

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการกระจายความร้อนโดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางสำหรับ
เตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

The Study of Thermal Efficiency and Heat Distribution Using Volcanic Rocks as
Intermediary for Liquefied Petroleum Gas Grill.

วลัยลักษณ์ มีทรัพย์¹ และ วีระ พันอินทร์^{1*}

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพาง จังหวัดลำปาง 50200

Abstract

The objective of this research study was to determine the most efficient and environmentally friendly volcanic rock for grilling with LPG. Three types of volcanic rock – basalt and pumice – were tested for their physical properties. The conductivity and dispersion of heat were measured from the time used to boil water and to grill a pork chop until it is well done. The correlation between temperature and the time used was analyzed. Air pollution during the experiment was measured by the concentrations of carbon monoxide, PM_{2.5} and PM₁₀ at the area. Return of Investment and Payback Period were calculated. The standard deviations of the time used for grilling by basalt rock and pumice rock were 47.32 and 48.02 respectively. The result confirms basalt rock is the most suitable medium for grilling, in terms of heat dispersion and conductivity, because its grilling time was lowest and least fluctuated. Moreover, the temperature inside the pork chop grilled by basalt rock was 48.1 °C and the heat efficiency was increased to 26.78 %, as opposed to 20.57 % of non-volcanic rocks. It was found the concentrations of carbon monoxide, PM_{2.5} and PM₁₀ of grilling basalt rock were 20 ppm, 0.22 mg/m³, and 0.58 mg/m³ respectively which were much lower than those of non-volcanic rocks and charcoal stoves.

Key words: The gas grill Volcanic rocks Heat distribution Thermal efficiency Air pollution

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG โดยใช้หินบะซอลต์ และหินพัมมิช เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่าง เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อน โดยดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินภูเขาไฟ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้ม การกระจายความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน ความสุขของอาหาร และมลพิษทางอากาศ ผลการวิจัยพบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์ และหินพัมมิช เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแสดงความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละตำแหน่งบนเตาปิ้งย่างเท่ากับ 47.32 และ 48.02 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า หินบะซอลต์ เป็นหินภูเขาไฟที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนแก่เตาปิ้งย่าง เนื่องจากมีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดและทำให้อาหารที่นำไปปิ้งย่างมีความสุกที่รวดเร็วและสุกอย่างทั่วถึง โดยอุณหภูมิภายในเนื้อหมูที่ทำการย่างเท่ากับ 48.1 °C อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่าง โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 26.78 % สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 20.57 % และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลาง ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่น PM_{2.5} และ ฝุ่น PM₁₀ มีค่าเท่ากับ 20 ppm 0.22 mg/m³ และ 0.58 mg/m³ มีความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศต่ำกว่าเตาปิ้งย่างก่อนการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางและเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน

คำสำคัญ: เตาปิ้งย่าง หินภูเขาไฟ การกระจายความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน มลพิษทางอากาศ

* Corresponding author : Tel: 054-241052. E-mail address: weerapunin@lpru.ac.th,

บทนำ

อาหารปิ้งย่างเป็นอาหารที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ทั้งนี้อุปการณ์สำคัญที่ต้องใช้ในการประกอบอาหารประเภทนี้ คือ เตาปิ้งย่าง ซึ่งในปัจจุบันแม้ค่าตามท้องตลาดตลอดจนผู้ประกอบการ ได้ใช้เตาปิ้งย่างกันหลากหลายประเภท ได้แก่ เตาเส้นสำหรับปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่าน เตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่านแก๊สหุงต้ม และเตาปิ้งย่างไฟฟ้า

การปิ้งย่างก่อให้เกิดควันและมลพิษทางอากาศและก่อให้เกิดการสะสมในร่างกายของสารอันตราย เช่น สาร PAHs ส่วนใหญ่พบการปนเปื้อนในอาหารปิ้งย่างที่มีส่วนของไขมันติดอยู่ส่วนของอาหารที่ไหม้เกรียมและควันที่เกิดจากไขมันสัตว์ที่โดนความร้อนสูง ซึ่งเนื้อสัตว์ทุกชนิดเมื่อผ่านการย่างโดยเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่านมีระดับของสาร PAHs ค่อนข้างสูงโดยเฉลี่ย $10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [1] ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อุปโภคและบริโภค โดยผู้ที่ประกอบอาหารเป็นประจำทั้งการทอด การผัด และการปิ้งย่าง มีโอกาสได้รับควันจากการประกอบอาหารและเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบต่อสุขภาพทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง ได้แก่ อาการน้ำมูกไหล หายใจลำบาก และอาการไอเรื้อรัง อีกทั้งพบว่าอาการระบบทางเดินหายใจที่พบบ่อยที่สุดคือ มีอาการหวัด ไอ และมีเสมหะ [2] และเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งตับ ซึ่งจากสถิติมะเร็งทั่วโลกในปี พ.ศ. 2561 มะเร็งตับพบมากเป็นอันดับ 6 โดยมีผู้ป่วยรายใหม่จำนวน 841,080 ราย [3] ซึ่งในประเทศไทย โรคมะเร็งตับเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 1 ของคนไทย จากสถิติจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ปี 2560 พบว่า มีผู้ป่วยรายใหม่ที่ป่วยเป็นมะเร็งตับสูงถึง 463 คน ซึ่งอยู่ในอันดับ 2 ของผู้ป่วยมะเร็ง โดยพบผู้ป่วยมะเร็งตับรายใหม่ในเพศชายสูงถึง 342 คน และในเพศหญิง 121 คน [4]

เนื่องด้วยประเทศไทยในอดีตมีภูเขาไฟอยู่ทั่วทุกภูมิภาค จึงทำให้เกิดหินภูเขาไฟจำนวนมากเกิดขึ้น จากการสำรวจของนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณีของประเทศไทย พบหินภูเขาไฟอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ทั่วทุกภูมิภาค [5] ซึ่งหินภูเขาไฟเหล่านี้มีแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ตั้งแต่แร่ธาตุที่มีสีอ่อน จนถึงแร่ธาตุที่มีสีเข้ม

คณะวิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่าน LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น โดยดำเนินการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของหินภูเขาไฟ 2 ชนิด ได้แก่ หินบะซอลต์ และหินฟิมมิช จากนั้นวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหน้าเตอดกับเวลาที่ใช้ในการต้มเนื้อ การกระจายความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน มลพิษทางอากาศ และความสุกของอาหารที่ทำการปิ้งย่าง ของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่าน LPG โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเลือกชนิดของหินภูเขาไฟเพื่อใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่าน LPG อีกทั้งช่วยลดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่าง

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่าน LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น อีกทั้งนำมาเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเลือกชนิดของหินภูเขาไฟมาใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือ่ง่าน LPG โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษาสีและลักษณะเนื้อหินของหินภูเขาไฟ

ดำเนินการศึกษาสีและลักษณะเนื้อหินโดยการสังเกตด้วยตาเปล่า เพื่อทำการเปรียบเทียบสีและความเป็นรูพรุนของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด

2. ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟ

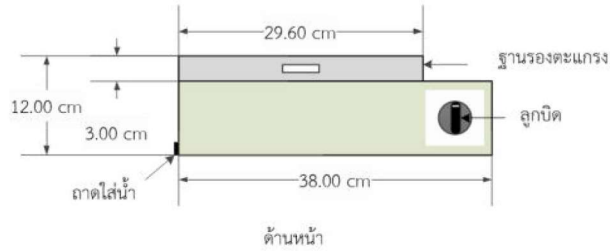
ดำเนินการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน AASHTO T85 [6] เพื่อตรวจสอบความหนาแน่นและความสามารถในการดูดซึมน้ำผ่านเข้าไปบริเวณเนื้อหินแต่ละชนิด โดยหินที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 21-31 mm

3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการทำปฏิกิริยากับกรดของหินภูเขาไฟ

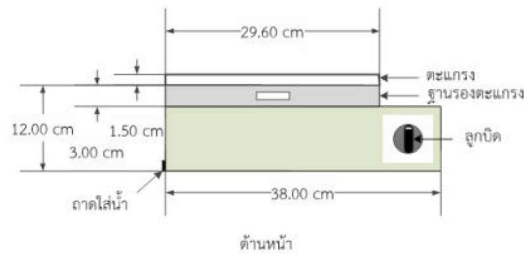
ดำเนินการศึกษาจากงานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟแต่ละชนิด และ ศึกษาการทำปฏิกิริยากับกรด โดยหยดกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1-2 หยดลงบนหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด

4. ทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่าง

ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟ จากนั้นดำเนินการออกแบบและพัฒนาเตาปิ้งย่างเพื่อรองรับการใส่หินภูเขาไฟ ดังภาพที่ 1 และดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิดเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน โดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้



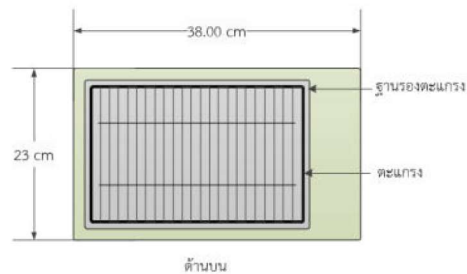
(ก) เตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา



(ข) เตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา

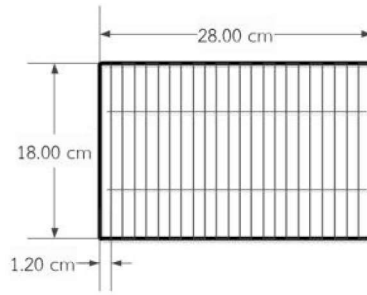
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบบริเวณด้านหน้าของเตาปิ้งย่าง

จากภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบบริเวณด้านหน้าของเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนา โดยเตาปิ้งย่างมีขนาด $23\text{ cm} \times 38\text{ cm} \times 12.5\text{ cm}$ ประกอบด้วย ตะแกรง ขนาด $18\text{ cm} \times 28\text{ cm}$ ฐานรองตะแกรง ขนาด $18\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ถาดใส่น้ำ และลูกบิด ซึ่งผู้วิจัยทำการพัฒนาบริเวณตะแกรงให้สูงขึ้น 1.50 cm และฐานรองตะแกรง ให้สามารถรองรับการใส่หินภูเขาไฟที่มีขนาด $21\text{--}31\text{ mm}$ ดังภาพ (ข)

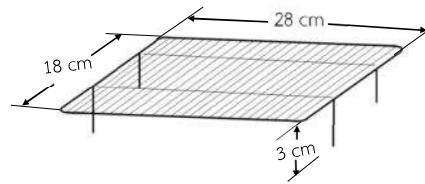


ภาพที่ 2 ส่วนประกอบบริเวณด้านบนของเตาปิ้งย่าง

จากภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบบริเวณด้านบนของเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนาซึ่งมีขนาด $23\text{ cm} \times 38\text{ cm}$ โดยเตาปิ้งย่างทั้งก่อนและหลังการดัดแปลงฐานรองตะแกรงและตะแกรงจะมีขนาดเท่ากัน



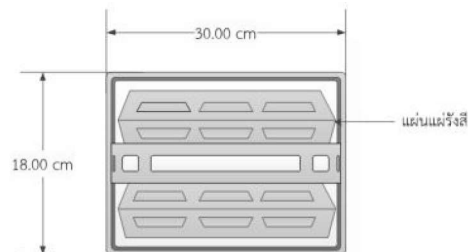
(ก) เตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา



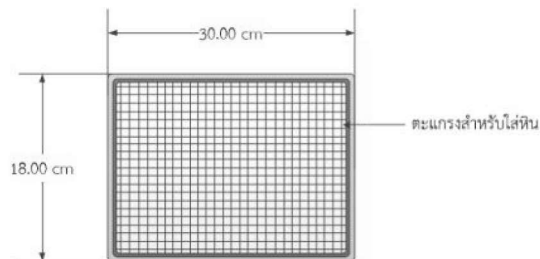
(ข) เตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา

