

## การสูญเสียความร้อนของเตาเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว

### Heat Loss of Coconut Sugar Simmering Stove

ศุภชัย วาสนานนท์ (Supachai Wasananon)<sup>1</sup>\* ดร.ดลฤดี วาสนานนท์ (Dr.Dolruedee Wasananon)\*\*

(Received: September 4, 2019; Revised: May 19, 2020; Accepted: June 15, 2020)

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการสูญเสียความร้อนของเตาเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียของอุปกรณ์ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสีย มีค่าสูงสุด เท่ากับ 308,371.43 KJ คิดเป็น 34.54±1.51 % รองลงมา คือ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เท่ากับ 162,944.49 KJ คิดเป็น 18.25±6.94 % ค่าความร้อนสูญเสียที่ตรวจวัดไม่ได้ เท่ากับ 138,785.45 KJ คิดเป็น 15.54±5.65 % ค่าความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา เท่ากับ 59,449.05 KJ คิดเป็น 6.66±0.81 % ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการสันดาปของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง เท่ากับ 30,389.771 KJ คิดเป็น 3.40±0.05 % และค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 3,827.176 KJ คิดเป็น 0.43±0.01 % ดังนั้นควรมีการนำผลการศึกษานี้ มาใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพัฒนาเตาเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

#### ABSTRACT

This study aimed to study the heat loss of coconut sugar simmering stove by use the principle of heat loss analysis for equipment. Findings were as follows: Heat loss from flue gas was the highest value as 308,371.43 KJ (34.54±1.51 %), followed by incomplete combustion as 162,944.49 KJ (18.25±6.94 %), ash, char and unaccounted as 138,785.45 KJ (15.54±5.65 %), surfaces as 59,449.05 KJ (6.66±0.81 %), hydrogen in fuels as 30,389.771 KJ (3.40±0.05 %) and moisture in fuels was the lowest value as 3,827.176 KJ (0.43±0.01 %). Therefore, the results of this study should be used as supplementary information for the development of coconut sugar simmering stove to for better quality.

**คำสำคัญ:** การสูญเสียความร้อน เตาเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว

**Keywords:** Thermal energy loss, Coconut sugar simmering stove

<sup>1</sup>Corresponding author: wasananon@gmail.com

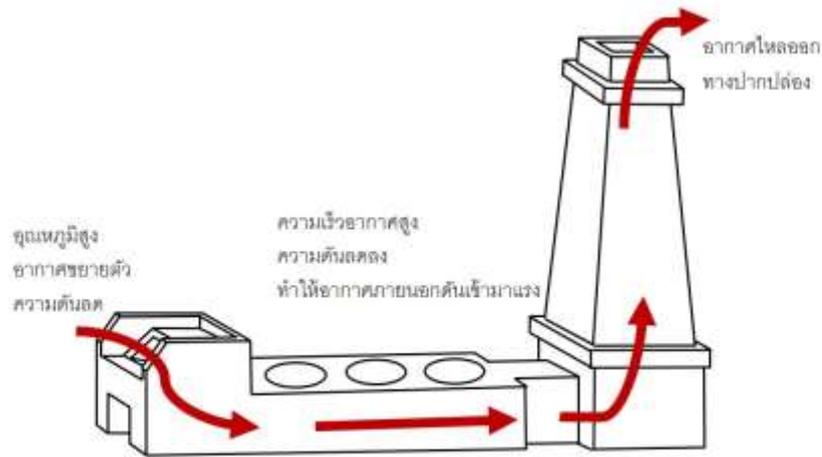
\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

