



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

(แผนงานวิจัย)

การศึกษาปัญหา การออกแบบ และ การปรับปรุงการใช้งานเตาเผาชีวมวล
สำหรับเครื่องปั้นดินเผาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
(กรณีศึกษา เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบลปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี)

**Problem Investigation, Design, and Validation
for Higher Efficiency Fired Clay Biomass Kiln
(Case Study of Pak Huay Wang Nong, Ubon Ratchathani)**

คณะผู้วิจัย

กุลเชษฐ์ เพียรทอง

ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์	อดุลย์ จรรยาเลิศยอดกุล
อำไพศักดิ์ ทิบุญญา	พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล
ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์	ทรงสุภาพุ่มชุมพล
สมญา ภูณะยา	นิรันคร์ หันไชยวงษา
นิติกร พรหมดวง	ธนรัฐ ศรีวีระกุล
นันทวัฒน์ วีระยุทธ	ชาคริต โพธิ์งาม
บรรชา บุคคาดี	อนิรุตต์ มัทธจักร

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประจำปีงบประมาณ 2547 และ 2548

รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาปัญหา และการออกแบบปรับปรุงการใช้งานเตาเผาชีวมวลสำหรับ เครื่องปั้นดินเผาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น:กรณีศึกษาเตาเผา เครื่องปั้นดินเผา ตำบลปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ผศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง

ที่ปรึกษาแผนงานวิจัย: ศ.ดร.ประกอบ วิโรจนกูฏ

หัวหน้าโครงการวิจัย;

- โครงการย่อยที่ 1: ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
- โครงการย่อยที่ 2: ผศ.ดร. อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์
- โครงการย่อยที่ 3: ผศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง
- โครงการย่อยที่ 4: ผศ.ดร. อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีงบประมาณ 2547-2548

งบประมาณที่ได้รับ 2,388,720 บาท

คำสำคัญ เตาเผาชีวมวล เตาเผาครก เครื่องปั้นดินเผา ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

บทคัดย่อ

แผนงานวิจัยนี้ศึกษาสถานภาพ และปัญหาการใช้งานของเตาเผาชีวมวลสำหรับการทำภาชนะดินเผา ที่เน้นกับการเผาครก เพื่อนำเอาข้อมูลไปพัฒนาเตาดั้งเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยสำรวจกรรมวิธีการผลิตเตาเผาครก ด้วยเตาเผาแบบชีวมวลที่ใช้ฟืน เป็นเชื้อเพลิง โดยเน้นการศึกษา กับกลุ่มผู้ผลิต ที่ บ้านปากห้วยวังนอง ต.ปทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ผลิตครกที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยในปัจจุบัน และส่งครกขายทั่วประเทศ ผู้ประกอบการจำนวน 38 รายได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยร่วมการวิจัย โดยให้ข้อมูลในการผลิต รวมทั้งเสนอปัญหา และ แนวทางในการแก้ไขบางประการ การติดตั้งเครื่องมือทดลอง การเก็บข้อมูล ต่างๆ ระหว่างการผลิต เช่น น้ำหนักฟืนที่ใช้ จำนวนครกที่บรรจุในเตา วัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในเตา รวมทั้งการตรวจสอบผลผลิต ปริมาณ และ ประเภทของเสีย ผลการเก็บข้อมูล พบว่า ผู้ประกอบการแทบทุกราย เผาครก ที่อุณหภูมิในเตาเผาสูงเกินความจำเป็น (มากกว่า 1000 องศาเซลเซียส) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน หรือ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเตาเผาต่ำกว่าที่ควรจะเป็น คืออยู่ระหว่าง 8-11% และปริมาณของเสีย เฉลี่ยประมาณ 15-20% และในแผนงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศร้อนในเตาเผาครก โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลขของอากาศพลศาสตร์ ที่เนื่องไปกับการไหลในสถานะต่างๆ กับเตารูปทรงต่างๆ ต่อการตัดสินใจเพื่อ

นำมาสร้างเป็นเตาดันแบบ จากนั้นทำการออกแบบเตาดันแบบ 3 หลัง โดยยึดหลักการการออกแบบ เตาเผาชีวมวล ผลการศึกษาจาก CFD และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง แล้วสร้างเตาดันแบบ 3 หลัง ที่บ้านผู้ประกอบการ 3 ราย ที่ให้ความร่วมมือ ในการศึกษา ทำการทดสอบเตาดันแบบ 3 ครั้ง เพื่อ ดูผลด้าน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ปริมาณของเสีย และ การใช้งานจริง ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา ดันแบบ อุบล-1 คือ 12.66 % ในขณะที่เตาอุบล-2 และ อุบล-3 มี ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เฉลี่ยที่ 14.11% และ 16.90 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณของเสียของเตา ดันแบบทั้งสามหลัง สามารถลดลงเหลือ ประมาณ 10-15% และ สามารถลดระยะเวลาในการผลิตได้ ประมาณ 0.5-1 วันหากผู้ประกอบการนำเตาดันแบบที่วิจัยได้นี้ไปใช้อย่างกว้างขวางก็จะสามารถลดการใช้พลังงานและเพิ่มผลผลิตได้

Project Plan Title: Problem Investigation, Design and Validation for Higher Efficiency Fired Clay Biomass-Kiln: Case Study at Pak Huay Wang Nong, Ubonratchathani

Head of Project Plan Asst. Prof. Dr. Kulachate Pianthong

Project Plan Consultant Prof. Dr. Prakorb Virojanakood

Head of sub-project

- Project 1: Asst. Prof. Dr.Chawalit thinvongpituk
- Project 1: Asst. Prof. Dr.Adun Janyalertadun
- Project 1: Asst. Prof. Dr.Kulachate Pianthong
- Project 1: Asst. Prof. Dr.Umphisak Teebooma

Responsibility Faculty of Engineering Ubon Ratchathani University

In Finance Year 2004-2005 for 2,388,720 - Baht

Keyword Biomass kiln, Wood-fired kiln, Fired clay, Thermal efficiency

Abstract

This research plan aims to investigate the current status and problem in the operation of big scale biomass kiln in the mortar (or fired clay) industry in order to improve the thermal efficiency of the current kilns. The survey was done through most of the kiln owners at Pak Huay Wang Nong or Patum village in Ubon Ratchthani province, where is the biggest mortar industry in Thailand. Thirty eight kiln owners were participated in the project providing the information in the production process and remedies. The data from each test such as weight of fuel (biomass), weight and number of mortar, and temperature along the kiln, were collected, including the defected products. It was found that most of the owner operated their kilns over heated where the temperature is too high. This causes too much energy lost and giving low thermal kiln efficiency which is around 8-11%, while the amount of defected product is between 15-20%. In this reach plan, the CFD technique was applied to simulate the hot air flow in the biomass kiln in order to design the prototype kiln. Three prototype kilns were then designed based on the biomass kiln design principle, CFD results, and practical aspects. Three prototype kilns were built and test at the co-operated owner factory. The tests revealed that the prototype Ubon-1 kiln gave 12.66% thermal efficiency, while the Ubon-2 and Ubon-3 gave 14.11% and 16.9% respectively. The defected products were being lower to 10-15% in all prototype kilns and the operating time could be reduced by 0.5-1 day. These research results will be very useful if the kiln owner apply the prototype kiln in the near future.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ขอขอบคุณผู้ประกอบการเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ต.ปากห้วยวังนอง จ.อุบลราชธานี ทุกที่ให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ข้อมูลและอนุญาตให้ผู้วิจัยทดสอบเตาเผา ขอขอบคุณเป็นพิเศษ สำหรับผู้ประกอบการ 3 แห่ง คือ คุณ บวร พงษ์พิระ คุณ ประกอบ โสสมแผ้ว คุณ สมชาย แซ่กอ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ให้สร้างเตาดั้นแบบ ทดลองการผลิต และตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยเฉพาะคุณ บวร พงษ์พิระ ผู้เป็นประธานกลุ่มผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผา ได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ต่อการวิจัย ในครั้งนี้ เป็นอย่าง ขอขอบคุณ อาจารย์ พิชญ์ ป้อมสินทรัพย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องปั้นดินเผา และเตาเผา ชีวมวลบ้านด่านเกวียน จ.นครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำในการวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล นายชฎานนท์ แสงมณี นายอดิศักดิ์ บุตรวงษ์ นายเทพนิมิตร มงคลเสริม นายพิชิต ศรีมันตะ นายปรัชญา มุกดา นายวิระพันธ์ สีหานาม ที่ช่วยทำการทดลองและเก็บข้อมูลการทดลอง อย่างขมักเขม้น ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยที่ผ่านมา รวมทั้งช่วยจัดเรียงข้อมูล ทำรูปเล่มรายงานการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเงินงบประมาณของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547-2548 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1-3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	1-3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	1-3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2-1 กรอบแนวความคิดและเชื่อมโยงของ โครงการวิจัยย่อย ภายใต้ชุดโครงการวิจัย	2-1
2.2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2-2
2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเผาเครื่องปั้นดินเผา	2-2
2.2.2 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา	2-9
2.2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา	2-24
2.2.4 ทฤษฎีการคำนวณการไหลเชิงพลศาสตร์	2-28
2.2.5 ชนิดของเตาเผาและหลักการออกแบบ	2-31
2.2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วิธีการวิจัย	3-1
3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในงานวิจัย	3-1
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย	3-1
3.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วลม	3-2
3.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส	3-3

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส	3-3
3.2.5 เครื่องวัดปริมาณความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา	3-4
3.2.6 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ	3-4
3.2.7 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	3-5
3.3 แหล่งที่มาของข้อมูล	3-6
3.4 โปรแกรม CFD ที่ใช้ในการวิจัย	3-7
บทที่ 4 ผลการวิจัย (ส่วนที่ 1)	
4.1 ผลการสำรวจข้อมูล	4-1
4.1.1 ผู้ประกอบการและเตาเผา	4-1
4.1.2 การปั่นครก	4-3
4.1.3 กระบวนการเผาครก	4-6
4.1.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเตาเผา	4-11
4.2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ	4-22
4.2.1 บริเวณหน้าเตา	4-27
4.2.2 บริเวณกลางเตา	4-29
4.2.3 บริเวณท้ายเตา	4-31
4.2.4 บริเวณปล่องไฟ	4-32
4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลา	4-33
4.3.1 กราฟแสดงถึงพฤติกรรมของอุณหภูมิในส่วนต่างๆของเตาเผา	4-33
4.3.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ	4-35
4.3.3 วิเคราะห์ผลจากการเก็บข้อมูล	4-43
4.4 ผลการศึกษาแผนที่ของเสีย	4-48
4.4.1 ขั้นตอนและวิธีการเก็บข้อมูลของเสีย	4-48
4.4.2 ประเภทของเสีย	4-48
4.4.3 ตำแหน่งการเกิดของเสียในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่พบทั่วไป	4-51
4.4.4 กรณีที่ทำให้เกิดของเสียโดยเกิดการผิดพลาดระหว่างการเผา	4-57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการวิจัย(ส่วนที่ 2)	
5.1 ผลการจำลองจาก CFD	5-1
5.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาครก	5-1
5.1.2 การทดสอบเบื้องต้นของการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์	5-3
5.1.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์	5-7
5.1.4 การศึกษาตัวแปรที่ใช้ออกแบบเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา	5-10
5.1.5 สรุปผลการศึกษากการจำลองการไหลด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์	5-19
5.2 เตาต้นแบบ	5-20
5.2.1 แนวคิดในการออกแบบ	5-20
5.2.2 แบบของเตาต้นแบบ	5-24
5.2.3 ผลการทดสอบเตาต้นแบบ	5-24
5.3 สรุป	5-39
บทที่ 6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลการวิจัย	6-1
6.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยี	6-1
6.1.1 การเสวนาปัญหาการผลิตและแนวทางการลดพลังงาน	6-1
6.1.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีเตาต้นแบบ	6-4
6.2 สรุป	6-8
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย	7-1
7.1 สรุปผลการวิจัย	7-1
7.2 ข้อเสนอแนะ	7-2
บรรณานุกรม	บ-1
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผาครก และ ผู้ประกอบการ	ผ-1
ภาคผนวก ข กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในเตา	ผ-38
ภาคผนวก ค แผนที่ของเสียของแต่ละผู้ประกอบการ	ผ-45
ภาคผนวก ง แบบรายละเอียดของเตาต้นแบบ	ผ-106
ภาคผนวก จ รายงาน คณะผู้ดำเนินงานวิจัย	ผ-114

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของดินที่เปลี่ยนไปในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	2-5
ตารางที่ 3.1 ที่อยู่และกำลังการผลิตของผู้ประกอบการทั้งหมด 38 ราย	3-6
ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลเบื้องต้นของผู้ประกอบการ	4-1
ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์ที่กำหนดแทนผู้ประกอบการ	4-10
ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดเตาของแต่ละผู้ประกอบการ	4-14
ตารางที่ 4.4 การแบ่งกลุ่มผู้ประกอบการตามปริมาตรสมมูลของเตา	4-15
ตารางที่ 4.5 ต้นทุนการผลิตและเงินที่ขายได้	4-17
ตารางที่ 4.6 ต้นทุนในการผลิตครั้งหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงแต่ละผู้ประกอบการ	4-19
ตารางที่ 4.7 ต้นทุนในการผลิตครั้งหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงแต่ละผู้ประกอบการ	4-20
ตารางที่ 4.8 แสดงช่วงเวลาในกระบวนการเผาครก	4-24
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบเวลาที่ในการเผาและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละช่วงของการเผา	4-34
ตารางที่ 4.10 ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน	4-37
ตารางที่ 4.11 แสดงผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน	4-39
ตารางที่ 4.12 แสดงผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน	4-41
ตารางที่ 4.13 ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน	4-43
ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละช่วงของการเผา	4-44
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครก	4-45
ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยของผู้ประกอบการที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ	4-45
ตารางที่ 5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาครก	5-1
ตารางที่ 5.2 กำหนดค่าในการคำนวณของเตาเผาครก	5-2
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการจำลองการไหลด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์	5-19
ตารางที่ 5.4 รายละเอียดเตาดั้งแบบ	5-21
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาดั้งแบบ	5-25

สารบัญรูปลภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1. การเชื่อมโยงของโครงการต่างๆ ในแผนงานวิจัย	2-1
รูปที่ 2.2 ลักษณะการหลอมตัวของโครงสร้างของดิน	2-5
รูปที่ 2.3 แสดงเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) บ้านด่านเกวียน	2-10
รูปที่ 2.4 แสดงปากเตาและเรือนเตาของเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) บ้านด่านเกวียน	2-11
รูปที่ 2.5 ภาพเตาเผาแบบขั้นบันไดของร้านดินเผา บ้านด่านเกวียน	2-12
รูปที่ 2.6 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาแบบ 2 ปาก บ้านด่านเกวียน	2-13
รูปที่ 2.7 เตาอุโมงค์ ที่ใช้ในการเผาเตาหุงต้ม จ.ราชบุรี	2-14
รูปที่ 2.8 บริเวณปากเตาอุโมงค์ จะเห็นช่องไฟบนและช่องไฟล่าง	2-15
รูปที่ 2.9 ภาพสเก็ตลักษณะของเตาแบบเตาอุโมงค์ สำหรับเผาเตาหุงต้มที่ จ.ราชบุรี	2-15
รูปที่ 2.10 ภาพสเก็ตลักษณะของเตามังกร สำหรับเผาโอ่งดินเผาราชบุรี	2-17
รูปที่ 2.11 ภาพด้านข้างลำตัวเตามังกร มีลักษณะคล้ายประทุนยาว	2-19
รูปที่ 2.12 สภาพภายในของห้องเผาของเตามังกร	2-19
รูปที่ 2.13 ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของชาวชุมชนเกาะเกร็ด	2-21
รูปที่ 2.14 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของชาวชุมชนเกาะเกร็ด	2-22
รูปที่ 2.15 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของชาวชุมชนเกาะเกร็ด	2-22
รูปที่ 2.16 แสดงภาพเตาเผาที่บ้านปากห้วยวังนอง	2-23
รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบของเตาเผา	2-24
รูปที่ 2.18 สมดุลความร้อนในเตาเผาครก	2-26
รูปที่ 2.19 เตาชนิดต่างๆ แบ่งตามทิศทางการไหลของลมร้อน	2-33
รูปที่ 2.20 หลักการออกแบบเตารูปทรงสี่เหลี่ยม	2-34
รูปที่ 2.21 หลักการออกแบบเตารูปทรงสี่เหลี่ยม	2-34
รูปที่ 2.22 การเคลื่อนที่ของเปลวไฟและความร้อน	2-35
รูปที่ 2.23 การกำหนดขนาดเรือนไฟของเตาพื้น ชนิด cross draft	2-35
รูปที่ 2.24 การประมาณขนาดของปล่องไฟ ปากเตา และ ปล่องไฟ	2-36
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดปริมาณแก๊สไอเสีย	3-2
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดความเร็วลม	3-2
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบสัมผัส	3-3

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส	3-3
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา	3-4
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ	3-5
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า	3-5
รูปที่ 3.8 หน้าต่าง โปรแกรมของ	3-9
รูปที่ 4.1 เครื่องบดดิน	4-4
รูปที่ 4.2 กรรมวิธีการปั้นขึ้นรูป	4-4
รูปที่ 4.3 การฝังครกให้แห้งเตรียมเข้าสู่เตาเผา	4-5
รูปที่ 4.4 การจัดวางครกในเตาเผา	4-6
รูปที่ 4.5 การอุ่นเตา	4-7
รูปที่ 4.6 การเร่งไฟ เมื่อครกเริ่มสุกแดง จะใช้ปากเตาบน และ เปลวไฟออกที่ปล่องไฟ	4-8
รูปที่ 4.7 ครกที่เย็นตัวแล้วรอการคัดแยก	4-9
รูปที่ 4.8 แสดงภาพเตาเผาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	4-12
รูปที่ 4.9 แสดงส่วนประกอบของเตาเผา	4-12
รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งต่างๆที่วัดขนาดเตาเผา	4-13
รูปที่ 4.11 แสดงจุดวัดอุณหภูมิ (มองจากด้านบนของตัวเตาเผา)	4-23
รูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล	4-23
รูปที่ 4.13 Data Logger และ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด	4-23
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา	4-26
รูปที่ 4.15 ตำแหน่งของกลุ่มหน้าเตา	4-28
รูปที่ 4.16 กราฟของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มหน้าเตา	4-28
รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของกลุ่มกลางเตา	4-29
รูปที่ 4.18 กราฟของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มกลางเตา	4-30
รูปที่ 4.19 ตำแหน่งของกลุ่มท้ายเตา	4-31
รูปที่ 4.20 กราฟของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มท้ายเตา	4-31
รูปที่ 4.21 ตำแหน่งของกลุ่มปล่องไฟ	4-32
รูปที่ 4.22 ของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มปล่องไฟ	4-33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.23 กราฟของอุณหภูมิเฉลี่ย	4-34
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 30	4-36
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 57	4-38
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 64	4-40
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 67	4-42
รูปที่ 4.28 ลักษณะของเสียประเภทแตกแบบผ่า	4-49
รูปที่ 4.29 ลักษณะของเสียประเภทแตกแบบแหวน	4-49
รูปที่ 4.30 ลักษณะของเสียประเภทสี (สีแดง)	4-50
รูปที่ 4.31 ลักษณะของเสียประเภทติดซีเมนต์	4-50
รูปที่ 4.32 ลักษณะของเสียประเภทบิดเบี้ยว บิ่น	4-51
รูปที่ 4.33 บริเวณที่พบของเสียแบบแตกผ่ามากที่สุด	4-52
รูปที่ 4.34 บริเวณที่พบของเสียแบบผิวดสีมากที่สุด	4-53
รูปที่ 4.35 บริเวณที่พบของเสียแบบผิวดสีที่เกิดจากครกกลม	4-54
รูปที่ 4.36 บริเวณที่พบของเสียแบบผิวดสีที่เกิดจากครกกลม	4-55
รูปที่ 4.37 บริเวณที่พบของเสียแบบเบี้ยว บิ่น	4-56
รูปที่ 4.38 การเกิดการล้าของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเผา	4-57
รูปที่ 4.39 การเกิดการของเสียที่เกิดจากการระเบิดของครก	4-58
รูปที่ 4.40 การเกิดของเสียแบบผิวดสีเนื่องจากการใช้อุณหภูมิระหว่างการเผาต่ำเกินไป	4-59
รูปที่ 4.41 การเกิดของเสียแบบบิดเบี้ยวเนื่องจากการใช้อุณหภูมิระหว่างการเผาสูงเกินไป	4-60
รูปที่ 5.1 กริดและเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณของเตาเผาใน CFD	5-2
รูปที่ 5.2 Geometry ของปัญหา โดยวิเคราะห์เฉพาะการไหลภายในเตา	5-4
รูปที่ 5.3 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา	5-4
รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของอากาศร้อนในแต่ละส่วนภายในเตาเผา	5-5
รูปที่ 5.5 Geometry ของปัญหา พิจารณาการไหลของอากาศภายนอกเตา	5-5
รูปที่ 5.6 ขนาดของความเร็วของอากาศภายในและภายนอกเตาเผา	5-6
รูปที่ 5.7 การกระจายตัวของอากาศร้อนภายนอกและภายในเตาเผา	5-6
รูปที่ 5.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในเตา กรณีปล่องไฟมีขนาดเล็ก	5-7

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.9 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในเตา กระจกปล่องไฟสูง	5-8
รูปที่ 5.10 ขนาดของความเร็วอากาศภายในเตา กระจกปล่องไฟมีขนาดเล็ก	5-8
รูปที่ 5.11 ความเร็วของอากาศภายในเตา กระจกปล่องไฟสูง	5-9
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างรูปร่างเตาแบบหลังหยักที่ได้จากการสำรวจ	5-10
รูปที่ 5.13 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาดั้งเดิม	5-11
รูปที่ 5.14 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในเตาเผาของเตาดั้งเดิม	5-11
รูปที่ 5.15 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังตรง	5-12
รูปที่ 5.16 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในของเตาหลังตรง	5-12
รูปที่ 5.17 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในของเตาหลังตรง	5-13
รูปที่ 5.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในของเตาหลังหยัก	5-13
รูปที่ 5.19 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังเต่า	5-14
รูปที่ 5.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในของเตาหลังเต่า	5-14
รูปที่ 5.21 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังเหลี่ยม	5-15
รูปที่ 5.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในของเตาหลังหยัก	5-15
รูปที่ 5.23 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ 1	5-16
รูปที่ 5.24 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาออกแบบ 1	5-16
รูปที่ 5.25 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ 2	5-17
รูปที่ 5.26 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาออกแบบ 2	5-17
รูปที่ 5.27 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ 3	5-18
รูปที่ 5.28 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาออกแบบ 3	5-18
รูปที่ 5.29 เตาอุบล-1 ขณะดำเนินการก่อสร้าง ณ บ้านนายบวร พงษ์พีระ	5-22
รูปที่ 5.30 เตาอุบล-2 ขณะดำเนินการก่อสร้าง ณ บ้านนายประกอบ โสมแผ้ว	5-23
รูปที่ 5.31 เตาอุบล-3 ขณะดำเนินการก่อสร้าง ณ บ้านนายสมชาย แซ่กอ	5-23
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงอุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ	5-26
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงอุณหภูมิจากหน้าเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-26
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงอุณหภูมิจากกลางเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-27
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงอุณหภูมิจากหลังเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-27

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงอุณหภูมิปล่องควันที่เวลาต่าง ๆ	5-28
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงอุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ	5-28
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงอุณหภูมิหน้าเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-29
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงอุณหภูมิกกลางเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-29
รูปที่ 5.40 กราฟแสดงอุณหภูมิลังเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-30
รูปที่ 5.41 กราฟแสดงอุณหภูมิปล่องควันที่เวลาต่าง ๆ	5-30
รูปที่ 5.42 กราฟแสดงอุณหภูมิหน้าเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-31
รูปที่ 5.43 กราฟแสดงอุณหภูมิกกลางเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-31
รูปที่ 5.44 กราฟแสดงอุณหภูมิลังเตาที่เวลาต่าง ๆ	5-32
รูปที่ 5.45 กราฟแสดงอุณหภูมิปล่องไฟที่เวลาต่าง ๆ	5-32
รูปที่ 6.1 การเสวนาและแลกเปลี่ยนความรู้ในห้องบรรยาย	6-1
รูปที่ 6.2 เริ่มพบปะที่ บ้านประธานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา	6-2
รูปที่ 6.3 แลกเปลี่ยนความคิดเห็นในช่วงเริ่มต้น	6-2
รูปที่ 6.4 เยี่ยมชม ให้คำแนะนำที่บ้านนาย สมชาย แซ่กอ	6-3
รูปที่ 6.5 อ.พิช ป้อมสินทรัพย์ แสดงวิธีการใช้โคน ในเตาเผา	6-3
รูปที่ 6.6 การจัดงานสัมมนา ถ่ายทอดความรู้และเผยแพร่เตาดินแบบ ที่ โรงแรม ลายทอง	6-4
รูปที่ 6.7 บรรยากาศขณะลงทะเบียน หน้าห้องสัมมนา	6-4
รูปที่ 6.8 บรรยากาศภายในห้องสัมมนา ณ โรงแรม ลายทอง	6-5
รูปที่ 6.9 บรรยายผลการเก็บข้อมูล และ ผล CFD	6-5
รูปที่ 6.10 บรรยายข้อดี ข้อเสีย ของเตาดินแบบ โดย ผู้วิจัย และ ผู้ร่วม โครงการ	6-5
รูปที่ 6.11 ป้ายแสดงรายละเอียดเตาดินแบบทั้ง 3 หลัง ที่บ้านผู้ประกอบการ	6-6
รูปที่ 6.12 เดินทางไปเยี่ยมชมเตาอุโมงค์ดั้งเดิม หลังแรกของชุมชน ริมแม่น้ำมูล	6-6
รูปที่ 6.13 เยี่ยมชมเตาดินแบบ หลังที่ 1 ที่บ้าน นายบวร พงษ์พิระ	6-7
รูปที่ 6.14 เยี่ยมชมเตาดินแบบ หลังที่ 2 บ้าน นายประกอบ โสมแผ้ว	6-7
รูปที่ 6.15 เยี่ยมชมเตาดินแบบ หลังที่ 3 บ้าน นายสมชาย แซ่กอ	6-7

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนปัจจุบัน เป็นที่ทราบกันดีว่า ตำบลปทุม (หรือนิยมเรียกว่า ปากห้วยวังนอง ซึ่งเป็นชื่อเดิมในอดีต) อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี เป็นแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และของประเทศไทย มีผลิตภัณฑ์หลักคือ ครกดินเผา กระถางดินเผา และโอ่งดินเผา โดยส่วนใหญ่ผู้ประกอบการผลิตเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก และมีผู้รับซื้อส่งออกไปจำหน่ายทั่วประเทศ รวมทั้งต่างประเทศ โดยเฉพาะ ครกดินเผา ต. ปากห้วยวังนอง ถือว่าเป็นผู้ผลิต (supplier) รายใหญ่ของประเทศไทย เครื่องปั้นดินเผาเหล่านี้สร้างรายได้เสริมให้แก่ชาวบ้านนอกจากการทำกรเกษตร รวมถึงเป็นรายได้หลัก ให้ผู้ประกอบการหลายราย ในกระบวนการผลิตนั้นผู้ประกอบการยังใช้เตาเผาที่ก่อด้วยอิฐเผา หรือดินเหนียว ปั้นขึ้นรูป ลักษณะเตาเผายังเป็นเตาแบบโบราณซึ่งใช้กันมานาน อาจผ่านการปรับปรุงมาบ้างแต่เพียงเล็กน้อย เชื้อเพลิงที่ใช้ ในการเผาให้ความร้อน ใช้ไม้ฟืนเป็นหลัก เพราะราคาถูก หาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีขบวนการใช้ไม้ซับซ้อนเหมือนเชื้อเพลิงอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันแหล่งเชื้อเพลิงไม้ฟืน ของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ลดลงเป็นจำนวนมาก ผู้ประกอบการจำเป็นต้อง ใช้วิธีจัดซื้อไม้ฟืนเพื่อประกอบการผลิต ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นประกอบกับผู้ประกอบการผลิตส่วนใหญ่ยัง ขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการใช้ไม้ฟืนอย่างมีประสิทธิภาพอาศัยเพียงประสบการณ์ของช่างเผา ไม่เกิดการประหยัดในการใช้เชื้อเพลิง จะเห็นได้จากการใช้ไม้ฟืนจำนวนมากในแต่ละรอบการผลิต เช่นในรอบการเผาครกขนาดกลางจำนวน 3,000 ใบ ต้องใช้ไม้ฟืนหลายพันกิโลกรัม และได้ประสิทธิภาพของเตาเผาค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า) โครงการนี้ถือเป็นความพยายามที่สำคัญอันหนึ่งที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวลอย่างแท้จริง และคาดว่า ผลการศึกษานี้จะสามารถนำไป ใช้ได้จริงกับชุมชนปากห้วยวังนอง หรือประยุกต์ใช้กับเตาเผาชนิดอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันได้อีกด้วย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เห็นถึงความสำคัญของอุตสาหกรรมเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา อันเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนของท้องถิ่น และได้เล็งเห็นว่าเตาเผาแบบ ที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันนั้นยังสามารถที่จะพัฒนาและปรับปรุงได้อีกมาก จึงได้เสนอโครงการขึ้นเพื่อศึกษา ปรับปรุง ออกแบบ และทดสอบเตาเผา ที่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม รวมถึงความเป็นไปได้ที่จะลดมลพิษจากการเผาไหม้ที่ไม่มีประสิทธิภาพ (เผาไหม้ไม่สมบูรณ์) และการลดการสูญเสียเชิงความร้อน (heat loss) อีกด้วย

ประกอบกับการใช้เทคนิคการคำนวณการไหลเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics, CFD) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าว จะทำให้สามารถลดความยุ่งยากของขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และช่วยในการออกแบบเตาต้นแบบ โดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างเตาต้นแบบขึ้นมาหลายๆ แบบเพื่อที่จะทำการศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพ การประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้าน CFD ก่อนข้างเป็นที่ยอมรับ และแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมการออกแบบทางด้านวิศวกรรมยานยนต์ วิศวกรรมการบิน และได้มีการประยุกต์ใช้กับงานอีกหลายประเภท เช่น ทางด้านการออกแบบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมพลาสติก การศึกษาด้านการแพทย์ การออกแบบเตาเผาในอุตสาหกรรม และการออกแบบระบบการระบายอากาศและความร้อนในอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ดังนั้นการนำโปรแกรม CFD เข้ามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเตาเผาชีวมวลในอุตสาหกรรมครัวเรือน ทำให้เราสามารถที่จะเปลี่ยนค่า และกำหนดค่าตัวแปรได้มากมายจากการใช้เทคนิคดังกล่าว เราสามารถที่จะได้ข้อมูลจากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลขมากมาย เช่น ข้อมูลการกระจายตัวของความร้อนภายในเตา การไหลวนของอากาศภายในเตา และอื่นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจจากการใช้เทคนิคดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างถูกต้อง และแม่นยำ อีกทั้งยังง่ายต่อการปรับเปลี่ยนรูปแบบ และโครงสร้างของเตาโดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างเตาต้นแบบขึ้นมาหลายๆ แบบเพื่อทดสอบซึ่งสามารถลดการสิ้นเปลืองวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องมือต้นแบบได้อย่างมาก อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเวลา ในการทำการทดลองกับเครื่องมือจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อรวบรวมและสรุปปัญหาของการใช้เตาเผาชีวมวล ในปัจจุบัน
2. เพื่อออกแบบ (re-design)เตาเผาชีวมวลสำหรับเครื่องปั้นดินเผาใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
3. เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้สมัย (CFD) กับการออกแบบในอุตสาหกรรมชุมชน
4. เพื่อสร้างและทดสอบ เตาเผาที่ออกแบบใหม่ โดยเปรียบเทียบกับเตาเผาที่มีอยู่เดิม (ด้านความร้อน สูญเสีย, ด้านการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง, และราคาต้นทุนที่ลดลง)
5. เสนอข้อสรุปในการออกแบบและสร้างเตาเผาประสิทธิภาพสูงได้ และส่งเสริมให้มีการนำมาใช้ได้จริง
6. เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอย่างประหยัดและคุ้มค่า ซึ่งหมายถึงการลดการตัดไม้ทำลายป่า และลดปัญหาของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (global warming) ได้อีกด้วย
7. เพื่อเป็นการส่งเสริมนโยบายหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ให้ก้าวหน้าไปด้วยดี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

จะเน้นที่การศึกษาเกี่ยวกับ เต่าเผา เครื่องปั้นดินเผา โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ของชุมชน ตำบล ปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี แผนงานวิจัยนี้จะเริ่มทำการวิจัยตั้งแต่การเก็บข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด การใช้ CFD Softwares ช่วยในการวิเคราะห์ และออกแบบ ไปจนถึงการออกแบบและสร้างเตาดั้งเดิม พร้อมทั้งส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ใช้งานจริง มีการนำเตาดั้งเดิมไปใช้งานจริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถลดต้นทุนการผลิต (สร้างมูลค่าเพิ่ม) ให้กับอุตสาหกรรมในครัวเรือนของชุมชนได้
2. ผู้ผลิตสามารถใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอย่างมีประสิทธิภาพ และลดมลภาวะทางอากาศเนื่องจากการใช้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพต่ำ
3. ลดการตัดไม้ทำลายป่า และลดปัญหาของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (global warming) ได้อีกด้วย
4. ลดมลภาวะทางอากาศเนื่องจากการใช้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพต่ำ ในบริเวณรอบชุมชนที่อยู่อาศัย
5. ผู้ประกอบการ เข้าใจถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่า
6. เป็นข้อมูลหรือกรณีตัวอย่างในการออกแบบเตาชีวมวลอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย ของแผนงานวิจัยนี้ สามารถกล่าวโดยรวมได้ดังนี้

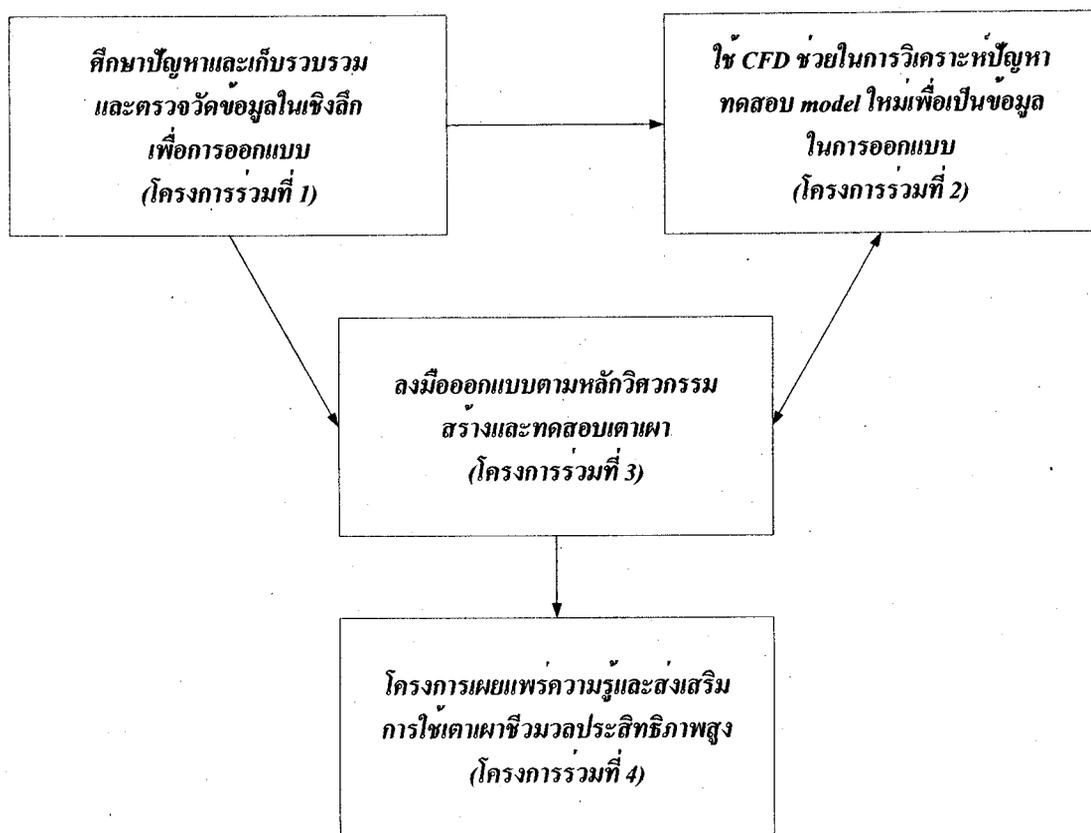
1. สํารวจจำนวนผู้ประกอบการเตาเผาทั้งหมดใน ตำบลปากห้วยวังนอง ขอความร่วมมือ ในการ เก็บข้อมูล รวมทั้งสำรวจเตาเผาลักษณะเดียวกัน ในพื้นที่อื่นๆ
2. ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเตาเผา สรุปผลการศึกษา เพื่อ เป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการทราบ ปัญหาของตนเอง และนำมาใช้ในการออกแบบ
3. ศึกษาการทำงานของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา เพื่อ ช่วยลดการใช้พลังงาน และปริมาณของเสีย
4. ใช้ CFD ศึกษาการไหล ของอากาศร้อน ในเตาเผา และ ช่วยในการออกแบบ เตาดั้งเดิม
5. ออกแบบเตาดั้งเดิม อย่างน้อย 3 แบบ สร้าง และ ทำการทดสอบ อย่างน้อยหลังละ 3 ครั้ง
6. ถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยี การผลิต ที่วิจัยได้ ให้ผู้ประกอบการและผู้สนใจ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรอบแนวคิดและความเชื่อมโยงของโครงการวิจัยย่อย ภายใต้ชุดโครงการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น [1] พบว่า การใช้เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ที่ ต. ปากห้วยวังนอง ยังมีการสูญเสีย (ทั้งด้านความร้อน และ กำลังการผลิต) อยู่มาก โดยเฉพาะในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน สาเหตุหนึ่งมาจากการใช้เตาเผาที่ออกแบบไม่ดีพอ ปัญหาที่ตามมาก็คือ การเกิดมลภาวะไอเสียมากเกินไป และอาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีราคาต้นทุนสูงเกินความจำเป็น แผนงานวิจัยนี้จะเริ่มทำการวิจัยตั้งแต่การเก็บข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด การใช้ CFD package ช่วยในการวิเคราะห์ และออกแบบ ไปจนถึงการออกแบบ และสร้าง พร้อมทั้งส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ใช้งานจริง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1. การเชื่อมโยงของ โครงการต่างๆ ในแผนงานวิจัย

โดยในแผนงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยโครงการวิจัยย่อยดังนี้

โครงการที่ 1: การสำรวจและศึกษาระบบการผลิตและประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบลปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (An Intensive Study on the Ceramics Baking Process using Biomass-Kiln: Case Study at Pak-Huay-Wang-Nong, Ubon Ratchathani)

โครงการที่ 2: การศึกษาการทำงานของเตาเผาชีวมวลเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพเชิงความร้อนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบล ปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (The Investigation of Biomass-Kiln and Its Development and Improvement of Thermal Efficiency using the Technique of Computational Fluid Dynamics (CFD): Case Study of Pak-huay-wung-nong Biomass Kiln Ubon Ratchathani)

โครงการที่ 3: การออกแบบและทดสอบเตาเผาชีวมวล สำหรับเครื่องปั้นดินเผาแบบประสิทธิภาพสูง: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบล ปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (Design and Validation of High Efficiency Fired Clay Biomass Kiln: Case Study at Pak-Huay-Wang-Nong, Ubon Ratchathani)

โครงการที่ 4: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การใช้เตาเผาชีวมวลประสิทธิภาพสูง: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบลปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (Technology Transfer and Enhancement on the Use of High Efficiency Fired Clay Biomass Kiln : Case Study at Pak Huay Wang Nong, Ubon Ratchathani)

2.2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเผาเครื่องปั้นดินเผา

2.2.1.1 คุณลักษณะของดิน

ดินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการทำเครื่องปั้นดินเผา ดังนั้นก่อนที่จะกล่าวถึงเครื่องปั้นดินเผา คณะวิจัยจึงขอกล่าวถึงคุณสมบัติของดิน และอิทธิพลที่มีต่อดิน ดินมีหลายประเภท โดยดินทุกประเภทมีสูตรโครงสร้างทางเคมีหลักคือ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ แต่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แม้ว่าจะเป็นดินชนิดเดียวกัน โดยปกติ ดินดำจะมีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ ที่เหนียวไดออกไซด์ และปริมาณมลทินที่หายไปหลังเผาสูงกว่าดินขาวเล็กน้อย ส่วนดินแดงจะมีปริมาณของเฟอร์ริกออกไซด์สูงกว่าดินทุกประเภท

ก. คุณสมบัติทั่วไปของดิน

1. ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size) ดินขาว จะมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.5-10 ไมโครเมตร ส่วนดินดำ มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า โดยขนาดของเม็ดดินมีความสำคัญต่อความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้ง โดยดินที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จะมีความเหนียวมาก และหดตัวเมื่อแห้งสูงกว่า เพราะเมื่อน้ำระเหยออกจาก

โครงสร้าง อนุภาคที่เล็ก สามารถจัดเรียงตัวได้ใกล้ชิด และแน่นกว่า อนุภาคใหญ่

2. สีของดินก่อนเผา สีของดินที่ยังไม่ได้เผามักเกิดจากเฟอร์ริกออกไซด์ และ สารประกอบคาร์บอน (Carbonaceous Matter) ในดิน นอกจากนี้บางครั้งอาจมีแมงกานีสออกไซด์ หรือทิตเนียม-ไดออกไซด์ ปนด้วย ดินที่ไม่มีองค์ประกอบ หรือมลทินเหล่านี้จะมีสีขาวเสมอ โดยดินที่มีสีดำ หรือสีเทา ก่อนเผา ได้แก่ดินดำ ส่วนดินแดง ก่อนเผาจะมีสีน้ำตาล สีเทา หรือสีดำ ส่วนดินขาว อาจเป็นสีขาวหรือสีครีมซึ่งอาจเนื่องมาจากทั้งทิตเนียมไดออกไซด์หรือความชื้นก็ได้

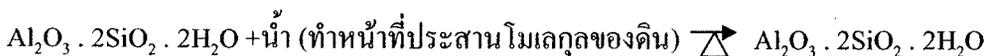
3. สีของดินหลังเผาส່วนมากเป็นผลมาจาก เฟอร์ริกออกไซด์และทิตเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากหลังการเผาสารประกอบคาร์บอนจะแตกตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon Dioxide; CO₂) จึงไม่มีอิทธิพลต่อสีของดินหลังเผา ส่วนเฟอร์ริกออกไซด์ จะให้สีแตกต่างกันเมื่อเผาอุณหภูมิต่างกัน เช่น ให้สีส้ม-แดง ที่อุณหภูมิ ประมาณ 700-1,000 องศาเซลเซียส แต่ถ้าที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จะให้สีน้ำตาลแดง หรือสีน้ำตาลดำ พบได้ในดินแดง โดยที่เฟอร์ริกออกไซด์เหล่านี้อาจกำจัดออกได้บ้าง ดินที่นิยมกำจัดเฟอร์ริกออกไซด์ออกคือดินขาว นอกจากเฟอร์ริกออกไซด์แล้ว ในดินทุกประเภทจะมีองค์ประกอบของทิตเนียมไดออกไซด์ มีผลทำให้เกิดสีฟางหลังการเผา ไม่สามารถกำจัดออกได้ การพิจารณาคุณภาพของดินขาว ปริมาณทิตเนียมไดออกไซด์ในองค์ประกอบทางเคมีเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการพิจารณาด้วยเช่นกัน

4. การหดตัวหลังเผา (Firing Shrinkage) ดินจะมีการหดตัวหลังเผาแตกต่างกัน แล้วแต่มลทิน (Impurities) ที่ปะปนมาในดิน ดินขาว จะหดตัวประมาณ ร้อยละ 10-13 ที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่า ดินดำ เนื่องจากดินดำมีอนุภาคเล็กกว่า มีมลทินมากกว่านั่นเอง แต่กรณีดังกล่าวไม่ใช่เสมอไป เพราะดินบางแหล่งมีปริมาณของทรายมาก การหดตัวจะต่ำกว่า

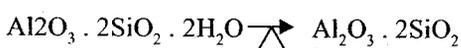
ข. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินเมื่อได้รับความร้อน

เมื่อดินได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดังต่อไปนี้

Mechanical Dehydration : 20-150 °C



Chemical Dehydration : 150-400 °C



Oxidation Period : 400-600 ° C

(Fe_3O_4) $\xrightarrow{\Delta}$ ให้สีแดงและดำ

Vitrification Period : 900 ° C ขึ้นไป

$3Al_2O_3 + 2SiO_2 \xrightarrow{\Delta} 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (mullite)

ก. อิทธิพลความร้อนที่มีต่อดิน

เมื่อ โครงสร้างดินได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้ ซึ่งในช่วงของการระเหยของน้ำ (Dehydration Period) แบ่งออกเป็น 2 ระยะได้แก่

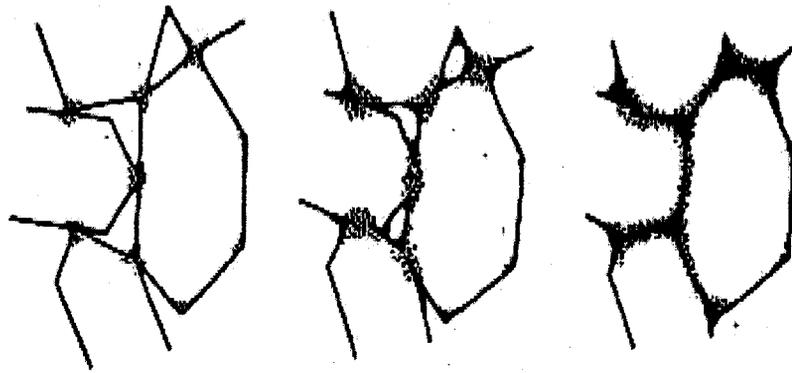
1. สูญเสียน้ำนอกโครงสร้างของดิน (Mechanical Dehydration หรือ Water Smoking) เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 20-150 องศาเซลเซียส ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคือ น้ำที่ใช้ผสมเพื่อการขึ้นรูป หรือความชื้นในบรรยากาศที่เข้าไปอยู่ในดิน จะเริ่มระเหยออกมา เมื่อน้ำส่วนนี้ระเหยออกหมด ดินจะมีสภาพที่แข็งแรงกว่าเดิม และหากนำดินมาผสมกับน้ำ สามารถที่จะขึ้นรูปได้อีก เพราะดินยังมีความเหนียวอยู่

2. สูญเสียน้ำในโครงสร้างของดิน (Chemical Dehydration หรือ Chemical Water Smoking) เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 150-600 องศาเซลเซียส ถ้าให้ความร้อนแก่ดินต่อจากระยะแรก โมเลกุลของดินจะเริ่มแตกตัว และส่วนที่เป็นน้ำในโครงสร้างจะระเหยออกไป เหลือดิน ในรูปของเมตะคาโอลิน(Meta Kaolin; $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) ถ้าหยุดเผาแล้วนำดินไปผสมน้ำอีกครั้ง ดินจะไม่สามารถมีความเหนียวได้อีก

3. ช่วงของการเผาไหม้มลทิน (Oxidation Period) ได้แก่ช่วงของการที่สารประกอบคาร์บอนเนต ซัลไฟด์ และซัลเฟต ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และแตกตัวออกไปเป็นก๊าซ ซึ่งในช่วงนี้จะทำให้สมบัติทางฟิสิกส์ของดินเปลี่ยนไปตามอิทธิพลของสารประกอบนั้น เช่น สี น้ำหนัก ความพรุนตัว เป็นต้น

4. ช่วงหลอมตัวเกิดโครงสร้างใหม่ (Vitrification Period) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียส ดินจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. ส่วนผสมในเนื้อดินบางชนิดเริ่มหลอมละลาย
2. ส่วนที่หลอมจะพยายามละลายส่วนที่ไม่หลอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. ส่วนที่ละลายจะไหลไปตามช่องว่างทำให้เนื้อดินแน่นทึบขึ้น
4. หากมีส่วนผสม และอุณหภูมิที่พอเหมาะ อาจเกิดการตกผลึกใหม่ในเนื้อดินได้ (ดังรูปที่ 2.2) ทั้งนี้เพราะ Al_2O_3 และ SiO_2 ในเนื้อดินจะรวมตัวกันเป็นมัลไลต์ (Mullite; $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม ทำให้ดินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ถ้าเนื้อดินมีส่วนหลอมละลายมากเกินไปจะทำให้ดินยุบตัวลงได้ (แสดงในตาราง 2.1)



รูปที่ 2.2 ลักษณะการหลอมตัวของโครงสร้างของดิน

ตารางที่ 2.1 สมบัติของดินที่เปลี่ยนไปในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

สมบัติของดิน	ระยะในการเผา และช่วงอุณหภูมิ		
	ช่วงการระเหยของน้ำ (20 – 600 °C)	ช่วงเผาไหม้มลทิน (350 – 950 °C)	ช่วงหลอมตัว (900 °C ขึ้นไป)
สี	สีอ่อนลง	ดินที่มีเฟอร์ริกออกไซด์ จะเข้มขึ้น ดินที่มี สารประกอบคาร์บอน สี จะอ่อนลง	สีเข้มขึ้น
ความพรุนตัว	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง
การหดตัว	เพิ่มขึ้น	ขยายตัวเล็กน้อย	เพิ่มขึ้น
น้ำหนัก	ลดลง	ลดลง	เกือบคงที่

เครื่องปั้นดินเผาโดยทั่วไปมักจะเข้าใจว่าเป็นการทำภาชนะเครื่องถ้วยชาม (Pottery) รูปปั้น (Figyrines) แจกัน โอ่ง ไห เพียงเท่านั้น บ้างก็มองในแง่ของผลิตภัณฑ์ทางศิลป์ ซึ่งมีไว้ตกแต่งให้สวยงาม หรือโบราณวัตถุอันมีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ที่เก็บไว้ในพิพิธภัณฑ์เท่านั้น

2.2.1.2 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

เครื่องปั้นดินเผาโดยทั่วไปมักจะเข้าใจว่าเป็นการทำภาชนะเครื่องถ้วยชาม (Pottery) รูปปั้น แจกัน โอ่ง ไห เพียงเท่านั้น บ้างก็มองในแง่ของผลิตภัณฑ์ทางศิลปะ ซึ่งมีไว้ตกแต่งให้สวยงามหรือโบราณวัตถุอันมีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ที่เก็บไว้ในพิพิธภัณฑ์เท่านั้น ในความเป็นจริงแล้วเครื่องปั้นดินเผาไม่ได้มีความหมายตามที่กล่าวมาแล้วเท่านั้น แต่ได้รวมไปถึงผลิตภัณฑ์นานาชนิดที่ทำจากดินและหิน โดยผ่านกรรมวิธีการเผาเพื่อทำให้แข็งแรง มีความคงทนถาวรหรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้แก่ แร่ธาตุดินและหินต่างๆ นั่นเอง ในสมัยกรีกโบราณ เรียกว่าเครามอส (Keramos) แปลว่าสิ่งที่ถูกเผา ซึ่งมีความหมายในทำนองเดียวกันกับภาษาอังกฤษว่า เซรามิกส์ (Ceramics) จากความหมายและคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้ว ผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์จึงมีความหมายรวมไปถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมทำแก้ว ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโลหะเคลือบผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมการทำซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสิ่งซัสดุ เป็นต้น ซึ่งนับว่ามีความสำคัญและมีคุณประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง

ผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์ มีมากมายหลายชนิดนับว่าให้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง นับตั้งแต่ภาชนะเครื่องใช้สอยต่างๆ ไปจนถึงสิ่งก่อสร้าง อุปกรณ์ในกิจกรรมอุตสาหกรรมและเครื่องประดับ ซึ่งจะพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันตราบดีที่มีการศึกษาค้นคว้าความก้าวหน้าอย่างไม่หยุดยั้ง ผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น ไม่เป็นสนิมและมีกำลังความแข็งแรงสูงนอกจากนี้ยังเป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี นับได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรม เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง ผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ภาชนะเครื่องใช้ เครื่องตกแต่ง เครื่องประดับ

2.2.1.3 การทำเครื่องปั้นดินเผาของไทย

สำหรับในประเทศไทยเป็นที่ทราบกันคืออยู่แล้ว การทำเครื่องปั้นดินเผาของไทยเราได้ทำกันมาหลายร้อยปีเช่นกัน และที่มีชื่อเสียงที่สุดที่ทั่วโลกรู้จักได้แก่เครื่องสังคโลกได้เริ่มทำที่เมืองชะเลียง ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณวัดพระศรีมหาธาตุ เมืองสวรรคโลก สร้างขึ้นเมื่อราว พ.ศ. 1043 ก่อนสมัยราชวงศ์พระร่วง สันนิษฐานกันว่าชาวจีนเข้ามาทำเครื่องปั้นดินเผา ทั้งนี้เพราะรูปทรงและลวดลายมีลักษณะแบบจีนคล้ายสมัยปลายราชวงศ์ซ้อง (พ.ศ. 1503-1820)

เครื่องสังคโลกของไทยนั้นมีลักษณะเป็นชนิดเคลือบทึบ (Opaque glaze) ไม่ใช่ชนิดเคลือบใสแบบเซลาดอน (Celadon) จากผลการศึกษาค้นคว้า นั้นพบว่า ฟิลิปินส์ ญี่ปุ่นเลียนแบบสังคโลกไทยและจีนเริ่มทำแบบเคลือบใสได้ในสมัยราชวงศ์หมิง

เมื่อกรุงสุโขทัยตกอยู่ภายใต้การปกครองของอยุธยา พ.ศ. 1900-2300 ปรากฏว่ามีมือการทำเครื่องปั้นดินเผาเสื่อมลง มีการทำเครื่องปั้นแบบหยาบๆ ชนิด Earthen Ware เช่น โอ่ง ไห หม้อข้าว หม้อแกง ผลิตภัณฑ์ชนิดเคลือบอบเกือบจะไม่มีเลย ปรากฏว่าในสมัยนี้ซื้อผลิตภัณฑ์จากจีนเป็นส่วนใหญ่

ในสมัยรัตนโกสินทร์เครื่องปั้นดินเผาเจริญรุ่งเรืองมากที่สุด ในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เนื่องจากจัดให้มีการประกวดอย่างเป็นล่ำเป็นสัน ถึงกับมีคนกล่าวว่าเมืองไทยเป็นพิพิธภัณฑ์ปอร์สเลนของโลกทีเดียว

ในปัจจุบันการทำเครื่องปั้นดินเผาเป็นที่สนใจกันอย่างแพร่หลาย และเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่รัฐบาลส่งเสริม ปัจจุบันได้มีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้เกิดขึ้นหลายแห่ง กำลังผลิตสูงทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ

2.2.1.4 ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา

การแบ่งประเภทเครื่องปั้นดินเผาโดยทั่วๆ ไปมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญพอจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด โดยแบ่งตามลักษณะของเนื้อดินและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ คือ

ก. ผลิตภัณฑ์ชนิดเอิเทนแวร์ (Earthen ware)

ข. ผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์ (Stone ware)

ค. ผลิตภัณฑ์ชนิดปอร์สเลน (Porcelain)

ก. ผลิตภัณฑ์ชนิดเอิเทนแวร์ (Earthen ware) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำการผลิตกันเป็นส่วนใหญ่เผาในอุณหภูมิต่ำ ($1,050-1,100^{\circ}\text{C}$) ลักษณะโดยทั่วไปมักเป็นผลิตภัณฑ์ค่อนข้างหนาเนื้อหยาบมีความพรุนตัวค่อนข้างมาก สีของเนื้อผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะมีสีน้ำตาลอ่อน สีเทาอ่อน สีเหลืองอ่อน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เคลือบและไม่เคลือบ เวลาเคาะเสียงจะทึบ ไม่ดังกังวานเหมือนผลิตภัณฑ์อื่น เนื้อดินส่วนมากเตรียมจากดินเหนียวธรรมดาทั่วๆ ไป ส่วนมากนิยมใช้ดินในท้องถิ่น เช่น กระจ่าง ไห หรือ โอ่งใส่น้ำ

ข. ผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์ (Stone ware) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาถึงจุดสุกตัวโดยเผาในอุณหภูมิค่อนข้างสูง ($1,150-1,390^{\circ}\text{C}$) ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เนื้อหยาบและเนื้อแข็งมาก น้ำและของเหลวไม่สามารถซึมผ่านได้ เนื้อดินของสโตนแวร์มีลักษณะคล้ายเอิเทนแวร์แต่เผาในอุณหภูมิที่สูง เคาะเสียงดังกังวานกว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้นิยมนำมาทำภาชนะใส่อาหาร จาน ชาม ถ้วยกาแฟ ครก และ เขี่ยอกน้ำ เป็นต้น

ค. ผลิตภัณฑ์ชนิดปอร์สเลน (Porcelain) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นมาเป็นพิเศษ เนื้อดินสีขาวเผาถึงจุดสุกตัว สิ่งที่สำคัญ คือ โปร่งแสงเผาในอุณหภูมิตั้งแต่ $1,250^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไป ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ยังแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทตามอุณหภูมิการเผา คือ แบบ soft porcelain เผาในอุณหภูมิประมาณ $1,250-1,285^{\circ}\text{C}$ นิยมนำไปทำภาชนะใส่อาหารและงานประเภททางด้านศิลป์ อีกประเภทหนึ่ง คือ hard porcelain เผาที่ $1,310-1,431^{\circ}\text{C}$ มี

ความแข็งแรงเป็นพิเศษ นิยมนำไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องมือ เครื่องฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หัวเทียนเครื่องยนต์ ภาชนะทางเคมี

นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า โบนไชน่า (Bone china) ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เนื้อดินมีความละเอียดและมีความโปร่งแสงมากทำจากวัตถุดิบประเภทเดียวกันแต่จะต้องมีเถ้ากระดูกผสมอยู่ด้วยโดยที่เถ้ากระดูกจะช่วยทำให้เกิดการโปร่งแสง

2.2.1.5 เซรามิกส์สโตนแวร์

ในงานวิจัยนี้ คณะวิจัยได้ศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในชุมชนบ้านปากห้วยวังนอง จ. อุบลราชธานี ซึ่งผลิตภัณฑ์จากการเผาเป็นครกหรือกระถาง ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์ (Stone ware) หรือ ก่อนไปทางอิฐทนไฟ ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะนำเสนอข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ ผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์

I. สมบัติของเนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์

เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ โดยทั่วไปมีเนื้อละเอียด หรือหยาบก็ได้ แต่จะมีเนื้อแน่นและแข็งแรง น้ำ และของเหลวไม่สามารถซึมผ่านได้ หรือ ซึมผ่านได้น้อยมาก ทั้งนี้เพราะเผาถึงจุดสุกตัว (Vitreous Ware) ซึ่งส่วนมากจะเผาที่อุณหภูมิ 1,190 - 1,390°C (โคน 6 - 14) สีของผลิตภัณฑ์อาจเป็นสีของดิน คือ สีเทา สีน้ำตาล คล้ายเนื้อเซรามิกส์เอร์เทรินแวร์ แต่เสียงเคาะจะดังกังวานกว่า และลักษณะผิวจะเนียนกว่า นอกจากนี้อาจเป็นสีอื่น ๆ แต่ที่สำคัญจะต้องมีความแข็งแรง

เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์เตรียมได้ 2 ลักษณะ คือ เตรียมจากดินธรรมชาตินำมาปั้นโดยตรง ที่เรียกว่า ดินสโตนแวร์ เนื้อผลิตภัณฑ์อาจมีสีเหลืองฟาง สีน้ำตาล สีเทา เนื่องจากมีตัวลจุดสุกตัวผสมอยู่ ที่จะช่วยให้เนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผาแน่น และสุกตัว ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ที่ทำขึ้นจากดินธรรมชาติ ได้แก่ โอ่งราชบุรี ผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน และผลิตภัณฑ์เซลาดอน (Celadon) ของจังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น ส่วนอีกชนิดหนึ่งเป็นเนื้อเซรามิกส์ที่เตรียมขึ้น โดยทั่วไปจะประกอบด้วยดิน ร้อยละ 30 - 70 เพื่อให้มีความเหนียว สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ดินดำ นอกจากนี้มี หินเขียวหนุมาน ร้อยละ 30 - 60 เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และป้องกันการบิดเบี้ยว อีกทั้ง หินฟันม้า ร้อยละ 5 - 25 เพื่อช่วยให้เนื้อหลอม ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น เนื้อเซรามิกส์จากการเตรียมขึ้น จะนิยมนำมาใช้ทำเครื่องโต๊ะอาหาร เครื่องประดับ อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

II. เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์

1. การหดตัวของเนื้อเซรามิกส์ภายหลังการเผาอยู่ระหว่าง ร้อยละ 13 - 20
2. การดูดซึมน้ำของเนื้อเซรามิกส์ภายหลังการเผา ร้อยละ 0 - 3
3. ความทนไฟของเนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ จะสามารถทนอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 1,200°C ขึ้นไป

อย่างไรก็ดีแล้วแต่ เกณฑ์ดังกล่าวเป็นเพียงเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินเนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ ที่เป็นภาชนะใช้งานโดยทั่วไป เช่น แจกัน จานชาม เป็นต้น ซึ่งความจริงแล้วเนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ สามารถแบ่งเป็นหลายประเภทตามสมบัติของเนื้อเซรามิกส์ และการนำไปใช้งาน ในที่นี้แบ่งเป็น 4 ประเภทคือ

ก. เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ชั้นดี (Fine Stoneware) เป็นเนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ ที่มีส่วนผสมของดิน ร้อยละ 30 - 70 หินฟันม้า ร้อยละ 5 - 25 และ หินเขียวหนุมาน ร้อยละ 30 - 60 นอกจากนี้อาจมีดินเชื้อในส่วนผสมแต่ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile- Strength) ลดลงเนื้อเซรามิกส์นี้ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทางเคมีและเครื่องโต๊ะอาหาร

ข. เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์สีขาว (White Stoneware) เป็นเนื้อเซรามิกส์ที่ต้องมีการเลือกสรรวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำเนื้อเซรามิกส์ ไม่ว่าจะเป็นดิน หินฟันม้า หรือ หินเขียวหนุมาน จึงมีสีขาวและมีการดูดซึมน้ำเป็นศูนย์

ค. เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระทันหัน (Thermal Shock Resistance of Stoneware) ในการทำเนื้อเซรามิกส์ให้ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระทันหัน มีแนวทางการปฏิบัติได้ 3 แนวทางคือ

ค.1 เพิ่มความพรุนตัวของเนื้อเซรามิกส์ (Porosity) แต่ให้ขนาดของรูพรุนเล็กลง

ค.2 เพิ่มตัวนำความร้อน (Thermal Conductivity) เช่น คอรัันดัม ซิลิกอนคาร์ไบด์หรือกราไฟต์เป็นต้นลงในเนื้อเซรามิกส์

ค.3 ลดวัตถุดิบที่มีการหดขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูง (Thermal Expansion) เช่น หินเขียวหนุมาน

ง. เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์เพื่อใช้งานทางไฟฟ้า (Electrical Stoneware) ได้แก่ เนื้อเซรามิกส์สโตนแวร์ ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.2 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา

แหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่สำคัญๆ ในประเทศไทย พบได้ 4 แหล่งสำคัญๆ ได้แก่ ที่บ้านด่านเกวียน จ.นครราชสีมา ที่แหล่งผลิตโอ่งมังกร จ.ราชบุรี ที่เกาะเกร็ด จ.นนทบุรี และ ที่บ้านปากห้วยวังนอง จ.อุบลราชธานี ในแต่ละพื้นที่มีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่แตกต่างกัน และใช้เตาที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน คณะวิจัยได้เดินทางไปเก็บและรวบรวมข้อมูล พอดีสรุปลักษณะของเครื่องปั้นดินเผาและเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในแต่ละแหล่ง ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา บ้านด่านเกวียน จ.นครราชสีมา

เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาบ้านด่านเกวียน จ.นครราชสีมา มีอยู่ 3 ชนิดคือ แบบเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) เตาเผาแบบขั้นบันได และเตาแบบ 2 ปาก ซึ่งเตาเผาแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดดังนี้

ก. เตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์)

สำหรับเตาเผาลักษณะกลมมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 โดยลักษณะของเตาจะก่อด้วยอิฐดินเผา มองจากภายนอกฐานเตาก่อเป็นลักษณะตรงขึ้นมาจากพื้นดิน และลักษณะหลังคาเตาจะก่อโค้งค่อนข้างสูง แต่ตัวเตาจะสั้น ดังนั้นจึงไม่มีตาไฟ เนื่องจากเปลวไฟสามารถกระจายไปได้อย่างทั่วถึง โดยเตาทุกตัวจะติดตั้งเครื่องวัดไฟ ซึ่งเรียกว่า ไพโรมิเตอร์ และเทอร์โมคัปเปิล เพื่อควบคุมความร้อนส่วนประกอบหลักของเตาชนิดนี้

1. ปากเตา สำหรับลำเลียงผลิตภัณฑ์เข้าออกจากเตาเผา และสำหรับใส่เชื้อเพลิง มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 89 เซนติเมตร ดังรูป 2.4
2. เรือนเตา เป็นบริเวณที่เชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ เป็นตำแหน่งที่ไม่มีพินดูวางในเตาเผา ซึ่งบริเวณนี้จะถูกขุดให้ลึกต่ำกว่าระดับพื้นปกติ และตำแหน่งหลังจากนี้ไปพื้นเตาจะถูกยกขึ้น
3. ห้องเผา เป็นส่วนที่ใช้วางผลิตภัณฑ์สำหรับเผา พื้นจะถูกยกขึ้นจากเรือนไฟและมีลักษณะราบเรียบ ส่วนของหลังคาจะสูงโค้งเหมือนดอกเห็ด ด้านท้ายของห้องเผาจะเป็นปล่องไฟ
4. ปล่องไฟ อยู่ส่วนท้ายของเตามีลักษณะอยู่ด้านหลังท้ายของห้องเผา ใช้สำหรับระบายไอเสียออกสู่บรรยากาศ



รูปที่ 2.3 แสดงเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) บ้านด่านเกวียน



รูปที่ 2.4 แสดงปากเตาและเรือนเตาของเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) บ้านด่านเกวียน

ขั้นตอนการเผาของเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) บ้านด่านเกวียน

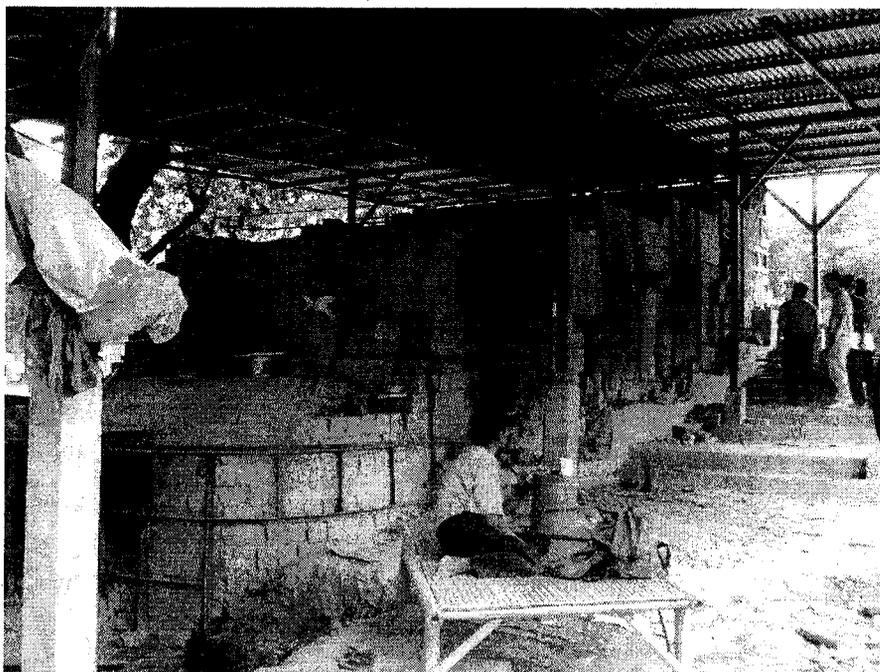
สำหรับขั้นตอนการเผาของเตาเผาลักษณะกลม (เตาอุโมงค์) บ้านด่านเกวียน นั้นมีขั้นตอนการเผา เหมือนกับการเผาของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาชนิดอื่นๆ โดยมีการเผา 3 ขั้นตอน คือ

1. ช่วงอุ่นเตา เป็นช่วงแรกของการเผา โดยจะอุ่นเตาให้ค่อยๆ ร้อนขึ้น โดยใช้เวลาในการอุ่นเตา ประมาณ 8 ชั่วโมง
2. ช่วงเผาเตา หรือเร่งไฟ เป็นช่วงการเผาจริง ซึ่งจะทำให้การเดิมเชื้อเพลิงเต็มที่ โดยอุณหภูมิของการเผาจะอยู่ที่ประมาณ $1,040^{\circ}\text{C}$
3. ช่วงปิดเตา หลังจากเผาเตาจนเต็มที่แล้ว จะทำการปิดหน้าเตา แล้วทิ้งให้เตาค่อยๆ เย็นตัวลงอย่างช้าๆ ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาต่อไป

ข. เตาเผาลักษณะแบบชั้นบันได

สำหรับเตาเผาแบบชั้นบันไดมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 เป็นเตาที่นำแบบมาจากประเทศญี่ปุ่น หลังจากที่ผู้ประกอบการ ได้เดินทางไปศึกษาดูงานด้านเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่ประเทศญี่ปุ่น โดยลักษณะของเตาจะเป็นชั้นแบบชั้นบันไดมีทั้งหมด 4 ชั้น ในแต่ละชั้นจะสูงประมาณ 20 เซนติเมตร และมีตาไฟในแต่ละชั้นไว้คอยเผาไฟ ในแต่ละชั้นจะมีผนังซึ่งมีลักษณะเหมือนรังผึ้งกันไว้ ส่วนด้านหน้าของเตาจะเป็นปากเตาสำหรับใส่เชื้อเพลิงในช่วงอุ่นเตาและเร่งไฟในช่วงแรกของการเผาเครื่องปั้นดินเผา และในชั้นแรกของ

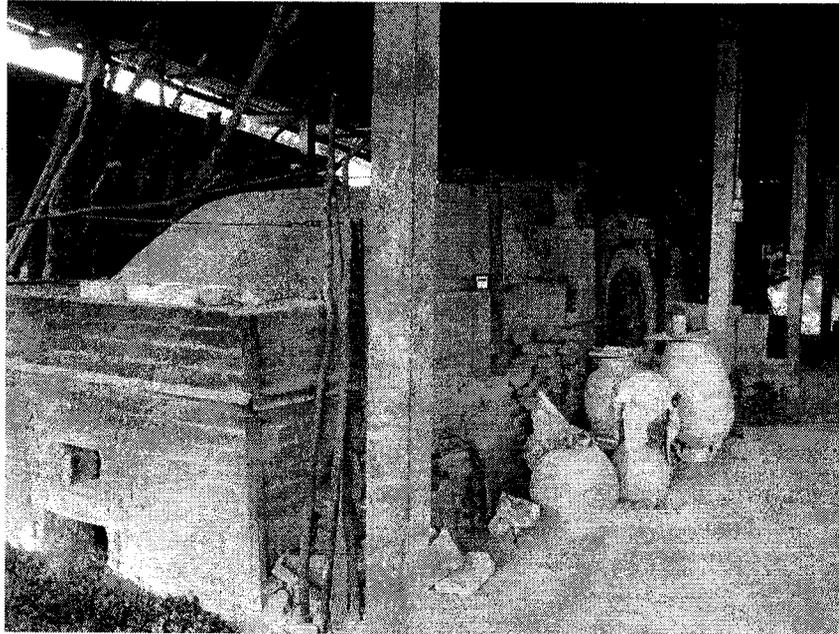
เตาเผาจะใช้สำหรับเผาเคลือบซึ่งจะใช้อุณหภูมิสูงกว่าทุกชั้นคืออยู่ที่อุณหภูมิ 1200°C ในขณะที่ชั้นอื่นๆ จะใช้สำหรับเผาแดงโดยอุณหภูมิของการเผาจะอยู่ที่ประมาณ 800°C ในแต่ละชั้นจะมีเทอร์โมคัปเปิลไว้คอยตรวจวัดอุณหภูมิของการเผา



รูปที่ 2.5 ภาพเตาเผาแบบชั้นบันไดของร้านดินเผา บ้านด่านเกวียน

ค. เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาแบบ 2 ปากของบ้านด่านเกวียน

ลักษณะของเตาจะยาวและมีช่องไว้แยกไฟด้านข้าง ส่วนด้านหน้าจะเป็นปากเตาสำหรับอุ่นเตาและเร่งไฟในช่วงแรกของการเผา ส่วนด้านข้างจะมีปากเตาอีกปากหนึ่งมีไว้สำหรับนำเอาผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากเตาเผา ดังรูปที่ 2.6 สาเหตุที่ต้องมีปากด้านข้างเนื่องจากว่าหลังคาเตาค่อนข้างจะเตี้ย และผลิตภัณฑ์ที่นำมาเผาเป็นแจกันที่มีขนาดใหญ่ และมีความสูงมากซึ่งไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์เข้าทางปากเตาด้านหน้าได้ จึงต้องมีปากเตาด้านข้างไว้สำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากเตาเผา จึงมีชื่อเรียกว่าเตา 2 ปาก และเมื่อนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาแล้วจะทำการปิดปากเตาด้านข้างแล้วเริ่มทำการเผาผลิตภัณฑ์ต่อไป



รูปที่ 2.6 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาแบบ 2 ปาก บ้านค่านเกวียน

2.2.2.2 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี

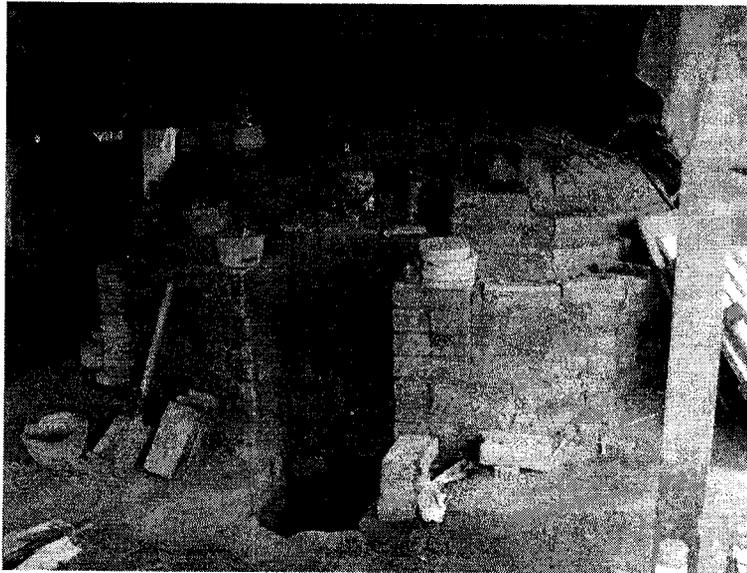
เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี มีอยู่ 2 ชนิด แบ่งตามผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ เตาเผาเตาหุงต้มเป็นเตาที่ใช้เผาเตาหุงต้ม และเตาเผาโอ่งดินเผาเป็นเตาที่ใช้เผาโอ่งดินหรือโอ่งมังกร ซึ่งเตาเผาแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดดังนี้

ก. เตาเผาเตาหุงต้ม

เตาเผาเตาหุงต้ม จ.ราชบุรี เรียกชื่อตามภาษาท้องถิ่นว่า “เตาอุโมงค์” มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7, 2.8 และ 2.9 แสดงภาพสเก็ตลักษณะเตาเพื่อให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น ลักษณะทั่วไปเป็นเตาที่ก่อด้วยอิฐดินเผา เช่นเดียวกับเตาเผาทั่วไป ขนาดความจุ คือ สามารถเผาเตาหุงต้มแบบเคลือบได้ประมาณ 200 เตาต่อรอบการเผา มองจากภายนอกจะเห็นฐานเตาก่อในลักษณะตรงขึ้นมา และก้อหลังคาโค้งเตี้ย มีลักษณะป้อมสั้น จึงไม่มีคาไฟ เนื่องจากเปลวไฟสามารถกระจายได้อย่างทั่วถึงอยู่แล้ว ส่วนประกอบหลักของเตาประกอบด้วย

1. ปากเตา สำหรับใส่เชื้อเพลิง โดยปากเตามีช่องไฟ 2 ช่อง บนและล่าง ช่องไฟล่างไว้สำหรับการอุ่นเตา ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการเผา ส่วนช่องไฟบนนั้นใช้ในระหว่างการเร่งไฟ หรือเผาเตา รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของช่องไฟบนและล่างที่ปากเตา

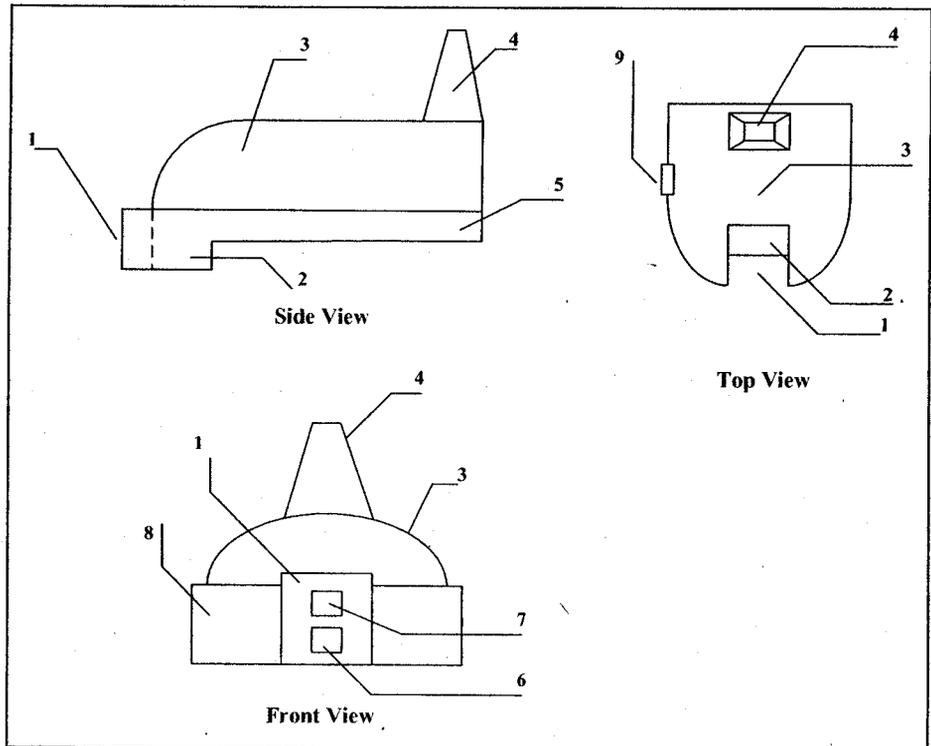
2. เรือนไฟ เป็นบริเวณที่เชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ เป็นตำแหน่งที่ไม่มีพื้นถูกวางในเตาเผา บริเวณนี้ จะถูกขูดให้ลึกลงกว่าระดับพื้นปกติ และหลังจากตำแหน่งนี้ไปพื้นเตาจะถูกยกขึ้น (ดูรูปที่ 2.7 ประกอบ)
3. ห้องเผา เป็นส่วนที่วางผลิตภัณฑ์สำหรับเผา มีพื้นราบเรียบ หลังคาโค้งแบบหลังเต่า ท้ายตัดตรง แล้วออกไปหาปล่องไฟ
4. ปล่องไฟ อยู่ส่วนท้ายของเตา มีลักษณะต่อตรงออกจากบริเวณห้องเผา ใช้ระบายไอเสียออกสู่บรรยากาศ
5. ประตูเตา อยู่ด้านข้างลำตัวเตา ใช้สำหรับลำเลียงผลิตภัณฑ์เข้าออกจากเตาเผา ประตูนี้จะต้องปิดเมื่อทำการเผาเตา



รูปที่ 2.7 เตาอุโมงค์ ที่ใช้ในการเผาเตาหุงต้ม จ.ราชบุรี



รูปที่ 2.8 บริเวณปากเตาอุโมงค์ จะเห็นช่องไฟบนและช่องไฟล่าง
โดยถัดเข้าไปในเตาเผาจะเป็นบริเวณเรือนไฟ



รูปที่ 2.9 ภาพสเก็ตลักษณะของเตาแบบเตาอุโมงค์ สำหรับเผาตาหุงต้มที่ จ.ราชบุรี

โดยส่วนประกอบต่างๆ แสดงโดยหมายเลขดังนี้

หมายเลข	คำอธิบาย (Description)
1	หน้าเตา (Kiln Front)
2	เรือนไฟ (Fire House)
3	หลังเตา และได้หลังเตาคือส่วนห้องเผา (Kiln Roof and Drying Zone beneath)
4	ปล่องไฟ (Stack)
5	ขอบฐานเตาด้านข้าง (Side Kiln Wall)
6	ช่องไฟล่าง (Lower Fire Hole)
7	ช่องไฟบน (Upper Fire Hole)
8	ขอบหน้าเตา (Front Kiln Wall)
9	ประตูเตา (Kiln Door)

การเผาเตาหุงต้มนั้นมีการบวนการเผาเช่นเดียวกับการเผาเครื่องปั้นดินเผาชนิดอื่นๆ คือมีการเผาทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน คือ

1. ช่วงอุ่นเตา เป็นช่วงแรกของการเผา โดยจะอุ่นเตาให้ค่อยๆ ร้อนขึ้นไปเรื่อยๆ ช่วงนี้จะใส่เชื้อเพลิงที่ช่องไฟล่าง
2. ช่วงเผาเตา หรือเร่งไฟ เป็นช่วงการเผาจริง ซึ่งจะทำให้การเติมเชื้อเพลิงเต็มที่ โดยใส่เชื้อเพลิงในช่องไฟบน โดยอุณหภูมิสูงสุดของการเผาที่ประมาณ $800^{\circ}\text{C} - 1,000^{\circ}\text{C}$
3. ช่วงปิดเตา หลังจากช่วงเผาเตาเสร็จสิ้นที่แล้ว จะทำการปิดหน้าเตาทั้งหมด แล้วทิ้งให้เตาค่อยๆ เย็นตัวลงอย่างช้าๆ ก่อนที่จะเอาผลิตภัณฑ์ออกต่อไป

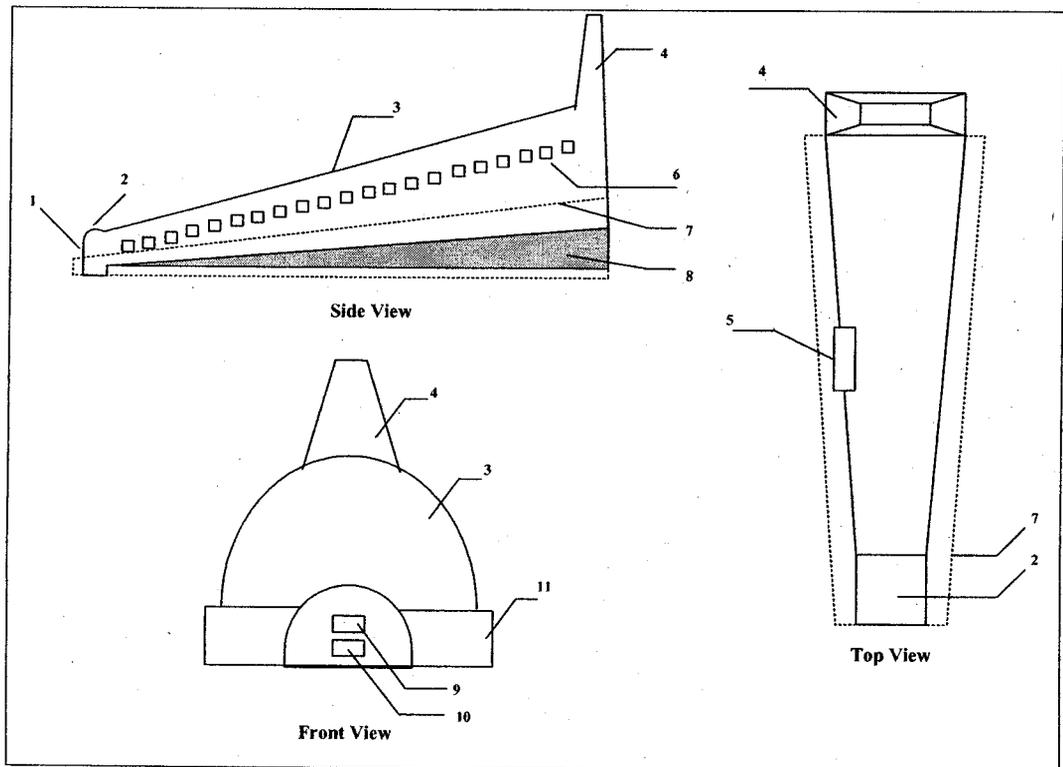
โดยทั้ง 3 ขั้นตอนของการเผาเตาหุงต้มนั้น ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 8 ชั่วโมง

ข. เตาเผาโถงดินเผา หรือเตามังกร

เตาที่ใช้ในการเผาโถงดินเผานั้นมีขนาดใหญ่มาก ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ โดยมีขนาดยาวประมาณ 35-40 เมตร บรรจุโถงมังกรได้ประมาณ 200 ใบ หรือบรรจุกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 ซม. สูง 41 ซม. ได้ประมาณ 1,000 ใบ เตานี้มีชื่อเรียกทั่วไปว่า “เตามังกร” ซึ่งอาจมาจากลักษณะของเตาที่ยาวคล้ายมังกร หรือมาจากผลิตภัณฑ์ที่เป็นโถงมังกรก็อาจเป็นไปได้ เتامังกรนี้มีตาไฟจำนวนมากถึง ประมาณ 42 ช่อง ในแต่ละด้านของเตา ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของเตาซึ่งยาวมาก จึงจำเป็นต้องใช้การแห่ตาไฟเพื่อช่วย

ให้เปลวไฟทั่วถึงขึ้น ลักษณะโดยทั่วไปของเตามังกรได้แสดงไว้ในภาพสเก็ตดังรูปที่ 2.8 โดยส่วนประกอบหลักๆของเตามังกรได้แก่

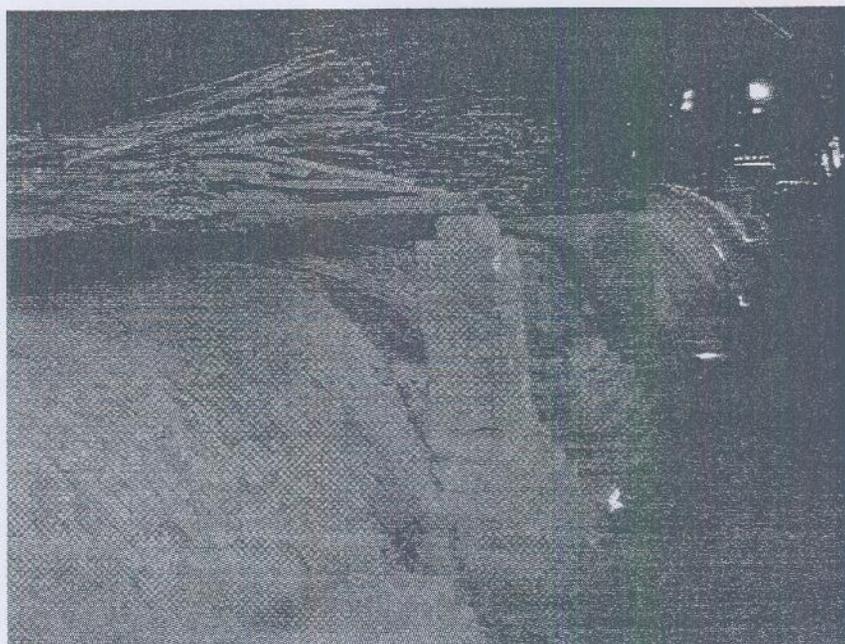
1. ปากเตา มีลักษณะคล้ายเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาทั่วไป สำหรับใส่เชื้อเพลิง โดยปากเตามีช่องไฟ 2 ช่อง บนและล่าง ช่องไฟล่างไว้สำหรับการอุ่นเตา ส่วนช่องไฟบนนั้นใช้เวลาการเร่งไฟ หรือเผาเตา
2. เรือนไฟ เป็นบริเวณที่เชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ เป็นตำแหน่งที่ไม่มีพินดุกวางในเตาเผา บริเวณนี้จะถูกขุดให้ลึกลงกว่าระดับพื้นปกติ และหลังจากตำแหน่งนี้ไปพื้นเตาจะถูกยกขึ้น ซึ่งก็คล้ายกับเตาแบบอื่นๆ แต่ในกรณีของเตามังกรที่นี้นั้น บริเวณเรือนไฟนี้จะมีหลังคาในลักษณะ โกงม่น ดังหมายเลข 2 ในรูปที่ 2.10



