

ผลการทดลอง วิเคราะห์

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองในการตรวจวัดข้อมูลต่างๆของเตาเผาเซรามิค ประสิทธิภาพสูงที่จำเป็นต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโรงงานสมศักดิ์เซรามิค และแสดงผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมทั้งเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.1 ผลการทดลองในการตรวจวัดข้อมูลต่างๆของเตาเผาเซรามิค

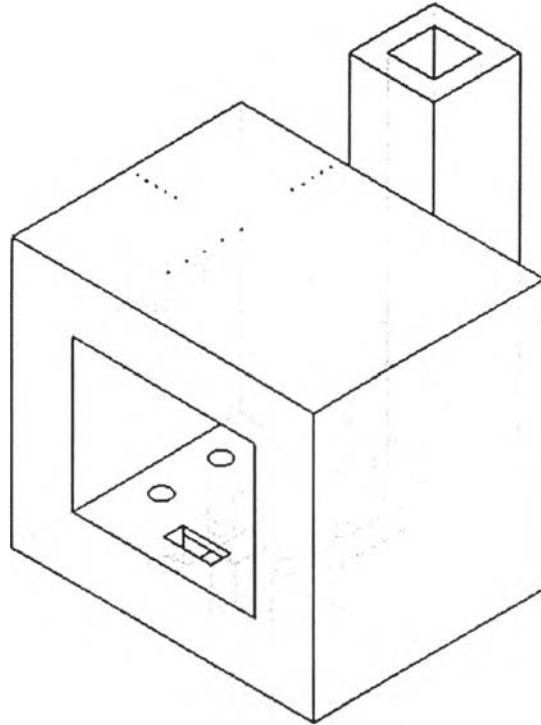
ในการตรวจวัดข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในหัวข้อ 4.2 ได้ทำการเก็บข้อมูลระหว่างช่วงการเผาของเตาเผาเซรามิค โดยเดินทางไปยังบริษัท สมศักดิ์เซรามิค จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ที่ 167 หมู่ที่ 7 ตำบลน้ำใจ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง จำนวน 3 ครั้ง ครั้งแรกระหว่างวันที่ 2-4 ธันวาคม พ.ศ. 2545 เพื่อทำการการเก็บข้อมูลเบื้องต้นอันได้แก่ ขนาด รูปร่าง รวมทั้งอุปกรณ์วัดบางอย่างที่ทางโรงงานมีการติดตั้งอยู่แล้วพร้อมกำหนดจุดวัดและสภาพการวัดต่างๆเพื่อจัดเตรียมจัดซื้อและจองเครื่องมือวัด ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2545-1 มกราคม พ.ศ.2546 เพื่อทำการขออนุญาตติดตั้งเครื่องมือตามที่ออกแบบไว้และทำการเผาทดสอบจำนวน 3 ครั้ง จากการทดสอบพบปัญหาที่ทำให้ทราบว่าเครื่องมือวัดบางชิ้นทำงานไม่สมบูรณ์ ต้องนำกลับมาซ่อมที่กรุงเทพฯ จากนั้นครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 4 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 เพื่อทำการเก็บข้อมูลโดยละเอียด

5.1.1 ข้อมูลเบื้องต้น

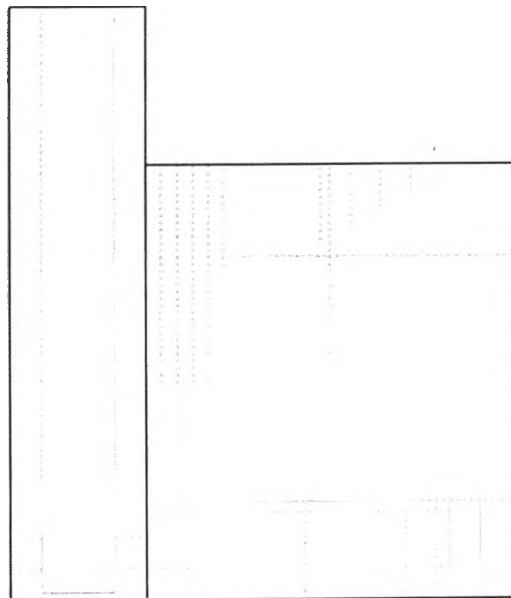
รายละเอียดและรูปร่างเตาเผาเซรามิค ได้แสดงไว้ในรูปที่ 49-52

5.1.2 ข้อมูลโดยละเอียด

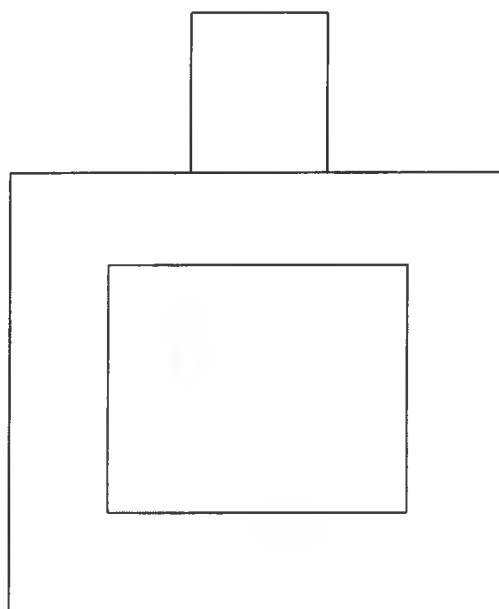
ประกอบด้วยข้อมูลขององค์ประกอบของก๊าซเสีย ความดันก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิในผนังเซรามิคไฟเบอร์ของเตาเซรามิคด้านต่างๆ และอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยในการเผาแต่ละครั้งซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



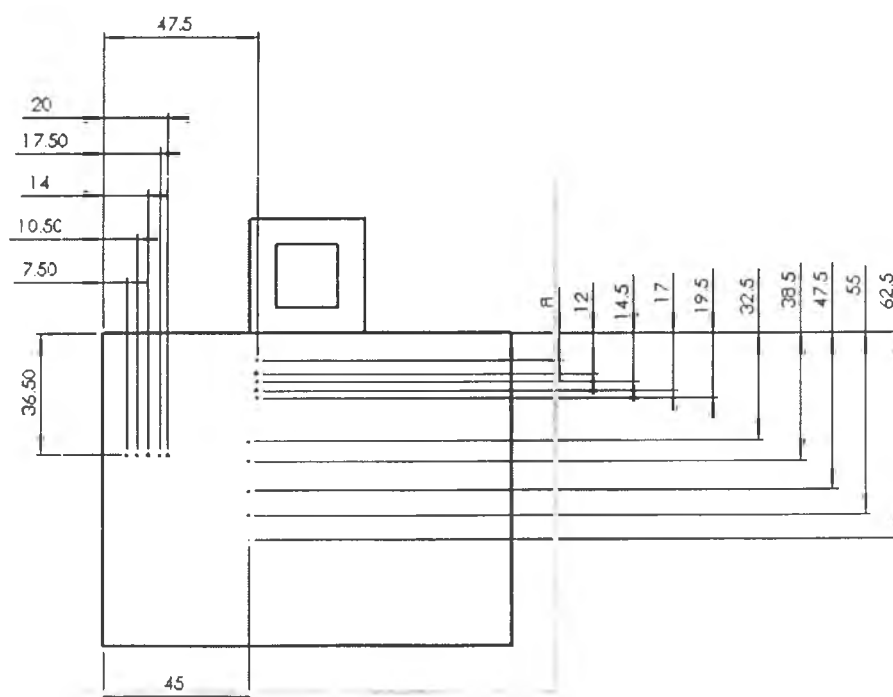
รูปที่ 49 เตาเผาเซรามิกแบบ 3 มิติของรูปร่างและตำแหน่งจุดติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 50 แบบเตาเผาเซรามิกด้านข้างของรูปร่างและตำแหน่งจุดติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 51 แบบเตาเผาเซรามิคด้านหน้าของรูปร่างและตำแหน่งจุดติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 52 แบบเตาเผาเซรามิคด้านหลังของรูปร่าง และตำแหน่งจุดติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

1) องค์ประกอบก๊าซเสีย

องค์ประกอบของก๊าซเสียจากกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาเซรามิกที่ออกมาจากการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ในเตาเผาเซรามิก ทำการวัดทุก 15-20 นาที

2) ความดันก๊าซหุงต้ม

เป็นความดันก๊าซหุงต้มก่อนเข้าเตาเผาเซรามิกประสิทธิภาพสูง

3) เวลาที่ใช้ในการเผาแต่ละกระบวนการ

เป็นเวลาที่ใช้ในการเผาแต่ละขั้นตอนในหัวข้อ 4.1.1 ซึ่งจะใช้เวลารวม 3-7 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่เข้าเผาแต่ละชนิด

4) อุณหภูมิก๊าซเสีย

เป็นอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่องของเตาเผาเซรามิก

5) อุณหภูมิด้านข้าง 5 จุด

เป็นอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล ตามรายละเอียดในข้อ 21-25 ในหัวข้อ 4.2.1

6) อุณหภูมิด้านบน 5 จุด

เป็นอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล ตามรายละเอียดในข้อ 26-30 ในหัวข้อ 4.2.1

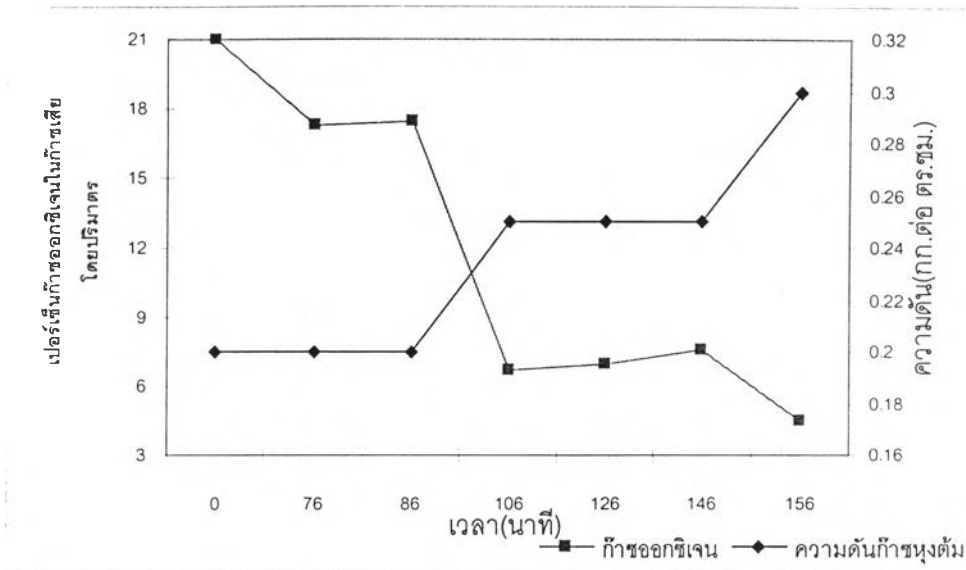
7) อุณหภูมิด้านหลัง 5 จุด

เป็นอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล ตามรายละเอียดในข้อ 31-35 ในหัวข้อ 4.2.1

ผลการทดลองในหัวข้อ 5.1.2 นี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ รายละเอียดในส่วนของหัวข้อย่อย 1 ถึง 4 และรายละเอียดในส่วนของหัวข้อย่อย 1 ถึง 4 รายละเอียดในส่วนของหัวข้อย่อย 1 ถึง 4 สามารถสรุปรูปแบบตามกระบวนการทำงานที่เกิดขึ้นจริงได้เป็น 3 รูปแบบ ในแต่ละรูปแบบจะประกอบด้วย

1. ตารางแสดงกระบวนการทำงานของเตาเผาเซรามิก
2. แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความดันก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิในเตาเผาเซรามิก อุณหภูมิก๊าซเสีย และเวลา
3. แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันก๊าซหุงต้มกับและเวลากับเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจนในก๊าซเสีย