ภาพที่ 3 ตะแกรงปิ้งย่างหลังการพัฒนา

จากภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบบริเวณตะแกรงของเตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา โดยก่อนการพัฒนาตะแกรงมีขนาด 23 cm x 39 cm และเตาปิ้งย่างหลังการพัฒนามีขนาด 23 cm x 39 cm x 3 cm เนื่องจากผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาโดยเชื่อมเหล็กติดกับตะแกรงให้สูง 3 cm ซึ่งเมื่อนำไปใส่บริเวณฐานรองตะแกรงตะแกรงปิ้งย่างจะสูงขึ้นกว่าเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา 1.5 cm ดังภาพที่ 1



(ก) เตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา



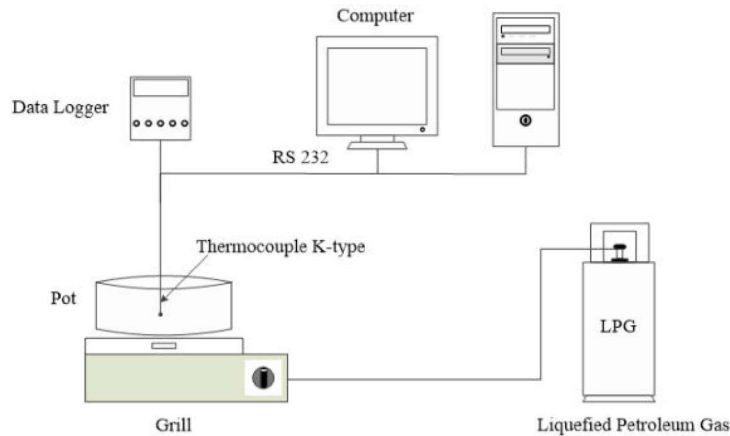
(ข) เตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา

ภาพที่ 4 ฐานรองตะแกรง

จากภาพที่ 4 แสดงส่วนประกอบบริเวณฐานรองเตาแก๊สของเตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา ฐานรองเตาแก๊สมีขนาด 18 cm x 30 cm โดยเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนาฐานรองเตาแก๊สประกอบไปด้วยแผ่นแผ่นรีรังสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่าง ทั้งนี้ผู้วิจัยทำการพัฒนาโดยนำเตาแก๊สมาใส่แทนแผ่นแผ่นรีรังสีเพื่อรองรับหินภูเขาไฟที่มีขนาด 21-31 mm ซึ่งหินภูเขาไฟจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่างแทนแผ่นแผ่นรีรังสี

4.1. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

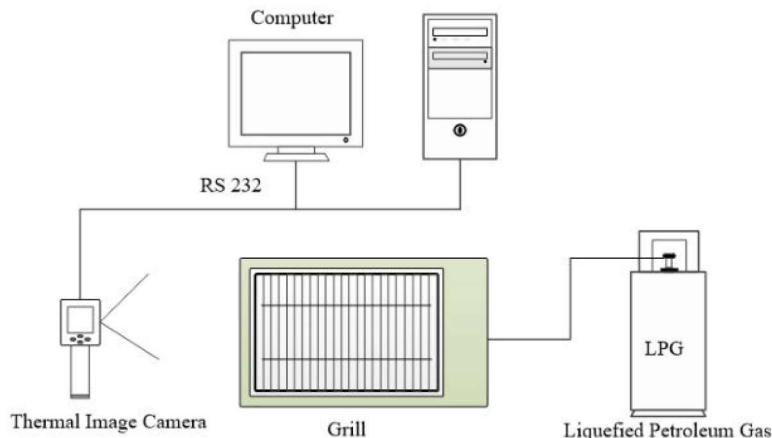
การทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ โดยทำการเลือกขนาดของหม้อภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และเติมน้ำปริมาณ 2.5 kg ลงในหม้อภาชนะ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม จากนั้นทำการต้มน้ำจนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดเดือดประมาณ 90 °C พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

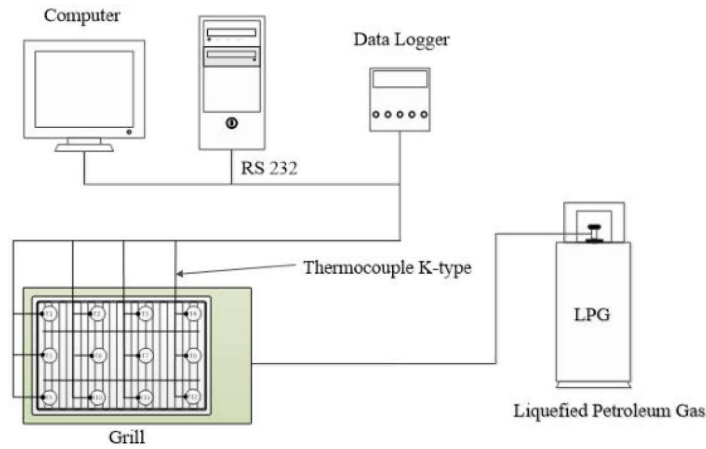
4.2. การทดสอบการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่าง

4.2.1. การกระจายความร้อนทางกายภาพ ดำเนินการโดยการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Image Camera รุ่น FLIR TG167 ถ่ายภาพการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างแก๊ส LPG โดยทำการวัดบริเวณด้านบนของเตาปิ้งย่างที่ความสูง 90 cm



ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพความร้อนโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน

4.2.2 การวัดอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวของเตาปิ้งย่าง ดำเนินการทดสอบโดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ Thermocouple Probes Type-K บริเวณพื้นผิวของตะแกรงปิ้งย่าง 12 ตำแหน่ง เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิระหว่างการทดสอบ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งตามเวลาที่กำหนด โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 5 min เป็นเวลา 1 hr 45 min



ภาพที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิพื้นผิวเตาปิ้งย่าง

4.3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง

วิเคราะห์หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง โดยใช้ข้อมูลจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ น้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำมาคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง [7]

$$\eta = \frac{m_w C_{pw} (T_{w,j} - T_{w,i}) + m_{ww} h}{m_g \text{LHV}} \quad (1)$$

