

เตาหุงต้มเพื่อใช้กับถ่านหินอัดก้อน



นาย สุชาติ อารีรุ่งเรือง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-197-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012363

i 10300065

COOKING STOVES FOR COAL BRIQUETTES

Mr. Suchart Areerungruang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-197-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เตาหุงต้มเพื่อใช้กับถ่านหินอัดก้อน
โดย นาย สุชาติ อารีรุ่งเรือง
ภาควิชา เคมี่เทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย) คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ กัญญา บุญเกียรติ) ประธานกรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ) อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต) กรรมการ

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เตาหุงต้มเพื่อใช้กับถ่านหินอัดก้อน
ชื่อนิสิต นาย สุชาติ อารีรุ่งเรือง
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสวรรณ
ภาควิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2529



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน ศึกษาลักษณะและความสะดวกในการใช้งานในเตาอั้งโล่ เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน เพื่อเป็นแนวทางนำถ่านหินอัดก้อนมาใช้ทดแทนถ่านไม้

การทดลองใช้เตาแบบและขนาดที่นิยมใช้ 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 24, 27 และ 30 เซนติเมตร พบว่าการถ่ายเทความร้อนในเตาหุงต้มในส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ และส่วนที่สูญเสียความร้อนในส่วนต่าง ๆ คือ ผนังเตาโดยรอบ ช่องลมด้านหน้า ช่องระหว่างกันภาชนะและขอบเตา และจากการสะสมความร้อนในตัวเตา เมื่อใช้ถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อนมีค่าใกล้เคียงกันมาก มีผลให้ประสิทธิภาพอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30-33 ของปริมาณความร้อนที่ให้จากเชื้อเพลิง การสูญเสียความร้อนส่วนใหญ่จากช่องว่างระหว่างกันภาชนะกับขอบเตามีค่าสูง ประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณความร้อนที่ให้จากเชื้อเพลิง การสูญเสียด้านอื่น ๆ มีค่าน้อย ในด้านการศึกษาลักษณะและความสะดวกในการใช้งาน พบว่าเตาอั้งโล่รูปแบบเดิมสามารถใช้กับถ่านหินอัดก้อนได้ แต่จะต้องดัดแปลงรังผึ้งให้มีลักษณะเป็นตะแกรงเหล็กที่มีพื้นที่ช่องว่างมากกว่าเดิม เพื่อความสะดวกในการเข้าจากห้องเผาไหม้ระหว่างการใช้งาน ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพคือ ความสูงของเชิงเทินเมื่อลดลง ประสิทธิภาพจะสูงขึ้น ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.7-1.1 เซนติเมตร ขนาดของช่องลมด้านหน้าและความหนาของรังผึ้งไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ ขนาดของภาชนะควรจะใหญ่กว่าเตาเล็กน้อย ปริมาณน้ำที่ใช้จะมีผลต่อประสิทธิภาพเล็กน้อย ปริมาณถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ควรใส่ประมาณ $2/3$ ของปริมาตรห้องเผาไหม้ สำหรับ

ชนิดของภาชนะหุงต้ม เช่น กาต้มน้ำ กระทะ หม้อแกง จะมีประสิทธิภาพการใช้งานต่าง ๆ กันไป เมื่อเทียบกับการใช้หม้ออลูมิเนียมและเมื่อนำถ่านหินอัดก้อนที่มีค่าความร้อนต่าง ๆ กัน ระหว่าง 3,100-4,300 แคลอรี/กรัม (ไม่รวมความชื้น) มาทดสอบการใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพและการสูญเสียความร้อนจากส่วนต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าเตาอั้งโล่แบบเดิมสามารถนำมาใช้งานกับถ่านหินอัดก้อนได้ โดยมีการดัดแปลงรังผึ้งให้สะดวกต่อการเขี่ยถ่านถ้ามีความจำเป็น และอาจทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้นได้บ้าง

Thesis Title Cooking Stoves for Coal Briquettes

Name Mr. Suchart Areerungruang

Thesis Advisor Associate Professor Somchai Osuwan, Ph.D.

Department Chemical Technology

Academic Year 1986



ABSTRACT

This research work is concerned with the analysis of heat transfer and the characteristics of traditional Thai bucket stove, employing wood charcoal and coal briquettes made from coal fines. The result will indicate the possibility of wood charcoal substitution by coal briquettes.