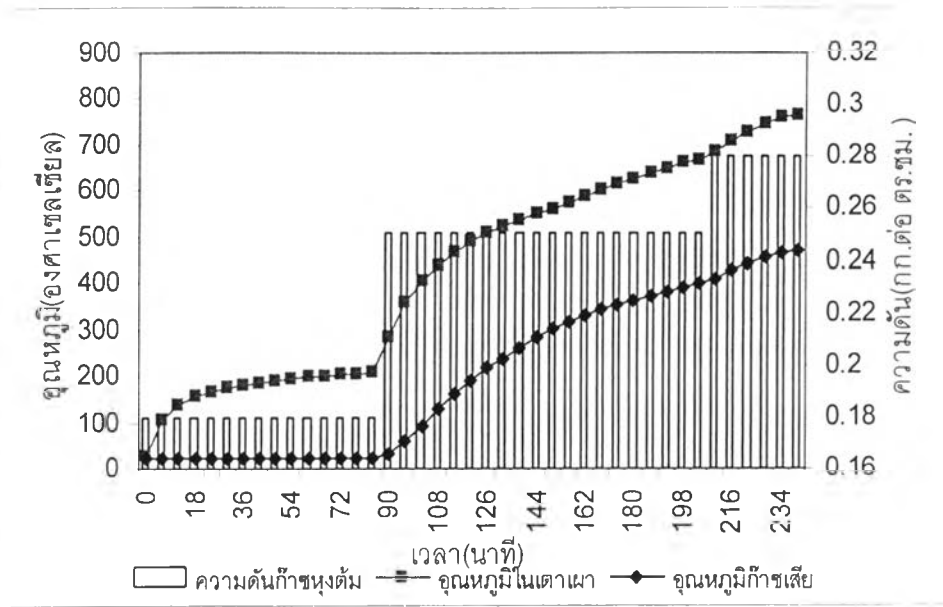
ต้นฉบับ หน้าขาดหาย



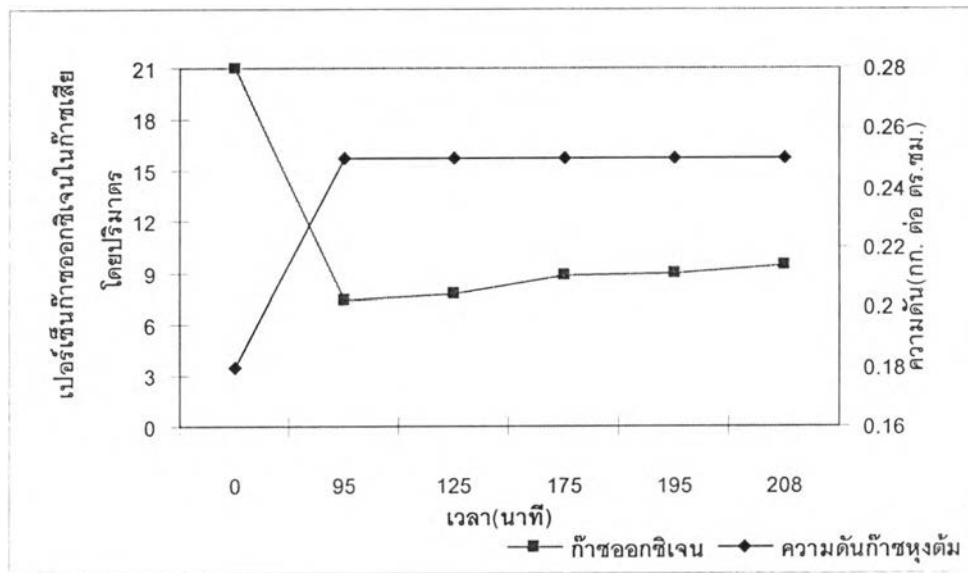
รูปที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันก๊าซหุงต้มและเวลากับเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจนในก๊าซเสียสำหรับการทดลองครั้งที่ 7

ตาราง 3 ผลการทดลองครั้งที่ 11

| ทดลองวันที่ 13 ม.ค.46 เริ่มเวลา 11:10 น. | | | | |
|--|--------------------------|--|-------------|-----------|
| เวลา | ความดันก๊าซ kg/cm^2 | Flue Gas Analyzer | | |
| | | O_2 % | η % | CO ppm |
| 11:10 น. | 0.18 | เริ่มจุดเพิ่มเป็น 4 หัว พร้อมปิดประตูเตาลงเล็กน้อย | | |
| 12.:37น | 0.25 | ปิดประตูเตาให้สนิทพร้อมเร่งไฟ | | |
| 12:45 น. | 0.25 | 7.4 | 79.9 | 415 |
| 13:15 น. | 0.25 | 7.8 | 76.9 | 481 |
| 14:05 น. | 0.25 | 8.8 | 71.3 | 300 |
| 14:25 น. | 0.25 | 9 | 69.1 | 118 |
| 14:38 น. | 0.25 | 9.4 | 66.3 | 65 |
| 14:40 น. | 0.28 | เร่งไฟ | | |
| 15:07 น. | | ปิดไฟ | | |



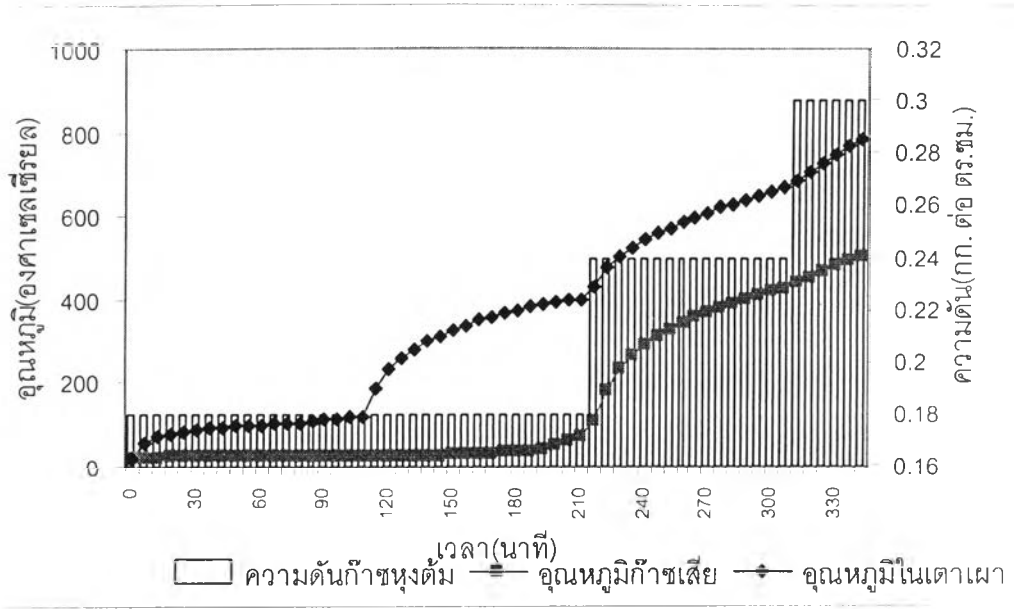
รูปที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค อุณหภูมิก๊าซเสีย และเวลา สำหรับการทดลองครั้งที่ 11



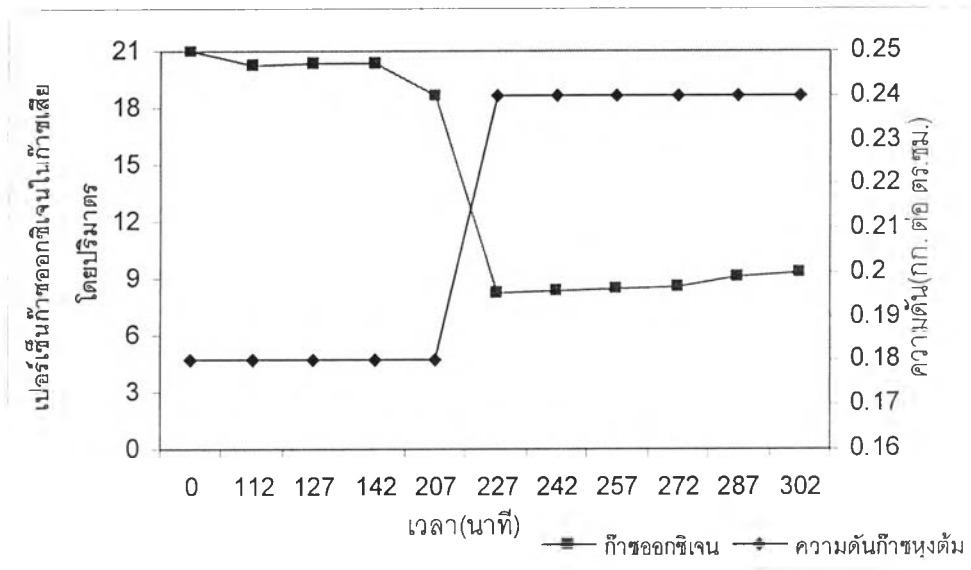
รูปที่ 56 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันก๊าซหุงต้มและเวลากับเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจนในก๊าซเสียสำหรับการทดลองครั้งที่ 11

ตาราง 4 ผลการทดลองครั้งที่ 13

| ทดลองวันที่ 15 ม.ค.46 เริ่มเวลา 09:38. น. | | | | |
|---|--------------------------|--|-------------|-----------|
| เวลา | ความดันก๊าซ kg/cm^2 | Flue Gas Analyzer | | |
| | | O_2 % | η % | CO ppm |
| 9:38 น. | 0.018 | เริ่มจุดเพียง 2 หัว | | |
| 11:25 น. | 0.18 | เริ่มจุดเพิ่มเป็น 4 หัว พร้อมปิดประตูเตาลงเล็กน้อย | | |
| 11:30 น. | 0.18 | 20.2 | | |
| 11:45 น. | 0.18 | 20.4 | | |
| 12:00 น. | 0.18 | 20.4 | | |
| 13:05 น. | 0.18 | 18.6 | 62 | 701 |
| 13:10 น. | 0.24 | ปิดประตูเตาพร้อมเร่งไฟ | | |
| 13:15 น. | 0.24 | 8.2 | 77.4 | 344 |
| 13:30 น. | 0.24 | 8.4 | 74.5 | 321 |
| 13:45 น. | 0.24 | 8.5 | 70.7 | 239 |
| 14:00 น. | 0.24 | 8.6 | 69.5 | 150 |
| 14:15 น. | 0.24 | 9.1 | 67.4 | 113 |
| 14:30 น. | 0.24 | 9.3 | 63.8 | 113 |
| 14:38 น. | 0.30 | เร่งไฟ | | |
| 15:20 น. | | ปิดไฟ | | |



รูปที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค อุณหภูมิก๊าซเสีย และเวลา สำหรับการทดลองครั้งที่ 13



รูปที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันก๊าซหุงต้มและเวลากับเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจน ในก๊าซเสียสำหรับการทดลองครั้งที่ 13

ในรูปที่ 53 ณ ช่วงเวลา 0-60 นาที (ประตูเปิดแฉ่งมากที่สุด) เมื่อเริ่มต้นกระบวนการเผา ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 0-6 นาที ที่ $14.91 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดในช่วง 54-60 นาที ที่ $0.8 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา มีค่าน้อยมากเนื่องจากในช่วงนี้ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลออกทางประตูเตาที่ยังเปิดแฉ่งอยู่

ในรูปที่ 53 ณ ช่วงเวลา 60-108 นาที (ประตูเปิดแฉ่งน้อยที่สุด) เมื่อมีการปิดประตูลงเล็กน้อย ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วง 60-66 นาที ที่ $3.33 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดในช่วง 102-108 นาที ที่ $1.2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา มีค่าเพิ่มขึ้นจาก $0.05 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ ในช่วงเวลา 60-66 นาที เป็น $1.68 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ ในช่วงเวลา 102-108 นาที

ในรูปที่ 53 ณ ช่วงเวลา 108-168 นาที (ประตูปิดสนิท) เมื่อปิดประตูให้สนิทพร้อมกับเร่งความดันก๊าซหุงต้ม ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 108-114 นาที ที่ $11.72 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิคมีค่าประมาณ 650°C จะทำการเพิ่มความดันก๊าซหุงต้ม ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้ จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 114-120 นาที ที่ $8.23 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง

ในรูปที่ 53 ณ ช่วงเวลา 108-196 นาที (ช่วงสุดท้ายของกระบวนการเผา) มีการเพิ่มความดันก๊าซหุงต้มเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะปิดเตา ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 108-114 นาที ที่ $5.35 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง จนกระทั่งปิดเตา สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา

กับเวลา ณ ช่วงเวลานี้ จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 114-120 นาที ที่ $3.36 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง

ในรูปที่ 55 ณ ช่วงเวลา 0-84 นาที (ประตูเปิดแฉ่งมากที่สุด) เมื่อเริ่มต้นกระบวนการเผา ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 0-6 นาที ที่ $13.23 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดในช่วง 78-84 นาที ที่ $0.47 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา มีค่าน้อยมากเนื่องจากในช่วงนี้ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลออกทางประตูเตาที่ยังเปิดแฉ่งอยู่

ในรูปที่ 55 ณ ช่วงเวลา 84-210 นาที (ประตูปิดสนิท) เมื่อปิดประตูเตาให้สนิทและเพิ่มความดันก๊าซ ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 84-90 นาที ที่ $12.48 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิคมีค่าประมาณ 680°C จะทำการเพิ่มความดันก๊าซหุงต้ม ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้ จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 96-102 นาที ที่ $6.27 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง

ในรูปที่ 55 ณ ช่วงเวลา 210-237 นาที (ช่วงสุดท้ายของกระบวนการเผา) มีการเพิ่มความดันก๊าซหุงต้มเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะปิดเตา ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 210-216 นาที ที่ $4.08 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง จนกระทั่งปิดเตา สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้ จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 210-216 นาที ที่ $2.55 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง

ในรูปที่ 57 ณ ช่วงเวลา 0-108 นาที (ประตูเปิดแฉ่งมากที่สุด) เมื่อเริ่มต้นกระบวนการเผา ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลา

นี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 0-6 นาที ที่ $5.57 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดในช่วง 102-108 นาที ที่ $0.25 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา มีค่าน้อยมากเนื่องจากในช่วงนี้ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลออกทางประตูเตาที่ยังเปิดแง้มอยู่

ในรูปที่ 57 ณ ช่วงเวลา 108-210 นาที (ประตูเปิดแง้มน้อยที่สุด) เมื่อมีการปิดประตูลงเล็กน้อยและเพิ่มหัวพ่นไฟเป็น 4 หัว ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงนี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วง 108-114 นาที ที่ $11.43 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดในช่วง 204-210 นาที ที่ $0.6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา มีค่าเพิ่มขึ้นจาก $0.03 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ ในช่วงเวลา 60-66 นาที เป็น $1.38 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ ในช่วงเวลา 204-210 นาที

ในรูปที่ 57 ณ ช่วงเวลา 210-306 นาที (ประตูปิดสนิท) เมื่อปิดประตูให้สนิทพร้อมกับเร่งความดันก๊าซหุงต้ม ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 216-222 นาที ที่ $8 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิคมีค่าประมาณ $670 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จะทำการเพิ่มความดันก๊าซหุงต้ม ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้ จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 216-222 นาที ที่ $12.41 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง

ในรูปที่ 57 ณ ช่วงเวลา 306-342 นาที (ช่วงสุดท้ายของกระบวนการเผา) มีการเพิ่มความดันก๊าซหุงต้มเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะปิดเตา ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วง 312-318 นาที ที่ $3.93 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง จนกระทั่งปิดเตา สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบ

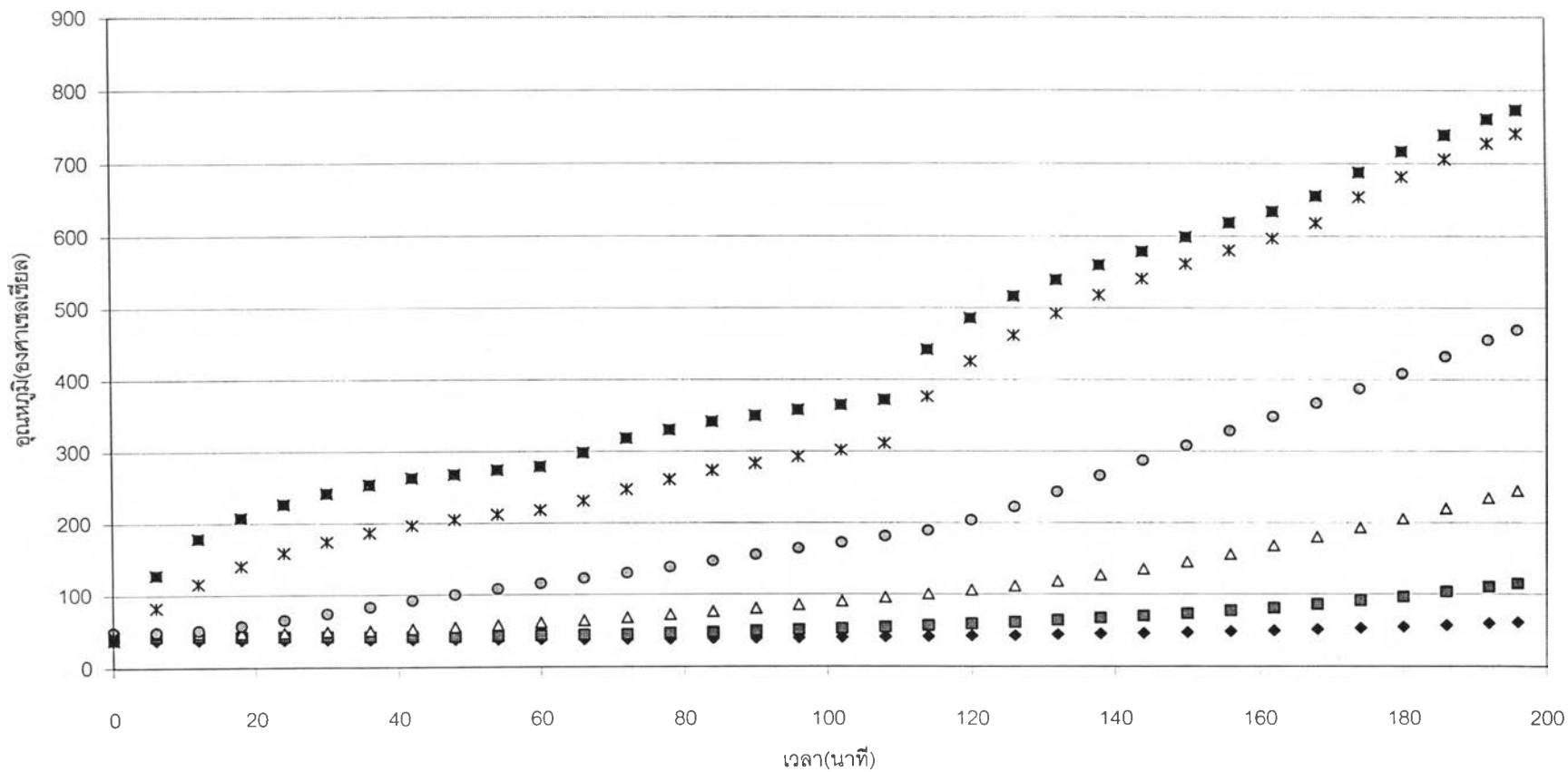
กับเวลา ณ ช่วงเวลานี้ จะมีค่ามากในช่วงแรก โดยที่มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 312-318 นาที ที่ $2.43 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{นาที}}$ หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียเทียบกับเวลาจะมีค่าลดลง

จะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเทียบกับเวลา เมื่อมีการปรับความดันก๊าซหุงต้มก่อนเข้าเผาไหม้ในเตาเผาเซรามิคเพิ่มขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 53 55 และ 57 และยังขึ้นอยู่กับการเพิ่มจำนวนหัวพ่นไฟในรูปที่ 57 อีกด้วย ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก๊าซเสียนั้นขึ้นอยู่กับจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ระยะเวลาแ่งมของประตูเตาที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 36 และ 37 ในบทที่ 4 และการปิดประตูดังที่เห็นได้จาก

ในรูปที่ 54 56 และ 58 เราสามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซเสียในช่วงแรกที่มี 21 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นั้น เป็นเปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนของอากาศ เนื่องมาจากในช่วงแรกของการเผาแต่ครั้งจะมีการเปิดประตูเตาทิ้งไว้ทำให้ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ไหลออกทางช่องว่างระหว่างประตูเตาและตัวเตาเผาเซรามิค เมื่อมีการปิดประตูเตาลงเล็กน้อยและอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคมีค่าประมาณ 330°C (สำหรับในรูปที่ 54 และ รูปที่ 58) ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้บางส่วนเริ่มไหลผ่านช่องทางปล่องไฟทำให้เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซเสียที่วัดค่าได้มีค่าอยู่ในระหว่าง 17-18 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนของกระบวนการเผาไหม้ในทั่วไป เมื่อมีการปิดประตูเตาสนิทและเพิ่มความดันก๊าซหุงต้ม มีผลให้เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจนในก๊าซเสียลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อมีการปิดประตูและเพิ่มความดันก๊าซหุงต้มทำให้ไม่มีอากาศที่ไหลเข้าผ่านประตูเตาที่เปิดอยู่และมีการใช้ก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซเสียลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิในเตาเผาสูงขึ้นทำให้เกิดค่าความแตกต่างระหว่างความดันในเตาเผาเซรามิคกับกับความดันที่ปล่องเตาเพิ่มขึ้นทำให้ก๊าซเสียไหลออกเร็วขึ้น จึงทำให้มีการดึงอากาศรอบข้างเตาเผาเซรามิคเข้าสู่เตาเผาเซรามิคผ่านช่องเปิดต่าง ทำให้เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในก๊าซเสีย ค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเมื่อเพิ่มความดันก๊าซหุงต้มในช่วงสุดท้ายของการเผาจะมีผลเช่นเดียวกับการปิดประตูเตาและเพิ่มความดันก๊าซ

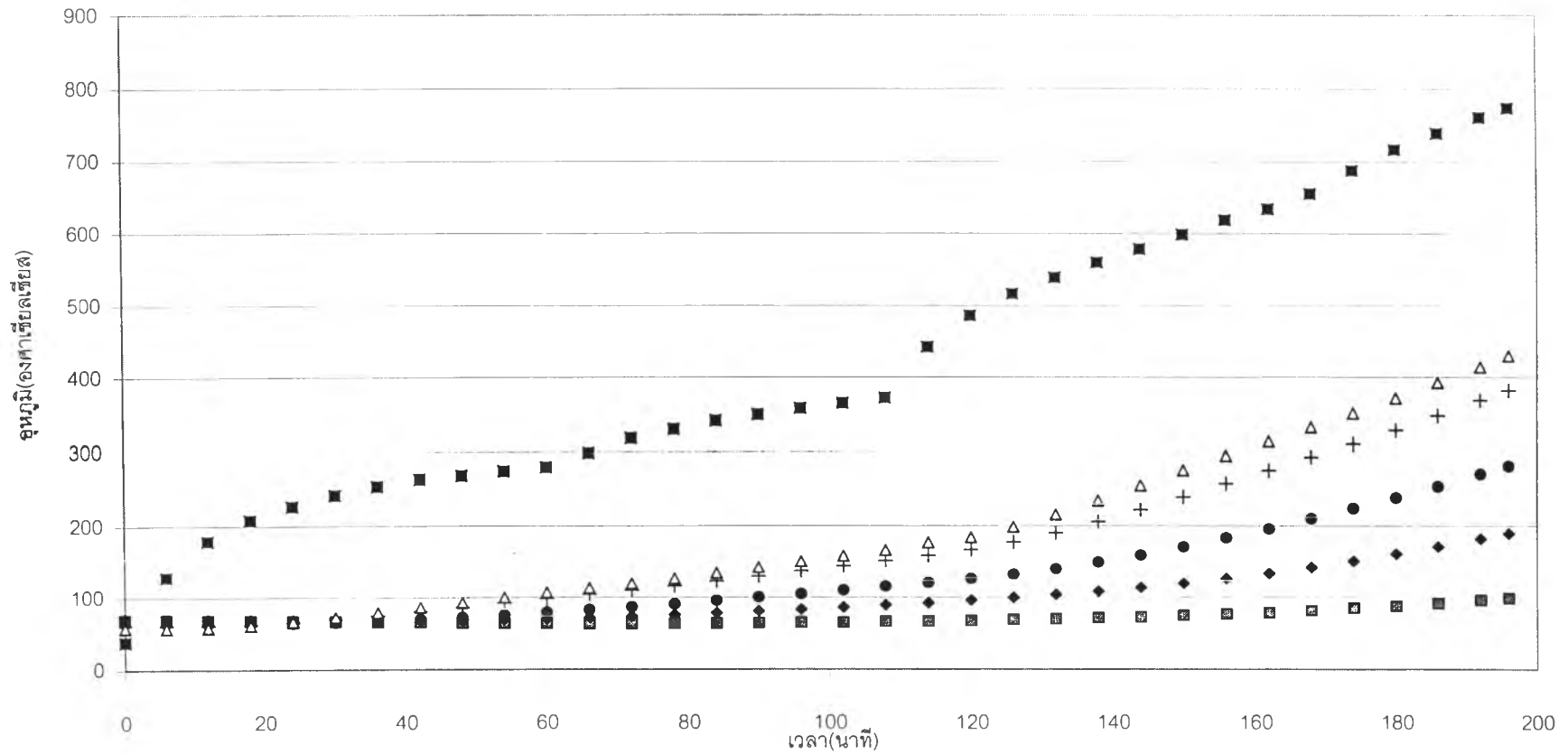
ผลการทดลองในส่วนที่ 2 คือรายละเอียดในหัวข้อ จ-ช นั้นมีข้อมูลจำนวนมาก นำมาเสนอในรูปตารางไม่สะดวก จึงนำเสนอในรูปแบบของแผนภูมิแทน โดยจะประกอบไปด้วย