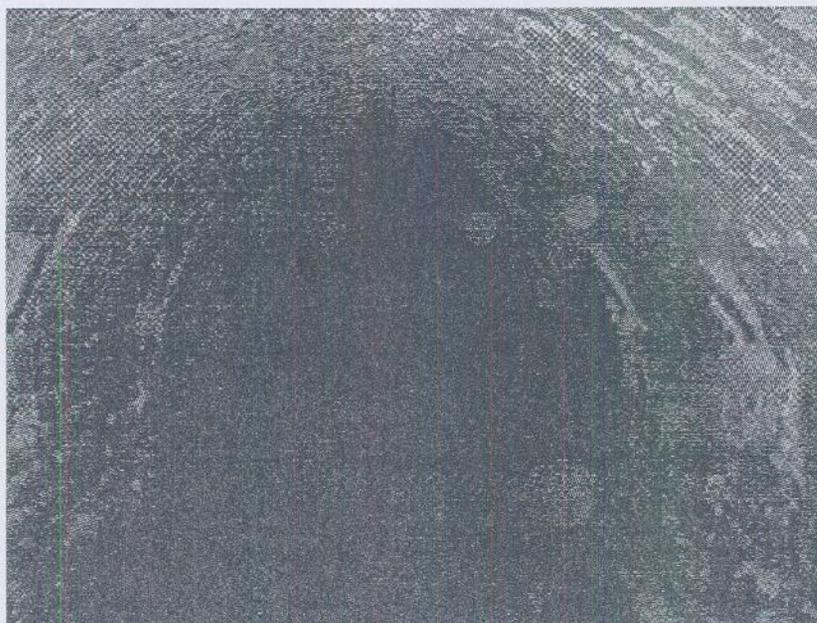
รูปที่ 2.10 ภาพสเก็ตลักษณะของเตามังกร สำหรับเผาโอ่งดินเผาราชบุรี

หมายเลข	คำอธิบาย (Description)
1	หน้าเตา (Kiln Front)
2	เรือนไฟ (Fire House)
3	หลังเตา และ ใต้หลังเตาคือส่วนห้องเผา (Kiln Roof and Drying Zone beneath)
4	ปล่องไฟ (Stack)
5	ประตูเตา (Kiln Door)
6	ตาไฟ (Side Fire Holes)
7	ขอบฐานเตาด้านข้าง (Side Kiln Wall)
8	พื้นดิน (Ground)
9	ช่องไฟบน (Upper Fire Hole)
10	ช่องไฟล่าง (Lower Fire Hole)
11	ขอบหน้าเตา (Front Kiln Wall)

- ห้องเผา เป็นส่วนที่วางผลิตภัณฑ์ในการเผา มีพื้นชั้นสูงชันเรื่อยๆ หลังคาค่อนข้างตรง และสูงชันเรื่อยๆเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความกว้างของเตาก็ยังมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ทั้งนี้เพื่อช่วยให้อากาศร้อนวิ่งไปในเตาที่มีขนาดยาวได้ดีขึ้น ส่วนห้องเผาสำหรับเตามังกรนี้มีขนาดยาวมาก เมื่อมองจากภายนอกจะมีลักษณะเป็นรูปประทุนยาวดังแสดงในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 แสดงภาพภายในห้องเผาของเตามังกร ซึ่งจะพบว่ามีคราบการหลอมละลายของธาตุบางชนิดเกาะอยู่ทั่วไป ซึ่งคาดว่าอาจเกิดจาก ซิลิกา ซึ่งเป็นส่วนผสมของทรายเกิดการหลอมตัว ส่วนท้ายของเตาตัดตรง มีแผงรังผึ้งขนาดใหญ่กั้นความร้อนไว้ ก่อนที่จะทะลุไปสู่ปล่องไฟ
- ปล่องไฟ อยู่ส่วนท้ายของเตา มีลักษณะต่อตรงออกจากบริเวณห้องเผา ใช้ระบายไอเสียออกสู่บรรยากาศ
- ประตูเตา อยู่ด้านข้างลำตัวเตา ใช้สำหรับลำเลียงผลิตภัณฑ์เข้าออกจากเตาเผา ประตูนี้จะต้องปิดเมื่อทำการเผาเตา



รูปที่ 2.11 ภาพด้านข้างลำตัวเตามังกร มีลักษณะคล้ายประทุนยาว
ภายใต้เปลือกเตกลงไปเป็นส่วนของห้องเผา



รูปที่ 2.12 สภาพภายในของห้องเผาของเตามังกร
จะเห็นว่าห้องเผามีลักษณะบานออกจากหน้าเตาไปหาหลังเตา

การเผาโองดินเผา

ในกระบวนการเผาโองดินเผา¹ นั้น จะดำเนินการหลังจากนำโองที่ผ่านการตีลาย และเคลือบแล้ว ไปตั้งให้แห้งหมาด โดยหากเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กจะใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน หากเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่อาจใช้เวลาถึง 7-10 วัน ใช้เชื้อเพลิงเป็นไม้ฟืนประมาณ 2-3 รดสืบล้อ สำหรับการเผานั้นอาจแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนเช่นเดียวกัน คือ

1. ช่วงอุ่นเตา หรือช่วงสุมไฟ คือช่วงที่อุ่นเตรียมความพร้อมของเตา และผลิตภัณฑ์ ให้อุณหภูมิค่อยๆ สูงขึ้น ช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 1 วัน 1 คืน และจะปิดตาไฟทั้งหมด ทำการใส่ไฟเฉพาะจากหน้าเตาเท่านั้น
2. ช่วงเผา หรือเร่งไฟ คือช่วงของการเผาจริง จะทำการเร่งไฟให้ได้อุณหภูมิสูง พร้อมทั้งทำการเดินตาไฟ หรือแห่ตา คือการนำฟืนขนาดเล็กจุดไฟ แห่ลงไปทีตาไฟแต่ละข้างพร้อมๆ กัน จนสังเกตเห็นว่าโองสุกสีแล้วจึงขยับไปแห่ที่ตาต่อไป จนครบทุกตา ใช้เวลาในการแห่ตาไฟแต่ละตา ประมาณ 30 นาที และใช้เวลาในช่วงการเผานี้รวมแล้วประมาณ 32-36 ชั่วโมง¹ อุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 1,200°C
3. ช่วงปิดเตา คือช่วงที่เผาผลิตภัณฑ์จนสุกแล้ว จะปิดเตาทุกจุด แล้วปล่อยให้เตา และผลิตภัณฑ์ ค่อยๆ เย็นตัวลง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 12-16 ชั่วโมง แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจำหน่าย

2.2.2.3 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาเกาะเกร็ด จ.นนทบุรี

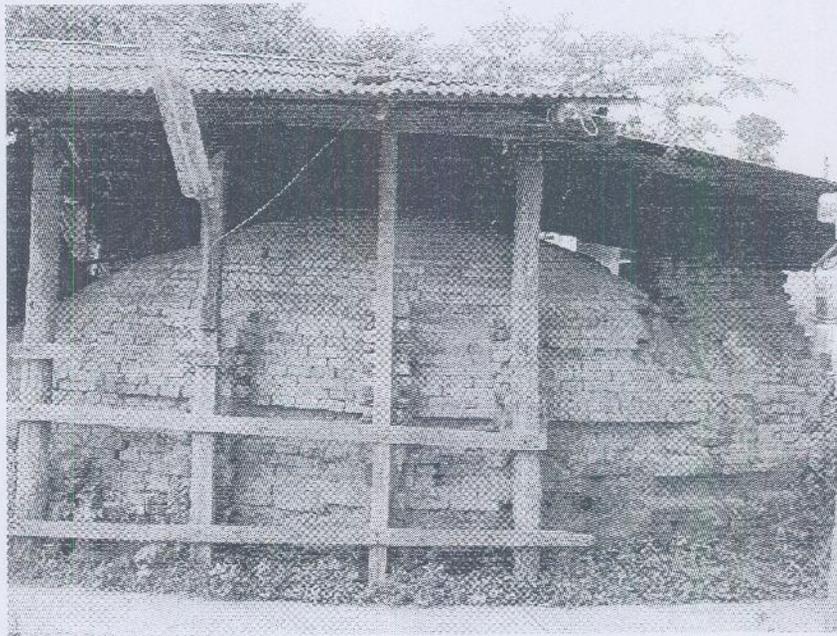
ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของชาวมุขมนเกาะเกร็ดส่วนใหญ่จะเป็นพวกเครื่องประดับ ของที่ระลึก เช่น แจกัน กนโท เน้นลวดลายที่อ่อนช้อยที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของชาวมอญ นอกจากนี้ยังมีประเภทภาชนะหรือเครื่องใช้ในครัวเรือนเช่น ถรกร กระจ่างตันไม้ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13

¹ จากเอกสารเผยแพร่ของโรงงาน รัตนโกสินทร์ 2

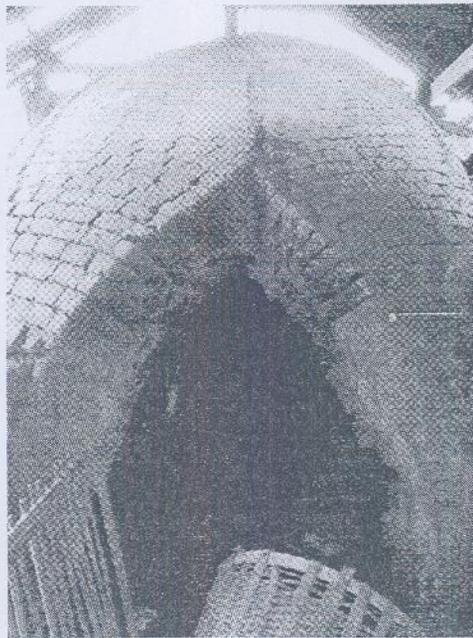


รูปที่ 2.13 ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของชาวชุมชนเกาะเกร็ด

เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของเกาะเกร็ด จ.นนทบุรี มีหลักการคล้ายคลึงกันกับเตาเผาของแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาอื่นๆ เช่นที่ด่านเกวียน หรือที่ราชบุรี โดยเป็นเตาที่เรียกว่าเตาประทุน หรือเตาแมลงป่อง โดยก่ออิฐเป็นรูปโดมทรงรี ขนาดยาวประมาณ 6-8 เมตรกว้างประมาณ 3 เมตร แต่จะมีลักษณะพิเศษที่ต่างจากที่อื่นคือมีความสูงค่อนข้างมากโดยสูงประมาณ 3-4 เมตรปากเตากว้างและสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.14-2.15 สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละจำนวนมากตัวอย่างเช่นเตาเผาถกรกสามารถเผาถกรกได้ครั้งละประมาณ 4000 ใบ



รูปที่ 2.14 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของชาวชุมชนเกาะเกร็ด



รูปที่ 2.15 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของชาวชุมชนเกาะเกร็ด

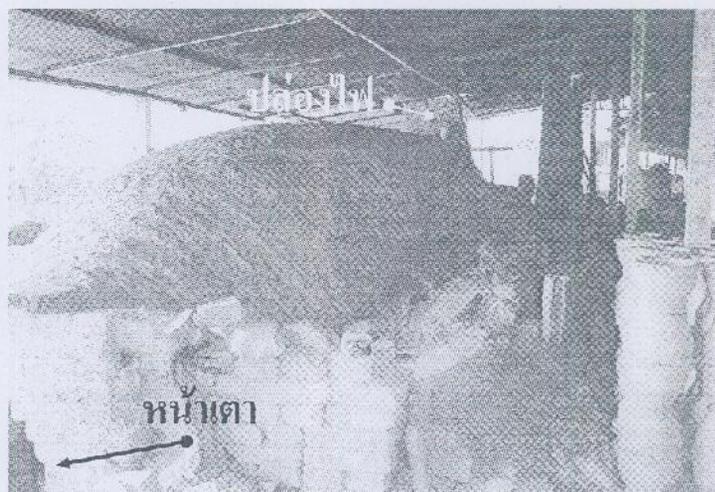
กระบวนการเผา

เนื่องจากพื้นที่เป็นเกาะ การหาเชื้อเพลิงที่เป็นฟืนค่อนข้างยาก ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาจะใช้ทางมะพร้าว ซึ่งต้องใช้ประมาณ 3000 ทางต่อการเผาหนึ่งรอบ โดยจะใช้เวลาอุ่นเตาประมาณ 6-7 วัน แล้วจึงเร่งไฟ ที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วปิดเตา ปล่อยให้เย็นประมาณ 6-7 วัน จึงนำเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาผลิตภัณฑ์ประเภทกระดาษ หรือกระดาษของเกาะเกร็ดจะมีลักษณะพิเศษคือผิวเป็นมันวาว โดยไม่ต้องอาศัยการสาเดเกลือ แต่เกิดจากเนื้อดินมีส่วนผสมของทรายซึ่งเมื่อถูกเผาด้วยอุณหภูมิสูงที่ผิวจะละลายทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ มีลักษณะเป็นมันวาว

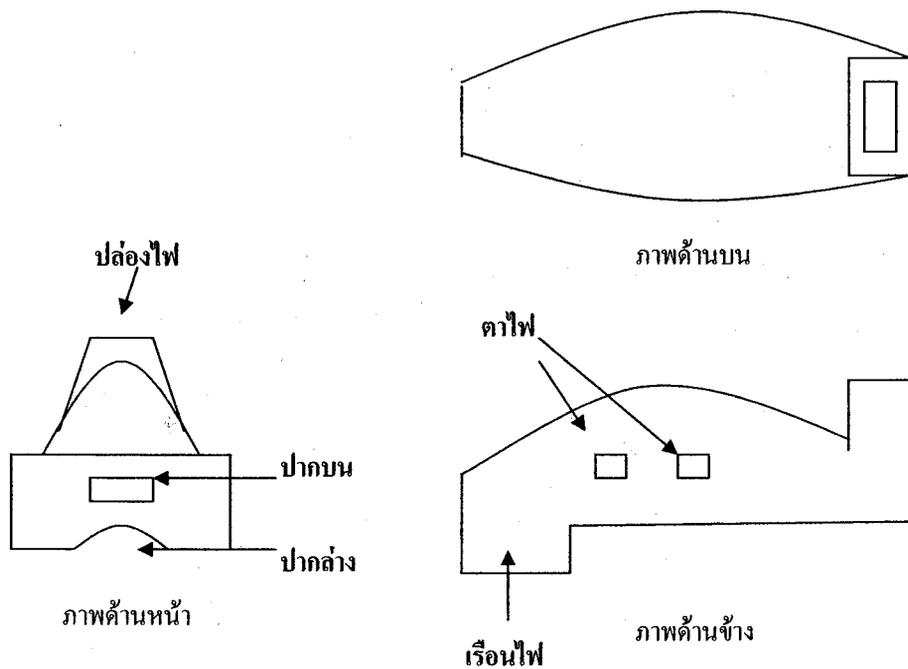
เป็นที่น่าเสียดายว่าในปัจจุบันยังเหลือผู้ประกอบการอยู่ไม่มากนัก หลายครัวเรือนได้เปลี่ยนไปประกอบอาชีพอื่นและบางครัวเรือนได้มีการพัฒนาเอาระบบการผลิตสมัยใหม่มาใช้ เช่นการเผาเครื่องปั้นดินเผาจะใช้เตาก๊าซแทนการเผาด้วยฟืนที่เป็นแบบดั้งเดิม แต่ก็ยังคงเอกลักษณ์ของลวดลายของผลิตภัณฑ์ที่วิจิตรสวยงามของชาวมอญไว้เป็นอย่างดี

2.2.2.4 เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่บ้านปากห้วยวังนอง จ.อุบลราชธานี

บ้านปากห้วยวังนอง ต.ปทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี เป็นแหล่งผลิตครกในอุตสาหกรรมครัวเรือนที่รู้จักกันแพร่หลาย ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นหลักคือ ครก กระถางซึ่งมีคุณภาพ ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป เตาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นเตาเผาแบบความร้อนผ่าน เรียกกันในภาษาท้องถิ่นว่า “เตาดัวหนอน” มีลักษณะหน้าตัดเป็นโดมครึ่งทรงกลมยาวประมาณ 10-13 เมตร สำหรับเชื้อเพลิงนั้นส่วนใหญ่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ใส่เชื้อเพลิงด้านหน้าเตาและมีปล่องไฟหลังเตาแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงภาพเตาเผาที่บ้านปากห้วยวังนอง



รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบของเตาเผา

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาเผา แสดงในรูปที่ 2.16 และ รูปที่ 2.17 อธิบายได้ดังนี้

1. เรือนไฟ เป็นบริเวณที่ใช้เผาเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เป็นส่วนที่มีความลึกมากกว่าส่วนอื่น ๆ เนื่องจากต้องการให้ความร้อนถ่ายเทไปในทิศทางที่สะดวกและสามารถสูมฟืนได้ในปริมาณที่มากพอที่จะให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์จนสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์สุกตัวได้ ที่บริเวณเรือนไฟจะมีปากบนและปากล่าง โดยปากล่างจะใช้ในการสูมไฟเพื่ออุ่นเตาและปากบนใช้ในการสูมไฟเพื่อทำการเร่งไฟ
2. ตาไฟ โครงสร้างของเตามีการเว้นช่องสำหรับเร่งไฟ และสาคเกลือ การทำตาไฟนอกจากจะให้เปลวไฟไหลผ่านครกได้แล้วยังทำให้ครกในส่วนท้าย ๆ ของเตาได้รับความร้อนได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ได้ครกที่มีคุณภาพในปริมาณสูงหรืออีกนัยหนึ่งก็คือมีเปอร์เซ็นต์ของเสียน้อยลง โดยสาเหตุของการเกิดของเสียและลักษณะของครกที่มีคุณภาพจะได้กล่าวในบทถัดไป
3. ห้องวางผลิตภัณฑ์ เป็นบริเวณที่ใช้ในการวางผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการเผา โดยจะมีการยกสูงขึ้นและพื้นของส่วนนี้จะมีลักษณะลาดชันขึ้นจากหน้าเตาไปยังท้ายเตา เพื่อรับความร้อนได้อย่างเต็มที่ตามธรรมชาติการไหลของเปลวไฟ
4. ปล่องไฟ มีหน้าตัดในแนวระนาบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยก้ออริชุกสูงขึ้นไป พื้นที่หน้าตัดของปล่องไฟจะมีขนาดลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ปล่องไฟถูกใช้ในการถ่ายเทความร้อนออกจากเตาเผา

รวมถึงเป็นการบังคับทิศทางการไหลของความร้อนจากเปลวไฟอีกด้วย ความสูงของปล่องไฟมี
ความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของความร้อนจากบริเวณหน้าเตาไปยังท้ายเตา ดังนั้นในการสร้างเตาเผา
ควรคำนึงถึงความสูงที่เหมาะสมของปล่องไฟ

ลักษณะการไหลเวียนของไฟในเตา

เปลวไฟที่เกิดจากการสุมฟืนที่บริเวณหน้าเตาไฟจะไหลเข้าสู่เตาในลักษณะไหลด้านบน(ครกที่อยู่
ด้านบนจะโดนเปลวไฟมากกว่าด้านล่าง) และเปลวไฟจะไหลผ่านครกได้เพียงบางส่วนด้วยเหตุนี้จึงมีการ
ทำตาไฟเพิ่มขึ้นเพื่อให้เปลวไฟสามารถไหลผ่านครกได้ในทุก ๆ ส่วนของเตาเผา

การทำตาไฟนอกจากจะให้เปลวไฟไหลผ่านครกได้แล้วยังทำให้ครกในส่วนท้ายๆ ของเตาได้รับความ
ร้อนได้อย่างเหมาะสมอีกด้วยซึ่งจะส่งผลให้ได้ครกที่มีคุณภาพในปริมาณสูงหรืออีกนัยหนึ่งก็คือมี
เปอร์เซ็นต์ของเสียน้อยลง โดยสาเหตุของการเกิดของเสียและลักษณะของครกที่มีคุณภาพจะได้กล่าวในบท
ถัดไป

อัตราการไหลของเปลวไฟจากหน้าเตาสู่ปล่องไฟมีผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ กล่าวคือถ้าอัตราการ
ไหลมากความร้อนจากเปลวไฟก็จะไหลออกจากปล่องไฟเร็วเกินไปทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช่เหตุ
เนื่องจากครกไม่สามารถรับความร้อนได้ทัน อัตราการไหลของเปลวไฟขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ความหนาแน่นของครกในเตาเผา
2. ความสูงของปล่องไฟ
3. ความกว้างของรังผึ้งที่อยู่บริเวณท้ายเตา

2.2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา

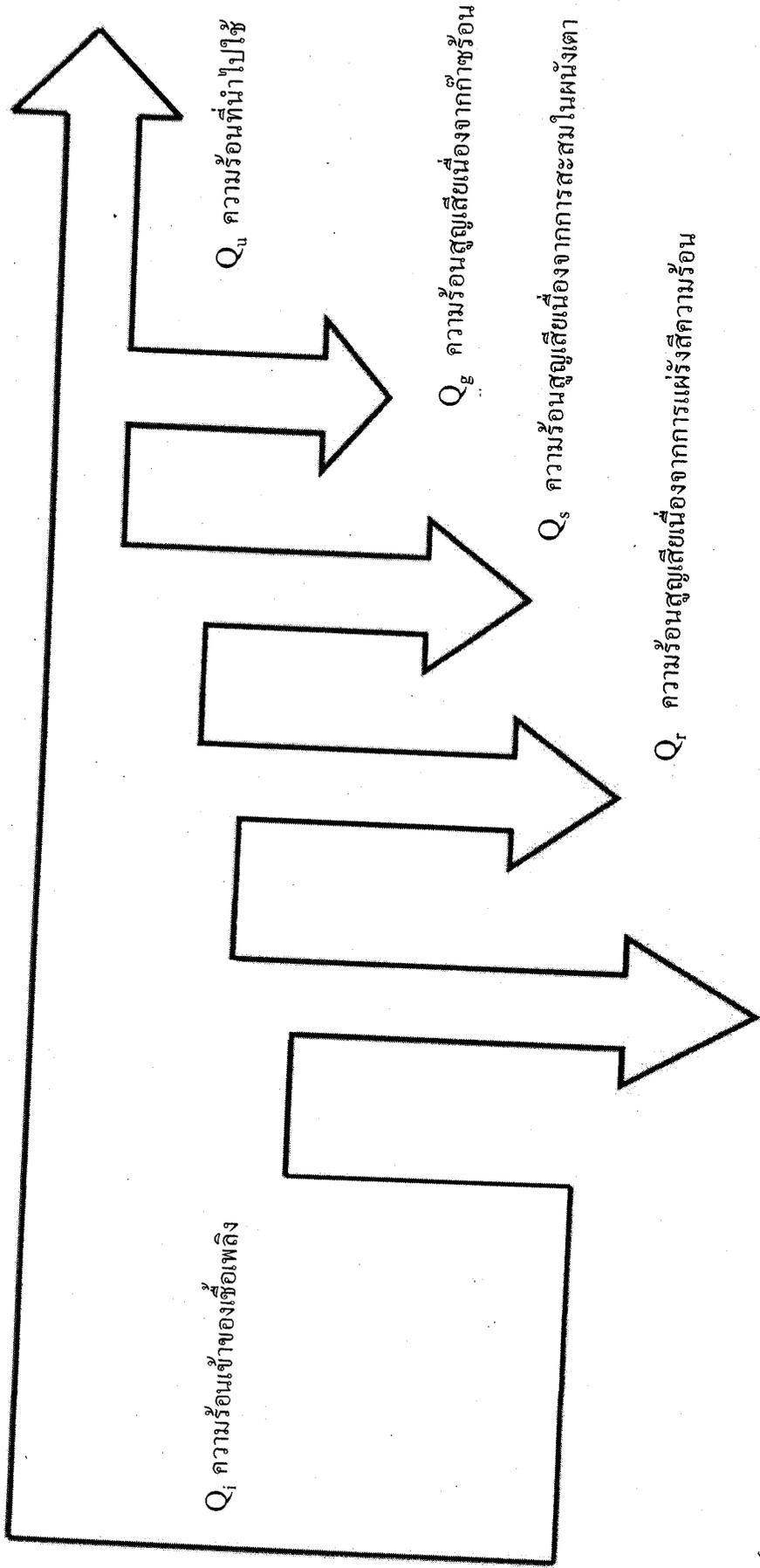
การใช้พลังงานในเตาเผาชีวมวลสามารถพิจารณาโดยใช้หลักสมดุลพลังงาน โดยมีความร้อนที่ใส่เข้าไป
จะต้องมีค่าเท่ากับ ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ และความร้อนที่สูญเสียไป ดังแสดงในรูปที่ 2.16 หรืออาจเขียน
เป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์ของการ สมดุลพลังงานในเตาเผาชีวมวลได้ดังนี้

$$\text{ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (Q)} = \text{ความร้อนที่ใช้ประโยชน์(Q}_u\text{)} + \text{ความร้อนที่สูญเสีย (Q)} \quad (2.1)$$

โดยที่ ความร้อนแต่ละประเภทสามารถคำนวณได้ดังนี้

i) ความร้อนเข้าจากเชื้อเพลิง (Q_i)

$$Q_i = m_p HV \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.18 สมดุลความร้อนในเตาเผาครก

โดยที่

m_f = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)

HV = ค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

ii) ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (Q_u)

ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ของเตาเผาชีวมวล คือความร้อนที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องไปเป็นอุณหภูมิสูงสุดในการเผา และความร้อนที่ใช้ในการขับความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_u = mC_p(T_{\max} - T_i) + m_f H_{fg} \quad (2.3)$$

โดยที่

m = มวลของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่นำเข้าเตาเผาในแต่ละรอบการผลิต (kg)

C_p = ความจุความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ (kJ/kg °C)

T_{\max} = อุณหภูมิสูงสุดของการเผา (°C)

T_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของการเผา (°C)

m_f = มวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ระเหยไปในขณะเผา (kg)

H_{fg} = ความร้อนแฝงในการทำให้น้ำกลายเป็นไอ (kJ/kg)

iii) ความร้อนที่สูญเสีย (Q_l)

ความร้อนที่สูญเสียจากเตาเผาชีวมวลสามารถจำแนกได้เป็น ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา (Q_w) ความร้อนสูญเสียที่ถูกสะสมในผนังเตา (Q_s) และความร้อนสูญเสียเนื่องจากแก๊สทิ้ง (Q_g)

$$Q_l = Q_w + Q_s + Q_g \quad (2.4)$$

โดยนิยามของความร้อนสูญเสียแต่ละตัวอาจอธิบายได้ดังนี้

1. ความร้อนที่สูญเสียผ่านผนัง (Q_w)

ความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังประกอบด้วยความร้อน 2 ส่วน ได้แก่ความร้อนเนื่องจากการพาความร้อน และความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี

- ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการพาความร้อนผ่านผนังเตา (Q_c)

สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_c = hA (T_1 - T_2) \quad (2.5)$$

โดยที่

- h = สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน ($W/m^2 K$)
 A = พื้นที่ผิวของเตาเผา (m^2)
 T_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเตาเผาด้านนอก ($^{\circ}C$)
 T_2 = อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}C$)

- ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน (Q_r)

สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_r = \sigma \epsilon A (T_1 - T_2) \quad (2.6)$$

โดยที่

- σ = ค่าคงที่ของ Stefan - Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)
 ϵ = ค่า Emissivity ของผนังเตาเผา
 A = พื้นที่ผิวของเตาเผา (m^2)
 T_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเตาเผาด้านนอก (K)
 T_2 = อุณหภูมิของอากาศ (K)

2. ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการสะสมในผนังเตา (Q_s)

$$Q_s = m_1 C_p \Delta T \quad (2.7)$$

โดยที่

- m_1 = มวลของผนังเตาเผา (kg)
 C_p = ค่าความจุความร้อนของผนังเตาเผา ($J/kg^{\circ}C$)
 ΔT = อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเตาเผาด้านนอก (K)

3. ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากก๊าซร้อนทิ้ง (Q_g)

$$Q_g = \sum n_i M_i C_{p_i} (T_g - T_a) + n_w M_w (h_g - h_f) \quad (2.8)$$

โดยที่

- n_i = จำนวน โมลของก๊าซร้อนทิ้ง i (kmol)
 M_i = มวลโมเลกุลรวมของก๊าซร้อนทิ้ง i (kg/kmol)
 C_{p_i} = ค่าความจุความร้อนของก๊าซร้อนทิ้ง i (kJ/kg K)
 T_g = อุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซร้อนทิ้ง ($^{\circ}C$)
 T_a = อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ ($^{\circ}C$)
 $h_g - h_f$ = ความแตกต่างของเอนทัลปี (kJ/kg)

ในการหาประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวล จะใช้สมการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน } (\eta) = \frac{\text{ความร้อนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้}(Q_u)}{\text{ความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิง } (Q_p)} \quad (2.9)$$

2.2.4 ทฤษฎีการคำนวณการไหลเชิงพลศาสตร์

2.2.4.1 การคำนวณหาผลเฉลยของปัญหาโดยโปรแกรมการคำนวณของไหลพลศาสตร์

ในการศึกษาการคำนวณของไหลพลศาสตร์ โดยใช้ โปรแกรมคำนวณของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) นั้น มีขั้นตอนของการดำเนินการ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) ขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre - processor)

เป็นขั้นตอนในการกำหนดค่าป้อนเข้าต่างๆ เช่น กำหนดหน่วยความยาวทางกายภาพของแบบจำลอง กำหนดคุณสมบัติของของไหลและของวัสดุ กำหนดวิธีในการคำนวณ กำหนดสภาวะการทำงาน กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตให้กับจุดต่อที่ติดกับขอบเขตของปัญหา กำหนดเงื่อนไขของค่าลู่เข้าและค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณ

2) ขั้นตอนการคำนวณ (Solving)

เป็นขั้นตอนในการคำนวณหาผลเฉลย ซึ่งวิธีการที่นำมาเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

2.1) วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method)

เป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยของตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อต่างๆ บนเส้นกริดทอมของสมการการไหลที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์บางส่วนจะถูกกระจาย โดยใช้ออนุกรมเทเลอร์ให้อยู่ในรูปของผลต่างโดยประมาณบนจุดต่อต่างๆ ซึ่งจะทำให้สมการของระบบซึ่งอยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ย่อยบางส่วนกลายเป็นสมการผลต่าง (Difference equation) ของตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อต่างๆ

2.2) วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method)

เป็นวิธีการแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ ซึ่งมีขนาดต่างๆกัน จากนั้นพิจารณาเอลิเมนต์ที่ละเอลิเมนต์ โดยการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า สมการที่สร้างขึ้นนั้นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่พิจารณาอยู่ จากนั้นปัญหาทั้งหมด เมื่อทำการประยุกต์เข้ากับเงื่อนไขที่ขอบเขตแล้วทำการแก้ชุดสมการดังกล่าว ก็จะได้ค่าผลเฉลยโดยประมาณของค่าที่ต้องการที่ตำแหน่งจุดต่อต่างๆ ความแม่นยำของผลเฉลยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของเอลิเมนต์ที่ใช้ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถประยุกต์เข้ากับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี

2.3) วิธีสเปกตรัล (Spectral method)

เป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณ โดยใช้พื้นฐานของอนุกรมฟูเรียร์ ซึ่งจะไม่ใช่เหมือนวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ให้ค่าผลเฉลยที่จุดต่อต่างๆ แต่วิธีการนี้จะให้ค่าผลเฉลยตลอดทั้งโดเมนของปัญหา

2.4) วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite volume method)

เป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนามาจากวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม ขั้นตอนของกระบวนการเป็นดังนี้

- ทำการอินทิเกรตสมการของปัญหาตลอดปริมาตรควบคุมที่พิจารณาในโดเมนของปัญหา
- เขียนสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาให้อยู่ในรูปของสมการผลต่าง
- หาค่าผลเฉลยโดยประมาณที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้วิธีการทำซ้ำ

การอินทิเกรตบนปริมาตรควบคุมนั้น เป็นวิธีที่ทำให้วิธีการนี้แตกต่างจากวิธีการอย่างอื่น การอินทิเกรตปริมาตรใดๆตลอดปริมาตรควบคุมนั้น เป็นขั้นตอนพื้นฐานของการพิจารณาการอนุรักษ์ปริมาตรที่ไหลผ่านเข้าออกปริมาตรควบคุมนั้น วิธีการนี้เป็นความรู้พื้นฐานที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีสเปกตรัล การใช้กฎการอนุรักษ์คุณสมบัติใดๆ ซึ่งอาจเป็นความเร็ว เอนทาลปี ที่ไหลผ่านปริมาตรควบคุมนั้น พิจารณาได้จากสมดุลของการเปลี่ยนแปลงซึ่งก็คือการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาตรนั้นๆ เมื่อไหลผ่านปริมาตรควบคุม

3) ขั้นตอนการแสดงผลหลังการคำนวณ (Post - processor)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการคำนวณ โดยขั้นตอนนี้จะต้องได้ค่าผลเฉลยโดยประมาณจากขั้นตอนการคำนวณเรียบร้อยแล้ว การแสดงผลของโปรแกรมนั้นจะออกมาในรูปแบบต่อไปนี้

- แสดงรูปร่างของปัญหาและกริด
- เขียนกราฟแบบเวกเตอร์
- เขียนกราฟคอนทัวร์
- เขียนกราฟพื้นผิวใน 2 หรือ 3 มิติ
- แสดงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง เช่น การเคลื่อนไหว การหมุน

2.2.4.2 กฎอนุรักษ์ของการไหล (Conservation Laws of Fluid Flow)

สมการหลักของปัญหาการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่มีรูปแบบเป็นสมการทางคณิตศาสตร์นั้น ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของกฎอนุรักษ์ดังต่อไปนี้

1) กฎอนุรักษ์มวล (Conservation of mass)

เมื่อพิจารณาการไหลของมวลสุทธิผ่านออกจากปริมาตรควบคุม ซึ่งจะมีค่าเท่ากับอัตราการลดของมวลภายในปริมาตรควบคุม ข้อกล่าวนี้เป็นหลักการหนึ่งที่น่าไปสู่กฎการอนุรักษ์หรือสมดุลของมวลภายในเอลิเมนต์ ดังนี้

อัตราการเพิ่มของมวลในเอลิเมนต์ของของไหล = อัตราของมวลสุทธิที่ไหลเข้าสู่เอลิเมนต์

2) กฎอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of momentum)

กล่าวว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมจะเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำต่อของไหลในปริมาตรควบคุมที่พิจารณา ซึ่งก็คือตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม = ผลรวมของแรงที่กระทำต่ออนุภาค

3) กฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy)

กล่าวว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานเท่ากับผลรวมของอัตราความร้อนที่ให้กับอัตราของงานที่กระทำกับอนุภาคของไหล ซึ่งเป็นตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

อัตราการเพิ่มขึ้นของพลังงาน = อัตราความร้อนสุทธิที่ให้กับอนุภาค + อัตรางานสุทธิที่กระทำต่ออนุภาค

2.2.4.3 สมการควบคุม (Governing Equations)

สมการควบคุม พื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขประกอบด้วยสมการหลักๆ 3 สมการ คือ

1) สมการต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

2) สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

$$\frac{dv_x}{dt} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = g_x \beta (T - T_\infty) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right), \text{ทิศทาง } x$$

$$\frac{dv_y}{dt} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = g_y \beta (T - T_\infty) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right), \text{ทิศทาง } y$$

3) สมการพลังงาน (Energy equation)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

เมื่อ:

v_x = ความเร็วของการไหลในทิศทาง x , (m/s)

v_y = ความเร็วของการไหลในทิศทาง y , (m/s)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล, (kg/m^3)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, (m/s^2)

β = สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อน, ($1/K$)

T = อุณหภูมิ, (K)

T_∞ = อุณหภูมิของของไหล, (K)

P = ความดัน

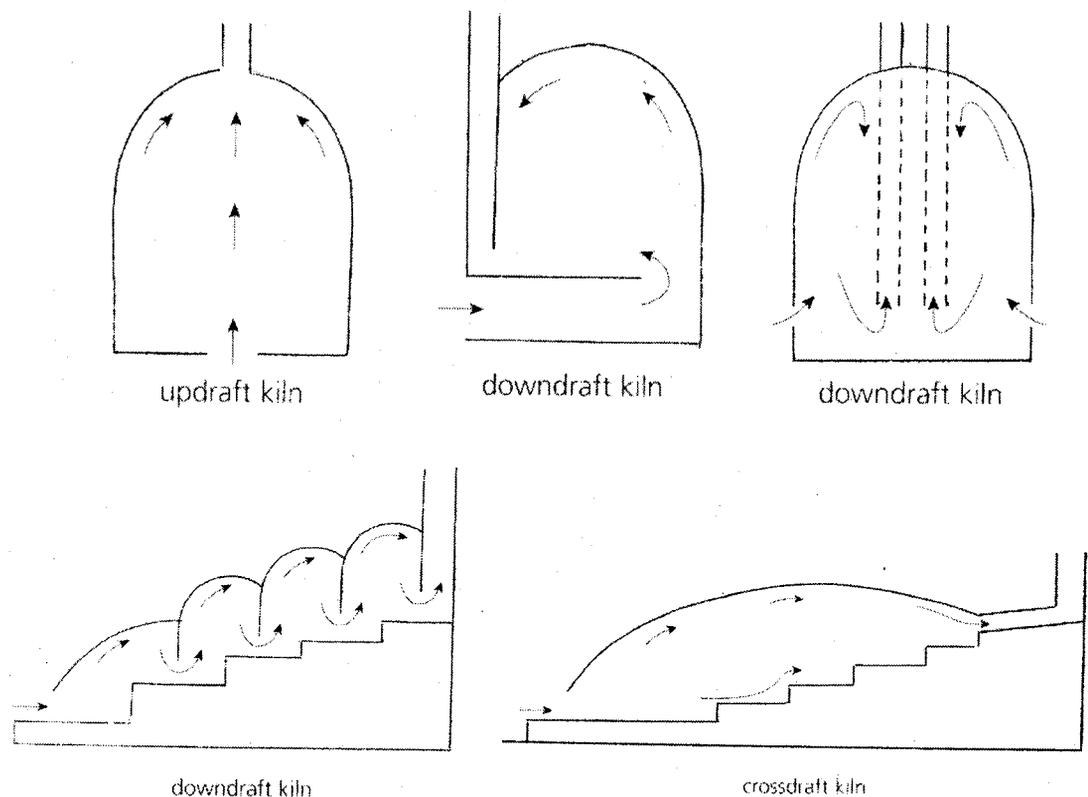
t = เวลา

2.2.5 ชนิดของเตาเผาและหลักการออกแบบ

ในการออกแบบเตาเผา มีสิ่งสำคัญอยู่หลายประการที่ต้องพิจารณา ก่อนตัดสินใจออกแบบ เช่น ผู้ใช้งาน จะต้องรู้ว่าเราจะสร้างเตานั้นเพื่อเผาอะไร ขนาดจะประมาณเท่าไร เชื้อเพลิงคืออะไร หรือแม้กระทั่งสถานที่ตั้งเตา ก็สำคัญเช่นกัน เตาจะต้องถูกออกแบบให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในที่นี้จะพูดถึงเฉพาะเตาที่ใช้ไม้ฟืน เป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น ซึ่ง เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ (คือ ครก และ กระจง) ในงานวิจัยนี้

2.2.5.1 การจำแนกชนิดของเตาเผา ชนิดของเตาแบ่งตามการไหลของลมร้อนสามารถจำแนกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

ก. ความร้อนไหลลง (*downdraft kiln*) เตาชนิดนี้จะมีการไหลของลมร้อน จากล่างขึ้นบน แล้ววกกลับลงด้านล่างอีกครั้ง ก่อนออกจากปล่องลมร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 เตาชนิดนี้จะให้เปลวไฟหรือ อุณหภูมิ ที่กระจายสม่ำเสมอ สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ดี ใช้ประโยชน์จากลมร้อนได้นานกว่าเตาชนิดอื่น



รูปที่ 2.19 เตาชนิดต่างๆ แบ่งตามทิศทางการไหลของลมร้อน

ข. ความร้อนไหลขึ้น (updraft kiln) เตาชนิดนี้ปล่องลมร้อนอยู่ที่ยอดเตา ความร้อน จะวิ่งจากปากเตาด้านล่าง ผ่านผลิตภัณฑ์ แล้วออกจากเตาทันที ทำให้ความร้อนสูญเสียสูง และ เปลวไฟสัมผัสเฉพาะด้านล่าง ของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

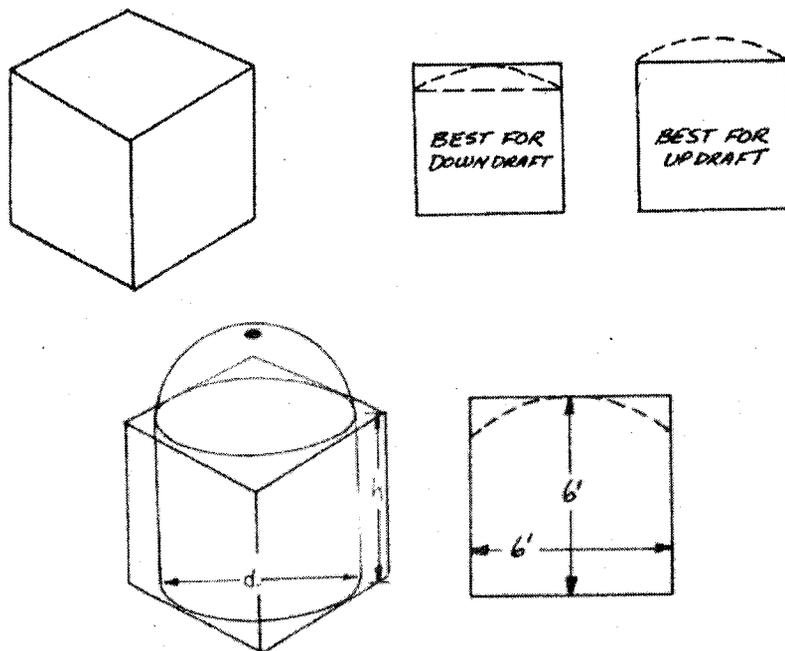
ค. ความร้อนไหลผ่านแนวนอน (crossdraft kiln) เตาชนิดนี้ โดยทั่วไป ลมร้อนจะไหลในทิศทางเดียว ไหลตามแนวนอน หรือ แนวแกนของเตา จากปากเตา ออกสู่ปล่องลมร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ปกติลมมักจะกระจายไม่สม่ำเสมอ ตลอดหน้าตัด ทำให้ได้ชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ที่มีเอกลักษณ์ (unique) ไม่ซ้ำกัน ในแต่ละชิ้น เตาชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กว้างขวางในการเผาผลิตภัณฑ์ ขนาดใหญ่ และ ปริมาณมากๆ เพราะสามารถเรียงผลิตภัณฑ์ ได้สะดวก และการเสียหายจากการล้ม จะน้อยกว่า เตา สองชนิดแรก

2.2.5.2 หลักการออกแบบเตาเผา

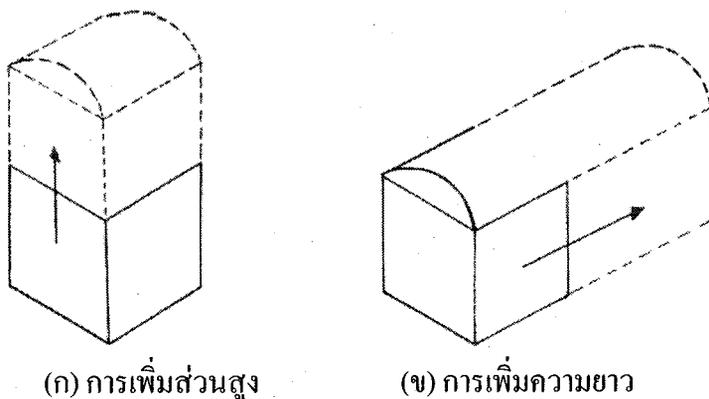
หลังจากพิจารณาตัวแปรเบื้องต้น เช่น ชนิดดินเหนียวที่จะเผา ชนิดเชื้อเพลิง สถานที่ แล้ว หลักการออกแบบเตาเผา ใหญ่ๆ ควรจะพิจารณา ดังนี้

หลักการที่ 1 รูปร่างสี่เหลี่ยมดีที่สุด สำหรับเตาทุกๆ ชนิด การออกแบบให้รูปทรงตัวเตาที่บรรจุผลิตภัณฑ์ เป็นทรงสี่เหลี่ยม (หรือใกล้เคียง) จะดีที่สุด โดยให้โคมหลังคา วางอยู่บนทรงสี่เหลี่ยม สำหรับ updraft kiln และ โคมหลังคาอยู่ในทรงสี่เหลี่ยม สำหรับ downdraft kiln ขนาดหน้าตัด คือ ด้าน

กว้าง และ ด้านสูงของเตาควรใกล้เคียงกับรูปทรงสี่เหลี่ยมมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.20 การเพิ่มความสูงของเตาสามารถเพิ่มความจุได้ แต่จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาตกลง หากต้องการเพิ่มความจุ โดยทำให้ประสิทธิภาพการเผาตกลงอาจจะเพิ่มความยาวเตาได้ โดยยังรักษาทรงสี่เหลี่ยมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.21

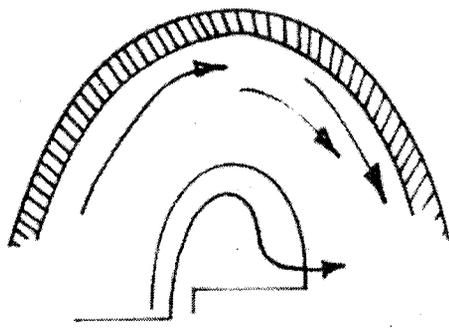


รูปที่ 2.20 หลักการออกแบบเตารูปทรงสี่เหลี่ยม

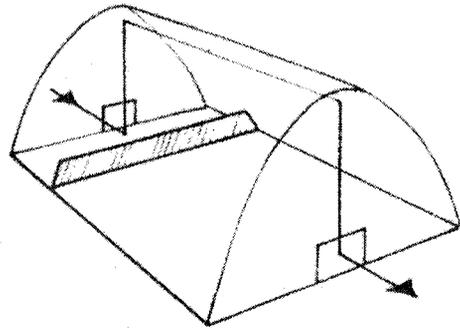


รูปที่ 2.21 หลักการออกแบบเตารูปทรงสี่เหลี่ยม

หลักการที่ 2 รูปร่างของตัวเตากำหนดโดยทิศทางการไหลของความร้อน การเคลื่อนที่ของเปลวไฟให้เป็นไปโดยธรรมชาติที่สุด มีข้อควรจำ 2 ข้อคือ (1) เปลวไฟและทิศทางการไหลของความร้อนจะวิ่งไปตามส่วนโค้ง และไม่ควรตั้งฉากกับส่วนโค้ง ดังรูปที่ 2.22(ก) (2) การเคลื่อนที่ของเปลวไฟและความร้อน ควรจะมีมุมฉากอยู่แค่ 2 คือ ทางเข้าและทางออกเตา ดังรูปที่ 2.22(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.22 การเคลื่อนที่ของเปลวไฟและความร้อน

หลักการที่ 3 กำหนดขนาดของเรือนไฟหรือห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิง
เรือนไฟหรือห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง โดยสามารถประมาณได้จาก
หลักการนี้

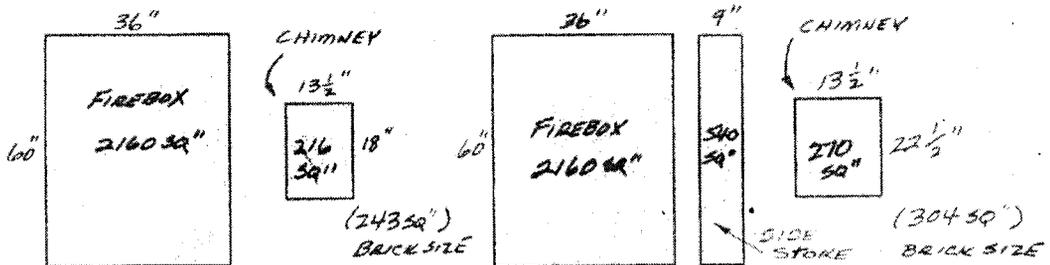
พื้น: พื้นที่ของเรือนไฟ ใช้ขนาดประมาณ 10 เท่าของพื้นที่ปล่องลมร้อน (รูปที่ 2.23)

ถ่านหิน: ขนาดของพื้นเตาจะเป็น 6-8 เท่าของขนาดเรือนไฟ

น้ำมัน: ขนาดของพื้นเตาจะเป็น 5 เท่าของขนาดเรือนไฟ

หลักการนี้เป็นหลักการคร่าวๆ ซึ่งยากมากที่จะประยุกต์ใช้ได้ทุกกรณี อย่างไรก็ตามแล้วแต่เรื่องนี้เป็นหัวใจสำคัญในการกำหนดแรงดึงอากาศเข้าเตาเผา และความเร็วของการเผาไหม้ หากจะทดลอง
สร้างควรสร้างให้ใหญ่ไว้ดีกว่าเล็ก แล้วค่อยๆลดขนาดปล่องลงมาเรื่อยๆ

CROSS DRAFT DESIGN

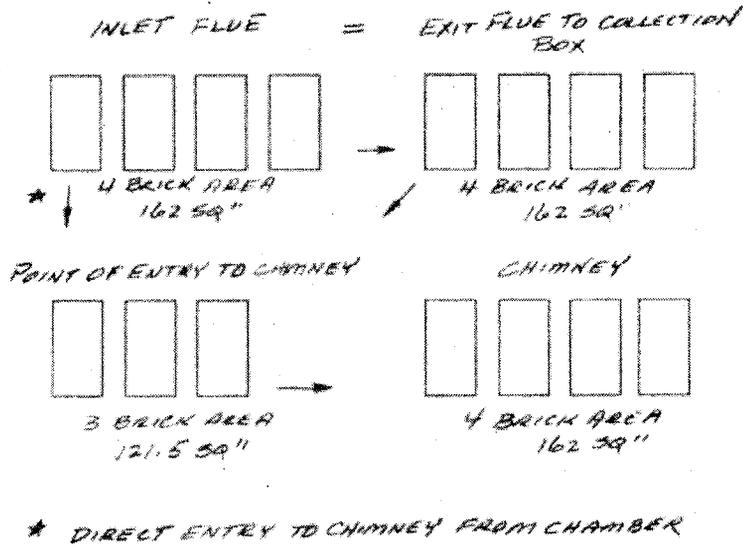


$$2160 \div 10 = 216 \text{ sq"}$$

$$2160 + 540 \div 10 = 270 \text{ sq"}$$

รูปที่ 2.23 การกำหนดขนาดเรือนไฟของเตาพื้น ชนิด cross draft

หลักการที่ 4 ความเร็วของปล่องไฟควบคุมอัตราการดูดอากาศเข้าเตา ความเร็ว (tapering) ของปล่องลมร้อนจะช่วยลดความดันที่ปลายปล่อง (หรือเพิ่มความเร็วนั่นเอง) ทำให้เพิ่มแรงดูดที่ปากเตาได้ ความสูงของปล่อง ก็มีผลต่อแรงดูดด้วย โดยเฉลี่ยขณะเผา ความเร็วลมในเตาควรประมาณ 1.2-1.5 m/s สำหรับลมดูดธรรมชาติ แต่ในช่วงอุ่นเตาความเร็วลมควรจะช้ากว่านี้มาก อย่างไรก็ตามแล้วแต่ปลายปล่องเตาควรจะมีขนาดเท่ากับปากเตา (ช่องอากาศเข้า) ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การประมาณขนาดของปล่องไฟ ปากเตา และ ปล่องไฟ

หลักการที่ 5 สำหรับเตาที่ดูดอากาศแบบธรรมชาติ ควรใช้ปล่องไฟสูง 3 ฟุต ต่อ 1 ฟุต ของการดูดอากาศลง บวกกับ 1 ฟุตของปล่องไฟ ต่อ 3 ฟุตของการดูดอากาศแนวราบ ยกตัวอย่างเช่น เตาที่หลังคาสูง 6 ฟุต จะใช้ปล่องสูง 18 ฟุต หาก กว้าง 5 ฟุต และมีช่องทางเข้าปล่องไฟ ขนาด 1x1 ฟุต จะใช้ปล่องสูงอีกเท่ากับ $(5+1+1)/3 = 2.3$ ฟุต ดังนั้น ต้องการปล่องสูง เท่ากับ $18+2.3 = 20.3$ ฟุต

หลักการที่ 6 ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของปล่องไฟ ประมาณ 1/4 ถึง 1/5 ของเส้นผ่าศูนย์กลางเตา หากเตามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ฟุต ขนาดของปล่องไฟอาจจะประมาณ 1 ฟุต

หลักการที่ 7 ความสูงของปล่องไฟช่วยเพิ่มความเร็วลมในเตาได้ ความสูงของปล่องไฟที่สูงเกินไป อาจจะทำให้การเผาไหม้ในเตาไม่ปกติ โดยอาจจะดึงความร้อน ออกจากเตาเร็วเกินไป ทำให้ไม่ได้ความร้อนอย่างเต็มที่ ประสิทธิภาพของเตาต่ำ หากปล่องต่ำเกินไป ลมอาจจะไม่ดูดเข้าเตาเลย เกิดการเผาไหม้ไม่ดี และลมร้อนไม่ไหลผ่านเตา

หลักการที่ 8 จุดสำคัญในเตาควรออกแบบให้แก้ไขได้ง่าย จุดที่คิดว่ามีผลต่อการทำงานของเตา เช่น ปากเตา ทางเข้าปล่องไฟ ปลายปล่องไฟ ควรสามารถปรับแก้ได้ง่าย ควรสร้างให้มีขนาดใหญ่ไว้ก่อน หากจำเป็นอาจทำการอุด หรือ ปะ เพื่อลดขนาดได้

2.2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้พลังงานของเตาเผา

ณัฐวุฒิ หนูเกื้อ ได้ศึกษากระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตามังกร จังหวัดราชบุรี โดยศึกษาความเสียหายเชิงปริมาณพบว่าผลิตภัณฑ์เสียหายประมาณ 20% โดยบริเวณหน้าเตาจะมีของเสียหายมากที่สุดประมาณ 30% ของปริมาณผลิตภัณฑ์เสียหายทั้งหมด และจากการวิเคราะห์ผลการวัดอุณหภูมิขณะทำการเผาพบว่าสาเหตุของการเสียหายเกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นลงที่สูงมากในบริเวณหน้าเตาทำให้ความร้อนถ่ายเทให้กับผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอและจากการคำนวณเชิงตัวเลขขั้นต้นเพื่อแสดงการหน่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซร้อน โดยการใส่อุปกรณ์สะสมความร้อนจำลอง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแนวทางดังกล่าวในการแก้ปัญหา

พุดพิพล ติมปโสภณพนิช ได้ศึกษาการใช้ศักยภาพของความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม 5 ประเภท ได้แก่ เตาเผาปูนพลาสเตอร์ เตาเผาเซรามิกส์ เตาหลอมแก้ว และเตาเผากระเบื้อง พบว่าสัดส่วนพลังงานความร้อนในไอเสียที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 29.59% , 80.47% , 46.33% , 63.93% และ 42.30% ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ปีละ 102.81 ลิตร, 7,881.6 กิโลกรัม, 259,476 ลิตร, 976,912 ลิตร, และ 8,517.44 MMBTU ตามลำดับ และคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ปีละ 41,298 บาท, 102,460 บาท, 3,287,566 บาท, 12,377,487 บาท และ 1,362,790 บาท ตามลำดับ ในขณะที่การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในอยู่ในเกณฑ์ (1.30-1.40) จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ปีละ 279 ลิตร, 113 กิโลกรัม, 8,343 ลิตร ตามลำดับ โดยในเตาเผา กระเบื้องไม่จำเป็นต้องมีการปรับ

สมศักดิ์ จรีเวรุไวโรจน์ ได้ศึกษาการนำความร้อนทิ้งของเตาคิวโบล่ากลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรม หล่อเหล็ก โดยทำการศึกษาในโรงหลอมเหล็กหล่อขนาดการผลิต 460 ตันต่อปี ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้ 28.83% ประสิทธิภาพของเตาหลอมตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ 31.38% ตามกฎข้อที่สอง 28.73% พลังงานที่สูญเสียที่สำคัญคือส่วนที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาคือ 31.38% และจากไอเสียทางปล่องเตา 28.46% ที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นได้ทำการออกแบบ จัดตั้งและติดตั้ง Recuperator ชนิด Multitube type แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าสามารถประหยัดใช้ถ่านโค้กได้ 86 กิโลกรัมต่อการหลอม 3 ชั่วโมง (1 batch) คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 34,262,40 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 1.35 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 43.30%

เดชะ ดันมิสุข ศึกษาการใช้พลังงานโดยการวิเคราะห์พลังงานและอเนลบีลิตี้ของเตาเผาเหล็ก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุดในโรงงาน โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งและสองทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่าประสิทธิภาพของเตาเผาตามกฎข้อที่หนึ่ง 69.5% กฎข้อที่สอง 40.3% การย้อนกลับไม่ได้ซึ่งเป็นพลังงานที่ถูกทำลายโดยเฉลี่ย 45.9% พลังงานสูญเสียไปกับไอเสีย 17.9% สูญเสียโดยการเผาไหม้ไม่

สมบูรณ์ 4.2% สูญเสียโดยการแผ่รังสีความร้อนและอื่นๆ ที่วัดไม่ได้ 2% และสูญเสียผ่านผนังเตา 1.8% จากการศึกษาแนวทางประหยัดพลังงานพบว่าอุณหภูมิไอเสียอยู่ในช่วง 550-600 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมกับการกลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาใช้ในการอุ่นน้ำมันเตาแทนการใช้ไฟฟ้า อุ่นวัตถุดิบ หรืออุ่นอากาศก่อนเข้าสู่เตาเผา รวมทั้งการเปลี่ยนหรือติดตั้งฉนวนกับความร้อนใหม่โดยรอบตัวเตาผลจากการอุ่นอากาศด้วยความร้อนจากไอเสียลดพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงลงได้ 11% หรือ 0.7 ลิตรต่ออนาทีและยังทำให้พลังงานสูญเสียออกไปกับไอเสียลดลง มาตรการประหยัดพลังงานต่างๆที่แนะนำคือ การอุดรอยรั่วต่างๆรอบตัวเตา ตรวจสอบก๊าซไอเสียอย่างต่อเนื่อง และปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้ได้จุดที่เหมาะสม เป็นต้น

Prasertsan, Prateepchaikul และ Coovattanachai ได้ทำการศึกษาถึงสภาพการณ์ใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐในประเทศไทย จากการศึกษาถึงปัญหาที่ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอิฐในประเทศไทยหลายแห่งต้องปิดตัวลง พบว่าปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นคือต้นทุนการผลิตในด้านพลังงานที่มีมูลค่า และเชื้อเพลิงหายากขึ้น โดยต้นทุนด้านพลังงานของเตาเผาอิฐที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสูงถึง 30% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด และของเตาเผาที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 6-7% ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเตาเผาอิฐที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1,580-3,790 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ และของเตาเผาอิฐที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 670-5,420 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ และพบว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ถึง 60% ถ้ามีการเปลี่ยนแลงเตาเผาแบบเดิมมาเป็นแบบต่อเนื่อง รวมถึงการวิจัยและพัฒนาวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบาและการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น เช่น น้ำมันปาล์ม เป็นต้น

Prasertsan และคณะ ได้ทำการพัฒนาเตาเผาอิฐประสิทธิภาพสูง โดยทำการทดลองและสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ จากผล ที่ได้จึงได้ทำการออกแบบสร้างเตาเผาอิฐขึ้นมาใหม่ โดยเป็นลักษณะของเตาเผาชนิดระบายความร้อนลงประกอบด้วยห้องเผาใหม่แบ่งเป็น 4 ห้องสำหรับรองรับขั้นตอนการเผาทั้ง 4 ขั้นตอน คือ การไล่ความชื้น การอุ่น การเผา และการปล่อยให้เย็นตัวลง สลับกันไปห้องทั้ง 4 มีลักษณะแตกต่างกันแต่มีการทำงานอย่างต่อเนื่อง เตาเผาดังกล่าวได้ใช้หลังในการหมุนเวียนความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ จากการทดลองการทำงานของเตาเผาดังกล่าวพบว่า ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่ำกว่า 2,300 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ และมีประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณ 62.6% แกลบเผาเตาดังกล่าวยังต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงในบางส่วน เช่น ทางเลือกในการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นแทนการใช้ฟืนหรือแกลบที่ประสบปัญหาขาดแคลน และระบบกลไกในการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากเตา

พงษ์จรูญ ศรีโสวรรณ และวิชัย ขจรสิริฤกษ์ ได้ทำการศึกษาเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ โดยดำเนินการหาประสิทธิภาพของเตา Shuttle Brick kilns ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคเหนือของประเทศไทย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของมาตรการประหยัด

พลังงาน 2 มาตรการใหญ่ๆ ได้แก่ มาตรการแรกเป็นการปรับปรุงฉนวน โดยการใช้วัสดุเบา เช่น เซลลูลอสไฟเบอร์แทนอิฐทนไฟ มาตรการที่สองคือการปรับปรุงประสิทธิภาพของสันดาป โดยติดตั้งเครื่องมือวัดค่าออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวชี้ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงหรือตำแหน่งแอมเปอร์ อันจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการสันดาปดีขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีดังนี้

ขวัญชัย ฤทธิจีน ได้ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงหรือ Emission Factor จากการผลิตถ่านด้วยเตาผลิตถ่าน 3 ประเภท คือ เตาถังเดี่ยว เตากลบ และเตาดินกลบ โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินยักษ์เป็นวัตถุดิบ ก๊าซเรือนกระจกที่ศึกษาได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน สารไฮโดรคาร์บอนรวมยกเว้นมีเทน (TNMHC) ค่า Emission Factor ของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดได้จากก๊าซเก็บตัวของเตาเผาถ่านทั้ง 3 ประเภท มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นแล้วนำมาทำสมดุลคาร์บอนของก๊าซ CO₂ , CO และ CH₄ คาร์บอนในไม้ ถ่าน สันถ่าน และคาร์บอนในฝุ่นละออง ผลการศึกษาพบว่าเตาเผาถ่านต่างชนิดมีผลต่อประเภทและปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาต่อผลผลิตถ่านหนึ่งกิโลกรัมคือ เตาถังเดี่ยวจะให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ 160.84 gCo₂ ส่วนเตาดินกลบกลบจะให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนรวมยกเว้นมีเทนมากที่สุด ความแตกต่างของผลการทดลองเกิดจากลักษณะการควบคุมการทำงานของเตาที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการเผาไม้ และปริมาณของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ฉันทจิสา เกศมณี ได้ทำการศึกษาประเภทอุตสาหกรรมที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต 11 ประเภท โดยได้รวบรวมข้อมูลอัตราการผลิตและกระบวนการผลิตจากอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และศึกษาค่าประกอบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อนำมาประเมินการปล่อยก๊าซ โดยใช้รูปแบบของ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) และทำการสมมูลมวล พบว่าในปี ค.ศ. 1990 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทรวมกันทั้งสิ้นประมาณ 17 ล้านตัน แบ่งเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 16.39 ล้านตัน ก๊าซมีเทน 315 ตัน และสารระเหยต่างๆ 122 ตัน โดยได้ประเมินแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงปี ค.ศ. 1995-2001 ไว้ทั้งสิ้นประมาณ 40 ตัน แบ่งเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 39 ล้านตัน ก๊าซมีเทน 852 ตัน และสารระเหยต่างๆ 846 ตัน และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกๆ ปี

วรวิศา ไชยวงศ์ ได้ศึกษาการวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตถ่าน โดยได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตถ่าน ด้วยเตาขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร 2 ประเภท คือ เตาอิฐและเตาดินเหนียว โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสและกถินยักษ์เป็นวัตถุดิบ พบว่าเตาผลิตถ่านต่างชนิดมีผลต่อประเภทและปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมามากที่สุดต่อหนึ่งกิโลกรัมไม้แห้ง คือ เตาอิฐ

จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน และฝุ่นละอองออกมามากกว่า เตาดินเหนียว ส่วนเตาดินเหนียวจะปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนรวมยกเว้นมีเทน และก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์มากกว่าเตาอิฐ เนื่องจากลักษณะเตาที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลกระทบต่อกระบวนการ เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส และชนิดของไม้ทั้งสองก็ไม่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากไม้ทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกัน

การใช้ CFD ในการศึกษาเตาเผา

ปัจจุบัน Computational Fluid Dynamics (CFD) ถูกใช้สำหรับเป็นเครื่องมือ ศึกษา พัฒนาและ ออกแบบอุปกรณ์ทางความร้อนอย่างกว้างขวาง เนื่องจากใช้เงินลงทุนน้อย และสามารถช่วย ประหยัดเวลาจากการทดลองได้ ความรู้ทาง CFD ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทมวล สารและความร้อนของของไหล โดยมากแล้วมักจะอยู่ในอุปกรณ์เชิงความร้อนของอุตสาหกรรม กระบวนการที่เกิดขึ้นในเตาเผาที่เช่นเดียวกัน

Maria da Graca Carvalho และคณะ ได้รวบรวม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ CFD ของเตา แต่ละชนิดจากงานวิจัยอื่นที่ผ่านมาเพื่อช่วยออกแบบและเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานของเตาเผา พบว่าสามารถช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบได้อีกทั้งเป็นการยืนยันผลสำเร็จของการนำเอา CFD มาประยุกต์ใช้สำหรับงานเตาเผา

โดยส่วนใหญ่แล้ว CFD จะถูกใช้สำหรับศึกษาการไหลของอากาศซึ่งจะทำให้พบการกระจาย ตัวของอุณหภูมิภายในเตา เพื่อศึกษาและแก้ปัญหาปัญหาความร้อนกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ซึ่งผลที่ได้ จาก CFD สามารถนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับควบคุมสภาวะของเตา Yongxiang Yang และคณะ ได้ นำเอา CFD คำนวณสภาวะการทำงานของเตาเผาขยะ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับระบบควบคุมของ กระบวนการเผาขยะ นอกจากนี้แล้วเมื่อเร็ว ๆ นี้ S. Jayati และคณะ ได้ใช้ CFD ศึกษาอิทธิพลของขี้เถ้าที่มี ต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเตาเผา พบว่า หากขี้เถ้ามีมากจะทำให้การออกซิเดชันขณะเผาไหม้ลดลง และอุณหภูมิช่วงสูงสุดของเตามีค่าลดลงด้วย ซึ่งเป็นตัวอย่างสำคัญที่แสดงให้เห็นความสำคัญของ CFD ที่มีต่อการศึกษาและพัฒนาเตาเผาลักษณะต่างๆ

การจำลองปรากฏการณ์ในเตาเผา โดย CFD มักจะเกิดปัญหาในด้านความไม่ครอบคลุม อิทธิพลของแต่ละกระบวนการได้ไม่ครบถ้วน เช่น CFD ไม่สามารถคำนวณการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ การปล่อยมลพิษของเตา อิทธิพลของขี้เถ้าในเตา และการฟอร์มตัวของชิ้นงานในเตา ด้วยเหตุนี้จึงมี นักวิจัยพยายามพัฒนาแบบจำลองของ CFD ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

F. Marias นำแบบจำลองของ CFD ใช้ควบคู่กับแบบจำลองปฏิกิริยาเคมี ที่เกิดขึ้น ขณะเผาของ เสียที่เป็นของแข็งในเตาเผาขยะ ขณะที่การประยุกต์ใช้งานสำหรับเตาเผาชิ้นงานขึ้นรูปนั้น E. Mastoralos และคณะ ได้ใช้การคำนวณทาง CFD กับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอิฐปูน เพื่อศึกษา

ความร้อนที่สูญเสียจากการถ่ายเทกลับของอิฐ และความร้อนที่ถูกใช้ในการฟอร์มตัวของชิ้นงานในเตา D.K.Fadaros และคณะ นำ CFD ช่วยศึกษากระบวนการ calcination ในอุตสาหกรรมเตาเผาซีเมนต์ โดยใช้ CFD พร้อมกับคำนวณพฤติกรรมของอนุภาคใน calciner ด้วยหลักการของ Lagrangean ซึ่งจากงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมา ทำให้ CFD สามารถขยายขอบเขตของการแก้ได้กว้างขวางมากขึ้นและเป็นการรองรับเพื่อประยุกต์ใช้งานกับปัญหาที่ยุ่งยากมากยิ่งขึ้นได้ในอนาคต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย ของแผนงานวิจัยนี้ สามารถกล่าวโดยรวมได้ดังนี้

1. สำรวจจำนวนผู้ประกอบการเตาเผาทั้งหมดใน ตำบลปากห้วยวังนอง ขอความร่วมมือ ในการ เก็บข้อมูล รวมทั้งสำรวจเตาเผาลักษณะเดียวกัน ในพื้นที่อื่นๆ
2. ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเตาเผา สรุปผลการศึกษา เพื่อ เป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการทราบ ปัญหาของตนเอง และนำมาใช้ในการออกแบบ
3. ศึกษาการทำงานของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา เพื่อ ช่วยลดการใช้พลังงาน และปริมาณของเสีย
4. ใช้ CFD ศึกษาการไหล ของอากาศร้อน ในเตาเผา และ ช่วยในการออกแบบ เตาต้นแบบ
5. ออกแบบเตาต้นแบบ อย่างน้อย 3 แบบ สร้าง และ ทำการทดสอบ อย่างน้อยหลังละ 3 ครั้ง ถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยี การผลิต ที่วิจัยได้ ให้ผู้ประกอบการและผู้สนใจ

3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตา และหาแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพเตานั้นจำเป็นต้องอย่างยั้งที่ต้องรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลทางด้านการใช้พลังงาน เพื่อนำมาประกอบการคำนวณวิเคราะห์ การได้มาของข้อมูลนั้น ส่วนหนึ่งซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป อาจสามารถได้มาจากการสอบถามจากผู้ประกอบการโดยตรง แต่ในแง่ข้อมูลด้านเทคนิคการใช้พลังงานนั้นมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัวแปร และต้องการการตรวจวัด โดยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำสูง ในหัวข้อนี้ต้องการที่จะแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงาน

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Gas Analyzer)

ผู้ผลิต Bacharach Model 125

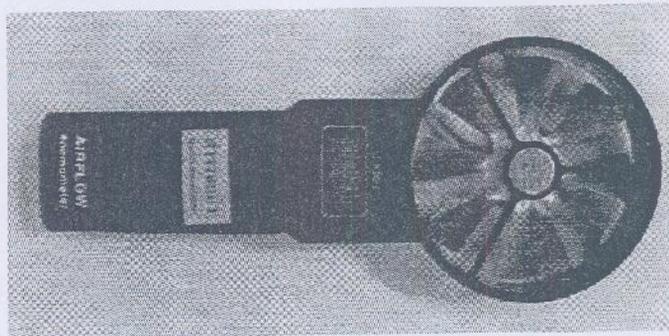
ใช้ในการตรวจวัดไอเสีย (รูปที่ 3.1) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการเผาไหม้และความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียได้ โดยตัวแปรที่ตรวจวัด ได้แก่ปริมาณ ปริมาณก๊าซออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, อากาศส่วนเกิน, อุณหภูมิไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดปริมาณแก๊สไอเสีย

3.2.2. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

ผู้ผลิต Instrumentation Model LCA 6000

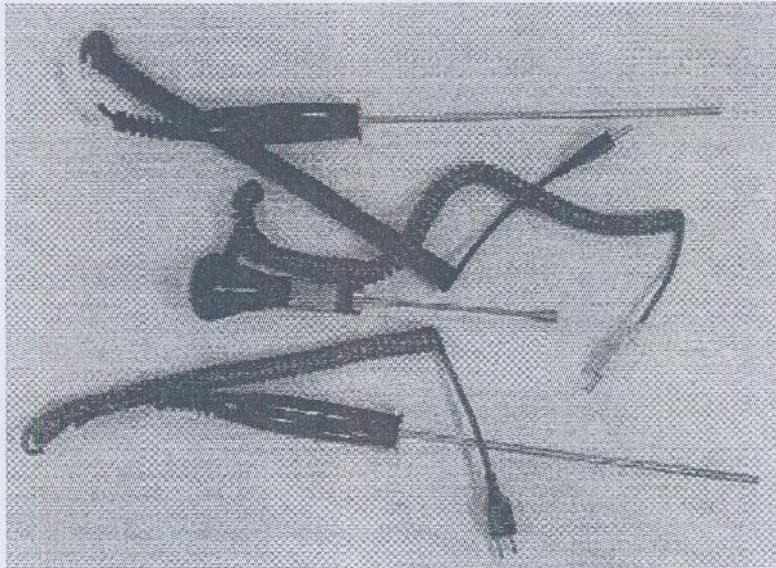


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดความเร็วลม

ใช้ในการวัดความเร็วลม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการพาความร้อนของผนังเตาเผา ในการตรวจวัดอาจต้องการตรวจวัดหลายๆ ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.2.3. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส (Thermocouple)

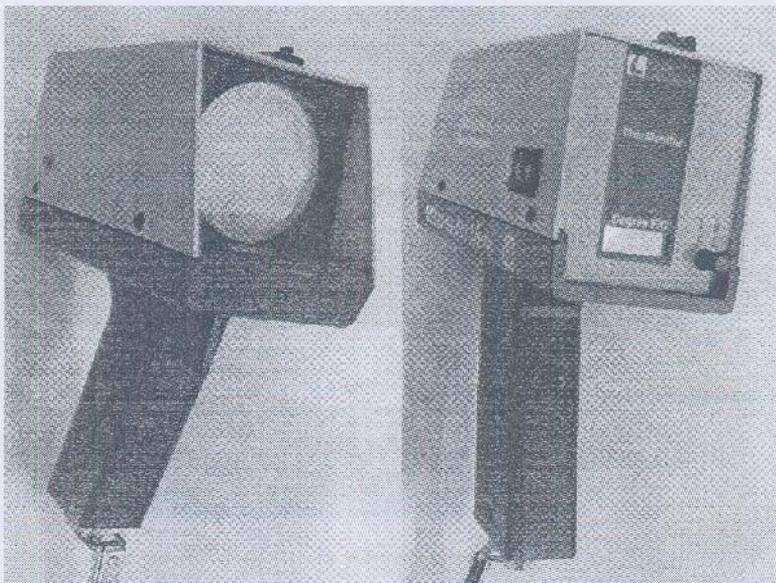
เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตา และที่ผนังเตา โดยการวัดจำเป็นต้องใช้การสัมผัสระหว่างหัวตัววัดและผิวที่ต้องการวัด



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

3.2.4.เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส (Pyranometer)

ผู้ผลิต Linear Laboratory model NY-100

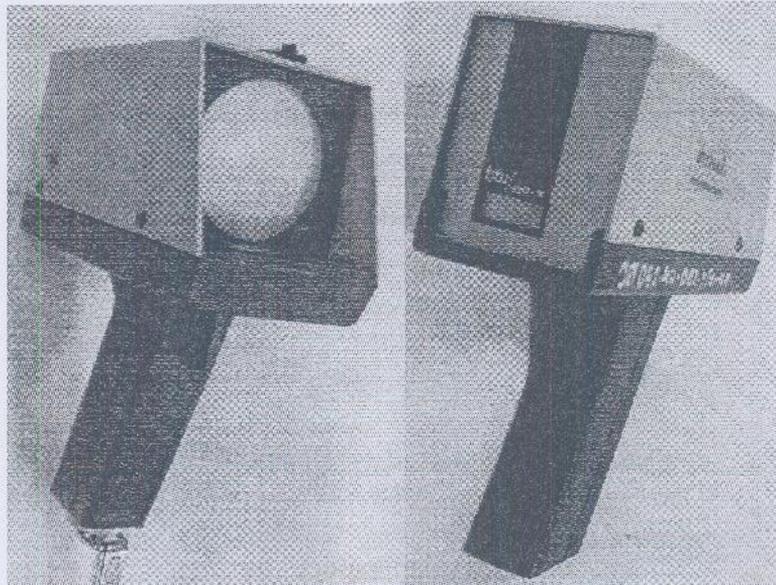


รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส

เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยไม่ต้องการการสัมผัส ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การใช้งานควรทำการวัดหลายๆตำแหน่งเพื่อนำมาใช้หาค่าเฉลี่ย

3.2.5 เครื่องวัดปริมาณความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา

ผู้ผลิต Linear Laboratory model EM 100



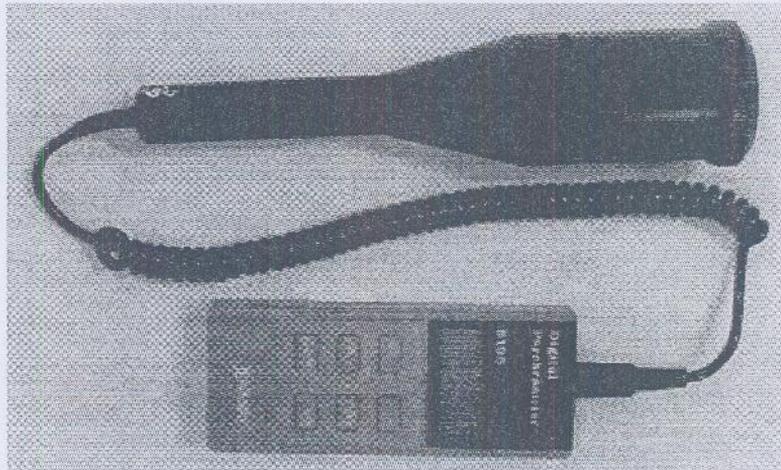
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดความร้อนสูญเสียที่ผนังเตา

ใช้วัดอัตราการสูญเสียความร้อนจากพื้นที่ผนังต่อพื้นที่ต่อช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.5 หลักการทำงานเช่นเดียวกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในหัวข้อ 2.2.4 และการวัดควรทำการวัดหลายตำแหน่งเพื่อนำมาใช้หาค่าเฉลี่ย

3.2.6 เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Digital Psychrometer)

ผู้ผลิต Jenway Model 5105

ใช้ในการวัดหาคุณสมบัติของอากาศในบริเวณที่ตั้งเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นอากาศที่จะเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ต่อไป โดยค่าที่วัดได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, อุณหภูมิกระเปาะเปียก และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

3.2.7 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power meter)

ผู้ผลิต Measuretronix model Fluke 39



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า

ใช้วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าในระบบการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ระบบการผลิต เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ และอัตราการใช้ไฟฟ้าในระบบ

3.3 แหล่งที่มาของข้อมูล

คณะวิจัยได้ทำการสำรวจจำนวนผู้ประกอบการที่ผลิตเครื่องปั้นดินเผาทั้งหมด ที่บ้านปากห้วยวังนอง ต.ปทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี ซึ่งมีผู้ประกอบการทั้งหมด 38 ราย แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ที่อยู่และกำลังการผลิตของผู้ประกอบการทั้งหมด 38 ราย

ผู้ประกอบการ	กำลังการผลิตครกต่อ รอบการผลิต (ใบ)
1. นายบวร พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 381 ม.11	4000
1) นายทวี ทิณพัฒน์ บ้านเลขที่ 390 ม.11	2500
2) นางจอย วงศ์คำสี บ้านเลขที่ 35/2 ม.11	2,700
3) นายสำพล พิมพ์บุตร บ้านเลขที่ 122 ม.11	2,500
4) นายรัศมี จัทรเกษ บ้านเลขที่ 217 ม.11	1850
5) นายสุคใจ มณีพันธ์ บ้านเลขที่ 128 ม.11	1,500
2. นายศุภมิตร สันหจันทร์ เลขที่ 152/2 ม.11	2,000
3. นายอัมรินทร์ บุญผ่อง บ้านเลขที่ 187 ม.11	2,200
4. นายจารึก วงศ์ตรี บ้านเลขที่ 384 ม.11	2,300
5. นายรุ่ง ประทุมมา บ้านเลขที่ 158/1 ม.11	2,500
6. นายอรุณ ขจัดภัย บ้านเลขที่ 160 ม.11	1,500
7. นางวันคำ ธรรมวงศ์ศรี บ้านเลขที่ 155 ม.11	3,000
8. นายจิม ขจัดภัย บ้านเลขที่ 154 ม.11	2,200
9. นายลำพอง คัดทวี บ้านเลขที่ 172 ม.11	2,200
10. นายสมชาย วิเศษ บ้านเลขที่ 177 ม.11	3,000
11. นายอารมณ สยามมงคล บ้านเลขที่ 28/1 ม.6	2,500
12. นายวัฒนา แก้วคน บ้านเลขที่ 113 ม.6	2,200
13. นายสำลี พันธุ์มูล บ้านเลขที่ 42 ม.6	2,800
14. นายเสถียรพร พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 221 ม.6	2,000
15. นายสมไทย ทิณพัฒน์ บ้านเลขที่ 162 ม.6	2,000

16. นายมนตรี พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 161 ม.6	3,300
17. นายจิตรกร พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 111 ม.6	1,000
18. นางศิริวรรณ ยอพันธ์ บ้านเลขที่ 362 ม.6	2,500
19. นายปึก กอสุวรรณ บ้านเลขที่ 163 ม.6	2,600
20. นายสีรน ภาผล บ้านเลขที่ 412 ม.6	2,000
21. นายยงยุทธ สว่างวงศ์ บ้านเลขที่ 157 ม.9	2,700
22. นายสมชาย แซ่ก้อ บ้านเลขที่ 3/1 ม.9	3,000
23. นางศิรินทร ภาผล บ้านเลขที่ 34 ม.9	3,340
24. นางสาวกร ภาผล บ้านเลขที่ 138 ม.9	3,300
25. นายสมเกียรติ เชื้อพันธ์ บ้านเลขที่ 28 ม.9	3,800
26. นายภูวนัย ยังแสนภู บ้านเลขที่ 42 ม.9	2,700
27. นายประกอบ ไสยแพรว บ้านเลขที่ 34/1 ม.9	3,400
28. นายสมศักดิ์ มณีพันธ์ บ้านเลขที่ 121 ม.5	2750
29. นายชัยวัฒน์ หลอกท้าว บ้านเลขที่ 14/1 ม.8	3,000
30. นายสมใจ สหัทจันทร บ้านเลขที่ 36 ม.8	3,000
31. นางยุพิน ภาผล	3,000
32. นายอ่อนสี แสนทวีสุข	2700
33. นายสุรศักดิ์ ปทุมมา	2,500

3.4 โปรแกรม CFD ที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมการไหลในเตาเผาครก ทำการทดลองเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ในเตาได้ทั้งหมด เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิไม่สามารถวัดอุณหภูมิของเตาได้ทุกตำแหน่ง และต้องใช้เวลาานสำหรับการทดลองแต่ละครั้ง นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองในด้านของงบประมาณอีกด้วย ดังนั้นเพื่อลดอุปสรรคเหล่านี้ งานวิจัยนี้ จึงได้นำเอาโปรแกรม CFD มาเป็นเครื่องมือช่วยศึกษาและออกแบบเตาเผาครก ซึ่ง CFD สามารถแสดงผลบางค่าที่การทดลองทำไม่ได้ เช่น แสดงค่าอุณหภูมิและเวกเตอร์การไหลได้ทุกๆตำแหน่งภายในเตา ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาทำการทดลองลงได้ เพราะประมวลผลได้ในคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการออกแบบ และตรวจสอบประสิทธิภาพของเตาลักษณะใหม่ๆ จึงสามารถทำได้ในคอมพิวเตอร์

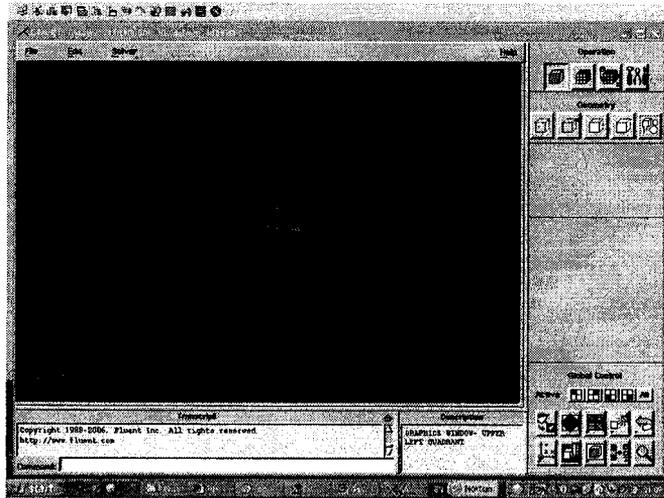
ในอดีตที่ผ่านมา การใช้โปรแกรม CFD ยังเป็นเรื่องใหม่และมีความยุ่งยากมาก เนื่องจากต้องคำนวณมือ แต่ปัจจุบันปัญหาเหล่านี้ได้หมดไป เมื่อมีคอมพิวเตอร์คำนวณแทนได้ ดังนั้นองค์ความรู้ของ CFD จึงพัฒนาตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบัน CFD สามารถแก้ปัญหาการไหลในลักษณะที่ซับซ้อนมากๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนและกระบวนการแก้ปัญหาของ CFD ก็มีได้แตกต่างจากอดีต ซึ่ง CFD มีขั้นตอนและความหมายดังรายละเอียดต่อไปนี้

CFD (Computational Fluid Dynamics) คือ การวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล โดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาผลเฉลยเชิงตัวเลขและจำลองลักษณะการไหลที่เกิดขึ้น มีขั้นตอนหลักอยู่ 3 ขั้นตอน

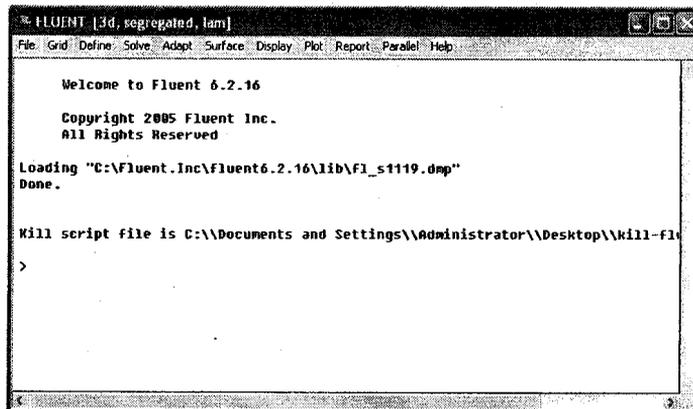
- 1) ขั้นตอนการประมวลผล (Pre-processor) เป็นขั้นตอนของการกำหนดรูปร่างลักษณะและเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา รวมทั้งการแบ่งปัญหาออกเป็นเซลล์เล็กๆ
 - 2) ขั้นตอนการคำนวณ ทำการแก้ปัญหาในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขหาผลเฉลยของปัญหาทั้งนี้ระเบียบวิธีหาผลเฉลยที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ 1)วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method) 2)วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) และ 3)วิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method)
 - 3) ขั้นตอนการแสดงผล (Post-processor) เป็นขั้นตอนแสดงผลเฉลยหรือแสดงการจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของปัญหา อาจอยู่ในรูปของ แลปสี (Contour) กราฟ หรือลักษณะของ เวกเตอร์
- เมื่อเสร็จสิ้นขบวนการแก้ปัญหาของ CFD ในแต่ละครั้งแล้ว เรายังไม่ถือว่าผลเฉลยที่ได้เป็นคำตอบสุดท้ายเสียทีเดียว เว้นเสียแต่คำตอบนั้นได้รับการยืนยันผล เช่น การเทียบเคียงกับผลจากการทดลองหรือผลจากงานวิจัยอื่น

3.1.1 โปรแกรม CFD สำเร็จรูป GAMBIT และ FLUENT

ขั้นตอนการแก้ปัญหาการไหลด้วย CFD ในปัจจุบัน มีโปรแกรมสำเร็จรูปให้ผู้ใช้เลือกใช้หลากหลายโปรแกรม ซึ่งงานวิจัยนี้เราใช้โปรแกรม GAMBIT ทำขั้นตอน เขียนรูปจำลองและสร้างกริด สำหรับขั้นตอนการคำนวณและการแสดงผล เราใช้โปรแกรม FLUENT ซึ่งใช้ระเบียบวิธีหาผลเฉลยแบบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง จำลองปรากฏการณ์การไหลในเตาเผา และแสดงผล หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม GAMBIT และ FLUENT แสดงผลดังรูปที่ 3.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 หน้าต่างโปรแกรมของ (ก) GAMBIT และ (ข) FLUENT

โปรแกรม GAMBIT สามารถวาดรูปร่างของเตาเผาและสร้างกริด ซึ่งมีโปรแกรมคำนวณหลายชนิดที่สามารถรองรับภาพจาก GAMBIT ได้รวมถึง โปรแกรม FLUENT ซึ่งสามารถคำนวณปัญหาการไหลของของไหลและถ่ายเทความร้อนได้ โดยกำหนดการคำนวณและเงื่อนไขการแก้ปัญหาในโปรแกรม

คุณสมบัติของซอฟต์แวร์ FLUENT (และ GAMBIT) โดยสรุป

- คำนวณ โดยวิธี finite volume
- Three solver options: segregated implicit, coupled implicit, and couple explicit