In the experiment, three traditional bucket stoves with outer diameter of 24, 27 and 30 centimeters were used. Heat transfer in the stove while burning coal briquettes and charcoal was analysed and compared. It is found that efficiency and heat loss from certain parts of the stove, i.e. stove wall, air inlet door, air outlet gap and accumulation in the stove, are not different. Stove efficiency is about 30-33 % of total heat from combustion. Heat loss from exhaust gap is the largest item, which is 50 % of total heat from combustion. In studying characteristics and convenience in using, the results indicate that original bucket stove can be used with coal briquettes but the grate should be replaced by an iron grate, having larger opening area than the former earthenware grate, to facilitate poking. When the height of the prongs was lowered, the efficiency increased. The

optimum height is between 0.7-1.1 centimeter. The size of air inlet door and the thickness of the grate do not affect efficiency. The size of aluminum pot should be a little bigger than the size of the stove to get high efficiency. The amount of water has little effect on efficiency. The optimum amount of coal briquettes should fill up about $\frac{2}{3}$ of combustion chamber volume. For other types of cooking utensils, e.g. kettles, woks and Indian pots, the efficiency obtained is different from that of aluminum pot. The experiment with coal briquettes of various heating values, between 3,100-4,300 cal/g (dry basis), showed about the same efficiency and heat losses. All in all, it can be concluded that the original bucket stove can be used with coal briquettes but its grate should be improved for ease of poking, if necessary, and that the stove efficiency can be improved to a certain extent.



กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ดูแลเป็นอย่างดีมาโดยตลอด รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ กราบขอบคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาในการสอบ และขอบคุณสำนักงานพลังงานแห่งชาติ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้อนุเคราะห์ให้ความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

ขอขอบคุณ บริษัท แพร่ลิคไนท์ จำกัด ที่ได้ตัวอย่างถ่านหินเพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบริษัทวิศวกรรมเคมี จำกัด ที่ช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหิน

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ในคณะวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน ในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายสุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ถ่านหินและการอัดก้อนถ่านหิน	4
2.2 เตาหุงต้ม	8
2.3 การถ่ายเทความร้อนในเตาหุงต้ม	23
2.4 ประสิทธิภาพการใช้งานของเตาหุงต้ม	28
2.5 ความร้อนที่สูญเสียตามส่วนต่าง ๆ ของเตาหุงต้ม	33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง	39
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	39
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	42
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	62
4.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ใช้	62
4.2 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในเตาหุงต้ม	65
4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาหุงต้ม ...	65
4.2.2 ผลการศึกษาค่าความร้อนที่สูญเสียตามส่วนต่าง ๆ ของเตา หุงต้ม	67

ก.	การสูญเสียทางผิวของเตาหุงต้ม	67
ข.	การสูญเสียทางช่องลมด้านหน้าของเตาหุงต้ม ..	68
ค.	การสูญเสียเนื่องจากสะสมอยู่ภายในตัวเตาหุงต้ม	69
4.2.3	ผลการวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมด โดยการแผ่รังสี	70
4.3	ผลการศึกษาลักษณะและความสะดวกในการใช้งาน	78
4.3.1	ผลการศึกษาปริมาตรของห้องเผาไหม้ในเตาหุงต้ม ..	78
4.3.2	ผลการศึกษาความสะดวกในการใช้งาน ในแง่การเติม เชื้อเพลิง การเขี่ย การจุดติด และการเก็บเต้าออก จากเตาหุงต้ม	80
4.3.3	ผลการศึกษาการปรับปรุง คัดแปลงรังผึ้งให้เหมาะสม กับการใช้ด้านหินอัดก้อน	84
4.3.4	ผลการศึกษาการเพิ่มความสูงของเตาหุงต้ม	90
4.3.5	ผลการศึกษาการตัดแปลงลักษณะที่วางภาชนะในเตา- หุงต้มเทียบกับเตาประสิทธิภาพสูงของกรมป่าไม้	93
4.4	ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเตาหุงต้ม โดยใช้ด้านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิง	94
4.4.1	ผลการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวกับตัวเตาหุงต้ม	94
ก.	ความสูงเชิงเติน	94
ข.	ขนาดของช่องลมด้านหน้า	95
ค.	ความหนาของรังผึ้ง	96
4.4.2	ผลการศึกษาตัวแปรที่ไม่เกี่ยวกับตัวเตาหุงต้ม	97
ก.	ขนาดของหม้ออลูมิเนียม	97
ข.	ปริมาณน้ำ	97
ค.	ปริมาณด้านหินอัดก้อน	98
ง.	ชนิดของภาชนะหุงต้มอื่น ๆ	99

