{m_v} \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดย SEC คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ มีหน่วยเป็น เมกะจูล/กิโลกรัม (MJ/kg) E_v คือ พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ มีหน่วยเป็น เมกะจูล (MJ)

3. ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ (Specific Cost Consumption; SCC) (สมมาส แก้วล้วน และคณะ, 2556) เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่ใช้ระเหยไอน้ำมวล 1 กิโลกรัม โดยคำนวณได้จาก

$$SCC = \frac{C}{m_v} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

โดย SCC คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ มีหน่วยเป็น Baht/kg C คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน มีหน่วยเป็น Baht

4. อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate; BR) (Oyelaran *et al.*, 2015) เป็นการวัดอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเทียบกับเวลา คำนวณโดย

$$R_b = \frac{f_d}{\Delta t_m} \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

โดย R_b คือ อัตราการเผาไหม้ มีหน่วยเป็น กรัม/นาที (g/min) Δt_m คือ ช่วงเวลาของการเผาไหม้ในหน่วยนาที่ มีหน่วยเป็น นาที่ (min)

5. กำลังไฟ (Firepower; P) (Huangfu *et al.*, 2014) เป็นอัตราการใช้พลังงานต่อเวลา คำนวณโดย

$$P = \frac{E}{\Delta t_s} \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

โดย P คือ กำลังไฟของเตาชีวมวล มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW) E คือ พลังงานที่ใช้ มีหน่วยเป็น กิโลจูล (kJ) Δt_s คือ ช่วงเวลาของการเผาไหม้ในหน่วยวินาที มีหน่วยเป็น วินาที (s)

6. เวลาในการเดือดของน้ำ (Boiling Time; BT) เป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำปริมาตร 5 ลิตร เดือด มีหน่วยเป็น นาที่ (min)

7. อัตราการผลิตไอน้ำ เป็นการคำนวณอัตราการผลิตไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลาของเตาชีวมวล มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/h)

2.3 การทดสอบใช้งานจริง

1. ทดลองใช้งานจริงสำหรับการแพทย์แผนไทยในการนึ่งลูกประคบ ที่โรงพยาบาลบางกล้า อำเภอบางกล้า จังหวัดสงขลา
2. แก้ไข ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้ประโยชน์
3. สอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์หลังจากแก้ไขเตาแล้ว

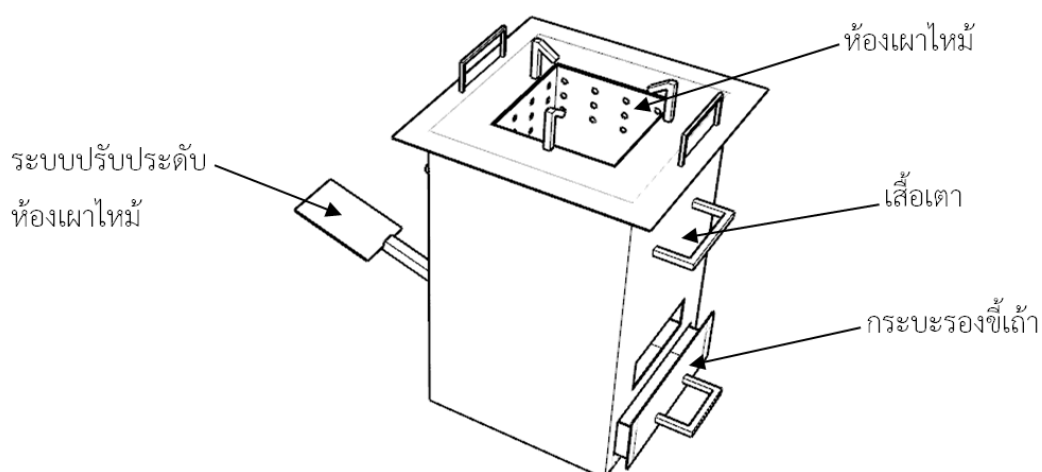
บทที่ 3

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการดำเนินงานวิจัยได้แบ่งเป็น 3 ตอนตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การพัฒนาระบบห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD

ในการพัฒนาเตาชีวมวลชนิด TLUD ได้ดำเนินการดังรูปที่ 3.1



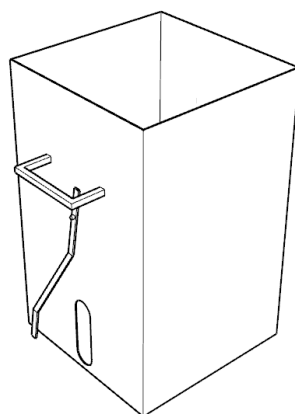
รูปที่ 3.1 โมเดลเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ทำการพัฒนา