\*\*พันเอกหญิง ประจักษ์การสัตย์ทหารบก จังหวัดนครปฐม

## บทนำ

อาหารที่ให้พลังงานแก่มนุษย์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ น้ำตาล [1] ซึ่งจากรายงานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติหรือ FAO ค่าเฉลี่ยของการบริโภคน้ำตาลต่อคนคือ 24 กิโลกรัมต่อปีต่อคน เทียบเท่ากับพลังงานกว่า 260 แคลอรีอาหารต่อวันในปี 1990 แม้จะมีการเพิ่มขึ้นของประชากรมนุษย์การบริโภคน้ำตาลที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 25.1 กิโลกรัม (55 ปอนด์) ต่อคนต่อปีในปี 2015 [2] โดยอ้อย และซูการ์บีตจะพบน้ำตาลในปริมาณความเข้มข้นเพียงพอที่จะสกัดออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามประเทศไทยสามารถผลิตน้ำตาลจากพืชอื่นนอกเหนือจากอ้อย และซูการ์บีตได้แก่ น้ำตาลโคคน และน้ำตาลมะพร้าว ซึ่งการทำน้ำตาลโคคน หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า น้ำผึ้งโคคน มีกระบวนการทำ คือการเคี่ยวน้ำตาลสดเป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง เมื่อน้ำระเหยออกไปบางส่วนแล้วจะได้น้ำผึ้งมีสีน้ำตาลแดง หากทำการเคี่ยวน้ำผึ้งต่อไปจนแห้งเป็นดั่งเม็ก็จะสามารถทำเป็นน้ำตาลปึก หรือหยอดลงในแว่นไบตาลเป็นรูปกลมก็กลายเป็นน้ำตาลแว่น ส่วน [3] การเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านอย่างหนึ่งของประเทศไทยที่มีความสำคัญ และทำสืบต่อกันมาเป็นระยะเวลายาวนานตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา ซึ่งปัจจุบันผลิตภัณฑ์พื้นบ้านที่มาจากภูมิปัญญาท้องถิ่น เริ่มหายไปและผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มาจากภาคอุตสาหกรรม หรือโรงงานผลิตขนาดใหญ่มาแทนที่ และที่เห็นชัดเจนคือ น้ำตาลจากต้นตาล และน้ำตาลจากมะพร้าว เนื่องจากการใช้น้ำตาลทรายมาแทนที่ [4] ในปัจจุบันอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนสำหรับการทำน้ำตาลมะพร้าวมีจำนวนลดลง โดยมีสาเหตุจากหลากหลายปัจจัย เช่น การเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวใช้เวลานาน การเก็บวัสดุที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ รวมถึงความชำนาญในการทำน้ำตาลมะพร้าว เป็นต้น นอกจากนี้ [5] ปัจจัยเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นเป็นสาเหตุที่สำคัญอีกประเด็นหนึ่ง เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามกลไกเศรษฐกิจหรือคุณภาพเตาที่ลดลง ฉะนั้นเตาเคี่ยวน้ำตาลจึงเป็นอุปกรณ์สำคัญในการใช้ต้ม หรือเคี่ยวน้ำตาลใส เพื่อกำจัดน้ำออกไปจากน้ำตาลใสให้เหลือแต่เนื้อน้ำตาล ลักษณะของเตาจะต้องทนต่อความร้อนช่วยในการลุกไหม้ ให้ความร้อนสูง และประหยัดเชื้อเพลิง [6-7] ซึ่งนับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนารูปร่างเตาเคี่ยวน้ำตาลไปแล้วทั้งสิ้น 5 รุ่น เมื่อพิจารณาช่วงเวลาของการพัฒนาเตาเคี่ยวน้ำตาล (เตาดาล) จะเป็นดังนี้ เตาตาลรุ่นที่ 1 ประมาณก่อน พ.ศ. 2400 – 2450 เตาตาลรุ่นที่ 2 ประมาณก่อน พ.ศ. 2450 – 2500 เตาตาลรุ่นที่ 3 ประมาณก่อน พ.ศ. 2500 – 2520 เตาตาลรุ่นที่ 4 ประมาณก่อน พ.ศ. 2520 – 2535 และเตาตาลรุ่นที่ 5 ประมาณก่อน พ.ศ. 2535 – ปัจจุบัน ซึ่งเตาเคี่ยวน้ำตาลที่มีใช้อย่างทั่วไปมีส่วนประกอบ คือ 1) หัวลิงห์ เป็นส่วนหัวที่สำคัญเป็นช่องทางให้อากาศเข้า จุดเชื้อเพลิง และเป็นที่อยู่ของตะแกรง 2) ช่องอากาศ เป็นส่วนของช่องทางอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเป็นที่รองรับขี้เถ้า 3) อู่ไฟ อยู่บริเวณด้านบนของตะแกรง ไว้สำหรับใส่เชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 4) ตัวเตา เป็นที่วางกระทะแต่ละหลุม ซึ่งจะมีได้ตั้งแต่ 2 ถึง 5 กระทะและเป็นที่ทำให้เปลวไฟเข้าสู่กระทะ 5) หลุมกระทะ ใช้เป็นที่ตั้งกระทะเคี่ยวน้ำตาล และเป็นส่วนที่ช่วยในการปิดหลุมทางเดินของไฟช่วยให้ไฟเดินได้ดีเมื่อวางกระทะบนหลุมกระทะแล้วต้องมีอากาศเข้าไปได้ 6) ลูกหมู ซึ่งเชื่อมต่อกับกระทะสุดท้ายและปล่อง ส่วนนี้จะมีขนาดกว้างและสูงเท่ากับตัวเตา หน้าที่ของลูกหมูคือ ทำให้เปลวไฟมีอุณหภูมิและความเร็วลดลง เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ความเร็วและอุณหภูมิจะลดลงตามความยาวของตัวเตา ซึ่งป้องกันการกระแทกกับตัวปล่องและตัวเตาได้ 7) ช่องลม อยู่ด้านหลังของฐานปล่อง ช่วยปรับความดันเพื่อลดความดันจากปล่อง 8) ปากปล่อง ช่วยระบายความดันของเปลวไฟจากเตาไฟ 9) ฐานปล่อง เป็นฐานที่ตั้งของปล่อง และ 10) บัวบน บัวล่าง เพื่อความสวยงาม สำหรับ [8-9] หลักการทำงานของเตาเคี่ยวน้ำตาลต้องอาศัยหลักการของเคมีและฟิสิกส์ เพราะเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศ ส่งผลให้กระทะต้องออกแบบให้มีการเดินทางของเปลวไฟไปได้ทั่วถึงทุกกระทะ การที่น้ำตาลจะเคือดได้ต้องมีเปลวไฟของกระทะที่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้มีวงกระทะเป็นตัวบังคับไปมาถึงกระทะ ซึ่งเป็นการทำให้ตัวเตามีวงกระทะทำให้เปลวไฟมาอยู่ในบริเวณนี้ และถึงกระทะมากที่สุด ตัวบังคับให้เปลวไฟสามารถเดินทางได้ตลอดตัวเตาคือ ความเหมาะสมของตัวเตา เช่น ความ