บทที่	หน้า
4.5 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในเตาหุงต้มโดยใช้ด้านหิน- อิฐก้อนที่มีค่าความร้อนต่าง ๆ กัน	101
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	103
เอกสารอ้างอิง	109
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาปริมาณส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น ดินเหนียว ปูนขาว และน้ำ ที่เติมลงไปเพื่อผสมกับด้านหินในการทำ ด้านหินอิฐก้อน	115
ภาคผนวก ข. การคำนวณหาค่าความร้อนของด้านหินอิฐก้อน	116
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างข้อมูลและการคำนวณการถ่ายเทความร้อนในเตา	117
ภาคผนวก ง. การคำนวณร้อยละของปริมาณอากาศเกินพอ	130
ภาคผนวก จ. ลักษณะและขนาดของเตาประสิทธิภาพสูงกรมป่าไม้	131
ประวัติผู้เขียน	132

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งถ่านหินตามศักดิ์ โดยวิธี ASTM D388	4
2.2	การสำรวจปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหุงต้มทั่วประเทศ ในปี 2523 ...	5
2.3	ประสิทธิภาพการใช้งานของเตาหุงต้มประเภทต่าง ๆ ที่จำหน่ายใน ท้องตลาด	11
2.4	ผลการสำรวจการใช้เตาหุงต้มในครัวเรือนชนบท 50 หมู่บ้าน ทั่วประเทศ ปี 2525	12
3.1	ลักษณะของเตาอั้งโล่ทั้ง 3 ขนาด ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.2	สภาพการทดลองการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด	50
3.3	สภาพการทดลองการหาประสิทธิภาพการใช้งานแบบต่อเนื่องของเตา หุงต้มทั้ง 3 ขนาด	55
3.4	สภาพการทดลองการหาประสิทธิภาพการใช้งานแบบต่อเนื่องของเตา ขนาด 27 ซม. โดยใช้รังผึ้งที่ดัดแปลงใหม่ 2 แบบ	58
3.5	ชนิดของถ่านหินอัดก้อนที่มีค่าความร้อนต่าง ๆ กัน ที่ใช้ในการทดลอง	61
4.1	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินจากเหมืองบ้านปู	62
4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นและคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อน	63
4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นและค่าความร้อนของถ่านไม้	64
4.4	ผลของการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	66
4.5	ผลของการสูญเสียความร้อนจากผิวของเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบ- เทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	67
4.6	ผลของการสูญเสียความร้อนทางช่องลมด้านหน้าของเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	68

ตารางที่		หน้า
4.7	ผลของการหาการสูญเสียเนื่องจากสะสมอยู่ในตัวเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	69
4.8	ผลของการวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมด โดยการแผ่รังสีในเตาขนาด 30 ซม. เปรียบเทียบระหว่างวิธีวัดอุณหภูมิแล้วคำนวณ และวิธีหาโดยใช้เครื่องมือวัดโดยใช้ถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	70
4.9	ผลของการวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี และการพาความร้อนในเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	71
4.10	สรุปผลของการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน	76
4.11	ผลของการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเตาแบบต่อเนื่อง ในเตาหุงต้มทั้ง 3 ขนาด เปรียบเทียบระหว่างถ่านหินอัดก้อนและถ่านไม้ ..	81
4.12	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาแบบต่อเนื่อง และความยากง่ายในการเชื่อมของเตาขนาด 27 ซม. ซึ่งใช้ถ่านหินอัดก้อน โดยการใส่รังผึ้งที่ดัดแปลง 3 ชนิด	84
4.13	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาแบบต่อเนื่อง และความยากง่ายในการเชื่อมของเตาขนาด 27 ซม. ซึ่งใช้ถ่านหินอัดก้อน โดยการใส่ตะแกรงเหล็กที่มีระยะห่างของซี่ตะแกรง 1.2, 1.6 และ 2.0 ซม.	88
4.14	ผลของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ช่องว่างในรังผึ้งต่อประสิทธิภาพการใช้งานในเตาขนาด 27 ซม. โดยใช้ถ่านหินอัดก้อน	88
4.15	ข้อมูลของการวัดร้อยละของออกซิเจน ร้อยละคาร์บอนไดออกไซด์ และผลการหาร้อยละของปริมาณอากาศเกินพอเทียบกับเวลา เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อนในเตาขนาด 27 ซม.	90
4.16	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. ที่มี ความสูง 22, 27, 32 และ 37 ซม. โดยใช้ถ่านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิง	91