รูปที่ 3.2 เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้

3.1.1 เสื้อเตา

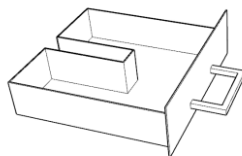
เสื้อเตาทำหน้าที่พองโครงสร้างเตา โดยเสื้อเตาอยู่ในตำแหน่งนอกสุดของเตาชีวมวลชนิด TLUD เสื้อเตาทำจากแผ่นโลหะประกอบเป็นถังสี่เหลี่ยมกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร โดยที่ส่วนล่างสุดของเสื้อเตาทำเป็นช่องสำหรับใส่กระบะรองขี้เถ้า โดยที่ช่องดังกล่าวกว้าง 26 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร และมีช่องสำหรับอากาศป้อนลมผ่านเพื่อนำไปใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่ในห้องเผาไหม้ ซึ่งช่องดังกล่าวนี้มีขนาด กว้าง 17 เซนติเมตร สูง 5.5 เซนติเมตร โดยตำแหน่งที่เจาะช่องนี้จะสูงกว่าช่องสำหรับใส่กระบะรองขี้เถ้า 4.5 เซนติเมตร ในส่วนด้านข้างของเสื้อเตาจะมีหูจับสองข้างสำหรับการเคลื่อนย้าย สำหรับด้านตรงข้ามของช่องใส่กระบะรองขี้เถ้ามีช่องสำหรับก้านเหยียบของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ที่โผล่ออกมาข้างนอกเสื้อเตาและที่ผนังด้านนอกเสื้อเตามีอุปกรณ์สำหรับหมุนล็อกก้านเหยียบของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.3 เสื้อเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้

3.1.2 กระบะรองขี้เถ้า

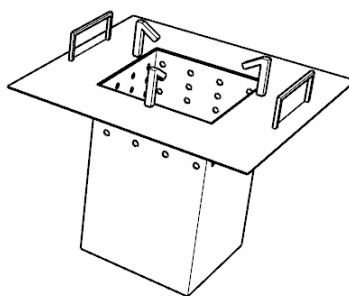
กระบะรองขี้เถ้าทำหน้าที่รองรับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลภายในห้องเผาไหม้ ทำจากแผ่นโลหะประกอบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเปิดด้านบนขนาด กว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 27.5 เซนติเมตร สูง 6.5 เซนติเมตร ด้านหน้าสุดใช้แผ่นโลหะกว้าง 29 เซนติเมตร สูง 9.5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันกระบะรองขี้เถ้าหลุดเข้าไปในเสื้อเตาทั้งหมดเมื่อมีการใช้งาน ในส่วนด้านหน้าสุดของกระบะรองขี้เถ้าจะมีหูจับสำหรับการเคลื่อนย้าย ส่วนด้านในของกระบะรองขี้เถ้าทำเป็นรูปตัวยูเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้กระบะรองขี้เถ้าชนกับแกนของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ที่อยู่ภายในเสื้อเตา



รูปที่ 3.4 กระบะรองซีเมนต์เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้

3.1.3 ห้องเผาไหม้

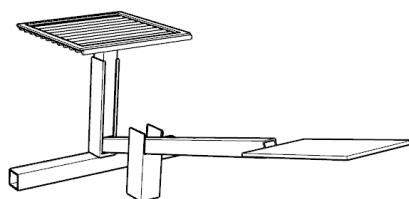
ห้องเผาไหม้ทำหน้าที่ควบคุมการเผาไหม้รองรับเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการใช้ในการเผาไหม้ และแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ และทำให้การส่งผ่านความร้อนจากด้านล่างห้องเผาไหม้ไปยังบริเวณปากเตา โดยห้องเผาไหม้ถูกวางในตำแหน่งกึ่งกลางของเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้ ห้องเผาไหม้ทำจากแผ่นโลหะประกอบเป็นทรงปริซึมที่ไม่มีฝาปิดทั้งสองด้านโดยมีขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร ยาว 19 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ด้านบนของห้องเผาไหม้เจาะเป็นช่องกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวนสามแถวในแนวนอน โดยที่แต่ละแถวมีช่องจำนวนสิบหกช่อง แต่ละแถวจะห่างกันเป็นระยะ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งช่องดังกล่าวนี้เป็นช่องสำหรับช่วยในการเผาไหม้ครั้งที่สอง ในส่วนด้านบนสุดของห้องเผาไหม้ถูกเชื่อมด้วยแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร มีหูจับสองข้างสำหรับเคลื่อนย้าย และมีที่รองรับภาชนะทำจากเหล็ก สูง 6 เซนติเมตร โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 3 ชั้น



รูปที่ 3.5 ห้องเผาไหม้เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้

3.1.4 ระบบปรับระดับห้องเผาไหม้

ระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ทำหน้าที่ปรับระดับความลึกของห้องเผาไหม้ โดยที่ด้านบนสุดของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้เป็นตะแกรงที่ทำด้วยเหล็กเส้น โดยแต่ละเส้นขนานกันเพื่อรองรับเชื้อเพลิง และทำให้ระบายก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ส่วนด้านล่างของตะแกรงถูกต่อด้วยแกนของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ โดยแกนดังกล่าวนี้ทำหน้าที่ดันตะแกรงให้อยู่ในตำแหน่งที่สูงขึ้นเมื่อทำการเหยียบเพื่อปรับระดับ และแกนที่กล่าวมานี้จะอยู่ในรางเหล็กรูปตัวซีเพื่อควบคุมไม่ให้แกนดังกล่าวเกิดการโยกเมื่อทำการเหยียบเพื่อปรับระดับห้องเผาไหม้ ด้านล่างของแกนจะต่อกับก้านเหยียบของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ซึ่งทำจากเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมยาว 35 เซนติเมตร โดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งของก้านเหยียบต่อกับแผ่นเหล็กกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับเหยียบเพื่อเปลี่ยนระดับห้องเผาไหม้และมีเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมสูง 10 เซนติเมตร เสาร่องลึก 3 เซนติเมตร เพื่อค้ำก้านเหยียบและสร้างจุดหมุนให้กับก้านเหยียบ