กว้างของตัวเตา ระยะห่างระหว่างกระทะ ความโค้ง และความเรียบภายในของตัวเตาก็มีผลต่อการเดินทางของเปลวไฟ ความแรงของเปลวไฟก็ขึ้นอยู่กับขนาดของปล่อง เพราะยิ่งมีความสูงและขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีแรงผลักอากาศออกสู่ปากปล่องและดูดอากาศจากปากเตาเข้ามาเผาไหม้กับเชื้อเพลิงภายในเตาได้เร็วขึ้นและมากขึ้น ส่วนของเตาทุกส่วนจะมีผลต่อการทำงาน เช่น อุณหภูมิที่ปากเตาจะต้องสามารถดูดอากาศได้เพียงพอกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและทันกับการคายไอเสียของปล่อง ช่องใส่เชื้อเพลิงก็ต้องมีขนาดและความยาวให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ ในช่องทางเดินของเปลวไฟคือ วงกระทะแต่ละวงกระทะเป็นตัวกักให้เปลวไฟมาลนกระทะและเปลวไฟที่เหลือก็จะผ่านช่องระหว่างกระทะไปสู่กระทะลูกถัดไป แน่นนอนว่ากระทะลูกที่หนึ่งหรือกระทะหน้าย่อมได้รับความร้อนมากที่สุด กระทะลูกสุดท้ายจะไม่ได้รับเปลวไฟ เพราะเปลวไฟจะสามารถเดินทางไปถึงครึ่งปล่อง ลูกหมุ่เชื่อมต่อกับกระทะลูกสุดท้ายและปล่องมีขนาด ความกว้าง และความสูงเท่ากับตัวเตา หน้าที่ของลูกหมุ่ คือ การทำให้เปลวไฟมีอุณหภูมิและความเร็วลดลง เพราะเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิจะลดลงตามความยาวของระยะทาง ฉะนั้นจึงเป็นตัวช่วยทำให้ปล่องสึกหรอน้อยลง เนื่องจากการพ่นแรงและอุณหภูมิของเปลวไฟทำให้ปล่องมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น สอดคล้องกับหลักการของเบอร์นูลลี ที่ว่า “ถ้าของไหลมีความเร็วสูงขึ้นความดันของของไหลจะลดลง” จากหลักการนี้อธิบายการทำงานของเตาตาลได้ดังนี้ เมื่อไฟที่หัวสิงห์จะทำให้อุณหภูมิสูง อากาศขยายตัว ความดันลดลง อากาศร้อนจะไหลไปทางปากปล่อง ทำให้เปลวไฟไหลจากบริเวณหัวสิงห์มายังบริเวณตัวเตาบริเวณตัวเตาจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากจะใช้เชื้อเพลิงไว้จึงทำให้ตัวเตามีพื้นที่แคบลง ปริมาณของตัวเตาจากหัวสิงห์จึงลดลงมา เมื่อปริมาณลดลงความเร็วมวลอากาศสูงขึ้นความดันยิ่งลดลง อากาศจากภายนอกจึงดันเข้ามาแรงมากยิ่งขึ้น ดันให้อากาศไหลออกไปทางปากปล่องได้ดียิ่งขึ้น ลูกหมุ่จึงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดความเร็ว ความแรง ความดัน อุณหภูมิ และปริมาตร เพื่อป้องกันการกระแทกกับตัวปล่องและเตา (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงหลักการของเบอร์นูลลีกับเตาเคี้ยวน้ำตาล

จากหลักการทำงานของเตาเคี้ยวน้ำตาล จะเห็นได้ว่า [10] มีการศึกษาการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ใหม่ของเตาเผา โดยผลจากการทดลองพบว่า การสูญเสียความร้อนของปล่องคว้นลดลง และอุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลง ทำให้เชื้อเพลิงที่ใช้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ผลที่ตามมาทำให้ประสิทธิภาพเตาสูงขึ้น ซึ่งจากการเปรียบเทียบเตาเผา 3 ชนิด ได้แก่ เตาชนิดที่ 1 คือ เตาที่ใช้เพลหาหมุน เตาชนิดที่ 2 คือ เตาอุตสาหกรรมหม้อไอน้ำ และเตาชนิดที่ 3 คือ เตาหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซไอเสียกลับมาใช้ในการเผาไหม้ โดยการเปรียบเทียบที่สัดส่วนอากาศกินระดับต่างๆ พบว่า