1. แผนภูมิของอุณหภูมิในผนังด้านบน
2. แผนภูมิของอุณหภูมิในผนังด้านหลัง
3. แผนภูมิของอุณหภูมิในผนังด้านข้าง



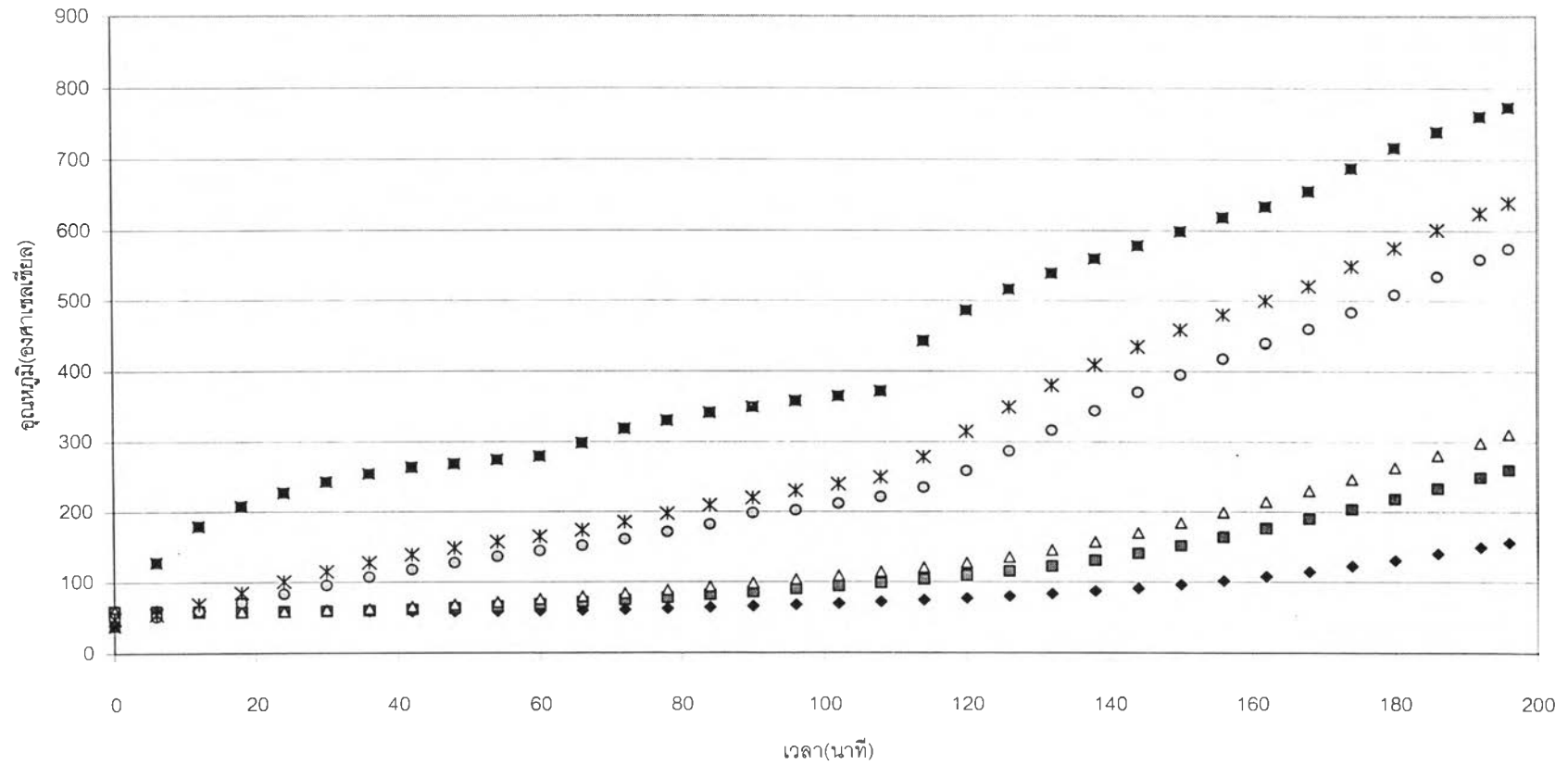
- ◆ อุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 3 ซม. ■ อุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 7 ซม. △ อุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 11 ซม.
- อุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 15 ซม. ✱ อุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 19 ซม. ■ อุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค

รูปที่ 59 อุณหภูมิในผนังด้านบนที่ระยะต่างๆจากผิวด้านบนของการทดลองครั้งที่ 7



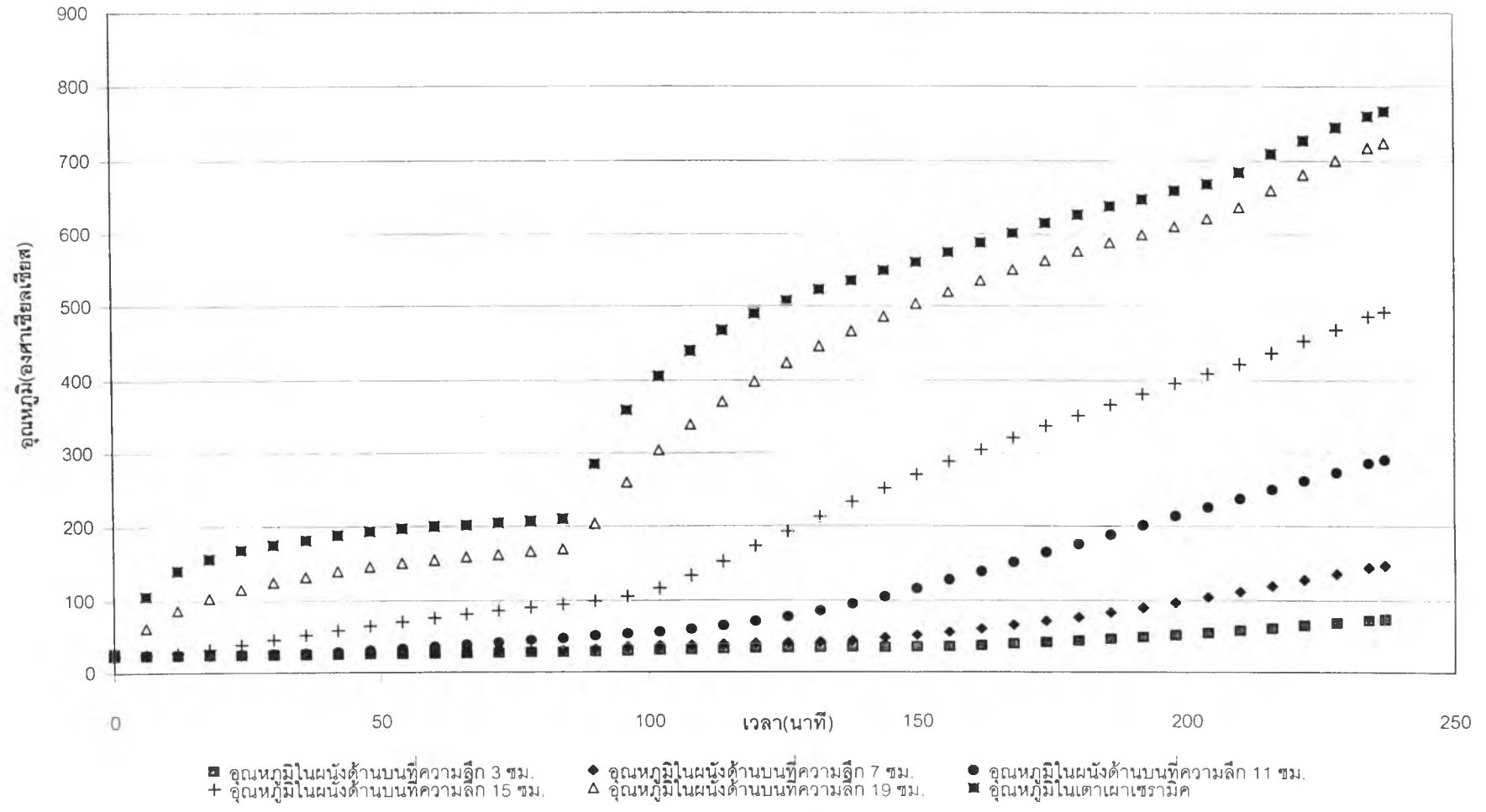
- อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะ 8 ซม. ◆ อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะ 12 ซม. ● อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะ 14.5 ซม.
- + อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะ 17 ซม. △ อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะ 19.5 ซม. ■ อุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค

รูปที่ 60 อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะต่างๆจากผิวด้านหลังของการทดลองครั้งที่ 7

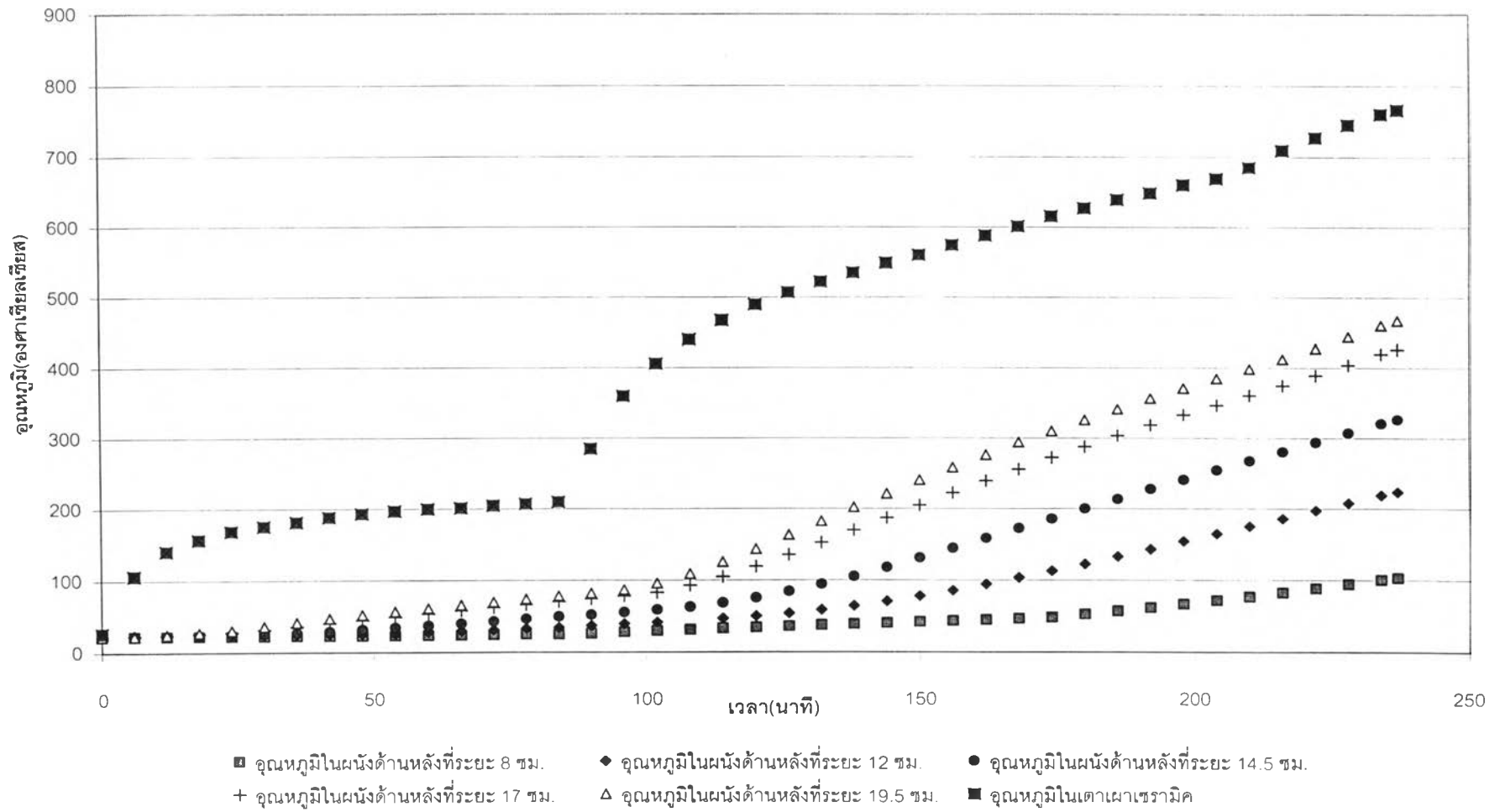


- ◆ อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 7.5 ซม. ◻ อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 11.5 ซม. △ อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 13 ซม.
- อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 18 ซม. ✱ อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 20 ซม. ■ อุณหภูมิในเตาเผาเซรามิก