รูปที่ 3.6 ระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ของเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ได้

เตาชีวมวลที่พัฒนาเป็น เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้ โดยที่สามารถใช้เท้าเหยียบเพื่อเลื่อนระดับตะแกรง ทำให้ระดับห้องเผาไหม้ตื้นขึ้น และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการติดขัดของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ซึ่งเกิดจากความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลภายในห้องเผาไหม้

3.2 สมรรถนะเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิด TLUD

ในการทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิด TLUD เชื้อเพลิงชีวมวล (กิ่งยางพารา) ที่อบไล่ความชื้นเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลอันเนื่องมาจากความชื้นของเชื้อเพลิง และทำการทดสอบสมรรถนะเตาโดยใช้วิธีต้มน้ำเดือด (Water Boiling Test : WBT) โดยผลการทดสอบปรากฏดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD

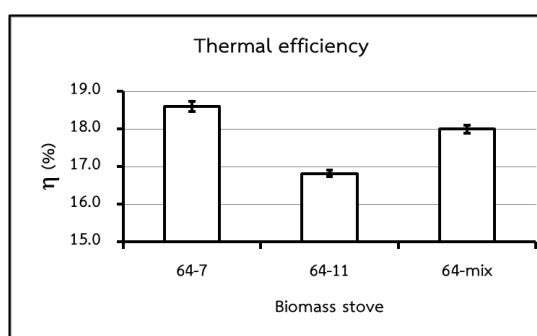
	η	SEC	SCC	BR	P	BT	vapor
64-7	18.6 ^a	15.70 ^b	0.812 ^b	35.68 ^c	9.20 ^c	15.2 ^a	2.10 ^c
64-11	16.82 ^c	17.23 ^a	0.891 ^a	45.88 ^b	11.83 ^b	8.40 ^b	2.48 ^b
64-mix	18.00 ^b	15.49 ^c	0.801 ^c	50.05 ^a	12.91 ^a	6.83 ^b	2.99 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

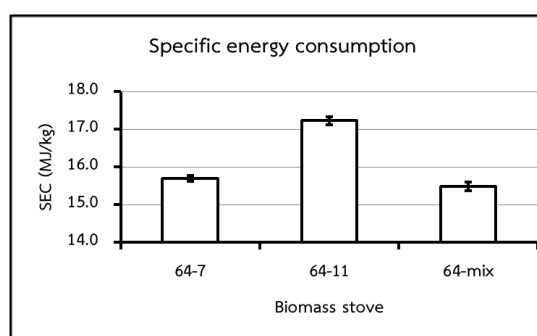
64-7 หมายถึง เตาชีวมวลชนิด TLUD ตรึงระดับห้องเผาไหม้ลึก 7 นิ้ว

64-11 หมายถึง เตาชีวมวลชนิด TLUD ตรึงระดับห้องเผาไหม้ลึก 11 นิ้ว

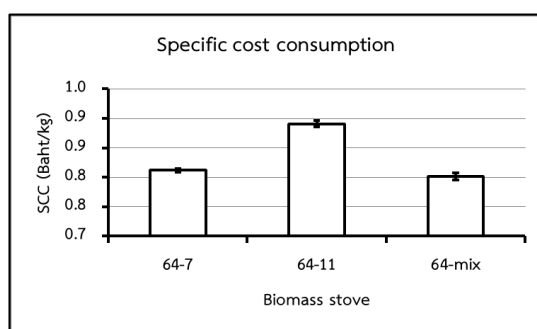
64-mix หมายถึง เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ขณะใช้งาน 7-11 นิ้ว



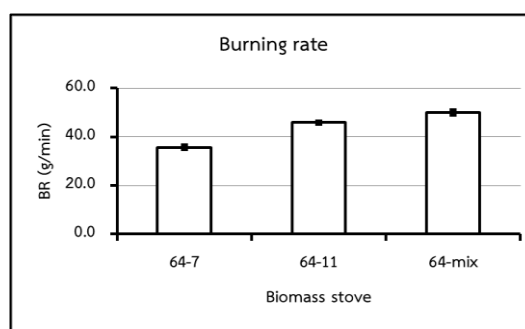
(ก)