ลักษณะของเตา 2 ชนิดแรกมีอุณหภูมิไอเสียสูง ทำให้การสูญเสียความร้อนที่ปล่องควันสูงตามไปด้วย แต่เตาชนิดที่ 3 ซึ่งใช้การหมุนเวียนก๊าซไอเสีย ผลปรากฏว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสียนั้นมีค่าลดลงกว่าเตา 2 ชนิดแรกทำให้ความร้อนสูญเสียที่ปล่องควันลดลง หมายความว่า สามารถให้เชื้อเพลิงเท่าเดิม แต่เพิ่มการนำก๊าซไอเสียนำกลับมาใช้ใหม่ ก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิก่อนข้างสูงทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละครั้งเชื้อเพลิงที่ใส่ไปไม่ต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการเผาไหม้เชื้อเพลิงและอากาศให้มีความร้อนสูงขึ้นมาอีกด้วย เพราะ มีก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงกว่าทำให้ความร้อนกับอากาศและเชื้อเพลิงไปก่อนแล้ว ทำให้พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเผาไหม้ได้มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเตาสูงขึ้น สำหรับ [11] การออกแบบเพื่อปรับปรุงโรงงานคั่วเมล็ดกาแฟด้วยวิธีการนำไอเสียกลับมาไหลเวียนใหม่ พบว่า ในกระบวนการปกติ สามารถนำความร้อนไปให้เมล็ดกาแฟได้เพียง 9.3 % ทั้งนี้เป็นความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสีย และการแผ่รังสีถึง 61.8 % และ 28.9 % ตามลำดับ แต่เมื่อเป็นกระบวนการที่มีการนำไอเสียกลับมาไหลเวียนใหม่ พบว่า สามารถนำความร้อนไปให้เมล็ดกาแฟได้ถึง 28.9 % โดยที่ความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียและการแผ่รังสีรวมกันเหลือเพียง 61.8 % เท่านั้น นอกจากนี้ [12] การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว โดยผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนที่ 1 ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว เป็นการหาค่าอัตราการไหลของอากาศหลักที่เหมาะสมของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ  $0.28 \text{ kg/s}$  ทำให้ได้โดยการปิดระบบเพิ่มอัตราการไหลของอากาศหลัก ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวมีค่า  $28.65 \pm 0.78\%$  และขั้นตอนที่ 2 ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว เป็นการหาค่าอัตราการไหลของก๊าซไอเสียหมุนเวียนที่เหมาะสมของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวมีค่าเท่ากับ  $17.79 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$  หรือเท่ากับ 6.35% ของอัตราการไหลของอากาศหลัก ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวมีค่าเป็น  $35.59 \pm 1.10\%$  ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากผลการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวนั้นทำให้พบว่า พลังงานความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวมีการสูญเสียออกไปหลายทาง อาทิเช่น การพาความร้อนออกทางปล่อง การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ความชื้นในเชื้อเพลิง และความร้อนที่สูญเสียที่ผิวของเตา ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ทำให้มีการวิจัยนี้ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการสูญเสียพลังงานความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวให้ดียิ่งขึ้นต่อไป อย่างไรก็ตาม [13] การประเมินการสูญเสียความร้อนความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ด้วยวิธี Lattice Boltzmann ผลการประเมินพบว่า การสูญเสียความร้อนแบบหมุนเวียนเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มมุมเอียง สำหรับผลกระทบจากการแผ่รังสีพื้นผิวการแผ่รังสีด้วยสัมประสิทธิ์ของ 4 ระหว่าง  $\epsilon = 0.2$  และ  $\epsilon = 1.0$  สามารถทำได้ ซึ่งการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจะลดลงเล็กน้อย โดยการสูญเสียความร้อนทั้งหมดจากตัวดูดซับโพรงมีผลต่ออุณหภูมิการทำงานและอัตราส่วนภาพ ซึ่งในความเป็นจริงการเพิ่มอุณหภูมิในการทำงานจะช่วยเพิ่มความร้อนในขณะที่อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะลดลง สำหรับ [14] การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนร่วมกันของตู้หม้อหุงพลังงานแสงอาทิตย์รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูโดยใช้วิธีการคำนวณการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีพิจารณาจากฝารอบกระจกด้านบน ผลลัพธ์จะได้รับการยืนยันตามขั้นตอนมาตรฐาน การสูญเสียความร้อนแบบ Radiative จากโพรง พบว่ามีโหม้การครอบครองซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียความร้อนประมาณ 70-80% การศึกษาตัวแปรเกี่ยวกับการสูญเสียความร้อนจากโพรงถูกศึกษาโดยความลึกของโพรงที่แตกต่างกันค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความเร็วลมเหนือพื้นผิวกระจก การแผ่รังสีของแผ่นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันรูปแบบการไหล และ Isotherms ภายในโพรงได้รับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ในรูปแบบที่ไม่ใช่มิติสำหรับการใช้ทั่วไปมากขึ้นและความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Nusselt โดยรวมเฉลี่ย อีกทั้งพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลได้รับการกำหนดไว้สำหรับโพรงเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วน [15] การตรวจสอบผลกระทบของความเร็วลมและมุมการเอียงของการ