- Complete mesh flexibility (Quadrilateral, triangular, hexahedral, prism, pyramid, and mixed element meshes)
- All speed regimes (low subsonic, transonic, supersonic, and hypersonic flows)
- สามารถคำนวณแบบ Parallel processing ได้
- สามารถทำ mesh generation ได้ หรือ มี software ประกอบช่วยในการสร้าง mesh (pre-processing) เช่น Gambit หรือ T-grid
- Solution-based mesh adaption
- Steady-state and transient flows
- Inviscid, laminar, and turbulent flows
- Newtonian or non-Newtonian flows
- Full range of turbulence models from simple k-epsilon models to large eddy simulation (LES)
- Heat transfer including forced, natural, and mixed convection, conjugate heat transfer, as well as several radiation models
- Chemical species transport and reaction, including homogeneous and heterogeneous combustion models and surface reaction models
- Free surface, Eulerian and mixture multiphase models
- Lagrangian trajectory calculation for dispersed phase modeling (particles/droplets/bubbles)
- Phase change model for melting/solidification applications
- Cavitation model
- Porous media model
- Lumped parameter models for fans, radiators, and heat exchangers
- Dynamic mesh capability for modeling flow around moving bodies
- Inertial (stationary) or non-inertial (rotating or accelerating) reference frames
- Multiple reference frame and sliding mesh options
- Mixing-plane model for rotor-stator interactions
- Acoustics analogy for prediction of flow-induced noise
- Materials property database
- Integrated problem set-up and post-processing
- Extensive customization via user-defined functions (UDF)

บทที่ 4

ผลการวิจัย (ส่วนที่ 1)

ผลการวิจัยจากแผนงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ (1) ผลจากการสำรวจ และการตรวจวัด การผลิต ของสภาพปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วย สภาพภาพผู้ประกอบการ การตรวจวัด อุณหภูมิและการใช้พลังงาน ผลการผลิต จำนวนของเสีย และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (2) ผล การศึกษาโดย CFD (3) เตาต้น แบบ และการทดสอบ ประสิทธิภาพ โดยในบทที่ 4 นี้ จะนำเสนอ เฉพาะในส่วนที่ 1 เท่านั้น เนื่องจากมีข้อมูลค่อนข้างมาก และ ส่วน ที่ 2 และ 3 จะนำเสนอในบทที่ 5 ต่อไป

4.1 ผลการสำรวจข้อมูล

4.1.1 ผู้ประกอบการและเตาเผา

จากการสอบถามข้อมูลจากผู้ประกอบการเตาเผาในตำบลปทุม จำนวน 38 หลังคาเรือนจะ ได้ข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำเครื่องปั้นดินเผาประเภทครก และกระถาง

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลเบื้องต้นของผู้ประกอบการ

ลำดับผู้ประกอบการ	1	
รายการข้อมูล	นาย บวร พงษ์พีระ บ้านเลขที่381 ม.11	
เตาที่	1	2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	2.3x12x1.5	2.5x10x1.5
กำลังการผลิตครก	4000 ใบ	1500-1600 ใบ
ต้นทุนการสร้างเตา	30000 บาท	25000 บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ครกและกระถาง	
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/1ครั้ง	3 คันรถบรรทุกขนาดกลาง	2 คันรถบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	11000 บาท	8000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	16000-18000 บาท	12000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2	1.98
ขนาดเกลือที่ใช้	1 กระสอบ	1/2 กระสอบ
เวลาดำเนินการในกระบวนการ	7 วัน	7 วัน
ปริมาณของเสีย	20 %	18 %

ลำดับผู้ประกอบการ	2	
รายการข้อมูล	นายทวี ทินพัตร 390, หมู่ 11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี	
เตาที่	1	2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	2.5x12x1.68	2.5x12x1.6
กำลังการผลิตครก	2500 ใบ	2500 ใบ
ต้นทุนการสร้างเตา	26300 บาท	26300 บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	เล็ก 2.5 ก.ก กลาง 3.5 ก.ก ใหญ่ 4.5 ก.ก	
ไม้ที่ใช้เผาครก 1 เตา/1 ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 4 คันรถโดยประมาณ	
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	ผลิตต่อเนื่องให้ได้หนึ่งรถบรรทุกสิบล้อ (ต้นทุนไม่แน่นอน)	
รายได้ที่ขายครก 1 เตา	ขายเป็นชุดใหญ่ ประมาณรถบรรทุกสิบล้อ (รายได้ไม่แน่นอน)	
ความยาวของฐานไฟ	2.5 เมตร	2.5 เมตร
ขนาดเกลียวที่ใช้	½ กระสอบ	½ กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	7 วัน	7 วัน
ปริมาณของเสีย	30% ของครกที่เข้าเผาต่อครั้ง	30 % ของครกที่เข้าเผาต่อครั้ง

ลำดับผู้ประกอบการ	3	
รายการข้อมูล	นางจอย วงศ์คำดี 35/2 หมู่ 11 ต.ประทุม อ.เมือง จ. อุบลราชธานี	
เตาที่	1	
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	2.61x12x1.5	
กำลังการผลิตครก	2700-2800 ใบ	
กำลังการผลิต/เดือน	1 ครั้งต่อเดือน	
ต้นทุนการสร้างเตา	เข้าเตาเผา 1 ครั้ง 2000 บาท	
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	จิ๋ว 1.5 ก.ก. เล็ก 2 ก.ก. กลาง 3 ก.ก. ใหญ่ 4 ก.ก. จัมโบ้ 6.5 ก.ก.	
ไม้ที่ใช้เผาครก 1 เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คันโดยประมาณ	
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	8000 บาท	
รายได้ที่ขายครก 1 เตา	18000-19000 บาทต่อ 1 เตา	
ความยาวของฐานไฟ	2.5 เมตร	
ขนาดเกลียวที่ใช้	½ กระสอบสาดเข้า 2-3 ถ้วยตรงปากและช่องตาใช้เวลาห่างกัน 6 ชม.	
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	8 วัน	
ปริมาณของเสีย	600 ใบ รวมทุกขนาด 21.42%-22.22%	

ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ประกอบการอื่นๆแสดงในภาคผนวก ก

จากการเก็บข้อมูลและสอบถาม ในกระบวนการผลิตครกนั้น จะมีตั้งแต่การเตรียมดิน การปั้น การตาก การนำเข้าเตา การเผา ตลอดจนการนำออกจากเตาทุกๆ ผู้ประกอบการจะมีกระบวนการที่เหมือนกัน หรือจะเป็นกระดางก็ทำเช่นเดียวกัน (ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า) แต่ที่แตกต่างกันจะเป็นช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตสำหรับผู้ประกอบการที่มีลูก ค้าประจำ จะเผาครก 3-4 ครั้งต่อเดือนต่อเตา หากเป็นผู้ประกอบการที่ไม่มีลูกค้าประจำก็ต้องรอให้ครกที่เผาเสร็จแล้วขายหมดก่อน ผู้ประกอบการที่มีกำลังการผลิตมากขนาดนั้น จะมีลูกจ้างประจำทำเป็นโรงงานผลิตอย่างต่อเนื่อง สำหรับผู้ประกอบการที่ทำเป็นครอบครัวก็จะมีกำลังการผลิต 1-2 ครั้งต่อเดือนต่อเตา สภาพอากาศก็มีส่วนกับเวลาที่ใช้ในการผลิต คือเมื่ออากาศชื้นจะทำให้การตากใช้เวลามากขึ้นทำให้เวลาในการผลิตมากขึ้น

การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเผา

ครกที่เป็นของเสีย คือครกที่แตก ดินขี้เถ้า ที่ขายไม่ได้ ก็จะใช้ถมที่หรือทิ้งตรงริมฝั่งแม่น้ำมูล หรือมีคนมาซื้อไป ส่วนขี้เถ้าที่เกิดจากฟืนจะทิ้งใกล้ๆ เตา หรือที่มีน้ำขังภายในบริเวณบ้าน เพราะวก่อนจะทำการเผาครั้งต่อไปต้องนำถ่านและขี้เถ้าออกจากฐานไฟให้หมดก่อน

ปัญหาของผู้ประกอบการ

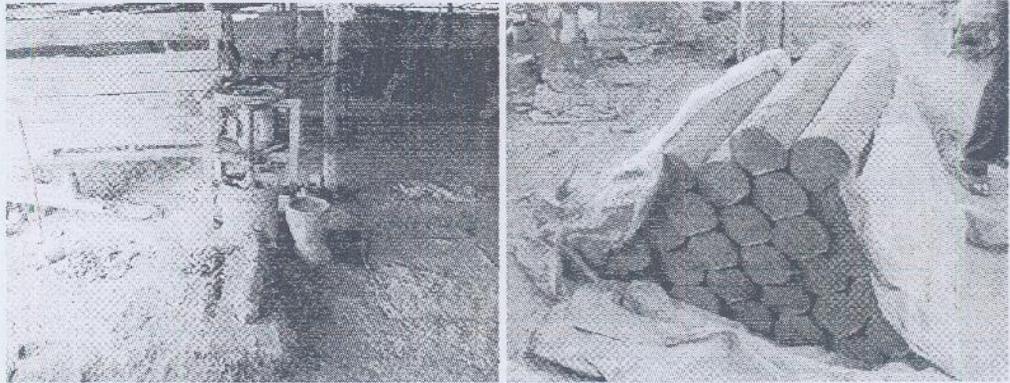
ปัญหาที่ประสบในปัจจุบันคือต้นทุนที่สูงขึ้นเนื่องจากค่าแรง ค่าขนส่งทำให้ผลกำไรลดลง เพราะไม่สามารถขายในราคาที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นการเผาที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนได้ และปัญหาที่พบอีกอย่างคือ เตาเผาครกที่ใช้มีอายุการใช้งานที่สั้นซึ่งค่าจ้างก่อเตามีราคาที่สูงและเตามีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาจึงเป็นประเด็นที่สำคัญในงานวิจัยนี้ แต่ก่อนจะมีการปรับปรุงประสิทธิภาพ คณะวิจัยได้ศึกษาถึงขั้นตอนการทำเครื่องปั้นดินเผาซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

4.1.2 การปั้นครก

การเตรียมดิน

โดยส่วนมากการหมักดินก็จะมีบ่อหมักดิน หรือจะใช้การพรมน้ำที่กองดิน โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายดินลงบ่อหมักเพราะจะเป็นการยุ่งยาก เวลาที่หมักจะเป็นช่วงเย็นพอที่จะทิ้งไว้ให้ดินอึมน้ำเป็นเวลา 1 คืนหรือประมาณ 12 ชั่วโมง (เมื่อถึงเช้าวันรุ่งขึ้นก็นำดินไปใช้ได้เลย) ดินที่นำมาปั้นครกผู้ประกอบการซื้อในราคารถละ 1,000 บาท (รถบรรทุก 10 ล้อ) จากนั้นเทดินรวมกันเป็นกองในบริเวณใกล้ๆ เตา ดินที่ได้มาจะมีลักษณะเป็นก้อนหรือเรียกตามภาษาชาวบ้านว่าดินทาม ก่อนที่จะนำดินมาปั้นได้ต้องมีการหมักดินเพื่อให้ดินอึมน้ำ โดยจะหมักในบ่อหมักดินที่ขุดเป็นหลุมลงไปขนาดประมาณ ยาว 1.5 เมตร กว้าง 1 เมตร และลึกลงไป 1 เมตร จะนำดินมาใส่บ่อหมักและ

ใส่น้ำ ให้นำขี้มโนเนื้อดินให้ดินเหนียวพอดี ทิ้งไว้ให้ดินอมน้ำเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำดินมาบดให้ละเอียด และกองเก็บไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องบดดิน

โดยเครื่องบด การบดดินอาจบดหลายรอบ ประมาณ 3-4 รอบเพื่อให้ได้เนื้อดินที่ละเอียดเหนียว นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดเศษหินและสิ่งเจือปนอื่น ๆ เพื่อความสะดวกในการปั้นและไม่ทำให้ครกแตกเวลาเผา

วิธีการหมักดินที่แตกต่างออกไปก็มีการหมักที่บ่อหมักแต่ใช้เวลา 7 วัน เพื่อต้องการให้ดินอมน้ำและอยู่ตัวดี เวลาตากครกจะได้ไม่แตกเพราะบางครั้งการหมักดินเร็วเกินไปเป็นการบ่งกับดินมากเกินไปจะทำให้ครกแตกตอนตากก่อนที่จะเข้าเผา เป็นการลดอัตราการแตกเวลาเผา คือพยายามทำให้การคายน้ำของดินเป็นไปตามธรรมชาติมากขึ้น

การขึ้นรูป



รูปที่ 4.2 กรรมวิธีการปั้นจันทรูป

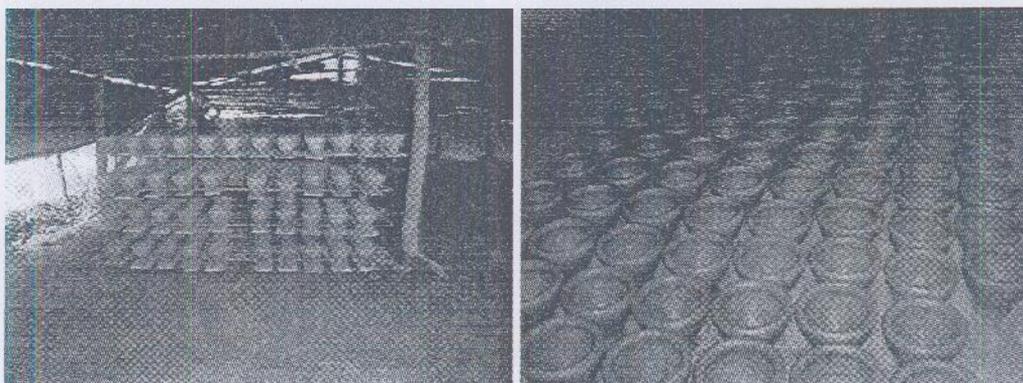
ดินที่บดละเอียดได้ที่แล้ว จะมีลักษณะเป็นแท่งกลมดังรูปที่ 4.1 ก็จะนำดินมาตัดขังเป็นกิโลกรัม ตามขนาดของครกที่ต้องการปั้น จากนั้นก็นวดดินให้เหนียวและเป็นเนื้อเดียวกันโดยในขั้นตอนนี้จะมีผู้ช่วยขังและนวดดินอีกที เพื่อให้ได้ขนาดครกตามต้องการ

การขึ้นรูปใช้แรงงานคนดังรูปที่ 4.2 โดยทำการขึ้นรูปโดยเป็นหมุน ทิ้งก้อนดินใส่แทนหมุนแรงพอที่จะทำให้ดินติดกลับแทนหมุนแล้วกดดินให้อยู่ตรงกลางแทนหมุนเพื่อไม่ให้มันส่ายไปมาเวลาดึงขึ้นรูป ในขั้นตอนการดึงต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ โดยครกที่ผลิตนั้นมีขนาดทั้งหมด 5 ขนาดได้แก่

1. ครกขนาดเล็ก
2. ขนาดเล็ก
3. ครกขนาดกลาง
4. ครกขนาดใหญ่
5. ครกขนาดใหญ่พิเศษ

การผึ่งให้แห้งและการจัดวางครกในเตาเผา

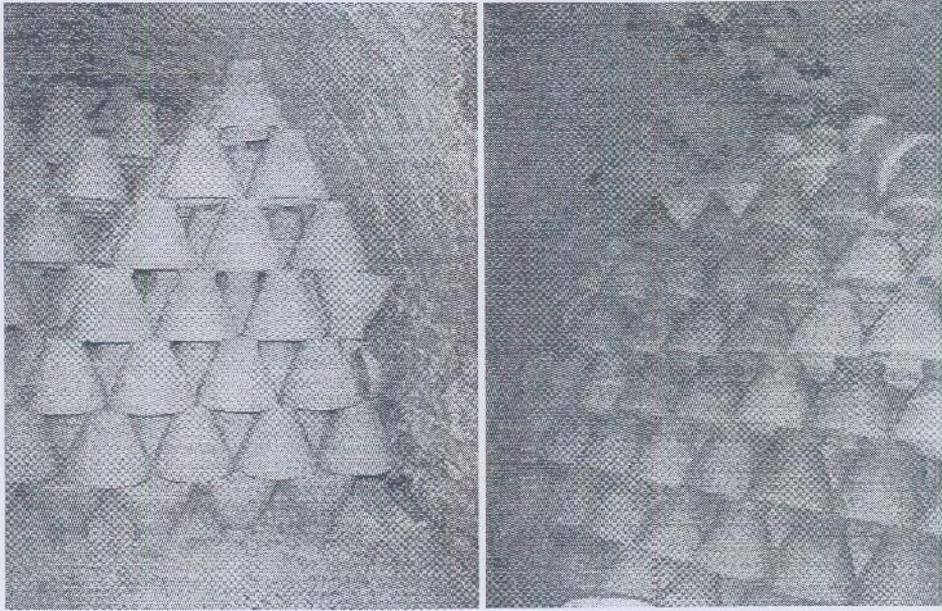
การผึ่งแดดให้แห้ง เป็นขั้นตอนของการลดปริมาณน้ำในครกก่อนทำการเผาเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์แตกในขณะที่ทำการเผา และให้ครกแข็งตัว



รูปที่ 4.3 การผึ่งครกให้แห้งเตรียมเข้าสู่เตาเผา

การตากครกจะมีชั้นวางเป็นชั้นหรือตากตามพื้นดังรูปที่ 4.3 การตากจะเป็นการตากในที่ร่มไม่ให้โดนฝนหรือแดด จะทำให้น้ำในครกค่อยๆ ระเหยออก หรือถือได้ว่าเป็นการตากลม ประมาณ 7 วัน ครกจะเริ่มแห้งถ้าไม่มีฝนตก การดูว่าครกจะแห้งหรือไม่ให้ดูตรงส่วนที่หนาที่สุดของครกคือคูที่กั้นครก ถ้ากั้นครกแห้งก็แสดงว่าทุกส่วนแห้งพร้อมที่จะเข้าเตาเผาได้ หรือบางครั้งจะนำเข้าไปอบในเตาซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าข้างนอกจะทำให้ครก แห้งเร็วขึ้น

การจัดวางครกในเตาเผา



รูปที่ 4.4 การจัดวางครกในเตาเผา

ครกด้านล่างจะหงายขึ้นชั้นต่อไปจะวางคว่ำลงเรียงซ้อนกันไปดังรูปที่ 4.4 การวางครกจะวางในลักษณะเว้นช่องว่างตรงที่จะใส่ฟีน (แยกไฟ) ไว้ประมาณ 1 ฟุต โดยครกจะถูกวางเป็นช่วง ๆ ระหว่างช่องแยกไฟ การวางครกจะมีลักษณะเหมือนกันหมดในแต่ละเตา แต่จะแตกต่างกันที่การสลับแถวตามขนาดครก ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการเดินทางของไฟในเตา บางผู้ประกอบการจะใช้ครกขนาดกลางวางหน้าไฟ 3 แถวลัดไปก็เป็นครกขนาดใหญ่ ครกขนาดเล็ก และครกขนาดจิ๋วตามลำดับ จากการสอบถามทราบเหตุผลว่า ครกขนาดกลางจะทำให้ไฟวิ่งได้ลึกกว่า ทำให้ด้านหลังสุกในเวลาที่ไม่นานเกินไปและเป็นการประหยัดฟีนด้วย หรือบางรายใช้ครกขนาดเล็กขึ้นก่อนตามด้วยขนาดกลาง ขนาดใหญ่และขนาดจิ๋ว เหตุผลว่าไฟในเตาวิ่งเร็วเกินไปอาจทำให้ครกส้มได้ การที่เอาครกขนาดจิ๋ววางไว้ด้านหลัง เพราะว่าเมื่อไฟวิ่งไปถึงแถวของครกขนาดจิ๋วเปลวไฟจะวิ่งกลับเพราะแถวของครกจิ๋วมีช่องขนาดเล็กทำให้ครกที่อยู่ด้านหลังสุกและสีออกมาสวย

ลักษณะของเตาจะส่งผลให้การจัดเรียงครกในเตาแตกต่างกันหรือขึ้นอยู่กับผู้เรียง อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่นิยมจัดเรียงครกในเตาโดยให้ครกขนาดกลางอยู่หน้าไฟประมาณ 3-4 แถว

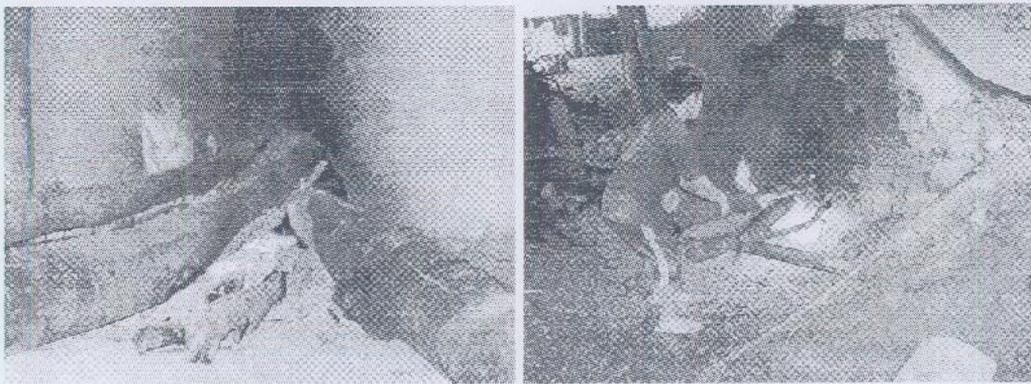
4.1.3 กระบวนการเผาครก

กระบวนการเผาครกถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการผลิตครก เนื่องจากจะขายครกได้ถ้าไรหรือขาดทุนก็ขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้ การเผาครกจะต้องใช้ประสบการณ์ในการเผามาก ต้องเผาบ่อยๆ จึงจะเข้าใจลักษณะการวิ่งของไฟ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสร้างเตาใหม่แล้วเผาครครั้งแรกครกที่ได้ออกมาไม่ดีถือว่าไม่แปลก ต้องลองเผาประมาณ 2-3 ครั้งก่อนจึงจะเผาออกมาได้ดี ในการเผา

ครกแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 8-10 วัน โดยส่วนใหญ่แล้วเรื่องระยะเวลาจะไม่แตกต่างกันมากนักแต่จะแตกต่างกันตรงที่วิธีการเผา กล่าวคือ จะมีการใส่ฟืนที่แตกต่างกัน บางผู้ประกอบการจะใส่ฟืนให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างช้าๆ จะพยายามไม่ให้ลดลงมาก แต่บางคนจะใส่ฟืนคราวละมากๆ จะไม่สนใจว่าอุณหภูมิจะลดลงหรือไม่ หรือ บางผู้ประกอบการจะเริ่มเผาที่หน้าปากเตาก่อนพออุณหภูมิถึงก็จะเริ่มคั่นฟืนเข้าไปในปากเตาทีละน้อยๆ แต่บางผู้ประกอบการจะเริ่มเผาค้ำในปากเตา เป็นต้น

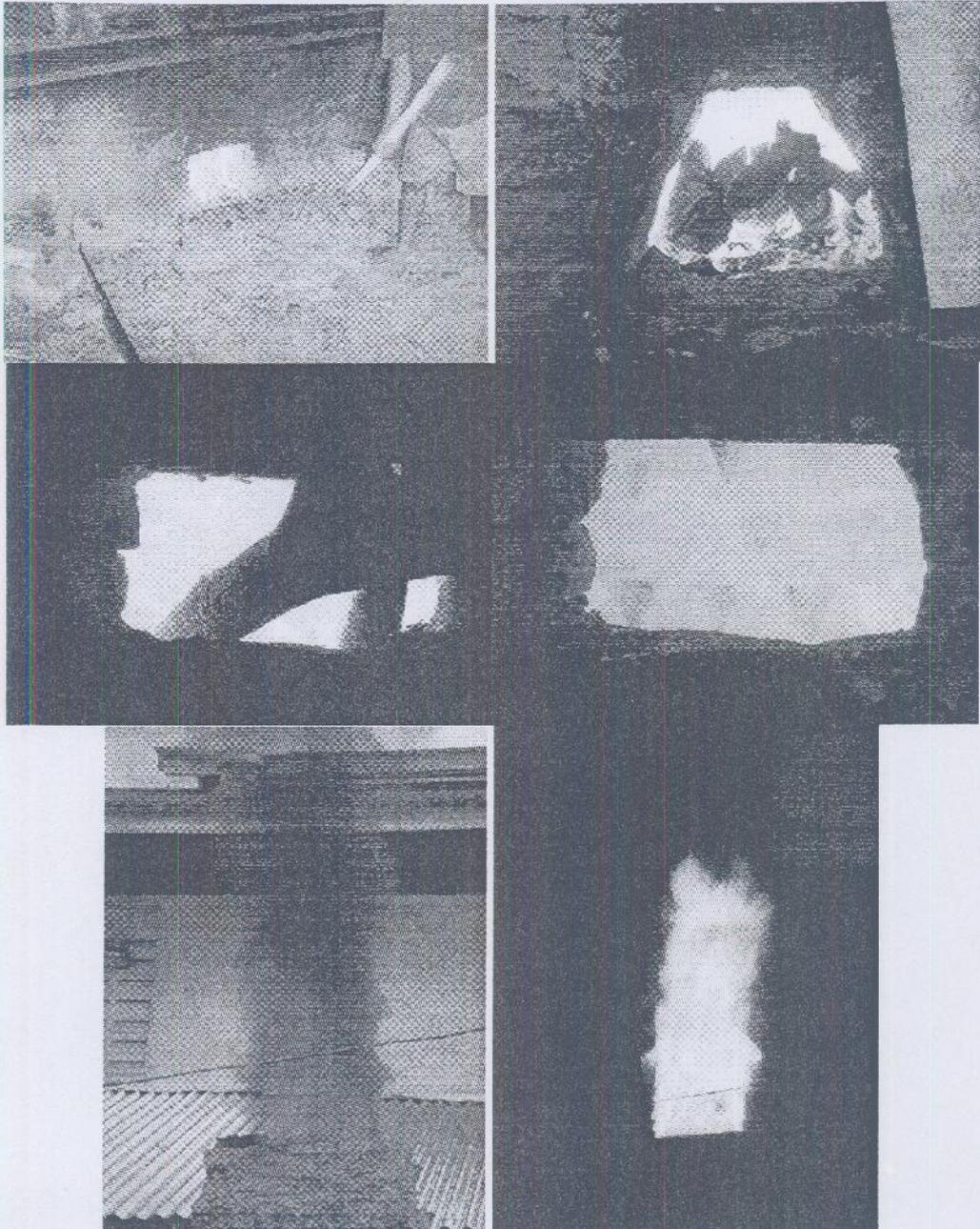
การเผาครกสามารถแบ่งเป็น 4 ช่วง คือ อุ่นเตา เร่งไฟ แห้งเตา และการปล่อยให้เย็นตัว ซึ่งในแต่ละช่วงจะมีวิธีการที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. การอุ่นเตา เป็นกระบวนการแรกในการเผาครก ซึ่งจะอุ่นเพื่อทำให้ครกที่อยู่ด้านในแห้ง ถ้าครกไม่แห้งเมื่อเร่งไฟแล้วครกจะระเบิด การอุ่นเตาจะเผาในอุณหภูมิประมาณ $50-200^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาประมาณ 30-40 ชม. และจะระวังไม่ให้ไฟดับ ฟืนที่นำมาอุ่นเตาจะต้องเลือกฟืนท่อนที่มีขนาดใหญ่ เผาครั้งละประมาณ 3 ท่อน ที่บริเวณด้านหน้าปากเตาลังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การอุ่นเตา

2. การเร่งไฟ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เผาที่ปากเตา และเผาที่ปากบน การเร่งไฟจะเริ่มเผาที่ปากเตาก่อน จะใช้ฟืนขนาดกลางและใหญ่ในการเผาละกันไป และจะเพิ่มปริมาณฟืนขึ้นเรื่อยๆ จนเต็มปากเตา เมื่อไฟวิ่งถึงประมาณกลางเตาก็จะเปลี่ยนไปเผาปากบน ทั้งนี้ต้องดูสีของครกประกอบด้วย การเผาปากบนก็จะใช้ฟืนขนาดเดียวกันกับการเผาปากเตา จะใช้วิธีทิ้งฟืนลงไปทั้งท่อนในแนวทแยงสลับซ้ายขวา ซึ่งอุณหภูมิช่วงนี้จะสูงสุดประมาณ 1000°C ขึ้นตอนขึ้นตอนค่อไปคือการสาดเกลือเพื่อให้ครกมันและให้สีที่เข้ม สุดท้ายจะทำการปิดปากเตาเพื่อทำการแห้งเตาค่อไป การเร่งไฟอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $200^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ จะใช้เวลาประมาณ 20 ชม. ดังรูปที่ 4.6

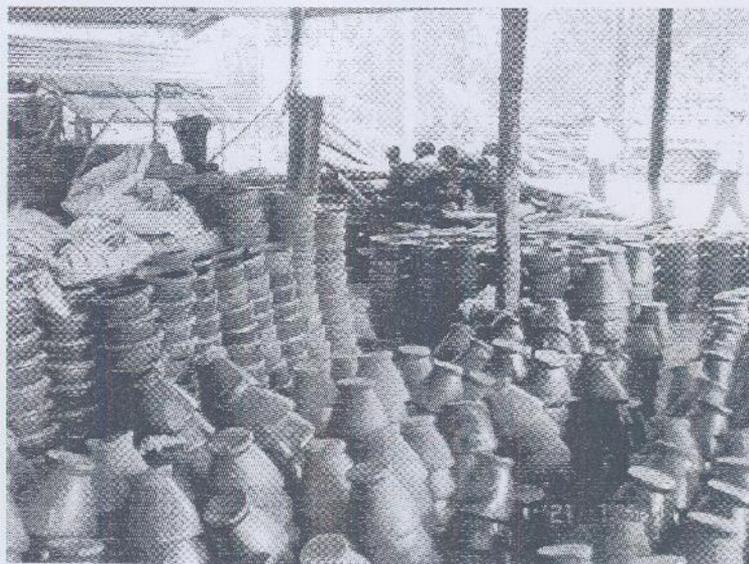


รูปที่ 4.6 การร่งไฟ เมื่อครกเริ่มสุกแดง จะใช้ปากเตาบน และ เปลวไฟออกที่ปล่องไฟ

3. การแห่ตา เนื่องจากเตามีความยาว (10 - 15 เมตร) ถ้าเศษเฉพาะที่ปากเตา เมื่อดินเผาของครกจะสุกเฉพาะบริเวณส่วนหน้าของเตา ครกที่อยู่บริเวณกลางและท้ายเตาจะไม่สุก ถ้าจะเผาให้สุกถึงท้ายเตาครกด้านหน้าก็จะแตกและกรอบเนื่องจากโดนไฟที่อุณหภูมิสูงนานๆ ดังนั้น จึงมีการเจาะช่องเล็กๆเป็นรูป สี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 25×25 cm. ที่บริเวณด้านข้างทั้ง 2 ข้างของเตาให้ตรงกันที่เรียกว่า “ตาเตา” จำนวนของตาจะขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของเตา ถ้าเตายาว 12 ม. จะมีตา 4 - 5 ตา ถ้าเตายาว 10 ม. จะมีตา 3 - 4 ตา เป็นต้น การแห่ตาจะใช้ฟืนท่อนเล็กในการแห่ จะ

แห้งในแนวทะแยงถึงปีกลงกับพื้นเพื่อให้ครกที่อยู่ด้านท้ายเตาและด้านข้างของเตา (ติดผนังเตา) สูง เมื่ออุณหภูมิสูงได้ที่แล้ว (สังเกตจากสีครก) จะสาดเกลือและปิดตานี้ แล้วก็แห่ตาต่อไปทำดังนี้เรื่อยๆจนครบทุกตา การแห่ตาอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $800^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา 16 - 18 ชม.

4. การปล่อยให้เย็นตัว คือ จะนำดินผสมน้ำ (โคลน) มาเคลือบอิฐที่ใช้ปิดตาและปากเตา แล้วจึงจะปล่อยให้อุณหภูมิในเตาเย็นตัวลงตามธรรมชาติ จะใช้เวลาประมาณ 100 - 160 ชม. (ประมาณ 4 - 7 วัน) อุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ $50 - 70^{\circ}\text{C}$ จึงจะนำครกออก ซึ่งก่อนจะนำครกออก 1 วัน จะมีการเปิดปากและตาออกเป็นช่องเล็กๆ ให้อากาศเย็นเข้าไปเพื่อว่าเวลาเอาครกออกจะไม่ร้อนจนเกินไป และจะทำให้ครกไม่แตกเนื่องจากสัมผัสกับอากาศเย็นในทันที ครกที่นำออกจากเตารอการคัดแยก แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ครกที่เย็นตัวแล้วรอการคัดแยก

ลักษณะการไหลเวียนของเปลวไฟ

เปลวไฟที่เกิดจากการสุญพินที่บริเวณหน้าเตาไฟจะไหลเข้าสู่เตาในลักษณะไหลด้านบน (ครกที่อยู่ด้านบนจะโดนเปลวไฟมากกว่าด้านล่าง) และเปลวไฟจะไหลผ่านครกได้เพียงบางส่วน ด้วยเหตุนี้จึงมีการทำตาไฟเพิ่มขึ้นเพื่อให้เปลวไฟสามารถไหลผ่านครกได้ในทุก ๆ ส่วนของเตา

การทำตาไฟนอกจากจะให้เปลวไฟไหลผ่านครกได้แล้วยังทำให้ครกในส่วนท้าย ๆ ของเตาได้รับความร้อนได้อย่างเหมาะสมอีกด้วยซึ่งจะส่งผลให้ได้ครกที่มีคุณภาพในปริมาณสูงหรืออีกนัยหนึ่งก็คือมีเปอร์เซ็นต์ของเสียน้อยลง โดยสาเหตุของการเกิดของเสียและลักษณะของครกที่มีคุณภาพจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

อัตราการไหลของเปลวไฟจากหน้าเตาสู่ปล่องไฟมีผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ กล่าวคือถ้าอัตราการไหลมากความร้อนจากเปลวไฟก็จะไหลออกจากปล่องไฟเร็วเกินไปทำให้สิ้นเปลือง

เชื้อเพลิง เนื่องจากครกไม่สามารถรับความร้อนได้ทัน อัตราการไหลของเปลวไฟขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ความหนาแน่นและลักษณะการจัดวางครกในเตาเผา
2. ความสูงของปล่องไฟ
3. ความกว้างของรังผึ้งที่อยู่บริเวณท้ายเตา

เพื่อให้สะดวกในการอ้างอิงถึงผู้ประกอบการ ในการกล่าวถึงขนาดของเตา คณะวิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์แทนผู้ประกอบการดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์ที่กำหนดแทนผู้ประกอบการ

สัญลักษณ์	ผู้ประกอบการ
1.A	1.นาย บวร พงษ์พีระ บ้านเลขที่381 ม.11
2.B	2.นายทวี ทิณพัฒน์ บ้านเลขที่ 390 ม.11
3.C	3.นางจอย วงศ์คำสี บ้านเลขที่ 35/2 ม.11
4.D	4.นายลำพล พิมพ์บุตร บ้านเลขที่ 122 ม.11
5.E	5.นายรัศมี จัทรเกษ บ้านเลขที่ 217 ม.11
6.F	6.นายสุตใจ มณีพันธ์ บ้านเลขที่ 128 ม.11
7.G	7.นายสุกมิตร สันหจันทร์ บ้านเลขที่ 152/2 ม.11
8.H	8.นายอัมรินทร์ บุญผ่อง บ้านเลขที่ 187 ม.11
9.I	9.นายจารึก วงศ์ตรี บ้านเลขที่ 384 ม.11
10.J	10.นายรุ่ง ประทุมมา บ้านเลขที่ 158/1 ม.11
11.K	11.นายอรุณ ขจัดภัย บ้านเลขที่ 160 ม.11
12.L	12.นางวันคำ ธรรมวงษ์ศรี บ้านเลขที่ 155 ม.11
13.M	13.นายจิม ขจัดภัย บ้านเลขที่ 154 ม.11
14.N	14.นายลำพอง คัดทวี บ้านเลขที่ 172 ม.11
15.O	15.นายสมชาย วิเศษไชย บ้านเลขที่ 177 ม.11
16.P	16.นายอารมณ สยามมงคล บ้านเลขที่ 28/1 ม.6
17.Q	17.นายวัฒนา แก้วคอน บ้านเลขที่ 113 ม.6
18.R	18.นายสำลี พันธุ์มูล บ้านเลขที่ 42 ม.6
19.S	19.นายเสถียรพร พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 221 ม.6

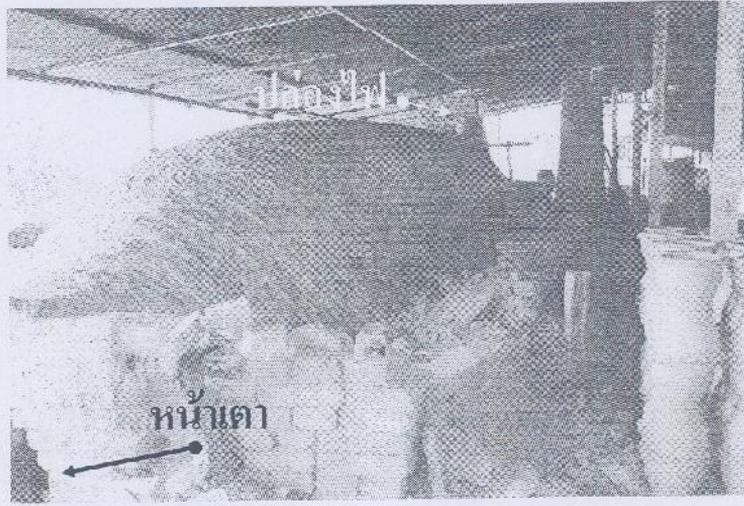
20.F	20.นายสมไทย ทิมพัฒน์ บ้านเลขที่ 162 ม.6
21.U	21.นายมนเทียร พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 161 ม.6
22.V	22.นายจิตรกร พงษ์พีระ บ้านเลขที่ 111 ม.6
23.W	23.นางศรีวรรณ ขอพันธ์ บ้านเลขที่ 362 ม.6
24.X	24.นายปึก กอสุวรรณ บ้านเลขที่ 163 ม.6
25.Y	25.นายสอน ภาผล บ้านเลขที่ 412 ม.6
26.Z	26.นายชงยุทธ สว่างวงศ์ บ้านเลขที่ 157 ม.9
27.AA	27. นายสมชาย แซ่ก้อ บ้านเลขที่ 3/1 ม.9
28.BB	28.นางศิริพร ภาผล บ้านเลขที่ 34 ม.9
29.CC	29.นางสาคร ภาผล บ้านเลขที่ 138 ม.9
30. DD	30.นายสมเกียรติ เชื้อพันธ์ บ้านเลขที่ 28 ม.9
31. EE	31. นายภูวนัย ยังแสนภู บ้านเลขที่ 42 ม.9
32. FF	32. นายประกอบ ไสยแพรว บ้านเลขที่ 34/1 ม.9
33. GG	33.นายสมศักดิ์ มณีพันธ์ บ้านเลขที่ 121 ม.5
34. HH	34.นายชัยวัฒน์ หลอดท้าว บ้านเลขที่ 14/1 ม.8
35. II	35.นายสมใจ สหัสจันทร์ บ้านเลขที่ 36 ม.8
36. JJ	36.นางยุพิน ภาผล
37. KK	37.นายอ่อนสี แสนทวีสุข
38. LL	38.นายสุรศักดิ์ ปทุมมา

4.1.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเตาเผา

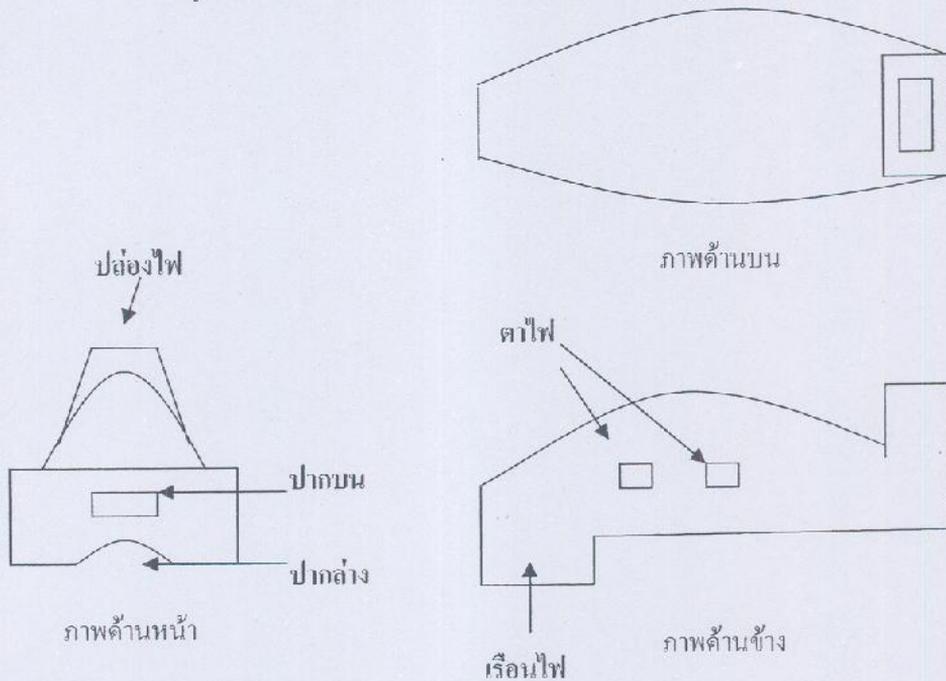
รูปร่างโดยทั่วไปของเตาเผา

ที่บ้านปากห้วยวังนอง ต.ปทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี เป็นแหล่งผลิตครกในอุตสาหกรรมครัวเรือนที่รู้จักกันแพร่หลาย ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหลักคือ ครก ธรรมดาซึ่งมีคุณภาพ ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป เตาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นเตาเผาแบบความร้อนผ่าน เรียกกันในภาษาท้องถิ่นว่า “เตาตัวนอน” มีลักษณะหน้าตัดเป็นโดมครึ่งทรงกลมยาวประมาณ 10-13 เมตร สำหรับเชื้อเพลิงนั้นส่วนใหญ่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ใส่เชื้อเพลิงด้านหน้าเตาและมีปล่องไฟหลังเตาแสดงในรูปที่

4.8



รูปที่ 4.8 แสดงภาพเตาเผาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.9 แสดงส่วนประกอบของเตาเผา

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาเผา แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9

1. เเรือนไฟ เป็นบริเวณที่ใช้เผาเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เป็นส่วนที่มีความลึกมากกว่าส่วนอื่น ๆ เนื่องจากต้องการให้ความร้อนถ่ายเทไปในทิศทางที่สะดวกและสามารถสูมฟืนได้ในปริมาณที่มากพอที่จะให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์จนสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์สุกได้ที่ บริเวณเรือนไฟจะมีปากบนและปากล่าง โดยปากล่างจะใช้ในการสูมไฟ เพื่ออุ่นเตาและปากบนใช้ในการสูมไฟเพื่อทำการเร่งไฟ

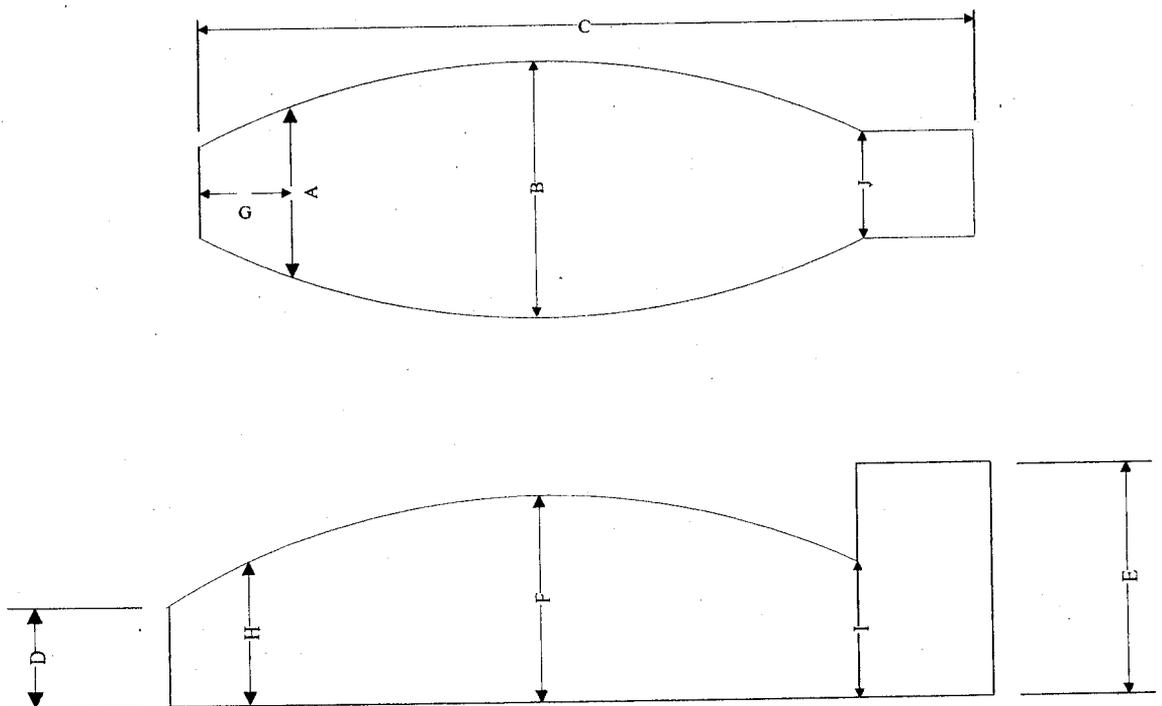
2. ตาไฟ โครงสร้างของเตามีการเว้นช่องสำหรับแรงไฟ และสาดเกลือ การทำตาไฟนอกจากจะให้เปลวไฟไหลผ่านครกได้แล้วยังทำให้ครกในส่วนท้าย ๆ ของเตาได้รับความร้อนได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ได้ครกที่มีคุณภาพในปริมาณสูงหรืออีกนัยหนึ่งก็คือมีเปอร์เซ็นต์ของเสียน้อยลง โดยสาเหตุของการเกิดของเสียนั้นและลักษณะของครกที่มีคุณภาพจะได้อีกในตัวในหัวข้อถัดไป

3. ห้องวางผลิตภัณฑ์ เป็นบริเวณที่ใช้ในการวางผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการเผา โดยจะมีการยกสูงขึ้นและพื้นของส่วนนี้จะมีลักษณะลาดชันขึ้นจากหน้าเตาไปยังท้ายเตา เพื่อรับความร้อนได้อย่างเต็มที่ตามธรรมชาติการไหลของเปลวไฟ

4. ปล่องไฟ มีหน้าตัดในแนวระนาบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยก้ออิฐยกสูงขึ้นไป พื้นที่หน้าตัดของปล่องไฟจะมีขนาดลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ปล่องไฟถูกใช้ในการถ่ายเทความร้อนออกจากเตาเผา รวมถึงเป็นการบังคับทิศทางการไหลของความร้อนจากเปลวไฟอีกด้วย ความสูงของปล่องไฟมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของความร้อนจากบริเวณหน้าเตาไปยังท้ายเตา ดังนั้นในการสร้างเตาเผาควรคำนึงถึงความสูงที่เหมาะสมของปล่องไฟ

ขนาดของเตาเผา

ขนาดของแต่ละเตามีขนาดไม่เท่ากันจึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลขนาดของเตาในมิติต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ขนาดเตาเผาครกของแต่ละผู้ประกอบการซึ่งจะวัดเฉพาะตำแหน่งต่างๆ ตามรูป



รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งต่างๆที่วัดขนาดเตาเผา

ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดเตาของแต่ละผู้ประกอบการ

ผู้ ประกอบ การ	ความจุ เตา (ไร่)	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (m)	G (m)	H (m)	I (m)	J (m)
1. A	4000	1.97	2.3	12	1.5	3	1.5	1.98	1.33	144	1.85
2. B	2500	1.7	2.5	12	1.6	3.03	1.68	2.5	1.35	1.53	1.43
3. C	2,700	1.8	2.61	12	1.55	2.61	1.5	2.27	1.48	1.41	1.63
4. D	2,500	2.20	2.20	12	1.43	2.5	1.7	2.5	1.57	1.38	1.71
5. E	1850	1.6	2.45	12	1.45	2.87	1.79	2	1.66	1.37	1.83
6. F	1,500	1.8	2.5	11.3	1.6	2.9	1.8	2	1.34	1.43	1.8
7. G	2,000	2.13	2.38	12	1.52	2.3	1.54	1.9	1.43	1.16	1.57
8. H	2,200	1.9	2.25	10	1.3	3	1.53	2	1.37	1.56	1.54
9. I	2,300	1.6	2.33	12	1.38	2.7	1.76	2.5	1.56	1.65	1.75
10. J	2,500	1.82	2.35	12	1.41	2.7	1.68	1.6	1.54	1.42	1.62
11. K	1,500	1.88	2.3	10	1.27	2.5	1.5	2.5	1.32	1.38	1.47
12. L	3,000	1.82	2.47	12	1.6	3	1.78	2	1.72	1.4	1.8
13. M	2,200	1.98	2.65	12	1.64	4	1.8	2.5	1.57	1.48	1.77
14. N	2,200	1.63	2.25	11	1.58	3	1.7	2	1.62	1.75	1.69
15. O	3,000	1.85	2.16	12	1.52	3	1.85	2.1	1.8	1.36	1.75
16. P	2,500	1.78	2.4	12	1.31	2.9	1.72	2	1.36	1.35	1.15
17. Q	2,200	1.74	2.46	12	1.33	2.5	1.75	2	1.6	1.52	1.73
18. R	2,800	1.64	2.2	12	1.5	2.7	1.6	1.5	1.35	1.38	1.8
19. S	2,000	1.97	2.25	10	1.5	2.3	1.6	2.28	1.48	1.63	2.13
20. T	2,000	1.56	2.7	12	1.64	2.97	1.7	1.5	1.5	1.4	1.69
21. U	3,300	2.2	2.52	12	1.5	3	1.69	2.1	1.25	1.54	2.33
22. V	1,000	1.69	2.4	12	0.35	2	1.6	1.5	1.48	1.18	1.63
23. W	2,500	1.64	2.4	12	1.5	3	1.73	2.0	1.4	1.33	1.62
24. X	2,600	1.95	2.4	12	1.65	3	1.6	2.3	1.33	1.4	1.7
25. Y	2,000	1.6	2.5	10	1.47	2.5	1.7	2.5	1.42	1.62	1.8
26. Z	2,700	2.2	2.3	12	1.52	3	1.67	2.5	1.47	1.4	1.76

27.AA	3,000	1.8	1.45	13	1.45	3	1.55	2	1.27	1.33	1.64
28.BB	3,340	1.82	2.52	11	1.4	3	1.58	2	1.37	1.32	1.84
29.CC	3,300	2.1	2.43	13	1.3	2.6	1.64	2.3	1.57	1.3	1.8
30.DD	3,800	2	2.52	12	1.54	3	1.62	2	1.8	1.43	2.24
31.EE	2,700	1.5	2.2	12	1.62	3.2	1.6	2.5	1.75	1.42	1.62
32.FF	3,400	2.00	2.2	12	1.47	2.5	1.82	2	1.45	1.48	1.87
33.GG	2750	1.62	1.92	12	1.46	3	1.74	2	1.36	1.52	1.48
34.HH	3,000	1.77	2.43	12	1.63	4	1.63	2	1.38	1.41	1.67
35.II	3,000	1.22	1.81	8	0.76	2.5	1.74	1.5	1.24	1.31	1.45
36.JJ	3,000	2.1	2.3	12	1.66	2.5	1.79	2.6	1.5	1.3	1.78
37.KK	2700	2.3	2.4	12	1.4	2.9	1.8	1.9	1.4	1.57	1.57
38.LL	2,500	1.98	2.37	12	1.3	3	1.53	1.3	1.45	1.5	1.87

จากข้อมูลขนาดของเตาทำให้สามารถแบ่งกลุ่มผู้ประกอบการออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ โดยแบ่งตาม ปริมาตรสมมูลของเตา

โดยปริมาตรสมมูลของเตา = ความสูง x ความกว้าง (บริเวณกลางเตา) x ความยาวของเตา

จะได้กลุ่มผู้ประกอบการดังแสดงในตารางที่ 4.4 ด้านล่าง ซึ่งจะพบว่าส่วนใหญ่แล้วจะจัดอยู่ในกลุ่ม ผู้ประกอบการขนาดใหญ่เป็นส่วนมาก แสดงให้เห็นว่ามีกำลังการผลิตที่มากตามไปด้วย

ตารางที่ 4.4 การแบ่งกลุ่มผู้ประกอบการตามปริมาตรสมมูลของเตา

กลุ่มผู้ประกอบการที่มีเตาขนาดเล็ก

ผู้ประกอบการ	กว้าง(m)	ยาว(m)	สูง(m)	ปริมาตรสมมูล
1. II	1.81	8	1.74	25.20
2. AA	1.45	13	1.55	29.22
3. H	2.25	10	1.53	34.43
4. K	2.3	10	1.5	34.50
5. S	2.25	10	1.6	36.00

กลุ่มผู้ประกอบการที่มีเตาขนาดกลาง

ผู้ประกอบการ	กว้าง(m)	ยาว(m)	สูง(m)	ปริมาตรสมมูล
1. GG	1.92	12	1.74	40.09
2. A	2.3	12	1.5	41.40
3. N	2.25	11	1.7	42.08
4. R	2.2	12	1.6	42.24
5. EE	2.2	12	1.6	42.24
6. Y	2.5	10	1.7	42.50
7. LL	2.37	12	1.53	43.51
8. BB	2.52	11	1.58	43.80
9. G	2.38	12	1.54	43.98
10. D	2.2	12	1.7	44.88

กลุ่มผู้ประกอบการที่มีเตาขนาดใหญ่

ผู้ประกอบการ	กว้าง(m)	ยาว(m)	สูง(m)	ปริมาตรสมมูล
1. V	2.4	12	1.6	46.08
2. X	2.4	12	1.6	46.08
3. Z	2.3	12	1.67	46.09
4. C	2.61	12	1.5	46.98
5. J	2.35	12	1.68	47.38
6. HH	2.43	12	1.63	47.53
7. O	2.16	12	1.85	47.95
8. FF	2.2	12	1.82	48.05
9. DD	2.52	12	1.62	48.99
10. I	2.33	12	1.76	49.21
11. JJ	2.3	12	1.79	49.40
12. P	2.4	12	1.72	49.54

13. W	2.4	12	1.73	49.82
14. B	2.5	12	1.68	50.40
15. F	2.5	11.3	1.8	50.85
16. U	2.52	12	1.69	51.11
17. Q	2.46	12	1.75	51.66
18. CC	2.43	13	1.64	51.81
19. KK	2.4	12	1.8	51.84
20. E	2.45	12	1.79	52.63
21. L	2.47	12	1.78	52.76

กลุ่มผู้ประกอบการที่มีเตาขนาดใหญ่มาก

ผู้ประกอบการ	กว้าง(m)	ยาว(m)	สูง(m)	ปริมาตรสมมูล
1. T	2.7	12	1.7	55.08
2. M	2.65	12	1.8	57.24

จากข้อมูลแบบสอบถามทำให้ได้ต้นทุนและเงินที่ขายได้ของผู้ประกอบการเตาเผาดังตารางที่ 4.5 ตารางที่ 4.5 ต้นทุนการผลิตและเงินที่ขายได้

ผู้ประกอบการ	ต้นทุนการผลิต/ ครั้ง	จำนวนครั้งที่ ผลิต/เดือน	ต้นทุนการผลิต/ เดือน	ขายได้(บาท)
1. A	14000	3	42000	20000บาท
2. B	10335	-	-	-
3. C	10435	1	10435	18000-19000บาท
4. D	10035	1	10035	13000บาท
5. E	8735	2	17470	12000-13000บาท
6. F	7385	1	7385	8000-10000บาท
7.G	8420	2	16840	11000-12000บาท
8. H	9470	6	56820	13000-14000บาท

9. I	9635	1	9635	10000-12000บาท
10. J	13674	2	27348	12000-16000บาท
11. K	6770	2	13540	10000-11000บาท
12. L	11685	1-2	11685-23370	10000-13000บาท
13. M	8885	1	8885	27000บาท
14.N	9400	3	28200	15000บาท
15. O	11035	2-3	22070-33105	10000บาท
16.P	10024	2	20048	13000-15000บาท
17. Q	8774	2	17548	11000-12000บาท
18. R	10653	2	21306	14000บาท
19. S	7050	2	14100	13000-14000บาท หรือ 8000-9000 บาท
20.T	7824	1	7824	16000-17000บาท
21.U	11624	3	34872	20000-23000บาท
22. V	7335	2	14670	10000 บาท
23. W	10070	2	20140	10000-12000 บาท
24.X	10235	1	10235	14000-15000 บาท
25. Y	11704	3	35112	10000-12000บาท
26. Z	10470	1 หรือ 2-3	10470-20940- 31410	13000 บาท
27. AA	12035	6-9	72210-108315	15000บาท
28. BB	11035	1	11035	14000 บาท
29. CC	11680	4	46720	16000 บาท
30. DD	12624	2-5	25248-63120	17000-18000 บาท
31.EE	11120	1	11120	11000บาท
32. FF	11875	6	71250	27000
33. GG	9885	2-3	19770-29655	11000 บาท
34.HH	11070	2-3	22140-33210	15000 บาท
35. II	2000	2	4000	3000-5000บาท
36. JJ	11070	2	22140	15000 บาท

37.KK	11020	3	33060	36000-40000 บาท ทั้ง3เตา
38. LL	10024	1-2	10024-20048	14000-15000 บาท

ในต้นทุนที่ใช้ในการเผาครั้งแรกแต่ละครั้งก็ยังมีรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อเปรียบเทียบว่าส่วนไหนของต้นทุนที่ใช้มากที่สุด ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนในการผลิตครั้งหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงแต่ละผู้ประกอบการ

ลำดับผู้ประกอบการ	ต้นทุนต่อเตา(บาท)	ดิน (บาท)	ฟืน (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	เผา (บาท)	เกลือ (บาท)	ครกออกเตา (บาท)
ราคา		1000	1300		800	70	400
1. A	14000	500	4550	7680	800	70	400
2. B	10335	500	5200	3400	800	35	400
3. C	10435	500	3900	4800	800	35	400
4. D	10035	500	3900	4400	800	35	400
5. E	8735	500	3900	3100	800	35	400
6. F	7385	500	3250	2400	800	35	400
7.G	8420	500	3250	3400	800	70	400
8. H	9470	500	3900	3800	800	70	400
9. I	9635	500	3900	4000	800	35	400
10. J	13674	500	3900	4400	800	70	4004
11. K	6770	500	2600	2400	800	70	400
12. L	11685	500	4550	5400	800	35	400
13. M	8885	500	3250	3800	800	35	500
14.N	9400	500	3900	3800	800	-	400
15. O	11035	500	3900	5400	800	35	400
16.P	10024	500	3900	4400	800	24	400
17. Q	8774	500	3250	3800	800	24	400
18. R	10653	500	3900	5000	800	53	400
19. S	7050	500	1950	3400	800	-	400
20.T	7824	500	2600	3400	800	24	500

21.U	11624	500	3900	6000	800	24	400
22. V	7335	500	2600	3000	800	35	400
23. W	10070	500	3900	4400	800	70	400
24.X	10235	500	3900	4600	800	35	400
25. Y	11704	500	3900	6080	800	24	400
26. Z	10470	500	3900	4800	800	70	400
27. AA	12035	500	4900	5400	800	35	400
28. BB	11035	500	3900	5400	800	35	400
29. CC	11680	500	3900	6080	800	-	400
30. DD	12624	500	3900	7000	800	24	400
31.EE	11120	500	4550	4800	800	70	400
32. FF	11875	500	3575	6600	800	-	400
33. GG	9885	500	3250	4900	800	35	400
34.HH	11070	500	3900	5400	800	70	400
35. II	2000	500	1300	165	-	35	-
36. JJ	11070	500	3900	5400	800	70	400
37.KK	11020	500	3250	6000	800	70	400
38. LL	10024	500	3900	4400	800	24	400

จะเห็นได้ว่าต้นทุนส่วนมากคือค่าฟืนและค่าแรงงานเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นต้นทุนที่ตายตัว ไม่สามารถที่จะเพิ่มหรือลดได้ และราคาขายครกก็ยังคงเท่าเดิมผู้ประกอบการไม่สามารถกำหนดราคาขายเองได้ ต้นทุนที่ใช้มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในส่วนของ ค่าฟืน ค่าดินที่ใช้ปั้นครก ดังนั้นต้นทุนที่พอจะลดได้คือฟืนที่ใช้ ที่เป็นไปได้มากที่สุด และลดเปอร์เซ็นต์ของเสียให้น้อยลงเพื่อเพิ่มกำไรให้แก่ผู้ประกอบการ

ตารางที่ 4.7 ต้นทุนในการผลิตครั้งหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงแต่ละผู้ประกอบการ

ลำดับผู้ประกอบการ	ต้นทุนต่อเตา	ดิน	ฟืน	ค่าแรงงาน	เผา	เกลือ	ครกออกเตา
ราคา		1000	1300		800	70	400
1.A	14000	3.57	32.50	54.86	5.71	0.50	2.86
2.B	10335บาท	4.84	50.31	32.90	7.74	0.34	3.87

3.C	9035บาท	4.79	37.37	46.00	7.67	0.34	3.83
4.D	9035บาท	4.98	38.86	43.85	7.97	0.35	3.99
5.E	9035บาท	5.72	44.65	35.49	9.16	0.40	4.58
6.F	7385บาท	6.77	44.01	32.50	10.83	0.47	5.42
7.G	8420บาท	5.94	38.60	40.38	9.50	0.83	4.75
8.H	9070บาท	5.28	41.18	40.13	8.45	0.74	4.22
9.I	9035บาท	5.19	40.48	41.52	8.30	0.36	4.15
10.J	12674บาท	3.66	28.52	32.18	5.85	0.51	29.28
11.K	6770บาท	7.39	38.40	35.45	11.82	1.03	5.91
12.L	9685บาท	4.28	38.94	46.21	6.85	0.30	3.42
13.M	9085บาท	5.63	36.58	42.77	9.00	0.39	5.63
14.N	9000บาท	5.32	41.49	40.43	8.51	0.00	4.26
15.O	9035บาท	4.53	35.34	48.94	7.25	0.32	3.62
16.P	9024บาท	4.99	38.91	43.89	7.98	0.24	3.99
17.Q	8374บาท	5.70	37.04	43.31	9.12	0.27	4.56
18.R	9053บาท	4.69	36.61	46.94	7.51	0.50	3.75
19.S	7050บาท	7.09	27.66	48.23	11.35	0.00	5.67
20.T	8424บาท	6.39	33.23	43.46	10.22	0.31	6.39
21.U	9024บาท	4.30	33.55	51.62	6.88	0.21	3.44
22.V	7335บาท	6.82	35.45	40.90	10.91	0.48	5.45
23.W	9070บาท	4.97	38.73	43.69	7.94	0.70	3.97
24.X	9035บาท	4.89	38.10	44.94	7.82	0.34	3.91
25.Y	9024บาท	4.27	33.32	51.95	6.84	0.21	3.42
26.Z	9070บาท	4.78	37.25	45.85	7.64	0.67	3.82
27.AA	10035 บาท	4.15	40.71	44.87	6.65	0.29	3.32
28.BB	9035บาท	4.53	35.34	48.94	7.25	0.32	3.62
29.CC	9000บาท	4.28	33.39	52.05	6.85	0.00	3.42
30.DD	9024บาท	3.96	30.89	55.45	6.34	0.19	3.17
31.EE	9720บาท	4.50	40.92	43.17	7.19	0.63	3.60
32.FF	8675บาท	4.21	30.11	55.58	6.74	0.00	3.37
33.GG	7385บาท	5.06	32.88	49.57	8.09	0.35	4.05

34.HH	9070บาท	4.52	35.23	48.78	7.23	0.63	3.61
35. II	2000บาท	25.00	65.00	8.25	0.00	1.75	0.00
36. JJ	9070บาท	4.52	35.23	48.78	7.23	0.63	3.61
37.KK	8420บาท	4.54	29.49	54.45	7.26	0.64	3.63
38. LL	9024บาท	4.99	38.91	43.89	7.98	0.24	3.99

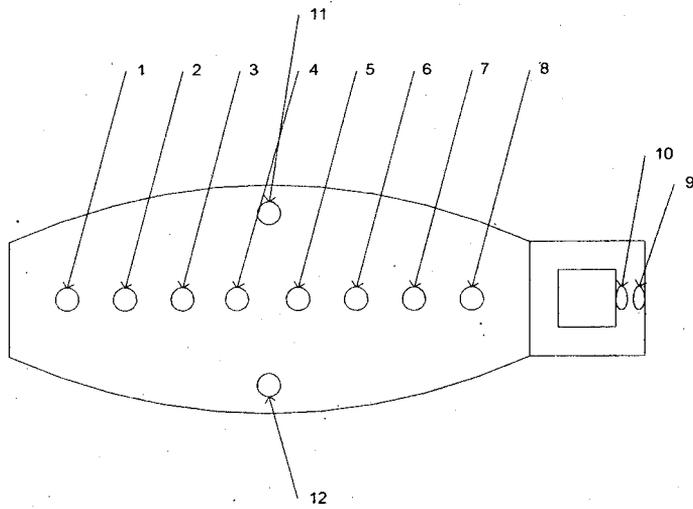
หมายเหตุ หลักการคิดคำนวณต้นทุน

1. ค่าดิน จากการสอบถาม พบว่าดินที่ใช้คือ 2 เตาดต่อ 1 รถ เฉลี่ยแล้วประมาณ 500 บาท.
2. ค่าพิน คิดจากจำนวนที่ใช้เป็นคันรถ คูณกับราคาพินต่อรถ คือ 1,300บาท
3. ค่าแรงงาน คิดจากจำนวนครกที่เข้าเตาเผา 1 ครั้ง คูณด้วยค่าเฉลี่ย ราคาปั่นครก (รวมค่าแรงการจัดเรียงครกด้วย)
4. ค่าเผา จากแบบสอบถาม จะอยู่ที่ 600-800 บาท จึงใช้ค่าแรงที่สูงสุด
5. ค่านำครกออกจากเตา ค่าแรงส่วนมากจะ อยู่ที่ 400 บาท อาจจะมีพิเศษ สำหรับเตาใหญ่คือ 500 บาท

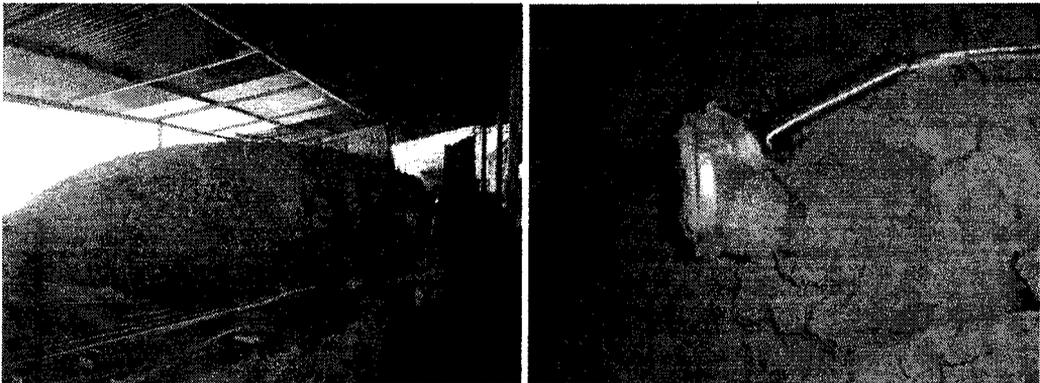
สำหรับผู้ประกอบการที่ไม่ได้ใช้ ต้นทุนในส่วนใดก็หักในส่วนนั้นออก ก็จะเป็นต้นทุนที่ประมาณใกล้เคียงกับที่ใช้จริง

4.2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ

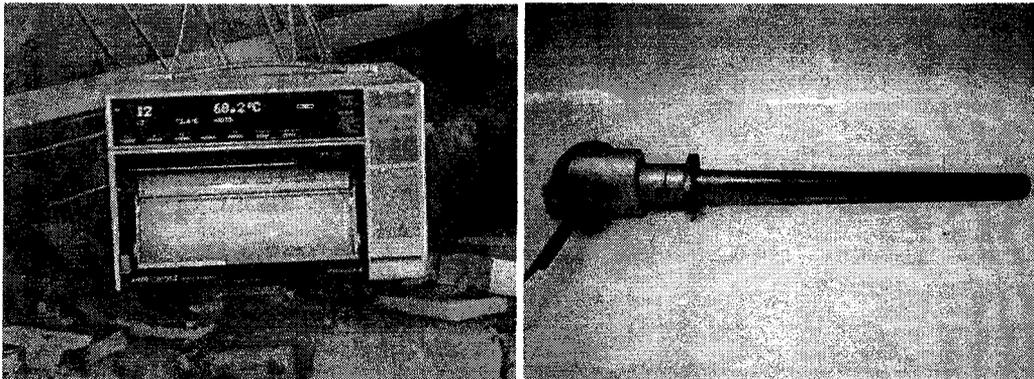
ในการตรวจวัดอุณหภูมิจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 ผู้ประกอบการ และ 1 เตาทดสอบ (ที่สร้างใหม่ที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) โดยจะเก็บผู้ประกอบการละ 2 ชุดข้อมูล แต่จะเก็บที่บ้านนายบวร พงษ์พิระ 4 ชุดข้อมูล เนื่องจากเป็นเตาที่ออกแบบโครงสร้างของเตาใหม่ การตรวจวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (K Type ThermoCouple) ในการวัดอุณหภูมิโดยส่งผ่านข้อมูลมายังเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ในการทำการทดลองจะวัดอุณหภูมิประมาณ 10-13 จุด ตามความยาวและสภาพของเตา บริเวณหลังเตาจะวัดประมาณ 7 - 8 จุด ห่างจุดละประมาณ 1.1 ม. ด้านข้างทั้ง 2 ข้างบริเวณกลางเตา 2 จุด ที่ปล่องไฟ 2 จุด ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 การเจาะเตาจะใช้ส่วนแบบกระแทกและดอกเจาะปูน เริ่มเจาะจากดอกสว่านขนาดเล็กไปใหญ่ซึ่งรูที่เจาะจะมีขนาดเท่ากับขนาดของเทอร์โมคัปเปิลพอดี ซึ่งจะทำให้ไม่มีรอยร้าวบริเวณที่เจาะ ดังนั้น จึงไม่มีผลต่อการเผามากนัก



รูปที่ 4.11 แสดงจุดวัดอุณหภูมิ (มองจากด้านบนของหัวเตาเผา)



รูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.13 Data Logger และ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

ตารางที่ 4.8 แสดงช่วงเวลาในกระบวนการเผากรก

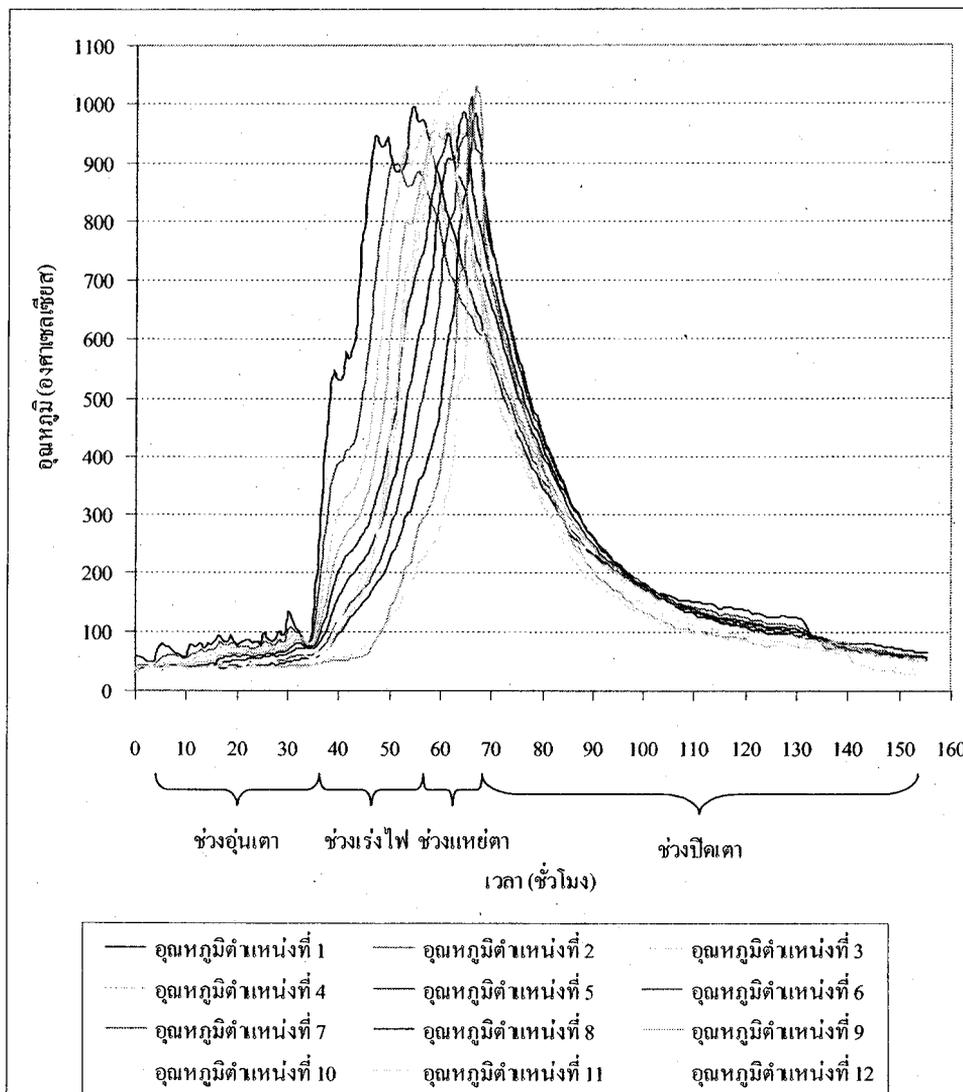
ผู้ประกอบการ	ความจุเตา	ครั้งที่	อุณหภูมิ		แรงไฟ		เผาเตา		ปิดเตา		หมายเหตุ
			เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	
นายดิตรกร พงษ์พีระ	1000	1	0 -	100 - 1100	12 -		20 -				
			50 - 100	20	900 - 1000	26	1000 - 80	26 - 88	เผากระถาง		
		2	0 -	150 - 1100	16 -		23 -				
			50 - 150	23	800 - 1000	27	1000 - 80	27 - 88	เผากระถาง		
นายอณัติ แสนทวีสุข	1500	1	0 -	100 - 950	40 -		55 -				
			50 - 100	55	800 - 1080	65	1080 - 50	235			
		2	0 -	100 - 980	40 -		55 -				
			50 - 100	55	800 - 1050	65	1050 - 50	215			
นายรุ่ง ปทุมมา	2500	1	0 -	100 - 1090	62 -		82 -				
			50 - 100	82	800 - 1000	90	1000 - 50	215			
		2	0 - 15	30 - 1100	15 -		30 -				
			40 - 50	30	850 - 1100	38	1100 - 50	220	เปิดเครื่องไม่ทันตอนเริ่มอุ่นเตา		
นายสมชาย แซ่ก้อ	3000	1	0 -	200 - 1000	40 -		58 -				
			50 - 200	58	700 - 1040	78	1040 - 100	200			
		2	0 -	180 - 1030	34 -		53 -				
			100 - 180	53	700 - 950	80	950 - 100	152	อุณหภูมิช่วงเย็นตัวหายไปประมาณ 24 - 30 ชม.		

นายประกอบ สม แก้ว	3600	1	50 - 200	0 -	200 - 950	30 -	700 - 1000	50 -	1000 -	75 -	
				30		50		75	100	180	
		2	50 - 100	0 -	100 - 900	30 -	700 - 1050	50 -		70 -	
			50 - 100	30	100 - 900	50	700 - 1050	70	1050 - 80	185	
		1	50 - 100	0 -	100 - 1000	40 -		55 -		63 -	
			50 - 100	40	100 - 1000	55	700 - 900	63	900 - 50	138	กระถาง, กระเบื้อง, ครก
		2	50 - 100	0 -	100 - 1000	20 -		35 -			
			50 - 100	20	100 - 1000	35	800 - 1000	45	1000 - 80	45 - 93	กระถาง, กระเบื้อง, ครก
	5000	3	50 - 100	0 -	100 - 1000	35 -		55 -		68 -	
			50 - 100	35	100 - 1000	55	800 - 1000	68	1000 - 50	155	
		4									

จากตารางที่ 4.8 พบว่าแต่ละผู้ประกอบการจะมีช่วงอุณหภูมิและเวลาในการเผาแตกต่างกันไม่มากนักอยู่กับวิธีการเผาที่ต่างกันซึ่งได้กล่าวไปแล้วในเบื้องต้น และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญก็คือ ผลกระทบในการเผาที่แตกต่างกันซึ่งพบว่า การเผากรกใช้เวลานานกว่าการเผากระถางหรือกระเบื้อง

ช่วงเวลาในการปล่อยให้เย็นตัวจะนานมากที่สุด รองลงมาคือการอุ่นเตา แห่เตา เร่งไฟตามลำดับ อุณหภูมิที่เริ่มอุ่นเตาจะเริ่มที่ประมาณ 50°C เนื่องจากมีการเผาที่ต่อเนื่อง (พักเตาประมาณ 4-6 วัน) ในเตาจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกเตา อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่ช่วงเร่งไฟและแห่เตา

ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์เหมือนกัน จากขนาดของเตาพบว่า เตาที่มีขนาดเล็กจะใช้เวลาในการปิดเตาน้อยกว่าเตาที่มีขนาดใหญ่ จากข้อมูลอุณหภูมิของการเผากรก ณ ตำแหน่งต่างๆ และช่วงเวลาต่างๆ ของบ้านนายบวร พงษ์พีระ (เตาที่ใช้สัญลักษณ์ A จากตารางที่ 4.2) สามารถเขียนเป็นกราฟรวมเพื่อให้เห็นพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา

จากกราฟของอุณหภูมิภายในเตาเผากับเวลาที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ตามกระบวนการเผาครก ดังนี้

1. ช่วงอุ่นเตา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $50^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาประมาณ 35 ชม. ลักษณะของกราฟจะหยักขึ้นลงเนื่องจากช่วงนี้จะไม่พื้ติพื้ถันในการใส่พินมากนัก จะค่อยระวังไม่ให้ไฟดับและอุณหภูมิสูงเกินไปเท่านั้น ซึ่งจะเติมพินก็ต่อเมื่อไฟอ่อนลงดูได้จากเส้นกราฟที่ตกลง หลังจากเติมพินเข้าไปใหม่จะทำให้ไฟลุกและทำให้กราฟสูงขึ้นอีกครั้ง จะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดช่วงเวลาของการอุ่นเตา

2. ช่วงเร่งไฟ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $100^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาประมาณ 21 ชม. เส้นกราฟช่วงนี้จะชันเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว การใส่พินช่วงนี้จะเพิ่มปริมาณพินเรื่อยๆ จนเต็มปากและจะพยายามให้อุณหภูมิไม่ตกลงมากนักให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ในเวลาที่ไม่เร็วมากนัก ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ครกแตก

3. ช่วงแห่เตา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $800^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาประมาณ 10 ชม. ลักษณะของเส้นกราฟจะเริ่มสูงขึ้นตามตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิจากกลางเตาไปจนถึงท้ายเตาตามลำดับ

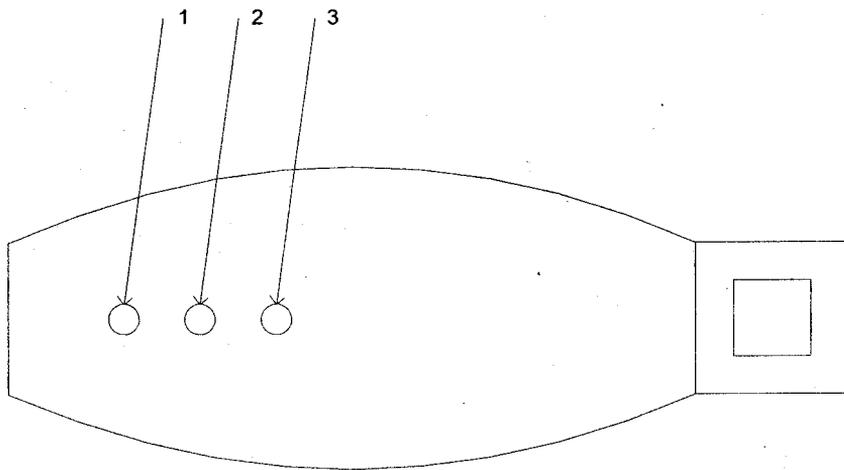
4. ช่วงปิดเตา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $1000^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาประมาณ 89 ชม. ลักษณะของเส้นกราฟจะโค้งลงคล้ายพาราโบลา เนื่องจากอุณหภูมิจะลดลงตามธรรมชาติ

เพื่อให้การศึกษาได้ข้อมูลที่ชัดเจนขึ้นจึงแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

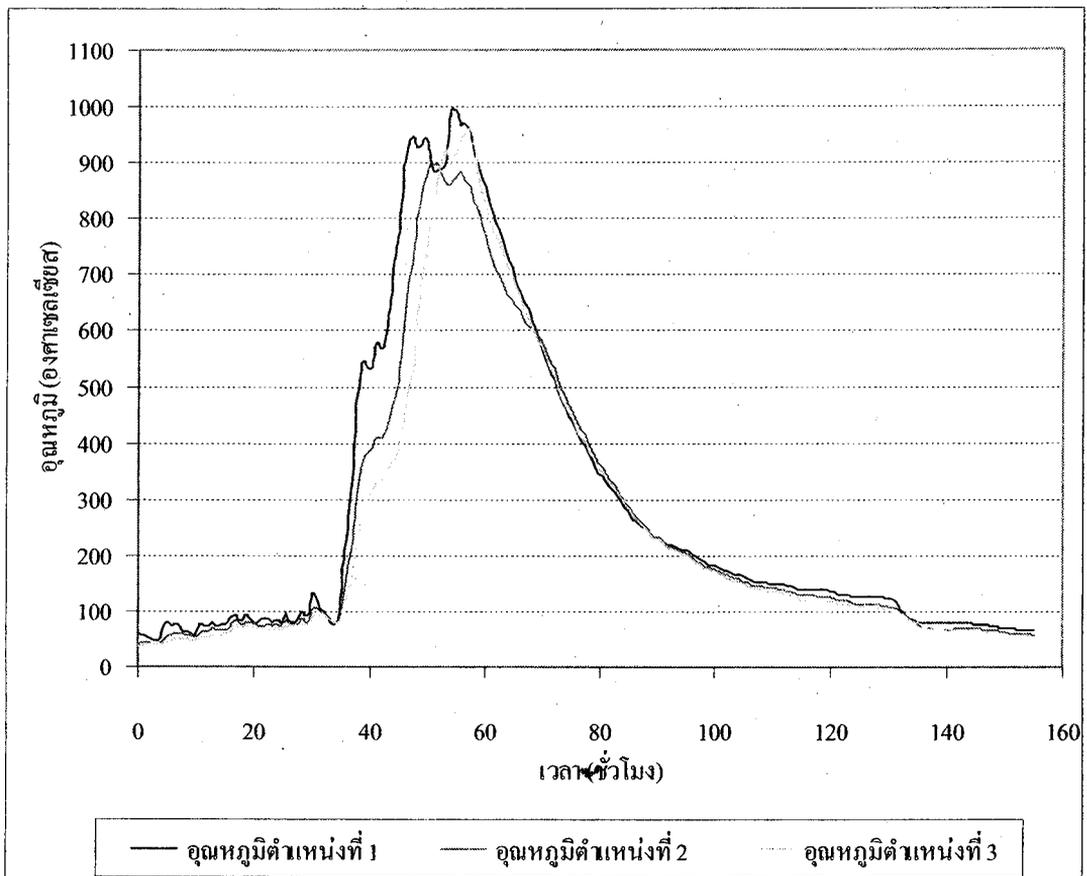
1. กลุ่มหน้าเตา ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1,2,3
2. กลุ่มกลางเตา ได้แก่ ตำแหน่งที่ 4,5,6,11,12
3. กลุ่มท้ายเตา ได้แก่ ตำแหน่งที่ 7,8
4. กลุ่มปล่องไฟ ได้แก่ ตำแหน่งที่ 9,10

4.2.1 กลุ่มหน้าเตา

เป็นกลุ่มข้อมูลที่ประกอบด้วยข้อมูลจาก หัววัดที่ 1, 2 และ 3 มีตำแหน่งในการวัดดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งมีแนวโน้มของอุณหภูมิในลักษณะเดียวกันดังแสดงรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งของกลุ่มหน้าเตา



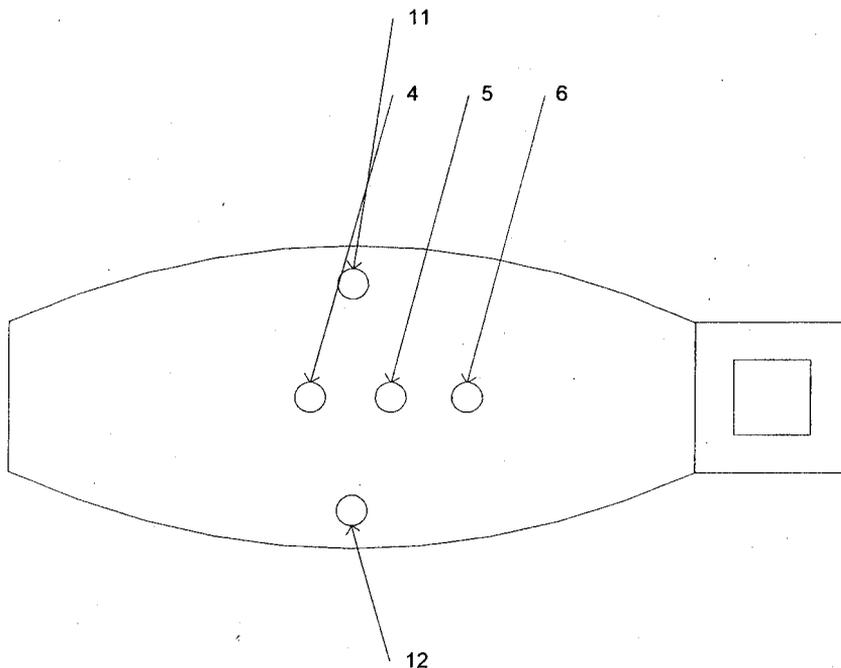
รูปที่ 4.16 กราฟของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มหน้าเตา

จากรูปที่ 4.16 จะพบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิในบริเวณหน้าเตา มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน โดยเส้นกราฟจะเริ่มมีความชันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาประมาณชั่วโมงที่ 35 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มเร่งไฟ จะเห็นว่าเส้นกราฟมีความชันสูงมากแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมียุคค่าสูงมากในช่วงนี้ และขึ้นไปสูงสุดที่ ณ เวลาประมาณชั่วโมงที่ 55 ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C

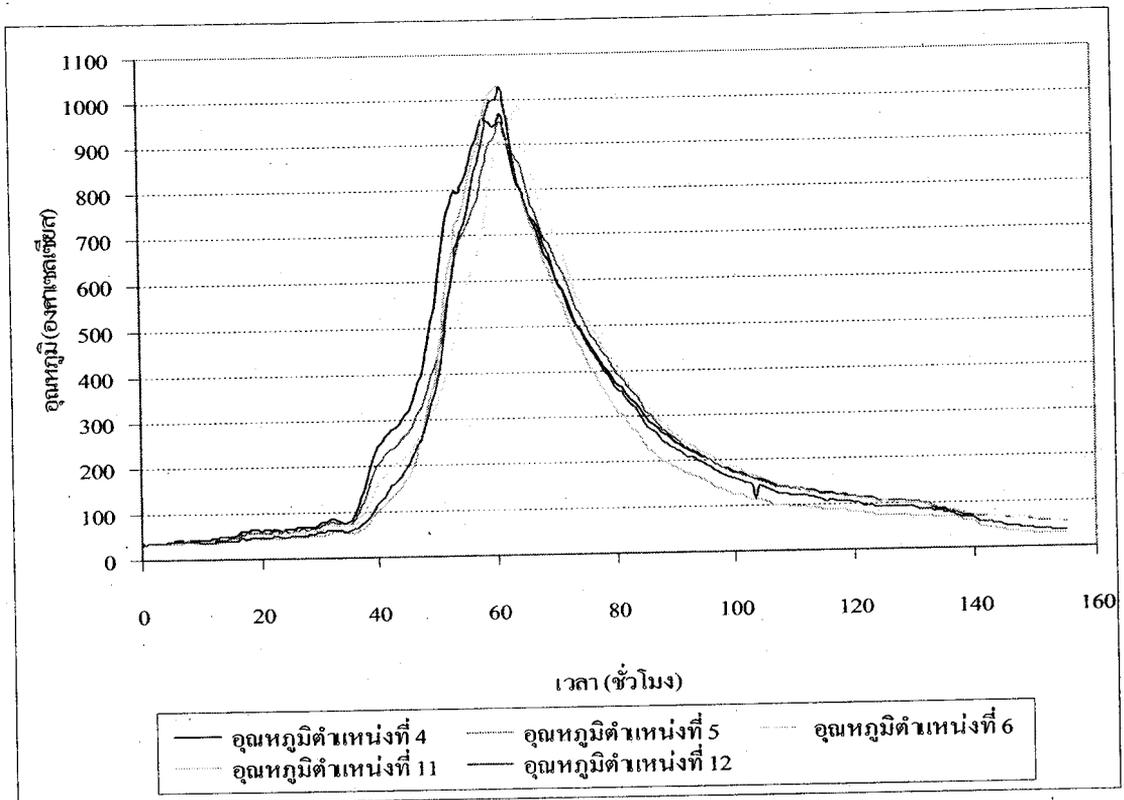
โดยในช่วงแรก (อุ่นเตา) นั้นอุณหภูมิจะมีลักษณะราบเรียบที่ประมาณ 50-100°C และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 35 ของการเผาซึ่งเป็นเวลาที่เริ่มมีการเร่งไฟ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงในลักษณะพาราโบลาหงาย เนื่องจากเป็นช่วงที่หมดการเร่งไฟและปิดหน้าต่างเตาแล้ว โดยนับจากนี้เป็นต้นไปจะทิ้งให้เตาค่อย ๆ เย็นตัวตามธรรมชาติ ลักษณะการลดลงของอุณหภูมิในเตาเผาจึงเป็นลักษณะของพลาโบลาหงาย จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งเปิดเตาเพื่อเอานครกออก