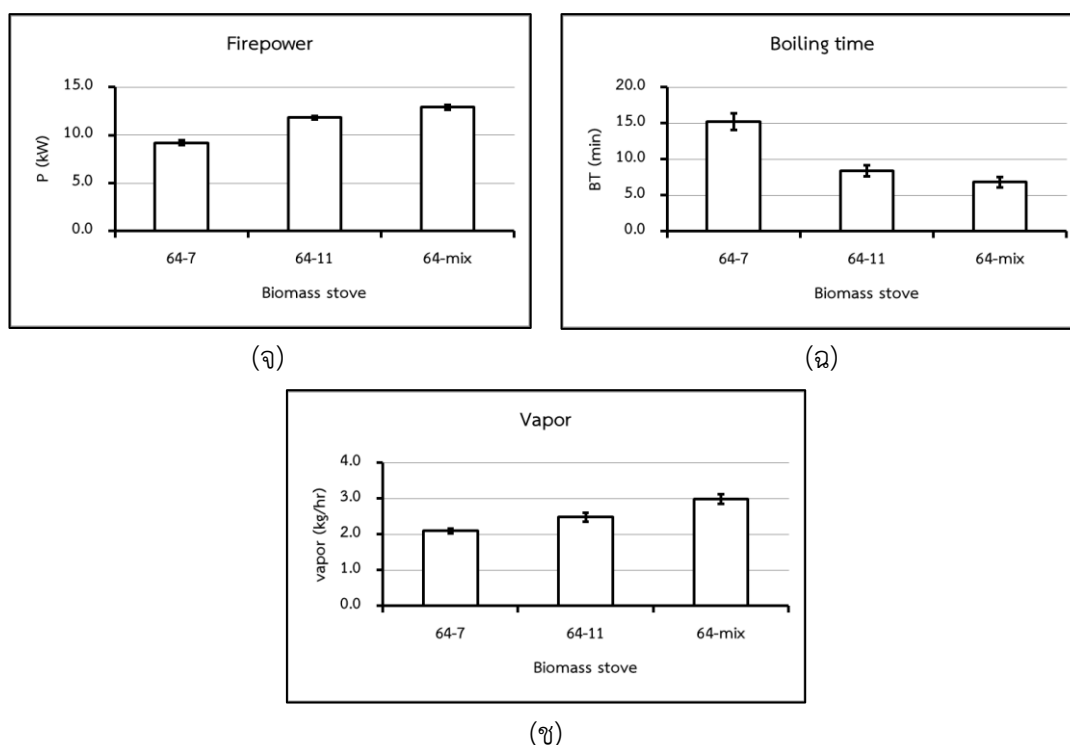
(ข)



(ค)



(ง)



รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD

(ก) Thermal efficiency (ข) Specific energy consumption (ค) Specific cost consumption

(ง) Burning rate (จ) Firepower (ฉ) Boiling time (ช) Vapor

64-7 หมายถึง เตาชีวมวลชนิด TLUD ตรึงระดับห้องเผาไหม้ลึก 7 นิ้ว

64-11 หมายถึง เตาชีวมวลชนิด TLUD ตรึงระดับห้องเผาไหม้ลึก 11 นิ้ว

64-mix หมายถึง เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ปรับระดับห้องเผาไหม้ขณะใช้งาน 7-11 นิ้ว

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 3.1 และ รูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นการแสดงค่าสมรรถนะเตาชีวมวลชีวมวลชนิด TLUD ทั้ง 3 ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ ได้แก่ 7 นิ้ว 11 นิ้ว และใช้ร่วมกัน 7 และ 11 นิ้ว โดยเป็นเป็นเงื่อนไขเมื่อระดับการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ลดลงจึงปรับระดับให้ใช้ห้องเผาไหม้ลึก 7 นิ้ว ผลปรากฏดังนี้

- ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency; η) พบว่าการใช้ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่ง ระดับความลึก 7 นิ้ว มีค่ามากที่สุด ถัดมาได้แก่การใช้แบบผสมผสาน ในขณะที่ระดับความลึก 11 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด

- อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) พบว่า การใช้ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่ง การใช้แบบผสมผสานมีค่า SEC ต่ำสุด ถัดมาได้แก่ ความลึก 7 นิ้ว และ 11 นิ้ว ตามลำดับ

- ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ (Specific Cost Consumption; SCC) พบว่า การใช้ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่ง การใช้แบบผสมผสานมีค่า SCC ต่ำสุด ถัดมาได้แก่ ความลึก 7 นิ้ว และ 11 นิ้ว ตามลำดับ

- อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate; BR) พบว่า การใช้ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่ง การใช้แบบผสมผสานมีค่า BR ต่ำสุด ถัดมาได้แก่ ความลึก 11 นิ้ว และ 7 นิ้ว ตามลำดับ

- กำลังไฟ (Firepower; P) พบว่ามีลักษณะที่เป็นไปในทางเดียวกันกับอัตราการเผาไหม้ คือ การใช้ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่ง การใช้แบบผสมผสานมีค่า BR ต่ำสุด ถัดมาได้แก่ ความลึก 11 นิ้ว และ 7 นิ้ว ตามลำดับ

- เวลาในการเดือดของน้ำ (Boiling Time; BT) พบว่า การใช้ห้องเผาไหม้ระดับความลึก 11 นิ้ว และแบบผสมผสานมีค่าไม่แตกต่างกันและมีค่าต่ำสุด โดยค่าทั้งสองต่ำกว่าการใช้ระดับความลึก 7 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

- อัตราการผลิตไอน้ำ (Vapor) พบว่า การใช้ระดับความลึกของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 แบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่ง การใช้แบบผสมผสานมีค่า BR ต่ำสุด ถัดมาได้แก่ ความลึก 11 นิ้ว และ 7 นิ้ว ตามลำดับ