สูญเสียความร้อนจากโพรงอากาศร้อนมีการนำเสนอผลการทดลองเกี่ยวกับผลกระทบของความเร็วลม (0-12 เมตร/วินาที) และมุมตัดมุม (0°-90°) ต่อความสูญเสียความร้อนแบบหมุนเวียนจากช่องทรงกระบอกที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ช่องถูกให้ความร้อนด้วยองค์ประกอบพื้นผิวทองแดงที่ควบคุมด้วยตัวเองได้ 16 ชั้นเพื่อให้สามารถวัดการสูญเสียความร้อนและการกระจายความร้อนได้ภายใต้สภาพแวดล้อมการหมุนเวียนที่ควบคุมได้ในส่วนที่เปิดของอุโมงค์ลม พบว่าการสูญเสียความร้อนจากการถ่ายเทผ่านรูรับแสงมีความรุนแรงกว่ากรณีลมด้านบนประมาณสี่เท่าเมื่อมีค่า Richardson 77 (ความเร็วลม 12 เมตร/วินาที) สำหรับสภาพที่ไม่มีลมประมาณ 85% ของความร้อนหายไปจากส่วนล่างของพื้นผิวของโพรงมากกว่า 43 (ความเร็วลมมากกว่า 9 เมตร/วินาที) การสูญเสียความร้อนจะกระจายสม่ำเสมอมากกว่าพื้นผิวของโพรง สำหรับสภาวะลมแรงที่มากกว่า 19 (ความเร็วลมมากกว่า 6 เมตร/วินาที) และความสูญเสียความร้อนจากการหมุนเวียนจะสูงกว่าสภาวะลมด้านข้างประมาณสองเท่า และ [16] การสูญเสียพลังงานจากผนังห้องเตาเผาระหว่างการให้ความร้อนและการบำบัดความร้อนด้วยการตีขึ้นรูปหนัก เป็นแบบจำลองสภาพขอบเขตที่พื้นผิวด้านในและด้านนอกของผนังเตาได้รับการพัฒนาขึ้น โดยคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน อุณหภูมิของเตาเผาถูกคำนวณจากสารละลายของ Finite element ไปสู่สมการการนำความร้อนชั่วคราว แบบจำลองสภาพขอบเขตได้รับการตรวจสอบโดยใช้การวัดในห้องทดลอง ความสูญเสียความร้อนจากผนังห้องถูกคำนวณสำหรับโครงสร้างผนังที่เลือกและโหมดการทำงานของเตาเผา ผลการคำนวณแสดงให้เห็นความแตกต่างที่สำคัญในการสูญเสียพลังงานที่พบว่าการสูญเสียความร้อนทั้งหมดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผนังห้องและในโหมดการทำงานของเตาเผาสำหรับวัสดุผนังส่วนใหญ่ ผลคูณกันความร้อนที่ดีที่สุดทำให้ผนังห้องทำจากแผ่นใยแร่สองแบบ สำหรับผนังนี้ค่าการสูญเสียพลังงานทั้งหมดที่ต่ำกว่า 100 MJ/m<sup>2</sup> ได้รับความานกว่า 8 วันนับจากวันที่เตาเผา นอกจากนี้ยังพบความไวต่อการทำงานของเตาเผาด้วย ผลคูณกันความร้อนผนังนี้สามารถใช้สำหรับการให้ความร้อนกับอุณหภูมิสูง และกระบวนการบำบัดความร้อนที่โดดเด่นด้วยการใช้เตาเผาเป็นเวลานาน

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นจะเห็นได้ว่า เตาเคียวน้ำตาลมะพร้าว เป็นเครื่องมือสำคัญในการผลิตน้ำตาลมะพร้าว ดังนั้นการศึกษาศูนย์สูญเสียความร้อนของเตาเคียวน้ำตาลมะพร้าวในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความร้อนที่สูญเสีย ประกอบด้วย ค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสีย ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการสันดาปของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง ค่าความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา และค่าความร้อนสูญเสียที่ตรวจวัดไม่ได้ ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความร้อนสูญเสียจะอยู่ในรูปแบบของความร้อนซึ่งสูญเสียไปกับไอเสียทางปล่องมากที่สุด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาค้นคว้าสามารถนำผลที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพัฒนาการออกแบบ และเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาทำเตาเคียวน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

## วิธีการศึกษา

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาศูนย์สูญเสียความร้อนของเตาเคียวน้ำตาลมะพร้าว มีดังนี้

1. เตาเคียวน้ำตาลมะพร้าวที่มีใช้อย่างทั่วไป ชนิด 5 กระทะ ณ บ้านสุขเกษม 28 หมู่ 2 ตำบลท่าคา อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสงคราม ขนาดของเตา กว้าง 1.29 เมตร ยาว 7.07 เมตร สูง 3.18 เมตร
2. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Data Logger DL2200/220V AC
3. สาย Thermocouple พันเหล็กข้ออ้อย
4. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

5. เครื่องวัดวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย CAPELEC CAP3201-G เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย 4 ก๊าซ (HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) มาพร้อมจอ LCD คีย์บอร์ด และเครื่องพิมพ์

### ขั้นตอนการหาการสูญเสียความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว มีดังนี้

#### 1. การหาค่าความร้อนที่สูญเสียในรูปแบบของก๊าซไอเสีย

ความร้อนที่สูญเสียในรูปแบบของก๊าซไอเสีย เป็นความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการพาความร้อนออกทางปล่อง มีวิธีดำเนินการหาค่าความร้อนที่สูญเสียในกรณีดังกล่าว ดังต่อไปนี้

1.1 วัดค่าอุณหภูมิของอากาศที่อากาศเข้าสู่เตาที่ช่องลม โดยใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

1.2 วัดค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกทางปากปล่องซึ่งจะใช้สาย Thermocouple พันเหล็กข้ออ้อยแล้ววางพาดไว้ตรงกลางปากปล่อง แล้วใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

1.3 วัดความเร็วลมของก๊าซไอเสีย (m/s) ที่ออกทางปากปล่อง โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม บันทึกผลทุก 10 นาที โดยทำตาม [17] แนวทางของ Brookhaven national laboratory safety & health services division

1.4 หาพื้นที่บริเวณปากปล่องที่ก๊าซไอเสียออก

1.5 คำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ออกทางปากปล่อง

1.6 นำข้อมูลที่เก็บผลได้ไปแทนในสมการ เพื่อหาค่าความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการพาความร้อนออกทางปล่องทุกครั้งชั่วโมง

#### 2. การหาค่าความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

การสูญเสียความร้อนเนื่องจากเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะเกิดกับเชื้อเพลิงแข็งเท่านั้น คือ เมื่อเชื้อเพลิงแข็งเกิดปฏิกิริยาทางความร้อน (สันดาป) ขนาดของมวลจะมีขนาดเล็กลง ถ้าเล็กมากจะตกลงตะแกรงของเตาสุกั้นเตากลายเป็นขี้เถ้า ทำให้เชื้อเพลิงถ่ายเทความร้อนได้เต็มที่ โดยการหาค่าความร้อนที่สูญเสียในกรณีนี้ มีการดำเนินการดังนี้