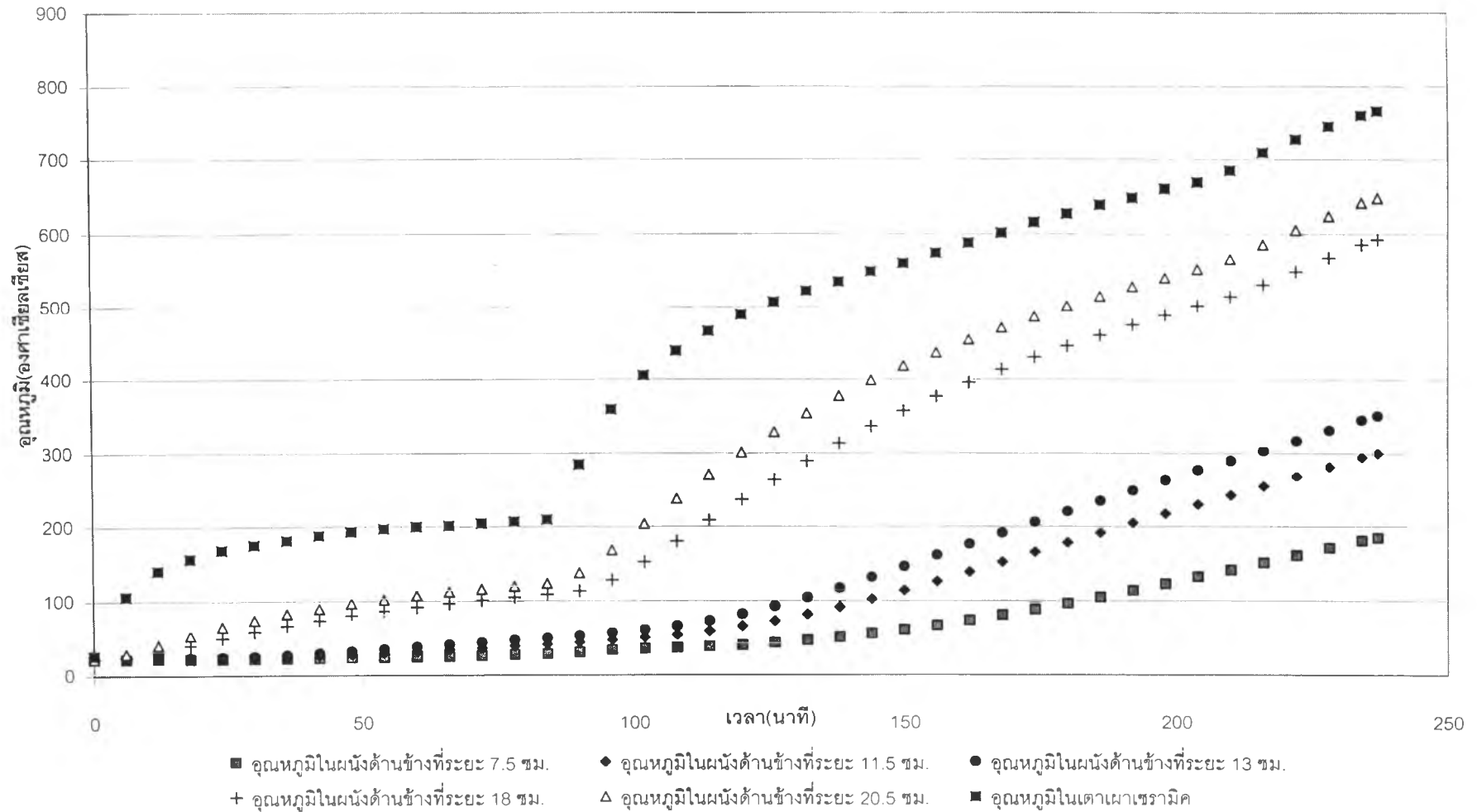
รูปที่ 61 อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะต่างๆจากผิวด้านข้างของการทดลองครั้งที่ 7



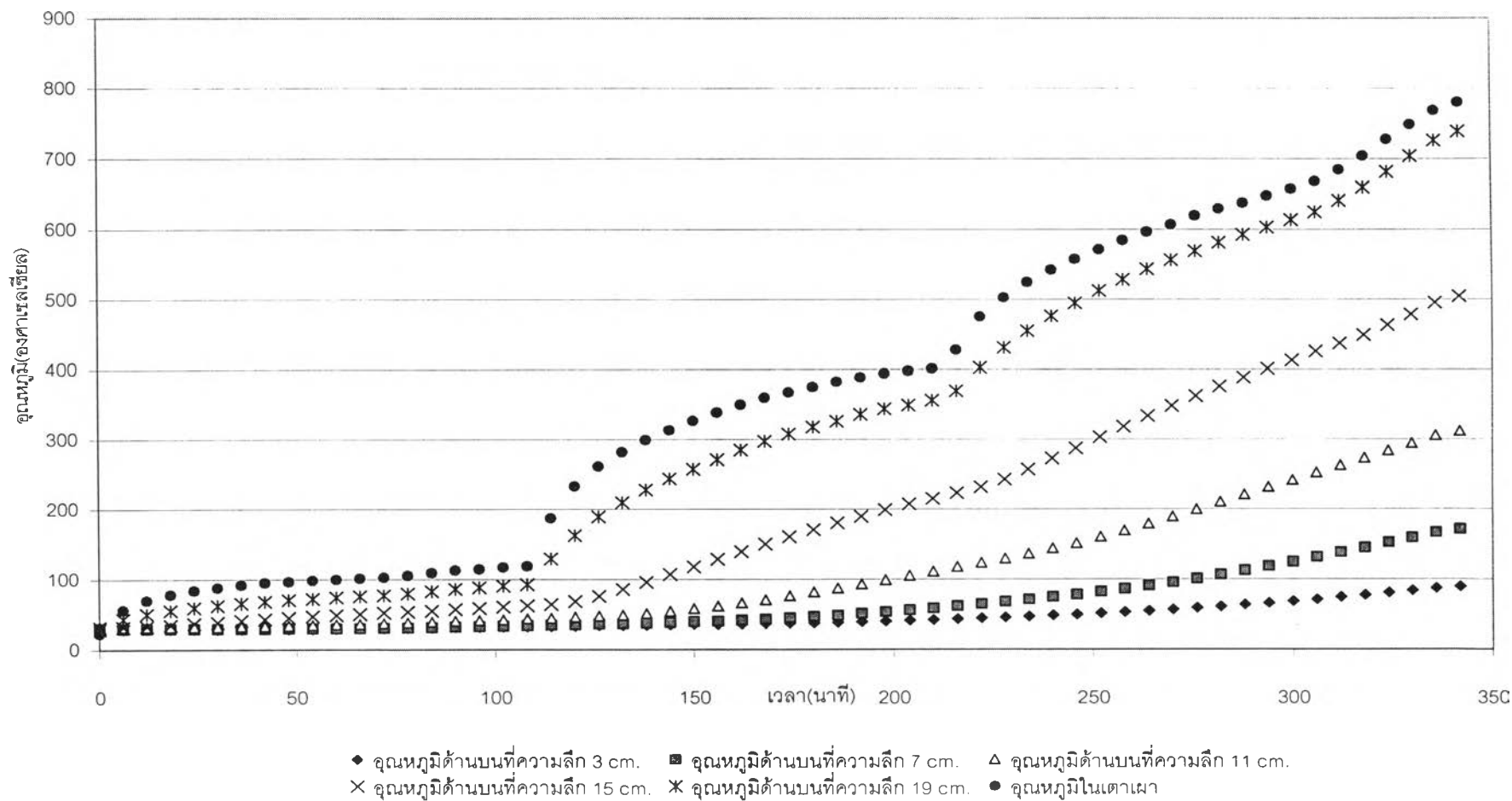
รูปที่ 62 อุณหภูมิ ในผนังด้านบนที่ระยะต่างๆจากผิวด้านบนของการทดลองครั้งที่ 11



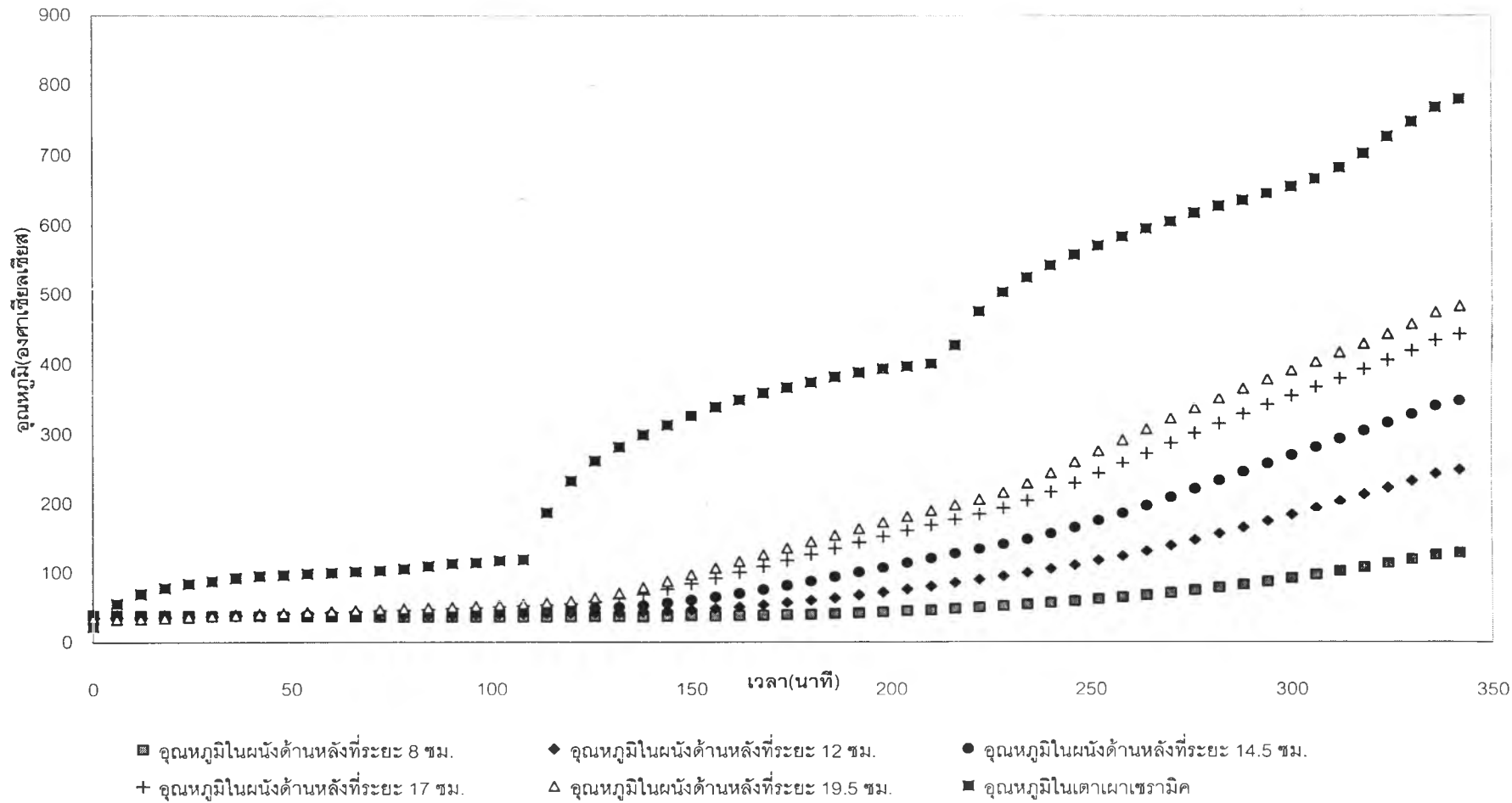
รูปที่ 63 จุดหมุ่ในผนังด้านหลังที่ระยะต่างๆจากผิวด้านหลังของการทดลองครั้งที่ 11