จากการนำมาทดสอบการใช้งานเบื้องต้นพบว่าเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ทำการประกอบและพัฒนาขึ้นมานี้มีจุดเด่นในเรื่องของกำลังไฟ อัตราการผลิตไอน้ำที่สูง และสามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ แต่ข้อเสียคือ มีกำลังไฟ 9.20-12.91 kW ซึ่งเป็นกำลังไฟที่ค่อนข้างสูงเกินไปสำหรับการนำไปใช้ในการนึ่งลูกประคบ จะทำให้ภาชนะที่ใช้ในการนึ่งลูกประคบเกิดการเสียหาย (รูปที่ 3.8) นอกจากนี้เตาชีวมวลชนิด TLUD เป็นเตาที่ต้องเติมเชื้อเพลิงค่อนข้างถี่เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้มีความยาวสูงสุดเป็น 6 นิ้ว ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็วซึ่งอยู่ในอัตราการเผาไหม้ 35.68-50.05 g/min และมีควันเล็กน้อยในช่วงขณะการใช้งาน ทำให้ไม่เหมาะกับบริบทการทำงานของกลุ่มงานแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก โรงพยาบาลบางกล้า อำเภอบางกล้า

จังหวัดสงขลา ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวนี้จะต้องใช้ลูกประคบเพื่อรักษาผู้ป่วยในห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ

สำหรับเตาที่เหมาะสมสำหรับการนึ่งลูกประคบที่หน่วยงานกลุ่มงานแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก โรงพยาบาลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา ซึ่งต้องทำงานภายในห้องปรับอากาศนั้นจะต้องไม่เกิดควันขณะใช้งาน และควรจะมีการเตือนระดับน้ำภายในหม้อนึ่ง เนื่องจากถ้าน้ำแห้งจะทำให้อุปกรณ์เสียหายและไม่สามารถทำงานได้ และถ้าระดับน้ำในหม้อนึ่งลดลงมากเกินไปจะเกิดการเผาไหม้เศษตะกอนจากลูกประคบที่ตกลงสู่ข้างล่างทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้

สำหรับเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ที่ขณะใช้งานได้นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานในที่ปิดโล่ง อากาศถ่ายเทได้สะดวก เหมาะสำหรับงานต้ม นึ่ง การผลิตไอน้ำในปริมาณมากเนื่องจากเตาดังกล่าวมีอัตราการผลิตไอน้ำเท่ากับ 2.10-2.99 kg/hr โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำขนมพื้นบ้านที่เป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน เช่น ข้าวต้มมัด ขนมซัง ขนมต้ม เป็นต้น



รูปที่ 3.8 ทดสอบการใช้งานเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้

3.3 หม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ

เนื่องด้วยเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ทำการพัฒนาขึ้นมาไม่เหมาะกับบริบทของหน่วยงานแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล่ำ จังหวัดสงขลา ทำให้คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นมาเพื่อให้หน่วยงานแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล่ำ จังหวัดสงขลา ได้ใช้ประโยชน์ต่อไป

วัสดุและอุปกรณ์

สำหรับหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ เป็นนวัตกรรมที่คิดค้นและพัฒนาเพื่อที่จะสร้างสรรค์เทคโนโลยีที่สามารถใช้งานได้จริง ต้นทุนต่ำ ง่ายต่อการบำรุงรักษา และสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย โดยวัสดุและอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.9)

- กระทะไฟฟ้า มีซึ่งสำหรับไอน้ำและอุ่นอาหารได้ ล้างทำความสะอาดง่าย ความจุ 3 ลิตร กำลังไฟ 1,300 W 220V 50Hz
- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำ DS18B20 (Full Waterproof Temperature Sensor)
- สวิตช์ลากลอยขนาด 52mm (Water level sensor 52mm)
- Node MCU ESP32
- จอ LCD 1602 (16x2) แบบ I2C
- ลำโพง Buzzer
- หลอด LED
- ตัวต้านทาน
- สายไฟ
- ก่อ่งกันน้ำ



(ก)



(ข)



(ค)



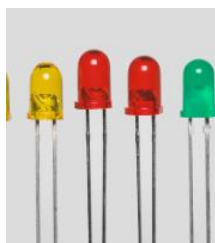
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)



(ณ)



(ญ)

รูปที่ 3.9 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบหม้อน้ำลูกระคบ

(ก) กระดาษไฟฟ้า (ข) DS18B20 (ค) Water Level Sensor (ง) Node MCU ESP32

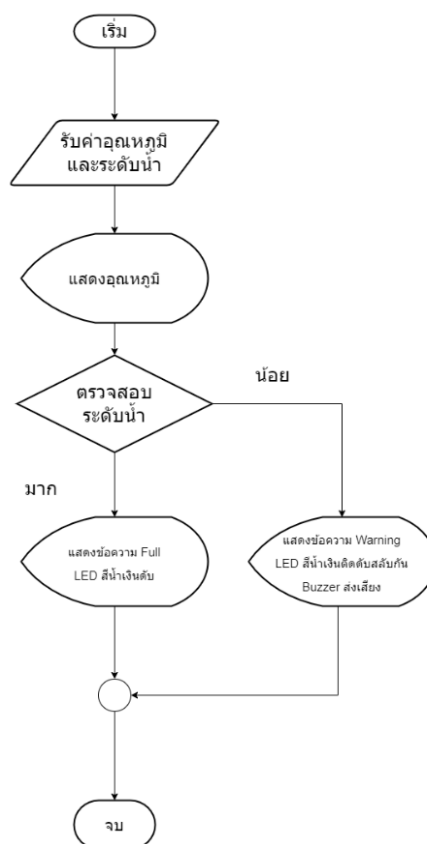
(จ) LCD I2C (ฉ) Buzzer (ช) LED (ซ) Resistor