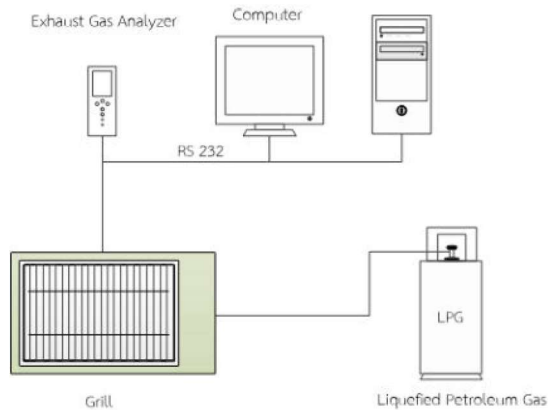
เมื่อ	η	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
	m_w	=	มวลของน้ำเริ่มต้น (kg)
	C_{pw}	=	ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)
	$T_{w,j}$	=	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (°C)
	$T_{w,i}$	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)
	m_{ww}	=	มวลของน้ำที่ระเหย (kg)
	m_g	=	มวลของแก๊สที่ใช้ (kg)
	h	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)
	LHV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

5. ทดสอบความสุกของอาหารที่ทำการปิ้งย่าง

ทดสอบโดยการปิ้งย่างเนื้อหมูขนาด 1.5 inch มวล 140 g ใช้เวลาในการปิ้งย่าง 4 min โดย 2 min แรกวางเนื้อหมูไปบริเวณตะแกรงปิ้งย่างและ 2 min หลังทำการพลิกเนื้อหมู โดยในระหว่างการปิ้งย่างได้ทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ Thermocouple Probes Type-K บริเวณเนื้อหมู โดยวัดอุณหภูมิบริเวณศูนย์กลางของเนื้อหมู เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเนื้อหมูทุก ๆ 1 min ระหว่างการทดสอบ

6. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เตาปิ้งย่าง

ทดสอบผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และก๊าซมลพิษจากการเผาไหม้ Testo รุ่น Testo 340 และเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ รุ่น HT-9600 วัดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการปิ้งย่าง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่น PM_{2.5} และ ฝุ่น PM₁₀ ในระหว่างการทดสอบความสุกของอาหาร โดยเก็บและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 min แล้วนำผลข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน



ภาพที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

8. เปรียบเทียบความเหมาะสมของหินภูเขาไฟแต่ละชนิด

เปรียบเทียบความเหมาะสมของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพทางความร้อนและมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการเลือกใช้หินภูเขาไฟมาใช้ในเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิง LPG

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

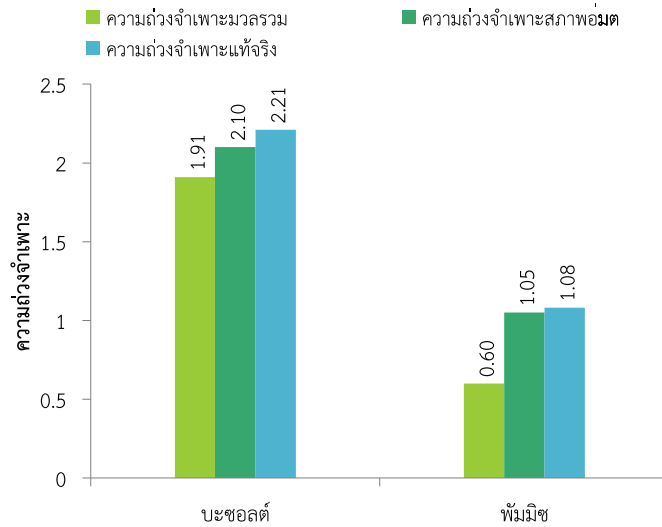
การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส หุงต้ม LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น โดยได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของหินภูเขาไฟ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหน้าเตากับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ การกระจายความร้อน ความสุกของอาหาร ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษทางอากาศ ของเตาปิ้งย่างก่อนและหลังใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อน ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

1. ผลของการสีและลักษณะเนื้อหินภูเขาไฟ

จากการศึกษาสีและลักษณะเนื้อหินของหินภูเขาไฟแต่ละชนิดพบว่า หินบะซอลต์มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ เนื้อหินมีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่บริเวณเนื้อหิน ซึ่งหินบางก้อนอาจมีรูพรุนขนาดใหญ่แทรกอยู่เล็กน้อย และหินพัมมิชมีสีขาวจนถึงเทา เนื้อหินมีลักษณะคล้ายฟองอากาศ ขรุขระและมีรูพรุนปะปนอยู่บริเวณเนื้อหิน

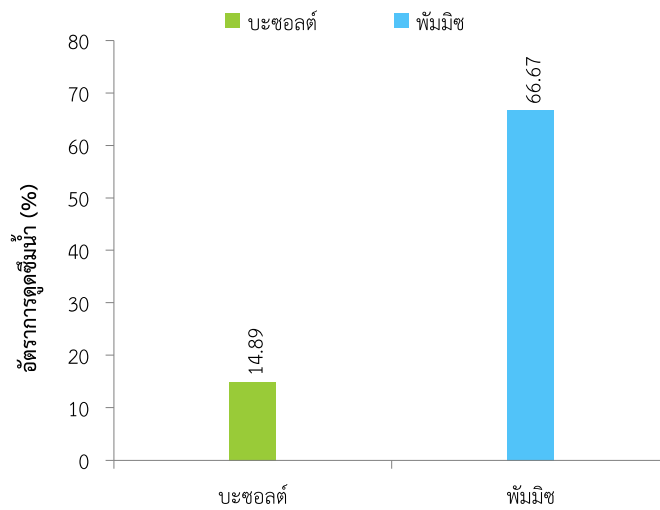
2. ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟ

จากการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด พบว่าความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับความเป็นรูพรุนและมวลรวมของหินแต่ละชนิด ซึ่งหินที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 คือหินที่จมน้ำ และหินที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 คือหินที่ลอยน้ำ ความถ่วงจำเพาะของหินแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 9 และการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะและลักษณะเนื้อหิน แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ความถ่วงจำเพาะของหินภูเขาไฟ