ตารางที่		หน้า
4.17	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบกับเตากรรมป่าไม้ โดยใช้หม้ออลูมิเนียมหลายขนาด ใช้ด้านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิง	93
4.18	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบกับความสูงเชิงเติน โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	94
4.19	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. ที่มี ความสูง 32 ซม. เปรียบเทียบกับขนาดของช่องลมด้านหน้า โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	95
4.20	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. ที่มี ความสูง 27 ซม. เปรียบเทียบกับความหนาของรังผึ้ง โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	96
4.21	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบกับขนาดหม้ออลูมิเนียม โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	97
4.22	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	98
4.23	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบกับปริมาณด้านหินอัดก้อนที่ใช้ โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	99
4.24	ผลของการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบระหว่างภาชนะหุงต้มที่ต่างกัน ที่ความสูงเชิงเติน 0.7 ซม. และ 1.4 ซม. โดยใช้ด้านหินอัดก้อน	100
4.25	ผลของการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบกับด้านหินอัดก้อนที่มีค่าความร้อนต่าง ๆ กัน	102

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปร่างของถ่านหินอัดก้อนแบบต่าง ๆ	7
2.2	A double-roll press	7
2.3	ส่วนประกอบ 3 ส่วน ที่จำเป็นของเตาหุงต้ม	9
2.4	ลักษณะของเตาอังโล่โดยทั่ว ๆ ไป	13
2.5	ลักษณะรูปร่างคร่าว ๆ ของเตา Jiko ในเคนยา	17
2.6	ลักษณะรูปร่างของเตา Feu Malgache ในแอฟริกาตะวันตก	18
2.7	ลักษณะรูปร่างของเตาในอินโดนีเซีย	18
2.8	ลักษณะรูปร่างของเตา Priyagni ในอินเดีย	19
2.9	ลักษณะรูปร่างของเตา Portable Magan Chulha ในอินเดีย ...	19
2.10	ลักษณะรูปร่างของเตา Louga ในซีกัลเหนือ	20
2.11	ลักษณะรูปร่างของเตา Magan ในอินเดีย	20
2.12	ลักษณะรูปร่างของเตา HERL ในอินเดีย	21
2.13	ลักษณะรูปร่างของเตา New PDI Family Cooker ในปากีสถาน .	22
2.14	การสูญเสียความร้อนตามส่วนต่าง ๆ ของเตาหุงต้มและภาชนะ	34
3.1	เครื่องบดถ่านหิน ชนิด Hammer Mill	43
3.2	เครื่องผสม (Mixer)	43
3.3	เครื่องอัดก้อนแบบ Double Ring Roll	44
3.4	เตาอังโล่ขนาด 24, 27 และ 30 ซม.	44
3.5	เตาอังโล่ (1) เปรียบเทียบกับเตาประสิทธิภาพสูงของกรมป่าไม้ (2)	45
3.6	เครื่องมือวัดความร้อนที่รับต่อหน่วยพื้นที่-เวลา (Heat flux meter)	45
3.7	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	46
3.8	เครื่องบันทึก (Recorder)	46
3.9	เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไฟฟ้า (Digital Thermocouple) และ หัววัดอุณหภูมิ	47