(ณ) สายไฟ (ญ) กล่องกันน้ำ

Flowchart ของหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ

ลำดับการทำงานของหม้อนึ่งอัจฉริยะแสดงดังรูปที่ 3.10 โดยมีลำดับการทำงานดังนี้

1. เมื่อเปิดสวิทช์ให้ระบบทำงาน อุปกรณ์ input ได้แก่ DS18B20 และ Water Level Sensor จะเริ่มทำงานและส่งข้อมูลไปยัง Node MCU ESP32
2. เมื่อ Node MCU EPSP32 ได้รับข้อมูลแล้วจะส่งข้อมูลอุณหภูมิและระดับน้ำไปยังจอ LCD
3. ในกรณีที่ระดับน้ำยังอยู่ในระดับที่เท่ากันและสูงกว่าจุดรับสัญญาณของเซ็นเซอร์ LCD จะแสดงข้อความ “Full”
4. ในกรณีที่ระดับน้ำต่ำกว่าเซ็นเซอร์ LCD จะแสดงข้อความ “Warning” และ Buzzer จะส่งเสียงเตือน
5. เมื่อเติมน้ำลงไปหม้อนึ่งจนถึงระดับของเซ็นเซอร์แล้ว LCD จะแสดงข้อความ “Full”

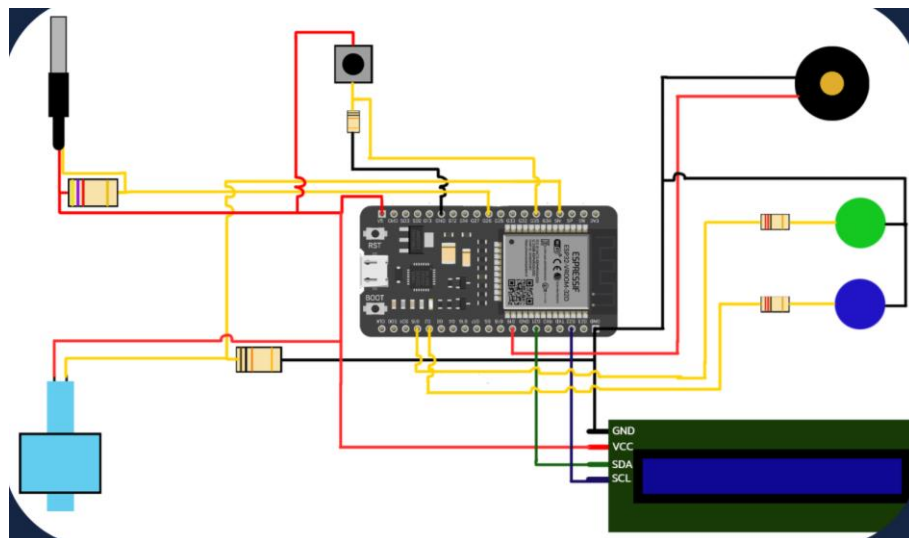


รูปที่ 3.10 Flowchart หม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะ

โครงสร้างหม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะ

โครงสร้างหม้อน้ำลูกประคบอัจฉริยะประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ input ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ทำหน้าที่ตรวจสอบอุณหภูมิที่อยู่ในชั้นวางลูกประคบซึ่งอยู่ด้านบนของหม้อน้ำ และ สวิตช์ลูกลอยขนาด 52mm (Water level sensor 52mm) ทำหน้าที่ตรวจสอบสอระดับน้ำที่ก้นของหม้อน้ำ
2. อุปกรณ์ประมวลผล Node MCU EPSP32 ทำหน้าที่รับสัญญาณ input จากนั้นประมวลผลแล้วส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ output
3. อุปกรณ์ output ประกอบด้วย จอ LCD 1602 (16x2) แบบ I2C ทำหน้าที่แสดงผลอุณหภูมิและระดับน้ำภายในหม้อน้ำ หลอด LED และ ลำโพง buzzer ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าสวิตช์ลูกลอย



รูปที่ 3.11 รูปแบบโครงสร้างวงจรหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ

ลักษณะหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ

หม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะทำจากกระทะไฟฟ้าโดยทำการเพิ่มเติมระบบ input output และระบบ processing เข้าไปเพื่อทำการปรับปรุงให้สามารถใช้ในการตรวจสอบและแจ้งเตือนระดับน้ำ รวมถึงการการแจ้งอุณหภูมิชั้นของหม้อนึ่ง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.12 ลักษณะหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ

(ก) ลักษณะภายนอกหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ (ข) ชั้นวางลูกประคบ

(ค) การวางตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดระดับน้ำในหม้อนึ่ง