2.1 วัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (%) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (PPM) ที่ออกทางปากปล่อง โดยใช้เครื่องวัดวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย บันทึกผลทุก 10 นาที

2.2 เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงเพื่อนำมาทดสอบหาคาร์บอนในเชื้อเพลิง (%)

2.3 เก็บตัวอย่างขี้เถ้าเพื่อนำมาทดสอบหาคาร์บอนในขี้เถ้า (%)

2.4 คำนวณหามวลคาร์บอนที่สันดาป

2.5 นำข้อมูลที่เก็บผลได้ไปแทนในสมการ เพื่อหาค่าความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทุกครั้งชั่วโมง

#### 3. การหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

โดยปกติไฮโดรเจนที่อยู่ในส่วนผสมของเชื้อเพลิงเมื่อเกิดปฏิกิริยาทางความร้อน (สันดาป) จะรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศล้วนตัวเป็นน้ำ ซึ่งน้ำนี้เมื่อได้รับความร้อนสูงย่อมกลายเป็นไอ และปกติเป็นไอร้อนยิ่งยวดพาเอาความร้อนออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสีย ดังนั้น การหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง มีวิธีดำเนินการดังนี้

3.1 เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงเพื่อนำมาทดสอบหาค่าไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (%)

3.2 วัดค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกทางปากปล่องซึ่งจะใช้สาย Thermocouple พันเหล็กข้ออ้อยแล้ววางพาดไว้ตรงกลางปากปล่อง แล้วใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

3.3 วัดค่าอุณหภูมิของอากาศที่สภาวะแวดล้อม โดยใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

3.4 นำข้อมูลที่ได้ไปแทนในสมการ เพื่อหาค่าความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ทุกครึ่งชั่วโมง

#### 4. การหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง

การหาค่าความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง ซึ่งความชื้นในเชื้อเพลิงจะถูกความร้อนทำให้กลายเป็นไอลงแล้วถูกพาออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสีย มีวิธีดำเนินการดังนี้

4.1 เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงเพื่อนำมาทดสอบหาค่าความชื้นในเชื้อเพลิง (%)

4.2 วัดค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกทางปากปล่อง โดยใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

4.3 วัดค่าอุณหภูมิของอากาศที่สภาวะแวดล้อม โดยใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

4.4 นำข้อมูลที่ได้ไปแทนในสมการ เพื่อหาค่าความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิงทุกครึ่ง ชั่วโมง

#### 5. การหาค่าความร้อนที่สูญเสียที่ผิวของเตา

ความร้อนที่สูญเสียที่ผิวของเตา เป็นการถ่ายเทความร้อนที่สูญเสียไปกับผนังเตาระหว่างความร้อนในเตากับ ความร้อนในบรรยากาศภายนอก การดำเนินการหาค่าดังกล่าวทำได้ดังนี้

5.1 หาพื้นที่ผิวทั้งหมดของเตาที่ใช้น้ำตาลมะพร้าวที่ผิวของผนังเตาด้านนอก

5.2 วัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของผนังเตาที่ใช้น้ำตาลมะพร้าวด้านนอกในแต่ละ โชนซึ่งมีทั้งหมด 14 จุด (ด้านละ 7 จุด) ดังภาพที่ 2 ซึ่งแต่ละจุดห่างกันประมาณ 3 เมตร โดยใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที ซึ่งจะทำการวางเครื่อง Data Logger ไว้บริเวณฐานปล่อง

5.3 วัดค่าอุณหภูมิของอากาศที่สภาวะแวดล้อม โดยใช้เครื่อง Data Logger บันทึกผลทุก 10 นาที

5.4 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

5.5 นำข้อมูลที่ได้เก็บผลได้ไปแทนในสมการเพื่อหาค่าความร้อนสูญเสียที่ผิวของเตาทุกครึ่ง ชั่วโมง



ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งสาย Thermocouple ในตำแหน่งที่ 1-14

#### 6. การหาค่าความร้อนที่ตรวจวัดไม่ได้

ความร้อนที่ตรวจวัดไม่ได้เป็นกลุ่มพลังงานที่ตรวจวัดได้ยาก เช่น พลังงานที่สูญเสียออกทางช่องเปิดของผนังเตาโดยเกิดจากการลุกไหม้ส่วนทางออกจากหน้าเตาของเปลวไฟ การสูญเสียความร้อนออกจากรอยแตกของตัวเตา เนื่องจากตัวเตาผ่านการใช้งานมานาน การสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการที่เชื้อเพลิงตกลงใต้ตะแกรงและไม่ได้รับการเผาไหม้ การสะสมพลังงานความร้อนในตัวเตา การสูญเสียพลังงานความร้อนเนื่องจากความชื้นในบรรยากาศ เป็นต้น ซึ่งวิธีการคำนวณนั้นทำได้จากการนำความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง หักลบด้วยความร้อนสูญเสียที่ตรวจวัดได้ นั่นก็คือ

ความร้อนที่สูญเสียในรูปแบบของก๊าซไอเสีย ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการสันดาปของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง และความร้อนสูญเสียเนื่องมาจากการพาความร้อนและแผ่รังสีความร้อนที่ผิวเตา