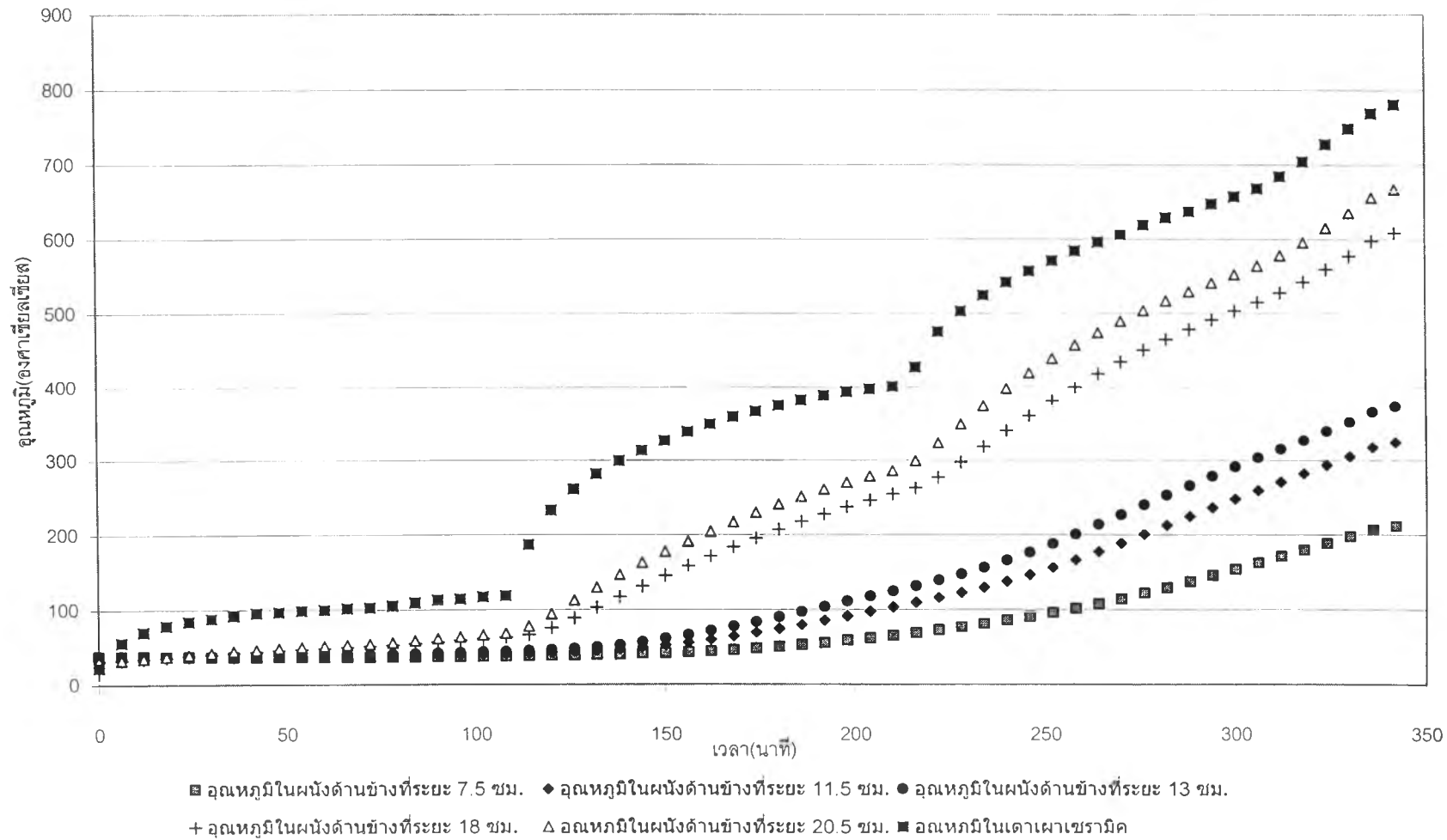
รูปที่ 64 อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะต่างๆ จากผิวด้านข้างของการทดลองครั้งที่ 11



รูปที่ 65 จุดหมูด้านบนในผนังด้านบนที่ระยะต่างๆจากผิวด้านบนของการทดลองครั้งที่ 13



รูปที่ 66 อุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะต่างๆจากผิวด้านหลังของการทดลองครั้งที่ครั้งที่ 13



รูปที่ 67 อุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะต่างๆจากผิวด้านข้างของการทดลองครั้งที่ 13

จากรูปที่ 59 รูปที่ 62 และรูปที่ 65 จะสังเกตได้ว่ากราฟอุณหภูมิในผนังด้านบนที่อยู่ห่างจากผิวผนังด้านนอกมากที่สุดที่ระยะความลึก 19 ซม. มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟอุณหภูมิในผนังด้านบนแบบเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคเนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิผนังด้านหลังนี้อยู่ใกล้ผิวด้านนอกจึงทำให้ได้รับผลกระทบจากความร้อนภายในเตาเผาเซรามิคมากที่สุด ส่วนกราฟอุณหภูมิในผนังด้านบนที่อยู่ถัดมาที่ระยะความลึก 15 ซม. มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟอุณหภูมิ ซึ่งคล้ายกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิคตามเวลา แต่กราฟอุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 15 ซม. มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบเวลาน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบเวลาที่ตำแหน่งความลึก 19 ซม. ทำให้กราฟที่ได้มีความราบเรียบมากกว่ากราฟอุณหภูมิในผนังด้านบนที่ตำแหน่งความลึก 19 ซม. ส่วนกราฟอุณหภูมิในผนังด้านบนที่ความลึก 3 ซม. 7 ซม. และ 11 ซม. จะเป็นกราฟที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับกราฟอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบเวลาลดลงตามระยะห่างจากผิวด้านในเตาเผาเซรามิค

จากรูปที่ 60 รูปที่ 63 และ รูปที่ 66 จะสังเกตได้ว่ากราฟอุณหภูมิในผนังด้านหลังนั้นมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิค เนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิผนังด้านหลังนี้อยู่ใกล้ผิวด้านนอกจึงทำให้ได้รับผลกระทบจากความร้อนภายในเตาเผาเซรามิคน้อย โดยที่กราฟอุณหภูมิของผนังด้านหลังทั้ง 5 จุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกราฟอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบเวลาลดลงตามระยะห่างจากผิวด้านในเตาเผาเซรามิค

จากรูปที่ 61 64 และ 67 จะสังเกตได้ว่ากราฟอุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 18 กับ 20.5 ซม. มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเหมือนกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผา เนื่องมาจากจุดติดตั้งเครื่องมือทั้ง 2 จุด มีตำแหน่งใกล้เคียงกันแต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในผนังด้านข้างทั้งสองจุดเทียบเวลาแตกต่างกัน แต่ก็ยังน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาเทียบเวลา สำหรับกราฟอุณหภูมิในผนังด้านข้างที่ระยะ 7.5 11.5 และ 13 ซม. ได้รับผลกระทบจากความร้อนภายในเตาเผาเซรามิคน้อยกว่าผิวด้านในเตาเผาเซรามิค ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในผนังที่ 3 จุดนี้เทียบเวลา มีค่าไม่มาก ทำให้กราฟอุณหภูมิในผนังด้านข้างทั้ง 3 จุดนี้ค่อนข้างราบเรียบแต่ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทางกับกราฟอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิค และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบเวลาลดลงตามระยะห่างจากผิวด้านในเตาเผาเซรามิค

5.2 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

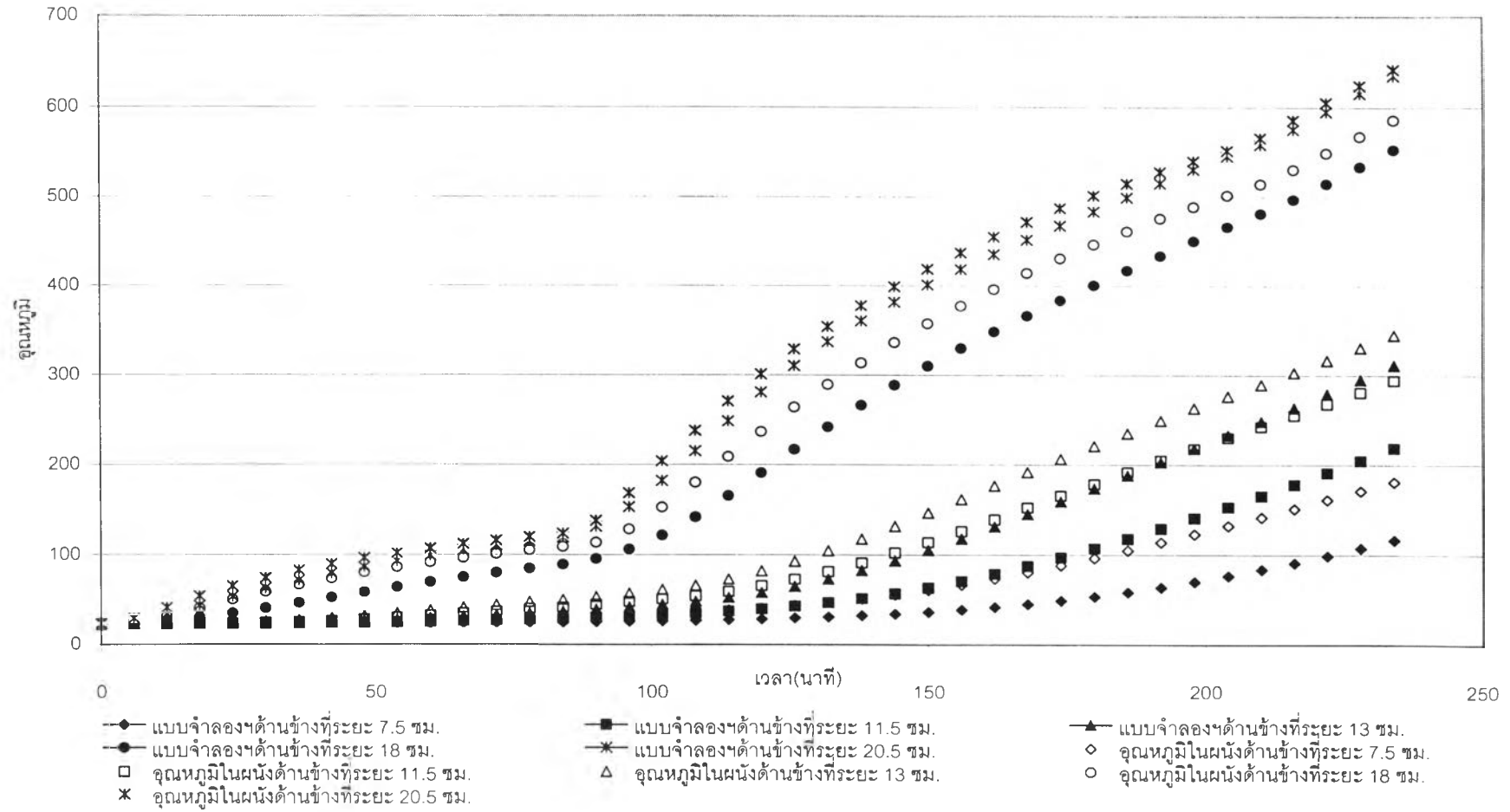
ในการจำลองแบบกระบวนการทำงานของเตาเผาเซรามิค ได้จัดทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะได้ช่วยให้ทำการหาค่าพลังงานในส่วนต่างๆได้ง่ายขึ้น โดยนำข้อมูลต่างที่ทำการตรวจวัดในหัวข้อ 4.2 ไปทำการวิเคราะห์เพื่อนำค่าที่วิเคราะห์มาใช้คำนวณในโปรแกรม โดยรายละเอียดในการวิเคราะห์นั้นจะอยู่ในส่วนของภาคผนวก ข