4.2.2 กลุ่มกลางเตา

เป็นกลุ่มข้อมูลที่ประกอบด้วย หัววัดที่ 4, 5, 6, 11 และ 12 โดยที่ตำแหน่งในการวัดแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 ซึ่งมีแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นไปตามรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของกลุ่มกลางเตา



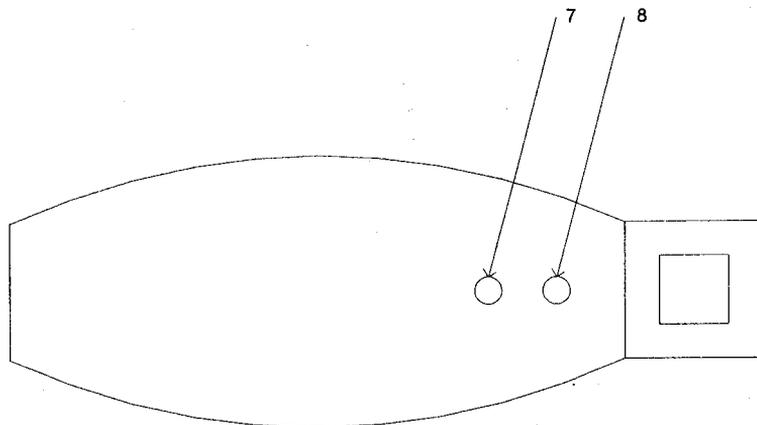
รูปที่ 4.18 กราฟของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มกลางเตา

จากรูปที่ 4.18 แสดงถึงอุณหภูมิกับเวลาของกลุ่มกลางเตาซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงก่อนถึงอุณหภูมิสูงสุดและหลังจากอุณหภูมิสูงสุดความชันของเส้นกราฟมีลักษณะใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มและลดลงของความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน จากกราฟพบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิในบริเวณกลางเตา มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่กราฟจะเริ่มมีความชันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาประมาณชั่วโมงที่ 35 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มเผาเตาจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีความชันสูงมากแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมิมีค่าสูงมากในช่วงนี้ และขึ้นไปสูงสุดที่ ณ เวลาประมาณชั่วโมงที่ 60 ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C

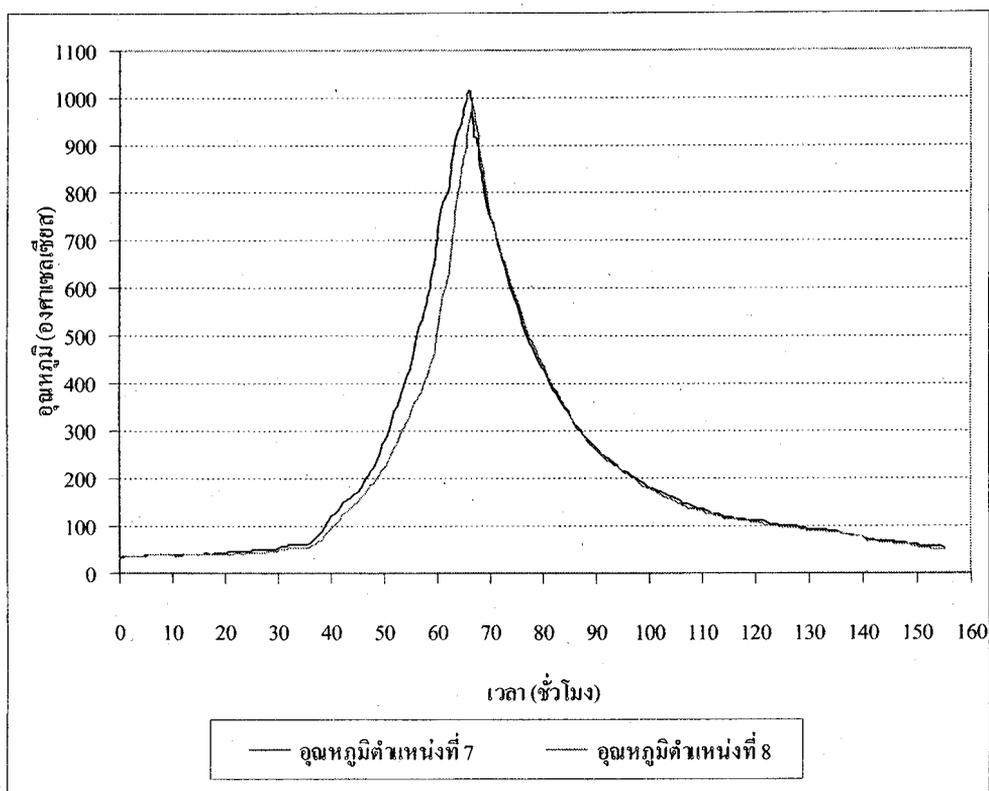
โดยในช่วงแรก(อุ่นเตา) นั้นอุณหภูมิจะมีลักษณะราบเรียบที่ประมาณ $20-100^{\circ}\text{C}$ และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 35 ของการเผาซึ่งเป็นเวลาที่เริ่มมีการเร่งไฟ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงในลักษณะพาราโบลาหงาย เนื่องจากเป็นช่วงที่หมดการเร่งไฟและปิดปากเตาแล้ว โดยนับจากนี้เป็นต้นไปจะทิ้งให้เตาค่อย ๆ เย็นตัวตามธรรมชาติ ลักษณะการลดลงของอุณหภูมิในเตาเผาจึงเป็นลักษณะของพาราโบลาหงาย จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งเปิดเตาเพื่อเอาครกออก โดยลักษณะของกราฟค่อนข้างจะมีลักษณะสมมาตรมากกว่ากลุ่มหน้าเตาและความชันของกราฟในช่วงเริ่มเร่งไฟจนถึงอุณหภูมิสูงสุดมีความชันน้อยกว่าความชันของเส้นกราฟของกลุ่มหน้าเตาอีกด้วย

4.2.3 กลุ่มท้ายเตา

เป็นกลุ่มข้อมูลที่ประกอบด้วย หัววัดที่ 7,8 โดยที่ตำแหน่งในการวัดแสดงไว้ในรูปที่ 4.19 ซึ่งมีแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นไปตามรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 ตำแหน่งของกลุ่มท้ายเตา



รูปที่ 4.20 กราฟของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มท้ายเตา

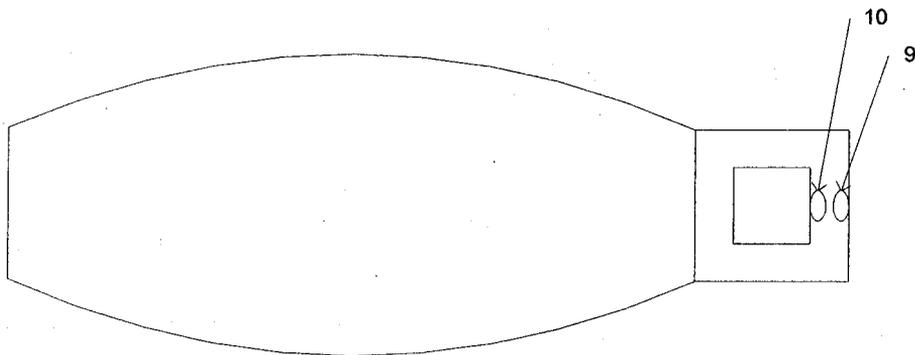
จากรูปที่ 4.20 แสดงถึงอุณหภูมิกับเวลาของกลุ่มท้ายเตาซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงก่อนถึงอุณหภูมิสูงสุดและหลังจากอุณหภูมิสูงสุดความชันของเส้นกราฟมีลักษณะใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มและลดลงของความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้จะพบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิในบริเวณท้ายเตา มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่กราฟจะเริ่มมีความชันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาประมาณชั่วโมงที่ 35 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มเผาเตาจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีความชันสูงมากแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมียุทธศาสตร์สูงมากในช่วงนี้ และขึ้นไปสูงสุดที่ ณ เวลาประมาณ ชั่วโมงที่ 65 ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C

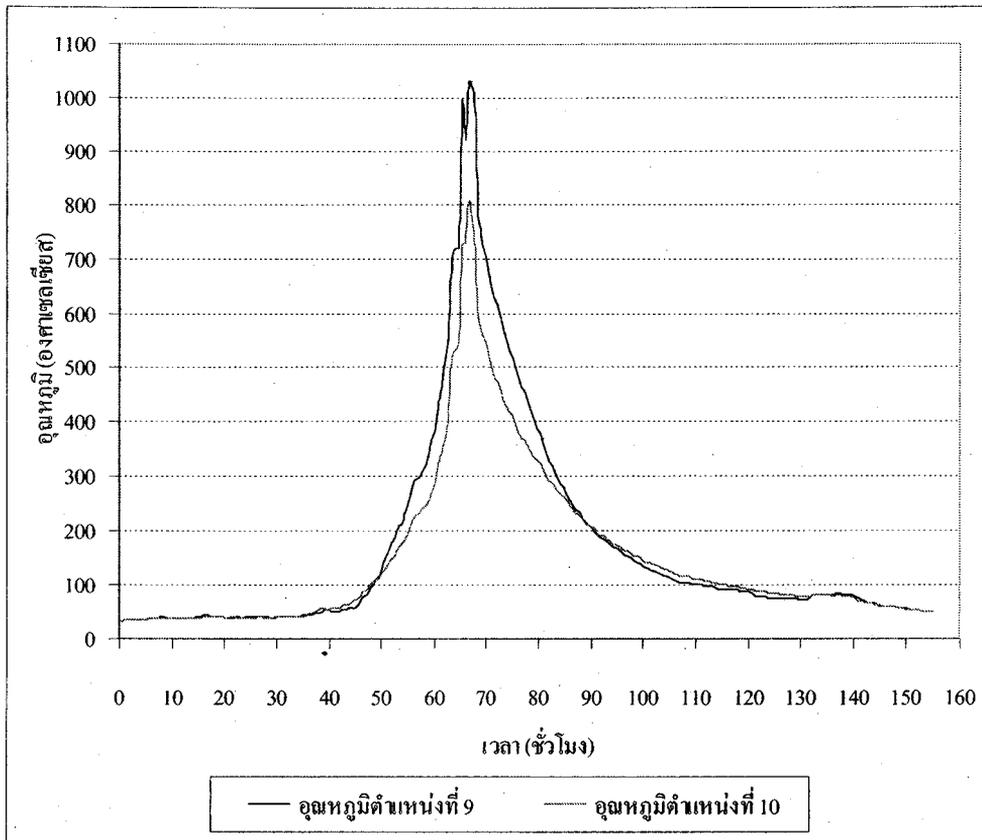
โดยในช่วงแรก (อุ่นเตา) นั้นอุณหภูมิจะมีลักษณะราบเรียบที่ประมาณ 50°C และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 35 ของการเผาซึ่งเป็นเวลาที่เริ่มมีการเร่งไฟ หลังจากนั้น อุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงในลักษณะพาราโบลาหงาย เนื่องจากเป็นช่วงที่หมดการเร่งไฟและปิดปากเตาแล้ว โดยนับจากนี้เป็นต้นไปจะทิ้งให้เตาค่อย ๆ เย็นตัวตามธรรมชาติ

4.2.4 กลุ่มปล่องไฟ

เป็นกลุ่มข้อมูลที่ประกอบด้วย หัววัดที่ 9, 10 โดยที่ตำแหน่งในการวัดแสดงไว้ในรูปที่ 4.21 ซึ่งมีแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นไปตามรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งของกลุ่มปล่องไฟ



รูปที่ 4.22 ของอุณหภูมิกับเวลาของหัววัดกลุ่มปล่องไฟ

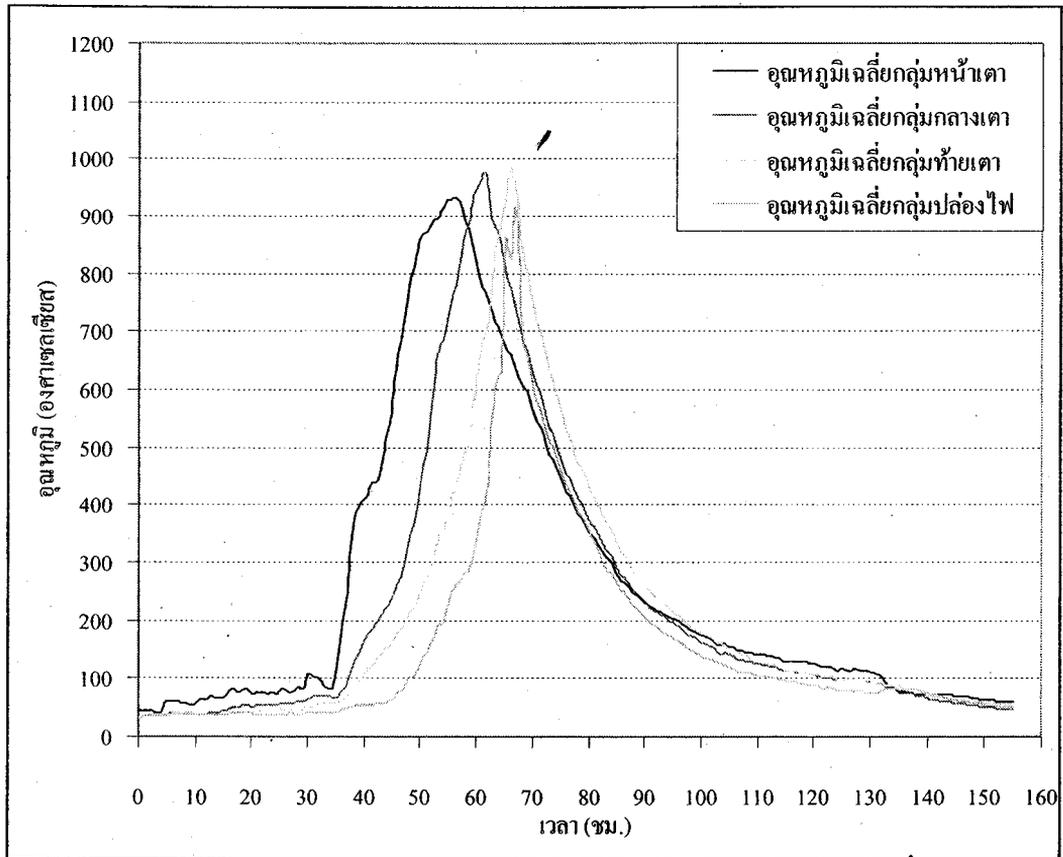
จากรูปที่ 4.22 แสดงถึงอุณหภูมิกับเวลาของกลุ่มบริเวณปล่องไฟซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงก่อนถึงอุณหภูมิสูงสุดและหลังจากอุณหภูมิสูงสุดความชันของเส้นกราฟมีลักษณะใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มและลดลงของความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน

เราจะพบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิในบริเวณปล่องไฟ มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่กราฟจะเริ่มมีความชันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาประมาณชั่วโมงที่ 45 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีความชันสูงมากแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมียุทธศาสตร์สูงมากในช่วงนี้ และขึ้นไปสูงสุดที่ ณ เวลาประมาณ ชั่วโมงที่ 65 ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C

4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลา

4.3.1 กราฟแสดงถึงพฤติกรรมของอุณหภูมิในส่วนต่าง ๆ ของเตาเผา

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงลักษณะของกราฟอุณหภูมิกับเวลาของเตาเผาส่วนต่าง ๆ ไปแล้ว ในหัวข้อนี้จะได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อีก โดยจากอุณหภูมิของหัววัดกลุ่มต่าง ๆ นั้น ได้ทำการเฉลี่ยอุณหภูมิของกลุ่มต่าง ๆ และเขียนเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 กราฟของอุณหภูมิเฉลี่ยกับเวลา ณ บริเวณหน้าตา, กลางตา, ท้ายตา และบริเวณปล่องไฟ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเผาและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละช่วงของการเผา

ช่วงต่างๆ ในการเผา	เวลาที่ใช้		อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด (องศาเซลเซียส)			
	ชม.	วัน	หน้าตา	กลางตา	ท้ายตา	ปล่องไฟ
อุ่นเตา	35.25	1.5	121.0	67.8	58.2	42.2
เร่งไฟ	21.00	0.9	931.8	781.5	432.6	257.8
แห่เตา	9.75	0.4	926.1	976.3	984.3	824.1
ปิดเตา	89.25	3.7	639.9	745.7	952.1	917.2
รวม	155.25	6.5				

จากตารางที่ 4.9 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณหน้าเตาจะได้รับผลกระทบต่อความร้อนที่ได้รับจากการเผาเชื้อเพลิง (ฟืน) มากกว่าส่วนอื่น ๆ ดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นก่อนตำแหน่งอื่น ๆ กล่าวคือเมื่อทำการอุ่นเตาหน้าเตาจะได้รับความร้อนเร็วกว่าและมากกว่าและจะค่อย ๆ ถ่ายเทความร้อนให้กับส่วนของกลางเตาและท้ายเตาตามลำดับ เมื่อเริ่มเผาอุณหภูมิหน้าเตาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะเห็นได้จากเส้นกราฟมีความชันสูงกว่าในส่วนอื่นและมี

อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่มีค่าประมาณ 931°C ซึ่งมากกว่าส่วนอื่นของเตาตลอดระยะเวลาการเผา ในขณะที่เริ่มทำการเผาที่บริเวณกลางเตาอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงนี้ก็จะเริ่มสูงขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุดที่ 976°C ในขณะเดียวกันอุณหภูมิช่วงหน้าเตาจะเริ่มต่ำลง หลังจากที่เผาช่วงกลางเตาเสร็จแล้วก็จะเริ่มเผาช่วงท้ายเตาซึ่งจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงนี้สูงกว่าช่วงอื่นๆ ที่กำลังลดต่ำลง อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงนี้สูงสุดที่ 984.3°C หลังจากนั้นจะทำการปิดเตาเพื่อปล่อยให้อุณหภูมิภายในเตาค่อยๆ ลดลง ช่วงแรกของการปิดเตาอุณหภูมิช่วงหน้าเตาจะต่ำกว่าส่วนอื่น ที่เวลาเดียวกันอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงท้ายเตาจะสูงที่สุด รองลงมาคือช่วงกลางเตาและหน้าเตาตามลำดับ เพราะว่าพื้นที่เผายังมีติดไฟอยู่ แต่เมื่อถึงเวลาประมาณ ชั่วโมงที่ 100 อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงหน้าเตาจะสูงที่สุดอีกครั้ง ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงกลางและท้ายเตาจะใกล้เคียงกัน เพราะว่าพื้นที่ใช้เผาเริ่มดับ แต่พื้นที่ใช้เร่งไฟยังติดอยู่เนื่องจากขนาดพื้นที่ใหญ่กว่าและมีปริมาณมากกว่านั่นเอง

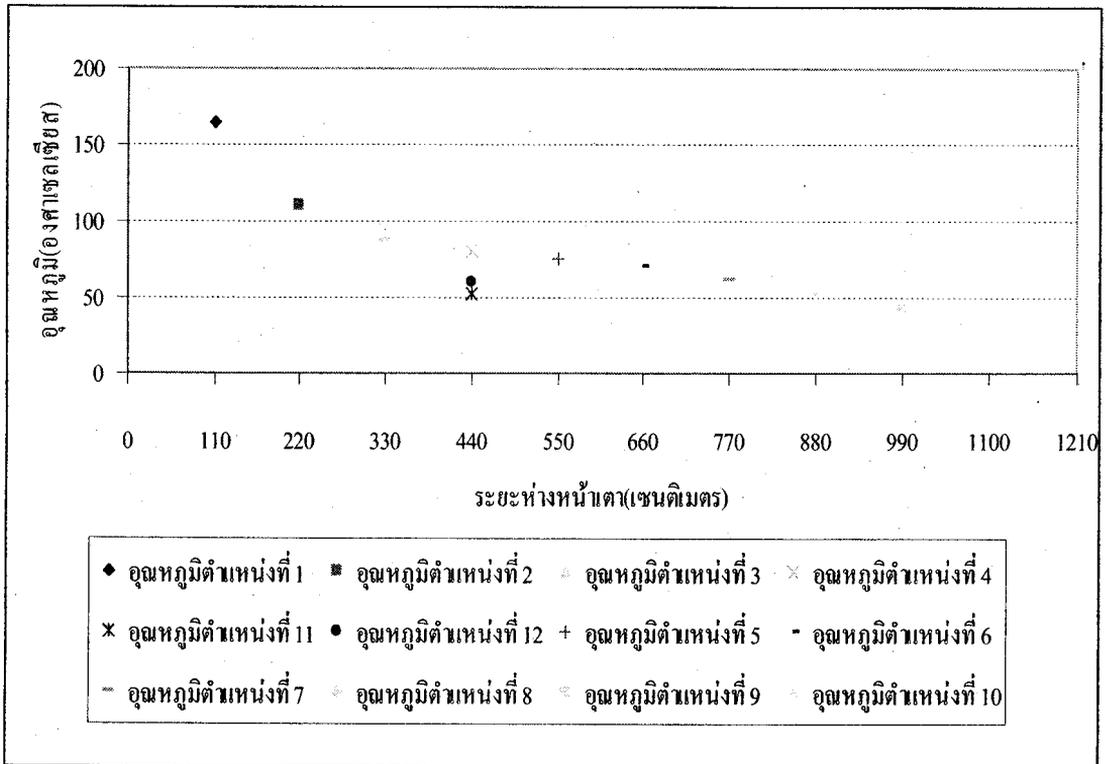
เป็นที่น่าสังเกตว่าลักษณะของเส้นกราฟของหน้าเตามีลักษณะไม่สมมาตรมีลักษณะเบี่ยงเบนมาทางซ้ายมือ สามารถบ่งบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์บริเวณหน้าเตาได้รับความร้อนเร็วแต่ใช้เวลาในการคายความร้อนมากในขณะที่ส่วนที่เหลือกราฟมีลักษณะสมมาตร เหตุที่เป็นเช่นนั้นก็อาจเป็นเพราะว่าบริเวณหน้าเตาได้รับความร้อนโดยตรงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ในส่วนนี้ได้รับความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากการใส่เชื้อเพลิงในขณะที่ทำการเร่งไฟและผลจากการที่ใช้เวลาในการคายความร้อนช้าก็เนื่องจากในส่วนหน้าเตานั้นอยู่ติดกับเรือนไฟที่ยังคงเก็บความร้อนไว้ ข้อแตกต่างของกลางเตากับท้ายเตาคือกลางเตาจะได้รับความร้อนและคายความร้อนอย่างสม่ำเสมอว่าโดยพิจารณาจากความชันของกราฟที่กลางเตามีน้อยกว่าท้ายเตา

4.3.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ

เพื่อให้การศึกษาสมบูรณ์ขึ้นคณะวิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ ณ เวลา หนึ่งๆ โดยจะแสดงในช่วงเวลาดังต่อไปนี้

1. ช่วงเริ่มเร่งไฟ ประมาณชั่วโมงที่ 30
2. ช่วงเริ่มเผาช่วงกลางเตา ประมาณชั่วโมงที่ 57
3. ช่วงเริ่มเผาช่วงท้ายเตา ประมาณชั่วโมงที่ 64
4. ช่วงเริ่มปล่อยให้เย็นตัว ประมาณชั่วโมงที่ 67

ช่วงเริ่มเร่งไฟ (ประมาณชั่วโมงที่ 30)



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 30

กลุ่มหน้าเตา (ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3)

ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิ 164.2 °C

ตำแหน่งที่ 2 มีอุณหภูมิ 110.8 °C

ตำแหน่งที่ 3 มีอุณหภูมิ 91.4 °C

อุณหภูมิเฉลี่ย 122.13 °C

กลุ่มกลางเตา (ตำแหน่งที่ 4, 5, 6, 11 และ 12)

ตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิ 80.6 °C

ตำแหน่งที่ 5 มีอุณหภูมิ 75.6 °C

ตำแหน่งที่ 6 มีอุณหภูมิ 70.6 °C

ตำแหน่งที่ 11 มีอุณหภูมิ 52.6 °C

ตำแหน่งที่ 12 มีอุณหภูมิ 60.8 °C

อุณหภูมิเฉลี่ย 68.04 °C

กลุ่มด้านท้ายเตาเผา (7 และ8)

ตำแหน่งที่ 7 มีอุณหภูมิ 61.8°C

ตำแหน่งที่ 8 มีอุณหภูมิ 54.5°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 58.15°C

กลุ่มบริเวณปล่องไฟ (9 และ10)

ตำแหน่งที่ 9 มีอุณหภูมิ 42.5°C

ตำแหน่งที่ 10 มีอุณหภูมิ 41.8°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 42.15°C

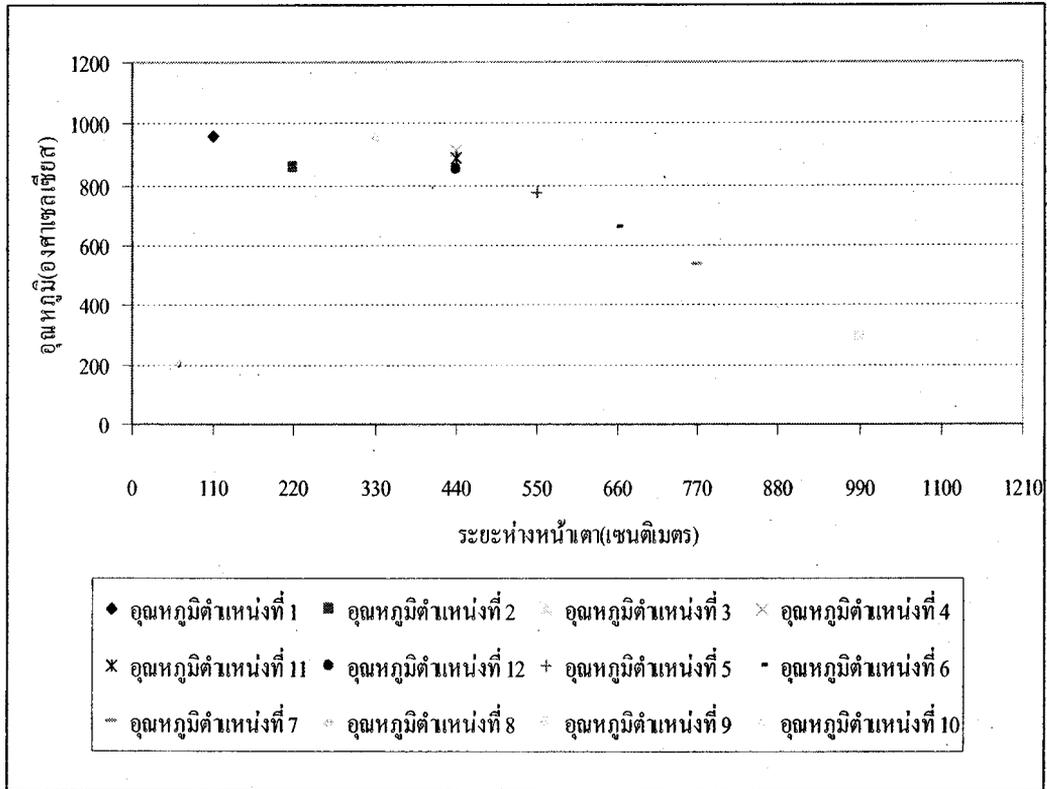
ตารางที่ 4.10 ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน

	กลุ่มหน้าเตา	กลุ่มกลางเตา	กลุ่มท้ายเตา	กลุ่มปล่องไฟ
กลุ่มหน้าเตา	-	53.73°C	63.98°C	79.98°C
กลุ่มกลางเตา	-	-	9.89°C	25.89°C
กลุ่มท้ายเตา	-	-	-	16°C
กลุ่มปล่องไฟ	-	-	-	-

รูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่เริ่มเร่งไฟ กลุ่มหน้าเตาจะมีอุณหภูมิสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ของเตา โดยจากกราฟอุณหภูมิจะมีค่าลดลงจากกลุ่มหน้าเตาไปยังกลุ่มท้ายเตา เนื่องจากการที่กลุ่มหน้าเตาอยู่ใกล้กับเรือนไฟที่สุดจึงได้รับความร้อนก่อนบริเวณอื่นๆ

จากตารางที่ 4.10 ในช่วงเวลาเร่งไฟอุณหภูมิเฉลี่ยของกลุ่มปล่องไฟจะแตกต่างจากกลุ่มหน้าเตามากที่สุด แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของกลุ่มกลางเตากับท้ายเตาหรือกลางเตากับปล่องไฟมีค่าไม่มากนัก เนื่องจากความร้อนยังกระจายตัวมาไม่ถึง ถึงแม้ว่ากลุ่มกลางเตาจะอยู่ใกล้กับกลุ่มหน้าเตามากที่สุดก็ยังมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่างกันถึง 53.73°C

ช่วงเริ่มหย่ตาช่วงกลางตา (ประมาณชั่วโมงที่ 57)



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 57

กลุ่มหน้าตา (ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3)

ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิ 959.2°C

ตำแหน่งที่ 2 มีอุณหภูมิ 859.9°C

ตำแหน่งที่ 3 มีอุณหภูมิ 959.3°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 926.13 °C

กลุ่มกลางตา (ตำแหน่งที่ 4, 5, 6, 11 และ 12)

ตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิ 912.1°C

ตำแหน่งที่ 5 มีอุณหภูมิ 775.3°C

ตำแหน่งที่ 6 มีอุณหภูมิ 662.0°C

ตำแหน่งที่ 11 มีอุณหภูมิ 890.3°C

ตำแหน่งที่ 12 มีอุณหภูมิ 855.0°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 818.94 °C

กลุ่มด้านท้ายเตาเผา (7 และ8)

ตำแหน่งที่ 7 มีอุณหภูมิ 531.1°C

ตำแหน่งที่ 8 มีอุณหภูมิ 382.2°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 456.65 °C

กลุ่มบริเวณปล่องไฟ (9 และ10)

ตำแหน่งที่ 9 มีอุณหภูมิ 296.9°C

ตำแหน่งที่ 10 มีอุณหภูมิ 230.8°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 263.85 °C

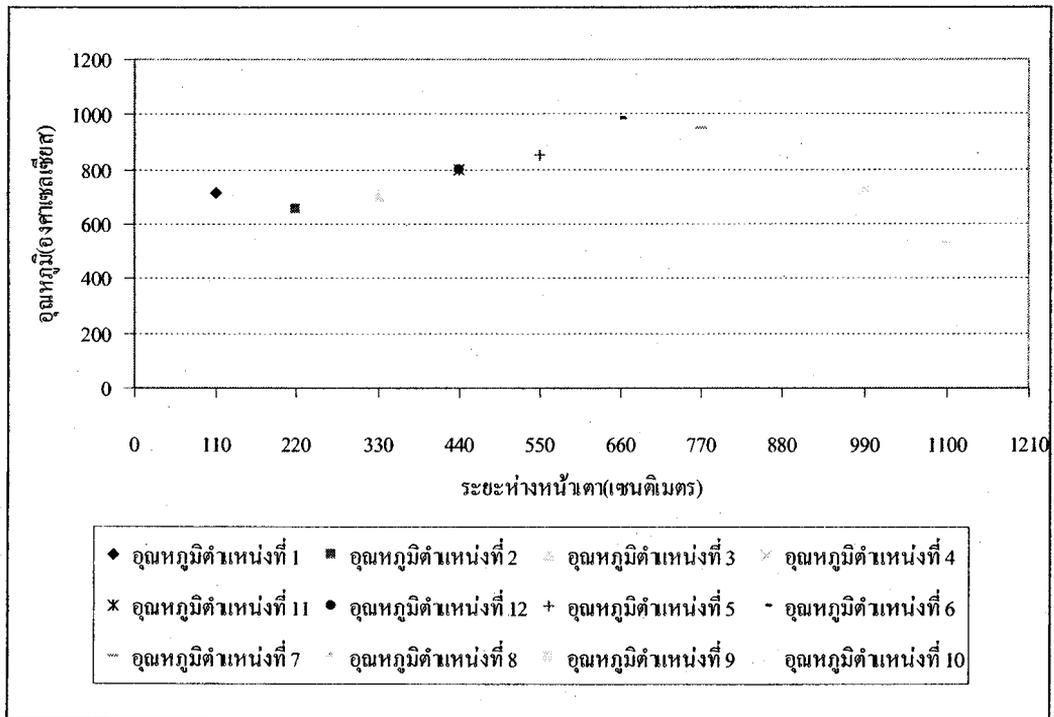
ตารางที่ 4.11 แสดงผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน

	กลุ่มหน้าเตา	กลุ่มกลางเตา	กลุ่มท้ายเตา	กลุ่มปล่องไฟ
กลุ่มหน้าเตา	-	107.19°C	469.48°C	662.28°C
กลุ่มกลางเตา	-	-	362.29°C	555.09°C
กลุ่มท้ายเตา	-	-	-	192.80°C
กลุ่มปล่องไฟ	-	-	-	-

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่เริ่มแห่ตาช่วงกลางเตา จะเริ่มหลังจากที่อุณหภูมิกลุ่มหน้าเตาได้ที่แล้ว โดยจะเริ่มแห่ตาที่อุณหภูมิตำแหน่งหัววัดที่ 4 มีค่าประมาณ 900°C แนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิของกลุ่มหน้าเตาจะยังสูงที่สุดเนื่องจากพึ่งผ่านการเผาและแห่ตามา แต่หลังจากนี้จะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ส่วนอุณหภูมิของช่วงกลางและท้ายเตาจะมีค่าลดลงจากกลางเตาไปท้ายเตาแปรผันตามระยะห่างจากเรือนไฟ

จากตารางที่ 4.11 ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละช่วงของเตาจะสูงขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเริ่มเร่งไฟ โดยที่ช่วงที่แตกต่างกันมากที่สุดก็คือ ช่วงหน้าเตากับปล่องไฟ และช่วงที่แตกต่างกันน้อยที่สุดคือ ช่วงหน้าเตาและช่วงกลางเตา เป็นที่น่าสังเกตว่าผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของช่วงกลางเตาและท้ายเตาเพิ่มสูงขึ้นมาก จากประมาณ 10°C เป็น 362°C ทั้งนี้เป็นเพราะความร้อนจากเรือนไฟได้แผ่มาถึงช่วงกลางเตาแต่ยังไม่ถึงช่วงท้ายเตา

ช่วงเริ่มแห่ตาช่วงท้ายตา (ประมาณชั่วโมงที่ 64)



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 64

กลุ่มหน้าตา (ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3)

ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิ 713.7°C

ตำแหน่งที่ 2 มีอุณหภูมิ 655.0°C

ตำแหน่งที่ 3 มีอุณหภูมิ 701.5°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 690.07 °C

กลุ่มกลางตา (ตำแหน่งที่ 4, 5, 6, 11 และ 12)

ตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิ 795.1°C

ตำแหน่งที่ 5 มีอุณหภูมิ 853.9°C

ตำแหน่งที่ 6 มีอุณหภูมิ 982.6°C

ตำแหน่งที่ 11 มีอุณหภูมิ 796.5°C

ตำแหน่งที่ 12 มีอุณหภูมิ 796.6°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 844.94 °C

กลุ่มด้านท้ายเตาเผา (7 และ8)

ตำแหน่งที่ 7 มีอุณหภูมิ 947.9°C

ตำแหน่งที่ 8 มีอุณหภูมิ 846.3°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 897.1 °C

กลุ่มบริเวณปล่องไฟ (9 และ10)

ตำแหน่งที่ 9 มีอุณหภูมิ 722.0°C

ตำแหน่งที่ 10 มีอุณหภูมิ 542.4°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 632.2 °C

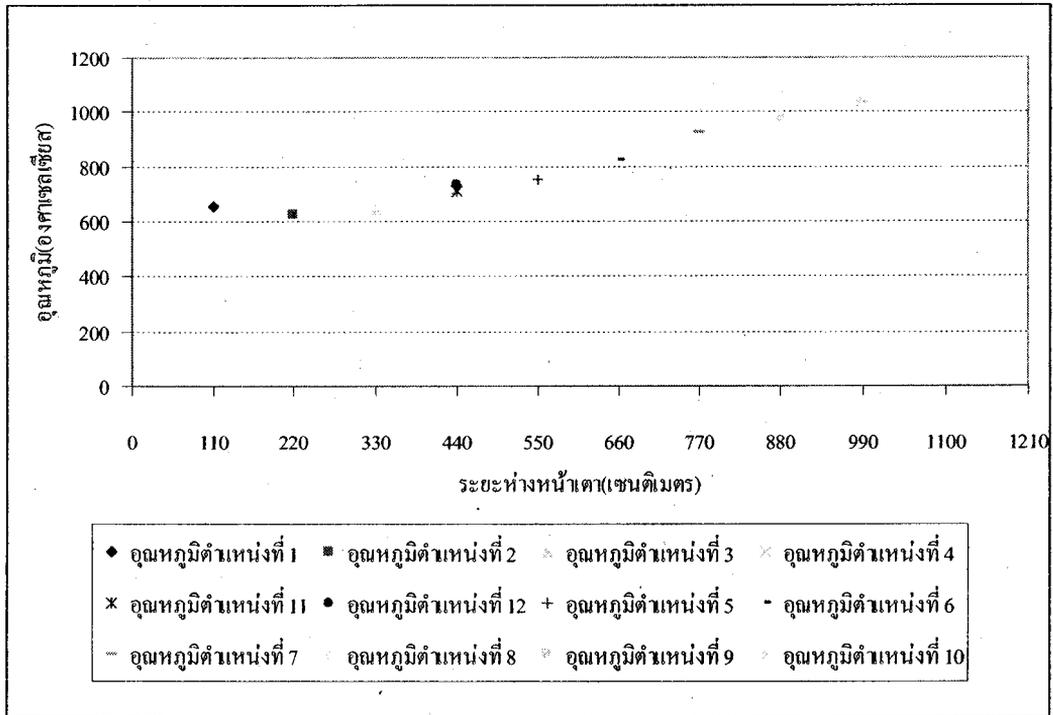
ตารางที่ 4.12 แสดงผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน

	กลุ่มหน้าเตา	กลุ่มกลางเตา	กลุ่มท้ายเตา	กลุ่มปล่องไฟ
กลุ่มหน้าเตา	-	-154.87°C	-207.03°C	57.87°C
กลุ่มกลางเตา	-	-	-52.16°C	212.74°C
กลุ่มท้ายเตา	-	-	-	264.9°C
กลุ่มปล่องไฟ	-	-	-	-

จากรูปที่ 4.26 ช่วงที่เริ่มแห่ตาช่วงท้ายเตาจะเริ่มเมื่ออุณหภูมิตำแหน่งที่ 7 มีค่าประมาณ 750°C การกระจายตัวของอุณหภูมิช่วงนี้จะสูงสุดที่บริเวณกลางเตา (t_6) อุณหภูมิจะสูงขึ้นจากช่วงหน้าเตาไปถึงช่วงท้ายเตา เนื่องจากอุณหภูมิช่วงหน้าเตาเริ่มลดลงแต่อุณหภูมิช่วงรอยต่อระหว่างช่วงกลางและท้ายเตาสูงขึ้น (t_6, t_7) และอุณหภูมิจะลดลงอีกครั้งจากช่วงท้ายเตาไปหาปล่องไฟ

จากตารางที่ 4.12 ค่าอุณหภูมิตีกลับเนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงท้ายเตาจะสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงกลางและหน้าเตา ขณะเดียวกันอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงกลางเตาก็สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงหน้าเตาเช่นกัน แต่ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าไม่มากเมื่อเทียบกับช่วงที่เริ่มแห่ตาช่วงกลางเตา ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือ 264.9°C ระหว่างช่วงท้ายเตากับปล่องไฟ และน้อยสุดที่ 52.16°C ระหว่างช่วงกลางเตาและท้ายเตา

ช่วงเริ่มปล่อยให้เย็นตัว (ประมาณชั่วโมงที่ 67)



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดที่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 67

กลุ่มหน้าเตา (ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3)

ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิ 654.5°C

ตำแหน่งที่ 2 มีอุณหภูมิ 621.8°C

ตำแหน่งที่ 3 มีอุณหภูมิ 643.5°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 639.93 °C

กลุ่มกลางเตา (ตำแหน่งที่ 4, 5, 6, 11 และ 12)

ตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิ 716.1°C

ตำแหน่งที่ 5 มีอุณหภูมิ 749.3°C

ตำแหน่งที่ 6 มีอุณหภูมิ 824.1°C

ตำแหน่งที่ 11 มีอุณหภูมิ 708.9°C

ตำแหน่งที่ 12 มีอุณหภูมิ 730.1°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 745.7 °C

กลุ่มด้านท้ายเตาเผา (7 และ8)

ตำแหน่งที่ 7 มีอุณหภูมิ 921.6°C

ตำแหน่งที่ 8 มีอุณหภูมิ 982.5°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 952.05 °C

กลุ่มบริเวณปล่องไฟ (9 และ10)

ตำแหน่งที่ 9 มีอุณหภูมิ 1029.6°C

ตำแหน่งที่ 10 มีอุณหภูมิ 804.8°C

อุณหภูมิเฉลี่ย 917.2 °C

ตารางที่ 4.13 ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน

	กลุ่มหน้าเตา	กลุ่มกลางเตา	กลุ่มท้ายเตา	กลุ่มปล่องไฟ
กลุ่มหน้าเตา	-	-105.77°C	-312.12°C	-277.27°C
กลุ่มกลางเตา	-	-	-206.35°C	-171.5°C
กลุ่มท้ายเตา	-	-	-	34.85°C
กลุ่มปล่องไฟ	-	-	-	-

จากรูปที่ 4.27 ช่วงที่เริ่มปล่อยให้เย็นตัวการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยจะสูงขึ้นจากช่วงหน้าเตาไปจนถึงช่วงท้ายเตา เนื่องจากจะทำการแห่ตาช่วงท้ายเตาเป็นขั้นสุดท้ายในขบวนการเผาครก จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงนี้สูง ในขณะที่ช่วงอื่น ๆ จะลดต่ำลง

จากตารางที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิตีกลับเนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงหน้าและกลางเตามีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงท้ายเตา ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ค่า 312.12°C ระหว่างช่วงหน้าเตากับท้ายเตา และน้อยสุดที่ 34.85°C ระหว่างกลุ่มท้ายเตาและปล่องไฟ

สำหรับผลการตรวจวัดอุณหภูมิของเตาจากผู้ประกอบการอีก 5 เตา และเตาที่สร้างใหม่ที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีแสดงได้ในภาคผนวกที่ 2

4.3.3 วิเคราะห์ผลจากการเก็บข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลของแต่ละผู้ประกอบการ ทำให้ทราบถึงภาพรวมในการเผาว่าในแต่ละช่วงของการเผามีอุณหภูมิเท่าใดและแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งจะทำให้สามารถอธิบายได้ดัง ตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละช่วงของการเผา

ผู้ประกอบการ	ครั้งที่	อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละช่วง			ผลิตภัณฑ์
		แรงไฟ (°C)	แห้งตา (กลางตา) (°C)	แห้งตา (ท้ายตา) (°C)	
นายจิตรกร พงษ์พีระ	1	1119.6	1016.6	936.5	กระดาษ
	2	1100.8	1006.8	949.7	กระดาษ
นายอ๋อนสี แสนทวีสุข	1	982.5	1072	995	ครก
	2	985.2	1029.3	1062.1	ครก
นายรุ่ง ปทุมมา	1	1079	1028	1010	ครก
	2	1091.6	1106	1079.3	ครก
นายสมชาย แซ่ก้อ	1	1026	922	1040	ครก
	2	1020.9	938.4	960.2	ครก
นายประกอบ สมแผ้ว	1	958.2	978.1	1017.6	ครก
	2	909.1	975.3	1044.6	ครก
นายบวร พงษ์พีระ	1	1001	1011.6	933.4	กระดาษ, กระเบื้อง, ครก
	2	1017.4	995.2	866.4	กระดาษ, กระเบื้อง, ครก
	3	993.7	1028.7	1009.2	ครก
นายทวิ ทิมพัฒน์	1	1115.6	1131	991.2	ครก
	2	1126.2	1009.5	1011.5	ครก

คณะวิจัยได้ทำการหาประสิทธิภาพของเตาเผา ($\eta_{เตา}$) ที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิทั้งหมด 6 เตาผู้ประกอบการ ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.16 โดยคำนวณจาก สมการที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครก

น้ำหนักครกเฉลี่ย (kg)	ก่อนเผา	หลังเผา
ครกขนาดจิ๋ว	1.1937	1.0427
ครกขนาดเล็ก	1.7728	1.5528
ครกขนาดกลาง	2.2198	2.1236
ครกขนาดใหญ่	3.3211	2.5500
ครกขนาดใหญ่	4.9370	4.4786

ผลจากการคำนวณในตารางที่ 4.16 จะใช้อุณหภูมิที่สูงที่สุดจากตารางที่ 4.14 และเปลี่ยนหน่วยจากองศา เซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เป็น เคลวิน (K) น้ำหนักของครกที่เข้าเผาแต่ละครั้งได้จาก จำนวนครกจากตารางที่ 4.3 คูณกับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครกในตารางที่ 4.15 ซึ่งรายละเอียดการคำนวณจะแสดงไว้ในภาคผนวก 1 และได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยของผู้ประกอบการที่วัดอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย (η) ของผู้ประกอบการที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ

ผู้ประกอบการ	น้ำหนักหิน (kg)	T max (K)	มวลครก (kg)	มวลน้ำที่หายไป (kg)	η
นายจิตรกร พงษ์พีระ	2020	1392.6	2416.1273	335.8273	10.1363
นายอ่อนสี แสนทวีสุข (เตาเล็ก 1800 ใบ)	3440	1345	4285.9636	465.8236	9.6692
นายรุ่ง ปทุมมา	4660	1364.6	5750.1545	749.9900	10.1002
นายสมชาย แซ่ก้อ	5359	1299	6830.7000	764.3490	9.5977
นายประกอบ สมแผ้ว	5491	1317.6	7789.7272	878.4127	10.8579
นายบวร พงษ์พีระ	3946.5	1301.7	4406.7636	547.6163	8.6212
นายทวี ทินพัฒน์	4731	1404	5440.4818	639.7536	9.4765

ผลทางตัวเลขชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย (η) ของเตาดำบลปทุมอยู่ที่ 8-11 % ประสิทธิภาพจะแปรผันตรงกับน้ำหนักของครกที่เข้าเผาแต่ละครั้งและแปรผกผันกับน้ำหนักฟืน ดังนั้น หากเราเผาครกจำนวนมากๆ ก็จะทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย (η) สูง และถ้าหากใช้ฟืน น้อยลงเมื่อจำนวนครกยังเท่าเดิมหรือเพิ่มมากกว่าเดิมก็จะยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย (η) สูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.14 ทำให้ทราบว่าโดยส่วนใหญ่อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการเผาครกจะอยู่ที่ประมาณ 1000°C สูงที่สุดในช่วงเร่งไฟบ้านนายจิตรกร พงษ์พิระ ที่อุณหภูมิ 1119.6°C ต่ำสุดในช่วงแห่ตา ท้ายเตาบ้านนายบวร พงษ์พิระ ที่อุณหภูมิ 866.4°C เนื่องจากช่วงท้ายเตาในการเผาครั้งนี้

ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันอุณหภูมิการเผาแต่ละครั้งจะใกล้เคียงกัน ที่แตกต่างกันมากที่สุดคือบ้านนายสมชาย แซ่ก้อ ในช่วงของการแห่ตาท้ายเตาซึ่งแตกต่างกันประมาณ 80°C ซึ่งผลปรากฏว่าในการเผาครั้งที่ 2 ผลิตภัณฑ์ในช่วงท้ายเตาจะมีจำนวนครกที่มีสีแดงมากกว่าในครั้งที่ 1

ช่วงเร่งไฟ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1000°C ซึ่งจะมีอยู่ 2 ผู้ประกอบการที่ใช้อุณหภูมิไม่ถึง 1000°C คือ นายประกอบ สมแผ้วและนายอ่อนสี แสนทวีสุข ทั้งนี้เนื่องจากว่า ตามประสบการณ์ในการเผาของทั้ง 2 ผู้ประกอบการ ครกที่อยู่บริเวณด้านหน้าเตาจะมีสีดำถึงแม้ว่าจะใช้ อุณหภูมิไม่ถึง 1000°C (ผู้ประกอบการเกรงว่าถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ครกจะสุกจนกรอบซึ่งจะขาย ไม่ได้) แต่ครกจะมีสีแดงในช่วงท้ายเตาจึงทำการเผาครกในช่วงนี้ให้มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นอุณหภูมิในช่วง ท้ายเตาจึงสูงกว่าช่วงหน้าเตา ซึ่งเป็นปัญหาที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ของทั้ง 2 เตา เชื่อว่าเกิดจากลักษณะ ของเตามากกว่าเกิดจากการเผา

จากการเก็บข้อมูล ที่อุณหภูมิตำแหน่งที่ 1 ของทุกผู้ประกอบการ (แสดงในภาคผนวกที่ 2) ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณเรือนไฟ ทำให้ทราบลักษณะการเผา (เร่งไฟ) ของแต่ละผู้ประกอบการ โดยส่วน ใหญ่กราฟจะมีความชันที่ใกล้เคียงกัน ช่วงเวลาในการเร่งไฟเมื่ออุณหภูมิสูง (ประมาณ 800°C - 1000°C) ใกล้เคียงกัน แต่ที่บ้านนายสมชาย แซ่ก้อ ครั้งที่ 2 จะมีช่วงเวลาในการเร่งไฟกว้างที่สุด และ จากการเผาทั้ง 2 ครั้ง ของนายสมชายช่วงนี้จะกว้างกว่าของผู้ประกอบการอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ลักษณะการเผาของนายสมชาย จะปล่อยให้อุณหภูมิตกลงช่วงหนึ่งแล้วจึงจะเร่งไฟขึ้นอีกครั้ง แต่ในการ เผาครั้งที่ 2 นั้น ได้มีการปล่อยให้อุณหภูมิตกลงถึง 2 ครั้ง แล้วจึงเร่งไฟจึงทำให้ช่วงเวลาในการเร่งไฟ ของนายสมชายนานที่สุด

และที่แตกต่างจากผู้ประกอบการอื่นอีกก็คือบ้านนายรุ่ง ปทุมมา ที่มีการอุ่นเตานานกว่า ผู้ประกอบการอื่นอยู่ประมาณ 20 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการเผาสูงที่สุดประมาณ 1100°C

จากลักษณะของกราฟช่วงปล่อยให้เตาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เย็นตัวเร็ว และที่ เย็นตัวช้า ซึ่งดูได้จากความชันของกราฟช่วงปล่อยให้เย็นตัว ซึ่งกลุ่มที่เย็นตัวเร็วได้แก่ นายอ่อนสี แสน ทวีสุข นายบวร พงษ์พิระ นายรุ่ง ปทุมมา กลุ่มที่เย็นตัวช้าได้แก่ นายสมชายแซ่ก้อและนายประกอบ สม

แล้ว ทั้งนี้เนื่องมาจากกลุ่มที่เย็นตัวช้าได้มีช่วงระยะเวลาที่เร่งไฟนานกว่ากลุ่มที่เย็นตัวเร็วนั่นเอง แต่ในการเอาครกออกจากเตา (ออกของ) นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยให้เย็นตัวเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับลูกค้ำที่จะมาซื้อครกเป็นสำคัญ แม้ว่าในเวลาดังกล่าวเมื่อเอาครกออกจากเตาแล้วจะทำให้เกิดการแตกเย็นก็ตาม จากการทดลองที่เตาทดลองทำให้ทราบว่าถ้าหากเอาครกออกในช่วงอุณหภูมิประมาณ 35°C - 45°C จะทำให้ครกไม่เกิดการเย็น แต่ไม่สามารถนำไปใช้จริงได้เนื่องจากผู้ประกอบการต้องการจำหน่ายครกออกตามเวลาของลูกค้ำที่มาซื้อครกจึงยอมให้ครกเกิดการแตกเย็นได้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ที่เวลาเดียวกันจะมีอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดอยู่ และถ้าดูในเวลาต่างๆ จุดจะทำให้มีขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดในการเผา และทำให้สันนิษฐานได้ว่า ถ้าเผาครกให้อุณหภูมิที่อยู่ในขอบเขตนี้จะทำให้ได้ครกที่มีมาตรฐานของตำบปลพุม และถ้าหากว่าเผาที่อุณหภูมิอยู่นอกขอบเขตนี้ของเสียอาจจะมีมากขึ้นหรือใช้ฟืนในปริมาณที่มากกว่าปกติ

จากกราฟอุณหภูมิกลุ่มหน้าไฟ (แสดงในภาคผนวกที่ 2) ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิกลุ่มหน้าเตาของผู้ประกอบการ จะเห็นว่ากราฟจะเกาะกลุ่มกันอยู่อย่างหนาแน่นภายในขอบเขตอุณหภูมิของการเผา และลักษณะของกราฟช่วงเร่งไฟจะมีความชันมากกว่ากราฟช่วงปล่อยให้เย็นตัว

จากกราฟอุณหภูมิกลุ่มกลางเตา (แสดงในภาคผนวกที่ 2) ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิกลุ่มกลางเตาของผู้ประกอบการ พบว่าลักษณะของกราฟเริ่มราบเรียบขึ้นเมื่อเทียบกับกราฟกลุ่มหน้าไฟ เนื่องจากอุณหภูมิของกลุ่มนี้ไม่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากเรือนไฟมากเท่ากับกลุ่มหน้าไฟ ความชันของกราฟช่วงนี้ก็ไม่แตกต่างจากกลุ่มหน้าไฟมากนัก

จากกราฟอุณหภูมิกลุ่มท้ายเตา (แสดงในภาคผนวกที่ 2) พบว่าลักษณะของกราฟเริ่มที่จะสมมาตรมากขึ้นเมื่อเทียบกับทั้งสองกลุ่มก่อนหน้านี้ เนื่องจากช่วงนี้ใช้เวลาในการแห่เตาไม่นาน เนื่องจากได้รับความร้อนจากด้านหลังมากแล้วจึงใช้เวลาในการเร่งไฟให้อุณหภูมิสูงได้เร็ว เมื่อปล่อยให้เย็นตัวก็จะเย็นตัวเร็วกว่าส่วนอื่นเพราะใช้ฟืนน้อย อยู่ห่างจากเรือนไฟและอยู่ใกล้ปล่องไฟมากที่สุด

จากกราฟอุณหภูมิกลุ่มปล่องไฟ (แสดงในภาคผนวกที่ 2) พบว่าอุณหภูมิของกลุ่มนี้จะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่เร่งไฟ เพราะว่าช่วงนี้จะไม่มีการเก็บความร้อนเอาไว้ ความร้อนจะออกสู่อากาศอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิกลุ่มปล่องไฟส่วนใหญ่ของผู้ประกอบการอยู่ที่ประมาณ 800°C แต่มีอยู่สองผู้ประกอบการที่อุณหภูมิของช่วงนี้สูงถึงประมาณ 1000°C คือ นายบวร พงษ์พิระและนายประกอบ สมเฝ้า

4.4 ผลการศึกษาแผนที่ของเสีย

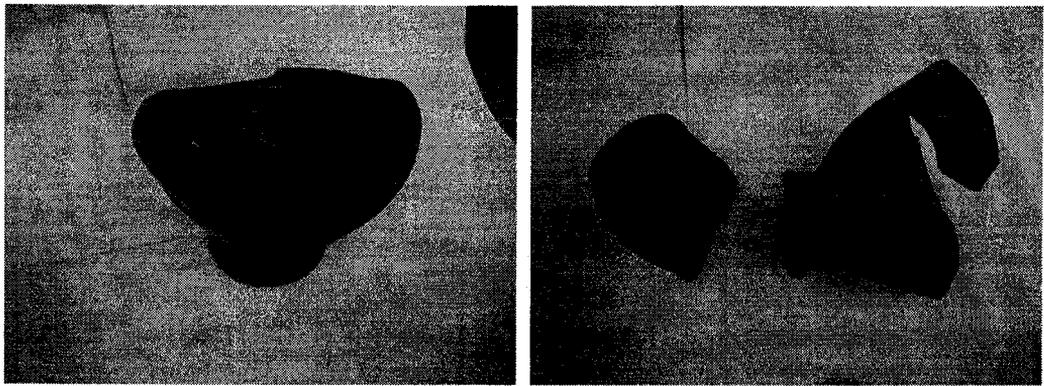
4.4.1 ขั้นตอนและวิธีการการเก็บข้อมูลของเสีย

การเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดจากการเผาผลิตภัณฑ์ของชาวบ้านปากห้วยวังนอง ต.ปทุม อ.เมือง จ. อุบลราชธานี เริ่มจากการสอบถามผู้ประกอบการที่บ้านปากห้วยวังนอง รายใดที่จะมีการเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในวันนั้น ๆ หรือวันที่ครบกำหนดการเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา แล้วทำการนัดหมายผู้ประกอบการเพื่อที่จะได้ทำการสำรวจของเสีย ในการสำรวจจะมีการเก็บข้อมูลของเสียที่ได้กำหนดของเสียไว้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ ของเสียแบบแตกผ่า, ของเสียประเภทแตกแบบแหวน(แตกตามแนวรัศมี), ของเสียประเภทสี(สีแดง), ของเสียประเภทติดจี๊เก้่า, ของเสียประเภทบิดเบี้ยว บิ่น ในการสำรวจเริ่มจากตอนเก็บผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในแถวแรกของตาไฟแรกที่เข้าไปเก็บเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับของเสียที่เราได้กำหนดไว้ ว่าของเสียชนิดใดเกิดที่ตำแหน่งไหนของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งจะเก็บข้อมูลของเสียว่าเกิดที่แถวไหน ชั้นไหนของการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา แล้วทำการร่างข้อมูลของเสียลงในแบบเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา เพื่อเอามาทำ แผนที่ของเสีย ทำการเก็บข้อมูลทุกตาไฟในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาจนกว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะหมด และทำการนับของเสียในแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบการเผาผลิตภัณฑ์ว่าแต่ละชนิดเกิดของเสียชนิดใดเท่าไร แล้วจัดทำสรุปการเกิดของเสียที่เกิดขึ้นในการเผาผลิตภัณฑ์รอบนั้น ซึ่งจะประกอบด้วย แผนที่ของเสีย และสรุปจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในการเผา

4.4.2 ประเภทของของเสีย

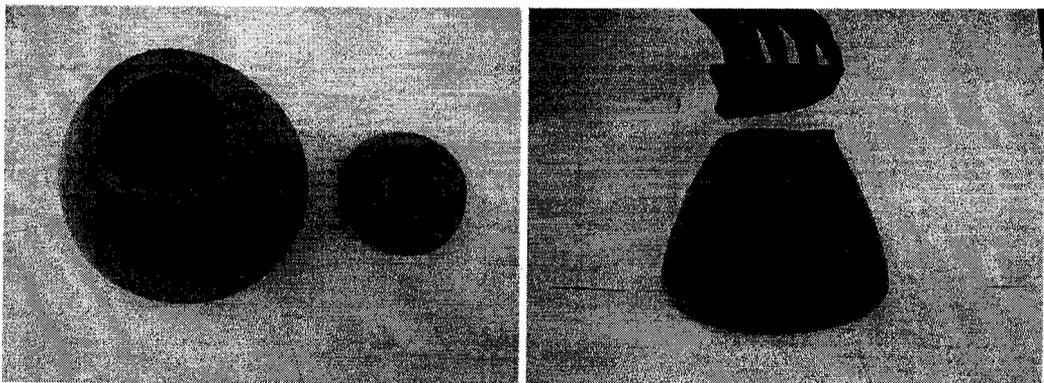
ในขั้นตอนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจะเกิดของเสียขึ้นในลักษณะต่าง ๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งเราสามารถจำแนกออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. **ของเสียประเภทแตกแบบผ่า (Vertical Crack)** เป็นของเสียที่มีรอยแตกหรือรอยร้าวในแนวความสูงของครก เกิดจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปและโดยจากการสอบถามทราบว่าของเสียประเภทนี้เกิดจากเปลวไฟเลียผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนในขณะที่เร่งไฟเร็วเกินไปจนทำให้ความชื้นที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็วจนทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกจากกัน และอีกกรณี คือ การที่ผลิตภัณฑ์คายความร้อนออกเร็วเกินไปเป็นเหตุทำให้การหดตัวและการขยายตัวไม่เท่ากันก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายกลายเป็นของเสียประเภทแตกแบบผ่าดังรูปที่ 4.28



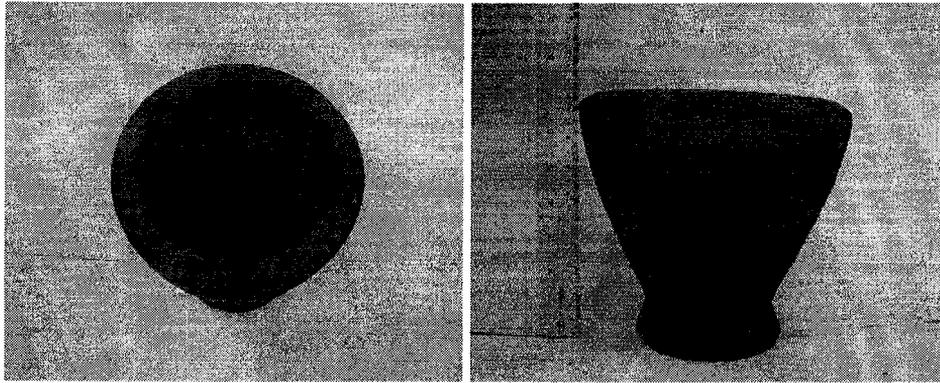
รูปที่ 4.28 ลักษณะของเสียประเภทแตกแบบผ่า

2. ของเสียประเภทแตกแบบแหวน (Ring Crack) เป็นของเสียที่มีรอยแตกหรือรอยร้าวในแนวรัศมีของครก สาเหตุมาจากกระบวนการขึ้นรูปที่ไม่ได้สัดส่วนที่พอเหมาะเป็นเหตุให้ในขณะที่ทำการเผา การขยายตัวและหดตัวเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ครกแตกออก โดยการแตกในลักษณะนี้จะแตกต่างจากการแตกแบบประเภทผ่าตรงที่จะแตกในแนวรัศมี แสดงลักษณะการเสียหายแตกแบบแหวน ดังรูปที่ 4.29



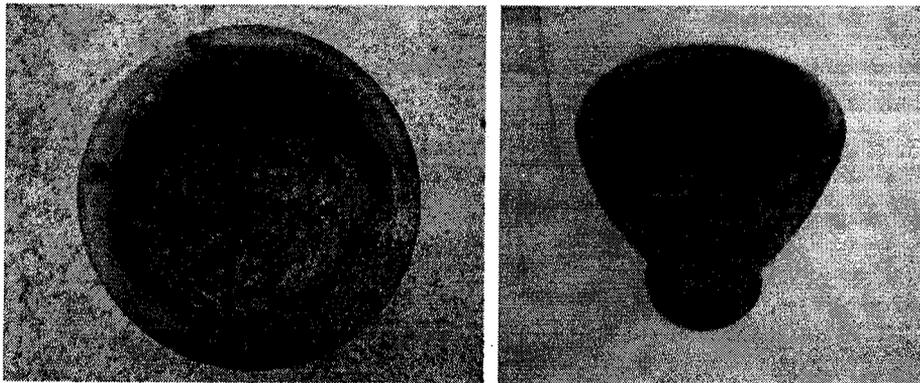
รูปที่ 4.29 ลักษณะของเสียประเภทแตกแบบแหวน

3. ของเสียประเภทสี (Color Rejected) เป็นของเสียที่เกิดจาก ขณะที่ทำการเผาครกไม่โดนไฟ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดดังรูปที่ 4.30



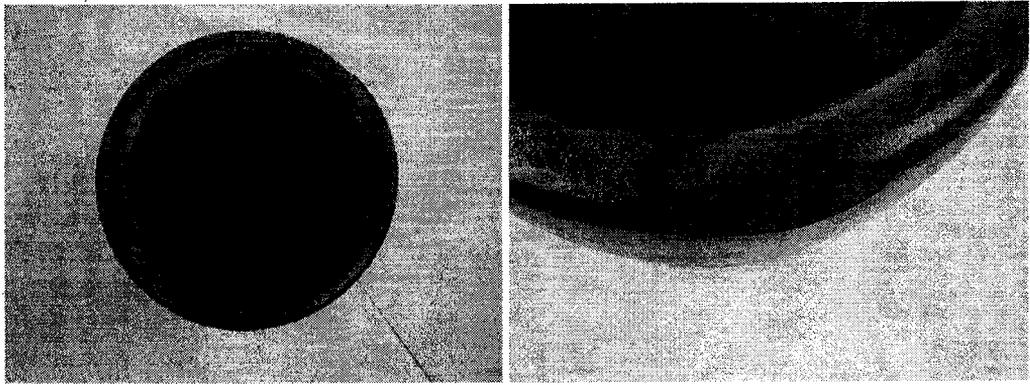
รูปที่ 4.30 ลักษณะของเสียบประเภทสี่ (สีแดง)

4. ของเสียบประเภทติดขี้เถ้า (Scaled Surface) ของเสียบประเภทนี้จะมีฝ้าซึ่งเกิดจากการเผาของไม้ฟืนปลิวมาติดมีสาเหตุมาจากตำแหน่งที่วางครกในขณะที่ทำการเผา คือ อยู่ตำแหน่งใกล้ไฟมากเกินไปจึงทำให้ครกติดกับขี้เถ้าที่มาจากไม้ฟืนหรืออาจเกิดจากเศษขี้เถ้าที่ตกค้างจากการเผาในรอบก่อนๆ ฟุ้งกระจายไปติดครกในรอบนี้ ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ลักษณะของเสียบประเภทติดขี้เถ้า

5. ของเสียบประเภทบิดเบี้ยว บิ่น (Deformed Shape) มีลักษณะที่ไม่สมมาตรเมื่อเปรียบเทียบกับครกที่ได้จากการปั้น ของเสียบประเภทบิดเบี้ยวมีสาเหตุมาจากครกที่อยู่ชั้นล่างรับน้ำหนักมากในขณะที่ทำการเผาครกจึงสูญเสียรูปทรงไปและของเสียบอีกประเภท คือ ของเสียบประเภทบิ่นลักษณะของเสียบประเภทนี้จะแตกบิ่นเพียงบางส่วน เช่น บริเวณปากครกดังรูปที่ 4.32 เกิดจากความร้อนที่มากเกินไปหลอมละลายบางส่วนของครกที่อยู่ในตำแหน่งติดกันเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 4.32 ลักษณะของเสียประเภทบดเบี้ยว บิ่น

4.4.3 ตำแหน่งการเกิดของเสียภายในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่พบทั่วไป

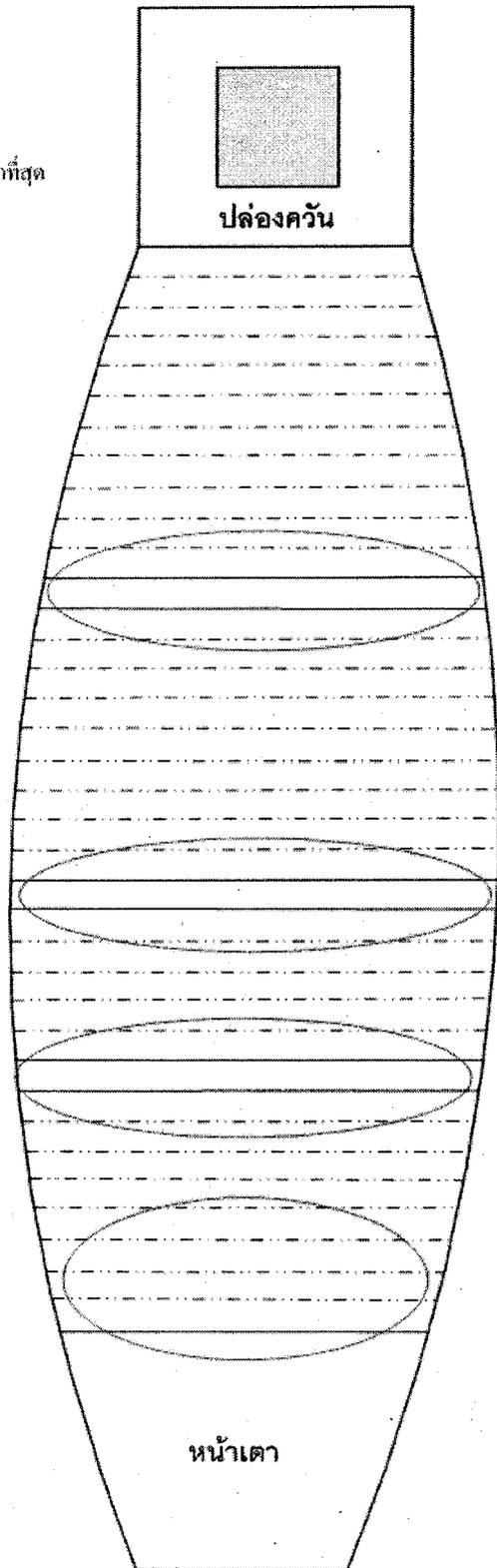
1. ของเสียประเภทแตกแบบผ่า (Vertical Crack) เกิดอยู่บริเวณหน้าไฟ (หน้าเตา) และตรงบริเวณตาไฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณหน้าไฟจะเป็นจุดที่เกิดของเสียแบบแตกผ่ามากเพราะเป็นบริเวณที่มีการเร่งไฟในการเผาเลยทำให้ผลิตภัณฑ์โค่นไฟเสียมากที่สุด และบริเวณตาไฟ จะมีการแห่ตาไฟทำให้บริเวณตาไฟมีการเกิดของเสียแบบแตกผ่าด้วย ส่วนใหญ่ในการเกิดของเสียแบบนี้ส่วนใหญ่จะเกิดที่ 1-3 แถวแรกของการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ที่บริเวณหน้าไฟ และแถวแรกของตาไฟในแต่ละตาไฟนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.33

2. ของเสียประเภทแตกแบบแหวน ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยพบของเสียแบบนี้ เพราะของเสียแบบนี้เกิดมาจากกระบวนการขึ้นรูปที่ไม่ได้สัดส่วนที่พอเหมาะเป็นเหตุให้ในขณะที่ทำการเผาการขยายตัวและหดตัวเป็น ไปอย่างไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ครกแตกออก ส่วนใหญ่จะพบกระจายอยู่ทั่วไปในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา

3. ของเสียประเภทผิวดสี (สีแดง) เกิดได้หลายที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับลักษณะของการเผา ถ้าเผาไฟแรงจะไม่เจอกรณีนี้หรือเจอน้อยมาก จะเกิดเพราะไฟในการเผาอุณหภูมิไม่ถึง ส่วนใหญ่ของเสียแบบนี้เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ไม่โค่นไฟเพียงพอ เลยทำให้เกิดของเสียแบบนี้ ซึ่งบริเวณที่พบจะอยู่บริเวณขอบเตาและท้ายเตาเป็นส่วนใหญ่ และชั้นล่าง ๆ ของการจัดเรียงครก ยกเว้นกรณีที่เกิดครกล้มในเตาเผา ระหว่างทำการเผา ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียลักษณะนี้มากเพราะว่า ครกที่ล้มจะเป็นตัวที่บังไฟทำให้ไฟไปไม่ถึงครกที่อยู่ด้านหลังบริเวณที่เกิดครกล้ม ดังรูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35

4. ของเสียประเภทติดซี้เถ้า ส่วนใหญ่บริเวณที่พบการเกิดของเสียแบบนี้จะพบบริเวณ หน้าไฟ และตามตาไฟ เพราะเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้พื้นที่ใช้ในการเผามากที่สุด การติดซี้เถ้าอาจจะเจอได้อีกถ้าพื้นของเตาเผา มีเศษดินหรืออิฐที่ก่อเตาหล่นลงมาอยู่ตามพื้นมาก ๆ ซึ่งจะทำให้ครกติดซี้เถ้าบริเวณก้นครกได้ ซึ่งจะอยู่ตามชั้นล่างของเตาเผา ดังรูปที่ 4.36

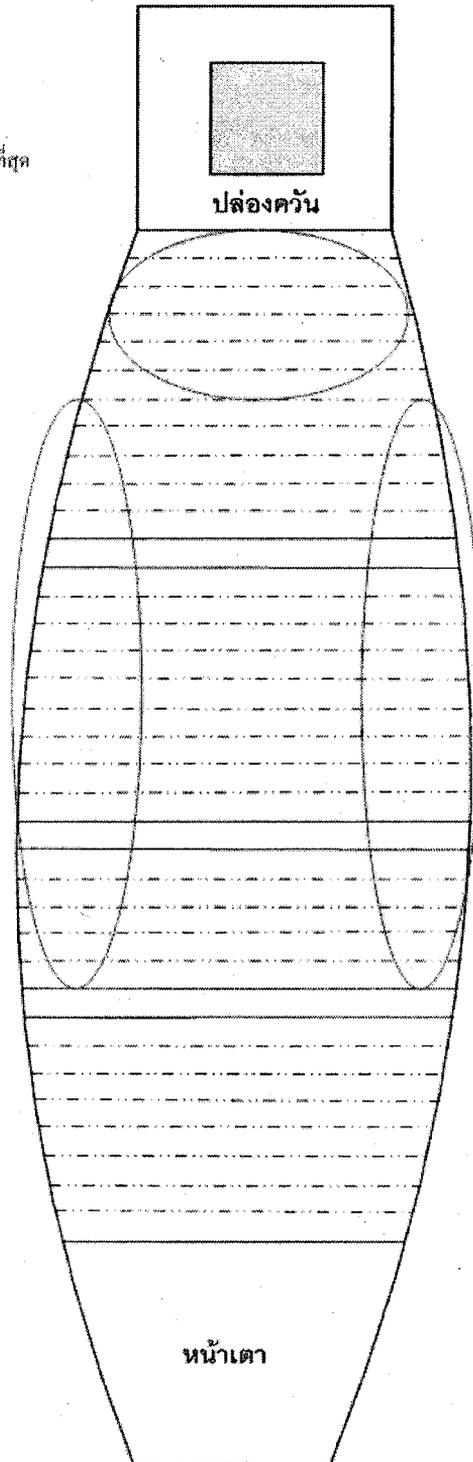
บริเวณที่พบของเสียแบบแตกพ่นมากที่สุด



แสดงบริเวณที่พบของเสียแบบแตกพ่นมากที่สุด

รูปที่ 4.33 บริเวณที่พบของเสียแบบแตกพ่นมากที่สุด

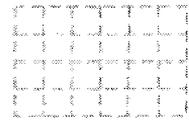
บริเวณที่พบของเสียแบบสีมากที่สุด



รูปที่ 4.34 บริเวณที่พบของเสียแบบผิดสีมากที่สุด

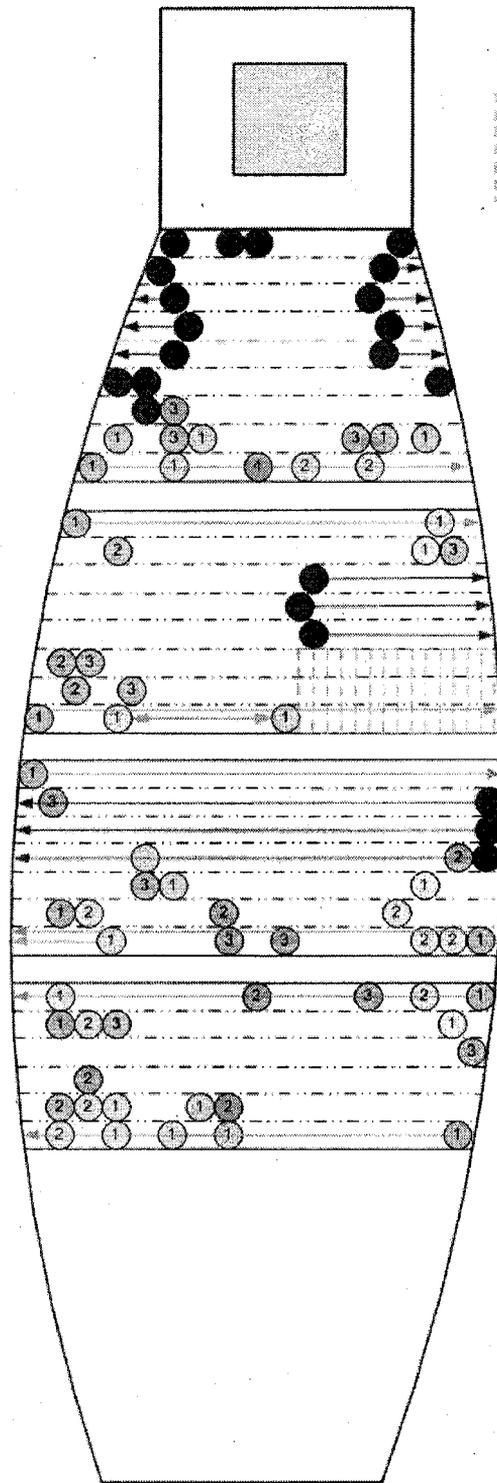
นายสมศักดิ์ มณีพันธ์

Note

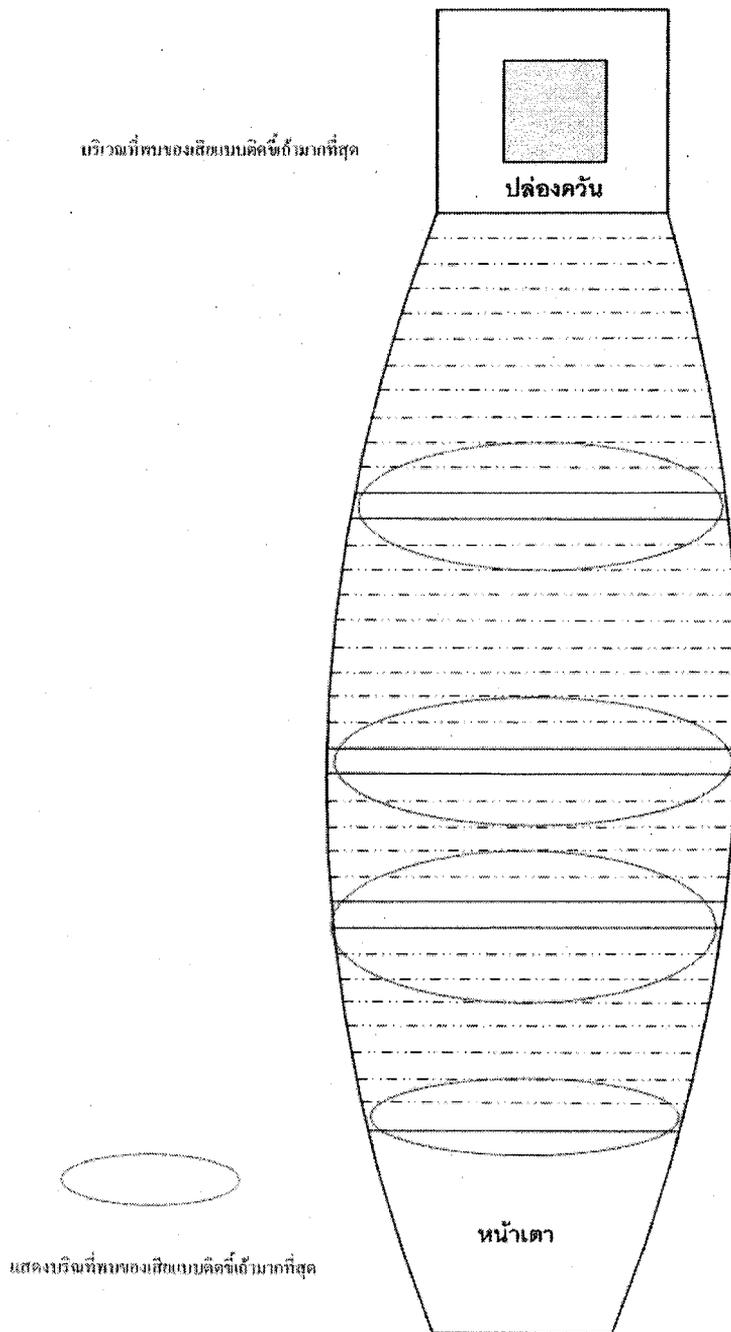


ครก ล้ม

-  = Color Rejected
-  = Vertical Crack
-  = Deformed Shape
-  = Ring Crack
-  = Scaled Surface



รูปที่ 4.35 บริเวณที่พบของเสียแบบผิดสีที่เกิดจากครก ล้ม

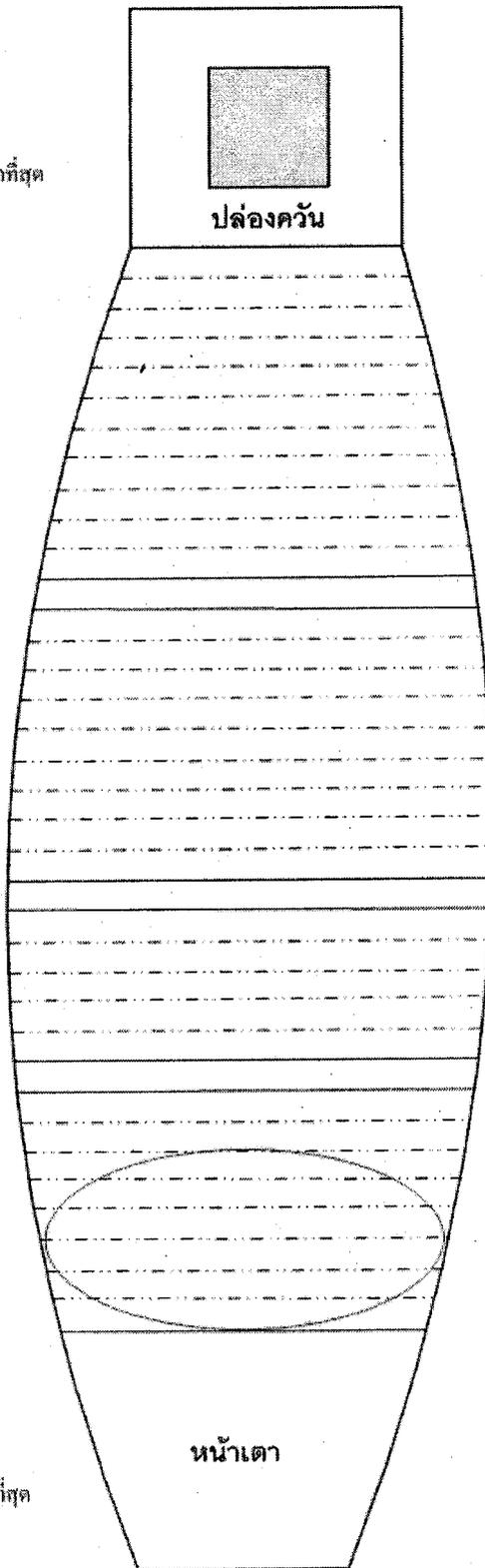


รูปที่ 4.36 บริเวณที่พบของเสียแบบติดซี้ดี่ที่เกิดจากครกกลม

5. ของเสียประเภทบีดเบี้ยว บิ่น ส่วนใหญ่การเกิดของเสียประเภทบีดเบี้ยวมีสาเหตุมาจากครกที่อยู่ชั้นล่างรับน้ำหนักมากในขณะที่ทำการเผาครกจึงสูญเสียรูปทรงไป และไฟที่ใช้ในการเผาแรงเกินไป บริเวณที่พบส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณหน้าไฟเป็นส่วนใหญ่ และกระจายอยู่ทั่วไปในเตาเผา ดังรูปที่

4.37

บริเวณที่พบของเสียแบบบีด นี้อวมากที่สุด



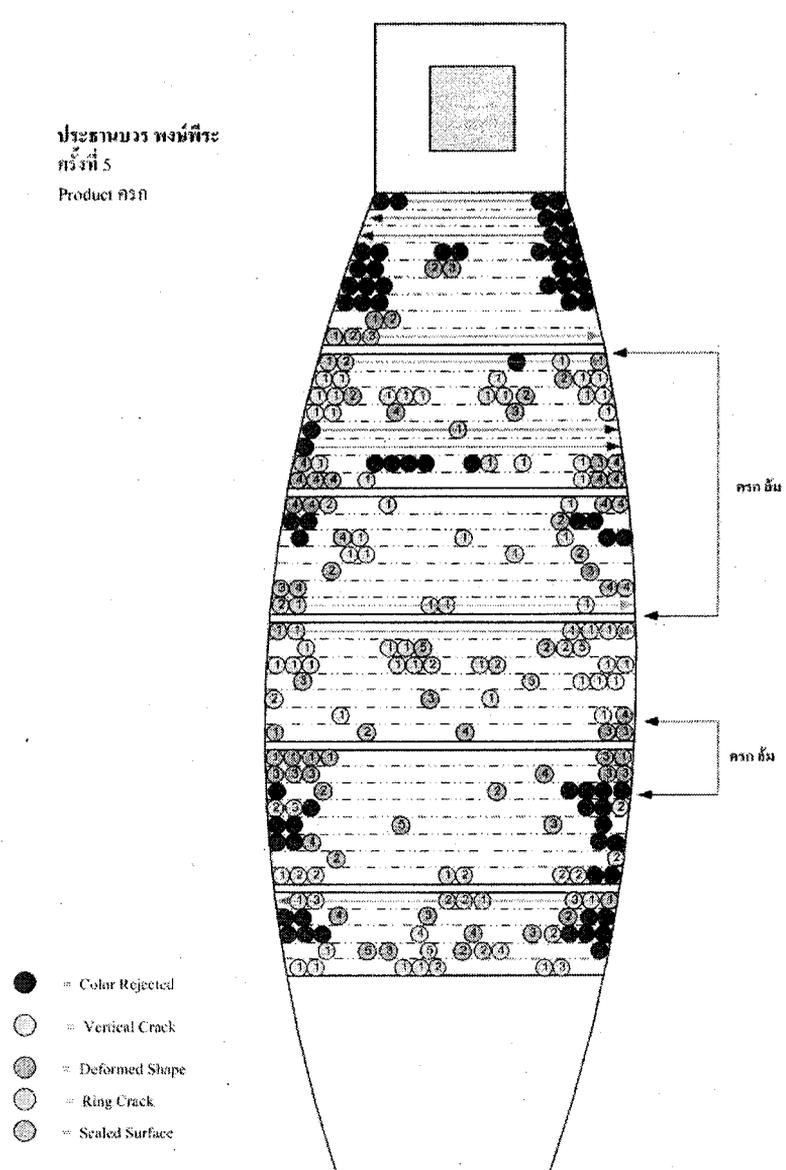
แสดงบริเวณที่พบของเสียแบบบีด นี้อวมากที่สุด

รูปที่ 4.37 บริเวณที่พบของเสียแบบเบี้ยว บิ้น

4.4.4 กรณีที่ทำให้เกิดของเสียโดยเกิดการผิดพลาดระหว่างการเผา

กรณีการเกิดของเสียในระหว่างการเผาเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดในการเผาเครื่องปั้นดินเผาหรือสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายเป็นจำนวนมากที่พบบ่อย ๆ

1. กรณีเกิดครกล้มระหว่างการเผาเครื่องปั้นดินเผา การเกิดครกล้มระหว่างการเผาเกิดได้หลายกรณี เช่น การจัดเรียงผลิตภัณฑ์ในเตาเผาไม่ดีเท่าที่ควร ในระหว่างการเผาในขั้นตอนการแห้งตาไฟพื้นที่ใช้แห้งตาไฟไปถูกผลิตภัณฑ์ที่จัดเรียงอยู่ในเตาเผา ทำให้ผลิตภัณฑ์ล้ม การล้มของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผา เป็นต้น การที่เกิดการล้มระหว่างการเผาเครื่องปั้นดินเผา จะทำให้เกิดของเสียในการเผาต่อรอบ ที่เกิดการล้มเป็นอย่างมาก ของเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็น ของเสียแบบผิวดี ของเสียแบบแตก และของเสียแบบติดซีเมนต์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การเกิดการล้มของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเผา

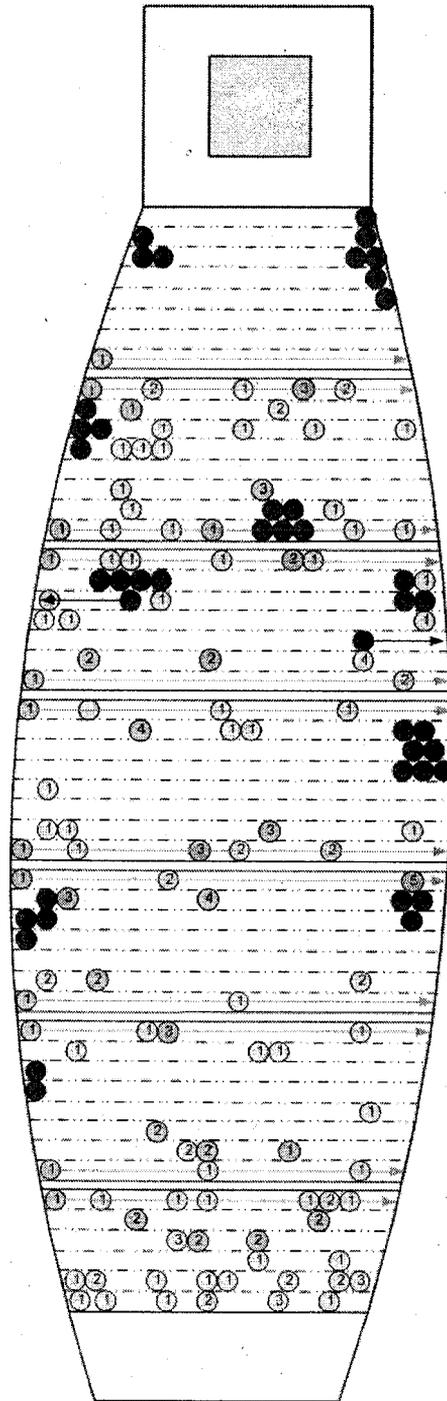
2. กรณีการเกิดการระเบิดของครกในระหว่างการเผา

ในการเกิดการระเบิดของครกที่อยู่ใน

เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ระหว่างการเผานั้น มีสาเหตุจากก่อนการเอาครกเข้าเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ครกที่ผึ่งไม่แห้งเท่าที่ควร ในระหว่างการเผาครกจะเกิดการระเบิดที่ก้นครก และจะเป็นสาเหตุให้เกิดของเสียแบบแตกผ่า ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดการระเบิดอยู่ที่บริเวณชั้นล่างสุดของการจัดเรียงครกในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ดังแสดงในรูปที่ 4.39

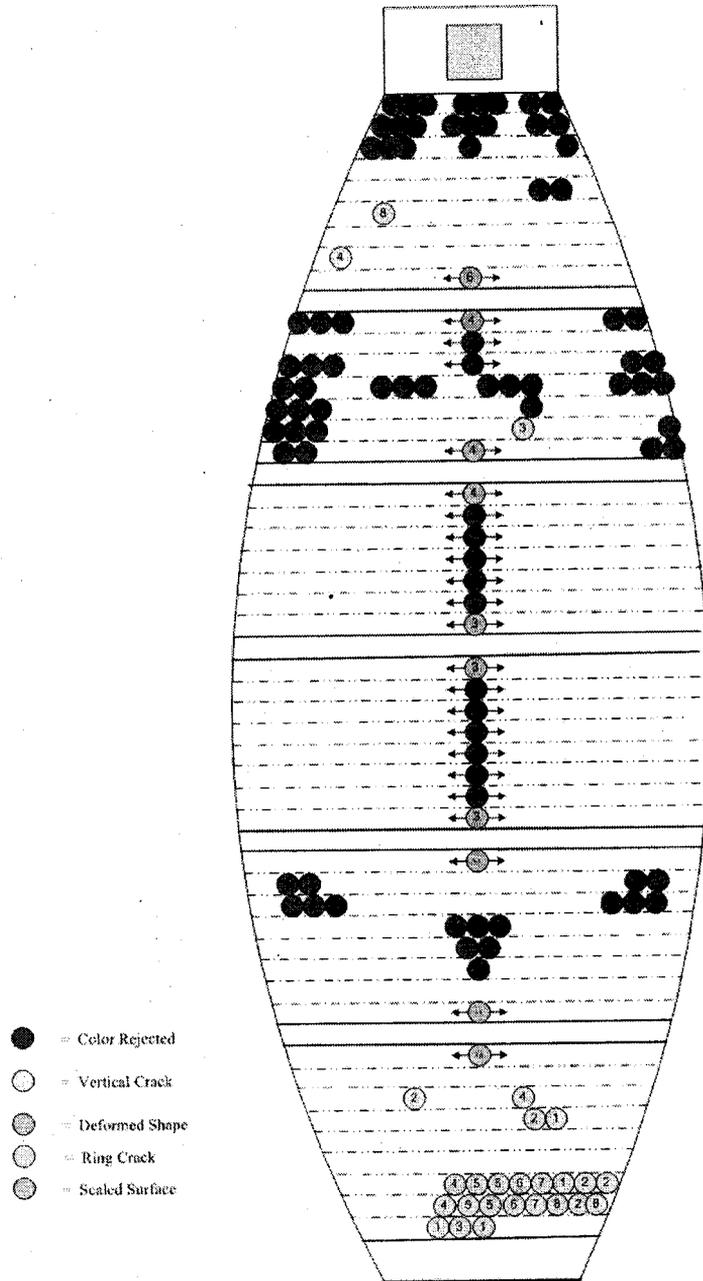
ประธานบวร พงษ์พิระ
ครั้งที่ 4
Product ครก

- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ⊙ = Deformed Shape
- ⊖ = Ring Crack
- ⊕ = Scaled Surface



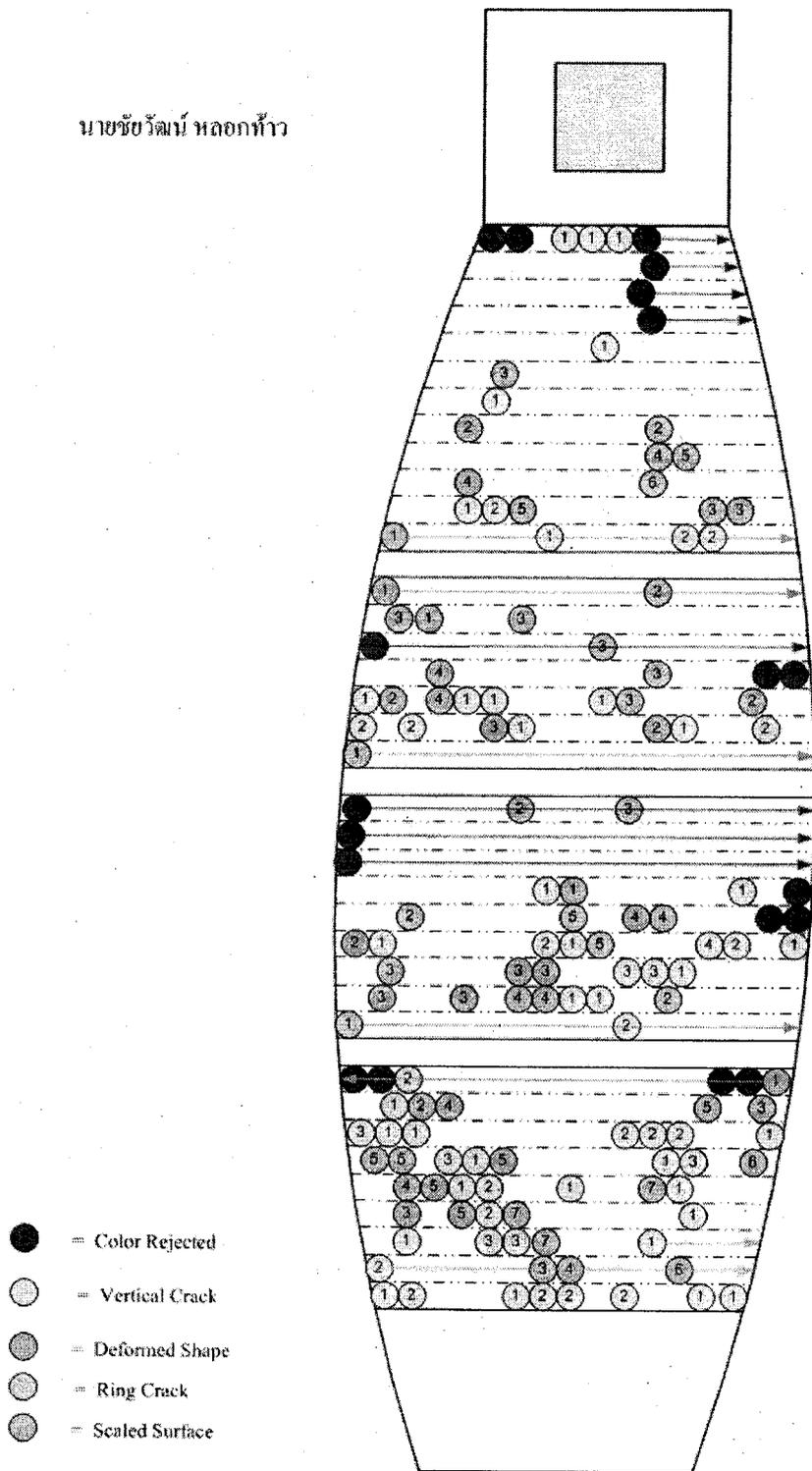
รูปที่ 4.39 การเกิดการของเสียที่เกิดจากการระเบิดของครก

3. ของเสียที่เกิดจากการเผาโดยใช้อุณหภูมิระหว่างการเผาผิดพลาด ในกรณีนี้เกิดจากในขั้นตอนการเผาใช้อุณหภูมิระหว่างการเผาสูงเกินไป หรือต่ำเกินไป กรณีที่ใช้อุณหภูมิในการเผาสูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดของเสียแบบบิดเบี้ยว และถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดของเสียแบบผิวดำสี ดังรูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.40 การเกิดของเสียแบบผิวดำสีเนื่องจากการใช้อุณหภูมิต่ำเกินไป

นายชัยวัฒน์ หลอกท้าว



รูปที่ 4.41 การเกิดของเสียแบบบิตเบี้ยวเนื่องจากการใช้อุณหภูมิระหว่างการเผาสูงเกินไป
แผนที่ของเสียของผู้ประกอบการอีกบางส่วนได้แสดงในภาคผนวกที่ 3

บทที่ 5

ผลการวิจัย (2)

ผลการวิจัยจากแผนงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ (1) ผลจากการสำรวจ และ การตรวจวัด การผลิต ของสภาพปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วย สภาพภาพผู้ประกอบการ การตรวจวัดอุณหภูมิ และการใช้พลังงาน ผลการผลิต จำนวนของเสีย และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (2) ผลการศึกษาโดย CFD (3) เตาต้น แบบ และการทดสอบ ประสิทธิภาพ ในบทนี้ จะนำเสนอผลการศึกษาในส่วนที่ (2) ผลการศึกษาโดย CFD และ ส่วนที่ (3) เตาต้น แบบ และการทดสอบประสิทธิภาพเตาต้นแบบ

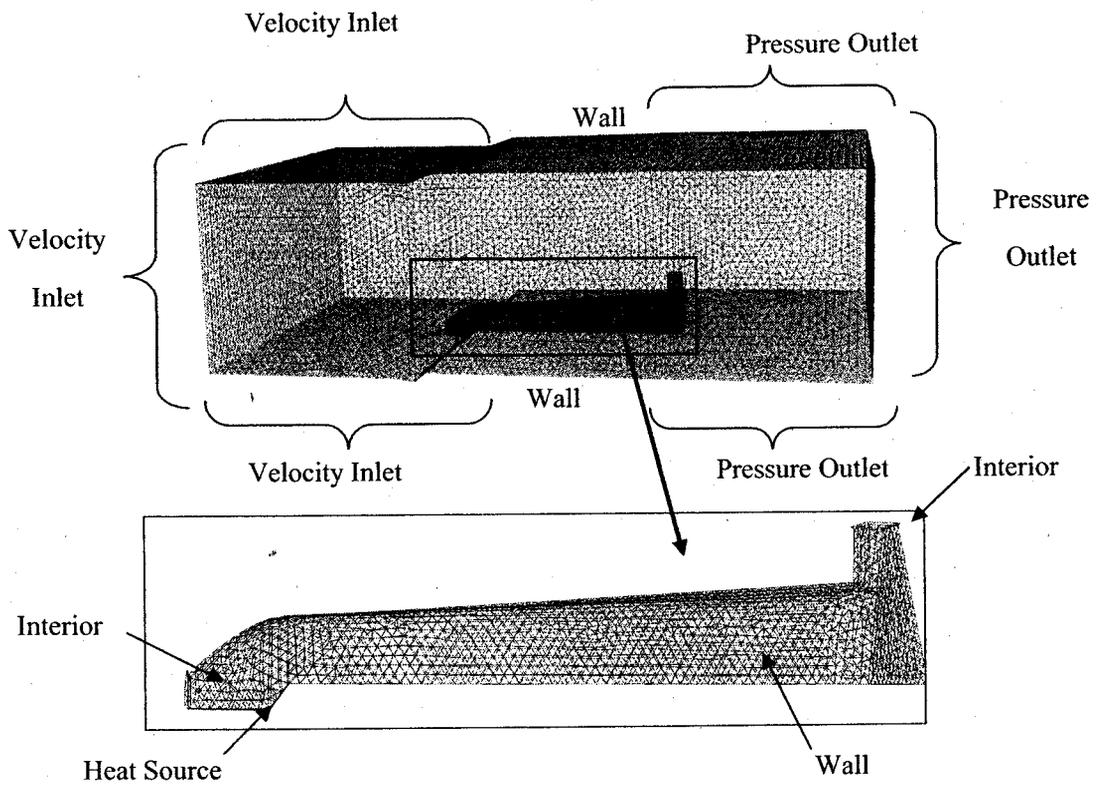
5.1 ผลการจำลองจาก CFD

5.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาครก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาครกมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.1 โดยกำหนดสารทำงานเป็นอากาศ (Air) ที่ความหนาแน่นคงที่และการไหลเป็นแบบสภาวะคงตัว (steady state) เงื่อนไขขอบเขตการคำนวณใน CFD ตามดังรูปที่ 2 จะเห็นว่าโดเมนของเตาถูกแบบออกด้วย กริดแบบปริมาตร (tratahedral cell) ประมาณ 800,000 เซลล์ เตาถูกรอบด้วยอาณาบริเวณของอากาศรอบนอก ขอบเขตด้านหน้าและหลังของเตากำหนดเป็นทางเข้าและออกของอากาศที่ไหลผ่านตามลำดับ ซึ่งบริเวณทางเข้าของเตามีผนังกำเนิดความร้อน (Heat generator)(แทนไฟหน้าเตาขณะทำการเผาครก) ในการคำนวณแต่ละครั้งของแต่ละกรณี เราต้องกำหนดค่าเงื่อนไขการคำนวณลงใน โปรแกรมซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาครก

ขอบเขตทางเข้า (inlet boundary condition)	Velocity inlet
ขอบเขตทางออก (outlet boundary condition)	Pressure outlet
ระเบียบขั้นการแก้ปัญหา (Solver)	Segregated solver
ระเบียบวิธีคำนวณ (Linearization)	Explicit method
แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model)	Standard $k - \epsilon$ model
ระเบียบวิธีแก้ปัญหาคาร์ไหลของบริเวณใกล้ผนัง (Near-wall treatment method)	Standard near wall function



รูปที่ 5.1 กริดและเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณของเตาเผาใน CFD

ตารางที่ 5.2 ค่ากำหนดในการคำนวณของเตาเผาครก

เงื่อนไขขอบเขต	ค่าที่กำหนด
1. ความเร็วลมที่ทางเข้า	1 m/s
2. ความดันอากาศที่ทางออก	1 ความดันบรรยากาศ
3. Heat source	
▪ Heat Flux	1000 kw/m ²
▪ Heat generation rate	1000 w/m ³
4. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	300 K

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาครก เป็นการศึกษากาโรไหลของอากาศที่วิ่งผ่านเตาขณะทำการเผาครก ผลที่ได้จึงเป็นคุณลักษณะและการพาความร้อนของอากาศในเตา แม้ว่า CFD ไม่อาจจำลองไฟที่เผาไหม้ได้โดยตรง แต่ทิศทางการวิ่งของไฟก็สามารถดูได้จากทิศทางของอากาศที่ไหลในเตาได้เช่นกัน ผลจาก CFD ทำให้เราเข้าใจพฤติกรรมของการกระจายความร้อนภายในเตาเผาครก และสามารถวิเคราะห์ได้ถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเตา ดังนั้น เราสามารถใช้ CFD ช่วยออกแบบเตาเผาครกให้มีประสิทธิภาพสูงได้ โดยให้ CFD ทดสอบการวิ่งของไฟและการกระจายความร้อนในเตา เพื่อวัดประสิทธิภาพก่อนการสร้างจริง

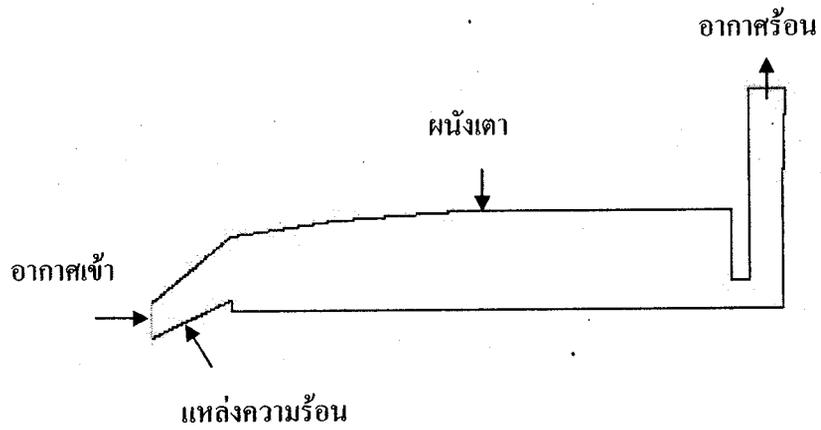
5.1.2 การทดสอบเบื้องต้นของการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์

ในการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ในงานวิจัยนี้แบ่งได้ 3 ขั้นตอน ได้แก่

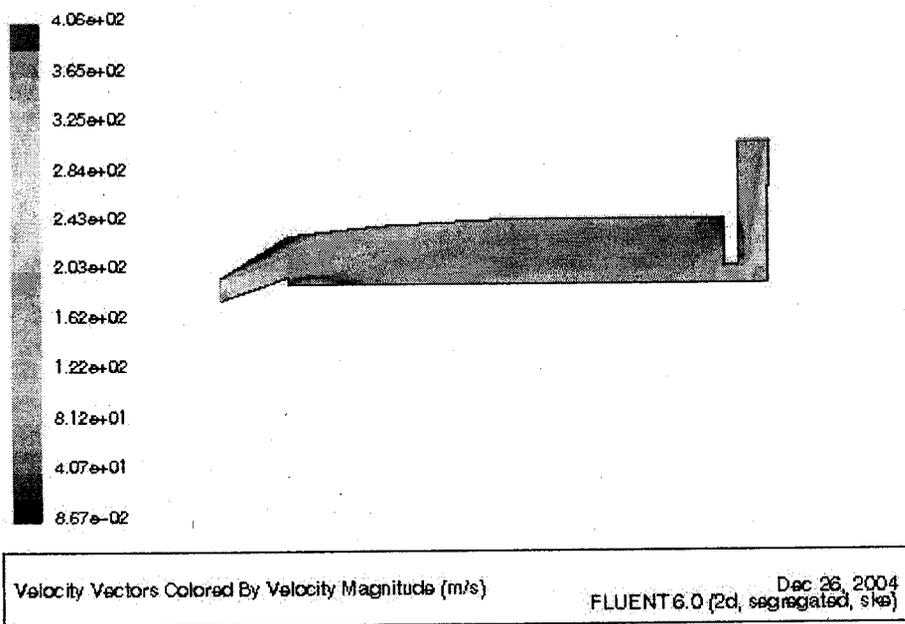
- 1) ขั้นตอนแรกการสร้างรูปร่างและแบ่งกริด (Mesh generation) ขั้นตอนนี้ได้แก่ การกำหนดขนาดของปัญหา โดยพิจารณาจากรูปร่างของเตาเผาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นต้นแบบ
- 2) ขั้นตอนที่สองเป็นการเลือกวิธีการแก้ระบบสมการ (Solver) ที่จะให้วิธีใด ซึ่งในที่เลือกใช้ turbulent model แบบ k- ϵ เนื่องจากการไหลภายในเตาเผาเป็นอากาศร้อนมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)
- 3) ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนแสดงผลซึ่งการแสดงผลในงานวิจัยชิ้นนี้จะเน้นไปที่ vector velocity เพื่อแสดงถึงขนาดและทิศทางของความเร็วของอากาศร้อนภายในเตา และ temperature contour เพื่อแสดงถึงการกระจายตัวของความร้อนภายในเตา

จากทฤษฎีการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในบพที่ผ่านมานั้น พบว่าเราสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ (Computational Fluid dynamics, CFD) เข้ามาช่วยในการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญของเตาเผาเพื่อนำไปสู่การออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาต่อไป สำหรับตัวแปรที่จะทดสอบโดยกระบวนการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์นั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ตัวแปรที่จะใช้ในการจำลองการไหลใน CFD และอีกส่วนหนึ่งได้แก่ตัวแปรที่จะนำไปใช้ในการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพเตาจริง

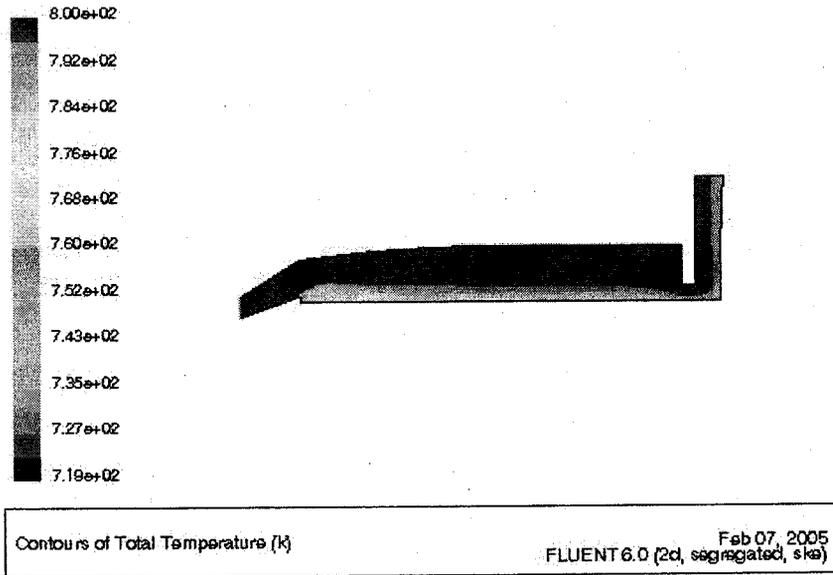
ผลการสอบเบื้องต้นได้กำหนดให้อากาศเข้าที่ปากเตาโดยตรงและทางออกอยู่ที่ตำแหน่งของปล่องระบายน้ำรูปที่ 5.2 ผลการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นการแสดงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาและลักษณะการกระจายความร้อนเตาตามลำดับ โดยผลที่ได้แตกต่างจากความเป็นจริงซึ่งควรขยายขนาดของปัญหาออกไปที่ภายนอกเตาด้วยเพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของอากาศภายนอกกับผลการกระจายความร้อนภายในเตา จึงได้ขยายขนาดของปัญหา (Domain) เป็นดังรูปที่ 5.5 โดยกำหนดให้อากาศเข้าเป็นอากาศซึ่งพัดผ่านเตาจากภายนอกซึ่งทำให้ได้ผลดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 ที่แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผาและลักษณะของการกระจายความร้อนภายในเตาและยังแสดงถึงอากาศภายนอกเตาด้วย ดังนั้นจากการศึกษาเบื้องต้น จึงตัดสินใจใช้ลักษณะของปัญหาครอบคลุมถึงภายนอกเตาด้วย และใช้ solver เป็น turbulent model แบบ k- ϵ ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป



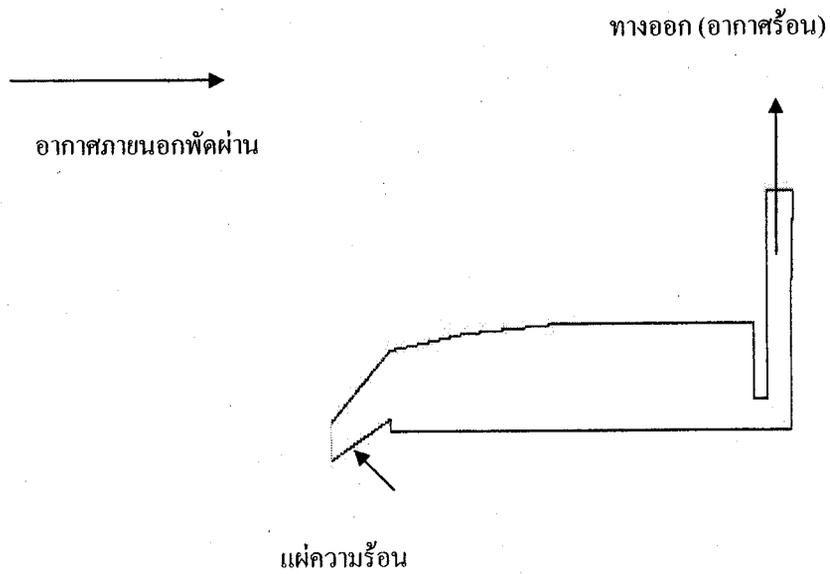
รูปที่ 5.2 Geometry ของปัญหา โดยวิเคราะห์เฉพาะการไหลภายในเตา โดยขอบเขตคือทางเข้าหน้าเตา และปลายปล่องของอากาศร้อนที่ทางออก



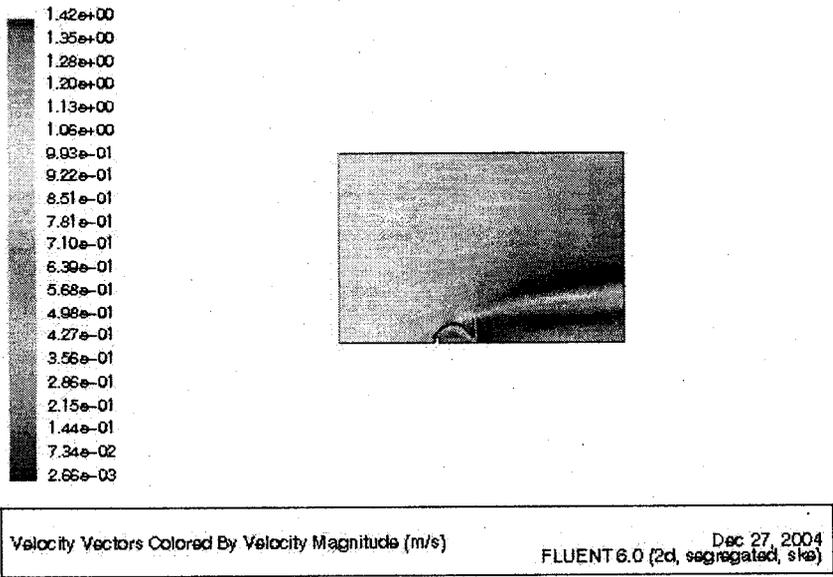
รูปที่ 5.3 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา



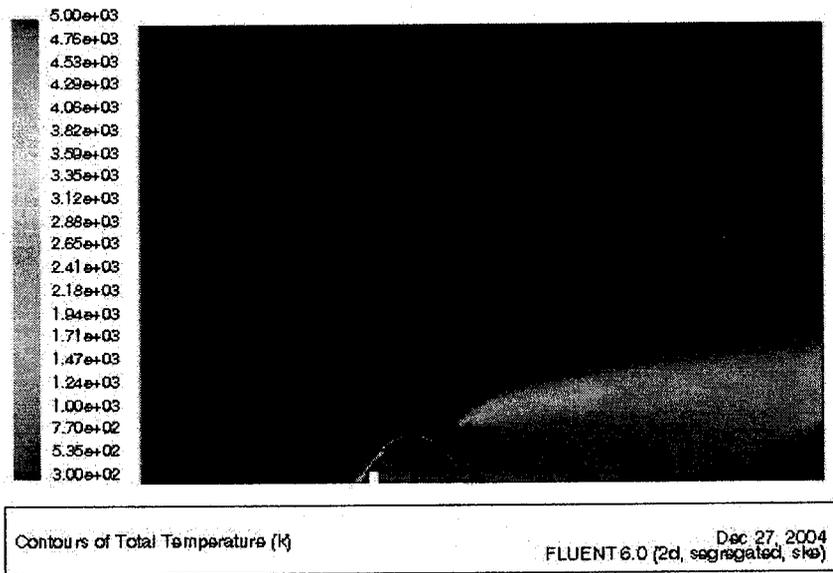
รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของอากาศร้อนในแต่ละส่วนภายในเตาเผา



รูปที่ 5.5 Geometry ของปัญหา โดยวิเคราะห์พิจารณาการไหลของอากาศภายนอกเตาเผาด้วย



รูปที่ 5.6 ขนาดของความเร็วของอากาศภายในและภายนอกเตาเผา



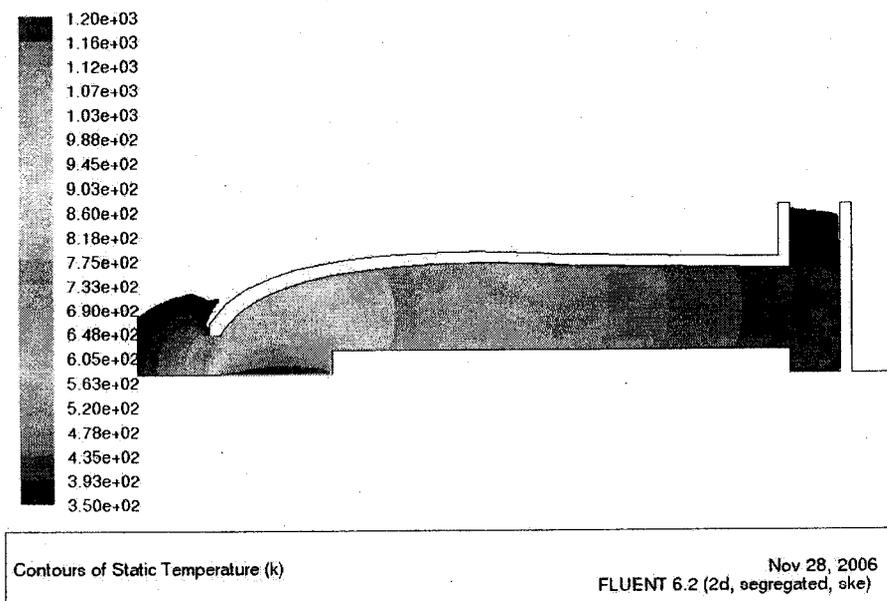
รูปที่ 5.7 การกระจายตัวของอากาศร้อนภายนอกและภายในเตาเผา

5.1.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์

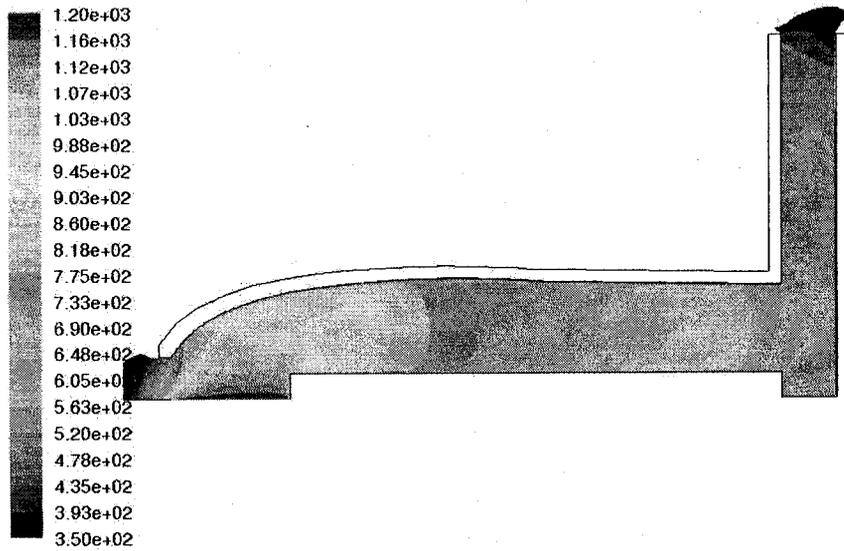
การศึกษาในหัวข้อนี้จะศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อผลการกระจายตัวของอากาศร้อนภายในเตาเผาเป็นสำคัญ ซึ่งได้แก่ ความเร็วลมภายนอกที่พัดผ่านปล่องไฟ การกำหนดค่าชนิดและลักษณะของแหล่งความร้อนภายในเตาเผา ซึ่งเมื่อค่าตัวแปรที่เหมาะสมแล้วจะนำตัวแปรดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาตัวแปรในการสร้างเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาต่อไป

5.3.1.1 การศึกษาความเร็วของลมภายนอกที่พัดผ่านปล่องไฟ

การทำการศึกษานี้ เพื่อทดสอบผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ในลักษณะของความปล่องควันว่ามีผลกับความเร็วลมที่พัดเข้าเตาเผาว่าเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับในเตาเผาจริงหรือการทดลองหรือไม่ ซึ่งผลการจำลองพบว่า การใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ให้ผลเช่นเดียวกับเตาเผาจริง กล่าวคือเมื่อความยาวของปล่องควันสูงจะทำให้อากาศภายในเตาเผาสูงขึ้น หากอากาศในเตาเผาซึ่งเป็นอากาศร้อนมีความเร็วมากขึ้นก็เปรียบเสมือนว่า ความร้อนในเตาเผาไหลทิ้งสู่ภายนอกเร็วเกินไป ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เท่าที่ควรทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ถึงรูปที่ 5.11 จากการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์พบว่าความสูงของปล่องไฟที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันควรมีระดับสูงขึ้นอีกเล็กน้อย

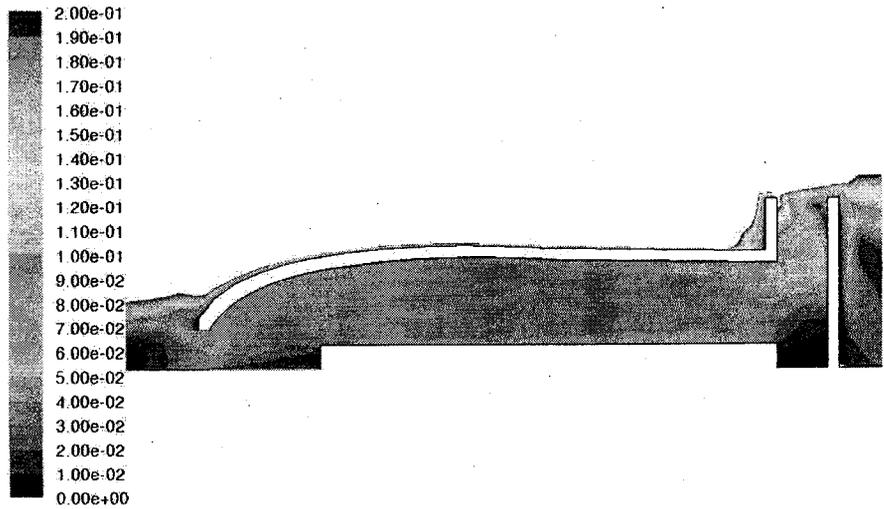


รูปที่ 5.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในเตา กรณีปล่องไฟมีขนาดเล็ก



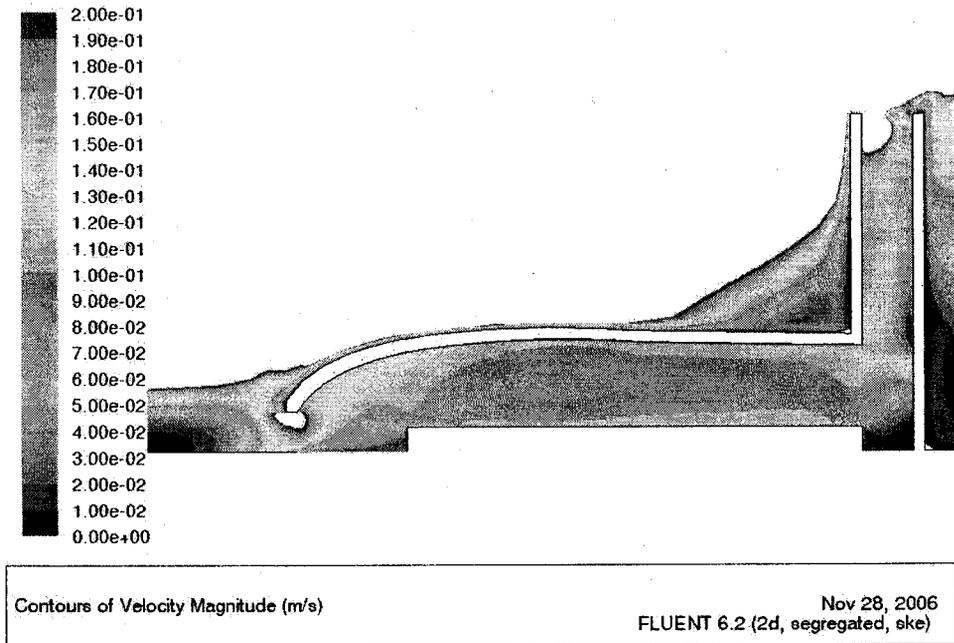
Contours of Static Temperature (k) Nov 28, 2006
FLUENT 6.2 (2d, segregated, ske)

รูปที่ 5.9 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในเตา กรณีปล่องไฟสูง



Contours of Velocity Magnitude (m/s) Nov 28, 2006
FLUENT 6.2 (2d, segregated, ske)

รูปที่ 5.10 ขนาดของความเร็วอากาศภายในเตา กรณีปล่องไฟมีขนาดเล็ก



รูปที่ 5.11 ความเร็วของอากาศภายในเตา กรณีปล่องไฟสูง

5.1.3.2 การศึกษาลักษณะของแหล่งความร้อนในการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์

การศึกษากการไหลของแหล่งความร้อนในการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์นั้น เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ไม่สามารถจำลองการเผาไหม้ (Combustions) ของไม้ที่ใช้เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาจริงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาว่าแหล่งความร้อนที่จะใช้ในการจำลองในคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้อย่างไร ซึ่งมีตัวเลือกอยู่ 3 แบบ ได้แก่

- 1) การกำหนดให้อากาศเข้าที่เตาเผาเป็นอากาศร้อน (Hot air inlet)
- 2) การกำหนดให้ที่ปากเตาเผาามีแผ่นความร้อนอุณหภูมิสูง (Hot temperature plate)
- 3) การกำหนดให้ที่ปากเตาเผาามีแผ่นกระจายความร้อน (heat flux plate)

จากตัวเลือกทั้งสามแบบดังกล่าว พบว่าการกำหนดแหล่งความร้อนภายในเตาเป็นแบบมีแผ่นกระจายความร้อน (heat flux plate) ที่ตำแหน่งปากเตาจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในแง่ของการกระจายตัวของความร้อนภายในเตา จึงเลือกใช้แบบการมีแผ่นความร้อนบริเวณปากเตาและให้อากาศภายนอกเข้าสู่ปากเตาโดยธรรมชาติ

5.1.4 การศึกษาตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา

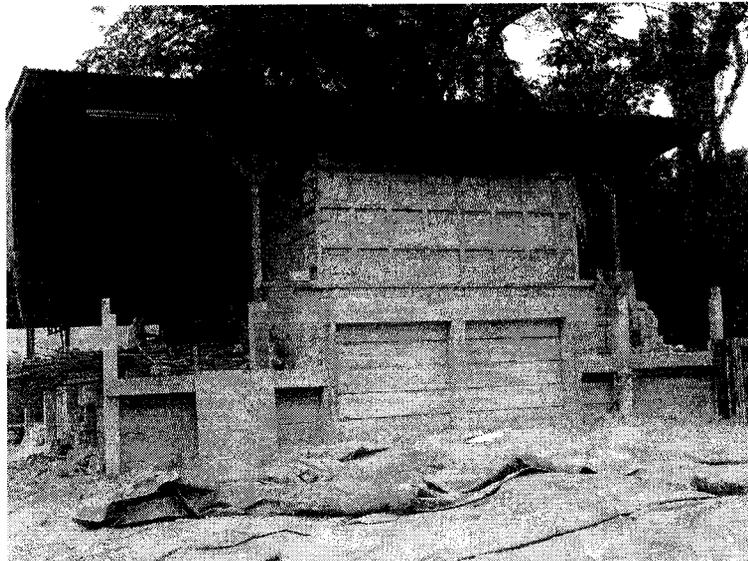
จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาในเรื่องตัวแปรที่ใช้ในการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์นั้น พบว่าตัวแปรเหมาะสมในการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์นั้น ต้องมีความเร็วลมภายนอกที่เหมาะสมในที่เลือกที่ 1 เมตรต่อวินาที แหล่งความร้อนที่ใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา นั้น แหล่งกำเนิดความร้อน (heat flux plate) บริเวณปากเตา

5.14.1 ผลของขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาของเตาเผารูปร่างต่าง ๆ

จากบทที่ผ่านมา ในการสำรวจข้อมูลพบว่าเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา มีลักษณะมากมายหลายแบบ ซึ่งการศึกษารูปร่างเตาแบบต่าง ๆ ได้อธิบายในบทที่แล้ว ซึ่งในบทนี้ได้นำเตารูปร่างต่าง ๆ ดังนี้

- 1) เตาดั้งเดิม
- 2) เตาหลังตรง
- 3) เตาหลังหยัก
- 4) เตาหลังเต่า
- 5) เตาเหลี่ยม
- 6) เตาออกแบบ 1
- 7) เตาออกแบบ 2
- 8) เตาออกแบบ 3

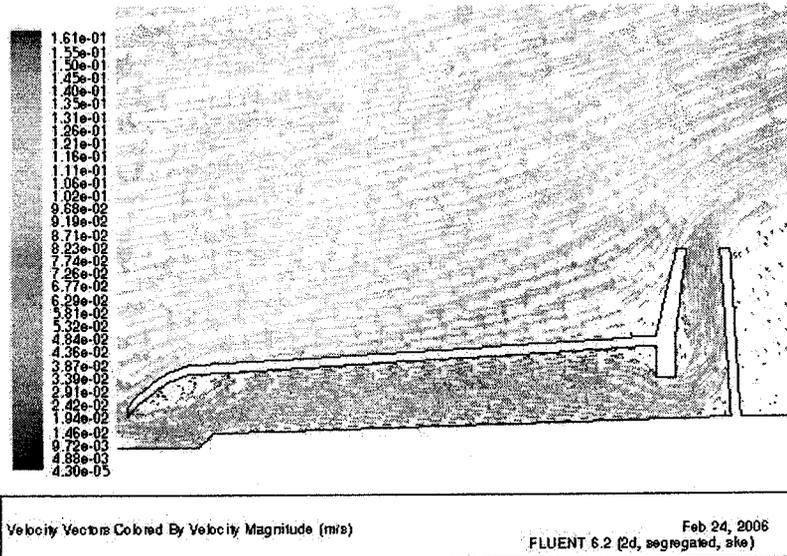
ในบทนี้จึงนำเอาที่ได้สำรวจมาปรับปรุงดั่งเช่นเตาในรูปที่ 5.12 ได้ถูกนำมาเป็นต้นแบบในการออกแบบเตาหยัก พร้อมทั้งเตาที่ได้มีการออกแบบใหม่ ทั้งหมดได้ถูกนำมาจำลองการไหลด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ ซึ่ง ได้ผลที่ได้จะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเลือกสร้างเตาต้นแบบสามเตา



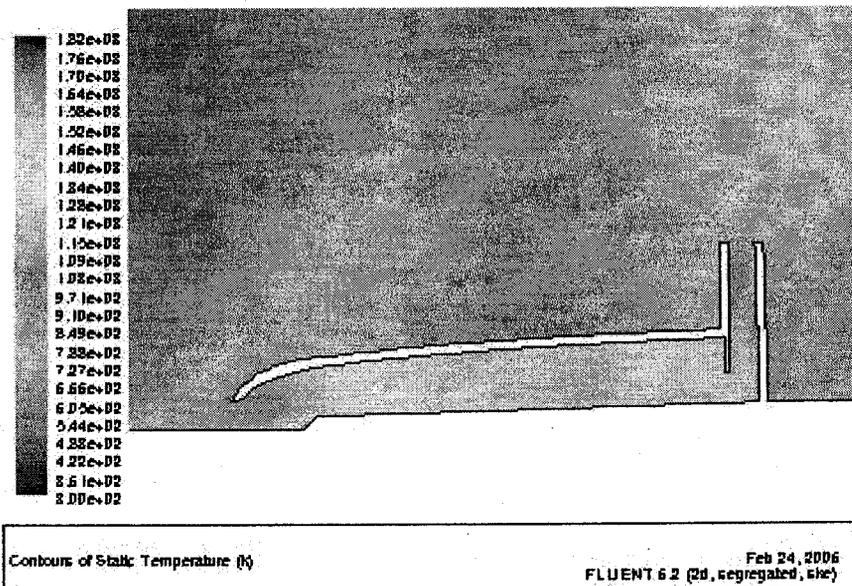
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างรูปร่างเตาแบบหลังหยักที่ได้จากการสำรวจซึ่งเป็นแนวคิดในการสร้างรูปร่างและขนาดของเตาเพื่อใช้ในการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์

1) ผลการจำลองการไหลของเตาดั้งเดิม

เตาดั้งเดิมนั้นเป็นเตาที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.12 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลจากทางเข้าจนกระทั่งถึงทางออกอากาศร้อนไหลเป็นแนวค่อนข้างตรงแสดงถึงลักษณะการเดินทางของไฟเป็นอย่างดีไม่เกิดการไหลหมุนวนของไฟ โดยค่าความเร็วเฉลี่ย ณ ตำแหน่งกลางเตาประมาณ 0.0484 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.14 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 1,400 เคลวิน และมีการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ



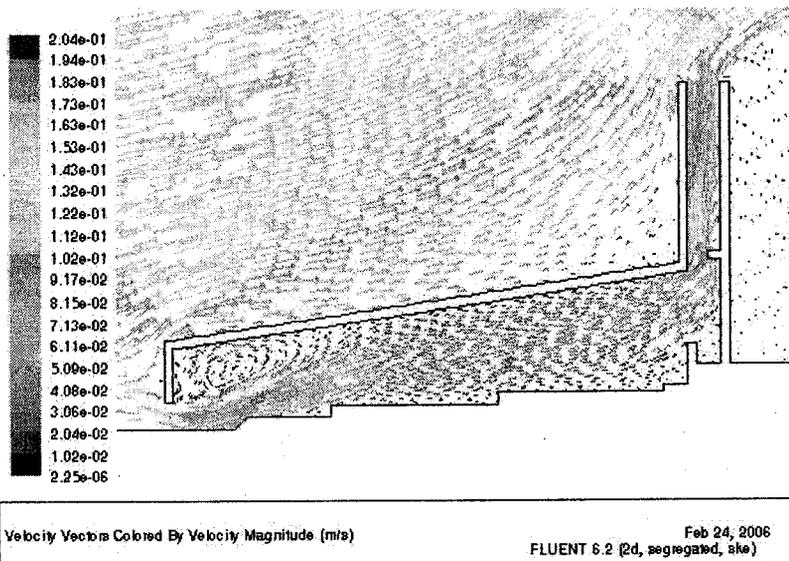
รูปที่ 5.13 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาดั้งเดิม



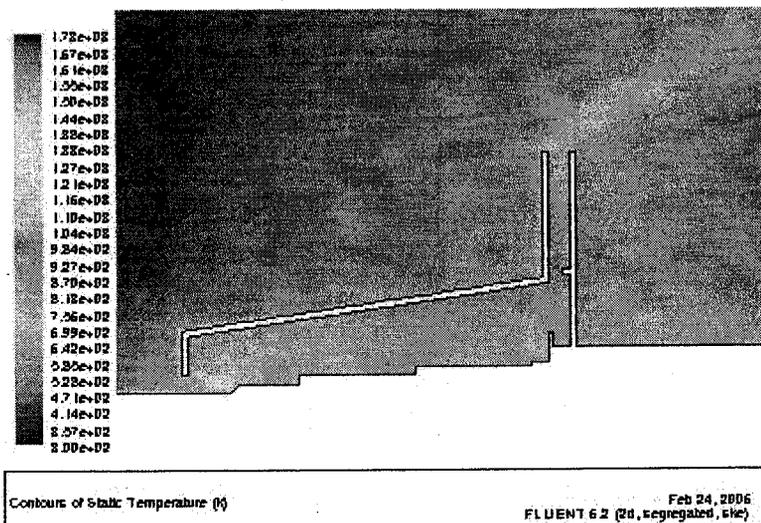
รูปที่ 5.14 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาดั้งเดิม

2) ผลการจำลองการไหลของเตาหลังตรง

เตาหลังตรงนั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากทฤษฎีในหนังสือ ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.15 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลไม่เกิดการไหลหมุนวนของไฟในตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ย ณ ตำแหน่งกลางเตาประมาณ 0.0611 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.16 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 1,100 เคลวิน แต่การกระจายตัวของอุณหภูมิก่อนข้างจะไม่สม่ำเสมอ โดยที่อุณหภูมิหน้าเตาจะต่ำกว่าอุณหภูมิกกลางเตาและหลังเตาเล็กน้อย เนื่องจากอากาศภายนอกเข้ามาข้างปากเตามากจนเกินไปทำให้อุณหภูมิน้ำเตาดำลง



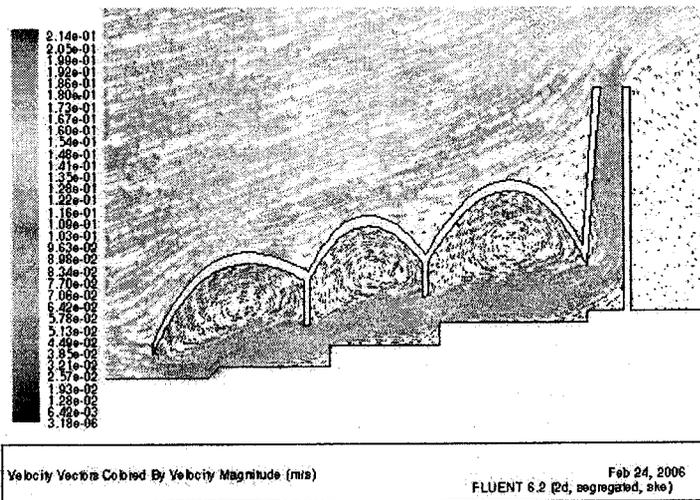
รูปที่ 5.15 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังตรง



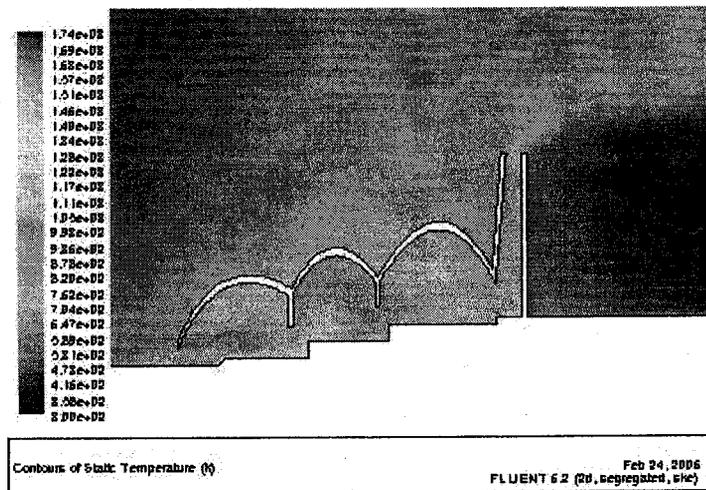
รูปที่ 5.16 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังตรง

3) ผลการจำลองการไหลของเตาหลังหยัก

เตาหลังหยักนั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากทฤษฎีในหนังสือ ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.17 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลเกิดการไหลหมุนวนของไฟในด้านบนของตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.0642 เมตรต่อวินาทีในด้านล่างของเตา และจากผลในรูปที่ 3.18 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 1,170 เคลวิน การกระจายตัวของอุณหภูมิก่อนข้างจะไม่สม่ำเสมอ โดยที่อุณหภูมิด้านล่างเตาจะสูงและอุณหภูมิจะลดลงในด้านบนของตัวเตา เนื่องจากตัวเตาค่อนข้างสูงทำให้ความร้อนไม่สามารถกระจายไปสู่ด้านบนเตาได้เพียงพอ



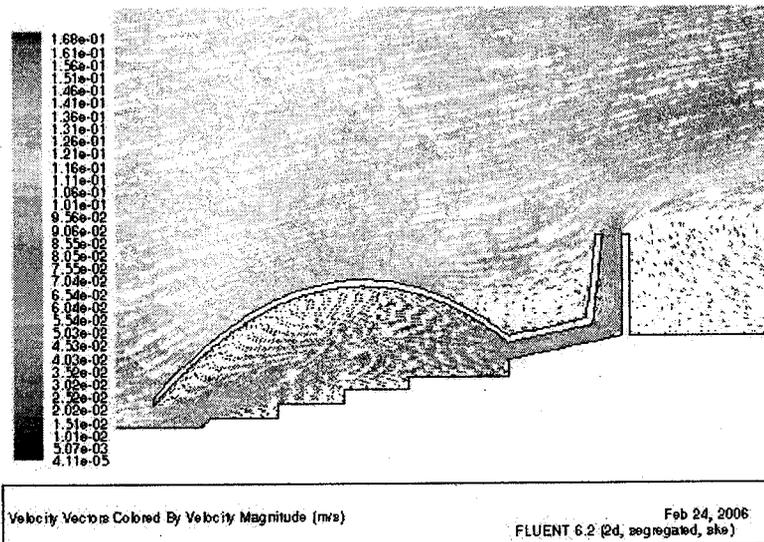
รูปที่ 5.17 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังตรง



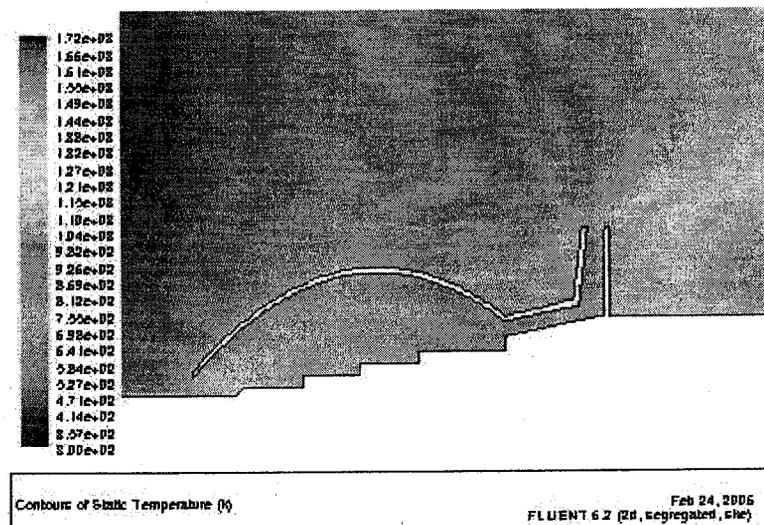
รูปที่ 5.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังหยัก

4) ผลการจำลองการไหลของเตาหลังเต่า

เตาหลังเต่านั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากการพบตัวอย่างในขณะสำรวจ ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.19 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลเกิดการไหลหมุนวนของไฟในตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.0604 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.20 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ประมาณ 926 เคลวิน การกระจายตัวของอุณหภูมิก่อนข้างจะสม่ำเสมอ



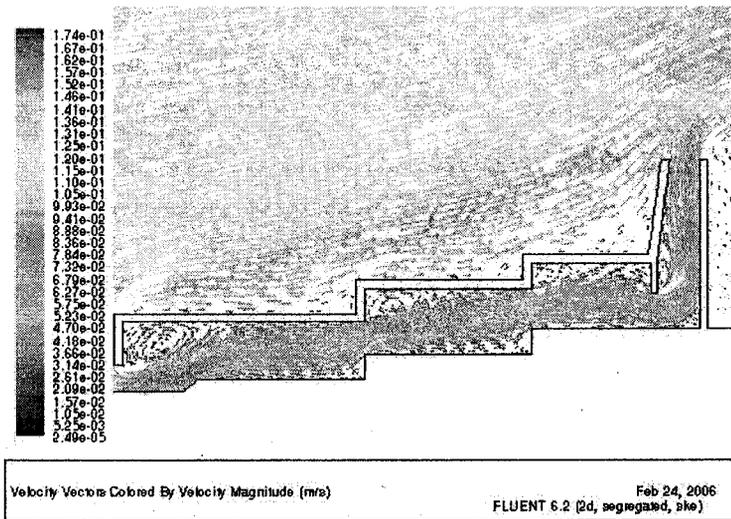
รูปที่ 5.19 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังเต่า



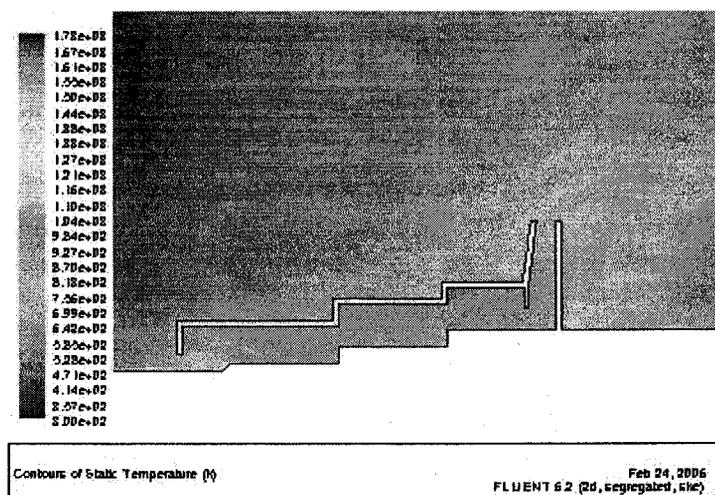
รูปที่ 5.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังเต่า

5) ผลการจำลองการไหลของเตาเหลี่ยม

เตาเหลี่ยมนั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากการพบเตาด้อย่างในขณะออกสำรวจในจังหวัด นครราชสีมา ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.21 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลไม่เกิดการไหลหมุนวนของไฟในตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.0523 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.22 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วน ภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างต่ำประมาณ 924 เคลวิน แต่การกระจายตัวของอุณหภูมิ ค่อนข้างจะไม่สม่ำเสมอ โดยที่อุณหภูมิหน้าเตาจะต่ำกว่าอุณหภูมิมกกลางเตาและหลังเตาเล็กน้อย



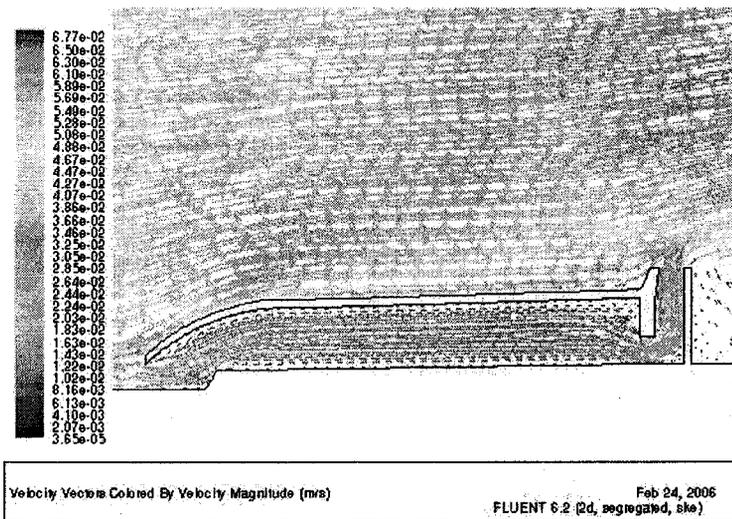
รูปที่ 5.21 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังเหลี่ยม



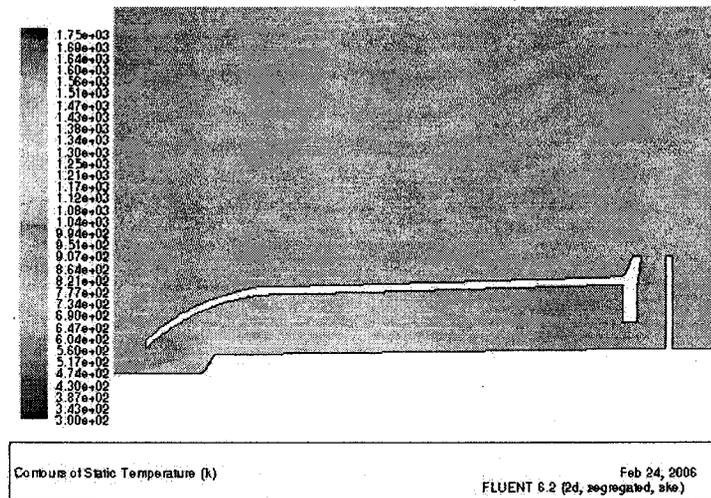
รูปที่ 5.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาหลังเหลี่ยม

6) ผลการจำลองการไหลของเตาออกแบบ1

เตาออกแบบ1นั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากการประยุกต์จากทฤษฎีและเตาตัวอย่างที่พบในการสำรวจ รายละเอียดดังที่กล่าวในส่วนการออกแบบ ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.23 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลไม่เกิดการไหลหมุนวนของไฟในตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ยจะต่ำประมาณ 0.023 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.24 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิประมาณ 1,170 เคลวิน แต่การกระจายตัวของอุณหภูมิก่อนข้างจะไม่สม่ำเสมอ โดยที่อุณหภูมิหน้าเตาจะสูงกว่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งหลังเตาเล็กน้อย



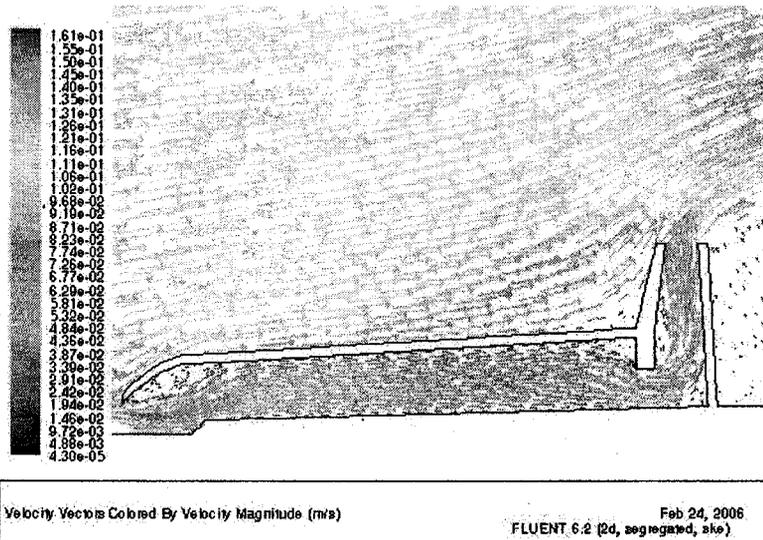
รูปที่ 5.23 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ1



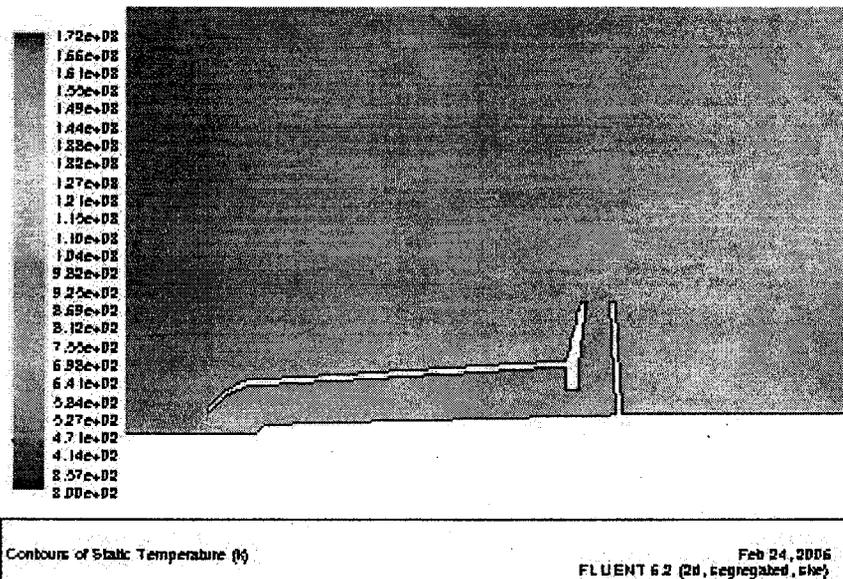
รูปที่ 5.24 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ1

7) ผลการจำลองการไหลของเตาออกแบบ 2

เตาออกแบบ 2 นั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากการประยุกต์จากทฤษฎีและเตาดังกล่าวที่พบในการสำรวจ รายละเอียดดังที่กล่าวในส่วนการออกแบบ ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.25 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลไม่เกิดการไหลหมุนวนของไฟในตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.0532 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.26 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิก่อนข้างต่ำประมาณ 928 เคลวิน แต่การกระจายตัวของอุณหภูมिसมาเสมอทั่วทั้งเตา



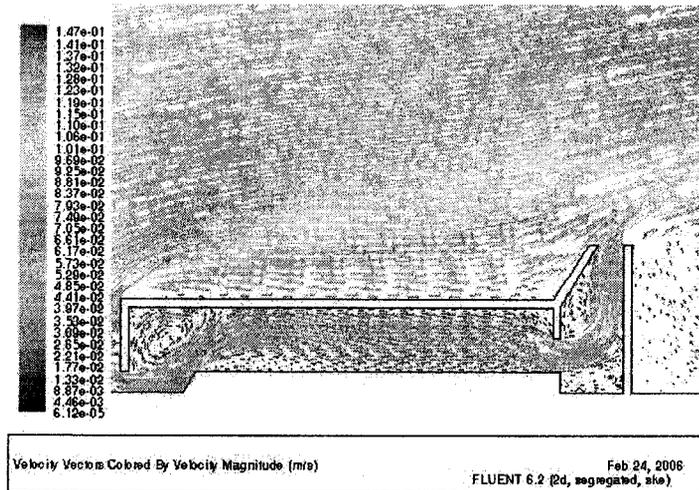
รูปที่ 5.25 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ 2



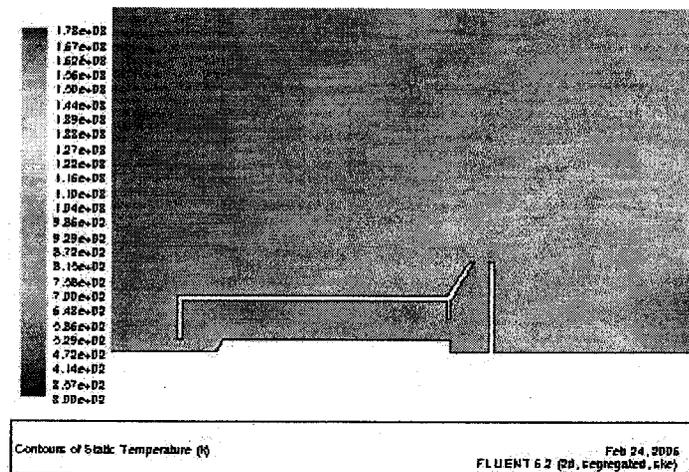
รูปที่ 5.26 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ 2

8) ผลการจำลองการไหลของเตาออกแบบ3

เตาออกแบบ3นั้นเป็นเตาที่ออกแบบจากการประยุกต์จากทฤษฎีและเตาตัวอย่างที่พบในการสำรวจ รายละเอียดดังที่กล่าวในส่วนการออกแบบ ซึ่งจากผลการจำลองดังรูปที่ 5.27 แสดงถึงขนาดและทิศทางของอากาศร้อนภายในเตาเผา พบว่าลักษณะการไหลไม่เกิดการไหลหมุนวนของไฟในตัวเตา โดยค่าความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.0529 เมตรต่อวินาที และจากผลในรูปที่ 5.28 ซึ่ง แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิก่อนข้างต่ำประมาณ 1,160 เคลวิน แต่การกระจายตัวของอุณหภูมิตัวสมอทั่วทั้งเตา



รูปที่ 5.27 ขนาดของความเร็วของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ3



รูปที่ 5.28 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละส่วนภายในเตาเผาของเตาออกแบบ3

5.1.5 สรุปผลการศึกษาการจำลองการไหลด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์

จากผลการจำลองการไหลของอากาศร้อนภายในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา โดยข้อจำกัดของโปรแกรม จึงต้องใช้สมมติฐานในการจำลอง ดังนี้

1. ภายในเตาเผาเป็นเตาที่ไม่ครกอยู่ภายใน
2. การจำลองใช้ Turbulent model แบบ k-E
3. ใช้การจำลองแบบสองมิติ (2-dimentional)
4. กำหนดแหล่งความร้อนเป็นแบบ heat flux
5. ความร้อนภายในเป็นอากาศร้อน ซึ่งแตกต่างจากเตาเผาจริงซึ่งเป็นเปลวไฟ

ผลการศึกษาพบว่า เตาทั้ง 8 แบบนั้นแยกออกได้เป็นกลุ่ม ๆ ดังนี้

- 1) กลุ่มที่มีการกระจายความร้อนได้ดี ได้แก่ เตาตั้งเดิม เตาหลังเต่า เตาออกแบบ 2 และเตาออกแบบ 3
- 2) กลุ่มที่มีอุณหภูมิสูง (เกิน 1,100 องศาเซลเซียส) ได้แก่ เตาตั้งเดิม เตาหลังหัก เตาหลังออกแบบ 1 และเตาออกแบบ 3
- 3) กลุ่มที่มีความเร็วของอากาศร้อนภายในเตาที่เหมาะสม (ประมาณ 0.04 ถึง 0.06 เมตรต่อวินาที) ได้แก่ เตาตั้งเดิม เตาเหลี่ยม เตาออกแบบ 2 และเตาออกแบบ 3
- 4) การไม่เกิดการหมุนวนของอากาศ ซึ่งในทางการเผาไหม้อาจถือว่าไฟเดินได้ดีหรือไฟไม่เดิน ได้แก่ เตาตั้งเดิม เตาหลังตรง เตาเหลี่ยม เตาออกแบบ 1 เตาออกแบบ 2 และเตาออกแบบ 3

จากผลการจำลองการไหลของอากาศร้อนภายในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา จะพบเตาที่มีความเหมาะสมกว่าเตาอื่น ได้แก่ เตาตั้งเดิมและเตาออกแบบ 3 อย่างไรก็ตาม เตาเผาทุกแบบยังถือว่าใช้งานได้จากการจำลอง ดังนั้นการตัดสินใจ ขั้นสุดท้ายว่าเตาแบบใดดีที่สุดที่สุด ควรจะให้เหตุผลอื่นมาพิจารณาร่วมด้วย ตัวอย่างเช่น ความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง ความสะดวกในการใช้งาน ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตา

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการจำลองการไหลด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์

รูปร่างเตา	ความเร็วของอากาศภายในเตา (m/s)	อุณหภูมิเฉลี่ย (k)	การไหลวน (ไฟอื่น)	การกระจายตัวของความร้อน
เตาตั้งเดิม	0.0484	1,400	ไม่ไหลวน	สม่ำเสมอ
เตาหลังตรง	0.0611	1,000	ไหลวน	ไม่สม่ำเสมอ
เตาหลังหัก	0.0642	1,170	ไหลวน	ไม่สม่ำเสมอ
เตาหลังเต่า	0.0604	926	ไหลวน	สม่ำเสมอ

เตาเหลี่ยม	0.0523	924	ไม่ไหลวน	ไม่สม่ำเสมอ
เตาออกแบบ1	0.0230	1,170	ไม่ไหลวน	ไม่สม่ำเสมอ
เตาออกแบบ2	0.0532	928	ไม่ไหลวน	สม่ำเสมอ
เตาออกแบบ3	0.0529	1,160	ไม่ไหลวน	สม่ำเสมอ

5.2 เตาต้นแบบ

5.2.1 แนวคิดในการออกแบบ

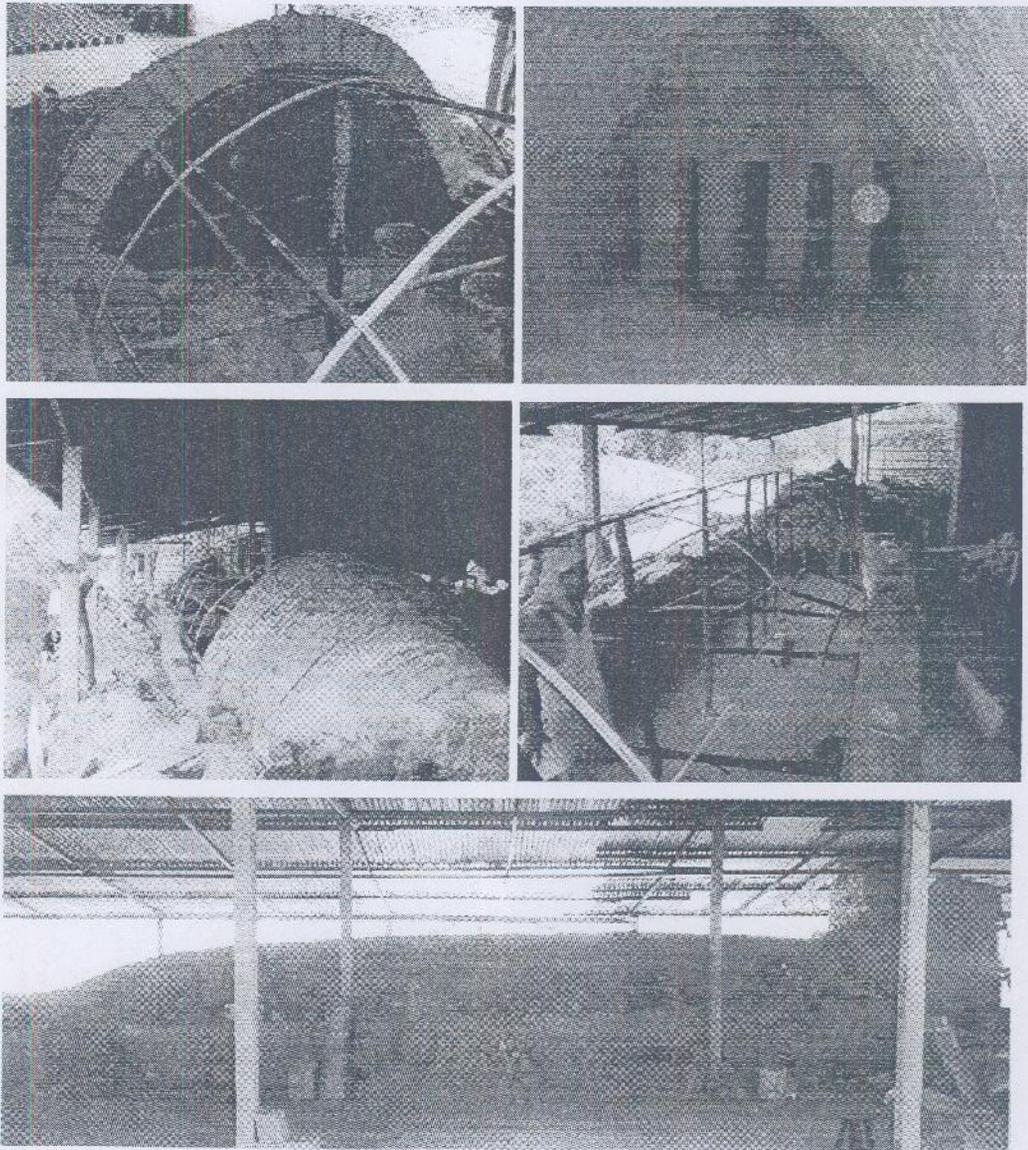
ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบเตาต้นแบบ ไว้ 3 หลัง เพื่อทำการทดสอบ หาเตาที่มีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดและใช้งาน ได้งาน รวมทั้งให้กำลังการผลิตสูง อีกด้วย โดยยึดหลักการออกแบบเตาเผา ดังนี้

- เชื้อเพลิงยังคงใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแบบเดิม เนื่องจากหาง่าย และต้นทุนต่ำ
- ยึดหลักการออกแบบเตา ตามหลักการ ในหัวข้อ 2.2.5.2
- นำผลจากการศึกษา CFD ในหัวข้อ 5.1 มาประกอบการออกแบบด้วย
- เตาที่ออกแบบเป็น ชนิดความร้อนไหลผ่านแนวนอน (crossdraft kiln) ทั้งหมด เนื่องจากสามารถสร้างขนาดใหญ่ได้ง่ายและทำงานง่าย การเสียหายของผลิตภัณฑ์ น้อยกว่าเตาชนิดอื่น
- เตาต้นแบบ ต้องสามารถแก้ไข หรือ ดัดแปลงได้ง่าย เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในภายหลัง
- วัสดุสามารถหาได้ง่ายและราคาต่ำ ในที่นี้ ใช้ดินเหนียวปั้นเป็นแท่ง (เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง จะสึก เป็นอิฐที่แข็งแรงเอง) เป็นวัสดุโครงสร้างหลักและฉาบด้วยดินเหนียว
- เตาต้นแบบเน้นไปที่เตาขนาดใหญ่ เนื่องจาก จากผลการศึกษา พบว่า เตาขนาดใหญ่ จะให้กำลังการผลิต ต่อ รอบการผลิต สูงกว่า และ ประสิทธิภาพทางความร้อนก็สูงกว่า เช่นกัน

เตาต้นแบบทั้งสามหลัง ได้สร้างและทำการทดสอบ ที่บ้านของผู้ประกอบการ 3 ท่าน โดยมีรายละเอียด ของเตา ดังสรุปในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดเตาดันแบบ

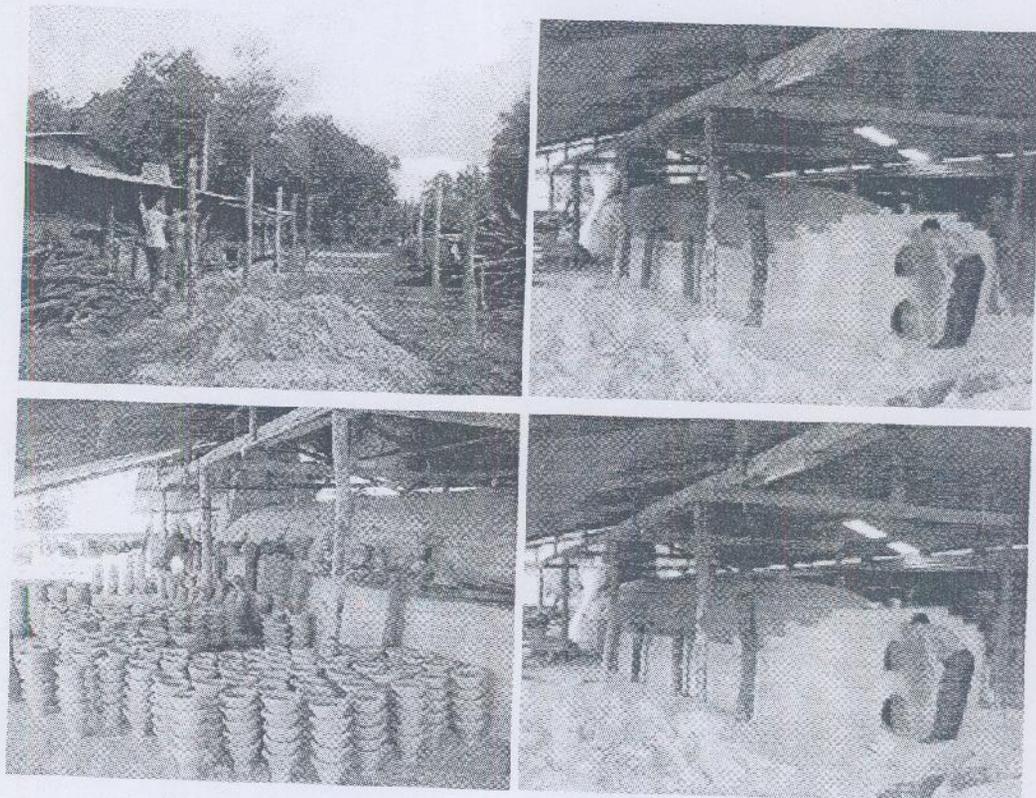
รายละเอียด	เตาแบบหลังที่ 1	เตาแบบหลังที่ 2	เตาแบบหลังที่ 3
ชื่อเตา	เตาอุบล-1	เตาอุบล-2	เตาอุบล-3
ที่ตั้ง	นายบวร พงษ์พิระ	นายประกอบ โสมแผ้ว	นายสมชาย แซ่กอ
ขนาดความจุ (ครก/ใบ)	3500-4000 ใบ	3500 ใบ	3500-4000 ใบ
ขนาด/แบบ	แสดงในภาคผนวก ง. และ รูปที่ 5.29	แสดงในภาคผนวก ง. และ รูปที่ 5.30	แสดงในภาคผนวก ง. และ รูปที่ 5.31
ลักษณะเด่น	ป้องกันช่วงกลางเตา เพื่อกระจายความร้อน และชะลอความเร็ว ของเปลว	ทรงเรียว เน้นกระจายเปลวไฟที่สม่ำเสมอ	ทรงกระบอก มีขอบตัดตรง เปลวไฟจะกระจายในแนวแกวเตาสม่ำเสมอ ของเสียน้อย และ กำล้างการผลิตสูง
พื้นเตา	ดินอัดแน่น ลาดเอียง ประมาณ 10 องศา	ดินอัดแน่น ลาดเอียง ประมาณ 15 องศา	ดินอัดแน่น ลาดเอียง ประมาณ 3 องศา
ปล่องลมร้อน	ทรงเรียว ขนาดปล่อง 1.73 เท่าของ ปากเตา สูง 3.1 เมตร	ทรงเรียว ขนาดปล่อง 1.96 เท่าของ ปากเตา สูง 4.1 เมตร	ทรงเรียว ขนาดปล่อง 1.44 เท่าของ ปากเตา สูง 3.5 เมตร
เรือนไฟ	ขนาดประมาณ 12 เท่าของพื้นที่ปล่องลมร้อน มีเสากันกระจายเปลวไฟ	ขนาดประมาณ 9 เท่าของพื้นที่ปล่องลมร้อน มีเสากันกระจายเปลวไฟ	ขนาดประมาณ 10 เท่าของพื้นที่ปล่องลมร้อน มีเสากันกระจายเปลวไฟ



รูปที่ 5.29 เตาอุบล-1 ขณะดำเนินการก่อสร้าง ณ บ้านนายบวร พงษ์พีระ



รูปที่ 5.30 เตาอบต-2 ขณะดำเนินการก่อสร้าง ณ บ้านนายประกอบ โสมแก้ว



รูปที่ 5.31 เตาอบต-3 ขณะดำเนินการก่อสร้าง ณ บ้านนายสมชาย แซ่ก้อ

5.2.2 แบบของเตาดันแบบ

แบบรายละเอียด (Drawing) ที่สามารถใช้ออกสร้างได้ ของเตาดันแบบทั้ง 3 หลัง แสดงในภาค
ภาคผนวก ง

5.2.3 ผลการทดสอบเตาดันแบบ

5.2.3.1 ด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อน

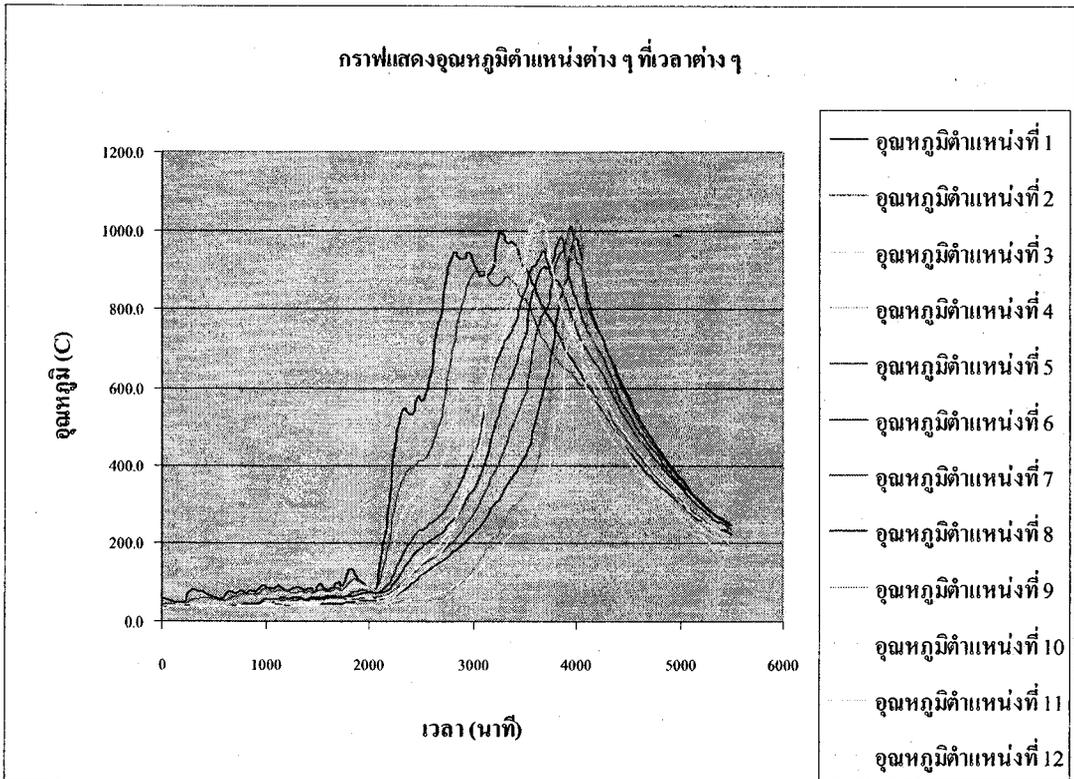
หลังจากสร้างเตาดันแบบเรียบร้อยแล้ว ผังเตาให้แห้งเป็นระยะเวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์ และ
ทำการอุ่นเตา เป็นเวลา 2-3 วัน เพื่อไล่ความชื้นในวัสดุ โครงสร้างเตาออกให้หมด จึงจะเริ่มทำการทดสอบ
เตาได้ โดยทั่วไปแล้วการทดสอบเตาครั้งแรกมักจะ ได้ผลการทดสอบที่ไม่แน่นอน เนื่องจาก
ผู้ประกอบการเอง ยังไม่คุ้นเคยกับเตาใหม่ ไม่รู้คุณลักษณะการทำงานของเตาที่ชัดเจน ดังนั้นคณะผู้วิจัย
จึงไม่เก็บข้อมูลขณะทำการทดสอบเตาเผาในครั้งแรกสุด ในตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบเตา 3 ครั้ง
(หลังจาก เเผาครั้งแรกโดยไม่เก็บข้อมูล) พบว่าเตา อุบล-3 จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด มีประสิทธิภาพ
สูงเชิงความร้อน ถึง 16.9% ในขณะที่เตาอุบล-1 และ อุบล-2 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน เฉลี่ย ที่
12.66% และ 14.11% ตามลำดับ เตาอุบล-3 อาจจะทำให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด เนื่องจากได้สร้างที่หลัง
เตาอุบล-1 และ เตาอุบล-2 โดยนำประเด็นที่อาจจะพัฒนาได้ มาใส่ในเตาดันนี้ อย่างไรก็ตาม เตาทั้งสาม
หลัง มีประสิทธิภาพ สูงกว่าเตา ที่ผู้ประกอบการใช้อยู่ ของทุกผู้ประกอบการ ซึ่งโดยทั่วไป
ประสิทธิภาพของเตาจะอยู่ที่ 9-11% เพียงเท่านั้น จะเห็นได้ว่าหากนำเตาดันแบบนี้ไปใช้งานจริง จะทำ
ให้ผู้ประกอบการลดการใช้ฟืนได้อย่างมาก โดยอาจจะลดการใช้ฟืน ได้ถึง 700-1000 กก. ต่อรอบการ
ผลิต ในบางผู้ประกอบการ