การส่งมอบหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะ

ทำการส่งมอบหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะให้แก่ กลุ่มงานแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก โรงพยาบาลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา และมีการทดลองใช้งานโดยเทียบกับหม้อนึ่งแบบเก่าที่กลุ่มงานแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือกเคยใช้มาก่อน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 ส่งมอบหม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะให้แก่กลุ่มงานแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก
โรงพยาบาลบางกล่ำ อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การบูรณาการเตาชีวมวลชนิด TLUD สู่การแพทย์แผนไทย กรณีศึกษา การนึ่งลูกประคบ โรงพยาบาลบางกล่ำ จังหวัดสงขลา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ทำการพัฒนาขึ้นมานี้เป็น เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้ โดยที่สามารถใช้เท้าเหยียบเพื่อเลื่อนระดับตะแกรง ทำให้ระดับห้องเผาไหม้ตื้นขึ้น และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการติดขัดของระบบปรับระดับห้องเผาไหม้ซึ่งเกิดจากความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลภายในห้องเผาไหม้

2. เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้ มีจุดเด่นในเรื่องของกำลังไฟ อัตราการผลิตไอน้ำที่สูง และ สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ แต่ข้อเสียคือ มีกำลังไฟที่สูงเกินไป อาจทำให้ภาชนะเกิดการเสียหายในบางส่วน ต้องเติมเชื้อเพลิงค่อนข้างถี่ และมีควันเล็กน้อยในช่วง ทำให้ไม่เหมาะสมกับบริบทการทำงานของหน่วยงานแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

3. หม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะที่ทำการพัฒนาขึ้นมามีจุดเด่นในเรื่องการช่วยเตือนระดับน้ำในหม้อนึ่งเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าที่ตั้งเอาไว้ ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงที่เกิดจากน้ำในหม้อนึ่งแห้งอาจทำให้อุปกรณ์เสียหายหรือเกิดสภาวะไฟฟ้าลัดวงจรได้ รวมถึงเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้ประโยชน์ที่ไม่ต้องยกชั้นวางลูกประคบบ่อย ๆ เพื่อตรวจสอบระดับน้ำ

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

- เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้เหมาะสำหรับงานที่ต้องผลิตไอน้ำในปริมาณมาก และอยู่ในสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทและโล่ง

- หม้อนึ่งลูกประคบอัจฉริยะเหมาะสำหรับการใช้งานในที่ปิดหรือสภาวะอื่น ๆ และสะดวกต่อการใช้งานสำหรับนึ่งลูกประคบเนื่องจากมีระบบเตือนระดับน้ำ

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งถัดไป

- ควรพัฒนาเตาชีวมวลชนิด TLUD ให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้สะดวกขึ้น ไม่ต้องเติมถี่เกินไป
- ควรปรับระบบตรวจสอบน้ำให้ใช้งานในด้านอื่น ๆ เช่น การนึ่งขนม ระบบผลิตไอน้ำขอโรงเพาะเห็ด ระบบผลิตไอน้ำของการอบสมุนไพร เป็นต้น

บรรณานุกรม

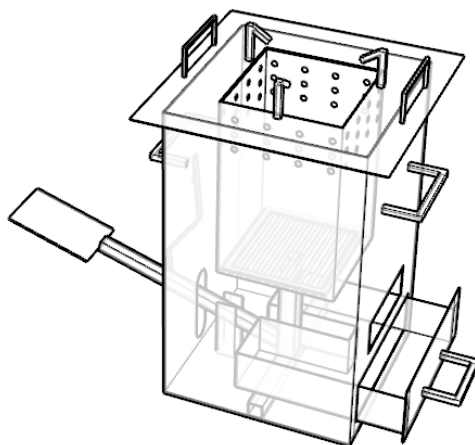
- จรีรัตน์ สกฤรัตน์, พินิจ ดวงจินดา และ วัสนา คงนคร. (2558). รูปแบบระบบการจัดการมูลฝอยชุมชนที่ยั่งยืนสำหรับองค์กรปกครองท้องถิ่นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตอนล่าง (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ฐานิตย์ เมธิยานนท์. (2558). *ทฤษฎีและเทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งและชีวมวล* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: เจริญดีมั่นคงการพิมพ์.
- นคร ทิพยาวงศ์. (2553). *เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ส.ส.ท..
- วรรณุช แจงสว่าง. (2553). *พลังงานหมุนเวียน* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมมาส แก้วล้วน, ดำรงค์ดี จันโทสี, สุรัชย์ จันทรศรี และ เวคิน ปิยรัตน์. 2556. การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20 kW. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ* 8 (1): 24 -33.
- สหทัยา ทองสาร, บงกช ประสิทธิ์, วิกานต์ วันสูงเนิน และ ชัยญานุช แรงเขตกรรม. (2558). เปรียบเทียบการใช้นวนก้นความร้อนสำหรับเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบที่หาง่ายในชุมชน. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 23, 66 – 78.
- Berrueta, V. M., Edwards R. D. and Masera, O. R. 2008. Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy* 33 (5): 859 – 870.
- Bhattacharya, S. C. and Salam, P. A. (2002). Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. *Biomass and Energy*, 22, 305 – 317.
- Grimsby, L. K., Rajabu, H. M. and Treiber, M. U. (2016). Multiple biomass fuels and improved cook stoves from Tanzania assessed with the Water Boiling Test. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 63 73.
- Huangfu, Y., Li, H., Chen, X., Xue, C., Chen, C. and Liu, G. 2014. Effect of moisture content in fuel on thermal performance and emission of biomass semi-gasified cookstove. *Energy for Sustainable Development* 21: 60 – 65.