3.10	เครื่องมือวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน (Gas Analysers for Measuring Carbon Dioxide and Oxygen)	47
3.11	รังผึ้งที่คัดแปลง (1) ชนิดเดิม (2) ชนิดเชื่อม 2 รูให้ติดกัน (3) ชนิดเชื่อม 3 รูให้ติดกัน (4) ชนิดเชื่อมให้มีลักษณะเป็นช่องยาว ๆ	48
3.12	ตะแกรงเหล็กที่มีระยะห่างซี่ตะแกรง 1.2 ซม. (1), 1.6 ซม. (2) และ 2.0 ซม. (3)	48
3.13	รังผึ้งที่มีความหนาต่างกัน (1) 1.8 ซม., (2) 2.5 ซม., (3) 3.0 ซม., (4) 3.5 ซม. และ (5) 4.0 ซม.	49
3.14	เตาอังโล่ขนาด 27 ซม. ที่มีความสูง 27 ซม., 32 ซม. และ 37 ซม.	49
3.15	การวัดอุณหภูมิที่ผิวของเตาโดยรอบ ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไฟฟ้าพร้อมหัววัดแบบสัมผัสกับผิว	52
3.16	การวัดความร้อนที่สูญเสียทางช่องลมด้านหน้า โดยใช้เครื่องมือวัดความร้อน	52
3.17	การวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือวัดความร้อน	54
3.18	การวัดอุณหภูมิที่ปากเตาหุงต้มโดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	54
3.19	ลักษณะการวางพื้นและซี่ใต้เพื่อการจุดติดของด้านหินอัดก้อน	57
3.20	การใช้พัดลมขนาดเล็กเป่าลมเข้าทางช่องลมด้านหน้า เพื่อให้ควันหมดเร็วขึ้นของด้านหินอัดก้อน	57
3.21	การวัดร้อยละของออกซิเจนและร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ	60
3.22	ลักษณะที่วางภาชนะของเตาอังโล่เทียบกับเตาประสิทธิภาพสูงของกรมป่าไม้	60
4.1	ลักษณะของด้านหินอัดก้อนแบบรูปไข่ (Ovoid) เปรียบเทียบกับด้านไม้	65

4.2	กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาหุงต้มขนาด 24 ซม. เทียบกับเวลา	73
4.3	กราฟแสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาหุงต้มขนาด 24 ซม. เทียบกับเวลา	73
4.4	กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาหุงต้มขนาด 27 ซม. เทียบกับเวลา .	74
4.5	กราฟแสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาหุงต้มขนาด 27 ซม. เทียบกับเวลา	74
4.6	กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาหุงต้ม ขนาด 30 ซม. เทียบกับเวลา	75
4.7	กราฟแสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาหุงต้มขนาด 30 ซม. เทียบกับเวลา	75
4.8	สมมูลพลังงานของการใช้งานในเตาขนาด 27 ซม. เปรียบเทียบระหว่างด้านไม้และด้านหินอัคนี	77
4.9	กราฟแสดงความสูงของชั้นเชื้อเพลิงในเตาขนาด 24, 27 และ 30 ซม. เทียบกับน้ำหนักรวมความชื้นของเชื้อเพลิง	79
4.10	กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มทั้งหมดโดยการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งตรงกลางปากเตาขนาด 27 ซม. เทียบกับเวลา สำหรับการใช้งานแบบต่อเนื่อง เปรียบเทียบระหว่างด้านหินอัคนีและด้านไม้	82
4.11	ลักษณะการเผาไหม้ของด้านไม้ในระยะเริ่มแรก	85
4.12	ลักษณะการเผาไหม้ของด้านหินอัคนีในระยะเริ่มแรก	85
4.13	ลักษณะการเผาไหม้ของด้านไม้ในระยะลุกแดงเต็มที่	86
4.14	ลักษณะการเผาไหม้ของด้านหินอัคนีในระยะลุกแดงเต็มที่	86
4.15	ลักษณะเถ้าของด้านไม้เทียบกับด้านหินอัคนี	87
4.16	ร้อยละของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ด้านไม้ เทียบกับเวลา ในเตาขนาด 27 ซม.	92

รูปที่

หน้า

- 4.17 ร้อยละของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อน เทียบกับเวลา ในเตาขนาด 27 ซม. 92
- 5.1 ความร้อนในส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ และส่วนที่สูญเสียตามส่วนต่าง ๆ ของเตาขนาด 27 ซม. เมื่อเทียบกับความร้อนทั้งหมดที่ให้จากเชื้อเพลิงที่เท่ากัน เปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้และถ่านหินอัดก้อน 105