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาต้นแบบ

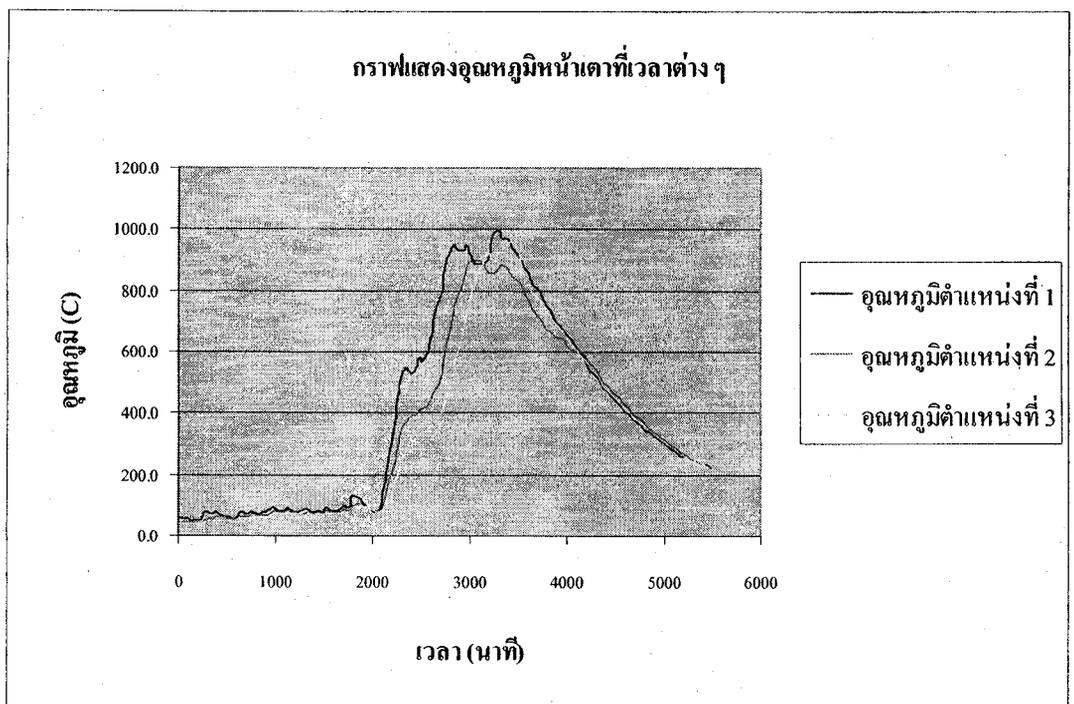
เตาเผาครก อูบล ^๑	จำนวนครก (ใบ)	m (kg)	mf มวลของ น้ำ (kg)	ปริมาณ หิน (kg)		HV	T max (K)	T min (K)	H _{fg} kJ/kg °c	Cp kJ/kg °c	Q _i (kJ)	Q _u (kJ)	ประสิทธิภาพ เตา (%)
				(m _p)	Q _s								
เตาอูบล - 1 (1)	3500	7793.02	1022.38	4682	15990	1302.6	308	2258	0.96	74865180	9749428.38	13.02	
เตาอูบล - 1 (2)	3700	8192.28	1054.00	4854	15990	1285	308	2258	0.96	77615460	10063628.75	12.97	
เตาอูบล - 1 (3)	3050	6573.83	844.10	4328	15990	1322.1	308	2258	0.96	69204720	8305827.10	12.00	
เตาอูบล - 2 (1)	3400	7789.73	878.41	4360	15990	1315.5	308	2258	0.96	69716400	9517680.16	13.65	
เตาอูบล - 2 (2)	3400	7789.73	878.41	3790	15990	1279.5	308	2258	0.96	60602100	9248467.18	15.26	
เตาอูบล - 2 (3)	3400	7789.73	878.41	4490	15990	1331.4	308	2258	0.96	71795100	9636582.55	13.42	
เตาอูบล - 3 (1)	3000	6830.70	764.35	3716	15990	1372	308	2258	0.96	59418840	8703050.45	14.65	
เตาอูบล - 3 (2)	3000	6830.70	764.35	3141	15990	1398	308	2258	0.96	50224590	8873544.73	17.67	
เตาอูบล - 3 (3)	3000	6830.70	764.35	2970	15990	1375	308	2258	0.96	47490300	8722722.87	18.37	

* สูตรและตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงจากหัวข้อ 2.2.3

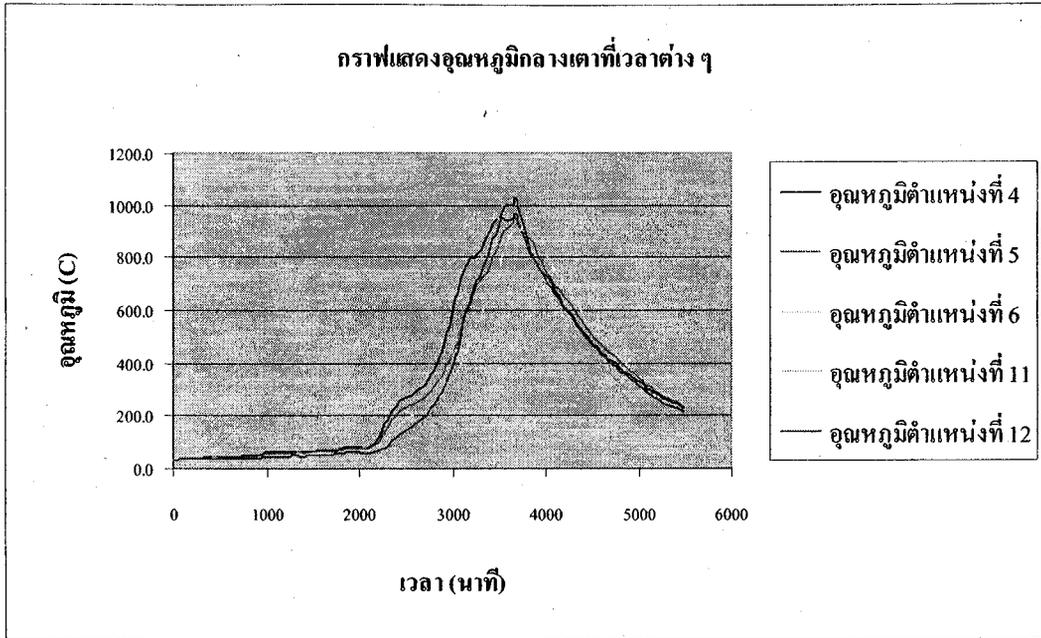
ตัวอย่าง ผลการวัดอุณหภูมิ เตาดูบล-1 (จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3)



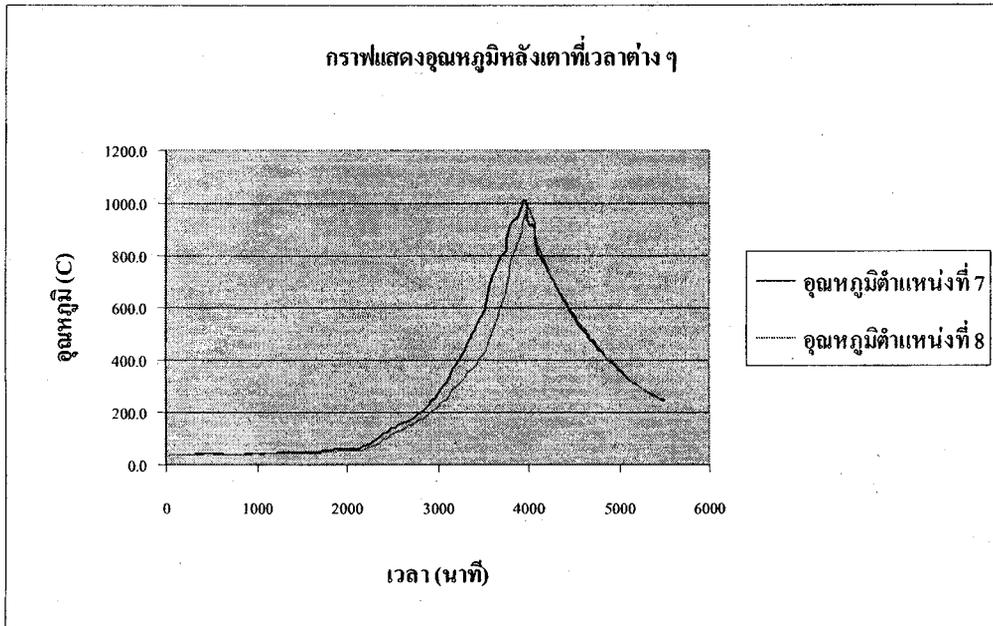
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงอุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ



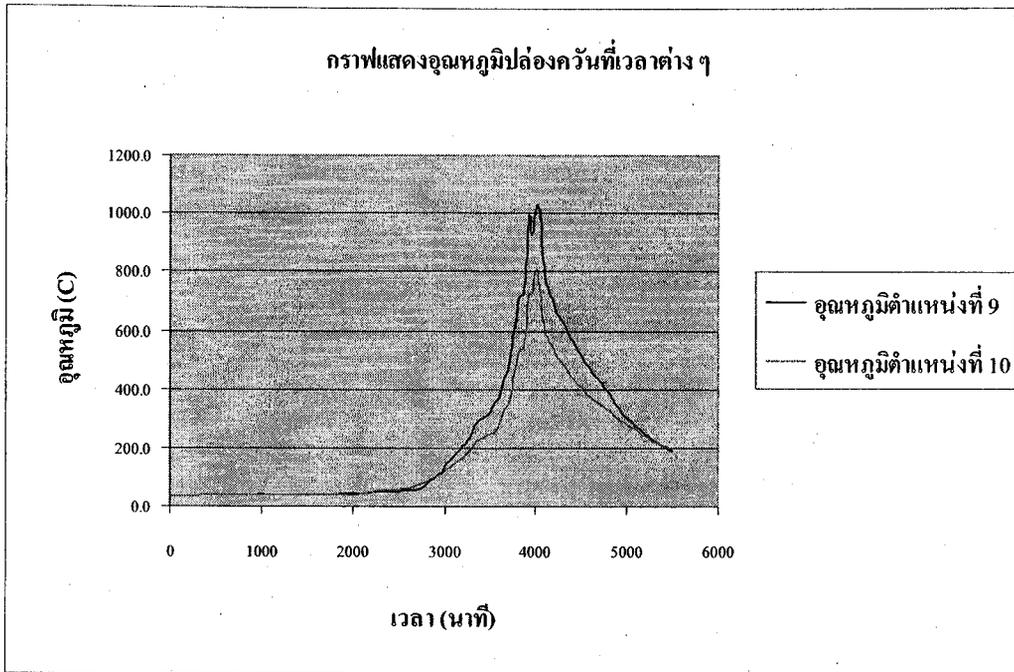
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงอุณหภูมิหน้าเตาที่เวลาต่าง ๆ



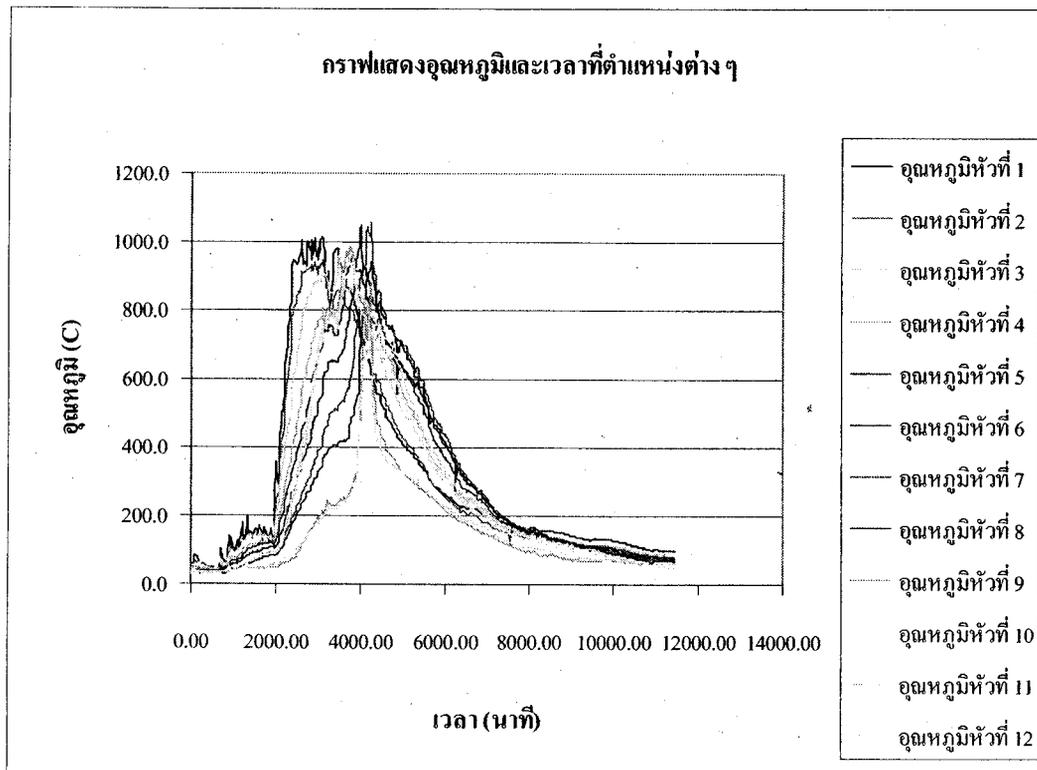
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงอุณหภูมิกลางเตาที่เวลาต่าง ๆ



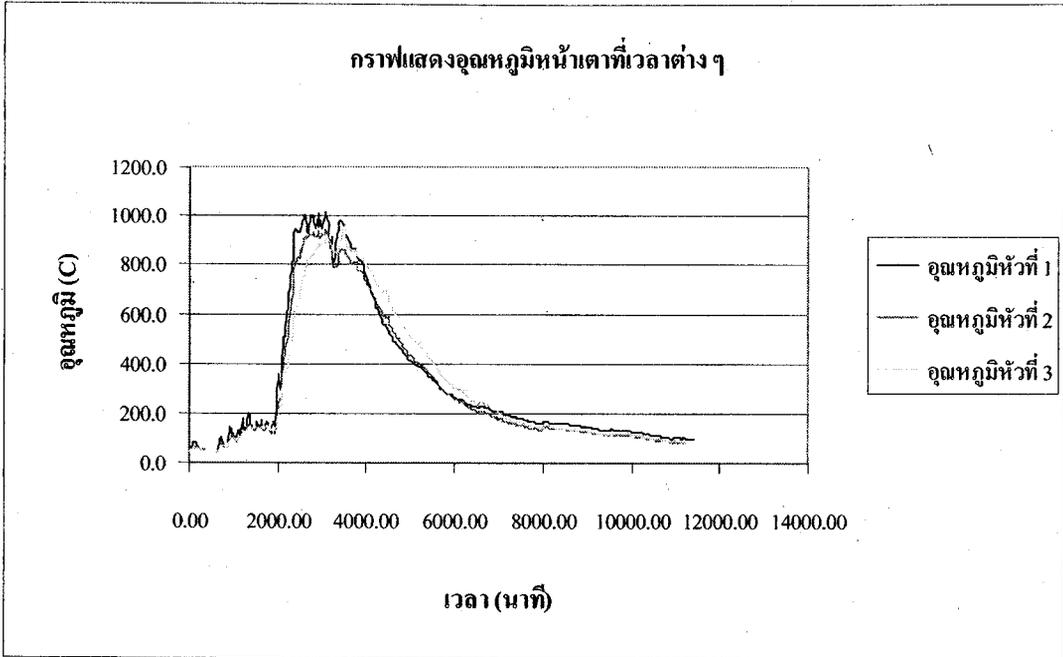
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงอุณหภูมิหลังเตาที่เวลาต่าง ๆ



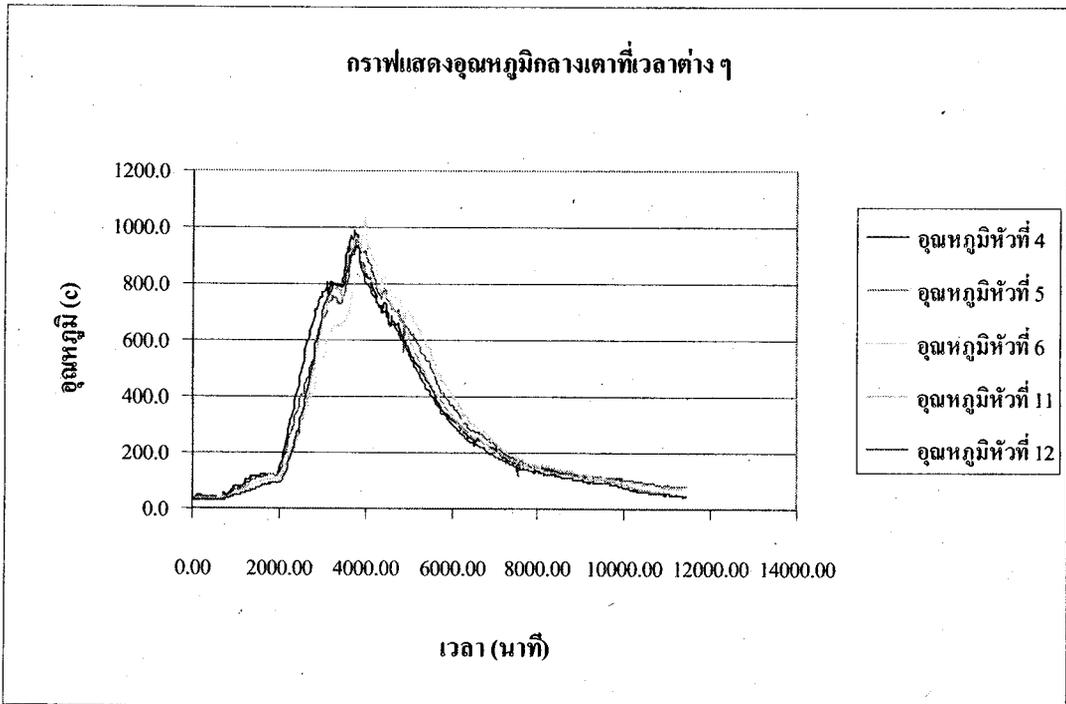
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงอุณหภูมิปล่องควันที่เวลาต่างๆ
ตัวอย่าง ผลการวัดอุณหภูมิ เตาอุบล-2 (จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3)



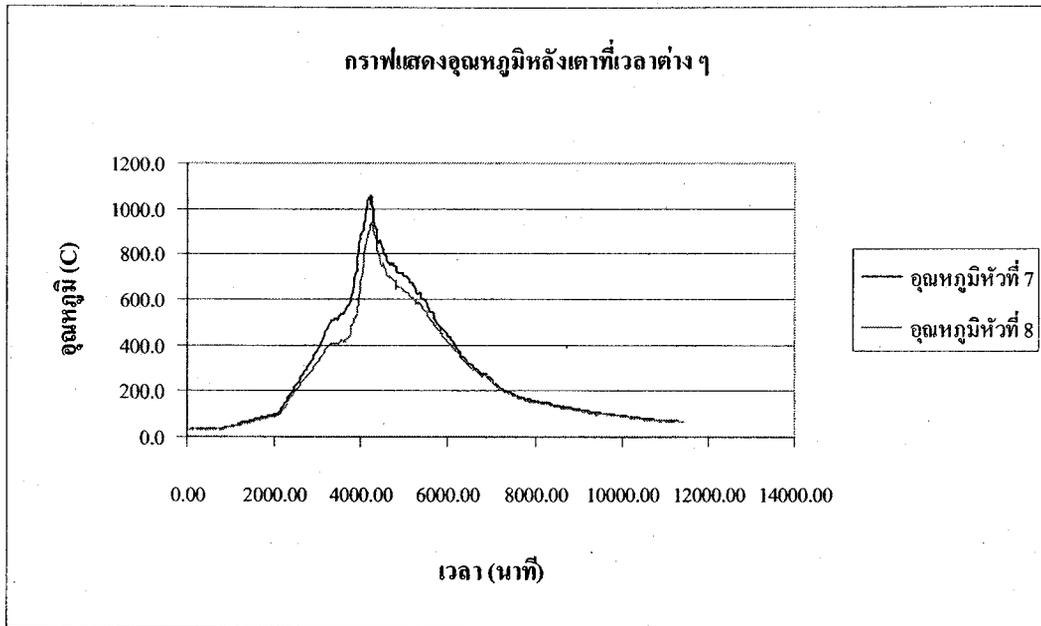
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่เวลาต่างๆ



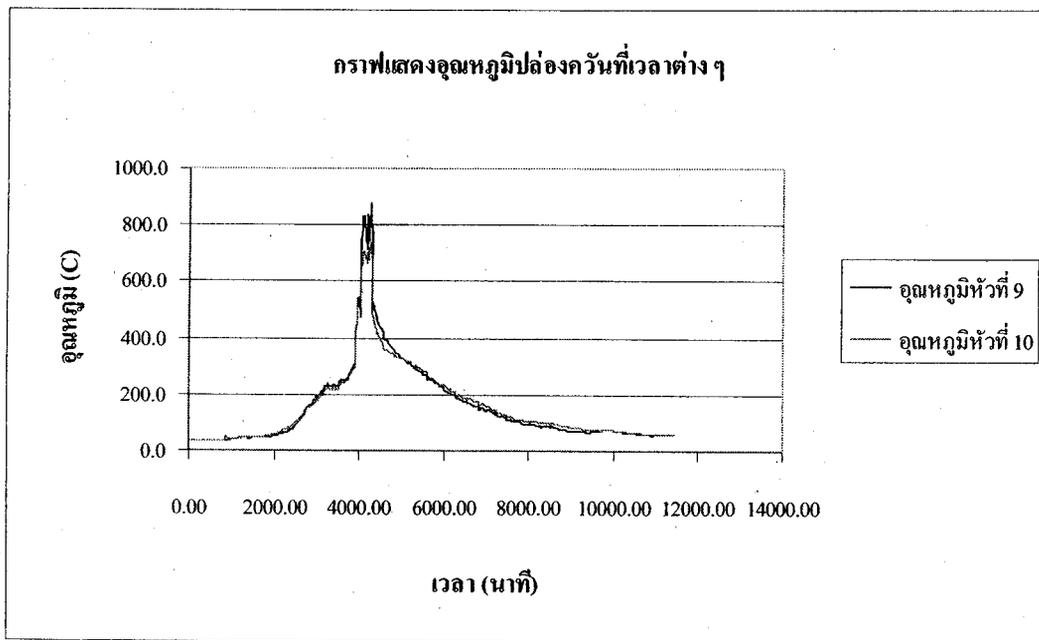
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงอุณหภูมิหน้าเตาที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 5.39 กราฟแสดงอุณหภูมิกกลางเตาที่เวลาต่างๆ

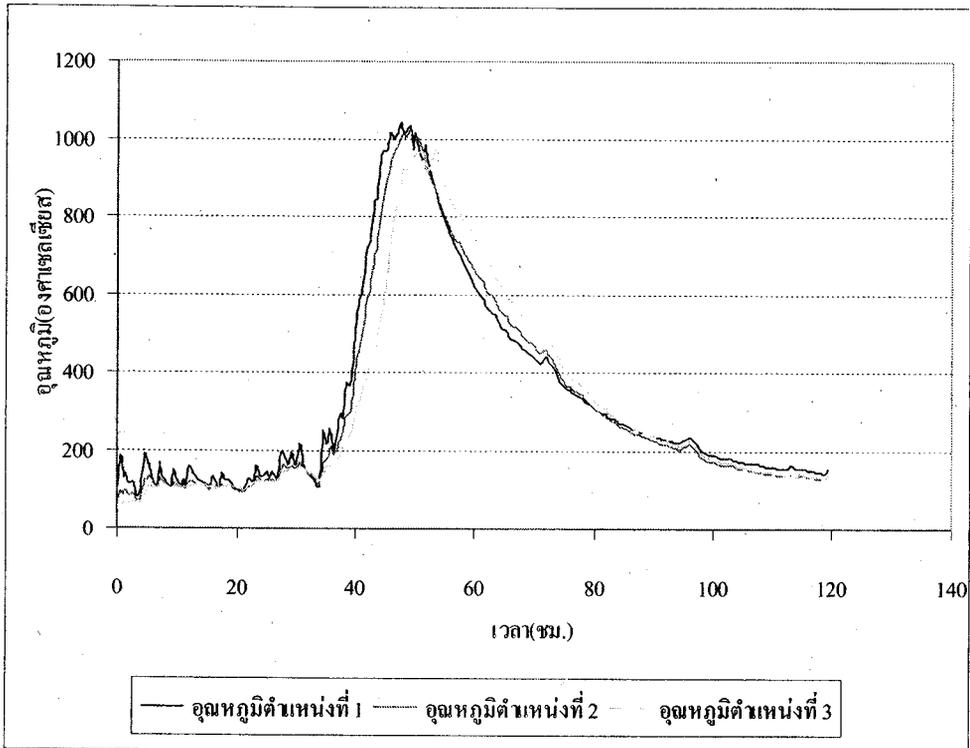


รูปที่ 5.40 กราฟแสดงอุณหภูมิหลังเตาที่เวลาต่าง ๆ

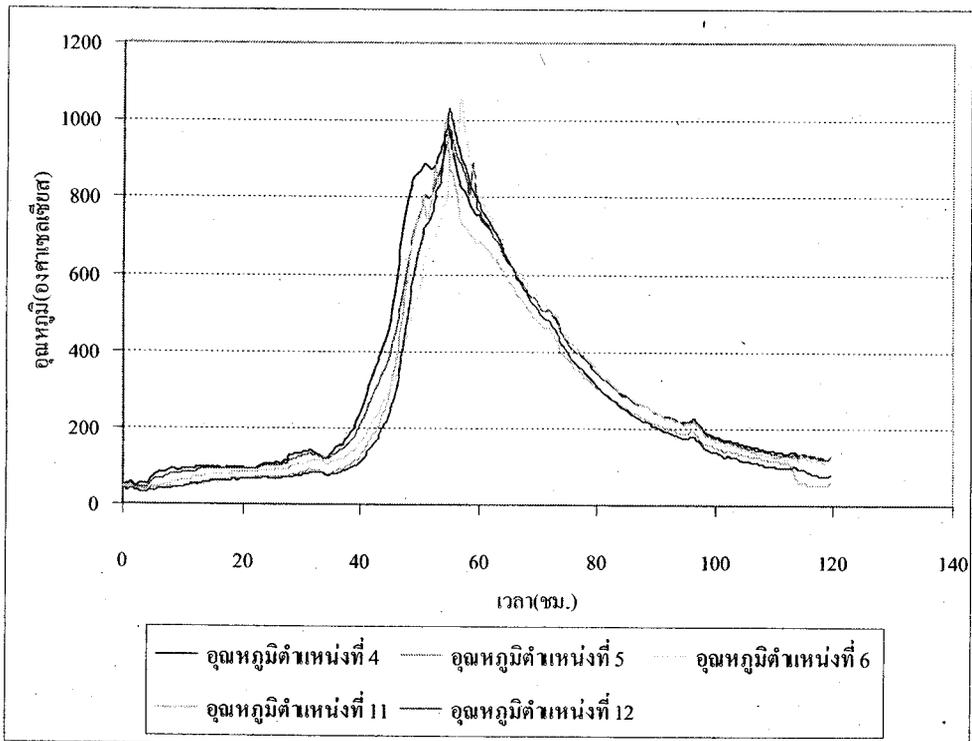


รูปที่ 5.41 กราฟแสดงอุณหภูมิปล่องควันที่เวลาต่าง ๆ

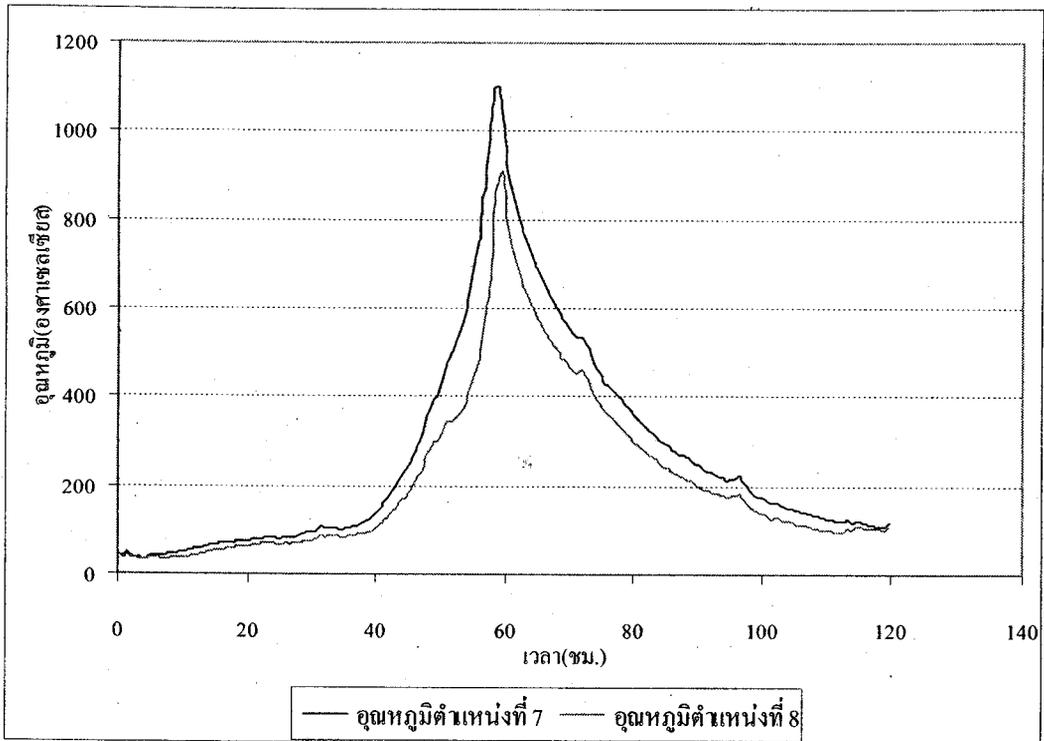
ตัวอย่าง ผลการวัดอุณหภูมิ เตาดูบล-3 (จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3)



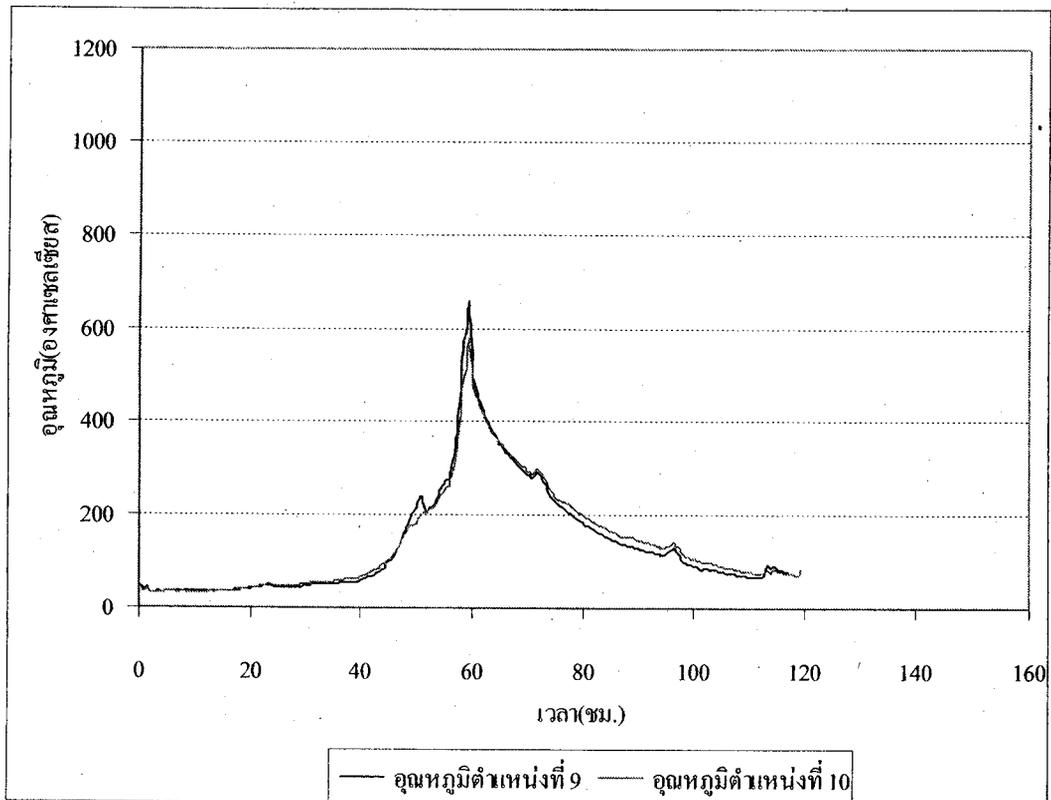
รูปที่ 5.42 กราฟแสดงอุณหภูมิหน้าเตาที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 5.43 กราฟแสดงอุณหภูมิกกลางเตาที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 5.44 กราฟแสดงอุนทภูมิหลังเตาที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 5.45 กราฟแสดงอุนทภูมิปล่องไฟที่เวลาต่าง ๆ

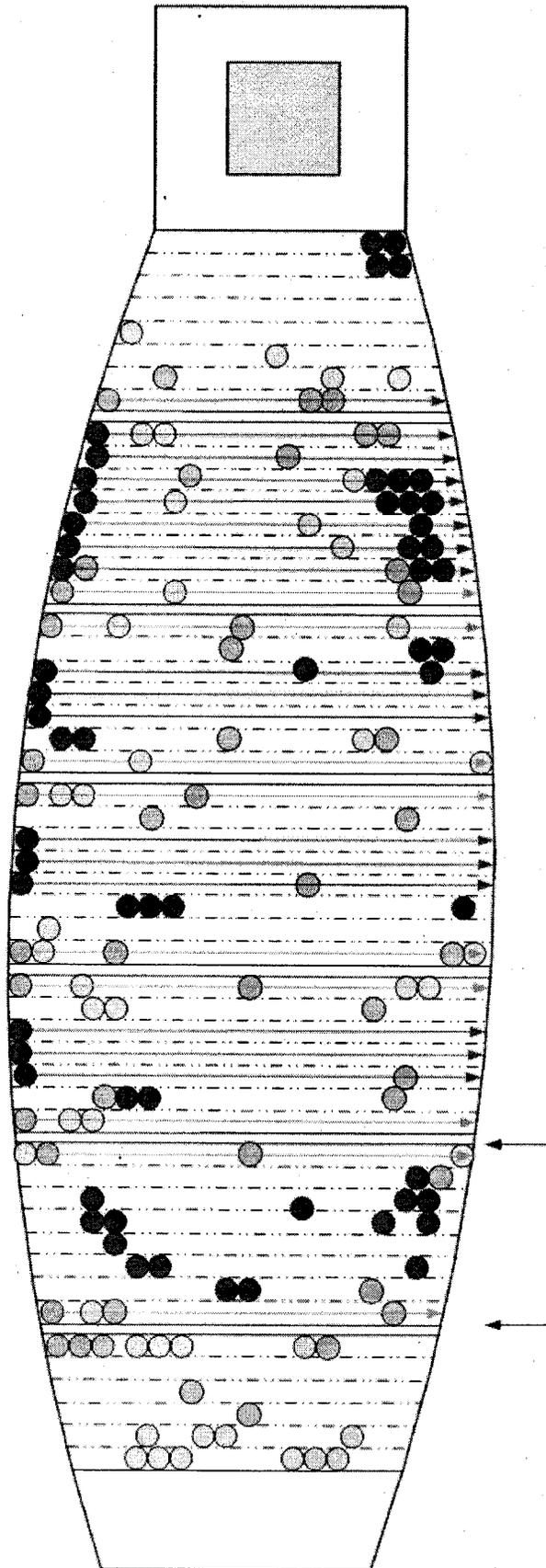
5.2.3.2 ด้านจำนวนของเสียและความเหมาะสมในการผลิต

จากการทดสอบเตาดันแบบและสอบสภาพความเห็นของผู้ทำงาน (ผู้ประกอบการ เจ้าของเตา และทีมงาน) ได้ข้อสรุปดังนี้

- เตาอุบล-1 สามารถประหยัดไฟได้ประมาณ 500 กก. ต่อรอบการผลิต เทียบกับเตาหลังเดิมของผู้ประกอบการ ในช่วงแรก มีเตาที่ไม่สัมผัสเปลวไฟค่อนข้างมาก (เตาเป็นสีแดง) เนื่องจาก การกระจายเปลวไฟไม่สม่ำเสมอ ต้องมีเทคนิคการวางครก เพื่อช่วยปรับ แรงดันในเตาให้เปลวกระจายตัวดีด้วย
- เตาอุบล-2 มีครกแดงเช่นกัน ต้องมีการจัดวางครกเพื่อกระจายเปลวไฟช่วย ชะลอความเร็วของเปลวไฟ หากไม่จัดวางครกให้ดี อาจจะต้องลดขนาดปล่องลมร้อนลงอีก สามารถประหยัดไฟได้ประมาณ 500 กก. ต่อรอบการผลิต
- เตาอุบล-3 ให้การอุ่นเตาและการกระจายความร้อนดีมาก เผาครกได้สุกไวกว่าเดิม โดยครกไม่แตก หรือ ระเบิด สามารถลดเวลาในการผลิตลงได้ประมาณ 1 วัน ครกที่เผาได้มีสีดำสม่ำเสมอดี สามารถประหยัดไฟได้ประมาณ 1 คันรถ หกล้อ หรือ ประมาณ 1000 กก. ต่อรอบการผลิต
- โดยสรุปการใช้งาน ของเตาทั้ง 3 หลัง มีลักษณะที่ง่ายกว่าเดิม หรือ เหมือนเดิม เพียงแต่ผู้ประกอบการต้อง สร้างความคุ้นเคยกับการกระจายความร้อนของเตา และ พฤติกรรมของเตา และปรับเตา ให้เข้ากับเตา ก็จะสามารถทำงานได้ตามปกติ

ตัวอย่าง ผลการตรวจสอบของสีย เตาดูบล-1 (จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3)

ประธานมวร พงษ์พีระ
ครั้งที่ 3
Product ทีวี



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ◐ = Deformed Shape
- ◑ = Ring Crack
- ◒ = Scaled Surface

ครกกลับ

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก เตาอบล-1

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกจัมโบ้	4	2	5	14	0
ครกใหญ่	5	34	1	14	0
ครกกลาง	52	63	26	164	0
ครกเล็ก	24	55	9	26	0
ครกจิ๋ว	5	4	2	31	0
รวม	90	158	43	249	0
รวมทั้งหมด					540

รวมยอดของเสียทั้งหมด 540 ใบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 3500 ใบ

ของเสียส่วนใหญ่เกิดจาก Color Rejected ซึ่งเกิดจากครกที่อยู่ในเตาเผาล้มระหว่าง

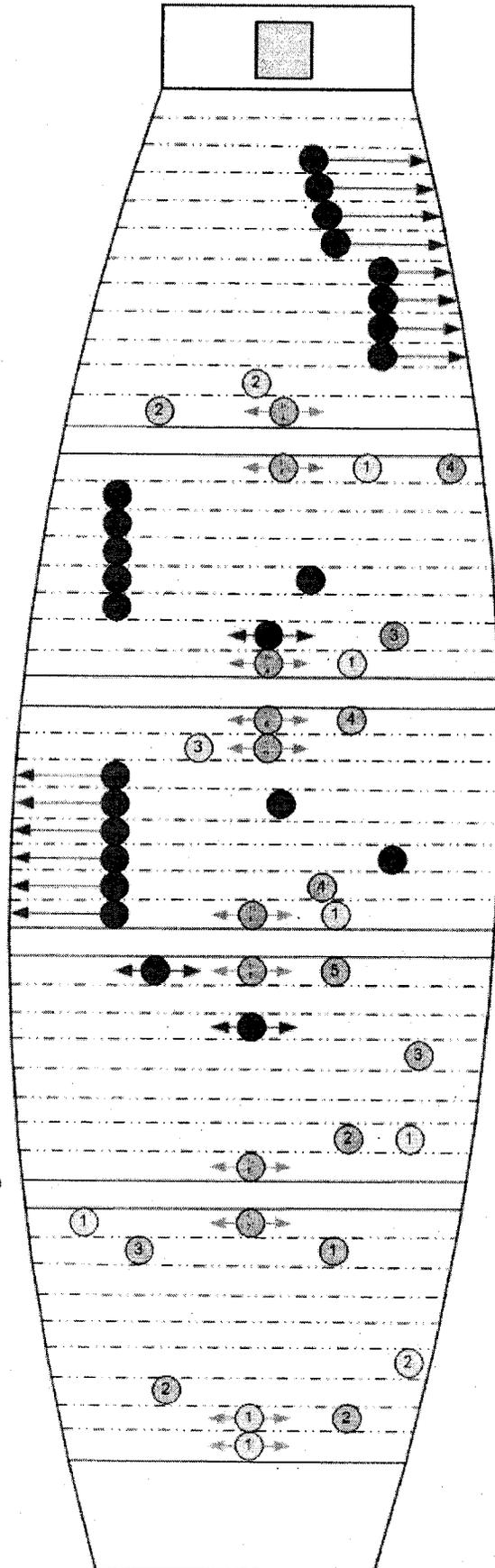
Note การเผา

ในตาแรกตั้งรูป ทำให้ไฟวิ่งอยู่ด้านล่างเตาครกจึงแดงบริเวณชั้นที่ 4-8 ทัวเตา ส่วน ของเสียแบบอื่น ๆ จะเกิดอยู่บริเวณหน้าไฟ และตามตาไฟทั่วไป

ตัวอย่าง ผลการตรวจสอบของเสีย เต้าอบล-2 (จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3)

นาย ประกอบ สมแก้ว
ผลิตภัณฑ์ ครก
ครั้งที่ 3

- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- = Deformed Shape
- = Ring Crack
- = Scaled Surface
- ตำแหน่งการเกิดของเสีย
- ◀○▶ ตำแหน่งการเกิดของเสียตลอดแนว
- ▶ ตำแหน่งการเกิดของเสีย
- ◀○ จากจุดเริ่มจนถึงหัวลูกศร
- ① ตำแหน่งชั้นการเกิดของเสีย



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก เตาอบล-2

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	9	0	21	106	0
ครกกลาง	50	137	22	62	0
ครกเล็ก	15	14	19	50	0
ครกจิ๋ว	59	198	10	262	0
รวม	133	349	72	480	0
				รวมทั้งหมด	1034

รวมยอดของเสียทั้งหมด 1034 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 4000 ไบ

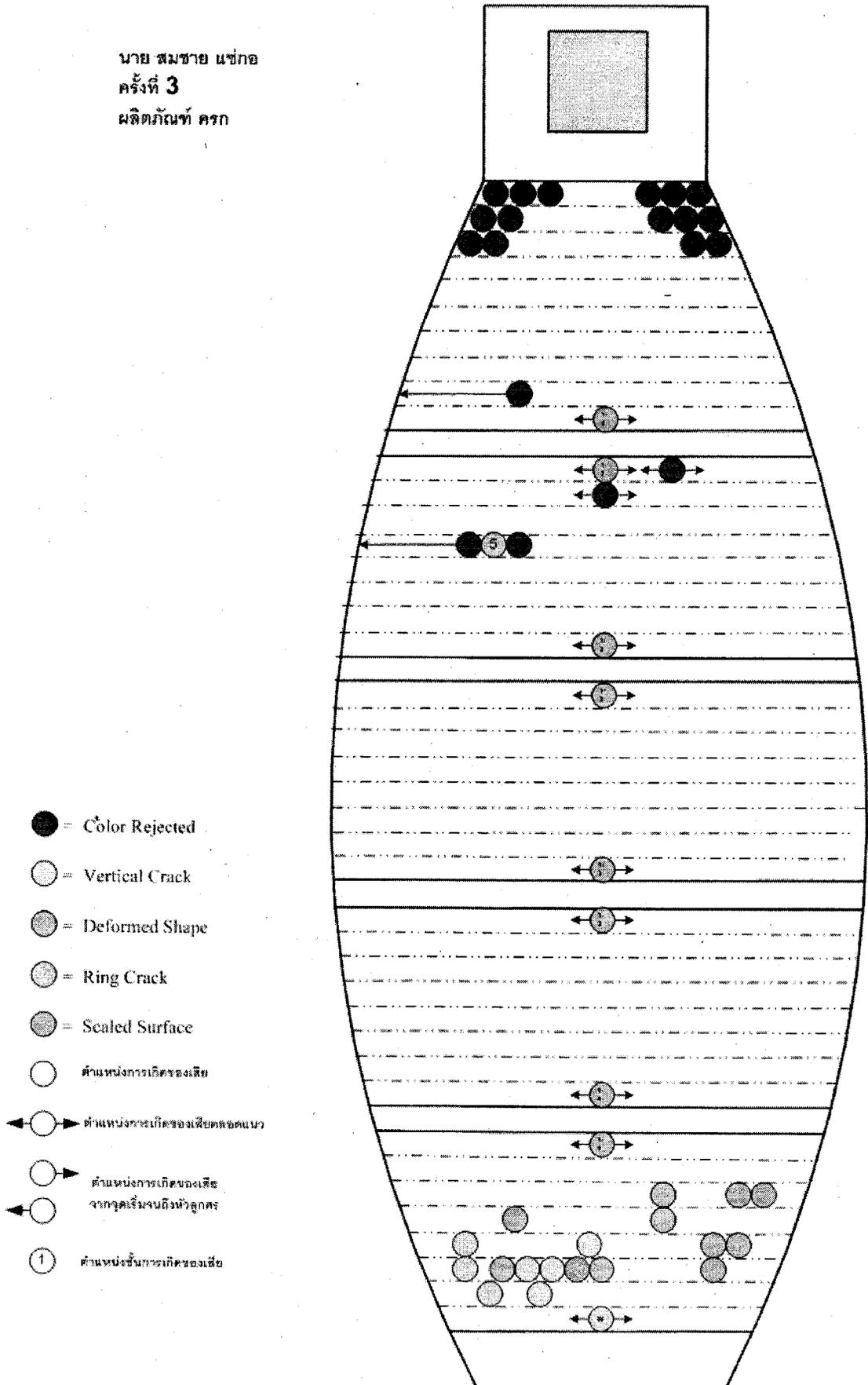
Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดแบบ Color Rejected ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่หลังเตาเกือบทั้งหมด และพบในครกใหญ่ซึ่งตั้งอยู่กลางเตาเผา

นาย เทพนิมิต มงคลเสริม

นาย พิชิต ศรีมันตะ

ตัวอย่าง ผลการตรวจสอบของสีย เตาลูบด-3 (จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3)

นาย สมชาย แซ่กอ
ครั้งที่ 3
ผลิตภัณฑ์ ครก



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก เตาอบล-3

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครก Jumbo	0	0	3	10	0
ครกใหญ่	0	0	5	3	0
ครกกกลาง	11	40	69	9	0
ครกปากพันกลาง	2	0	1	1	0
ครกปากพันเล็ก	0	0	2	20	0
ครกเล็ก	28	64	35	117	0
ครกจิ๋ว	0	4	5	27	0
ที่รองชาตู้	0	0	0	7	0
รวม	41	108	120	194	0
				รวมทั้งหมด	463

รวมยอดของเสียทั้งหมด 463 ใบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 3400 ใบ

5.3 สรุป

การออกแบบเตาดันแบบได้ใช้ความรู้เรื่อง CFD และหลักการออกแบบเตามาผนวกกัน รวมทั้งใช้ประสบการณ์จริง จากการเก็บข้อมูล และ จากการทดลองปฏิบัติ โดยคณะผู้วิจัยได้สร้างเตาเผาขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบตัวแปรต่างๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ด้วย จนกระทั่งได้เตาดันแบบที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น เป็น 16.9% ซึ่งว่าสูงมาก สำหรับเตาที่ทำงานในลักษณะนี้ เตาต้นแบบนี้ หากมีการใช้งานให้กว้างขวางมากขึ้นก็จะช่วยเพิ่มกำลังการผลิต ยังช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้ และ เป็นการลดต้นทุนอีกด้วย

บทที่ 6

การถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลการวิจัย

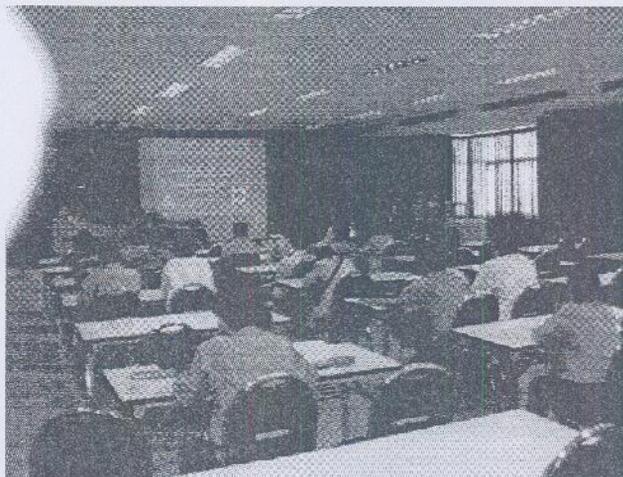
การวิจัยนี้เน้นผลจากการเก็บข้อมูล การทดสอบเตาต้นแบบ และ การส่งเสริมการใช้ผลการวิจัย หรือ การถ่ายทอดเทคโนโลยี เป็นสำคัญ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาปัญหา และ ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี

6.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

ในแผนงานวิจัย ส่วนของโครงการการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เตาเผาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยี ด้านการเผาเครื่องปั้นดินเผา และ การลดต้นทุนการผลิต ให้แก่ผู้ประกอบการในตำบลปากห้วยวังนอง และ ผู้สนใจทั่วไปอย่างเป็นทางการ ทั้งหมด 2 ครั้ง ดังนี้

6.1.1 การเสวนาปัญหาการผลิตและแนวทางการลดพลังงาน

ในชุดโครงการนี้ได้จัดให้มีการอบรม แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ ในวันที่ 24 มีนาคม 2548 ระหว่างผู้ประกอบการ (ประมาณ 20 ราย) ในปากห้วยวังนอง เอง กับ ทีมนักวิจัย และ กับผู้เชี่ยวชาญในงานเตาเผาและเครื่องปั้นดินเผาที่มีชื่อเสียงระดับประเทศคือ อ.พิช ป้อมสินทรัพย์ เจ้าของร้านดินเผา ที่ใหญ่ ที่สุดใน อ.ด่านเกวียน จ.นครราชสีมา และ อาจารย์ พิช ป้อมสินทรัพย์ ได้นำเสนอ ข้อเสนอแนะในการพัฒนากิจการเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ของปากห้วยวังนอง รูปตัวอย่างของกิจกรรมดังแสดงในรูปที่ 6.1-6.5



รูปที่ 6.1 การเสวนาและแลกเปลี่ยนความรู้ในห้องบรรยาย

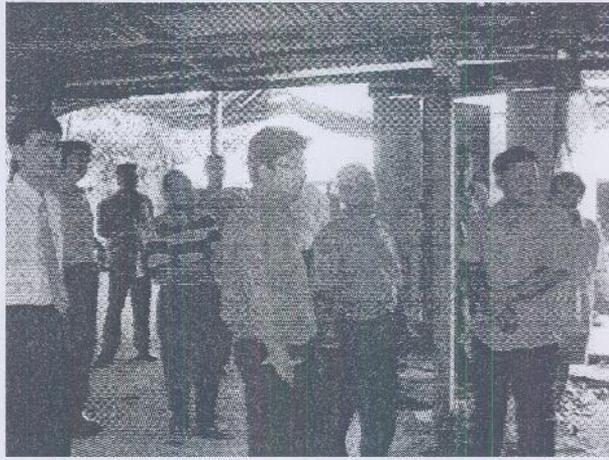
กิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี และ แลกเปลี่ยนความรู้ในครั้งนี้ จัดที่ ห้องประชุม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี หลังจากนั้น ผู้ร่วมงานทั้งหมด ได้เดินทางไปที่ ตำบลปากห้วย วังนง เพื่อ เยี่ยมชม ผู้ประกอบการรายต่างๆ และร่วมกันพูดคุยปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งเสนอข้อเสนอแนะ ใน การนี้ คณะผู้วิจัยได้ถือโอกาสสำรวจความพร้อมของผู้ประกอบการที่จะร่วมให้สถานที่ในการสร้างเตา ตันแบบและทดสอบเตาดันแบบ อีกด้วย



รูปที่ 6.2 เริ่มพาไปที่ บ้านประชาชนกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา



รูปที่ 6.3 แลกเปลี่ยนความคิดเห็นในช่วงเริ่มต้น



รูปที่ 6.4 เยี่ยมชม ให้คำแนะนำที่บ้านนาย สมชาย แซ่กอ



รูปที่ 6.5 อ.พิช ป้อมสินทรัพย์ แสดงวิธีการใช้โคน ในเตาเผาเพื่อป้องกันอุณหภูมิในเตาเผา ซึ่งจะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก (บ้าน นายประกอบ โสมแก้ว)

ผลจากการสัมมนาครั้งแรกนี้ ผู้ประกอบการ ได้ทราบถึงปัญหาและแนวทางการแก้ไขเบื้องต้น สำหรับการดำเนินการเผาเครื่องปั้นดินเผา คือ ส่วนใหญ่ จะเผาเครื่องปั้นดินเผา โดยเฉพาะครก ที่อุณหภูมิสูงเกินไป (over cooked) สิ้นเปลืองพลังงาน และอายุการใช้งานของครกสั้น การจัดวางผลิตภัณฑ์ในเตาก็เป็นแนวทางในการแก้ไขเบื้องต้น หากผู้ประกอบการ มีความรู้เบื้องต้น ด้านการสมดุลความดัน ในเตาเผา ซึ่งก็คือ การสมดุล การกระจายของเปลวไฟนั่นเอง การจัดการเรื่องฟืน หรือ เชื้อเพลิง เช่น ควรเก็บฟืนในที่แห้งเสมอ การสามารถช่วยประหยัดได้เช่นกัน

6.1.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีเตาต้นแบบ

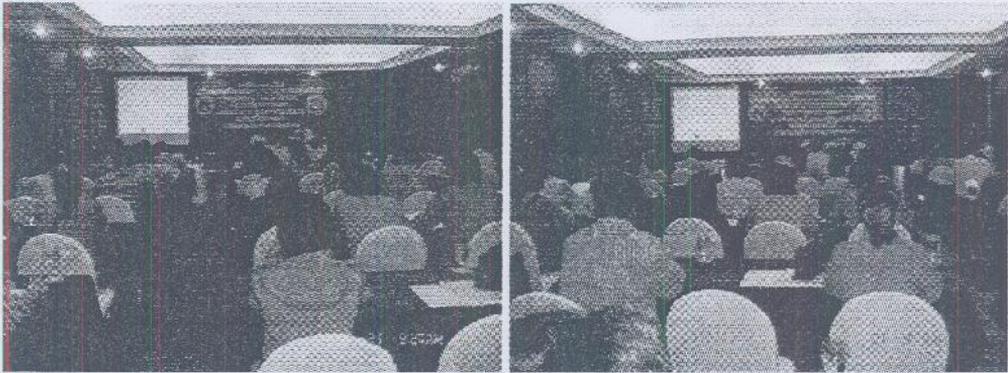
คณะผู้วิจัย ได้จัดสัมมนาถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการผลิตเครื่องปั้นดินเผา จากเตาอุโมงค์ที่ใช้ชีวมวล เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งก็คือเตาที่ผู้ประกอบการที่ปากห้วยวังนองใช้อยู่ในปัจจุบัน การสัมมนา จัดขึ้นในวันที่ 21 มีนาคม 2549 ที่โรงแรม ลายทอง จ.อุบลราชธานี โดยในงานสัมมนา ในภาคเช้า จะเน้นการนำเสนอผลการศึกษา จากแผนงานวิจัยนี้ ให้กับชุมชนผู้ประกอบการ ตั้งแต่ข้อมูลทั่วไป ปัญหาการผลิตของผู้ประกอบการ และนำเสนอเตาต้นแบบ ทั้ง 3 หลัง ที่ได้สร้าง และ ทดสอบ โดยเสนอข้อดีข้อเสีย ของเตาแต่ละหลัง และการทดสอบ เพื่อให้ผู้ที่สนใจ นำไปใช้ในอนาคต และได้แจกแบบ ของเตาแต่ละหลัง อีกด้วย รูปกิจกรรมในภาคเช้า ดังแสดงในรูปที่ 6.6-6.10 อนึ่งการสัมมนาครั้งนี้ มีเจ้าหน้าที่ จาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และ กรมธุรกิจพลังงาน ของกระทรวงพลังงาน เข้าร่วมงานด้วย และแสดงความสนใจผลการวิจัยครั้งนี้ เป็นอย่างยิ่ง



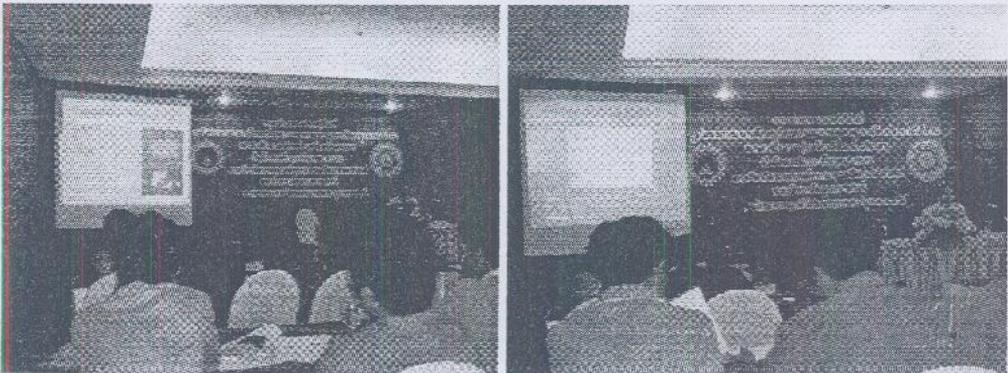
รูปที่ 6.6 การจัดงานสัมมนา ถ่ายทอดความรู้และเผยแพร่เตาต้นแบบ ที่ โรงแรม ลายทอง



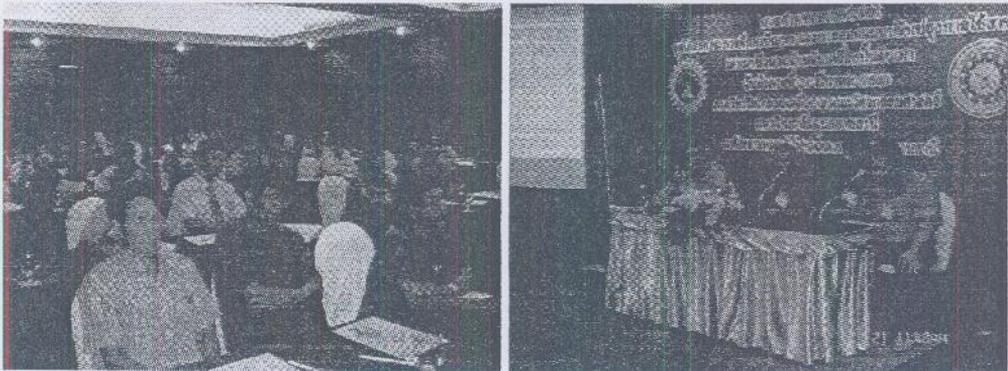
รูปที่ 6.7 บรรยากาศขณะลงทะเบียน หน้าห้องสัมมนา



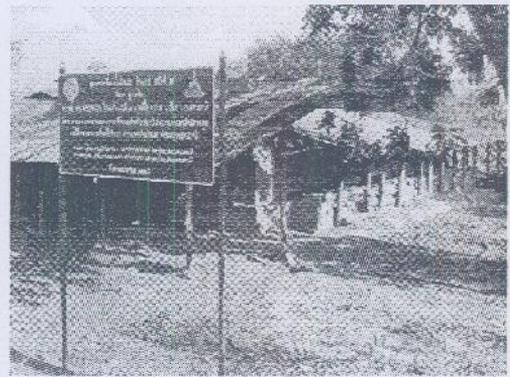
รูปที่ 6.8 บรรยายภาคภายในห้องสัมมนา โรงแรม ลายทอง



รูปที่ 6.9 บรรยายผลการเก็บข้อมูล และ ผล CFD



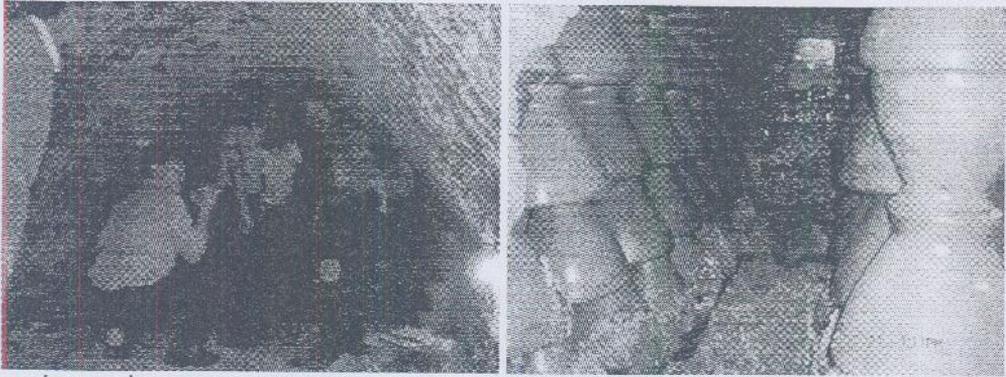
รูปที่ 6.10 บรรยายข้อดี ข้อเสีย ของเตาต้นแบบ โดย ผู้วิจัย และ ผู้ร่วมโครงการ



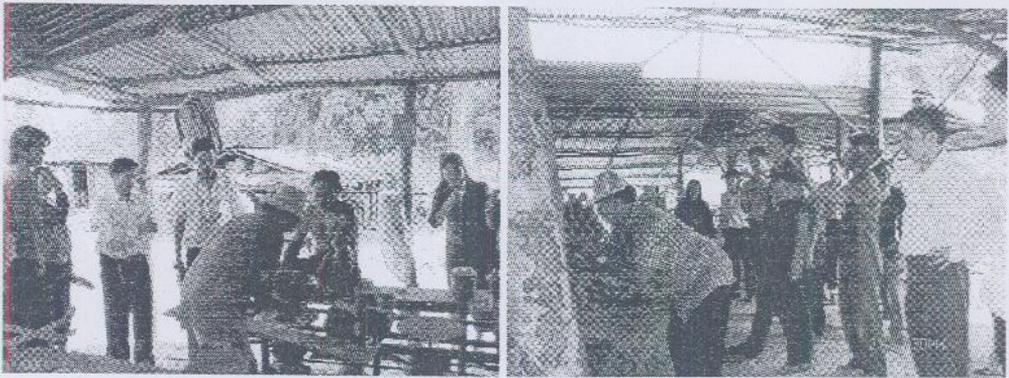
รูปที่ 6.11 ป้ายแสดงรายละเอียดเตาต้มแบบทั้ง 3 หลัง ที่บ้านผู้ประกอบการ



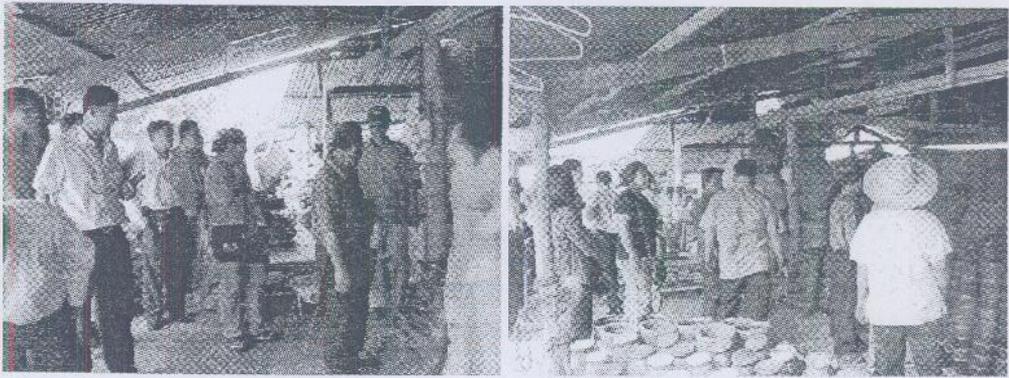
รูปที่ 6.12 เดินทางไปเยี่ยมชมเตาอุโมงค์ดั้งเดิม หลังแรกของชุมชน ริมแม่น้ำมูล



รูปที่ 6.13 เยี่ยมชมเตาต้มแบบ ตรวจสอบสภาพภายในเตา หลังที่ 1 ที่บ้าน นายบรร พงษ์พีระ



รูปที่ 6.14 เยี่ยมชมเตาต้มแบบ หลังที่ 2 บ้าน นายประกอบ โสมแก้ว



รูปที่ 6.15 เยี่ยมชมเตาต้มแบบ หลังที่ 3 บ้าน นายสมชาย แซ่กอ

ส่วนในภาคบ่าย เป็นการสัมมนาในภาคสนามโดย ผู้เข้าร่วมสัมมนาทั้งหมด ได้ไปเยี่ยมชมการทำงานของเตาต้มแบบ ทั้ง 3 หลัง ที่ได้สร้าง ดำเนินการผลิต และทดสอบผลแล้ว ดังเสนอไปแล้ว ในหัวข้อที่ 5.4 รูปกิจกรรมดังแสดงในรูปที่ 6.11-6.12

6.2 สรุป

จากการดำเนินการวิจัย คณะผู้วิจัยได้จัดอบรมเรื่องการใช้งานเตาเผาชีวมวล และการลดพลังงาน และ จัดการเผยแพร่ความรู้ จากผลการวิจัย รวมทั้งได้ สร้างเตาดั้งแบบ 3 หลังเพื่อทำการทดสอบ และ ปรับปรุงประสิทธิภาพ จนดี แล้ว ที่บ้านผู้ประกอบการ 3 ราย หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบ ได้มอบให้กับผู้ประกอบการไว้ใช้ประโยชน์ต่อไป ในวันสัมมนาคณะวิจัยได้แจก แบบของเตาดั้งแบบทั้ง 3 หลังให้ผู้สนใจไปสร้างหรือ ใช้งาน โดยผู้ประกอบการเจ้าของเตา ก็ยินดีให้ความร่วมมือ ในการให้ข้อมูล ผู้สนใจด้วย

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

7.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

แผนงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยโครงการวิจัยเดี่ยว 4 โครงการ ซึ่งแต่ละโครงการได้ดำเนินการวิจัยจนบรรลุวัตถุประสงค์ และสามารถสรุปงานทั้งหมดได้ดังนี้

- 1) ดำเนินการวิจัยการผลิตเตาเผาครก ด้วยเตาเผาแบบชีวมวล (ใช้ไม้ฟืน) เป็นเชื้อเพลิง โดยเน้นการศึกษา ที่กลุ่มผู้ผลิต ที่ บ้านปากห้วยวังนอง ต.ปทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ผลิตครกที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ในปัจจุบัน และส่งขายทั่วประเทศ
- 2) ผู้ประกอบการจำนวน 38 รายได้ร่วมการวิจัย โดยให้ข้อมูลในการผลิต รวมทั้งเสนอปัญหา และแนวทางในการแก้ไข และไม่น้อยกว่า 10 รายที่ยินดีให้ คณะวิจัยได้ติดตั้งเครื่องมือทดลอง ทำการเก็บข้อมูล ต่างๆ ระหว่างการผลิต เช่น น้ำหนักฟืน ที่ใช้ จำนวนครก ที่บรรจุ วัสดุอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในเตารวมทั้งการตรวจสอบผลผลิต และ ปริมาณ และ ประเภทของเสีย
- 3) ผลการเก็บข้อมูล พบว่า ผู้ประกอบการแทบทุกราย เผาครก ที่อุณหภูมิในเตาเผาสูงเกินความจำเป็น (มากกว่า 1000 องศาเซลเซียส) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน หรือ ทำให้ประสิทธิภาพ ของเตาเผาต่ำ ซึ่งอยู่ระหว่าง 9-11% และปริมาณของเสีย เฉลี่ยประมาณ 15-20%
- 4) ทำการศึกษาพฤติกรรมกรไหลของอากาศร้อนในเตาเผาครก โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลขของอากาศพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ที่เงื่อนไขการไหลในสถานะต่างๆ และ กับเตารูปทรงต่างๆ ที่คิดว่าจะนำมาเป็นเตาดันแบบ จากการศึกษา นี้ ทำให้ทราบถึง ผลกระทบของรูปร่างเตาต่อการไหลหรือ การกระจายตัวของอากาศร้อน เพื่อ ใช้ในการออกแบบเตาดันแบบ
- 5) ทำการออกแบบเตาดันแบบ 3 หลัง โดยยึดหลักการการออกแบบเตาเผาชีวมวล ผลการศึกษาจาก CFD และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง
- 6) สร้างเตาดันแบบ 3 หลัง ที่บ้านผู้ประกอบการ 3 ราย ที่ให้ความร่วมมือ ในการศึกษา ทำการทดสอบเตาดันแบบ 3 ครั้งเพื่อดูผลด้าน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ปริมาณของเสีย และ การใช้งานจริง
- 7) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา ดันแบบ อุบล-1 คือ 12.66 % ในขณะที่เตาอุบล-2 และ อุบล-3 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน เฉลี่ย ที่ 14.11 % และ 16.9 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณของเสียของเตาดันแบบทั้งสามหลัง สามารถลดลงเหลือ ประมาณ 10-15% และสามารถลดระยะเวลาในการผลิตได้ประมาณ 0.5-1 วัน
- 8) ทำการสัมมนา ด้านการ เพิ่มผลผลิตและการลดการใช้พลังงาน ในเตาเผาชีวมวล และ สัมมนา เผยแพร่ความรู้ ผลจากการวิจัย ให้มีการนำเตาดันแบบ ไปใช้ให้กว้างขวางมากขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ ผลการศึกษา สามารถนำไปพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปั้นดินเผา โดยเฉพาะครก หรือ กระถาง และ ช่วยลดการใช้พลังงาน และ ต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม แต่ก็ยังมีประเด็นที่สามารถนำไปศึกษา หรือ แก้ไขได้อีก เช่น

1) การศึกษา โดย CFD ในที่นี้ เป็นการศึกษาในเบื้องต้น มีการสมมุติ ตัวแปรหรือเงื่อนไขในการจำลอง เนื่องจาก ซอฟต์แวร์ที่ใช้ยังไม่สามารถจำลอง ตัวแปรเหล่านั้นได้ หากมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาชีวมวล โดยตรง (ซึ่งปัจจุบันยังไม่มี) และนำมาใช้ในการศึกษา ก็จะช่วยให้

2) การใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ควรมีการตากให้แห้ง หรือ เก็บรักษาฟืนให้แห้งอยู่เสมอ จะช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น หรือ ลดการใช้ฟืนได้ แต่ผู้ประกอบการ ไม่ได้ใส่ใจในเรื่องนี้มากนัก

3) ปัญหาเรื่องควันดำที่เกิดจากเตาชีวมวล เป็นปัญหาที่แก้ได้ยากมากเนื่องจากเป็นธรรมชาติของเตาชนิดนี้ คงต้องหาแนวทางในการดัก หรือ กำจัดได้

4) หากสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ เตาเผาชีวมวลจะเป็นการส่งเสริม อาชีพนี้ให้ยั่งยืนต่อไป

5) เรื่องความชำนาญ การสังเกตระยะความสูงของเปลวไฟจากปล่องเตา จะมีความหมายมาก หากมีการเผาที่ฤดูกาล สภาพแวดล้อมของบรรยากาศรอบเตา กระแสลม และอิทธิพลของปริมาณสินค้าที่อยู่ในเตา เพราะมีผลต่อการเผาและคุณภาพสินค้าได้ทั้งสิ้น

บรรณานุกรม

การจัดทำแผนหลักการส่งเสริมการผลิตและการใช้เตาเผาชีวมวลประสิทธิภาพสูงใน
อุตสาหกรรมชนบทขนาดเล็ก. โดยสำนักศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริม
พลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และ ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย.

ขวัญชัย ฤทธิ์เงิน. 2540. การประเมินค่า Emission Factor ของก๊าซเรือนกระจกจากเตาผลิตถ่าน
3 ประเภท. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

โครงการศึกษาความเหมาะสมเพื่อวางแผนและพัฒนาเตาเผาชีวมวลในอุตสาหกรรมชนบท.

2539. มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ เสนอต่อ กรมส่งเสริมและพัฒนาการอนุรักษ์พลังงาน.

ณัฐวุฒิ หนูเกื้อ, ปุณยศ วัลลิกุล และ บัณฑิต พึ่งธรรมสาร. 2544. การศึกษากระบวนการเผา
ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตามังกร. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ไทยครั้งที่ 15 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
กรุงเทพฯ หน้า 5.

ฉันทจิสา เกศมณี. 2540. การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการ
อุตสาหกรรมการผลิต. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี.

เดชะ ตันมีสุข. 2535. การวิเคราะห์สมรรถนะของเตาเผาเหล็ก. วิทยานิพนธ์ ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พงษ์จรูญ ศรีโสวรรณ และ วิชัย ขจรศิริฤกษ์. 2535. การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิกส์.
การสัมมนาวิชาการ เรื่องพลังงาน จัดโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับ
คณะกรรมการวิจัยพลังงานนอกแบบอาเซียน (ฝ่ายไทย) กทม. วันที่ 26 – 27 ตุลาคม 2535 หน้า 155 –
168.

พุดพิล ลิ้มปโสภาพนิช. 2543. ศักยภาพการใช้ความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิศิรา ไชยวงศ์. 2539. การวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตถ่าน.
วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมศักดิ์ จรีเวรุไวโรจน์. 2537. การนำความร้อนทิ้งของเตาควิปล่ากลับมาใช้ใหม่.
วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- D.K. Fidaros, C.A. Baxevanou, C.D. Dritselis and N.S.Vlachos. 2006. Numerical modelling of flow and transport processes in a calciner for cement production. *Powder Technology* 171:81-95.
- E. Mastorakos, A. Massias, C.D. Tsakiroglou, D.A. Goussis, V.N. Burganos and A.C. Payatakes. 1999. CFD Predictions for cement kilns including fame modelling, heat transfer and clinker chemistry. *Applied Mathematical Modelling* 23: 55-76.
- F.Marias. 2003. A model of a rotary kiln incinerator including processes occurring within the solid and the gaseous phases. *Computers and Chemical Engineering*. 27: 813-825.
- G.R. Tabor, D. Molinari, and G. Juleff. 2005. Computational simulation of air flows through a Sri Lankan wind-driven furnace. *Journal of Archaeological Science*. 32: 753-766.
- Maria da Graca Carvalho and Marcos Nogueira. 1997. Improvement of energy efficiency in glass-melting furnaces, cement kilns and baking ovens. *Applied Thermal Engineering*. 17: 921-933.
- Mastorakos. 1999. CFD predictions for cement kilns including flame modelling, heat transfer and clinker. *Applied Mathematic Modelling* 23: 55-76.
- Patankar, S.V. 2002. Computational modeling of flow and heat transfer in industrial applications. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 23: 222-231.
- R. Vuthaluru and H.B. Vuthaluru. 2006. Modelling of a wall fired furnace for different operating conditions using FLUENT. *Fuel Processing Technology*. 87:633-639
- S. Jayanti, K. Maheswaran and V. Saravanan. Assessment of the effect of high ash content in pulverized coal combustion, *Applied Mathematical Modelling*. 31(2007). 934-953.
- S. Prasertsan, G. Prateepchaikul and N. Coovattanachat. 1995. Energy Crisis in Birck Making Industry in Thailand. *R&D Journal of the Engineering Institute of Thailand* 3(1): 56-65.
- S. Prasertsan, T. Theppaya, G. Prateepchaikul and P. Kirirat. 1997. Development of an Energy – Efficient Brick Kiln. *International Journal of Energy Research* 21:1369 – 1983.
- Suhas V.Patankar. 2002. Computational modeling of flow and heat transfer in industrial applications. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 23:222-231.
- W. Trinks. 1934. *Industrial Furnaces*. 1934. John Wiley & Son, Inc. New York.
- Yongxing Yang, Markus A. Reuter and Derk T.M. Hartman. 2003. CFD Modelling for control of hazardous waste incinerator. *Control Engineering Practice*. 11: 93-101.
- Zarnescu, V. and S.V. Pisupati. 2002. An integrative approach for combustor design using CFD method. *Energy & Fuel* 16: 622-633.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผาครก และ ผู้ประกอบการ

ลำดับผู้ประกอบการ	4
รายการข้อมูล	นายลำพล พิมพ์บุตร 122 หมู่ 11 ต. ประทุม อ. เมือง จ. อุบลราชธานี 34000
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	2.2x12x1.7
กำลังการผลิตครก	2500 ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	1 ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	50000 บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด เล็ก 2.5ก.ก. กลาง 3.5ก.ก. ใหญ่ 4.5ก.ก. จัมโบ้ 6.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/1 ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน โดยประมาณคันละ 1300 บาท
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	6000 บาท ไม่รวมค่าแรง(ทำเองในครอบครัว)
รายได้ที่ขายครก/เตา	13000 บาทต่อเตา
ความยาวของฐานไฟ	2.5 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2 กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	11 วัน
ปริมาณของเสีย	เสียแบบทิ้งเลย 10% ขายได้ในราคาถูกลง 15% รวมทั้งหมด 25%

หมายเหตุ: ข้อมูลของผู้ประกอบการลำดับที่ 1-3 แสดงไว้ในรายงานแล้ว

ลำดับผู้ประกอบการ	5
รายการข้อมูล	นายอารมย์ สายมงคล 28/1 หมู่ 6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	2.4x12x1.72
กำลังการผลิตครก	2500 ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2 ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	100000 บาทรวม โรงเรือน
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครก ขนาดจิว 1.3 ก.ก. เล็ก 2.2 ก.ก. กลาง 3.2 ก.ก. ใหญ่ 4.2 ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครกเตา/1 ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	7000 บาท
รายได้ที่ขายครก 1 เตา	13000-15000 บาท ต่อเตา
ความยาวของฐานไฟ	
ขนาดเกลือที่ใช้	1 กระสอบจะใช้ได้ 3 เตา
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	7-8 วัน
ปริมาณของเสีย	แบบทิ้งเลยเสีย 12% ขายได้ในราคาถูก 20% รวม 32%

ลำดับผู้ประกอบการ	6
รายการข้อมูล	นายรัศมี จันทระเกษ 211 หมู่ 11 ต. ประทุม อ. เมือง จ. อุบลราชธานี
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2000-2400ใบ
กำลังการผลิตต่อเดือน	2ครั้งต่อ1เดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	60000บาท
ประเภทเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4ก.ก. กลาง3ก.ก. เล็ก3ก.ก. จี๊ว 1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง3คันรถ
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	8000บาท
รายได้ที่ขายเตา	12000-13000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร
ปริมาณเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	8วัน
ปริมาณของเสีย	5%ที่เสียแบบใช้ไม่ได้30%ขายในราคาถูกรวม35%

ลำดับผู้ประกอบการ	7
รายการข้อมูล	นายสุคใจ มณีพันธ์ 128 หมู่11 ต.ประทุม อ.เมือง จ. อุบลราชธานี34000
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	1500ใบ
กำลังการผลิตต่อเดือน	1เตาต่อ1เดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	30000บาท
ประเภทเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่ 4.5ก.ก. กลาง 3.5 ก.ก. เล็ก 2.5 ก.ก. จัมโบ้ 6.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/ครั้ง	5รถบรรทุกขนาดกลางใช้ได้2เตา
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	3250บาท
รายได้ที่ขายเตา	8000-10000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร
ปริมาณเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	7วัน
ปริมาณของเสีย	เสียแบบทิ้งเลย13.33%ขายได้ในราคาถูกลง20%รวม33.33%

ลำดับผู้ประกอบการ	8
รายการข้อมูล	นายสุภมิตร สิ้นหจันทร์ 152/2 หมู่11 ต. ประทุม อ. เมือง จ. อุบลราชธานี 34000
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2000-2500ใบ
กำลังการผลิตต่อเดือน	2เตาต่อ1เดือนถ้าซ้าก็ได้1เตา
ต้นทุนการสร้างเตา	10000บาท
ประเภทเครื่องปั้นดินเผา	ขนาดใหญ่4.5ก.ก.12บาท กลาง 3.8ก.ก.7บาท เล็ก2.8ก.ก.5บาท จี๋ว1.8ก.ก.3บาท
ไม้ที่ใช้เผาครกเตา/ครั้ง	2.5รถบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	3750บาท
รายได้ที่ขายเตา	11000-12000บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.5เมตร
ปริมาณเกลือที่ใช้	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	6วัน
ปริมาณของเสีย	16%-20%

ลำดับผู้ประกอบการ	9
รายการข้อมูล	นายวัฒนา แก้วคน 113 หมู่ 6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2100-2200 ใบ
กำลังการผลิตต่อเดือน	2เตาต่อ1เดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	100000 บาท รวมโรงเรือน
ประเภทเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาดใหญ่ 4.3ก.ก. กลาง 3.3ก.ก. เล็ก 2.3ก.ก. จี๊ว 1.3ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	2.5รถบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	3250 บาท
รายได้ที่ขาย1เตา	11000-12000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2 เมตร
ปริมาณเกลือที่ใช้	ใช้10 ถ้วย ประมาณ 1 ใน 3 ของเกลือ 1 กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	15 วัน
ปริมาณของเสีย	เสียแบบทิ้งไปเลย 18.18% ขายในราคาถูก 9.09% รวม 27.27%

ลำดับผู้ประกอบการ	10	
รายการข้อมูล	นายอัมรินทร์ บุญผ่อง 187 หมู่11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000	
เตาที่	1	2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)		
กำลังการผลิตครก	2000-2300ใบ	2000-2300ใบ
กำลังการผลิตต่อเดือน	3ครั้งต่อเดือน	3ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	25000บาท	25000บาท
ประเภทเครื่องปั้นดินเผา	ขนาด ใหญ่4ก.ก ขาย12บาท กลาง3ก.ก.ขาย7บาท เล็ก2ก.ก.ขาย5บาท จีว1ก.ก ขาย3บาท	
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	3รถบรรทุกขนาดกลาง	2.5รถบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	7000-8000บาท	7000-8000บาท
รายได้ที่ขาย1เตา	13000-14000บาท	13000-14000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร	2เมตร
ปริมาณเกลือที่ใช้	1กระสอบ	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	8-9วัน	8-9วัน
ปริมาณของเสีย	ใส่ครก2500เสีย12%	ใส่ครก12%

ลำดับผู้ประกอบการ	11
รายการข้อมูล	นายจารึก วงศ์ตรี 384 หมู่11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2300-2400 ใบ
กำลังการผลิตต่อเดือน	1ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	30000บาท
ประเภทเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาดใหญ่ 4.2ก.ก. กลาง3.2ก.ก. เล็ก 2.2ก.ก. จั้ว 1.3ก.ก
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/ครั้ง	3รถบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	3000-5000บาท
รายได้ที่ขายเตา	10000-12000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5เมตร
ปริมาณเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	30วัน
ปริมาณของเสีย	เสียแบบขายไม่ได้เลย16.66%ขายได้ถูก20.83%รวม37.49%

ลำดับผู้ประกอบการ	12
รายการข้อมูล	นายสำรี พันธุ์มูล 42 หมู่ 6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สำรี
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2800 ไร่
กำลังการผลิต/เดือน	2 ครั้งต่อ 1 เดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	50000 บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่ 4 ก.ก. กลาง 3 ก.ก. เล็ก 3 ก.ก. จีว 1.5 ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครกเตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิตครั้ง	5000 บาท (ไม่รวมค่าแรงเพราะทำเอง)
รายได้ที่ขายครกเตา	14000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1.5 กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	15 วัน
ปริมาณของเสีย	10.71% - 14.28%

ลำดับผู้ประกอบการ	13
รายการข้อมูล	นายรุ่ง ประทุมมา 158/1 หมู่ 11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	รุ่ง 1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2500 ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2 ครั้งต่อ 1 เดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	20000 บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่ 4.5 ก.ก. กลาง 3.5 ก.ก. เล็ก 2.5 ก.ก. จี๋ว 1.5 ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก 1 เตา / ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	10000 บาท
รายได้ที่ขายครก 1 เตา	12000 บาท - 16000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.6 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1 กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	15 วัน
ปริมาณของเสีย	12%

ลำดับผู้ประกอบการ	14
รายการข้อมูล	นายเสถียรพร พงษ์พีระ 221 หมู่ 6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	เสถียรพร 1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2000 ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2 ครั้งต่อ 1 เดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	30000 บาท - 40000 บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นกระถางขนาด ใหญ่ 5ก.ก. กลาง 3ก.ก. จี๋ว 1.5ก.ก
ไม้ที่ใช้เผาครก 1เตา/1ครั้ง	1.5 รถบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	3000 บาท
รายได้ที่ขายครก 1เตา	13000-14000 บาท หรือ 8000-9000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.28 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	ไม้ใส่เกลือ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	15 วัน
ปริมาณของเสีย	60-70 ใบ

ลำดับผู้ประกอบการ	15
รายการข้อมูล	นายอรุณ ขจัดภัย 160 หมู่ 11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	อรุณ 1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	1500 ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2 ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	20000 บาท รวมทุกอย่าง 100000 บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่ 4.3 ก.ก. กลาง 3.2 ก.ก. เล็ก 2.2 ก.ก. จีว 1.5 ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/1 ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 2 คัน
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	6000 บาท
รายได้ที่ขายครก/เตา	10000-11000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1 กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	15 วัน
ปริมาณของเสีย	23.33%-33.33%

ลำดับผู้ประกอบการ	16
รายการข้อมูล	นางวันคำ ชรรวมวงศ์ศรี 155 หมู่ 11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	วันคำ
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตกรก	3000 ใบขึ้นไป
กำลังการผลิต/เดือน	1-2 ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	40000 บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาดใหญ่ 4.2 ก.ก. กลาง 3.2 ก.ก. เล็ก 2.2 ก.ก. จัมโบ้ 6 ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน และ 4 คัน ในฤดูฝน
ต้นทุนในการผลิตครั้ง	7000-8000 บาท
รายได้ที่ขายครก/เตา	10000-13000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2 กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	15-20 วัน
ปริมาณของเสีย	แตกผ่นเป็นส่วนใหญ่

ลำดับผู้ประกอบการ	17
รายการข้อมูล	นายจิม ขจัดภัย 154 หมู่ 11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	จิม 1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	4000 ใบ (ครกเล็กเป็นส่วนใหญ่)
กำลังการผลิต/เดือน	1 ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	50000 บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่ กลาง เล็ก จี๊ว
ไม้ที่ใช้เผาครก 1 เตา / 1 ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 2.5 คัน
ต้นทุนในการผลิต 1 ครั้ง	4500 บาท
รายได้ที่ขายครก 1 เตา	27000 บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5 เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	0.5 กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	30 วัน
ปริมาณของเสีย	400-500 ใบ 10%-12.50%

ลำดับผู้ประกอบการ	18
รายการข้อมูล	นายมนเทียร พงษ์พีระ 161ม.6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	มนเทียร1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	3500ใบ (ปั่นครกและกระถางข้าง)
กำลังการผลิต/เดือน	3ครั้งต่อเดือน ช่วงนำฝนได้1ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	รวมโรงเรือน 100000 บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.3ก.ก. กลาง3.3ก.ก. เล็ก 2.3 ก.ก. จีว1.5ก.ก. จัมโบ้ 6-10ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	7000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	20000บาท-23000บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/3ของกระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	10วัน
ปริมาณของเสีย	ครกใหญ่50% ครกกลาง36.36%

ลำดับผู้ประกอบการ	19
รายการข้อมูล	นายสมไทย ทิมพัฒน์ 162 ม.6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สมไทย1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2000ใบ(กระถาง)
กำลังกราฟผลิต/เดือน	1ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	30000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	กระถางขนาด 7ก.ก. 6ก.ก. 5ก.ก. 4ก.ก. 3ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 2 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	8000-9000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	16000-17000บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	20ก.ก.
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	30วัน
ปริมาณของเสีย	10%

ลำดับผู้ประกอบการ	20	
รายการข้อมูล	นายลำพอง คัดทวี 172ม.11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000	
เตาที่	ลำพอง1	ลำพอง2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)		
กำลังการผลิตครก	2200ใบ	2200ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	3ครั้งต่อเดือน รวมการผลิตทั้ง2เตา	
ต้นทุนการสร้างเตา	66000บาททั้งสองเตา	
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่ 4.3ก.ก. กลาง3.3ก.ก. เล็ก2.3ก.ก. จี๋1.3ก.ก.	
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	11100บาท	11100บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	15000บาท	15000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร	2เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	16.66%-12.5%	16.66%-12.5%
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	7วัน	7วัน
ปริมาณของเสีย	30%	30%

ลำดับผู้ประกอบการ	21
รายการข้อมูล	นายสมชาย วิเศษไชย 177ม.11 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สมชาย1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	3400ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2-3ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	10000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.5ก.ก. กลาง3.5ก.ก. เล็ก2.5ก.ก. จีว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	5000-7000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	10000บาท (เป็นอย่างต่ำ)
ความยาวของฐานไฟ	2.1เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	10-15วัน
ปริมาณของเสีย	26.92%

ลำดับผู้ประกอบการ	22
รายการข้อมูล	นายขงยุทธ สว่างวงศ์ 157 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	ขงยุทธ1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2500ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	มีคนงานได้2-3ครั้งต่อเดือน หรือ1ครั้งต่อเดือนหากไม่มีคนงาน
ต้นทุนการสร้างเตา	20000-30000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.5ก.ก. กลาง3.5ก.ก. เล็ก2.2ก.ก. จีว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	8000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	13000บาท (เป็นอย่างต่ำ)
ความยาวของฐานไฟ	2.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	10-15วัน หรือ30วัน
ปริมาณของเสีย	16%

ลำดับผู้ประกอบการ	23		
รายการข้อมูล	นายสมชาย แซ่ก้อ 3/1 ม.4 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000		
เตาที่	สมชาย1	สมชาย2	สมชาย3
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)			
กำลังการผลิตครก	3000ใบ	3000ใบ	3000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2-3ครั้งต่อเดือน	2-3ครั้งต่อเดือน	2-3ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	50000บาท	50000บาท	50000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ขนาด ใหญ่4.2ก.ก.ดิน กลาง3.2ก.ก.ดิน เล็ก2.2ก.ก.ดิน จี๋ว1.2ก.ก.ดิน		
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	4500บาท	4500บาท	4500บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	15000บาท	15000บาท	15000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร	2เมตร	2เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ	1/2กระสอบ	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	6-15วัน	6-15วัน	6-15วัน
ปริมาณของเสีย	10%-15%	10%-15%	10%-15%

ลำดับผู้ประกอบการ	24
รายการข้อมูล	นางศิริพร ภาผล 34ม.9 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	ศิริพร1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	3000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	1ครั้งต่อเดือน(ทำในครอบครัว)
ต้นทุนการสร้างเตา	50000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4ก.ก. กลาง3ก.ก. เล็ก2ก.ก. จี๋ว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	7000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	14000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ (กระสอบละ75บาท)
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	30วัน
ปริมาณของเสีย	30.66%

ลำดับผู้ประกอบการ	25
รายการข้อมูล	นางยุพิน ภาผล
เตาที่	ยุพิน1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	3000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	50000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4ก.ก. กลาง3ก.ก. เล็ก2ก.ก. จีว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	12000บาท(รวมทั้ง2เตา เฉลี่ย6000บาทต่อเตา)
รายได้ที่ขายครก1เตา	15000บาท(1เตา)
ความยาวของฐานไฟ	2.6เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	15วัน
ปริมาณของเสีย	16.67%