### ผลการศึกษา

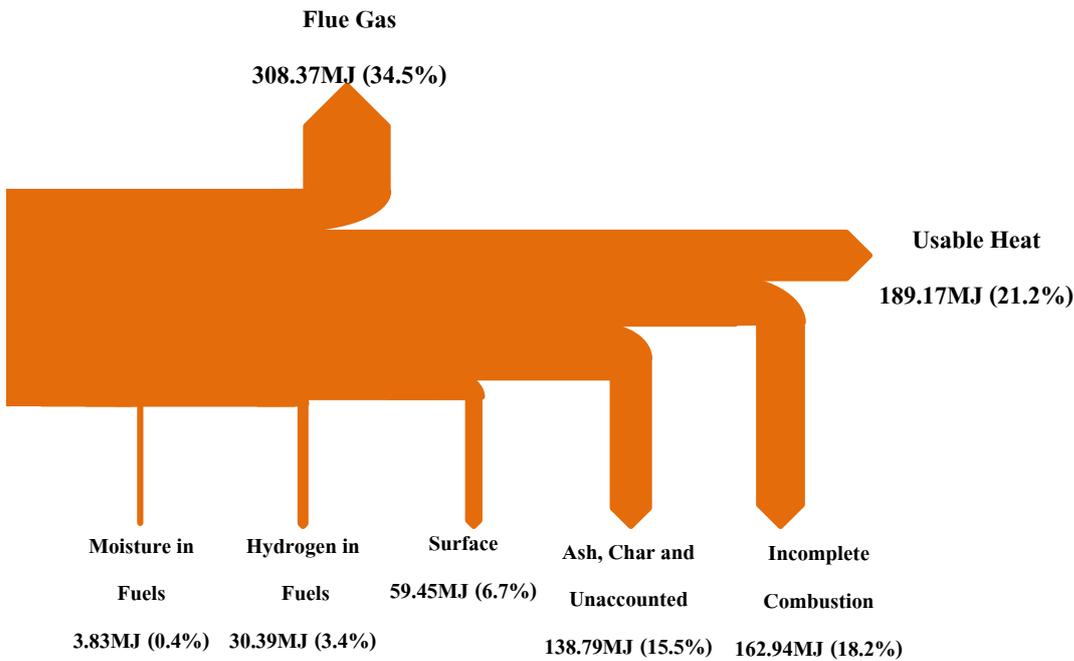
ผลการศึกษาศูญเสียความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวในสภาวะการทำงานปกติ พบว่า พลังงานที่ให้แก่ระบบของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว คือ ความร้อนจากการสันดาปของไม้ฟืน และพลังงานไฟฟ้าที่ให้แก่พัดลม มีค่ารวมกันเท่ากับ 892,933.38 KJ คิดเป็น 100% มีค่าความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (Usable Heat) เท่ากับ 189,166.02 KJ คิดเป็น 21.18±1.04% และมีค่าความร้อนที่สูญเสีย (Loss Heat) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความร้อนที่สูญเสียของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวในสภาวะการทำงานปกติ

ความร้อนที่สูญเสีย	อัตราการไหล	ครั้งที่										ค่าตัวแทน (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ความร้อนในรูปแบบของ ก๊าซไอเสีย (Flue Gas)	0.35 kg/s (100% ของสภาวะปกติ)	31.73	35.71	34.84	37.87	36.71	33.07	34.71	31.49	35.87	33.35	34.54±1.51
ความร้อนจากการเผาไหม้ไม่ สมบูรณ์(Incomplete Combustion)		28.48	30.80	6.74	8.80	8.94	22.78	12.85	18.66	12.36	32.07	18.25±6.94
ความร้อนจากการสันดาปของ ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (Hydrogen in Fuels)		3.44	3.24	3.41	3.34	3.40	3.49	3.42	3.47	3.40	3.44	3.40±0.05
ความร้อนจากความชื้นใน เชื้อเพลิง (Moisture in Fuels)		0.43	0.41	0.43	0.42	0.43	0.44	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43±0.01
ความร้อนที่ ผนังเตา (Surfaces)		4.56	5.69	5.68	8.04	7.16	6.27	7.75	7.48	7.68	6.27	6.66±0.81
ความร้อนที่ตรวจวัดไม่ได้ (Ash, Char and Unaccounted)		10.47	4.30	27.87	22.39	21.02	14.87	18.11	16.71	17.14	2.55	15.54±5.65

ตารางที่ 1 แสดงค่าความร้อนที่สูญเสีย (Loss Heat) ประกอบด้วย ค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสีย (Flue Gas) มีค่าสูงสุด เท่ากับ 308,371.43 kJ คิดเป็น 34.54±1.51 % รองลงมา คือ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) เท่ากับ 162,944.49 kJ คิดเป็น 18.25±6.94 % ค่าความร้อนสูญเสียที่ตรวจวัดไม่ได้ (Ash, Char and Unaccounted) เท่ากับ 138,785.45 kJ คิดเป็น 15.54±5.65 % ค่าความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา (Surfaces) เท่ากับ 59,449.05 kJ คิดเป็น 6.66±0.81 % ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการสันดาปของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (Hydrogen in Fuels) เท่ากับ 30,389.771 kJ คิดเป็น 3.40±0.05 % และค่าความร้อนที่สูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง (Moisture in Fuels) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 3,827.176 kJ คิดเป็น 0.43±0.01 % ตามลำดับ

จากผลการศึกษาค่าความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น สามารถนำมาเขียนแผนภาพค่าความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว ได้ดังนี้