- Oyelaran, O. A., Bolaji, B. O., Waheed, M. A. and Adekunle. 2015). Performance Evaluation of the Effect of Binder on Groundnut Shell Briquette. **KMUTNB Int J Appl Sci Technol** 8 (1): 11 – 19.
- Rasoulkhani, M., Ebrahimi-Nik, M, Abbaspour-Fard, M.H. and Rohani, A. 2018. Comparative evaluation of the performance of an improved biomass cook stove and traditional stoves of Iran. **Sustainable Environment Research** 28: 438 – 443.
- Tryner, J., Willson, B. D. and Marchese, A. J. (2014). The effects of fuel type and stove design on emissions and efficiency of natural-draft semi-gasifier biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development*, 23, 99 – 109.

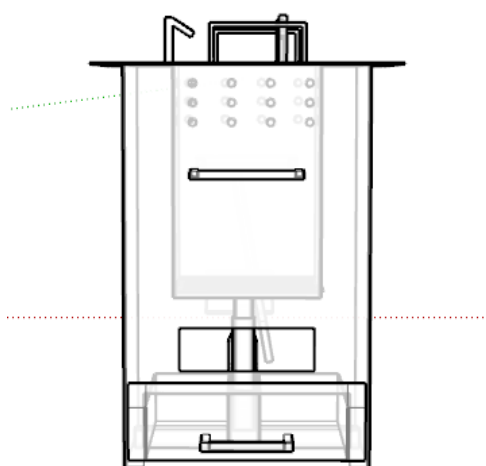
ภาคผนวก ก

แบบเตาชีวมวลชนิด TLUD สามารถปรับระดับห้องเผาไหม้ได้

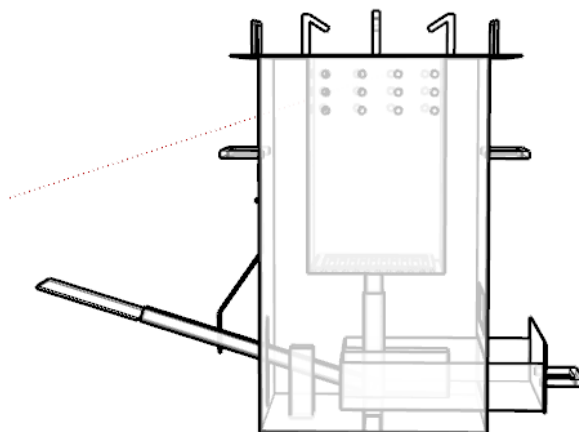
มุมมอง 3 มิติ



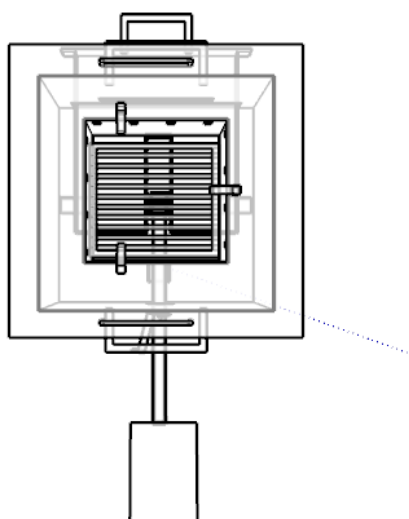
มุมมองด้านหน้า



มุมมองด้านข้าง



มุมมองด้านบน



ภาคผนวก ข

เกียรติบัตรประกวดนวัตกรรม

เกียรติบัตรเหรียญทองแดงการประกวด “สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และผลงานสร้างสรรค์” ด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี รูปแบบออนไลน์ผ่าน Zoom Cloud Meetings ในการประชุมวิชาการ ระดับชาติด้านศิลปศาสตร์ ครั้งที่ 7 "ศาสตร์บูรณาการงานวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน" ระหว่างวันที่ 4-5 สิงหาคม 2565





LANC 7th Liberal Arts National Conference
Integrated Disciplines and Research for Sustainable Development
4-5 August 2022

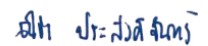
คณะศิลปศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ขอมอบเกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

บัญญัติ นันทโยธาวุฒิ, ผศ.พลชัย ขาวนวล, ผศ.จิรภัทร ภู่วัฒนทอง

รางวัล เหรียญทองแดง

การประกวด “สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และผลงานสร้างสรรค์”
ด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยี
รูปแบบออนไลน์ผ่าน Zoom Cloud Meetings
ระหว่างวันที่ 4-5 สิงหาคม 2565


 (ผศ.นิชา ประสงค์จันทร์)
 รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย


 (ดร.นุชสี กิตยัมมณฑา)
 คณบดีคณะศิลปศาสตร์

ภาคผนวก ค
เครื่องมือที่ใช้ทำวิจัย

เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เทอร์โมมิเตอร์ Fluke 54-2B และ probe Fluke 80pk-22



ตู้อบลมร้อน BINDER



เครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ CST รุ่น DRC-15