ลำดับผู้ประกอบการ	26
รายการข้อมูล	นายจิตรกร พงษ์พีระ 111ม.6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	จิตรกร1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	1000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	25000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นกระถางขนาด ใหญ่ 4.5ก.ก. กลาง 3ก.ก. เล็ก 2ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 2 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	3100บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	10000บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	10-15วัน
ปริมาณของเสีย	10%

ลำดับผู้ประกอบการ	27	
รายการข้อมูล	นายอ่อนสี แสนทวีสุข	
เตาที่	อ่อนสี1	อ่อนสี2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)		
กำลังการผลิตครก	2700ใบ	1800ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	3ครั้งต่อเดือน(ทั้ง2เตา)	
ต้นทุนการสร้างเตา	25000บาท	20000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ขนาด ใหญ่4.2ก.ก. กลาง3.2ก.ก. เล็ก2.5ก.ก. จี๋ว1.5ก.ก.	
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 2.5 คัน	รถบรรทุกขนาดกลาง 2 คัน
ต้นทุนในการผลิตครั้ง	ไม่แน่นอน	ไม่แน่นอน
รายได้ที่ขายครก1เตา	เผา4เตาจะขายได้ 36000-40000บาท	
ความยาวของฐานไฟ	1.9เมตร	1.9เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	10-15วัน	10-15วัน
ปริมาณของเสีย	4เตา9400ใบ ได้5000-7000ใบ 25.53% - 46.8%	

ลำดับผู้ประกอบการ	28	
รายการข้อมูล	นางสาคร ภาผล 138ม.9 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000	
เตาที่	สาคร1	สาคร2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)		
กำลังการผลิตกรก	3000-3500ใบ	3000-3500ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	4ครั้งต่อเดือน(ทั้ง2เตา)	
ต้นทุนการสร้างเตา	30000บาท	30000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นกรกขนาด ใหญ่4.2ก.ก. กลาง3.2ก.ก.เล็ก2.2ก.ก. จีว1.5ก.ก.	
ไม้ที่ใช้เผากรก1เตา/1ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	11000-12000บาท	11000-12000บาท
รายได้ที่ขายกรก1เตา	16000บาท	16000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.3เมตร	2.3เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้		
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	15วัน	15วัน
ปริมาณของเสีย	10%	10%

ลำดับผู้ประกอบการ	29
รายการข้อมูล	นางศิริวรรณ ขอพันธ์ 362 ม.6 ต. ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	ศิริวรรณ1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2500ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	30000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.2ก.ก. กลาง3.2ก.ก. เล็ก2.5ก.ก. จี๋ว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิตครั้ง	7500บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	10000-12000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	15วัน
ปริมาณของเสีย	26%

ลำดับผู้ประกอบการ	30
รายการข้อมูล	นายสมศักดิ์ มณีพันธ์ 121ม.5 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สมศักดิ์1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	1000-2000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2-3ครั้งต่อเดือน (แล้วแต่ว่าจะปั่นครกได้ทันหรือเปล่า)
ต้นทุนการสร้างเตา	20000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั่นครกขนาด ใหญ่4.3ก.ก. กลาง3.3ก.ก. เล็ก2.3ก.ก. จี๋ว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 2.5 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	5000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	11000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	10-15วัน
ปริมาณของเสีย	24.09%-34.09%

ลำดับผู้ประกอบการ	31
รายการข้อมูล	นายสุรศักดิ์ ประทุมมา
เตาที่	สุรศักดิ์ 1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2500-2600ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	1-2ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	10000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.3ก.ก. กลาง3.3ก.ก. เล็ก2.3ก.ก. จี๋1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิตครั้ง	7000-8000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	14000-15000บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.2-1.3เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ ได้2-3เตา
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	15วัน
ปริมาณของเสีย	7.20%

ลำดับผู้ประกอบการ	32
รายการข้อมูล	นาย ปุ๊ก กสุวรรณ 163 ม.6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	ปุ๊ก
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2600-2700ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	1ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	50000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นกรกขนาด ใหญ่4.2ก.ก. กลาง3.2ก.ก. เล็ก2.2ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก/เตา/1ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 ตั้
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	10000-12000บาท
รายได้ที่ขายครก/เตา	14000-15000บาท
ความยาวของฐานไฟ	
ขนาดเกลือที่ใช้	1/2กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	30วัน
ปริมาณของเสีย	33%

ลำดับผู้ประกอบการ	33
รายการข้อมูล	นายสอน ภาผล 412ม.6 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สอน1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	3ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	20000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.5ก.ก. กลาง3.5ก.ก. เล็ก2.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	5000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	10000-12000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/3กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	10วัน
ปริมาณของเสีย	37.50%

ลำดับผู้ประกอบการ	34	
รายการข้อมูล	นายประกอบ โสมแพรว 34/เม.9 ต. ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000	
เตาที่	ประกอบ1	ประกอบ2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)		
กำลังการผลิตกรก	3400ใบ	3400ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	รวมกำลังการผลิตทั้ง2เตา ก็ได้6ครั้งต่อเดือน	
ต้นทุนการสร้างเตา	30000บาท	30000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นกรกขนาด ใหญ่4.5ก.ก. กลาง3.5ก.ก. เล็ก2.5ก.ก. จี๋ว2.2ก.ก.	
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/1ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 5.5 คัน(เผาได้2เตา)	
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	11000บาท	9000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	15000บาท	12000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5เมตร	2.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้		
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	10วัน	10วัน
ปริมาณของเสีย	17.36%	17.36%

ลำดับผู้ประกอบการ	35
รายการข้อมูล	นายสมเกียรติ เชื้อพันธ์ 28ม.9 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สมเกียรติ
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	3500ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2ครั้งต่อเดือน หรือ2เดือนต่อ5ครั้ง
ต้นทุนการสร้างเตา	25000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4ก.ก. กลาง3ก.ก. เล็ก2ก.ก. จี๋ว1.5ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	14000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	17000-18000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2-2.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1/3กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	ไม่แน่นอนแล้วแต่ว่าจะปั้นครกได้ทันหรือการตากให้ครกแห้ง
ปริมาณของเสีย	11.71%

ลำดับผู้ประกอบการ	36	
รายการข้อมูล	นายชัยวัฒน์ หลอดท้าว 14/1ม.8 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000	
เตาที่	ชัยวัฒน์1	ชัยวัฒน์2
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)		
กำลังการผลิตครก	3000ใบ	3000ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2-3ครั้งต่อเดือน	
ต้นทุนการสร้างเตา	20000บาท	20000บาท
ประเภทของ เครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4.3ก.ก. กลาง3.3ก.ก. เล็ก2.5ก.ก. จี๋ว1.5ก.ก.	
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/1ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน(เหลือชนิด น้อย)	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน(เหลือชนิด น้อย)
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	11000-12000บาท	11000-12000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	15000บาท	15000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2เมตร	2เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดใน กระบวนการ	10-15วัน	10-15วัน
ปริมาณของเสีย	8%	8%

ลำดับผู้ประกอบการ	37
รายการข้อมูล	นายสมใจ สหัสจันทร์ 36ม.8 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	สมใจ
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	300ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	2ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	8000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ประเภทกระถางสวยงาม ประเภทหลายแบบ
ไม้ที่ใช้เผาครกเตา/ครั้ง	ใช้ฟืนไม่ถึง 1 รดบรรทุกขนาดกลาง
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	2000บาท
รายได้ที่ขายครกเตา	ได้3000-5000บาท
ความยาวของฐานไฟ	1.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	5-6 กิโลกรัม
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	15วัน
ปริมาณของเสีย	20-50ใบ 6.67-16.667%

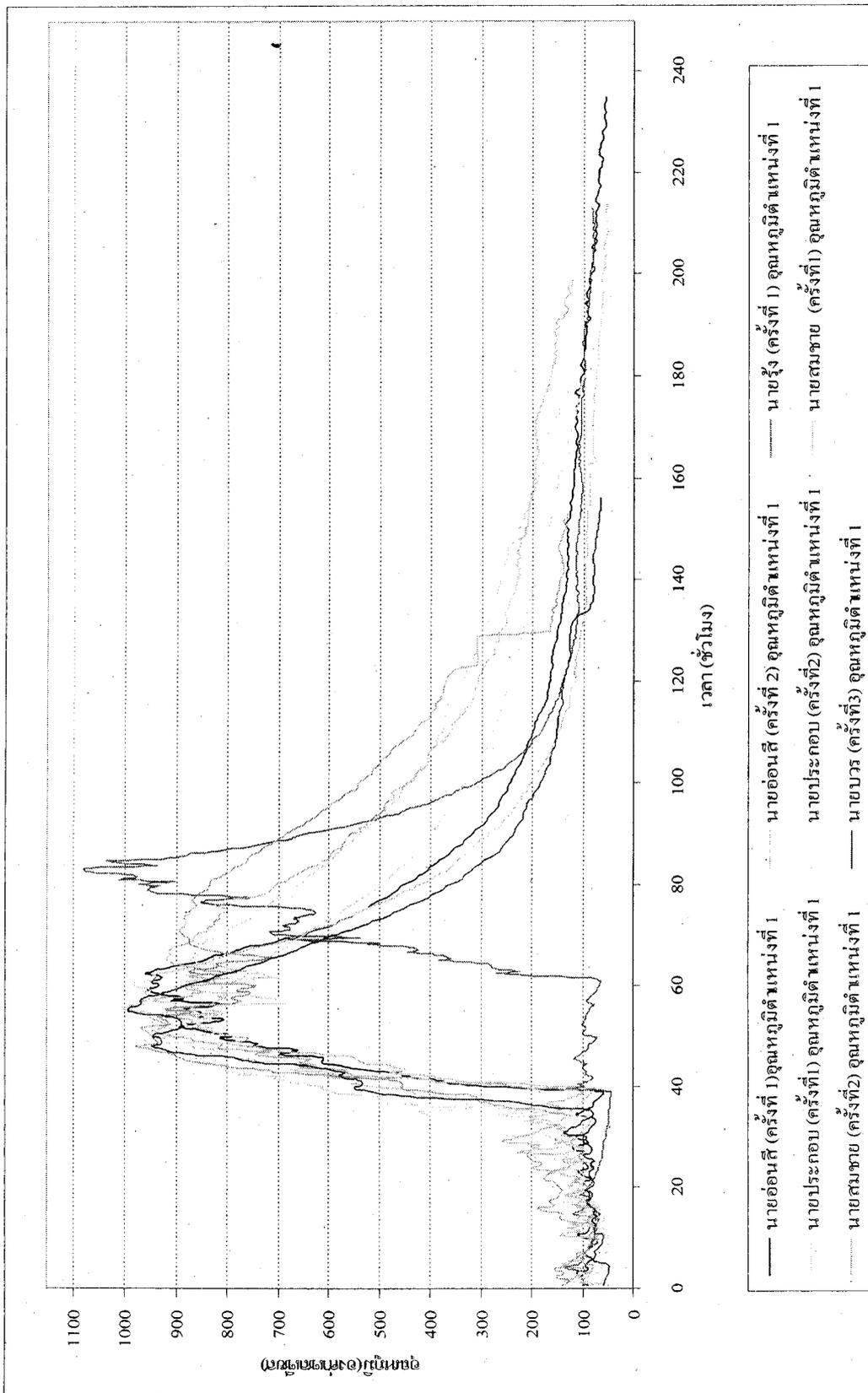
ลำดับผู้ประกอบการ	38
รายการข้อมูล	นายภูวนัย ชัยแสนภู 42ม.9 ต.ประทุม อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
เตาที่	ภูวนัย1
ขนาด(กว้างxยาวxสูง)(m)	
กำลังการผลิตครก	2700-2800ใบ
กำลังการผลิต/เดือน	1ครั้งต่อเดือน
ต้นทุนการสร้างเตา	15000บาท
ประเภทของเครื่องปั้นดินเผา	ปั้นครกขนาด ใหญ่4ก.ก. กลาง3ก.ก. เล็ก2ก.ก. จี๊ว1.3ก.ก.
ไม้ที่ใช้เผาครก1เตา/1ครั้ง	รถบรรทุกขนาดกลาง 3 คัน3.5คัน(รถละ1000บาท)
ต้นทุนในการผลิต1ครั้ง	3000บาท
รายได้ที่ขายครก1เตา	11000บาท
ความยาวของฐานไฟ	2.5เมตร
ขนาดเกลือที่ใช้	1กระสอบ
เวลาทั้งหมดในกระบวนการ	30วัน
ปริมาณของเสีย	18.42%

ตัวอย่างประสิทธิภาพเตา

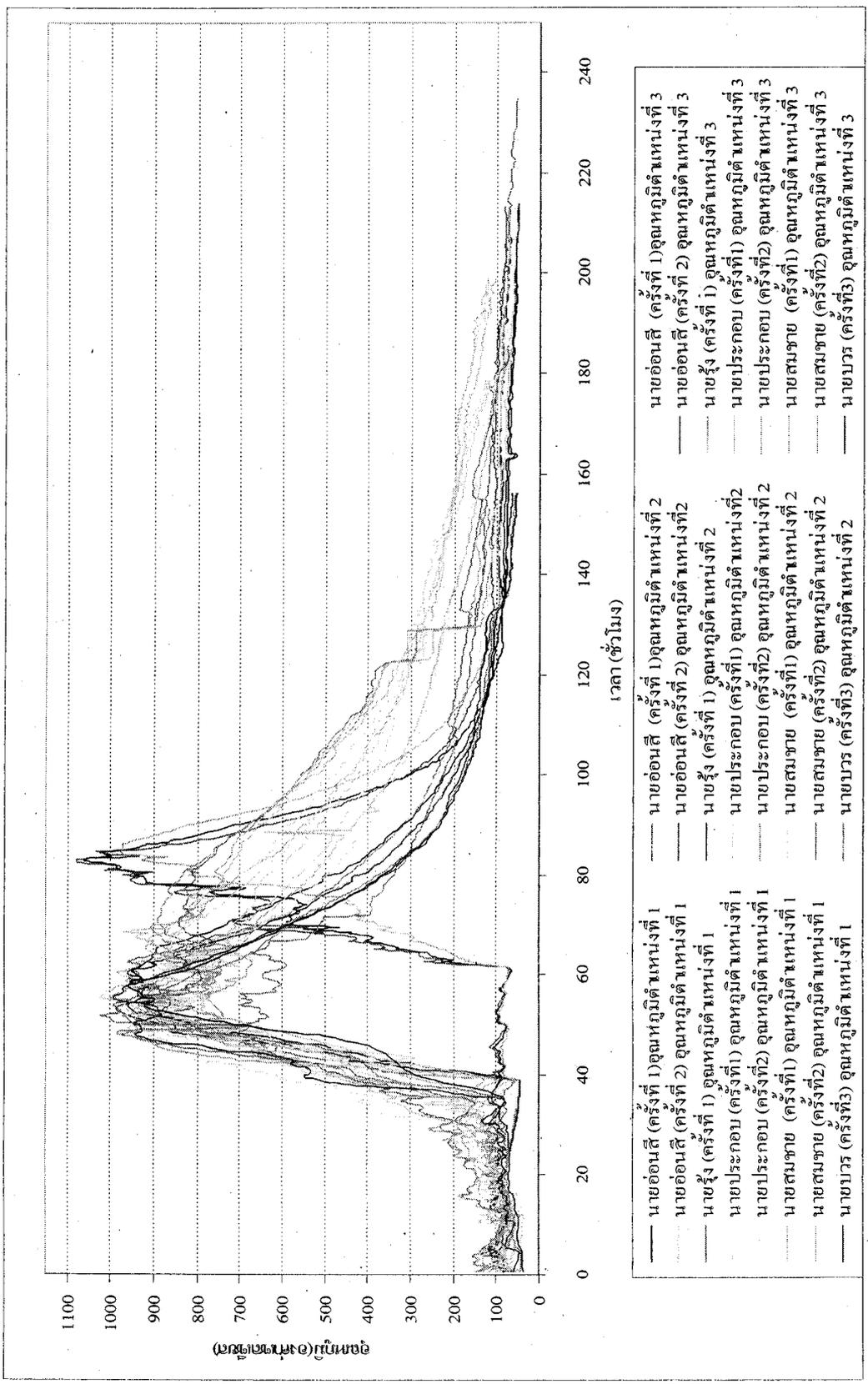
ผู้ประกอบการ	จำนวน ครก	m	mf มวลของ น้ำ	ปริมาณ พื้น (mf) Qi	HV	T max	T min	Hfg	Cp	Qi	Qu	ประสิทธิภาพเตา
FF	3400 ใบ											
	ครก	7789.7273	878.412727	5491	15990	1317.6	308	2258	0.96	87801090	9533384.2	10.85793382
KK	1800 ใบ											
	เตาเล็ก	4285.9636	465.8236362	3440	15990	1345	308	2258	0.96	55005600	5318592.3	9.669183301
O เก้า	3000 ใบ											
	ครก	6830.7	764.3490906	5359	15990	1299	308	2258	0.96	85690410	8224355	9.597754287
J	2500 ใบ											
	ครก	5750.1545	749.9899997	4660	15990	1364.6	308	2258	0.96	74513400	7526066.2	10.10028556
B	2500 ใบ											
	ครก	5440.4818	639.7536361	4731	15990	1404	308	2258	0.96	75648690	7168821.1	9.476464246
V	1000											
	กระถาง	2416.1273	335.8272726	2020	15990	1392.6	308	2258	0.96	32299800	3274008.4	10.13631154
A	2000 ใบ											
	ครก	4406.7636	547.6163634	3946.5	15990	1301.7	308	2258	0.96	63104535	5440358.7	8.621185044

ภาคผนวก ข

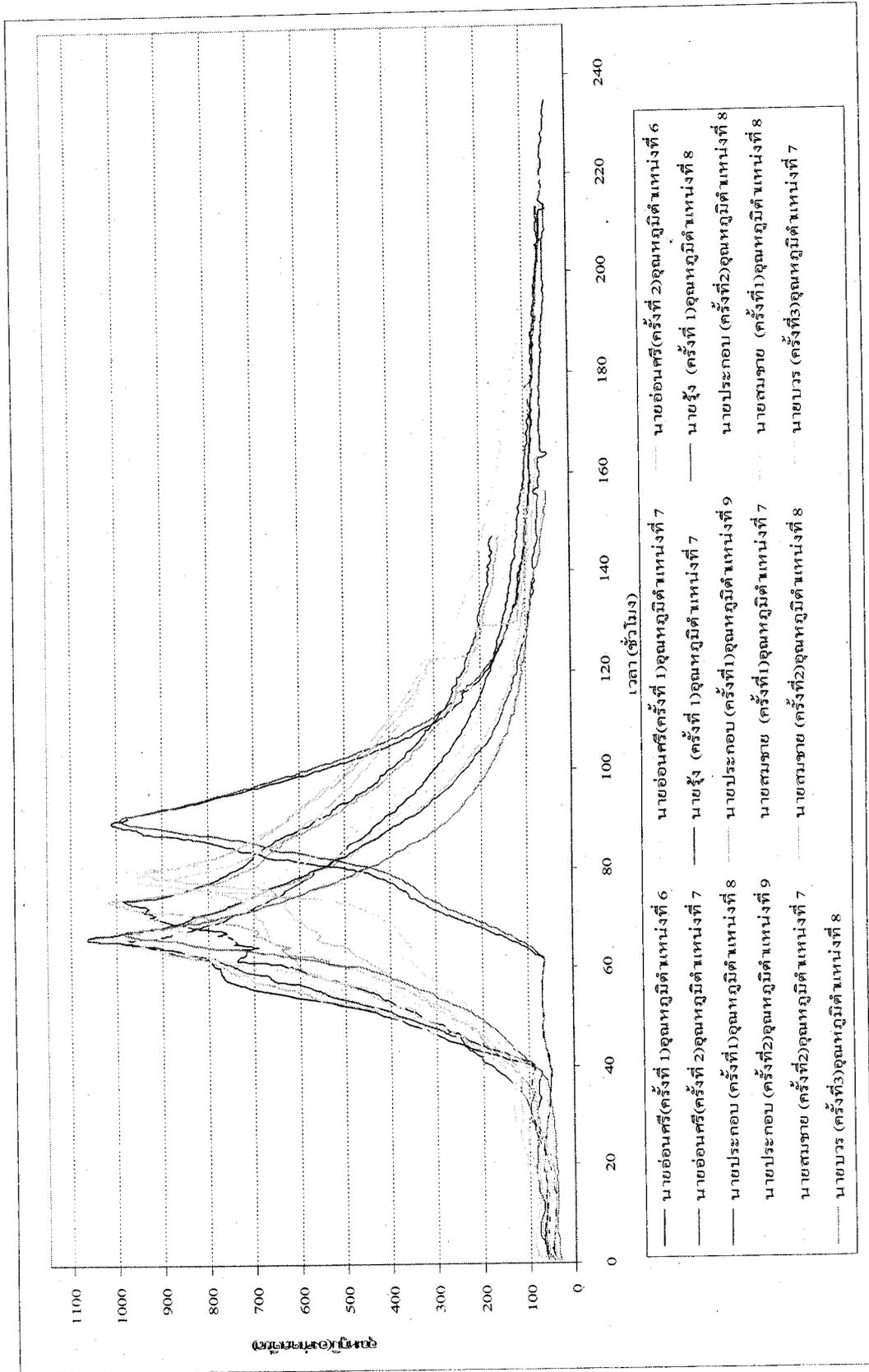
กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในตา



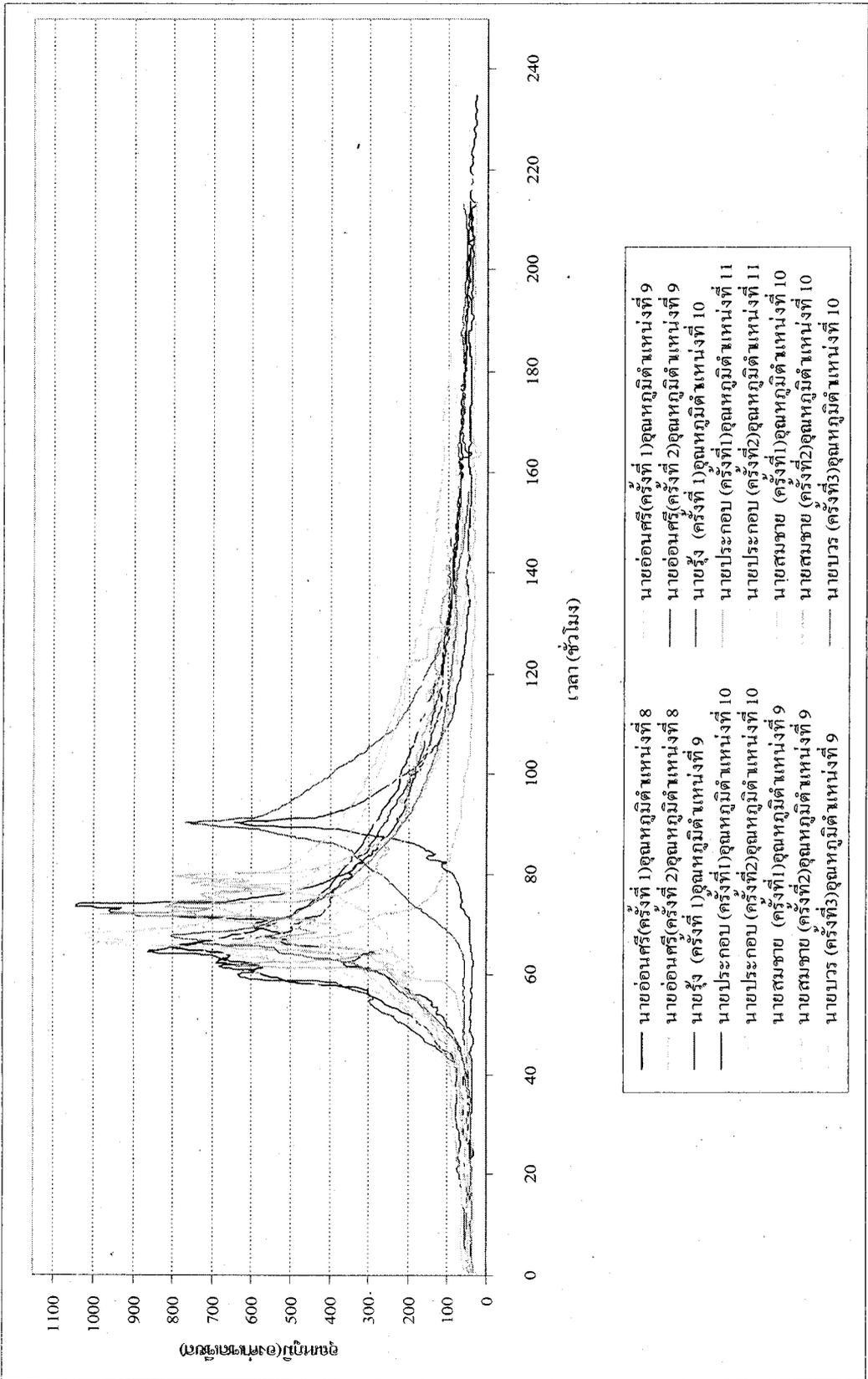
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิตำแหน่งที่ 1 ของทุกผู้ประกอบการ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกลุ่มหน้าไฟของทุกผู้ประกอบการ



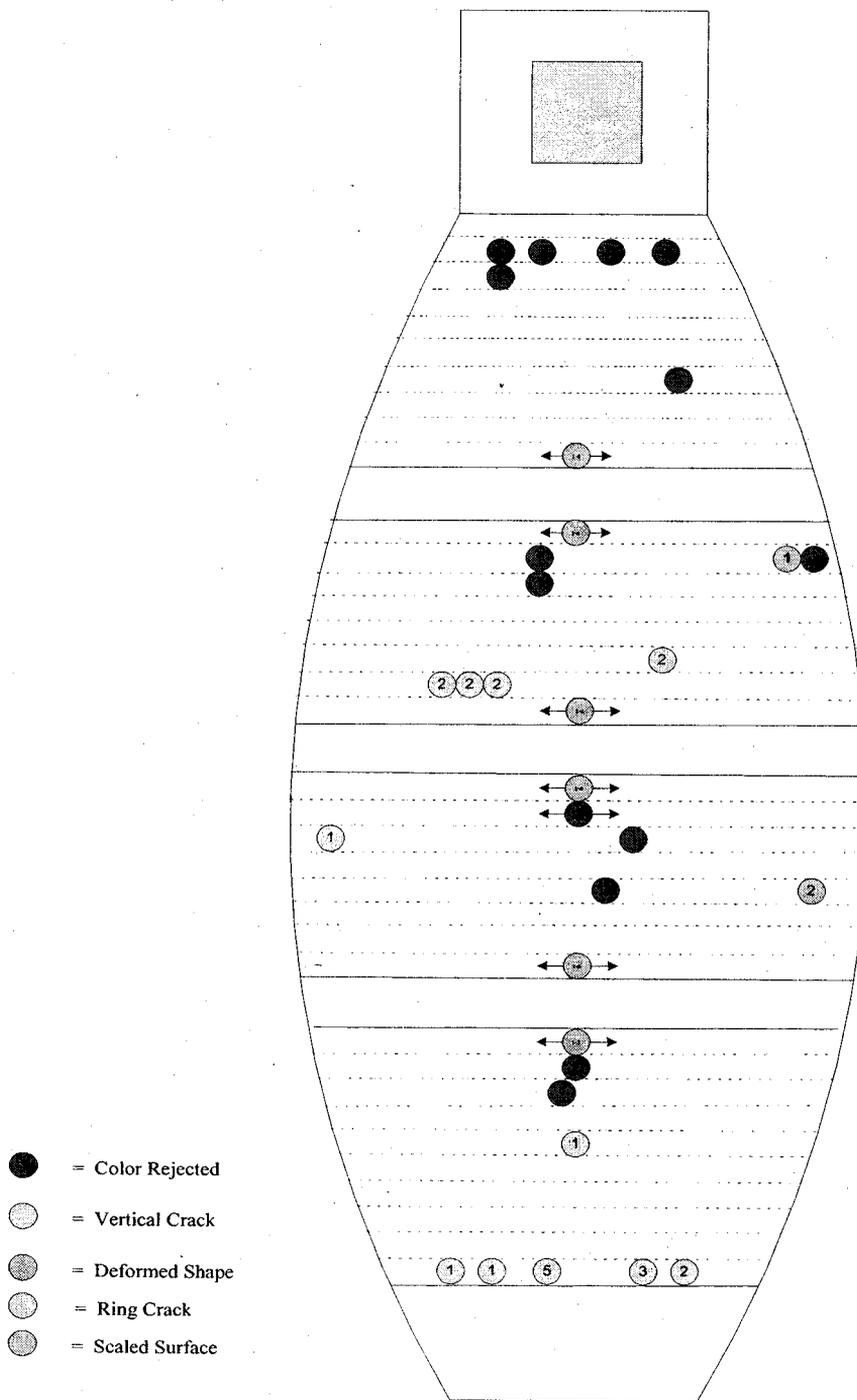
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกลุ่มท้ายเตาของทุกผู้ประกอบการ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้ประกอบการ

ภาคผนวก ก
แผนที่ของเสียของแต่ละผู้ประกอบการ

แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายทวี ทิณพัฒน์

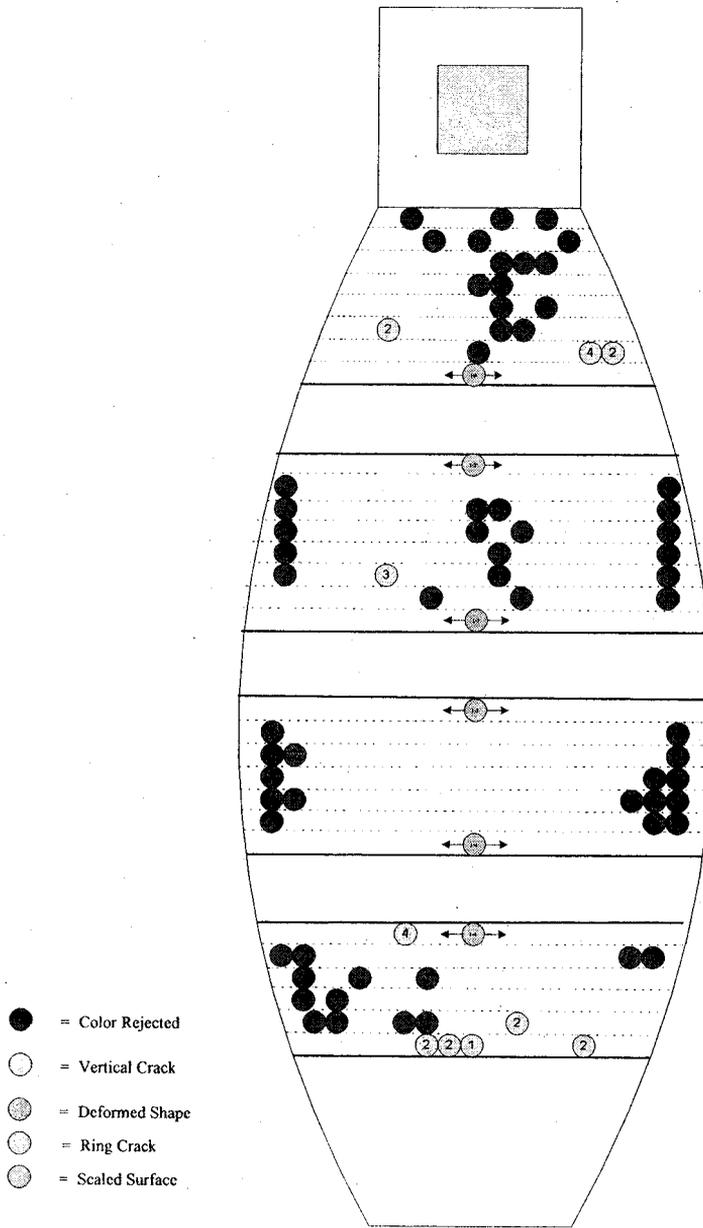


ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
268	-	165	62	82	577

*** ของเสียเกรด B และ C รวมกัน

แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายวัฒนา แก้วดอน

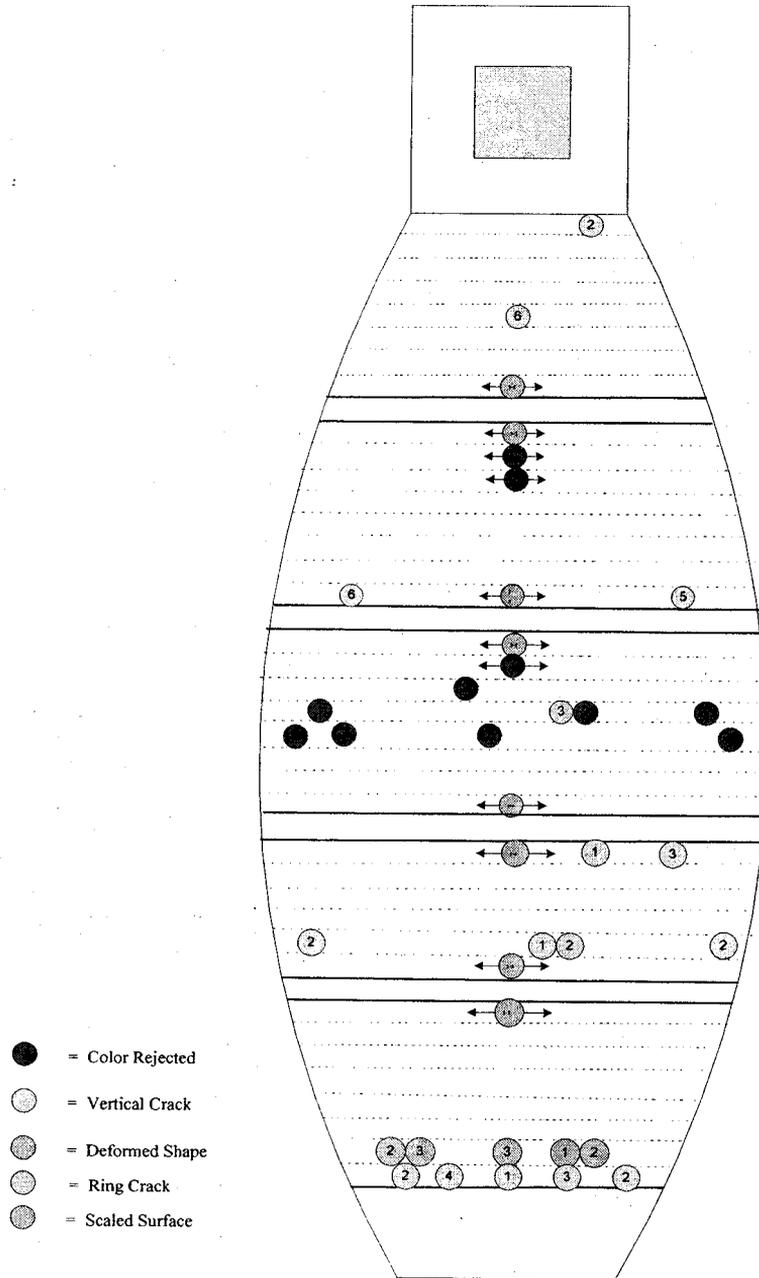


ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
16	-	112	112	4	224

- ฟีนไม่พอ ของไม้ค้อยแตกแต่แดง (เฉพาะการเผาเตานี้ที่ได้ไปสำรวจ)
- เตาขำรูดของแดงแก้ไขไม่ได้ คาดว่าจะเป็นเพราะเตา
- ของเสียเกรด B และ C รวมกัน

แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายประกอบ สมแก้ว

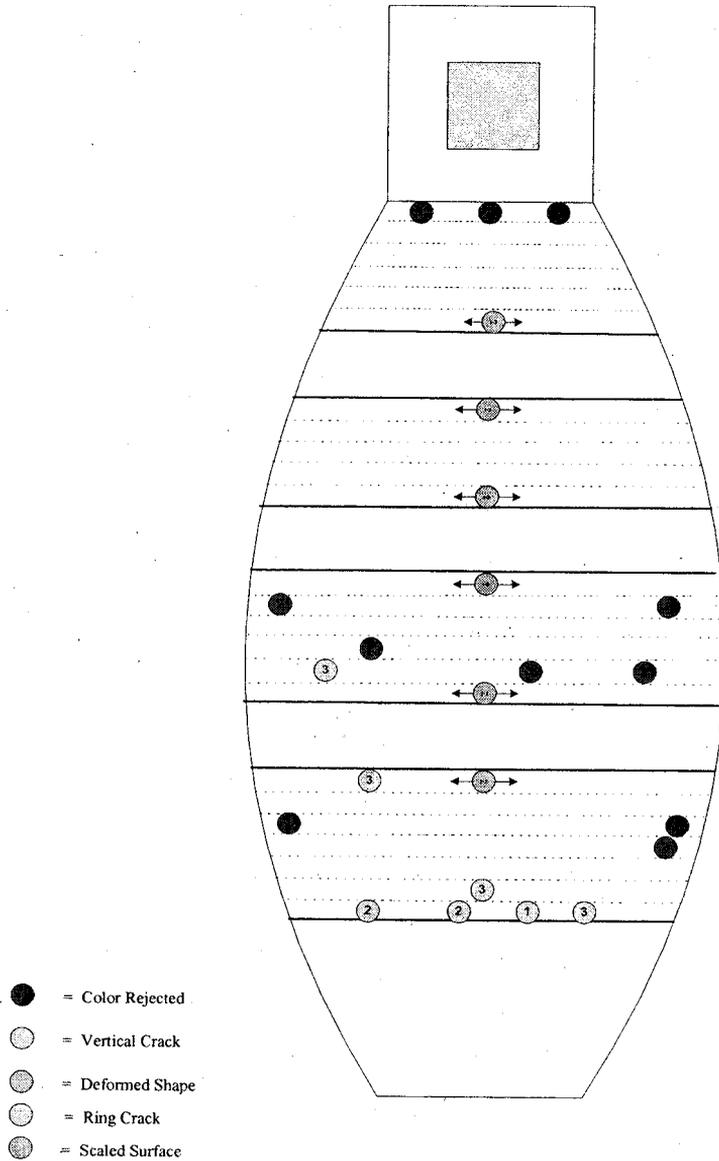


ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
40	-	330	3	7	380

- ยังไม่แยกของเสียที่แดงออก

แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายอารมณ์ สายมงคล

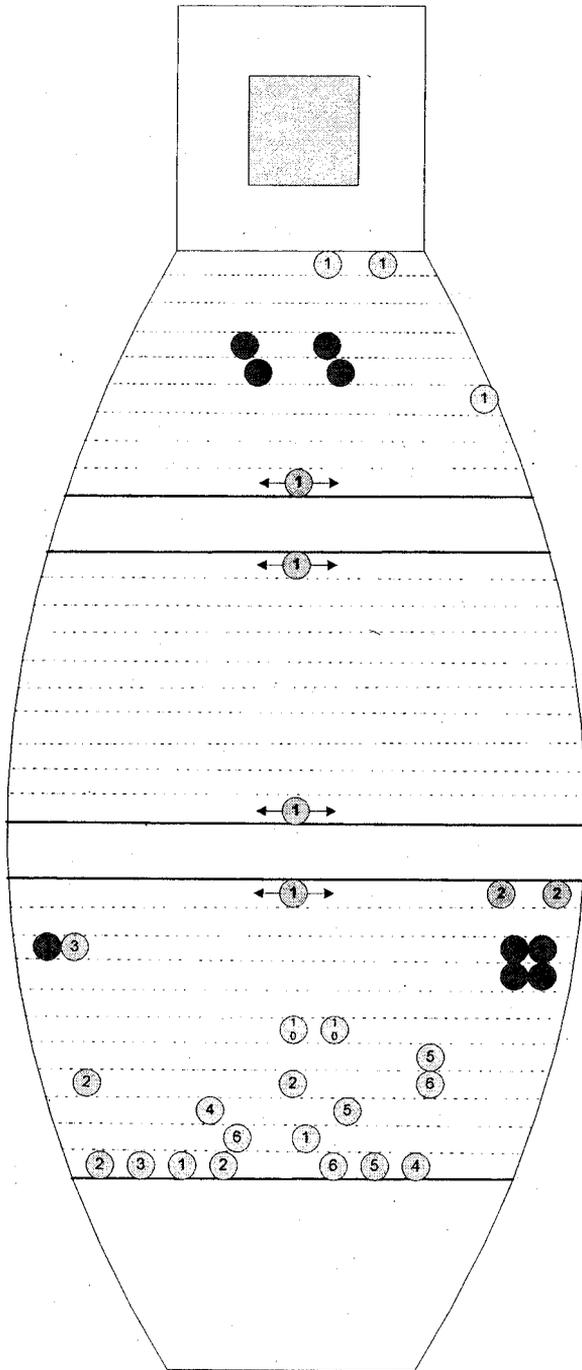


ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
32	-	155	5	7	199

- เตาชำระดีใกล้พัง มีรอยร้าวและปะอยู่เต็มไปหมด

แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายสำพล พิมพ์บุตร

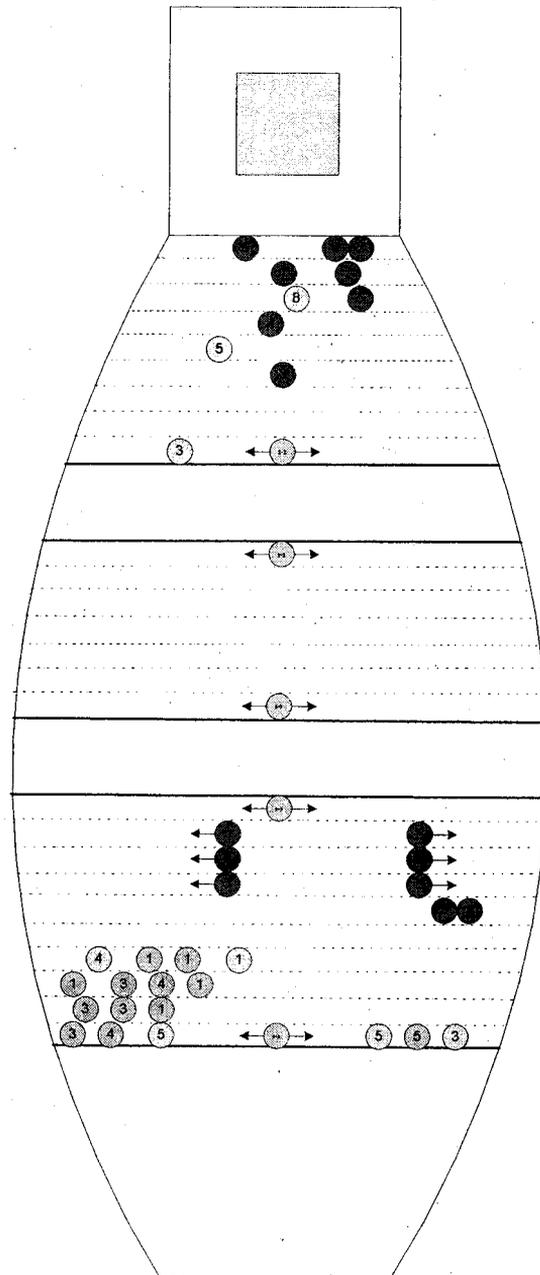


- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Ring Crack
- (with stippled pattern) = Scaled Surface

ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
92	1	47	24	1	165

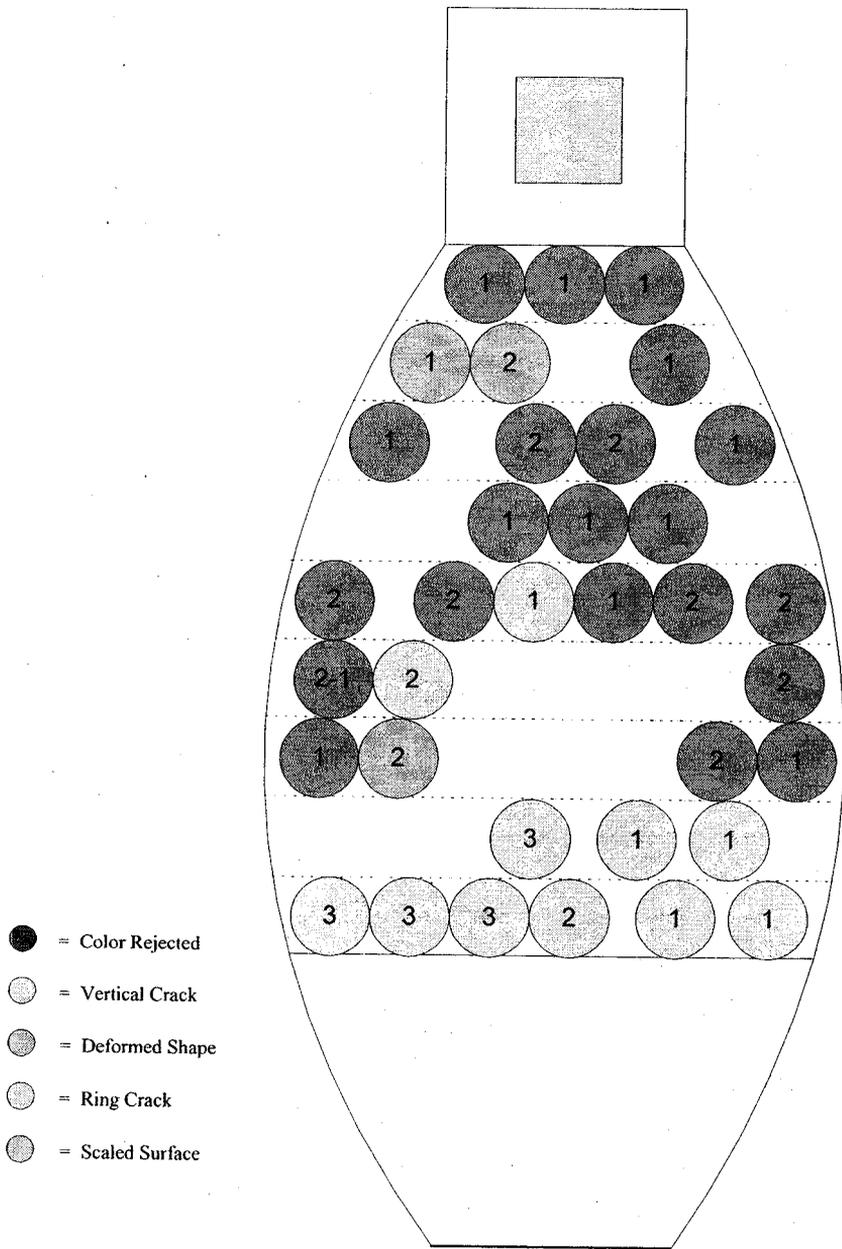
แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายอ่อนสี แสทวิสุข



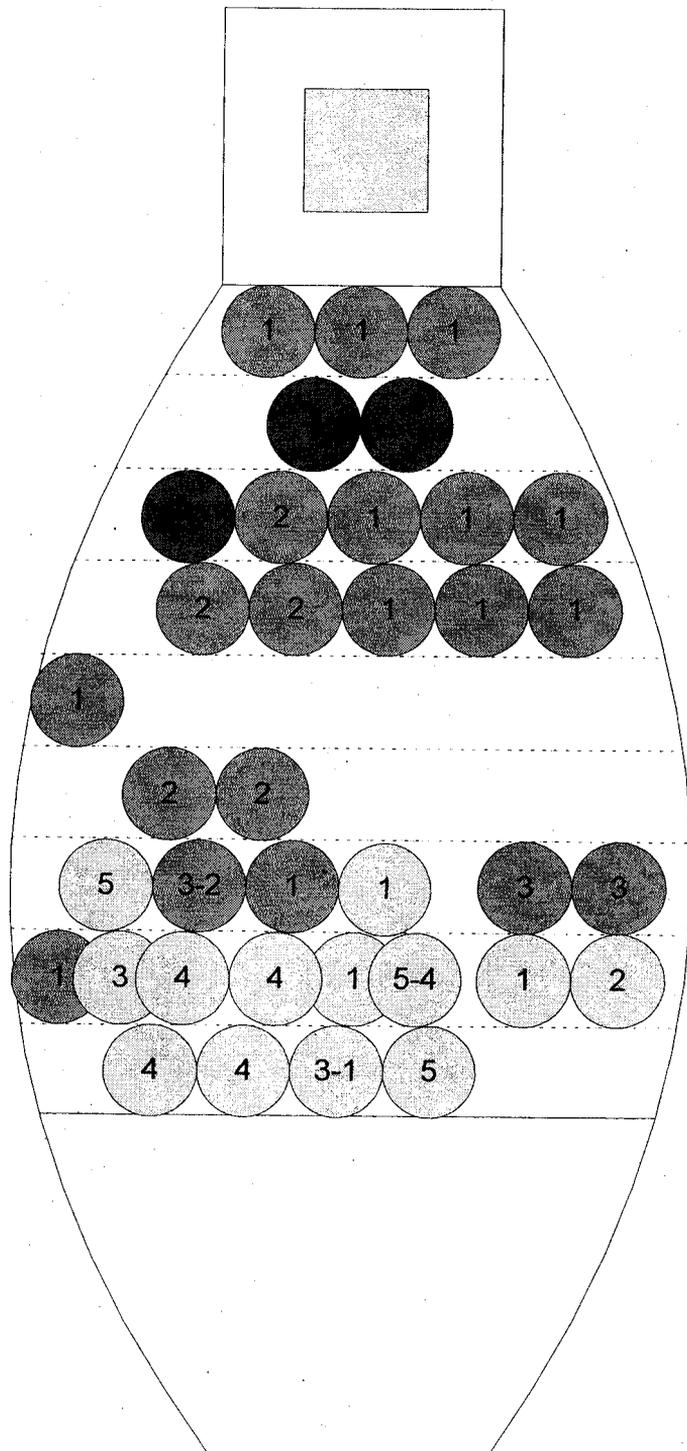
- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Deformed Shape
- (with ring) = Ring Crack
- (with stippled pattern) = Scaled Surface

- ครรกล้ม
- มีปัญหาครกแดงที่บริเวณเดิมทุกเตาเวลาเผา (บริเวณใกล้กับทางออกของตรงตาที่1)
- ยังไม่คัดเลือกของเสียออก

แผนภาพแสดงของเสียเตาทดลองครั้งที่ 2

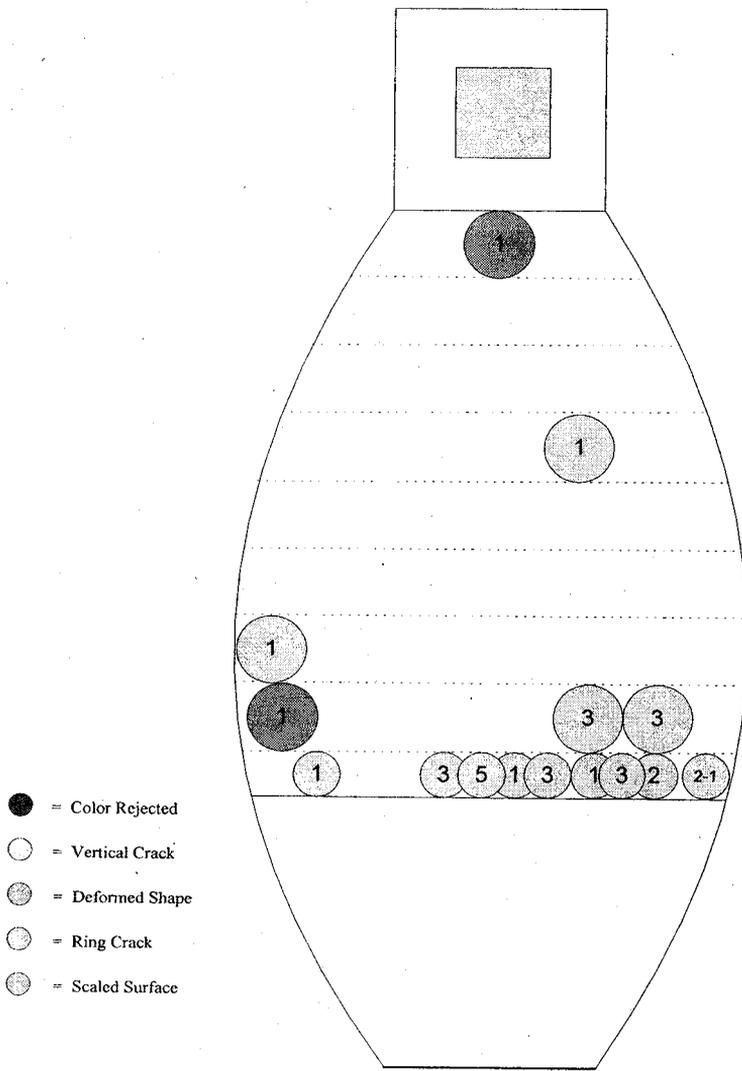


แผนภาพแสดงของเสียเตาทดลองครั้งที่ 3



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- = Deformed Shape
- = Ring Crack
- = Scaled Surface

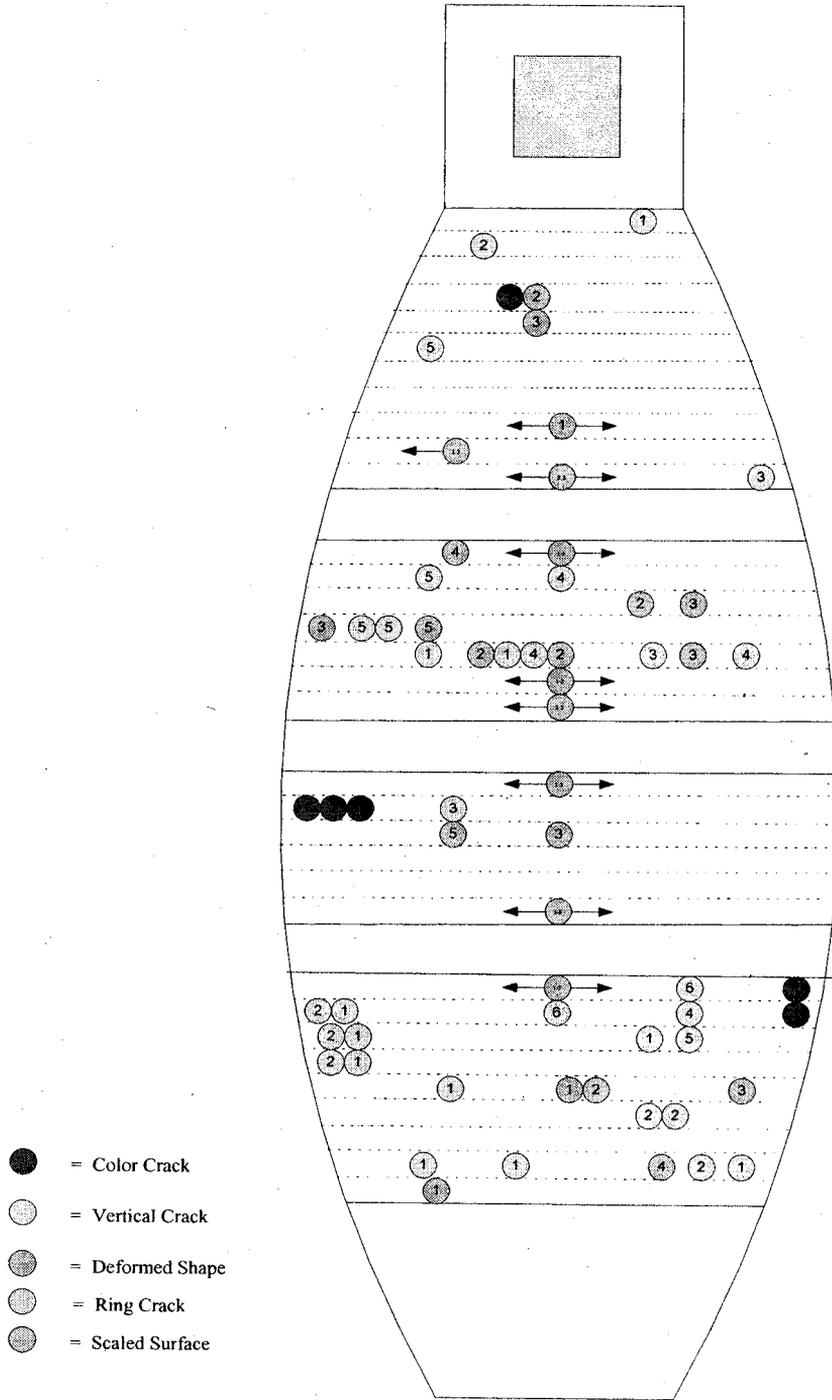
แผนภาพแสดงของเสียเตาทดลองครั้งที่ 4



ตารางแสดงจำนวนของเสีย (ครั้งที่ 4)

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
15	-	-	2	-	18

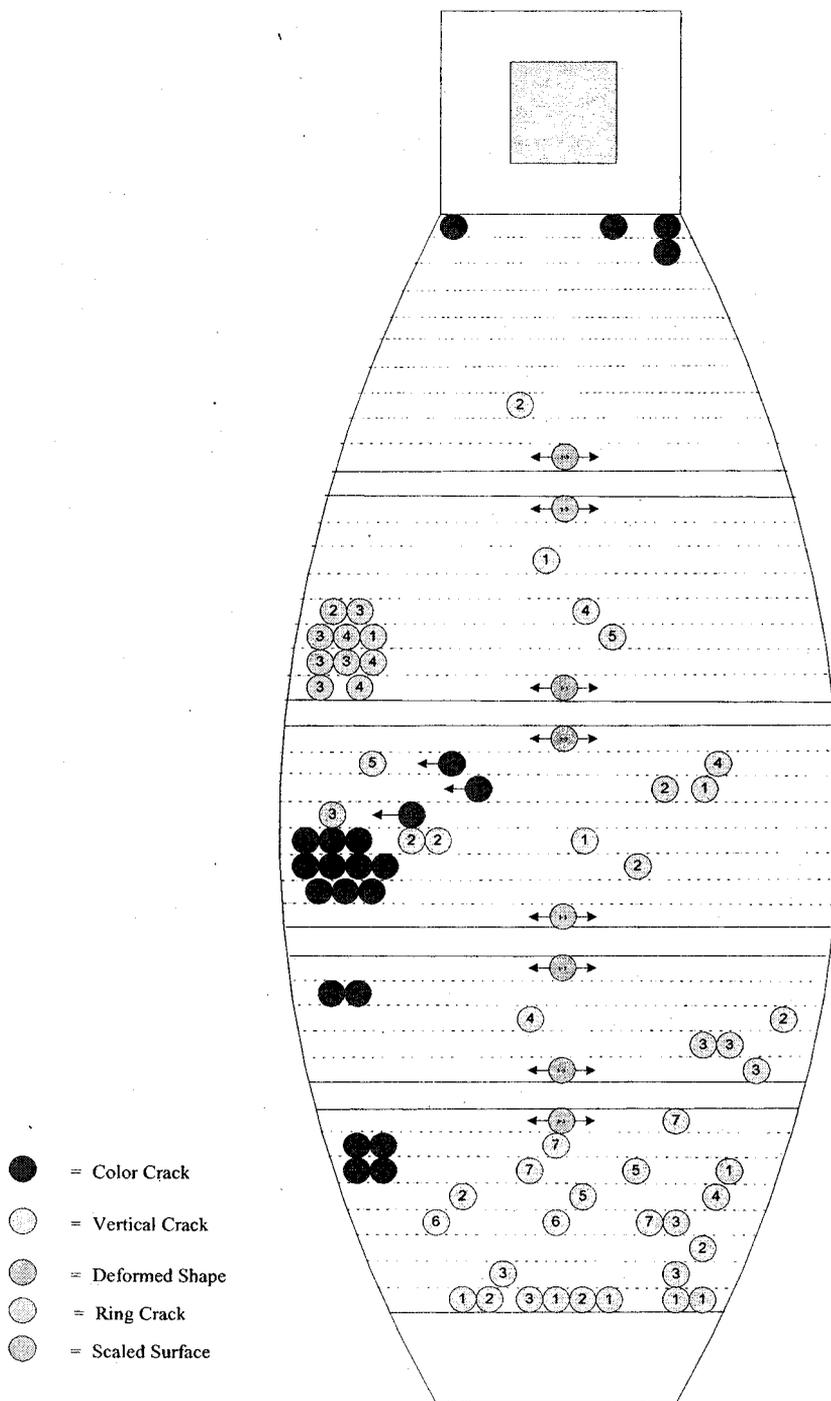
แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นายรุ่ง ประทุมมา



ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
116	-	104	9	170	399

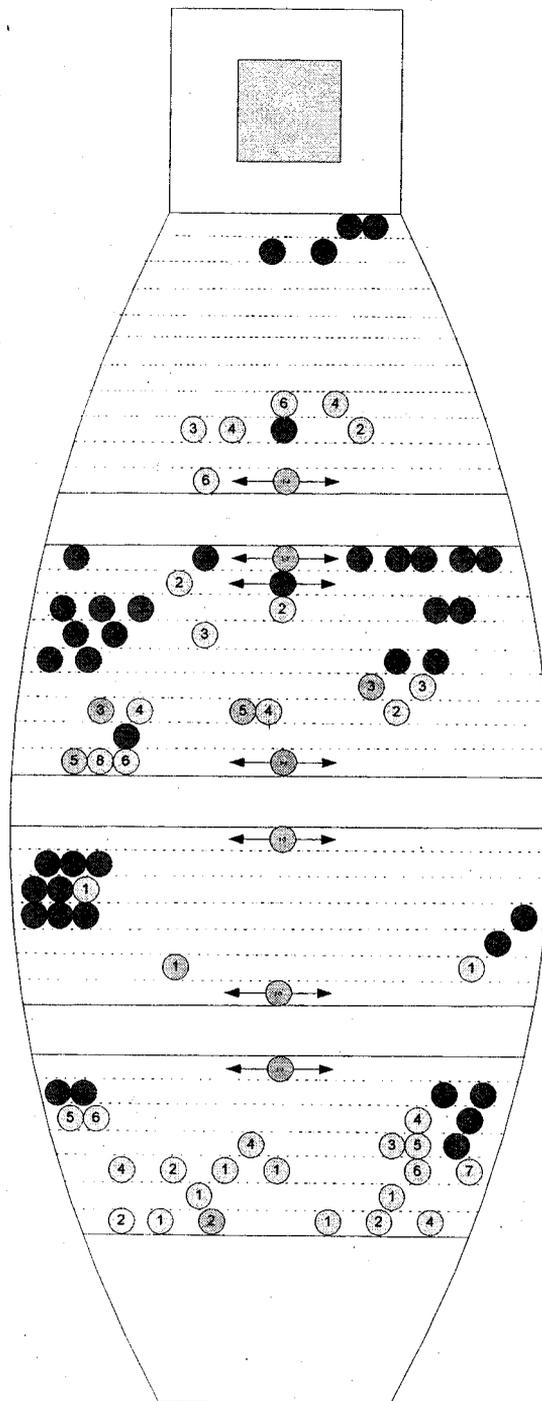
แผนภาพแสดงของเสียบ้าน นางศิริวรรณ ยอพันธ์



ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
102	2	213	34	21	372

แผนภาพแสดงของเสียบ้านนายจาร์ก วงศ์ตรี



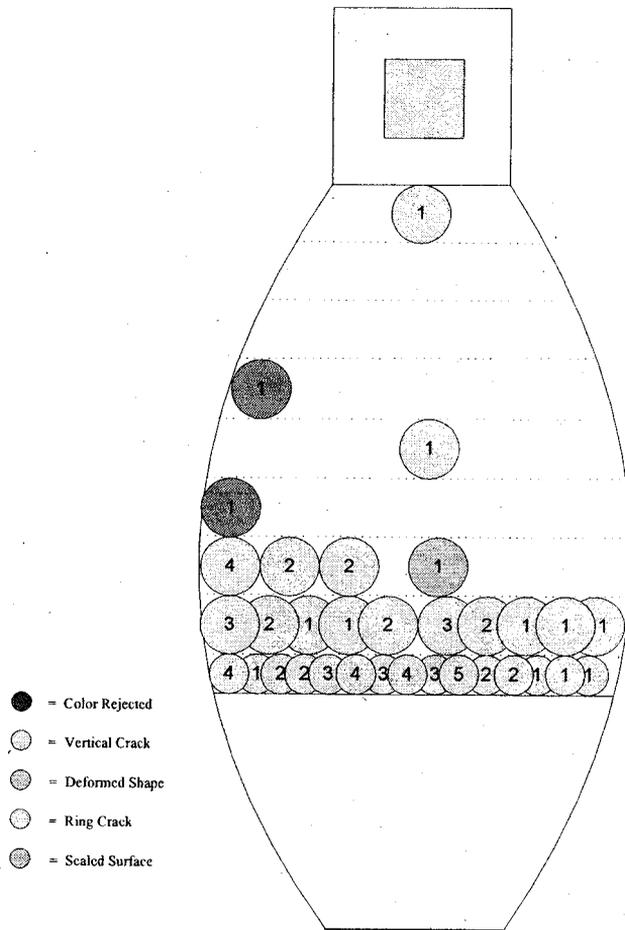
- = Color Crack
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Ring Crack
- (with diagonal line) = Deformed Shape
- (with stippled pattern) = Scaled Surface

ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
170	16	215	16	16	417

*เตาขนาด 3000 ไบ

แผนภาพแสดงของเสียเตาทดลองครั้งที่ 5

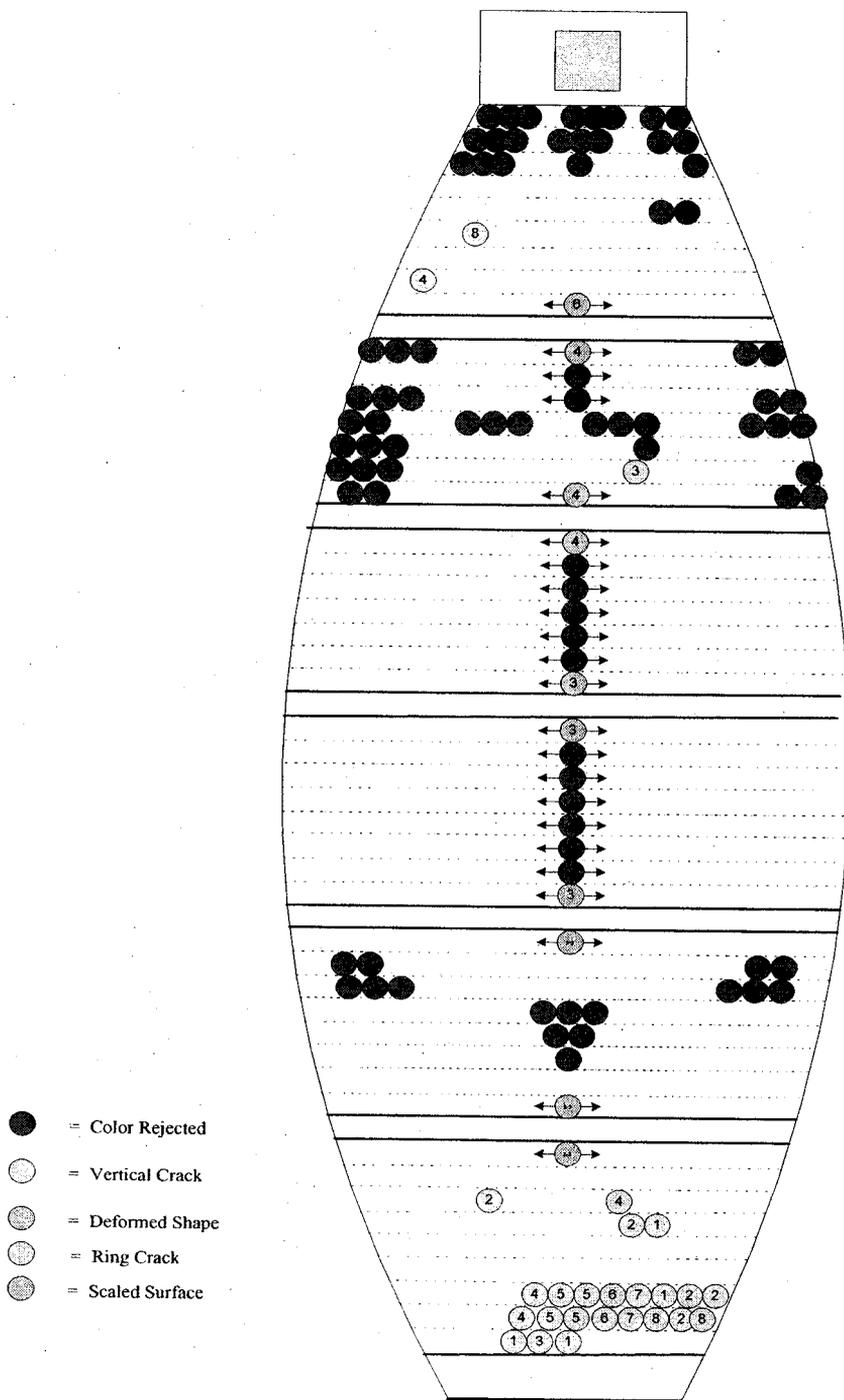


ตารางแสดงจำนวนของเสีย (ครั้งที่ 5)

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total
35	-	-	2	1	38

- พื้นเปียกเนื่องจากฝนตกขณะทำการทดลอง
- ใช้พื้นที่ในการทดลอง 936 กก.
- ครกทั้งหมด 197 ใบ แบ่งเป็นขนาดกลาง 173 ใบ เล็ก 24 ใบ

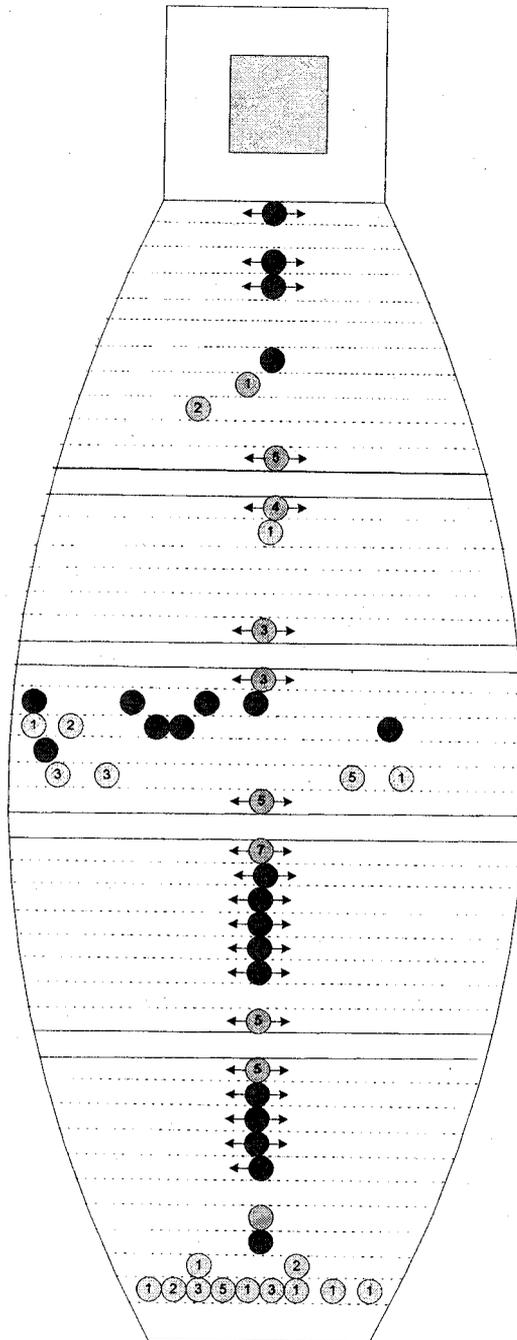
แผนภาพแสดงของเสียบ้านนายประกอบ สมแก้ว (เตาใหม่)



ตารางแสดงจำนวนของเสีย

Vertical Crack	Ring Crack	Scaled Surface	Color Rejected	Deformed Shape	total

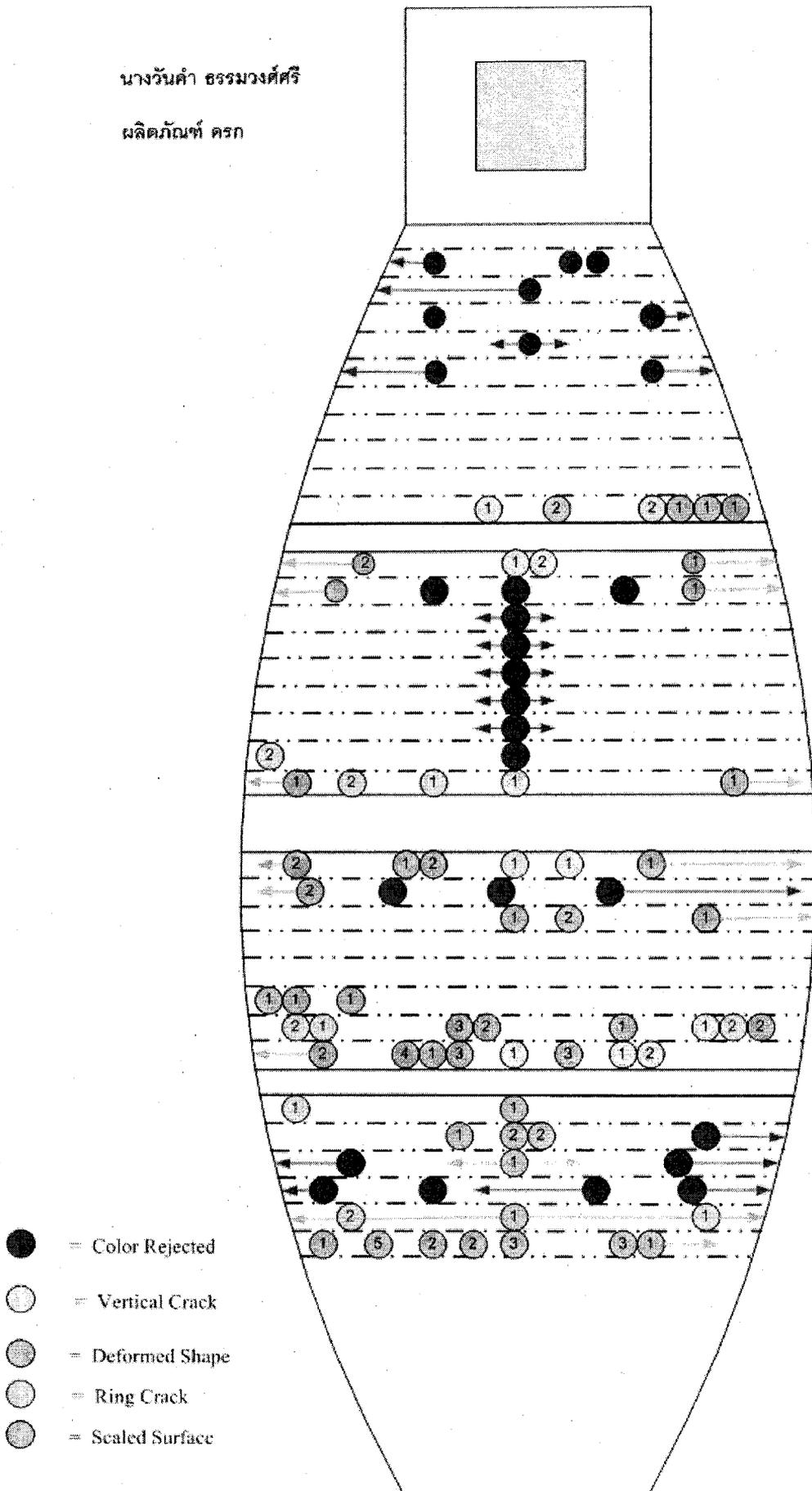
แผนภาพแสดงของเสียบ้านนายสมชาย แซ่กอ (เตาใหม่)



- = Color Crack
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Ring Crack
- (with shaded area) = Deformed Shape
- (with stippled area) = Scaled Surface

นางวันคำ อธรรมวงศ์ศรี

ผลิตภัณฑ์ ครก



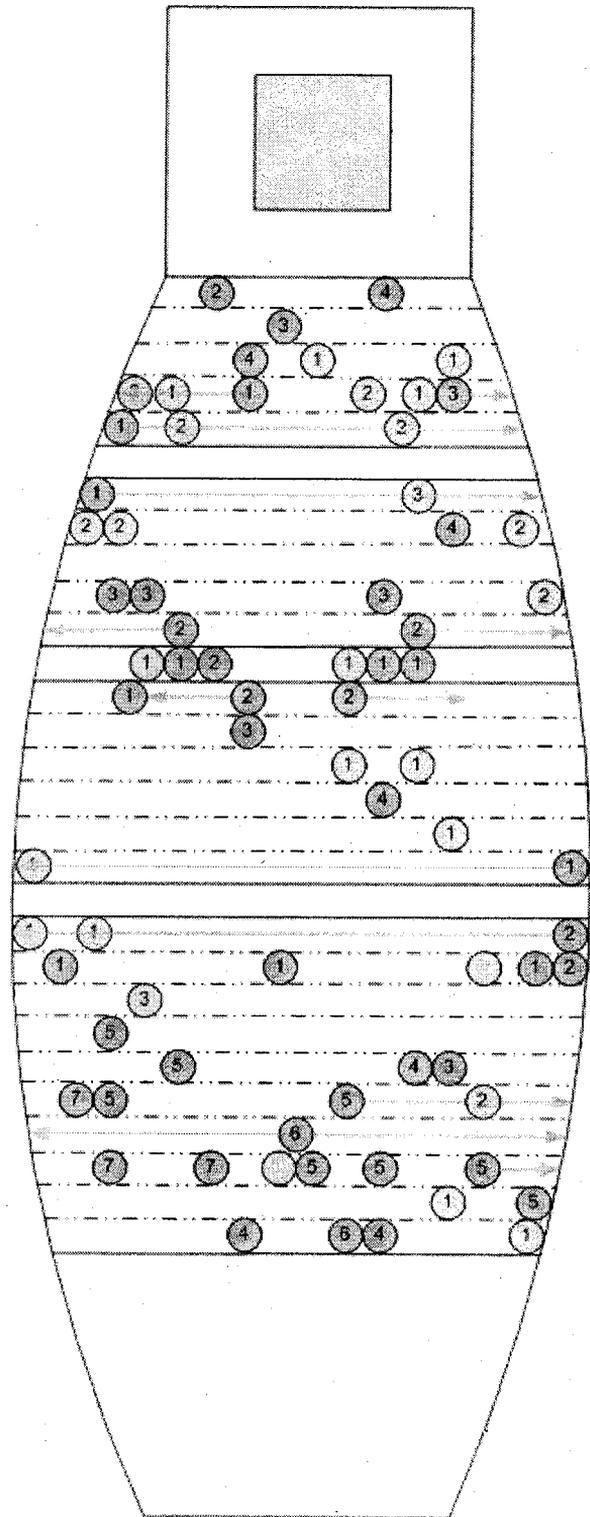
ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครกทุกขนาด ของบ้านนางวันคำ ธรรมวงศ์ศรี

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	10	0	0	433	0
ครกกลาง	16	54	28	279	0
ครกเล็ก	24	41	0	667	0
ครกจิ๋ว	8	4	0	509	0
รวม	58	99	28	1888	0
				รวมทั้งหมด	2073

รวมยอดของเสียทั้งหมด 2073 ใบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 2900 ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เป็น Color Rejected เกิดเนื่องจาก ฟินที่ใช้เผาเปียกไม่แห้งพอเหมาะ และเกิดปัญหาฟินหมดก่อนในตอนที่กำลังเผา และเตาก่อนที่จะทำการเก็บข้อมูลเจ้าของเตาได้เผาไฟแรง

จนเป็นสาเหตุให้ครกมีการ Vertical Crack และ Deformation Shape เลยเป็นสาเหตุให้ไม่กล้าใช้ไฟแรง ในการเผาครกครั้งนี้จนทำให้เกิดของเสียจาก Color Rejected มาก



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- = Deformed Shape
- = Ring Crack
- = Scaled Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของกระถาง

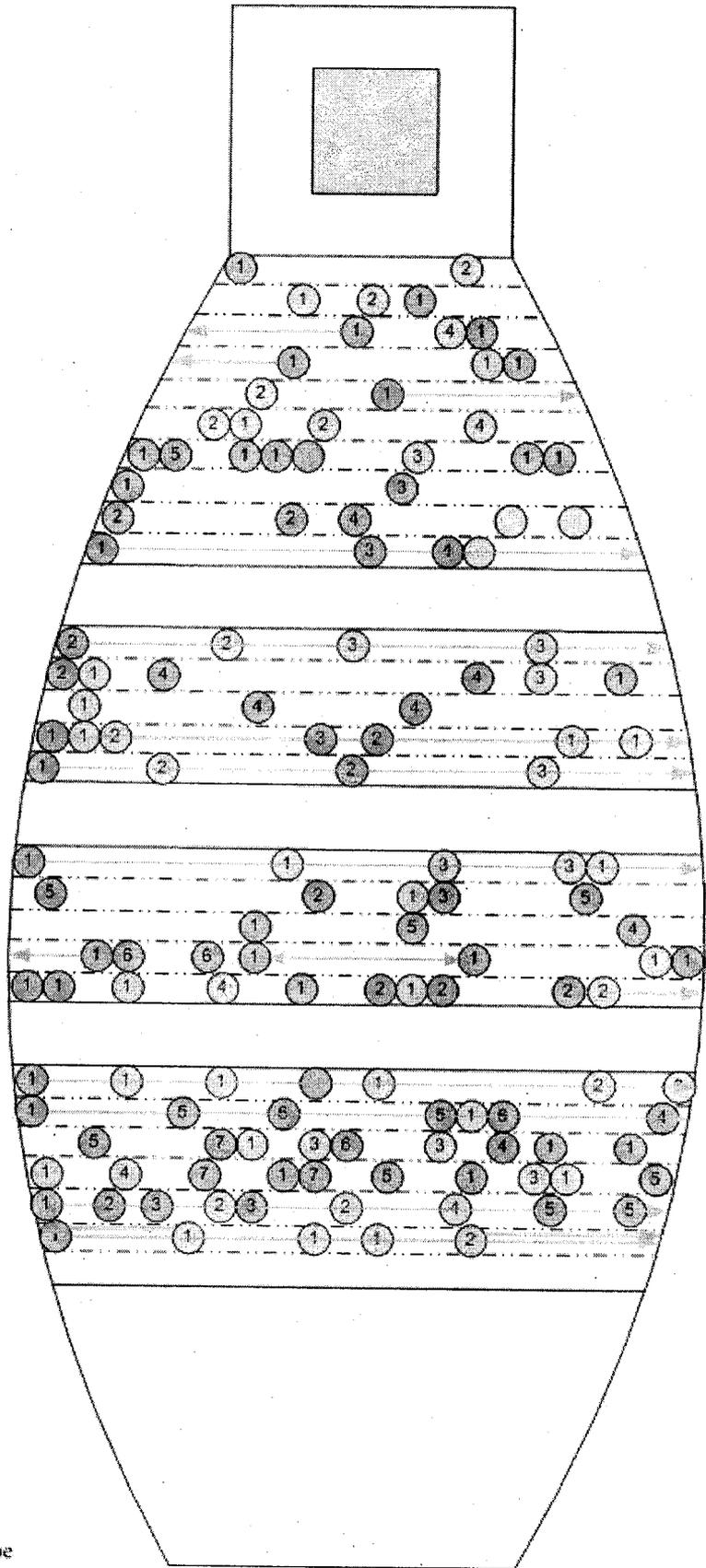
รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
กระถาง 14 นิ้ว	11	16	47	0	2
กระถาง 12 นิ้ว	34	23	142	0	0
กระถางแขวนใหญ่	3	0	10	0	0
กระถางกล้อไม้	9	1	25	0	0
จานรองกระถาง	6	0	7	0	0
โถงเล็ก	2	0	5	0	0
รวม	65	40	236	0	2

รวมทั้งหมด 343

รวมยอดของเสียทั้งหมด 343 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้า
 เเผา 1480 ไบ

Note ของเสียแบบ Color Rejected ในกระถางไม่มีเพราะผู้ผลิตต้องการทั้งสองสี
 การ Deformation Shape เกิดจากกระถางนั้นบางอยู่แล้วเลยเกิดการ Deformation Shape ขึ้น
 และในส่วนของ Ring Crack เกิดจากการปั้นกระถางหนาไม่เท่ากัน

นายศุภมิตร สันหัจินทร์



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ◐ = Deformed Shape
- ◑ = Ring Crack
- ◒ = Sealed Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	28	16	175	0	0
ครกกลาง	120	61	295	1	0
ครกเล็ก	61	31	281	0	0
ครกจิ๋ว	0	2	20	0	0
รวม	209	110	771	1	0
				รวมทั้งหมด	1091

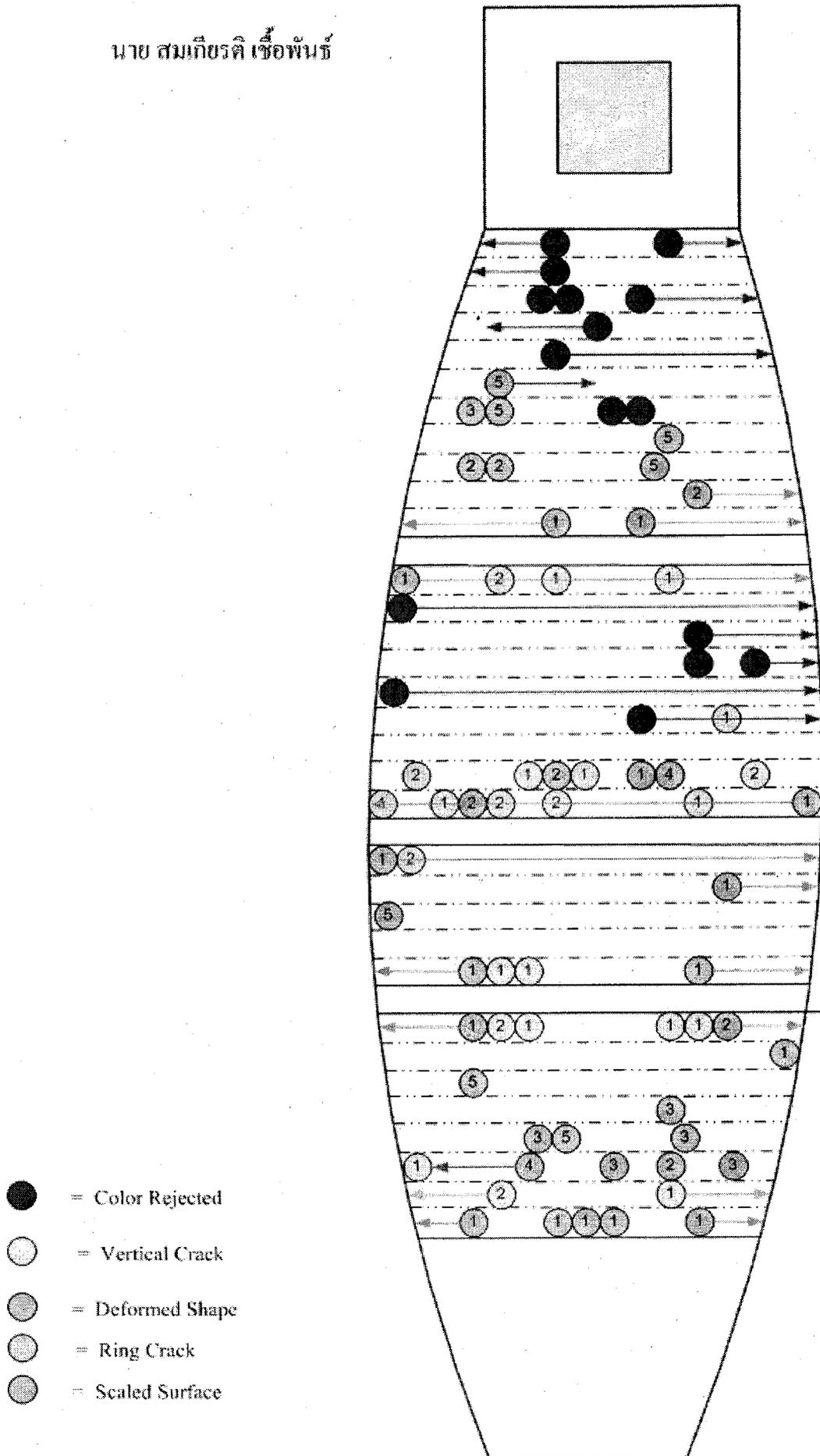
รวมยอดของเสียทั้งหมด 1091 ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 2100 ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เป็น Deformation Shape เกิดจากในการเผาใช้ไฟแรงมาก

และการเกิด Scaled Surface เกิดจากไม่ได้ทำการกวาดเศษหินที่หล่นลงมาจากเพดานเตาออกเลยทำให้
ชั้นล่างเกิดการติดขี้เถ้าเกือบทุกแถวในเตา การเกิด Vertical Crack ในบางส่วนเกิดจากการแตกเย็น