จากภาพที่ 9 พบว่าหินบะซอลต์ มีค่าความถ่วงจำเพาะมวลรวม ความถ่วงจำเพาะสภาพพอมัดตัวผิวแห้ง และความถ่วงจำเพาะแท้จริงสูงสุด เท่ากับ 1.91 2.10 และ 2.21 ตามลำดับ และหินพุ่มมีช มีค่าความถ่วงจำเพาะสภาพพอมัดตัวผิวแห้ง และความถ่วงจำเพาะแท้จริงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.6 1.05 และ 1.08 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 การดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟ

จากภาพที่ 10 พบว่า หินพุ่มมีชเป็นหินมีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 66.67 % และหินบะซอลต์ มีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 14.89 % โดยจากผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ พบว่าหินที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำจะมีการดูดซึมน้ำสูง และหินที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมีการดูดซึมน้ำต่ำ

3. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการทำปฏิกิริยากับกรดของหินภูเขาไฟ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและดำเนินการทดสอบความเป็นกรดของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด ผลการวิจัย แสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟ

องค์ประกอบทางเคมี	ชนิดของหินภูเขาไฟ	
	หินบะซอลต์ [8]	หินพัมมิช [9]
SiO ₂	47.85	69.83
Al ₂ O ₃	16.96	15.37
Fe ₂ O ₃	4.06	1.11
FeO	5.53	-
CaO	8.16	0.44
MgO	5.46	0.38
Na ₂ O	2.16	1.10
K ₂ O	2.31	3.90
TiO ₂	1.95	0.34
MnO	0.15	0.03
P ₂ O ₅	0.59	0.02

จากตารางที่ 1 พบว่า หินภูเขาไฟ แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีคือธาตุที่อยู่ในแร่ประกอบหินนั้น ๆ และบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของหิน เช่น สี และลักษณะเนื้อหิน จึงทำให้หินภูเขาไฟแต่ละชนิดมีสีและลักษณะเนื้อหินแตกต่างกัน และส่งผลต่อการดูดซับน้ำของหินแต่ละชนิด [10]

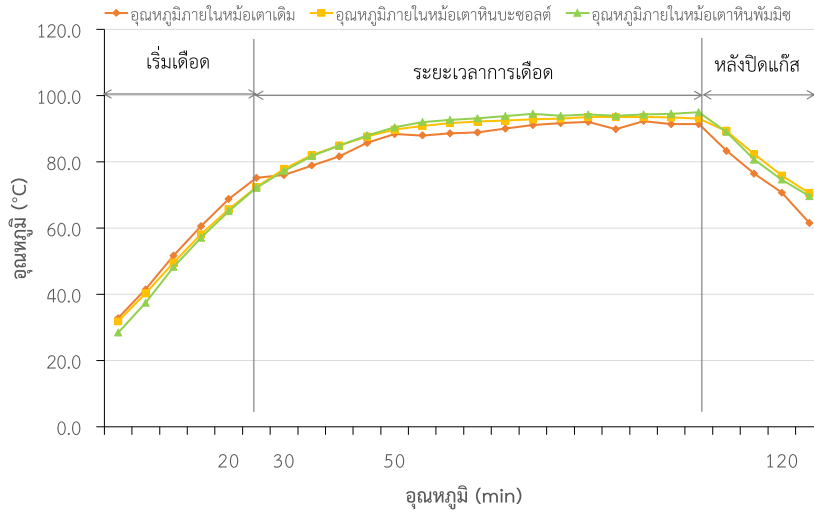
ตารางที่ 2 การทำปฏิกิริยากับกรดของหินภูเขาไฟ

ชนิดของหินภูเขาไฟ	ผลของปฏิกิริยา
หินบะซอลต์	ไม่เกิดฟอง
หินพัมมิช	ไม่เกิดฟอง

จากตารางที่ 2 พบว่าหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบของแร่คาร์บอเนต (CaCO₃) จึงทำให้ไม่เกิดฟอง แต่เมื่อหยดกรดลงไปหินบะซอลต์และหินพัมมิชก่อให้เกิดกลิ่นฉุนคล้ายคลอรีนเกิดขึ้น เนื่องจากมีส่วนประกอบของแร่แมงกานีสออกไซด์อยู่ในเนื้อหิน

4. ผลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

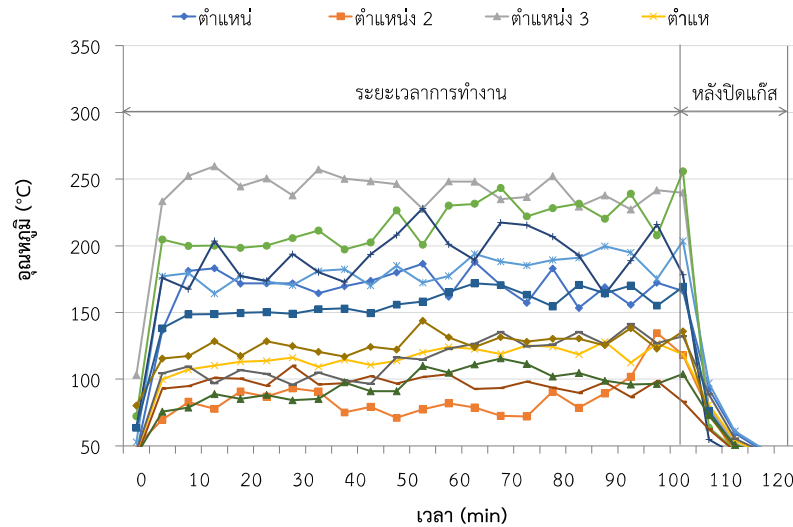
จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของเตาปิ้งย่างก่อนและหลังใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน ผลการศึกษาแสดงดังนี้