5.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในผนัง

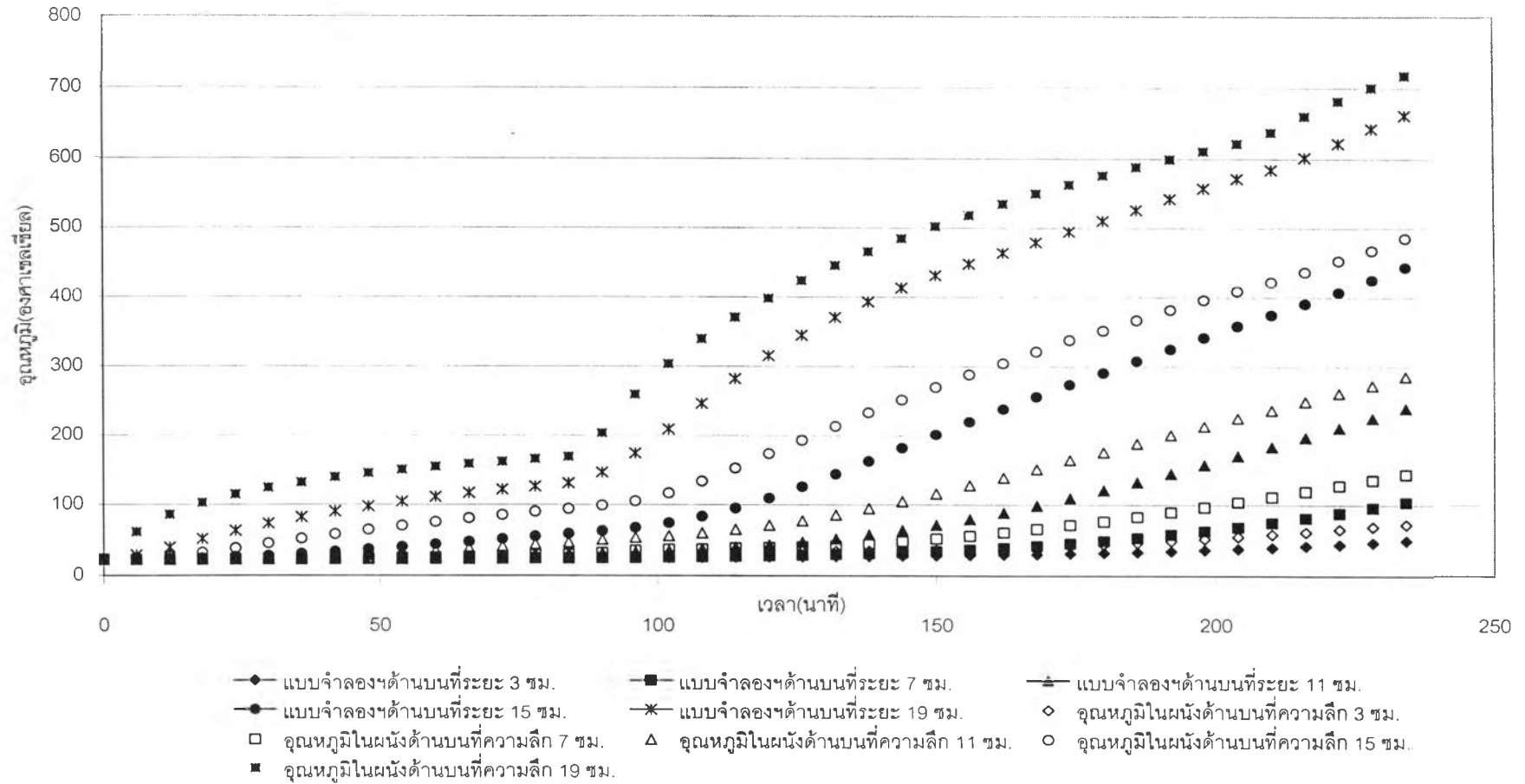
ใช้ในการหาการกระจายของอุณหภูมิภายในผนังทั้งสามด้านซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

- 1) ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในผนังด้านข้างและด้านบน
- 2) ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การจำลองของอุณหภูมิในผนังด้านหลัง

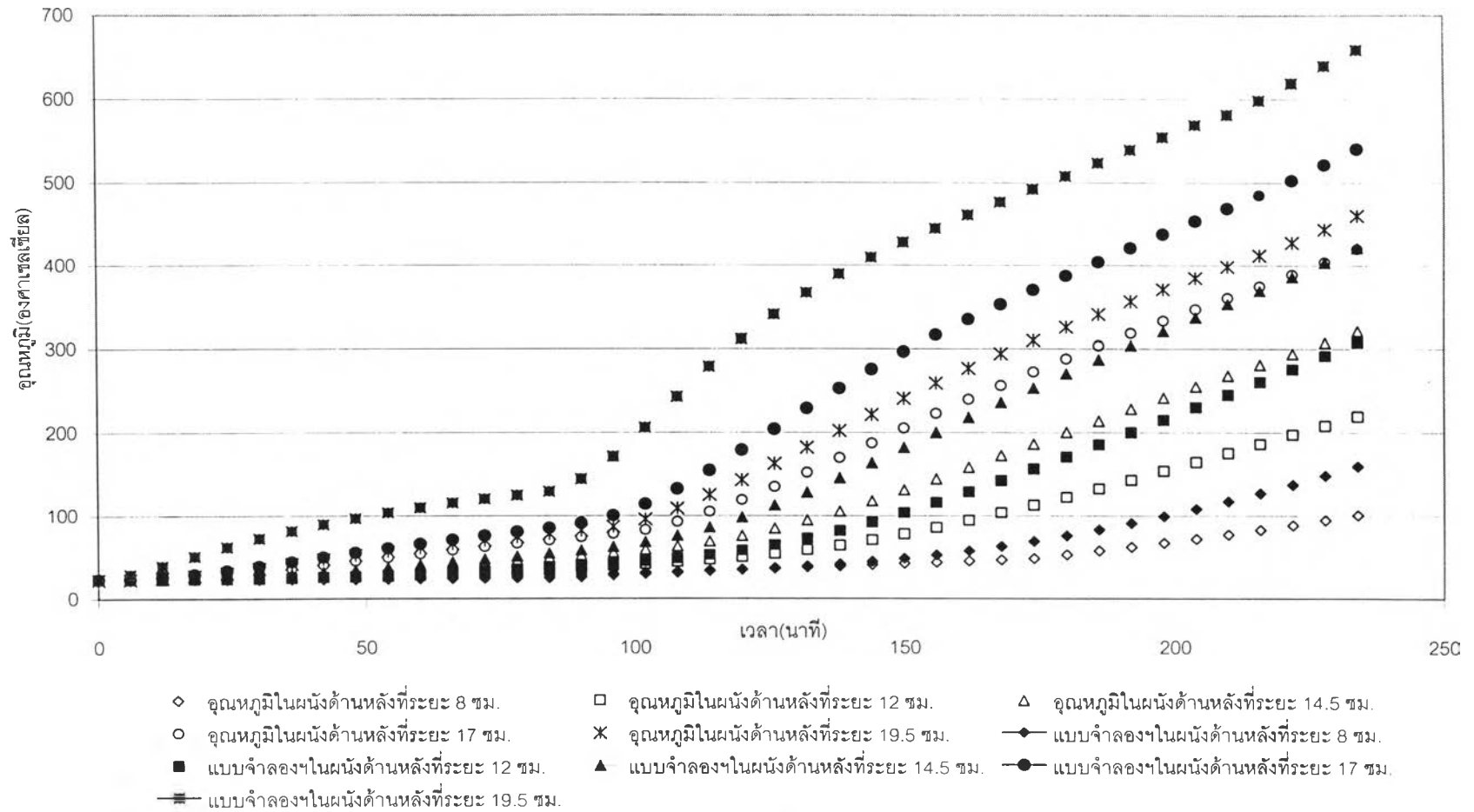
จากในรูปที่ 68 และรูปที่ 69 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าต่ำกว่าผลที่วัดจากการทดลองจริงแต่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับกราฟอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจริงสาเหตุที่กราฟของอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าต่ำกว่าผลของอุณหภูมิที่วัดจริงเนื่องมาจากเตาเผาเซรามิคที่ใช้ในการทดลองใช้งานมาประมาณ 10 ปี ซึ่งโดยปกติจะมีอายุการใช้งานประมาณ 5-7 ปี ทำให้เซรามิคไฟเบอร์ในผนังด้านในที่อยู่สัมผัสกับเปลวไฟเกิดการเสื่อมสภาพทำให้สภาพนำความร้อนของเซรามิคไฟเบอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง และอีกประการหนึ่งคือสภาพนำความร้อนที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าน้อยกว่าสภาพการนำความร้อนจริงในเตาเผาเซรามิค



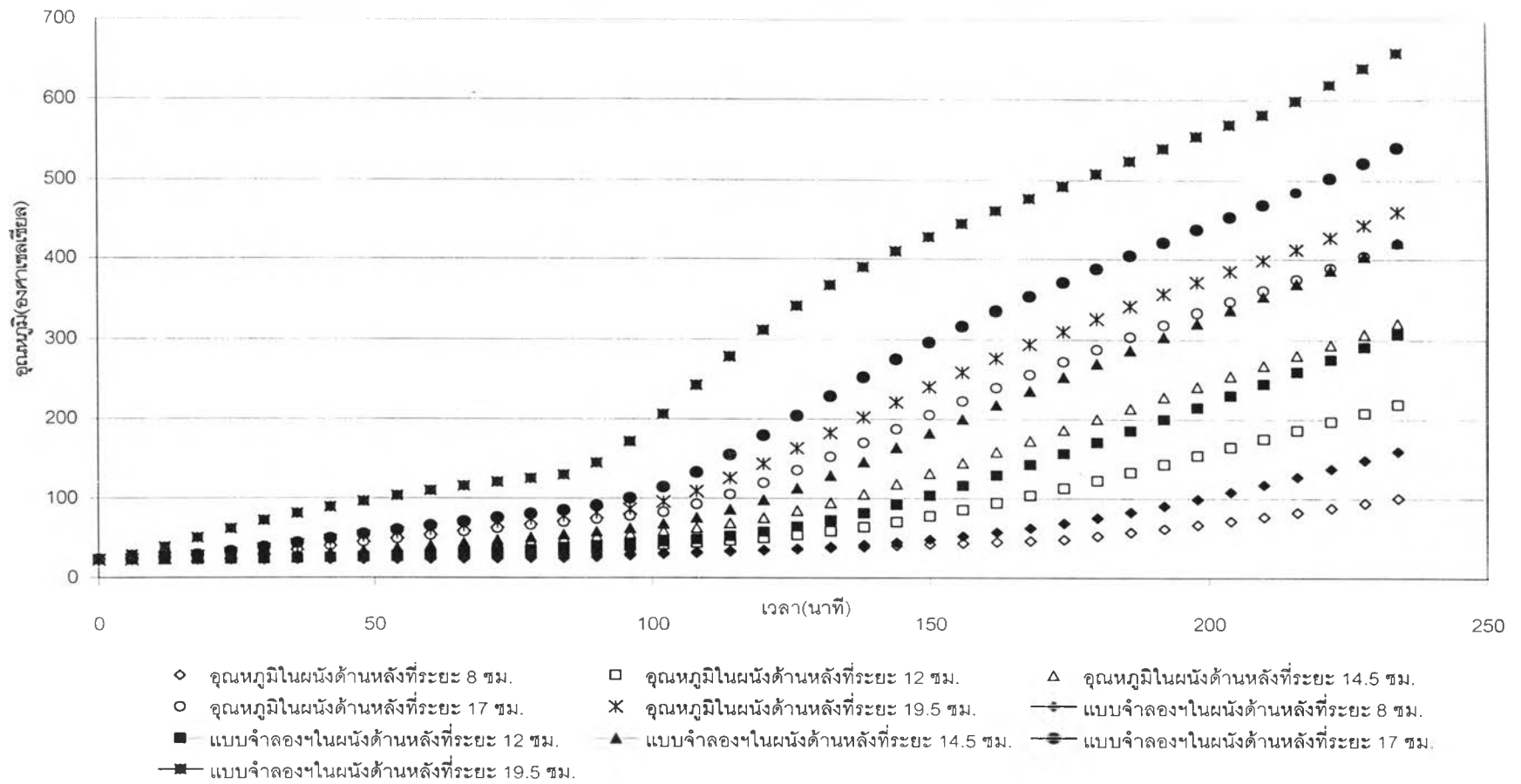
รูปที่ 68 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลจากการวัดจริงสำหรับผนังด้านข้างของการทดลองที่



รูปที่ 69 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลจากการวัดจริงสำหรับผนังด้านบนของการทดลองที่



รูปที่ 70 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลจากการวัดจริงสำหรับผนังด้านหลังของการทดลองที่ 11 (สมมติฐานแบบแรก)



รูปที่ 71 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลจากการวัดจริงสำหรับผนังด้านหลังของการทดลองที่ 11(สมมติฐานแบบที่สอง)

จากผลจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในผนังด้านหลังในรูปที่ 70 แสดงให้เห็นถึงค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่ามากกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจริง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น่าจะมีค่าต่ำกว่าผลจากการวัดจริงเหมือนกับแบบจำลองในผนังด้านข้างและด้านบน เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของเซรามิคไฟเบอร์

จากผลจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในผนังด้านหลังในรูปที่ 71 แสดงให้เห็นถึงค่าอุณหภูมิจากจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจริงแต่มีลักษณะแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผนังด้านข้างและด้านบน

ในรูปที่ 71 ค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในผนังด้านหลังที่ระยะ 17 ซม. เกือบจะเท่าค่าที่ได้จากการวัดจริงและมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับ ส่วนค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองที่ระยะ 19 ซม. มีค่ามากกว่าผลจากการวัดจริงและมีแนวโน้มไม่เหมือนกัน เนื่องมาจากความผิดพลาดในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล เมื่อจุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและจุดที่ทำการวัดค่าจริงมีระยะห่างจากผิวด้านนอกไม่เท่ากัน(มีมุมเอียง) จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านอุณหภูมิที่จุดนั้น เช่นในกรณีนี้ ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ที่ระยะ 19.5 ซม. จากผิวด้านหลังแต่ถ้ามีมุมเอียงระหว่างทำการติดตั้งเครื่องมือจะทำให้ด้านปลายของเทอร์โมคัปเปิล อาจจะอยู่ที่ตำแหน่ง 18 ซม. หรือ 21 ซม. จากผิวด้านหลัง