ภาพที่ 3 แสดงแผนภาพค่าความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว

### สรุปผลการศึกษา

ความร้อนสูญเสียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของความร้อนซึ่งสูญเสียไปกับไอเสีย ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ รองลงมา คือ ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียมีปริมาณมากคือ อัตราการไหลของไอเสียซึ่งมีค่ามาก และอุณหภูมิของไอเสียซึ่งมีค่าสูง สำหรับในส่วนของความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ พบว่า มีสาเหตุหลักมาจากการใส่เชื้อเพลิงปริมาณมากในแต่ละครั้ง รวมทั้งการใส่เชื้อเพลิงอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้จำเป็นต้องใช้เวลานานในการนำความร้อนไปใช้ในการอุ่นเชื้อเพลิงก่อนการสันดาป จึงส่งผลให้นอกจากค่าความร้อนสูญเสียในส่วนนี้จะมีค่ามาก อีกทั้งยังทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงตามไปด้วย ดังนั้น การออกแบบเพื่อพัฒนาเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว จึงควรมีการลดอัตราการไหลและอุณหภูมิของไอเสีย [12] ด้วยวิธีการปรับอัตราการไหลของอากาศหลัก โดยการติดตั้งพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ทำการเป่าลมเข้าสู่ช่องอากาศของเตา และปรับอัตราการไหลของก๊าซไอเสียหมุนเวียน ด้วยการติดตั้งระบบหมุนเวียนก๊าซไอเสียเพิ่มเติมเข้าไป โดยการนำไอเสียจากช่องลมที่อยู่หลังฐานปล่องกลับมาหมุนเวียนเข้าสู่ช่องอากาศ รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับด้านเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ ทั้งวิธีการใส่ และจำนวนที่เหมาะสม นอกจากนี้ควรมีการศึกษารูปแบบใหม่ของเชื้อเพลิงรูปแบบใหม่ด้วยเพื่อประโยชน์ด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การนำผลที่ได้จากการศึกษาค่าความร้อนของเตาเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวในครั้งนี้ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาอุปกรณ์สำคัญในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ถือเป็นก้าวแรกในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการทำน้ำตาลมะพร้าว ซึ่งเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านอย่างหนึ่งของประเทศไทยให้คงอยู่กับเราสืบไป



## เอกสารอ้างอิง

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World agriculture: towards 2015/2030 [Internet]. 2018 [updated 2018 Sep 29; cited 2018 Dec 29. Available from: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557e/y3557e00.htm#TopOfPage>
2. Wasananon D. Sugar Cane & Sugar Palm. Veterinary & Remount Department Journal. 2008; 25 (2): 26-28. Thai.
3. Thongamphai P. Sugar Coconut Sweet Hope [Internet]. 2018 [updated 2018 Sep 29; cited 2018 Dec 29. Available from <http://www.komchadluek.net/news/agricultural/233190>
4. Morakun W, Kanphangam S, Duriyang A. Dried Coconut Using A Heat Pump Dryers [BE thesis]. Engineering: Silpakorn University; 2007. Thai.
5. Natan J, Urukchachen N, Muangha W. Guidelines for The Study on Efficiency of Coconut Sugar Cooking Stove [BE thesis]. Engineering: Silpakorn University; 2010. Thai.
6. Thepphakon W. Coconut Sugar Sweetness of Thai Wisdom. Bangkok: Aksoncharenthat; 2005. Thai.
7. Thimto K. Production of organic coconut sugar Tambon Bangkhla Amphoe Ban laem Phetchaburi Province. Phetchaburi: Phetchaburi Rajabhat University; 2004. Thai.
8. Wanletlak W. Fluid Knowledge [Internet]. 2018 [updated 2018 Sep 29; cited 2018 Dec 29. Available from <http://www.scimath.org/lesson-physics/item/7268-fluid>
9. Eastlake CN. An Aerodynamicist's View of Lift, Bernoulli, and Newton. THE PHYSICS TEACHER. 2002; 40: 166-173.
10. Andrej SC, Janez O, Brane S. Annular shaft kiln for lime burning with kiln gas recirculation. Applied Thermal Engineering. 2008; 28 (7): 785-792.
11. Michele DM, Elio P, Dario P. Waste heat recovery in a coffee roasting plant. Applied Thermal Engineering. 2003; 23 (8): 1033-1044.
12. Wasananon S. Thermal Efficiency Improvement of Coconut Sugar Simmering Stove. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. 2018; 5 (5): 73-88. Thai.
13. Ayoub M, Ezeddine S, Mohieddine BS. Assessment of thermal heat loss from solar cavity receiver with Lattice Boltzmann method. Solar Energy Volume. 2018; 173 (Oct): 1115-1125.
14. Jayashree N, Mohit A, Saumyakanta M, Sudhansu SS, Ranjan KS, Antaryami M. Combined heat loss analysis of trapezoidal shaped solar cooker cavity using computational approach. Case Studies in Thermal Engineering. 2018; 12 (Sep): 94-103.
15. Ka LL, Alfonso C, Mehdi J, Maziar A, Bassam D, Graham N. Experimental investigation of the effects of wind speed and yaw angle on heat losses from a heated cavity. Solar Energy Volume. 2018; 165 (May): 178-188.
16. Beata H, Zbigniew M, Marcin R. Energy losses from the furnace chamber walls during heating and heat treatment of heavy forgings. Energy. 2017; 139 (Nov): 298-314.



17. Brookhaven national laboratory safety & health services division. Environmental and Climate Sciences

Department [Internet]. 2018 [updated 2018 Sep 29; cited 2018 Dec 29. Available from

<https://www.bnl.gov/envsci/envtech/>.