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

จากภาพที่ 11 พบว่า เตาปิ้งย่างที่ใช้ตัวกลางในการกระจายความร้อนต่างกัน จะส่งผลต่ออุณหภูมิการเดือดของน้ำและเวลาที่ใช้ โดยเตาปิ้งย่างหินบะซอลต์ มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงสุด เท่ากับ 93.6 °C ที่ 90 min และเตาปิ้งย่างหินพีมมิชมีอุณหภูมิจุดเกิดสูงสุด เท่ากับ 95 °C ที่ 105 min เมื่อทำการการปิดแก๊สผ่านไป 20 min พบว่า เตาปิ้งย่างหินบะซอลต์อุณหภูมิในหม้อลดลง เท่ากับ 70.6°C และเตาปิ้งย่างหินพีมมิช เท่ากับ 69.7 °C ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง พบว่า มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงสุดที่ 92.4 °C ที่ 95 min และอุณหภูมิหลังปิดแก๊ส เท่ากับ 69.7 °C

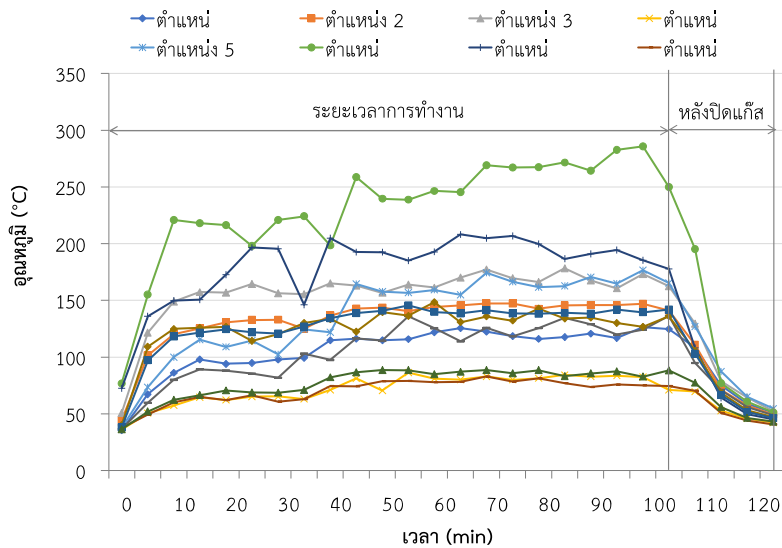
5. ผลการทดสอบการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่าง



ภาพที่ 12 เตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน

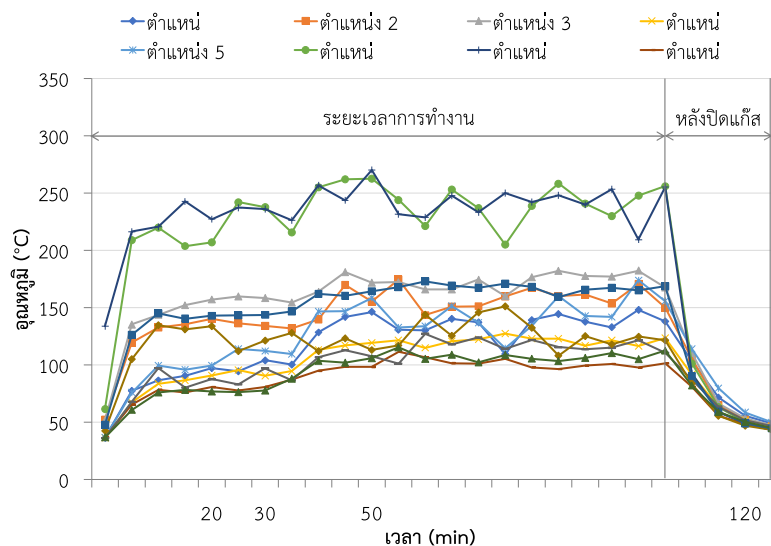
จากภาพที่ 12 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีความแปรปรวนสูงตลอด 105 min โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 259.65 °C และตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 69.6 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 12 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิต่างกัน

สูงสุดเท่ากับ 152.1 °C และจากการหาความแปรปรวนของอุณหภูมิ 12 ตำแหน่งจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 49.71



ภาพที่ 13 เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน

จากภาพที่ 13 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน โดยในช่วง 5-45 min อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีความแปรปรวนสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลา 50-105 min อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งเริ่มมีความแปรปรวนต่ำลง ทำให้อุณหภูมิบริเวณตะแกรงปิ้งย่างมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างนิ่ง โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่ 6 เท่ากับ 285.5 °C และตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือตำแหน่งที่ 8 เท่ากับ 60.85 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 12 ตำแหน่ง อุณหภูมิต่างกันสูงสุด เท่ากับ 108.93 °C และจากการจากการคำนวณหาความแปรปรวนของอุณหภูมิจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่า เท่ากับ 47.32



ภาพที่ 14 เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน

จากภาพที่ 14 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งใกล้เคียงกันมากกว่าเตาที่ใช้ตัวกลางอื่นและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงตลอด 105 min โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่ 7 เท่ากับ 270.3 °C และ ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือตำแหน่งที่ 12 เท่ากับ 60.75 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 12 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิต่างกันสูงสุดเท่ากับ 143.46 °C และจากการคำนวณหาความแปรปรวนของอุณหภูมิจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 48.02

6. ผลประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง

จากการทดสอบการต้มน้ำเพื่อหาจุดเดือดของน้ำ เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง แสดงผลการวิจัยดังนี้

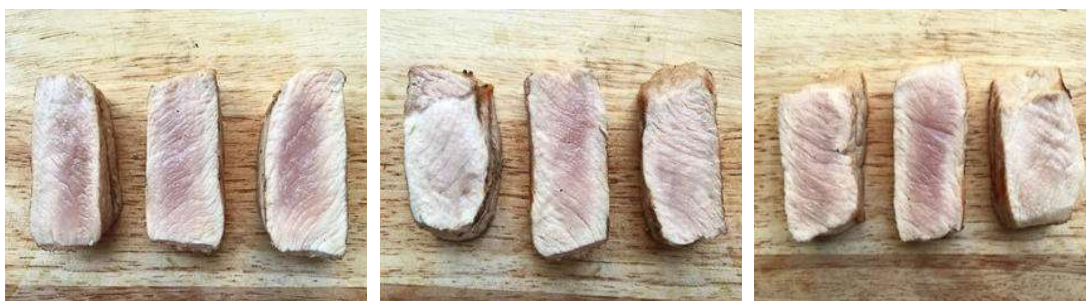
ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง

รายการ	เตาปิ้งย่าง	
	บะซอลต์	พัมมิช
มวลของน้ำเริ่มต้น (kg)	2.80	2.80
ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)	4.19	4.19
อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (K)	304.25	301.62
อุณหภูมิของน้ำเดือด (K)	367.12	368.15
ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	2257	2257
มวลของน้ำที่ระเหย (kg)	0.85	0.80
มวลของแก๊สที่ใช้ (kg)	0.20	0.27
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)	50200	50200
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	26.78	21.45

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างโดยทำการต้มน้ำและศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิจุดเดือดกับเวลาที่ใช้ โดยจากการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลางมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 26.78 % และเตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลาง มีค่าเท่ากับ 21.45 % ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง พบว่า มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่า มีเท่ากับ 20.57 %

7. ผลการทดสอบความสุกของอาหารเมื่อทำการปิ้งย่าง

การกระจายความร้อนของตัวกลางส่งผลต่อระดับความสุกและเวลาที่ใช้ในการปิ้งย่าง โดยเตาปิ้งย่างที่มีการกระจายความร้อนสูงและมีความแปรปรวนต่ำ จะส่งผลให้เนื้อหมูมีระดับความสุกที่ใกล้เคียงกัน ผลการวิจัยแสดงดังนี้



(ก) เตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง

(ข) เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลาง

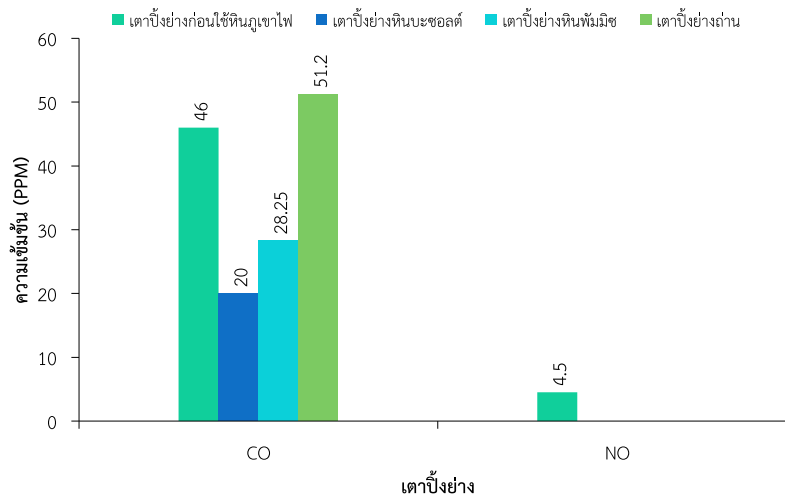
(ง) เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลาง

ภาพที่ 15 ความสุกของอาหารที่ทำการปิ้งย่างบนเตาปิ้งย่าง

จากภาพที่ 15 พบว่า เนื้อหมูมีระดับความสุกที่แตกต่างกัน โดยเตาปิ้งย่างหินบะซอลต์ที่มีการกระจายความร้อนสูงสุด พิจารณาจากความแปรปรวนของอุณหภูมิ 12 ตำแหน่ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 47.32 เมื่อทำการปิ้งย่างจึงทำให้ เนื้อหมูมีความสุกที่ใกล้เคียงกันและสุกเร็วกว่าเตาปิ้งย่างที่ใช้ตัวกลางชนิดอื่น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเนื้อหมูเมื่อเวลาผ่านไป 4 min เท่ากับ 48.1 °C และเตาปิ้งย่างหินพัมมิช มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 48.02 อุณหภูมิภายในเนื้อหมู เท่ากับ 46.3 °C และเตาปิ้งย่างหินสคอเรีย มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 49.68 โดยอุณหภูมิภายในเนื้อหมู เท่ากับ 45.4 °C ซึ่ง ในส่วนนี้มีผลจากความหนาแน่นและความจุความร้อนจำเพาะของหินแต่ละชนิด [13]

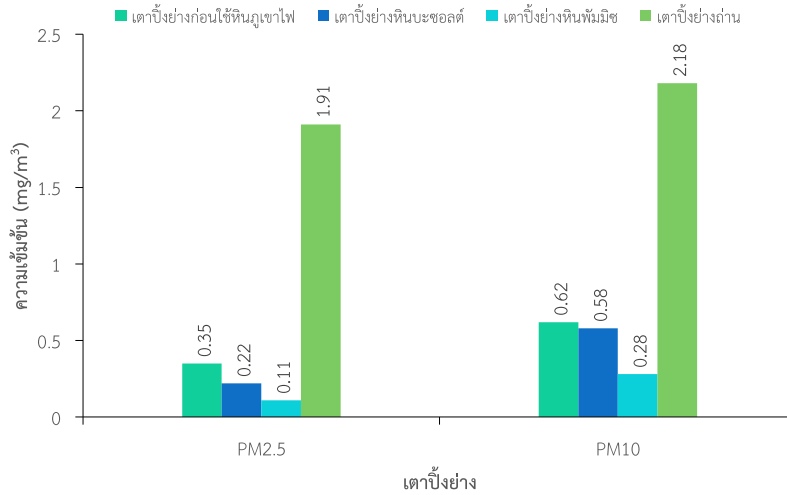
8. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เตาปิ้งย่าง

มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้เตาปิ้งย่าง ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ใช้ในการกระจายความร้อน โดยเตาปิ้งย่างที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง มีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศต่ำกว่า เตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟและเตาปิ้งย่างถ่าน แสดงผลดังภาพที่ 13



ภาพที่ 16 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนตริกออกไซด์

จากภาพที่ 16 พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลางก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด เท่ากับ 28.25 ppm และเตาปิ้งย่างหินบะซอลต์ มีค่าเท่ากับ 20 ppm ซึ่งเมื่อนำมาเทียบเป็นค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 2.7×10^6 - 1.9×10^6 ppm ตามลำดับ อีกทั้งเปรียบเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง และเตาปิ้งย่าง เชื้อเพลิงถ่าน พบว่า ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 46 และ 51.2 ppm ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 4.3×10^6 และ 2.7×10^6 ตามลำดับ นอกจากนั้นเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง เป็นเตาปิ้งย่างชนิดเดียวที่ก่อให้เกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) โดยมีค่าเท่ากับ 4.5 ppm ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี เท่ากับ 0.4×10^6 ppm อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไป [11] และค่า มาตรฐานมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิง [12] ยังคงมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของของฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀

จากภาพที่ 17 พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์ เป็นตัวกลางก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ สูงสุดเท่ากับ 0.22 mg/m³ และ 0.58 mg/m³ ตามลำดับ และเตาปิ้งย่างหินพัมมิช มีค่าเท่ากับ 0.11 mg/m³ และ 2.18 mg/m³ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} สะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 21×10³ และ 10×10³ mg/m³ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ สะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 54×10³ และ 27×10³ mg/m³ โดยเตาปิ้งย่างที่ใช้หินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิดเป็นตัวกลาง มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ ต่ำกว่าเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางและเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เท่ากับ 0.35 mg/m³ และ 1.91 mg/m³ ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 32×10³ mg/m³ และ 180×10³ mg/m³ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ เท่ากับ 0.62 และ 2.18 mg/m³ ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 58×10³ และ 205×10³ mg/m³ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไป [11] และค่ามาตรฐานมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิง [12] ยังคงมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้เตาปิ้งย่างที่ใช้หินภูเขาไฟ 2 ชนิด ได้แก่ หินบะซอลต์ และหินพัมมิชเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน สามารถสรุปได้ว่า หินบะซอลต์ เป็นหินภูเขาไฟที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนแก่เตาปิ้งย่าง เนื่องจากหินบะซอลต์มีความหนาแน่นและความจุความร้อนจำเพาะสูง เมื่อหินบะซอลต์ได้รับความร้อนอย่างเต็มที่ จะเกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างทั่วถึง ทำให้อุณหภูมิทุก ๆ ตำแหน่งบริเวณตะแกรงปิ้งย่าง มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดที่ 47.32 จึงทำให้อาหารที่นำไปปิ้งย่างมีความสุขที่รวดเร็วและสุกอย่างทั่วถึง ทั้งนี้หลังจากการทดสอบการกระจายความร้อน พบว่า เตาปิ้งย่างสามารถกักเก็บความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่างได้ยาวนานกว่าเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง เนื่องจากหินบะซอลต์เป็นหินที่มีรูพรุนน้อยที่สุดและมีความหนาแน่นมาก จึงทำให้น้ำร้อนหินภูเขาไฟนั้น มีพื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อนมากกว่าหินภูเขาไฟชนิดอื่น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่างโดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 26.78% สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียง 20.57 % และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่น PM_{2.5} และฝุ่น PM₁₀ มีค่าเท่ากับ 20 ppm 0.22 mg/m³ และ 0.58 mg/m³ มีค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศต่ำกว่าเตาปิ้งย่างก่อนการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางและเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน โดยก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 46 ppm และ 51.2 ppm ตามลำดับ ฝุ่น PM_{2.5} เท่ากับ 0.35 mg/m³ และ 1.91 mg/m³ ตามลำดับ และ ฝุ่น PM₁₀ เท่ากับ 0.62 mg/m³ และ 2.18 mg/m³ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่อำนวยความสะดวกในส่วนองวัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.Y.Chunga, Ramesh R.Yettellab, J.S.Kima,K.Kwona, M.C.Kima David B.Minc (2012).**Effects of grilling and roasting on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and pork.** Food Chemistry 129 (2011) 1420–1426
- [2] Yuwayong Juntarawijita,Chudchawal Juntarawijitb (2019).**Cooking smoke exposure and respiratory symptoms among those responsible for household cooking: A study in Phitsanulok, Thailand.** Heliyon 5 e01706
- [3] World cancer research fund international (2019).**Worldwide cancer data** Accessed. 8 September 2019 Available from: <https://www.wcrf.org/dietandcancer/cancer-trends/worldwide-cancer-data>
- [4] National cancer institute department of public health Thailand (2017). **Hospital based cancer registry 2017.** Accessed 8 September 2019 Available from:http://www.nci.go.th/th/File_th/File_download/Nci%
- [5] Department of mineral resources (2019). **Lampang volcanic crater.** Accessed 8 September 2019 Available from:http://www.dmr.go.th/ewtadmin/ewt/dmr_web/main.php?filename=n06
- [6] Standard Method of Test (2019). **Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.** Accessed 15 December 2019 <http://ftp.ecnpurdue.edu/olekPtanikela/To20aggregate.pdf>
- [7] AnthonyA.Bantu, GilbertNuwagaba,SarahKizza, and YonahK.Turinayo (2016). **Design of an Improved Cooking Stove Using High Density Heated Rocks and Heat Retaining Techniques.** Accessed 15 December 2019 Available from: https://www.researchgate.net/publication/328578252_
- [8] Department of mineral resources (2019).**SilaWanna and Basalt Structure in Thailand.** Accessed 8 September 2019 Availablefrom: http://librarydmr.go.th/Document/DMR_Technical_Reports/2548/7751.pdf
- [9] Sirote Salayaphong (2016).**Functional characteristics of volcanic mineral rocks with highly porous firewood in agricultural use and as an alternative medicine.** Accessed 15 December 2019 Available from: <https://www.researchgate.net/publication/236147186>
- [10] Y. Ozcelika, A. Ozguvenb (2014).**Waterabsorption and drying features of different natural building stones.** Construction and Building Materials 63,pp.257–270
- [11] Pollution Control Department (2019). **The general air quality standards.** Accessed 10 February 2019 Available from: : <https://www.researchgate.net/pub-lication/236147186>
- [12] Pollution Control Department (2019). **Air pollution standards from stationary sources.** Accessed 10 February 2019 Available from: <https://www.researchgate.net/pub-lication/236147186>
- [13] P. Hartlieba,M. Toiflb, F. Kucharc, R. Meiselsc, T. Antretterb(2016).**Thermo-physical properties of selected hard rocks and their relation to micro-wave-assisted comminution.**Minerals Engineering 91,34–41