นาย สมเกียรติ เชื้อพันธ์



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

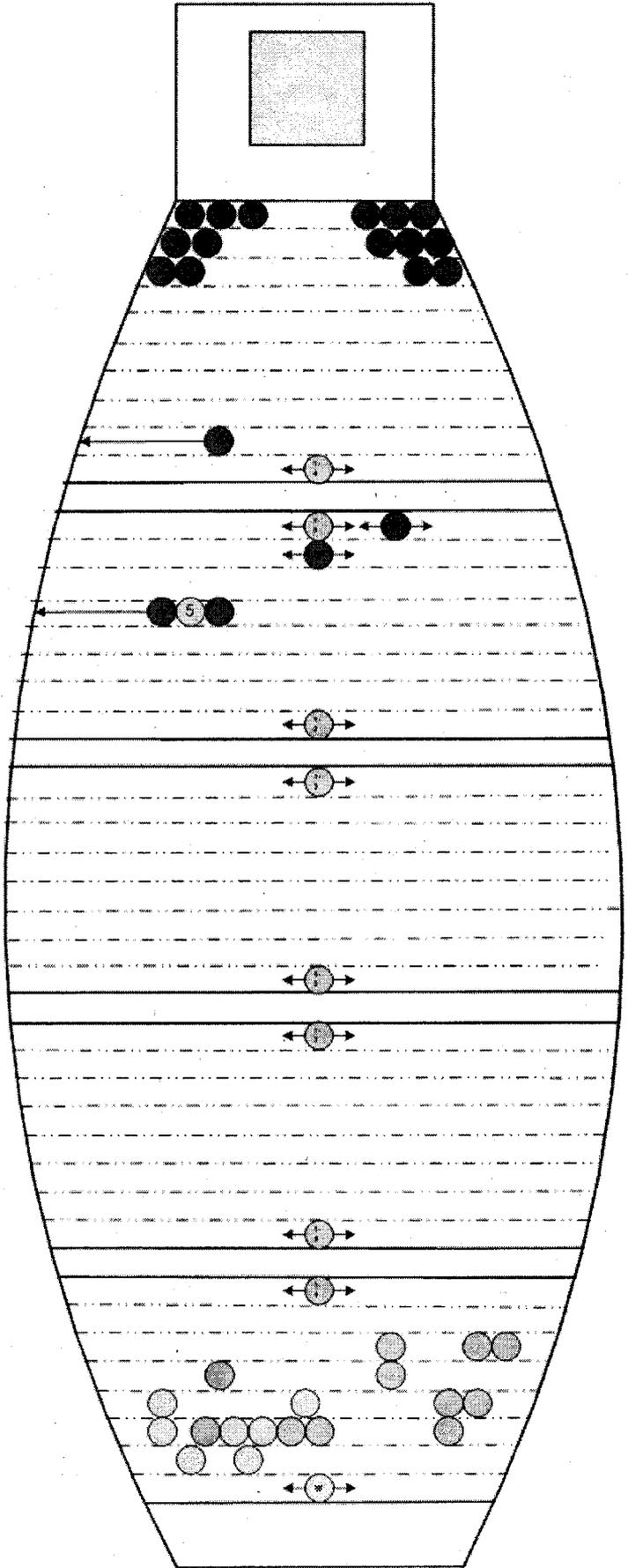
รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	20	44	115	210	1
ครกกลาง	95	99	78	215	0
ครกเล็ก	14	62	147	92	0
ครกจิ๋ว	5	37	21	119	0
รวม	134	242	361	636	1
				รวมทั้งหมด	1375

รวมยอดของเสียทั้งหมด 1375 ใบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 3800 ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดจาก Color Rejected ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณขอบเตาและชั้นที่ 1-3ของครก
 ที่เรียงในเตาเผา และบริเวณหางเตาที่ติดกับรังผึ้งปล่องควัน

นาย สมชาย แซ่กอ
ครั้งที่ 3
ผลิตภัณฑ์ ครก

- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Deformed Shape
- (with ring) = Ring Crack
- (with diagonal line) = Scaled Surface
- = ตำแหน่งการเกิดรอยขีด
- ◀ ○ ▶ = ตำแหน่งการเกิดรอยขีดตลอดแนว
- ▶ = ตำแหน่งการเกิดของขีด จากจุดเริ่มต้นถึงหัวลูกศร
- ◀ ○ = ตำแหน่งสิ้นสุดการเกิดของขีด
- ① = ตำแหน่งขึ้นการเกิดของขีด

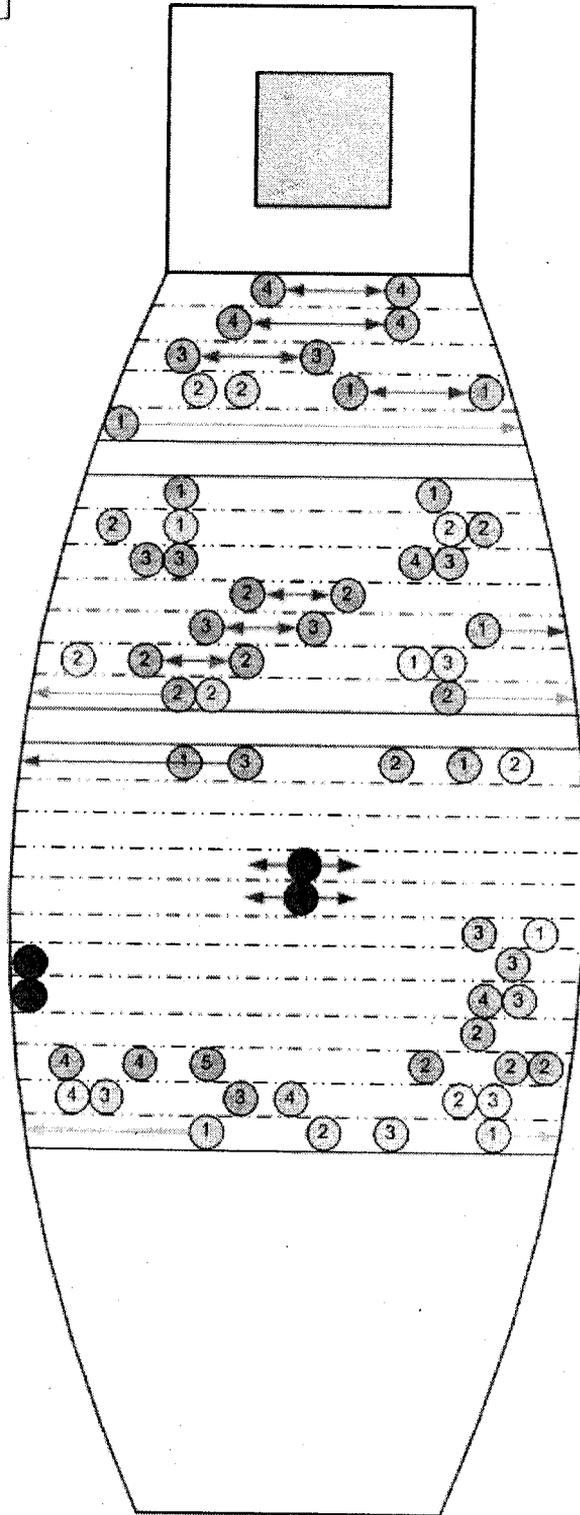


ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครก Jumbo	0	0	3	10	0
ครกใหญ่	0	0	5	3	0
ครกกลาง	11	40	69	9	0
ครกปากพันกลาง	2	0	1	1	0
ครกปากพันเล็ก	0	0	2	20	0
ครกเล็ก	28	64	35	117	0
ครกจิ๋ว	0	4	5	27	0
ที่รองขาตู้	0	0	0	7	0
รวม	41	108	120	194	0
				รวมทั้งหมด	463

รวมยอดของเสียทั้งหมด 463 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 3400 ไบ

Note



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- = Deformed Shape
- = Ring Crack
- = Scaled Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครกและกระถาง

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	0	0	8	29	0
ครกกกลาง	42	0	43	37	0
กระถาง 12"	25	7	17	0	0
กระถาง 10"	2	8	23	0	0
กระถาง 8"	2	28	10	0	0
กระถาง 6"	2	5	0	0	0
ถาดรองใหญ่	6	0	0	0	0
ถาดรองกลาง	3	1	0	0	0
รวม	82	49	101	66	0
				รวมทั้งหมด	298

รวมยอดของเสียทั้งหมด 298 ไบ

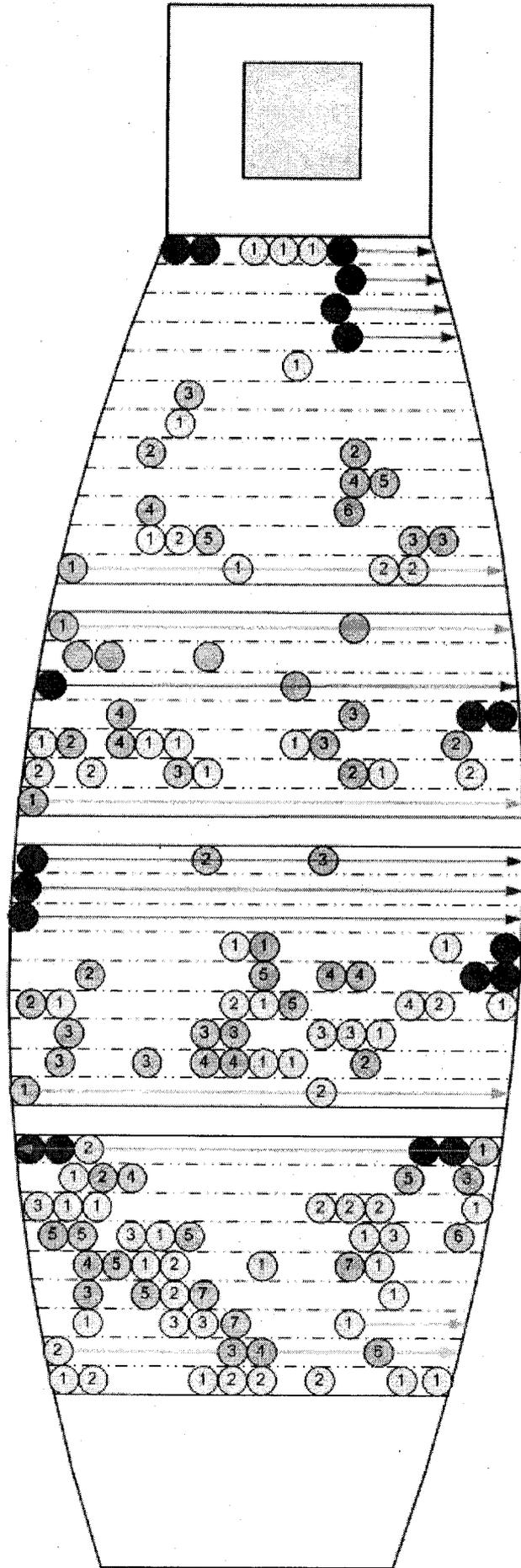
จากกระถางทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 600 ไบ

จากครกทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 500 ไบ

Note เรียงครกในการเผาไว้ที่หน้าไฟ 1 ตาไฟ เพื่อบังไฟไม่ให้ไปทำให้กระถางมีสีดำเกินไป

แยกเป็นของเสียกระถาง 129 ไบ และครก 159 ไบ

นายชัยวัฒน์ หลอกท้าว



- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Ring Crack
- (with diagonal line) = Deformed Shape
- (with stippled pattern) = Scaled Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครก Jumbo	19	0	12	0	0
ครกใหญ่	24	0	52	23	0
ครกกลาง	137	29	111	9	1
ครกเล็ก	59	55	115	55	0
ครกจิ๋ว	14	0	53	7	0
รวม	253	84	343	94	1
				รวมทั้งหมด	775

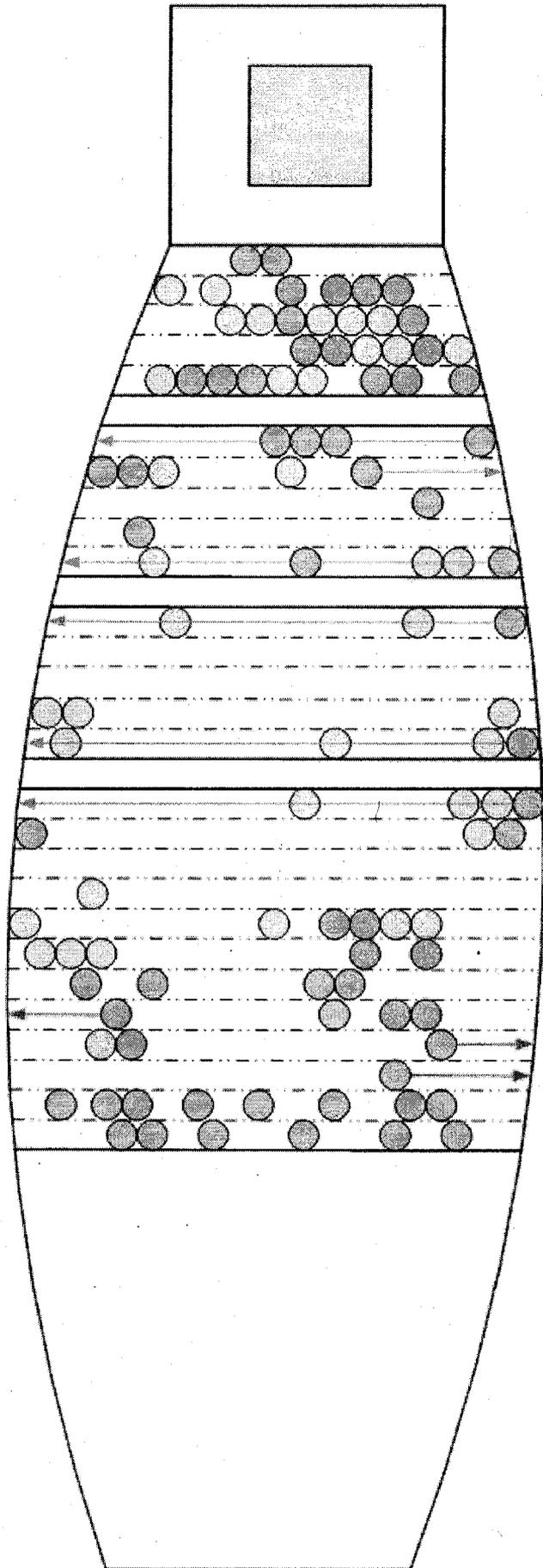
รวมยอดของเสียทั้งหมด 775 ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทุกชนิดที่เอาเข้าเผา 3000 ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดจาก Deformed Shape ซึ่งกระจายอยู่บริเวณหน้าตาเผา

ของเสียแบบ Vertical Shape ส่วนใหญ่สาเหตุเกิดจากครกที่เอาเข้าเผาในเตาไม่แห้ง ซึ่งทำให้ครกกระเบื้องและแตก ส่วนใหญ่อยู่บริเวณชั้นล่างของการเรียงครก ของเสียแบบ Color Rejected ส่วนใหญ่อยู่บริเวณหลังเตาและชั้นล่างของการเรียงครก

นายตี ทองงาม



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ◐ = Deformed Shape
- ◑ = Ring Crack
- ◒ = Scaled Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของกระชาง

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
กระชาง 12 นิ้ว	40	5	35	0	0
กระชาง 10 นิ้ว	83	48	133	0	0
กระชาง 8 นิ้ว	3	0	12	0	0
กระชางจั่ว	5	5	28	0	0
ฉากรองใหญ่	1	0	0	0	0
ฉากรองเล็ก	0	0	0	0	0
รวม	132	58	208	0	0

รวมทั้งหมด 398

รวมยอดของเสียทั้งหมด 398 ไบ

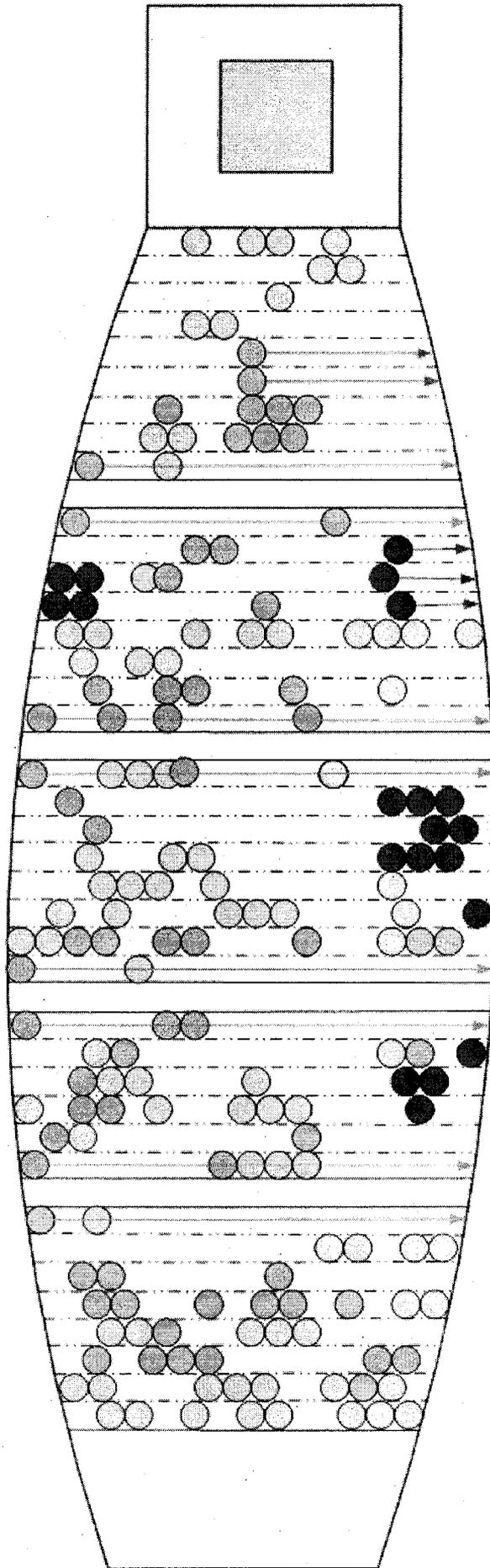
จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 2250 ไบ

Note ของเสียแบบ Color Rejected ในกระชางไม่มีเพราะผู้ผลิตต้องการทั้งสองสี

ของเสียส่วนใหญ่เกิดที่บริเวณหน้าเตาเป็นแบบ Deformation shape และตามตาไฟจะเกิด Scaled

surface และ Vertical crack เป็นส่วนใหญ่ที่ชั้นที่ 1 ถึง 3 จากพื้น

ขนาดของลูก สว่างวงศ์



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ◐ = Deformed Shape
- ◑ = Ring Crack
- ◒ = Scaled Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	144	20	108	19	0
ครกกกลาง	60	48	198	0	0
ครกเล็ก	17	89	53	0	0
ครกจิ๋ว	10	43	14	3	0
รวม	231	200	373	22	0
				รวมทั้งหมด	826

รวมยอดของเสียทั้งหมด

826

ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา

2700

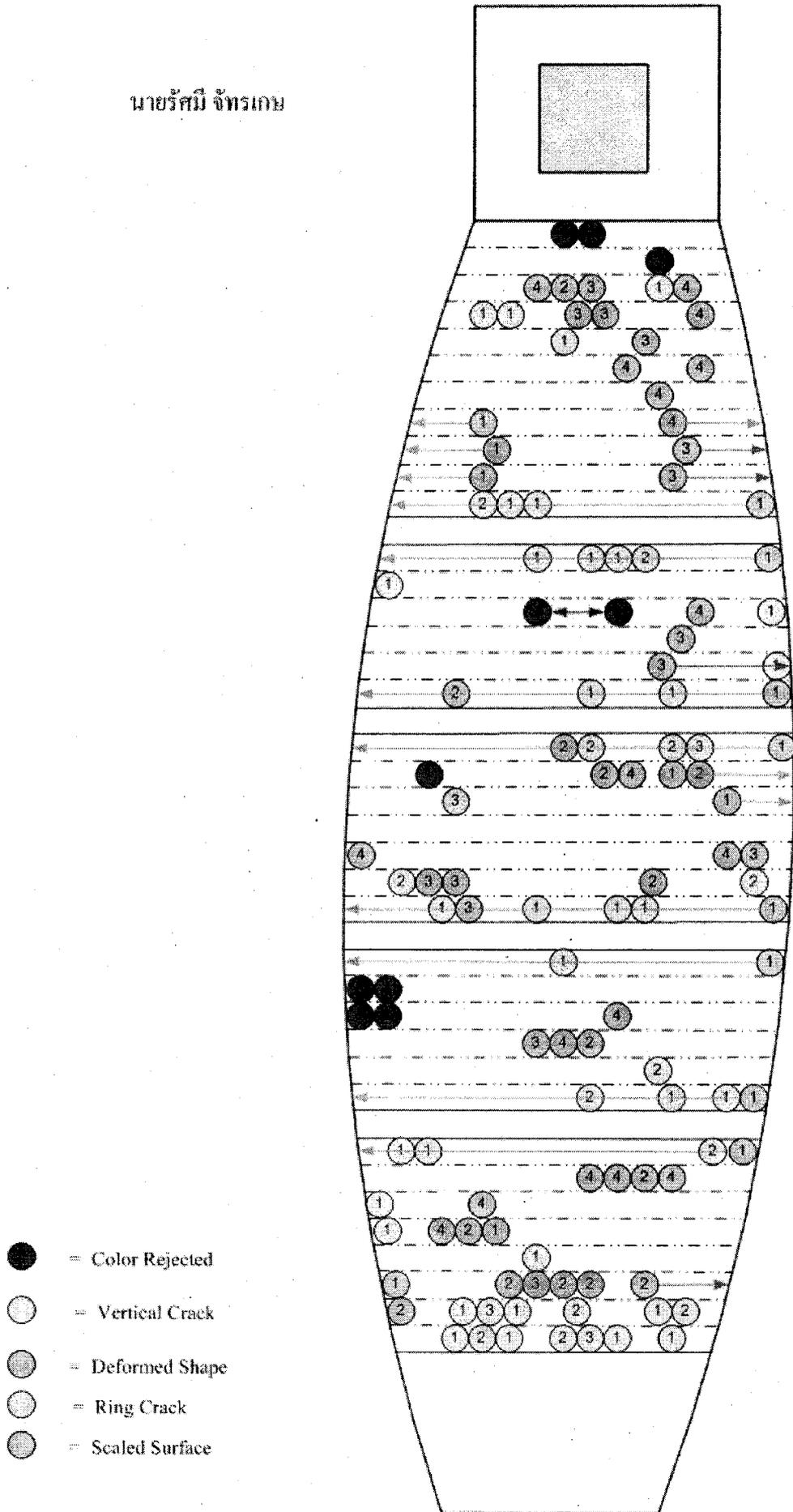
ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดจาก Deformed Shape ซึ่งกระจายอยู่บริเวณหน้าตาเผา

ของเสียแบบ Vertical Shape ส่วนใหญ่สาเหตุเกิดจากครกที่เอาเข้าเผาในเตาไม่แห้ง และใช้ไฟแรง

ซึ่งทำให้ครกกระเบื้องและแตก ส่วนใหญ่อยู่บริเวณชั้นล่างของการเรียงครก

นายรัศมี จัทรเกษ



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	41	36	140	25	1
ครกกลาง	17	45	76	0	0
ครกเล็ก	10	35	108	1	0
ครกจิ๋ว	1	0	170	0	0
รวม	69	116	494	26	1
				รวมทั้งหมด	707

รวมยอดของเสียทั้งหมด

707

ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา

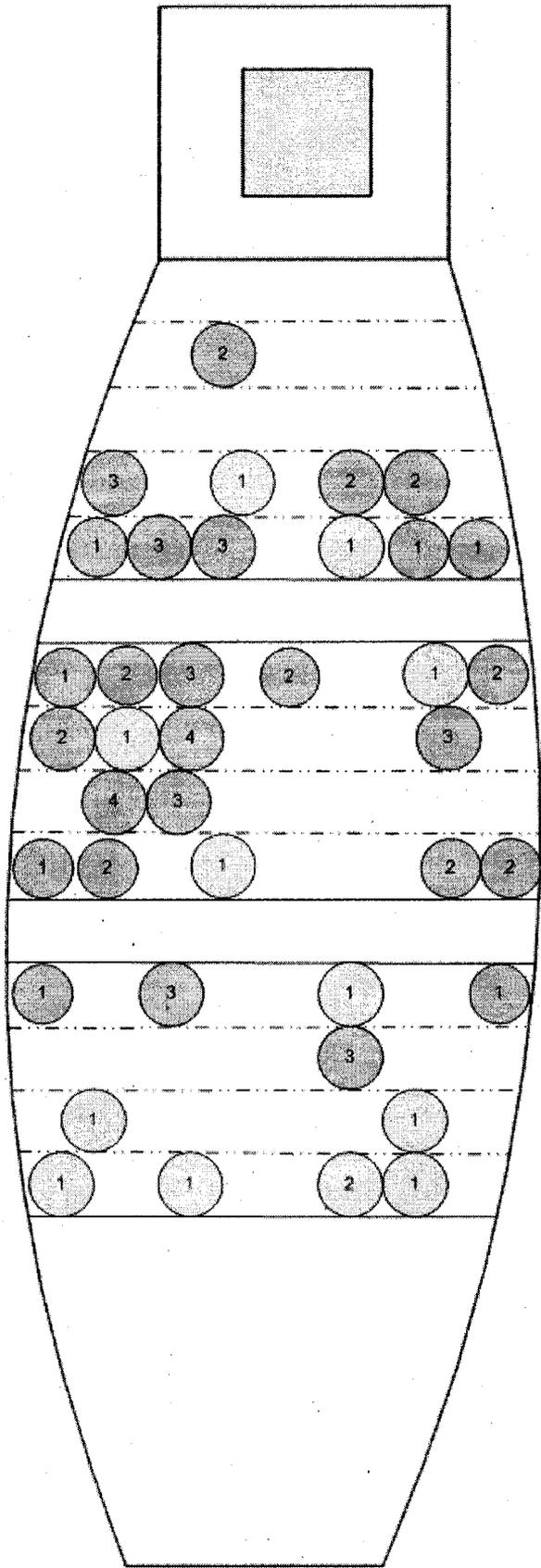
1850

ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดจาก Deformed shape ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณหน้าเตาและชั้นที่ 2-4 ของ

ครกที่เรียงในเตาเผา

นายสมใจ สหัสจันทร์



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของกระถาง

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
กระถาง 12 นิ้ว	15	23	64	0	0
กระถาง 8 นิ้ว	2	12	15	0	0
โคมไฟใหญ่	0	0	0	0	0
โคมไฟเล็ก	0	0	0	0	0
ขาของโคมใหญ่	0	0	0	0	0
ขาของโคมเล็ก	1	0	0	0	0
ฝาใหญ่	0	0	0	0	0
ฝาเล็ก	0	0	0	0	0
รวม	18	35	79	0	0

รวมทั้งหมด 132

รวมยอดของเสียทั้งหมด

132

ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา

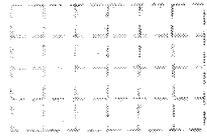
500

ใบ

Note ของเสียแบบ Color Rejected ในกระถางไม่มีเพราะผู้ผลิตต้องการทั้งสองสี

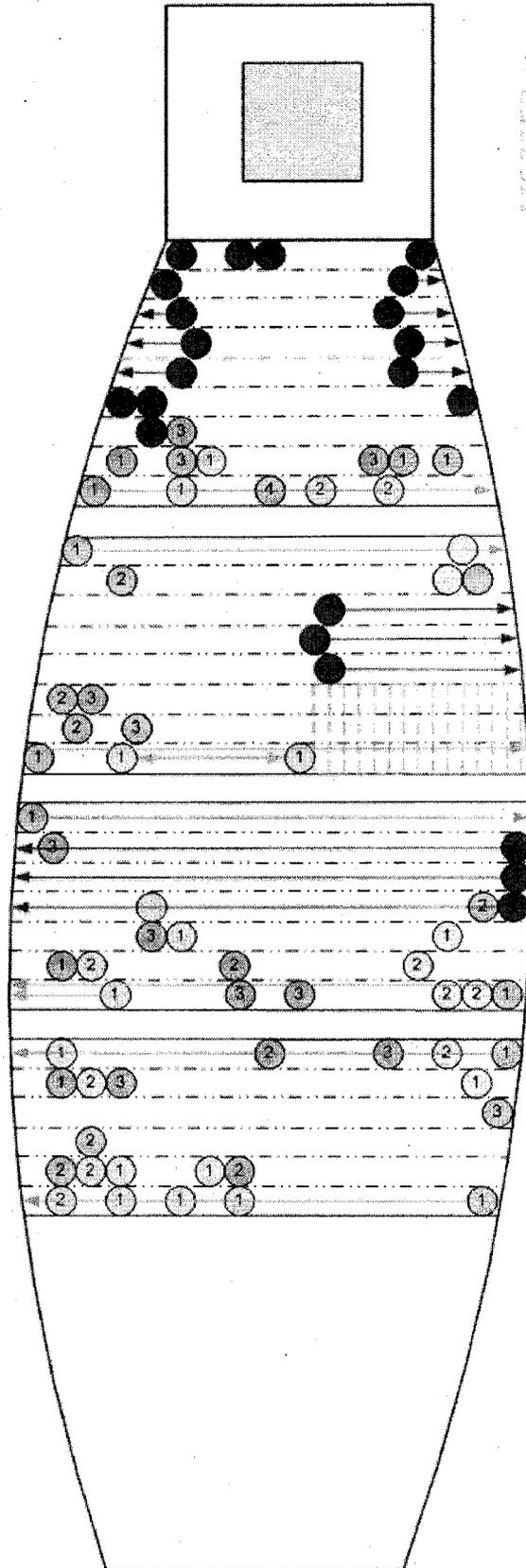
นายสมศักดิ์ มณีพันธ์

Note



กรก ล้ม

-  = Color Rejected
-  = Vertical Crack
-  = Deformed Shape
-  = Ring Crack
-  = Scaled Surface



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกกกลาง	95	142	227	132	0
ครกเล็ก	43	124	92	247	0
ครกจิ๋ว	3	3	0	3	0
รวม	141	269	319	382	0
				รวมทั้งหมด	1111

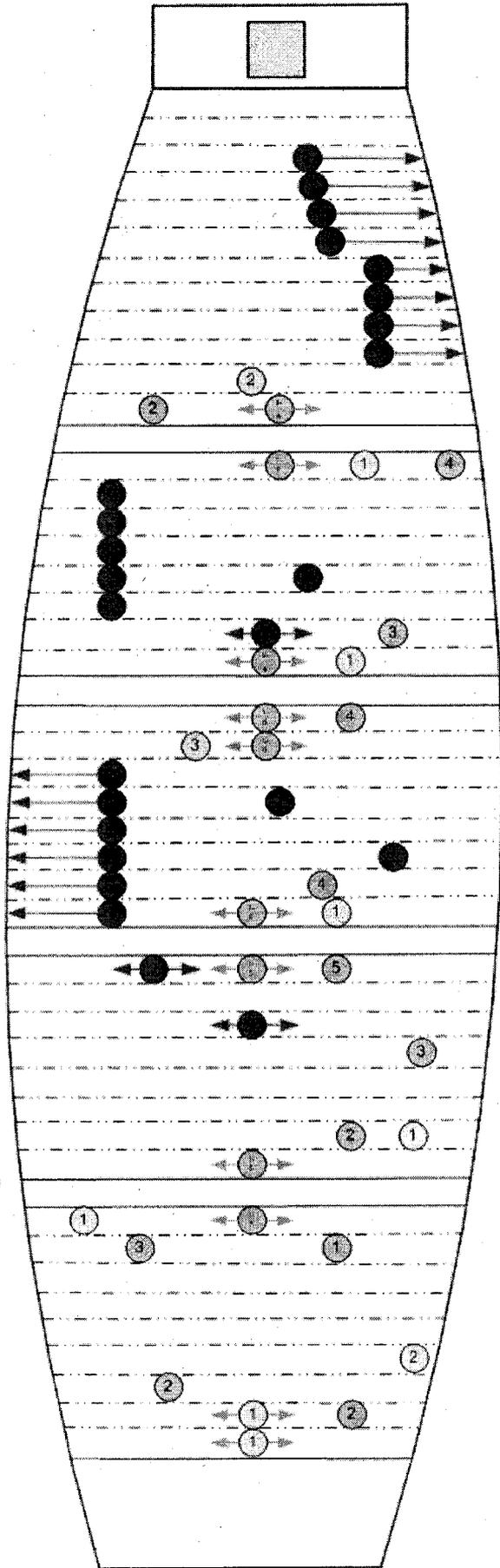
รวมยอดของเสียทั้งหมด 1111 ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 2750 ใบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดจาก Color Rejected และ Deformed shape เพราะระหว่างเผาครกเกิด ล้มในเตา ซึ่งทำให้เกิดของเสียมากขึ้นในการเผา

นาย ประกอบ สมแก้ว
 ผลิตภัณฑ์ ครก
 ครั้งที่ 3

- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- = Deformed Shape
- = Ring Crack
- = Scaled Surface
- ตำแหน่งการเกิดของเสีย
- ◀○▶ ตำแหน่งการเกิดของเสียตลอดแนว
- ▶ ตำแหน่งการเกิดของเสีย
- ◀○ ตำแหน่งการเกิดของเสียจากจุดเริ่มจนถึงหัวลูกศร
- ① ตำแหน่งชั้นการเกิดของเสีย



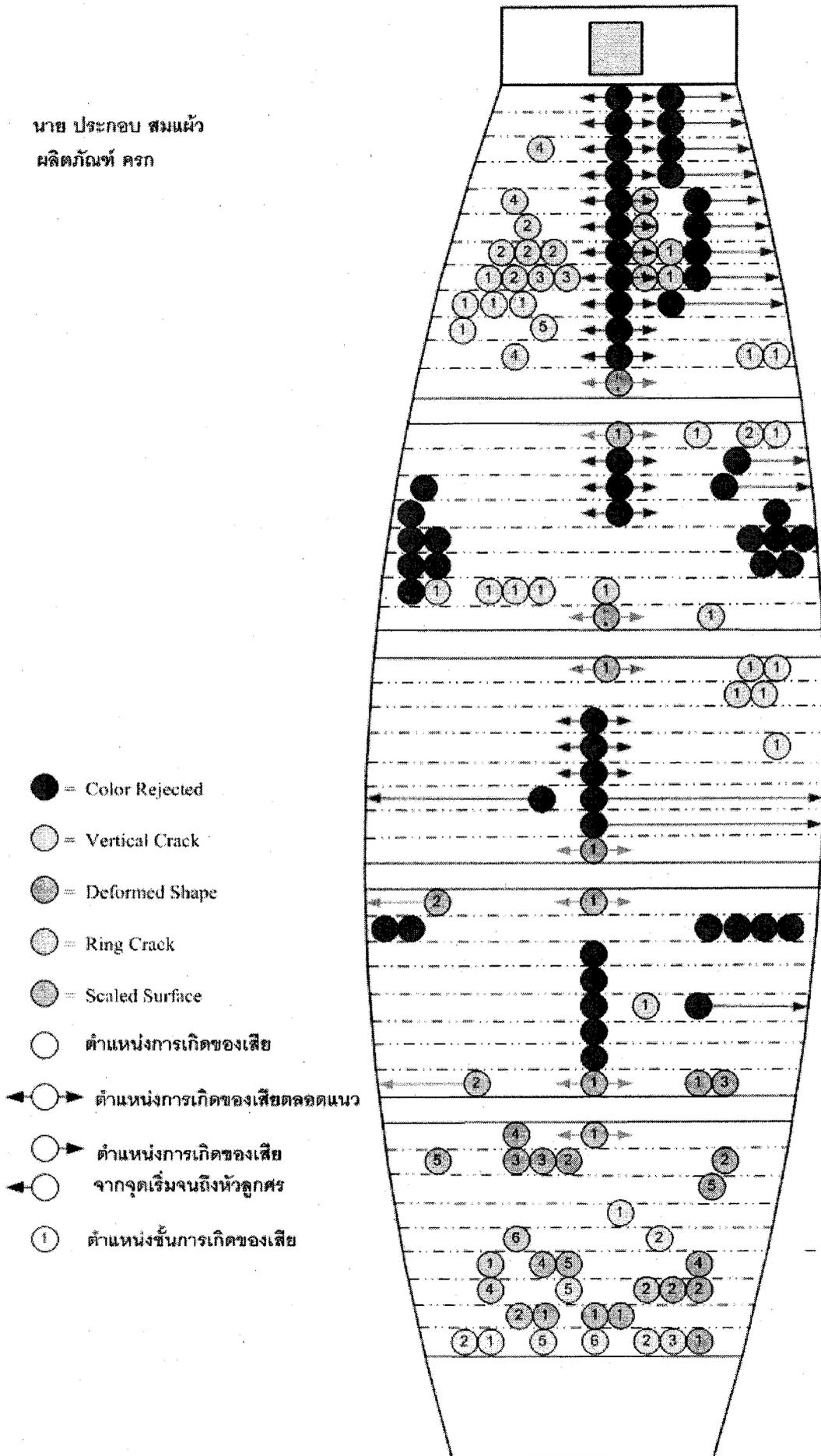
ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	9	0	21	106	0
ครกกลาง	50	137	22	62	0
ครกเล็ก	15	14	19	50	0
ครกจิ๋ว	59	198	10	262	0
รวม	133	349	72	480	0
				รวมทั้งหมด	1034

รวมยอดของเสียทั้งหมด 1034 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 4000 ไบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดแบบ Color Rejected ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่หลังเตาเกือบทั้งหมด และพบในครกใหญ่ซึ่งตั้งอยู่กลางเตาเผา

นาย ประกอบ สมแก้ว
ผลิตภัณฑ์ ตรีภ



● = Color Rejected

○ = Vertical Crack

○ = Deformed Shape

○ = Ring Crack

○ = Scaled Surface

○ ตำแหน่งการเกิดของเสีย

← ○ → ตำแหน่งการเกิดของเสียตลอดแนว

○ → ตำแหน่งการเกิดของเสีย

← ○ จากจุดเริ่มจนถึงหัวลูกศร

① ตำแหน่งชั้นการเกิดของเสีย

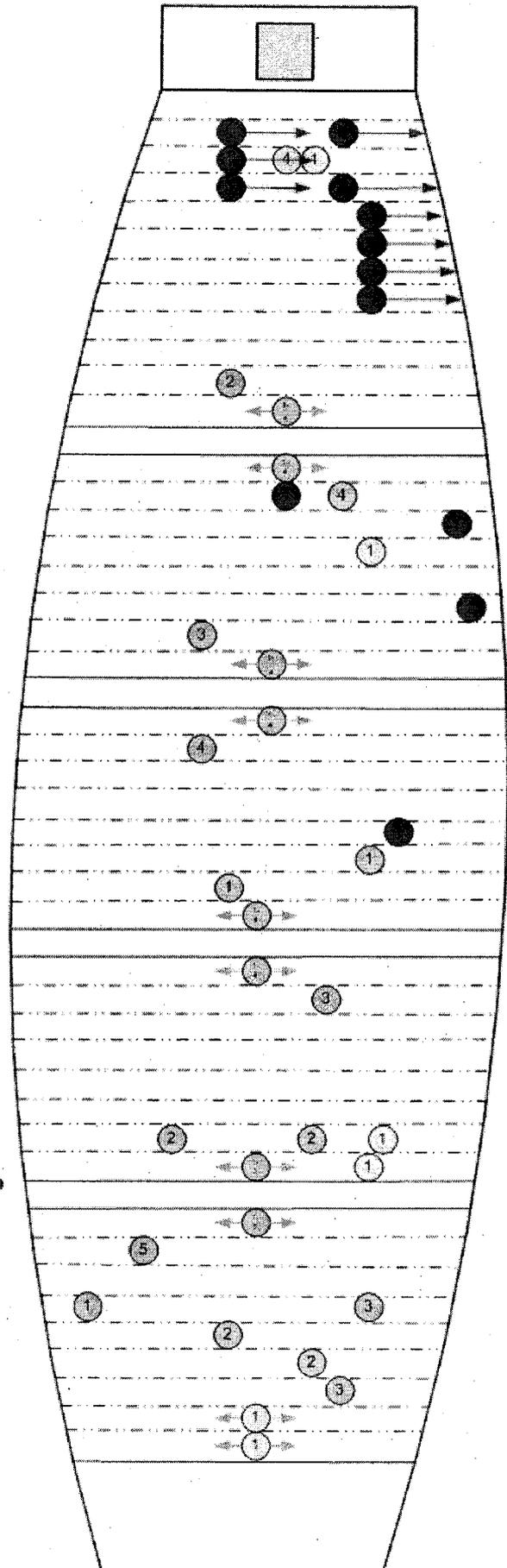
ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครกใหญ่	9	10	1	190	0
ครกกกลาง	94	52	40	205	0
ครกเล็ก	76	82	42	187	0
ครกจิ๋ว	85	162	36	295	0
รวม	264	306	119	877	0
				รวมทั้งหมด	1566

รวมยอดของเสียทั้งหมด 1566 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 4100 ไบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดแบบ Color Rejected ซึ่งกระจายอยู่ทั่วเตาเผา ยกเว้นบริเวณตาแรก
 ที่อยู่ด้านหน้าเท่านั้น ตั้งแต่ชั้นที่ 1 จนถึงชั้นที่ 7 ของการจัดเรียงครก

นาย ประกอบ สมแก้ว
 ผลิตภัณฑ์ ครก
 ครั้งที่ 2



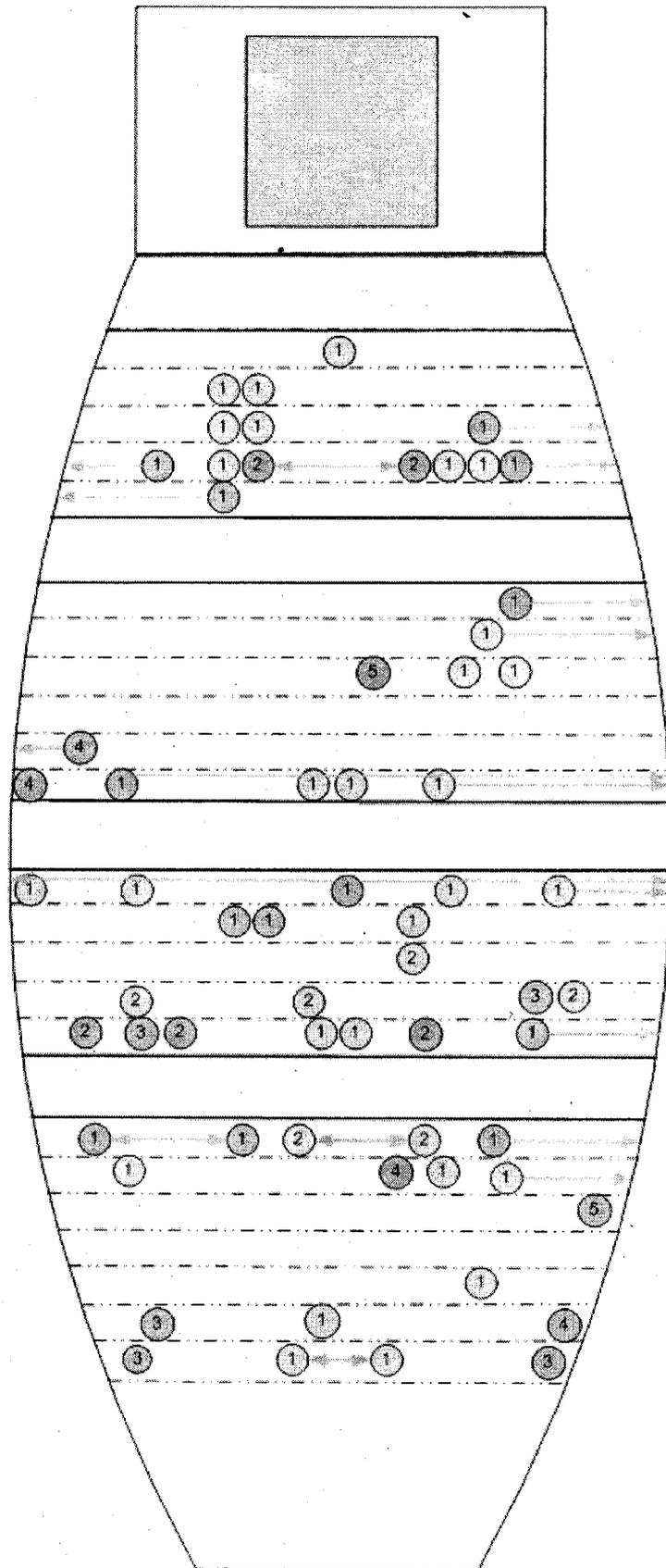
- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Deformed Shape
- (with ring) = Ring Crack
- (with texture) = Scaled Surface
- = ตำแหน่งการเกิดของเสีย
- ◀○▶ = ตำแหน่งการเกิดของเสียตลอดแนว
- ▶ = ตำแหน่งการเกิดของเสีย
- ◀○ = จากจุดเริ่มจนถึงหัวลูกคร
- ① = ตำแหน่งขึ้นการเกิดของเสีย

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครก Jumbo	0	0	2	0	0
ครกใหญ่	6	27	29	4	0
ครกกลาง	84	7	14	46	0
ครกเล็ก	100	55	29	120	0
ครกจิ๋ว	19	110	0	50	0
รวม	209	199	74	220	0
				รวมทั้งหมด	702

รวมยอดของเสียทั้งหมด 702 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 3000 ไบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดแบบ Color Rejected ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่หลังเตาเกือบทั้งหมด



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ◐ = Deformed Shape
- ◑ = Ring Crack
- ◒ = Sealed Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของกระถาง

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
กระถาง 14 นิ้ว	22	10	23	0	0
กระถาง 12 นิ้ว	54	30	60	0	0
กระถาง 8 นิ้ว	5	4	95	0	0
กระถาง 6 นิ้ว	2	10	44	0	0
กระถางไม้สูง	3	0	11	0	0
กระถางไม้เตี้ย	2	1	8	0	0
อ่างใหญ่	6	0	12	0	0
อ่างเล็ก	1	0	12	0	0
รวม	95	55	265	0	0

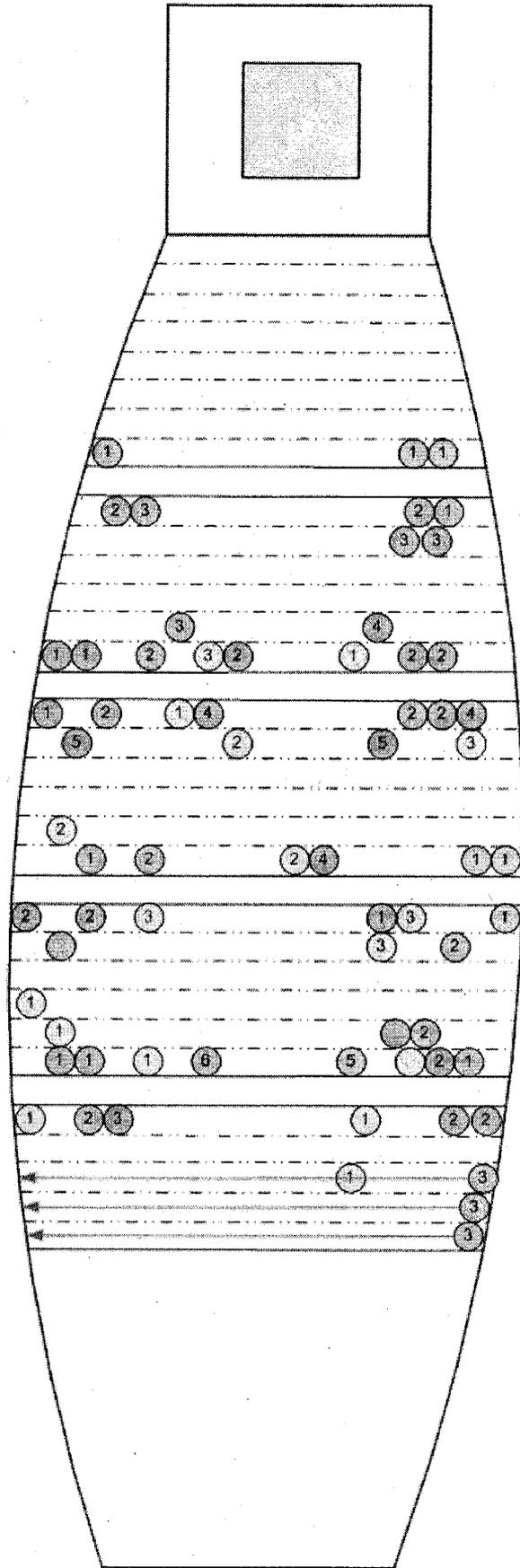
รวมทั้งหมด 415

รวมยอดของเสียทั้งหมด 415 ไบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา 1370 ไบ

Note ของเสียแบบ Color Rejected ในกระถาง ไม่มีเพราะผู้ผลิตต้องการทั้งสองสี

ပုံစံ ၁



- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- ◐ = Deformed Shape
- ◑ = Ring Crack
- ◒ = Scaled Surface

ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของกระถาง

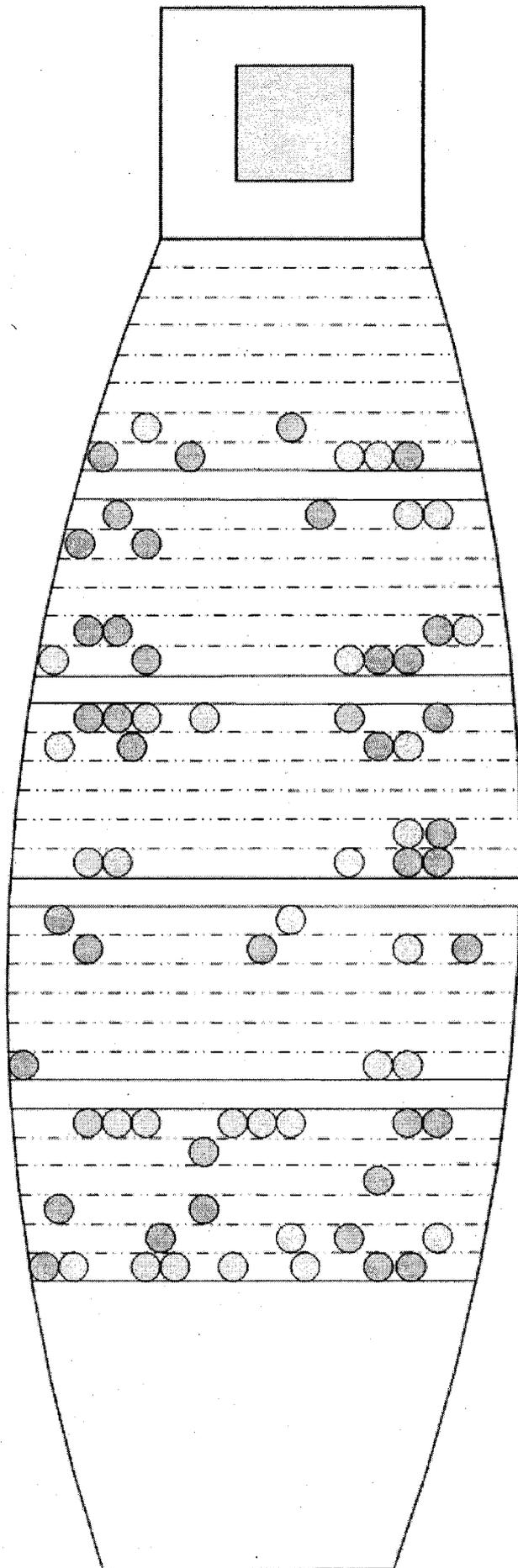
รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
กระถาง 14 นิ้ว	14	14	23	0	0
กระถาง 12 นิ้ว	14	26	14	0	0
กระถาง 10 นิ้ว	10	12	34	0	0
กระถาง 9 นิ้ว	0	4	3	0	0
จานรองกระถาง	0	0	0	0	0
รวม	38	56	74	0	0

รวมทั้งหมด 168

รวมยอดของเสียทั้งหมด 168 ไบ
 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้า
 เเผา 1270 ไบ

Note ของเสียส่วนใหญ่เกิดบริเวณหน้าเตา ซึ่งเป็นแบบ Deformed Shape บริเวณชั้นกลางของ
 การเรียงกระถางในการเผา ของเสียแบบ Scaled Surface, Vertical Crack เกิดที่แถวที่ติดตาไฟเป็นส่วนใหญ่
 การจัดเรียง จะเอากระบี่อิงเรียงไว้ที่ท้ายเตา และเรียงสลับตามช่องว่างของกระถางในเตา
 ส่วนกระถางวางแบบปกติ

ประธาน บวร พงษ์พิระ
ครั้งที่ 2



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของกระถาง

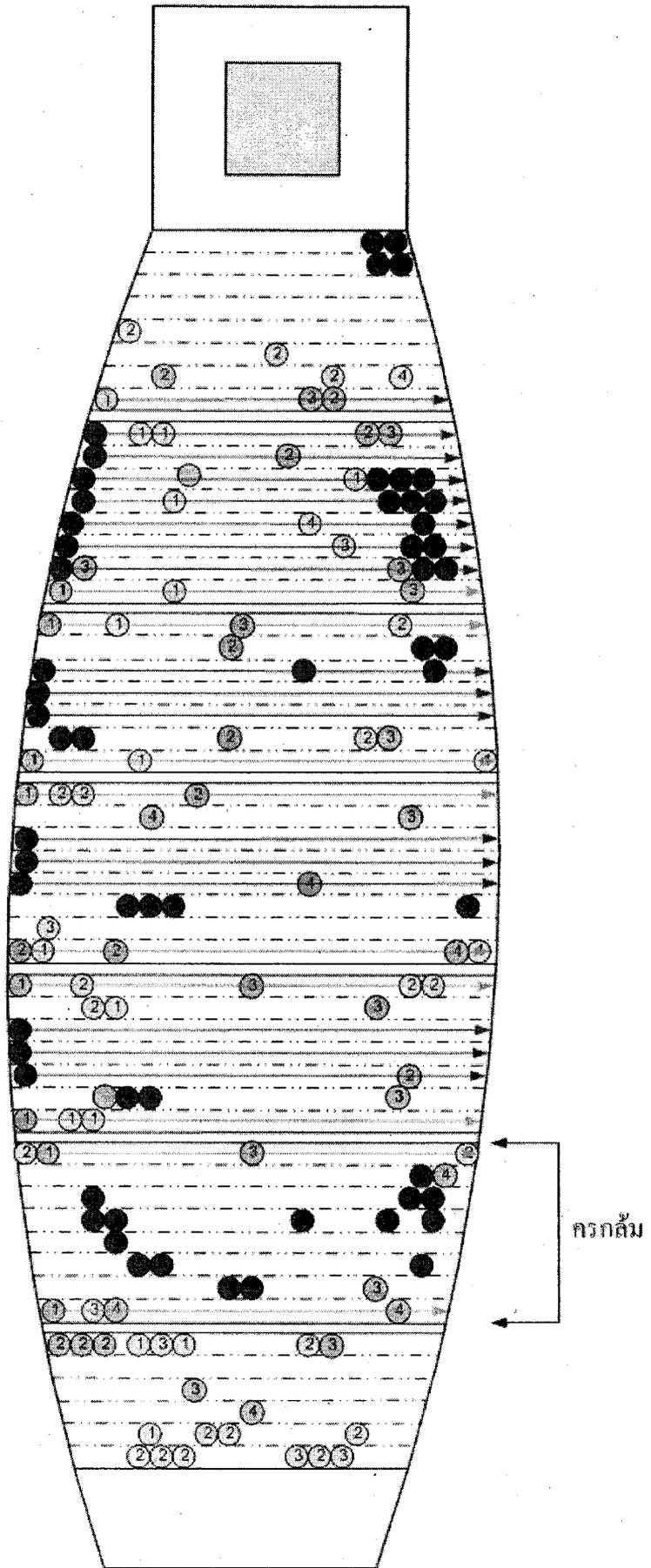
รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
กระถาง 14 นิ้ว	23	10	48	0	0
กระถาง 12 นิ้ว	26	8	32	0	0
กระถาง 8 นิ้ว	0	26	19	0	0
กระถาง 6 นิ้ว	0	10	26	0	0
กระถางชำ	0	0	0	0	0
กระถางชำกลม	0	0	0	0	0
จานรองกระถางใหญ่	1	0	0	0	0
จานรองกระถางเล็ก	0	0	0	0	0
ครกใหญ่	14	12	23	0	0
ครกกลาง	6	8	15	0	0
ครกเล็ก	12	0	11	0	0
รวม	82	74	174	0	0

รวมทั้งหมด 330

รวมยอดของเสียทั้งหมด 330 ไบ
จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้า
เผา 2365 ไบ

Note การจัดเรียง จะเอากระเบื้องเรียงไว้ที่ท้ายเตา และเรียงสลับตามช่องว่างของกระถางในเตา ส่วนกระถางวางแบบปกติบริเวณกลางเตา ส่วนครกจัดเรียงที่ หน้าเตาที่ตาแรก

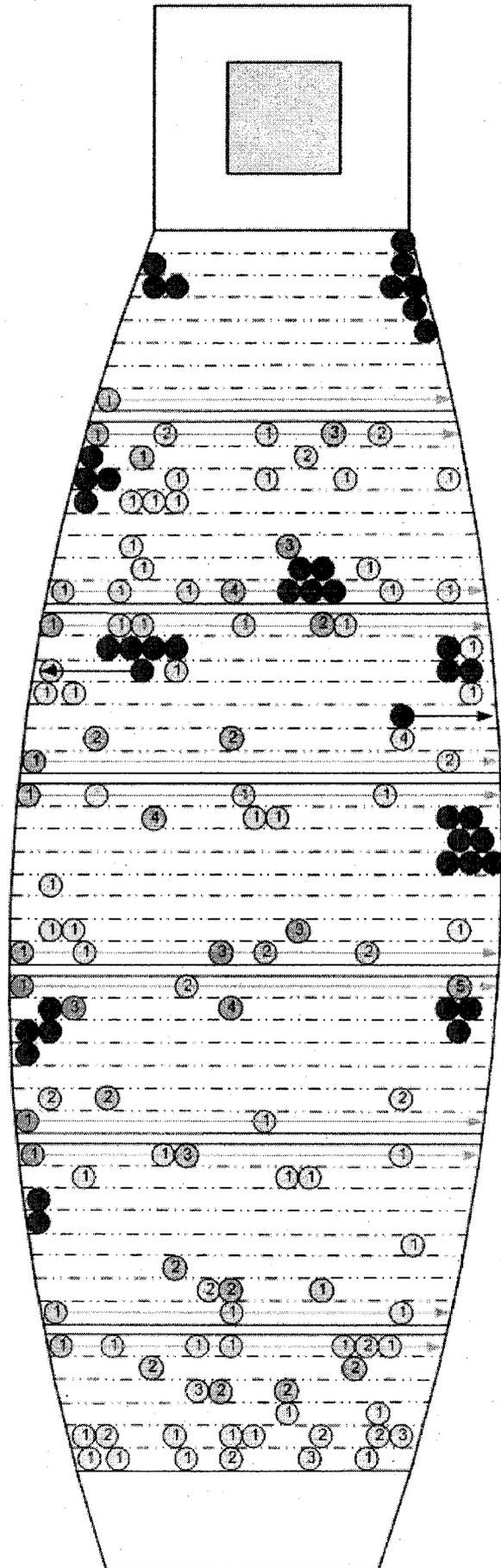
ประธานมวร พงษ์พิระ
ครั้งที่ 3
Product ครก



- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Ring Crack
- (with wavy pattern) = Deformed Shape
- (with stippled pattern) = Scaled Surface

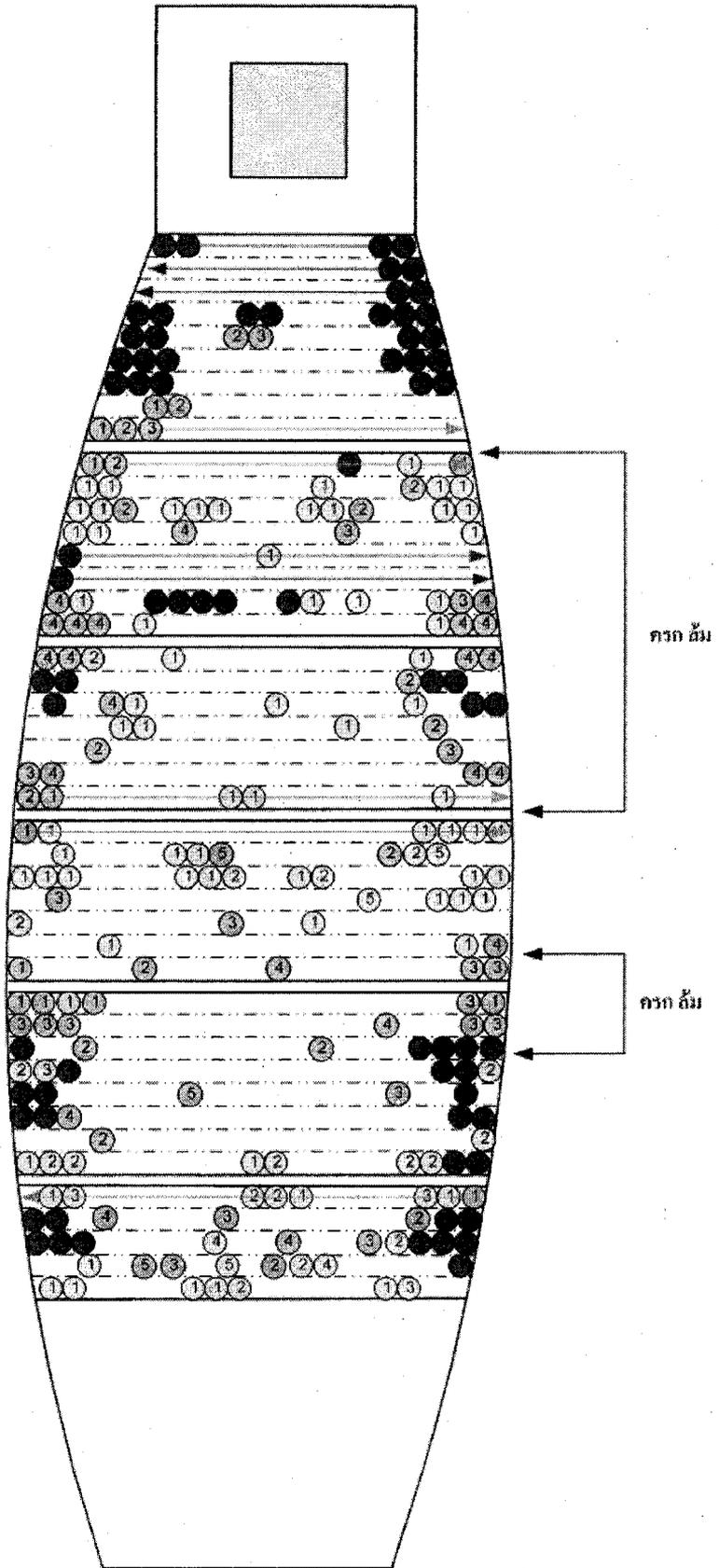
ประธานบวร พงษ์พิระ
ครั้งที่ 4

Product กรก



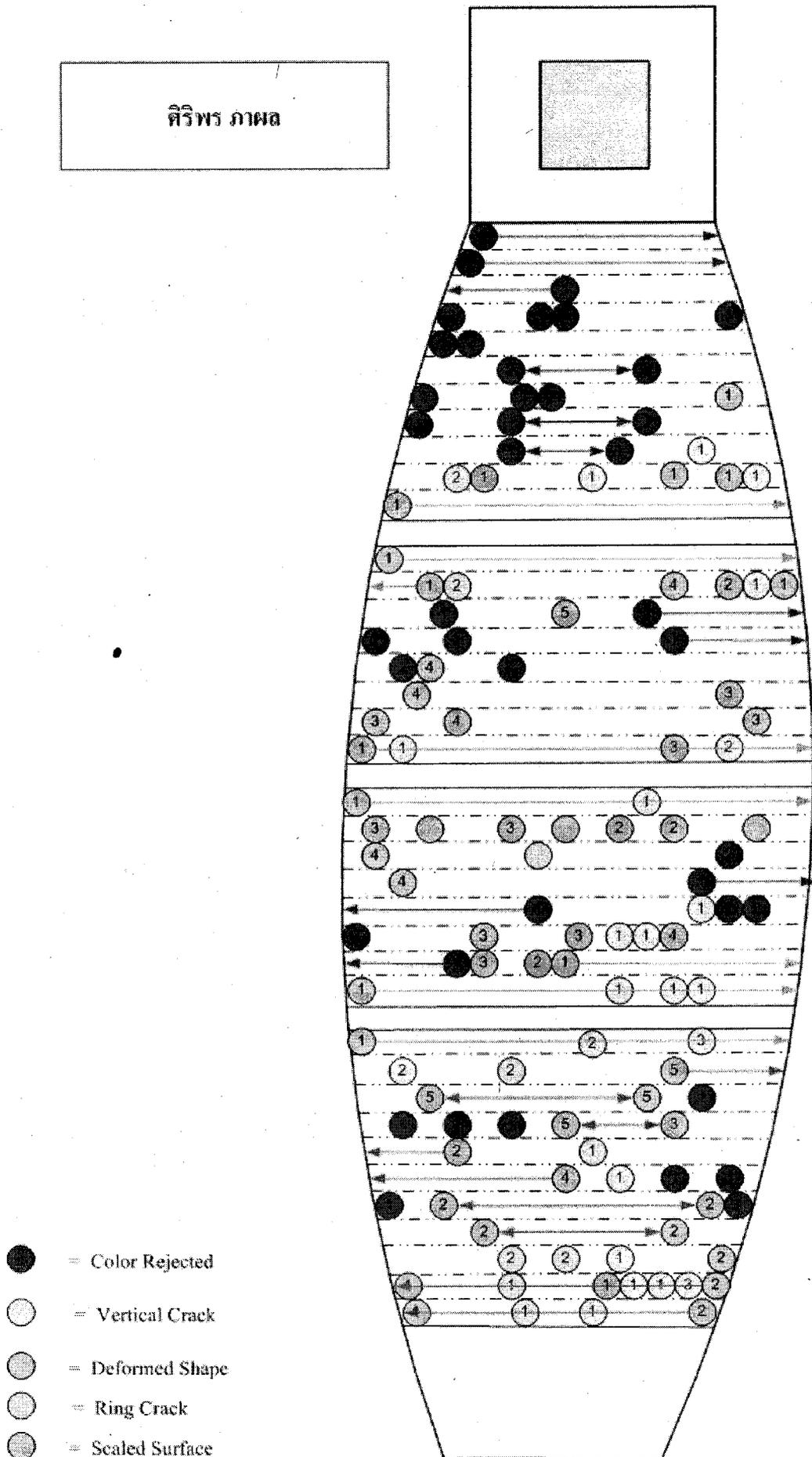
- = Color Rejected
- = Vertical Crack
- (with vertical line) = Deformed Shape
- (with horizontal line) = Ring Crack
- (with diagonal line) = Scaled Surface

ประธานมอบ พงษ์พิระ
 ครั้งที่ 5
 Product กรก



- = Color Rejected
- (with vertical line) = Vertical Crack
- (with horizontal line) = Deformed Shape
- (with ring) = Ring Crack
- (with texture) = Scaled Surface

ศิริพร ภาพ



ตารางแสดงรายการสรุปของเสียของครก

รายการ	Vertical Crack	Scaled Surface	Deformed Shape	Color Rejected	Ring Crack
ครก Jumbo	5	0	2	12	0
ครกใหญ่	8	2	46	155	0
ครกกกลาง	42	105	38	126	0
ครกเล็ก	86	74	180	306	0
ครกจิ๋ว	28	6	12	139	0
ที่รองขาตู้	1	0	0	0	0
รวม	170	187	278	738	0
				รวมทั้งหมด	1373

รวมยอดของเสียทั้งหมด

1373

ใบ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เอาเข้าเผา

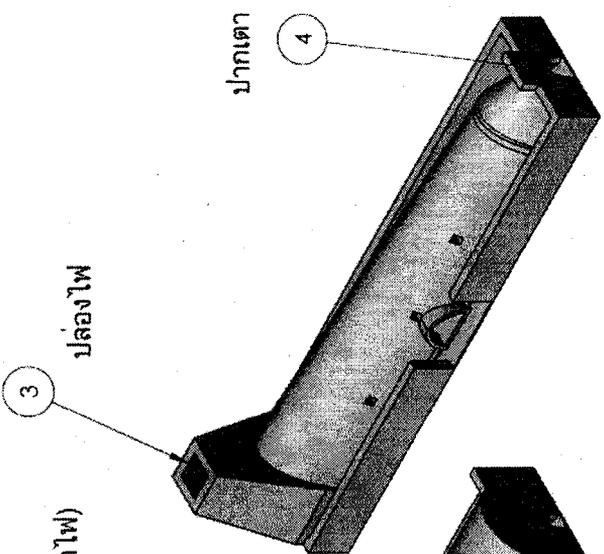
3340

ใบ

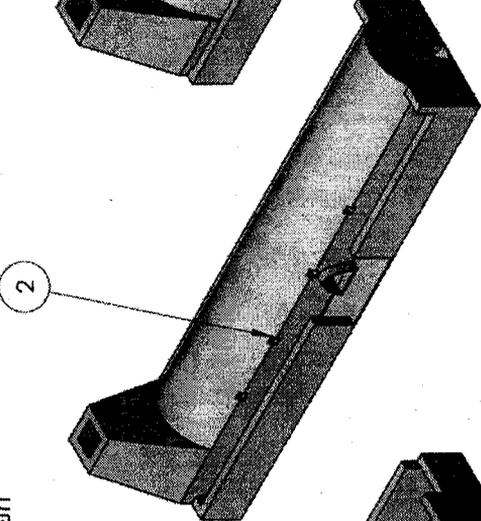
Note เตาที่ใช้เผาไว้มาก ของเสียที่เกิดจาก Color Rejected เกิดขึ้นบริเวณหลังเตาเป็นส่วนใหญ่
ด้านหน้าไฟมีการเกิด Deformation shape เป็นส่วนใหญ่

ภาคผนวก ง

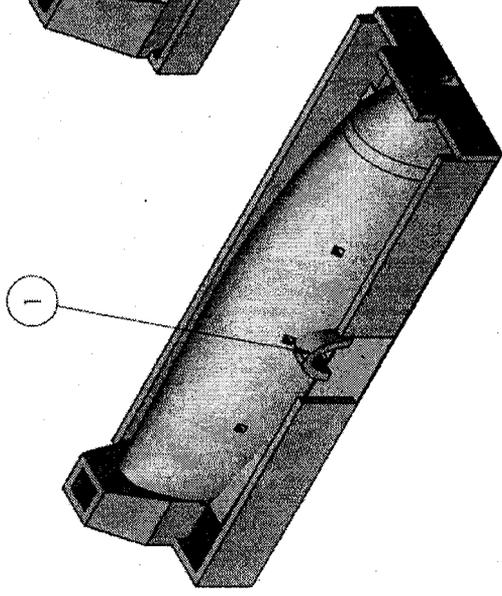
แบบรายละเอียดของเตาต้นแบบ



ช่องเดิมฟันข้างเตา (ตาไฟ)



ช่องสำหรับนำครกเข้าออก

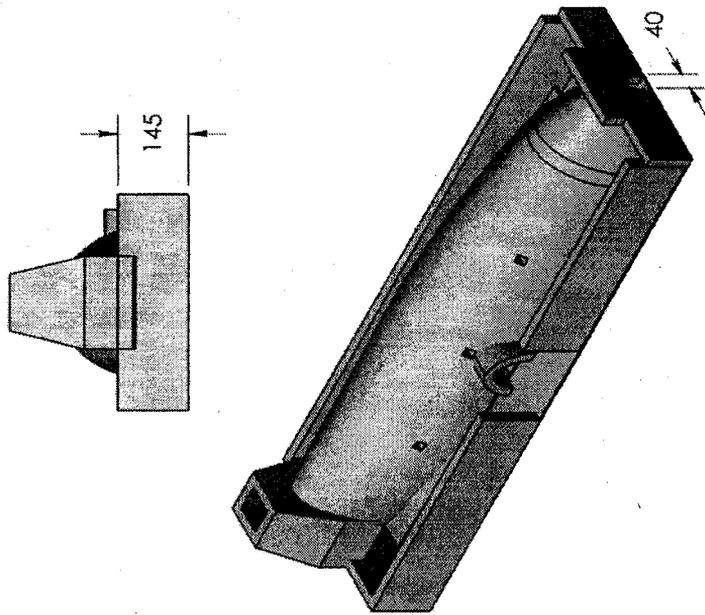
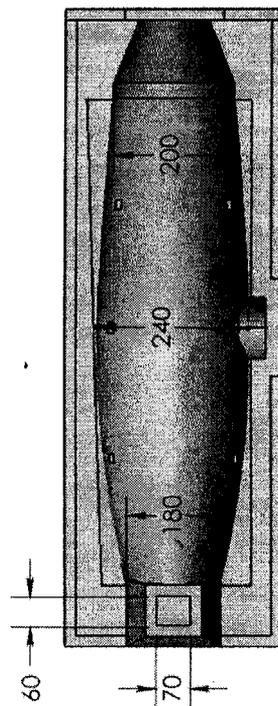
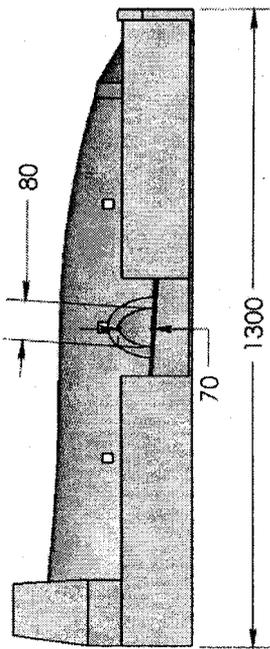


เตาอบล 3

เตาอบล 2

เตาอบล 1

OWNER	UBON RATCHATHANI UNIVERSITY		
7	เตาอบล 1-2-3	cm.	
No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL QTY
DESIGNED	RSEC		
DRAWN	A_Boothwong		
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	PROJECT NAME	DRAWING NO.	
1:1	MOCKUP KEN DEVELOPMENT	 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	

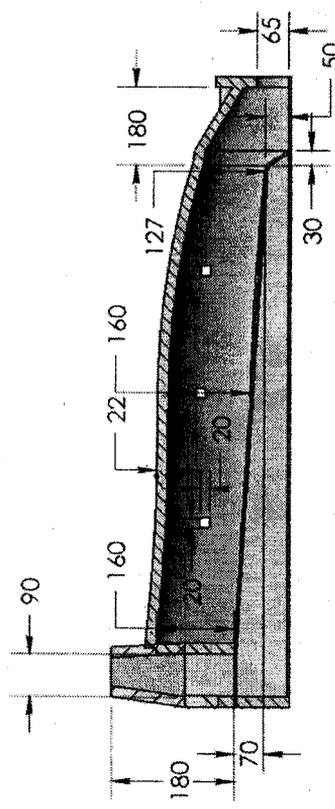


OWNER	UNONRATCHATHANI UNIVERSITY		
No.	๒	ชื่อชิ้นงาน 1	cm.
DESIGNED	RSEC	DIMENSION	MATERIAL
DRAWN	A. Bootwong		QTY
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	1:1	PROJECT NAME	MORTAR KILN DEVELOPMENT
		DRAWING NO.	



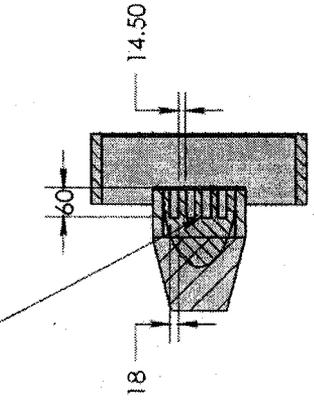
มหาวิทยาลัยบูรพา

มหาวิทยาลัยบูรพา

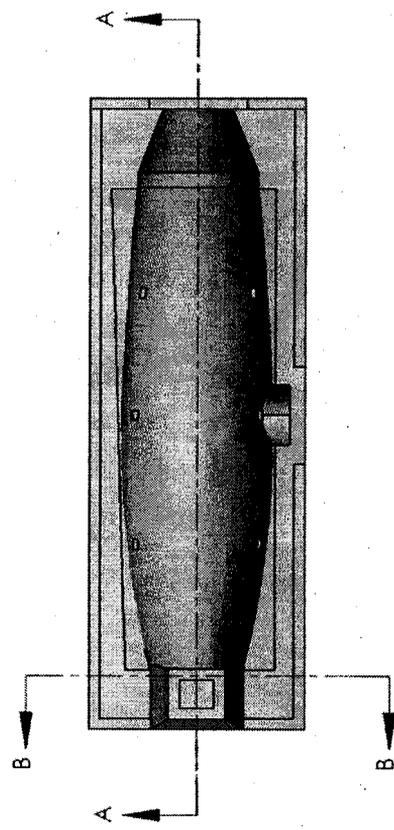


SECTION A-A

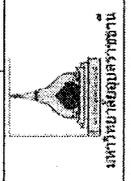
1
รูฝังเตาจุด 1

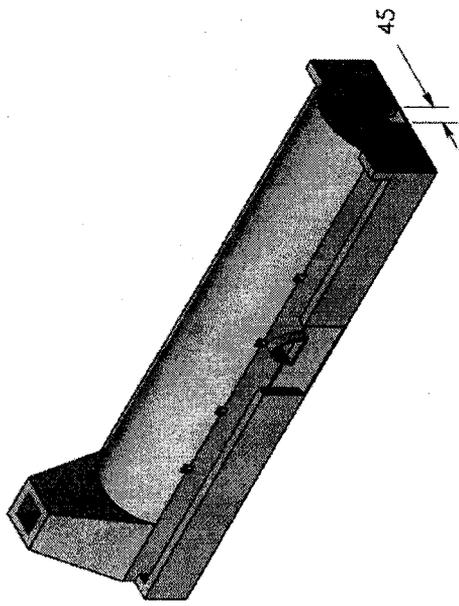
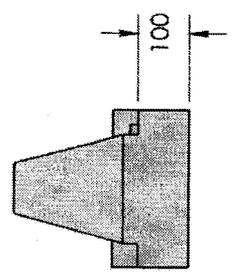
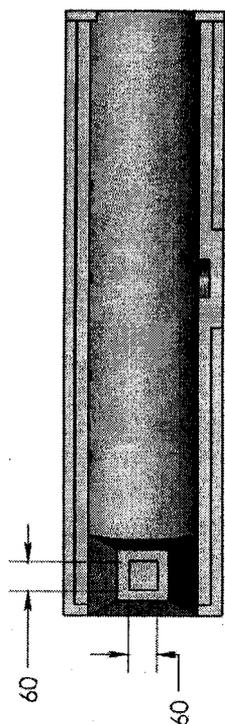
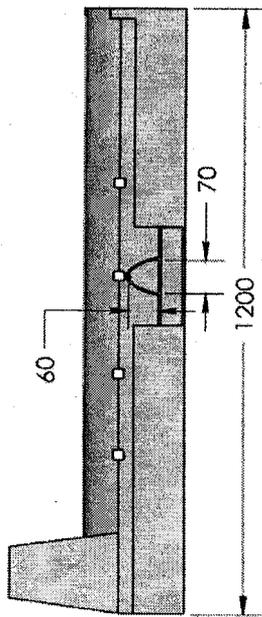


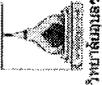
SECTION B-B

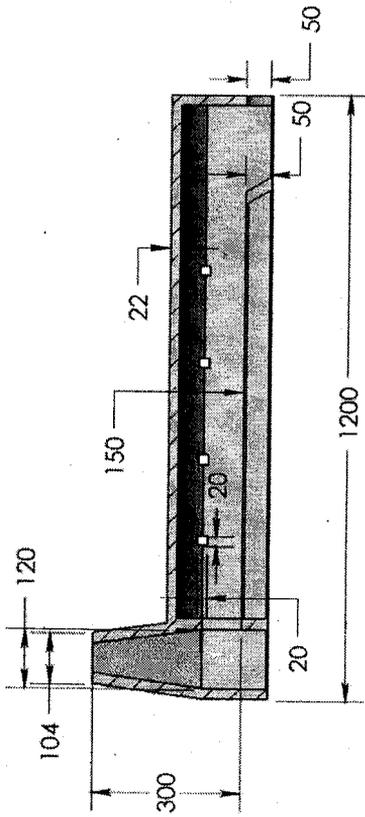


OWNER		UBON RATCHATHANI UNIVERSITY	
1	เตาจุด 1	cm.	
No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL QTY
DESIGNED	RSEC		
DRAWN	A_Boothwong		
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	PROJECT NAME		
1:1	MORTAR KILN DEVELOPMENT		
			DRAWING NO.

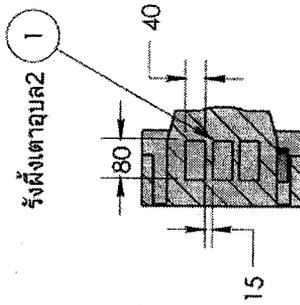




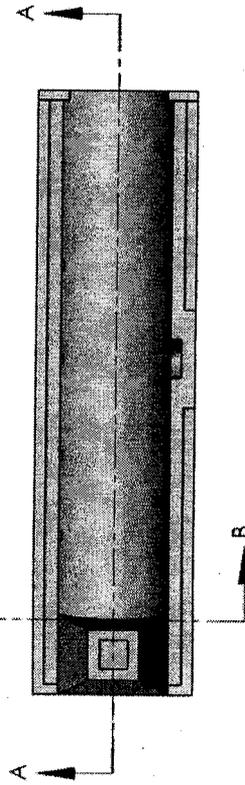
OWNER		UBONRATCHATHANI UNIVERSITY	
3	เลขที่ 2	cm.	
No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL QTY
DESIGNED	RSEC		
DRAWN	A_Boothwong		
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	PROJECT NAME	 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	
1:1	MORTAR KIN DEVELOPMENT		
			DRAWING NO.



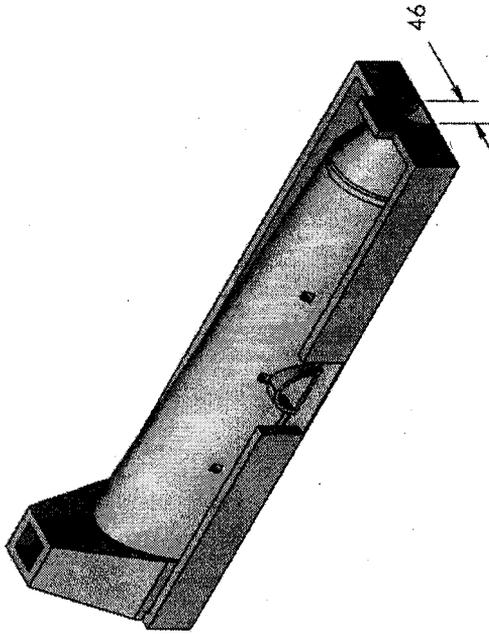
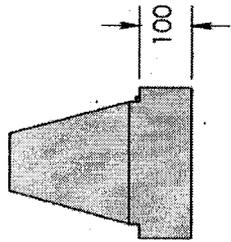
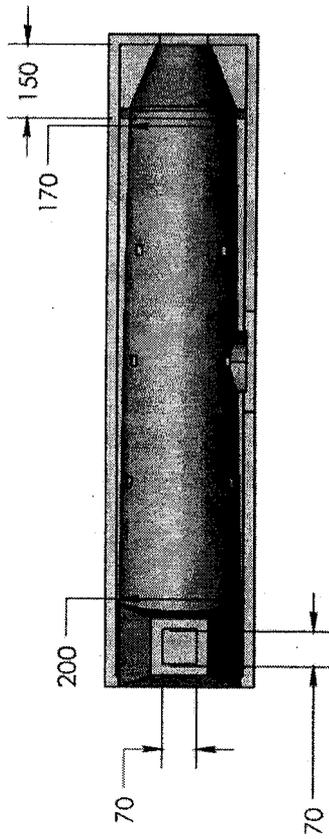
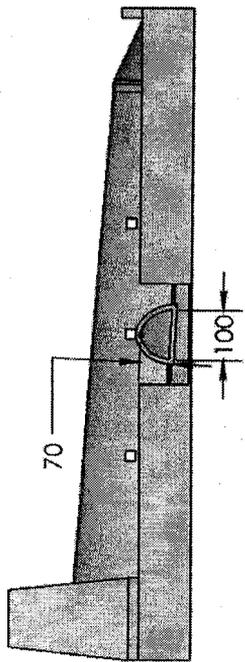
SECTION A-A



SECTION B-B



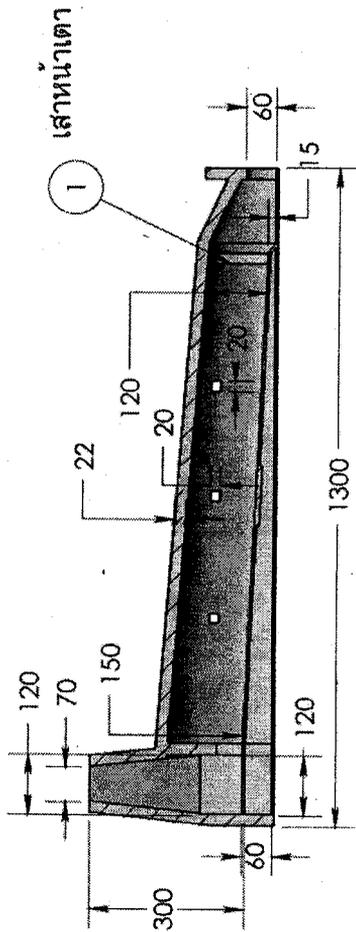
OWNER	UNONRAITATHANI UNIVERSITY		
4	เตาอบ 2	cm.	
No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL Q'TY
DESIGNED	RSEC		
DRAWN	A_Bootwong		
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	PROJECT NAME	DRAWING NO.	
1:1	MORTAR KILN DEVELOPMENT		



OWNER		UBON RATCHATHANI UNIVERSITY	
6	เลขที่ 3	cm.	
No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL QTY
DESIGNED	RSEC		
DRAWN	A_Bootwong		
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	PROJECT NAME		
1:1	MORTAR KEN DEVELOPMENT		
			DRAWING NO.

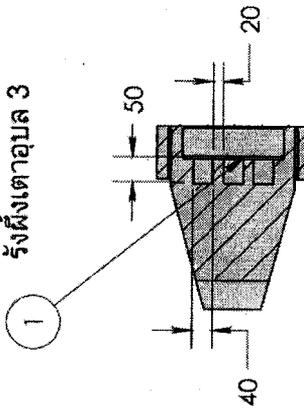


มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



1 รังผึ้งเตาอบล 3

SECTION A-A



SECTION C-C

OWNER	UBON RATCHATHANI UNIVERSITY		
5	เตาอบล 3	cm.	
No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL Q'TY
DESIGNED	RSEC		
DRAWN	A. Bootwong		
CHECKED	KP		
APPROVAL	KP		
SCALE	PROJECT NAME		
1:1	MORTAR KILN DEVELOPMENT		
			DRAWING NO.



ภาคผนวก จ

รายนาม คณะผู้ดำเนินงานวิจัย

คณะผู้ดำเนินงานวิจัย

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ผศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง

ที่ปรึกษาแผนงานวิจัย: ศ.ดร.ประกอบ วิโรจนกูฏ

หัวหน้าโครงการวิจัย

- โครงการที่ 1: ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
- โครงการที่ 2: ผศ.ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์
- โครงการที่ 3: ผศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง
- โครงการที่ 4: ผศ.ดร. อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

แผนงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 4 โครงการวิจัยย่อย และ ผู้วิจัย ดังนี้

1. โครงการที่ 1: การสำรวจและศึกษาระบบการผลิตและประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบลปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (An Intensive Study on the Ceramics Baking Process using Biomass-Kiln: Case Study at Pak-Huay-Wang-Nong, Ubonratchathani)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์

ผู้วิจัยหลัก

นายธนรัฐ ศรีวีระกุล

ผู้ร่วมงานวิจัย

ผศ.ดร. พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล

นายณันทวัฒน์ วีระบุษ

2. โครงการที่ 2: การศึกษาการทำงานของเตาเผาชีวมวลเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพเชิงความร้อนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ตำบล ปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (The Investigation of Biomass-Kiln and Its Development and Improvement of Thermal Efficiency using the Technique of Computational Fluid Dynamics (CFD): Case Study of Pak-huay-wung-nong Biomass-Kiln Ubonratchathani)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์

ผู้วิจัยหลัก

ผศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง

ผู้ร่วมงานวิจัย

นายชาตรี ต.โพธิงาม

นายธนรัฐ ศรีวีระกุล

3. **โครงการที่ 3:** การออกแบบ และ ทดสอบเตาเผาชีวมวล สำหรับเครื่องปั้นดินเผาแบบ ประสิทธิภาพสูง: กรณีศึกษาเตาเผาเครื่อง ปั้นดินเผา ตำบล ปากห้วยวังนอง จังหวัด อุบลราชธานี (Design and Validation of High Efficiency Fired Clay Biomass-Kiln: Case Study at Pak-Huay-Wang-Nong, Ubonratchathani)

หัวหน้าโครงการวิจัย ผศ.ดร. กุลเชษฐ เพียรทอง
ผู้วิจัยหลัก ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
ผู้ร่วมงานวิจัย ร.ท. สมญา ภูนะยา
ผศ.ดร.พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล
ผศ.บรรชา บุคคาดี

4. **โครงการที่ 4:** การถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เตาเผาชีวมวลประสิทธิภาพสูง: กรณีศึกษาเตาเผา เครื่องปั้นดินเผา ตำบลปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี (Technology Transfer and Enhancement on the Use of High Efficiency Fired Clay Biomass-Kiln : Case Study at Pak Huay Wang Nong, Ubonratchathani)

หัวหน้าโครงการวิจัย ผศ.ดร. อำไพศักดิ์ ทีบุญมา
ผู้วิจัยหลัก นาย นิรันดร์ หันไชยงวา
ผู้ร่วมงานวิจัย นาย นิตกร พรหมดวง
ผศ.ดร.พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล
น.ส.ทรงสุภา พุ่มชุมพล
ดร.อนิรุตต์ มัทธจักร