จากสมมติฐานทั้ง 2 แบบทำให้ทราบว่า การกระจายตัวอุณหภูมิที่ผนังด้านหลังนั้นได้เกิดขึ้นในแนวแกน x และแกน z มากกว่า ในแนวแกน x และแกน y ดังนั้นในการประมาณค่าพลังงานที่สะสมในผนังด้านหลังเราจะใช้สมมติฐานแบบที่สอง

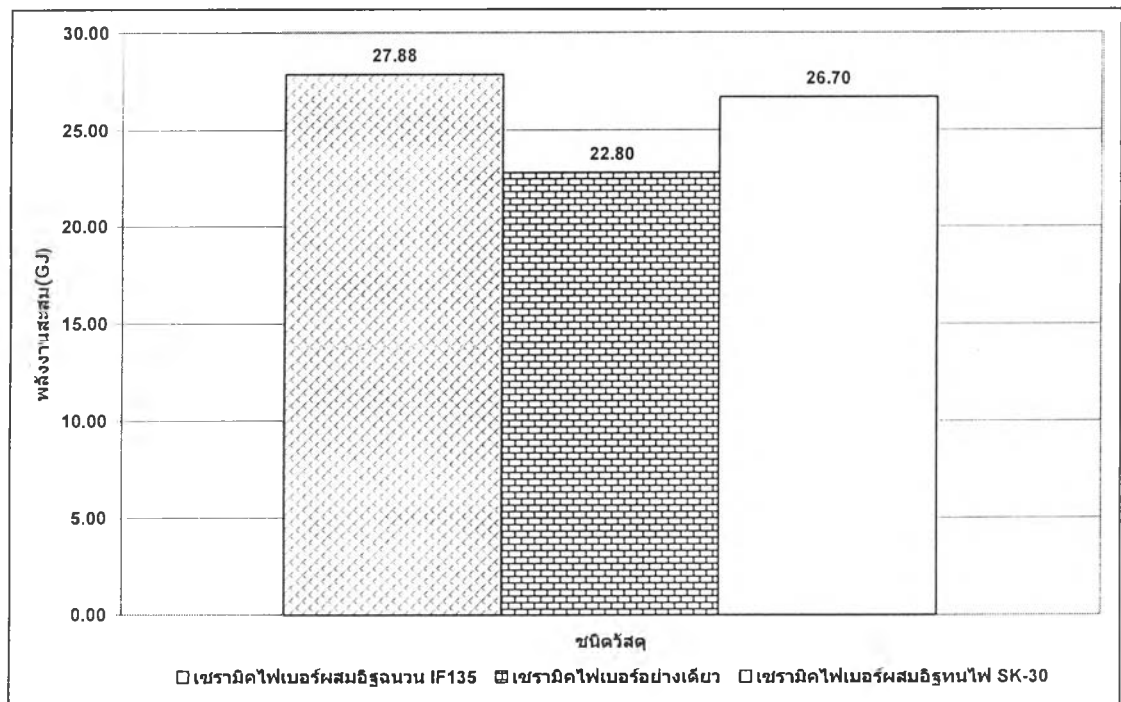
5.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมวลและพลังงานในเตาเผาเซรามิค

แบบจำลองนี้ทำขึ้นประมาณค่ามวลและพลังงานที่อยู่ในส่วนต่างๆของกระบวนการและเตาเผาเซรามิค ซึ่งในการหาค่ามวลและพลังงานที่ใช้เราจะทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ดังที่แสดงในภาคผนวก ข เมื่อนำมาใส่ในโปรแกรมที่จัดทำขึ้นจะได้ ผลจากแบบจำลองของมวลที่เข้าออกปริมาตรควบคุมแสดงในรูปที่ 72 และรูปที่ 73 ส่วนพลังงานสะสมในผนังคิดจากอุณหภูมิที่คำนวณมาได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในผนัง

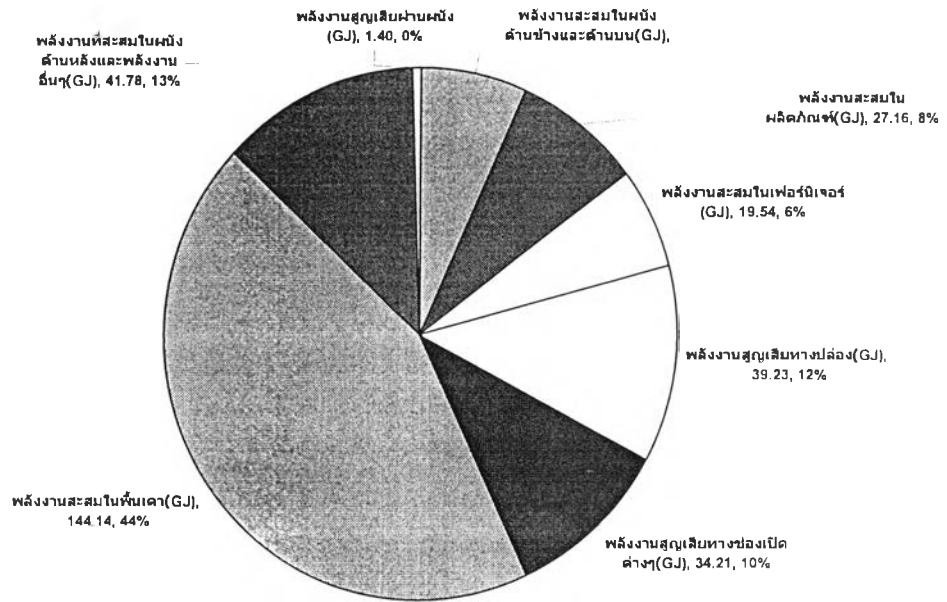
ในผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับมวลของผลิตภัณฑ์ที่เข้าเผา และพลังงานที่สูญเสียไปทางปล่องและทางช่องเปิดต่างๆมีค่าประมาณ 25 % ของพลังงานที่เข้าไปทั้งหมด

5.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การใช้พลังงานเมื่อมีการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำผนังเป็น 2 ชนิด

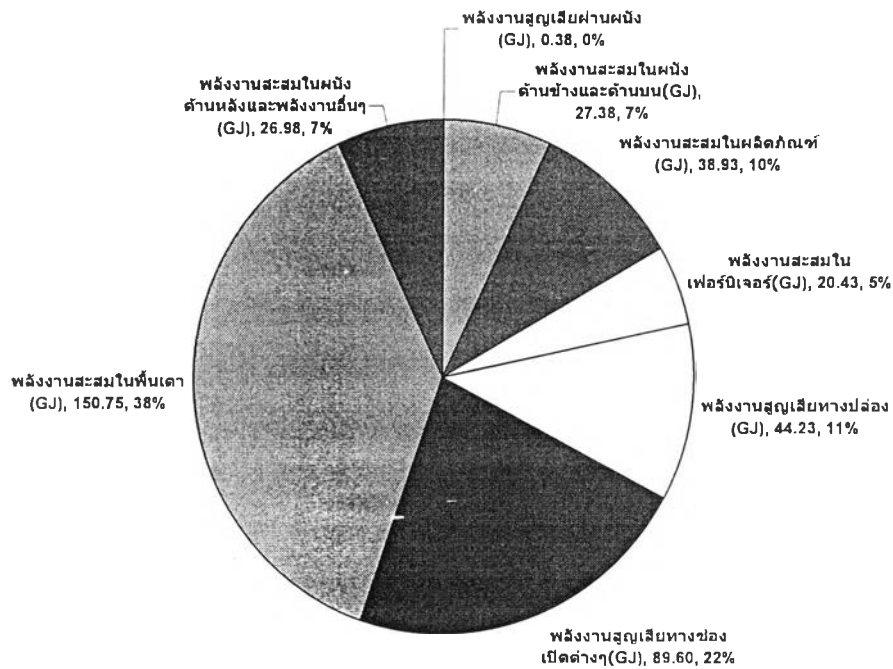
เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาพลังงานที่สะสมในผนังที่มีการใช้วัสดุผนังแบบผสม วัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองนี้ก็เพื่อที่จะใช้ทดสอบหาพลังงานที่จะต้องใช้เมื่อมีการเปลี่ยนวัสดุผนังครั้งหนึ่งด้านนอกเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งด้านในยังใช้เซรามิคไฟเบอร์เหมือนเดิม โดยที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะใช้ค่าอุณหภูมิที่ผิวซึ่งได้จากการวัดจริงมาใช้ในการคำนวณ ผลการหาพลังงานแสดงในรูปที่ 76 โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผนังด้านข้างและด้านบนที่สร้างขึ้นมาเป็นตัวเปรียบเทียบการใช้พลังงานของผนังในแบบต่างๆ ถึงแม้ว่าผลที่ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าต่ำกว่าผลการวัดจริง แต่เมื่อมีเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเบื้องต้นแบบเดียวกันจะให้นำผลการใช้พลังงานมาเปรียบเทียบกันได้



รูปที่ 76 พลังงานสะสมในวัสดุผนังชนิดต่างๆของการทดลองครั้งที่ 11



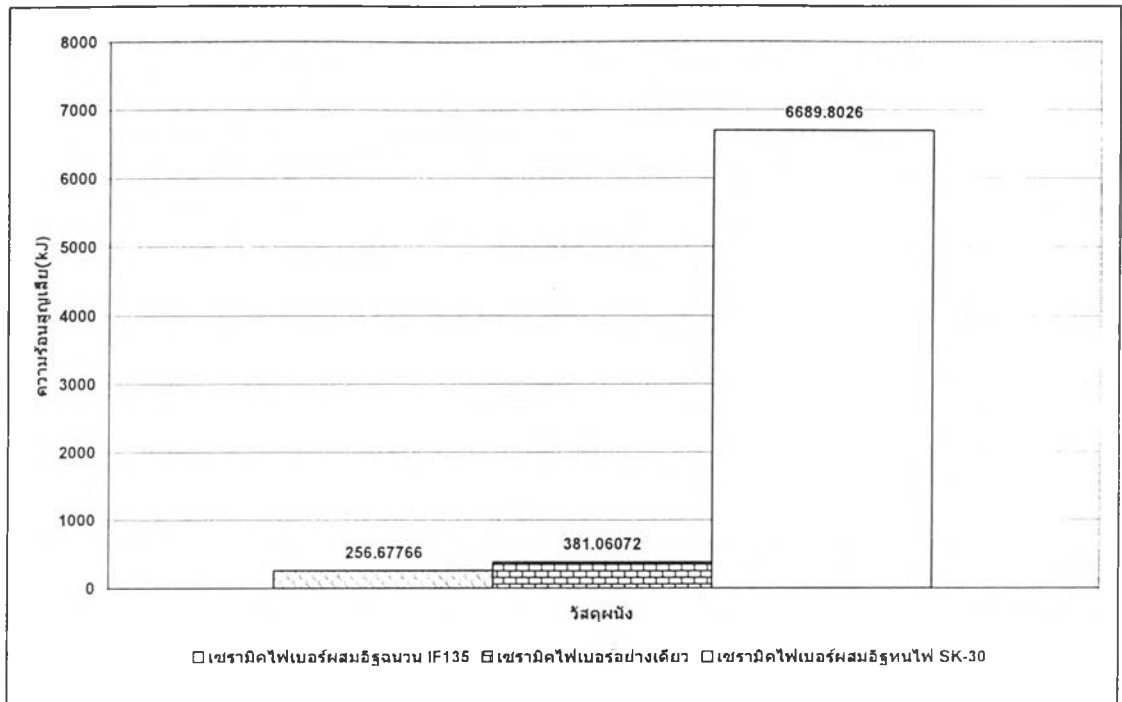
รูปที่ 74 พลังงานกระจายอยู่ในส่วนต่างๆของเตาเผาเซรามิคของการทดลองครั้งที่ 11



รูปที่ 75 พลังงานกระจายอยู่ในส่วนต่างๆของเตาเผาเซรามิคของการทดลองครั้งที่ 13

จากในรูปที่ 74 และ รูปที่ 75 จะเห็นว่าพลังงานจะสะสมอยู่ในพื้นเตามากที่สุด ส่วนที่พลังงานสะสมในผนังด้านข้างและด้านบนในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันไม่มาก พลังงานสะสม

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย



รูปที่ 77 ความร้อนสูญเสียของวัสดุผนังชนิดต่างๆของการทดลองครั้งที่ 13

ในรูปที่ 76 พลังงานสะสมในผนังผสมของเซรามิคไฟเบอร์กับอิฐฉนวน IF-135 และพลังงานที่สะสมในผนังผสมของเซรามิคไฟเบอร์กับอิฐทนไฟ SK-30 เปรียบเทียบกับพลังงานที่สะสมในผนังเซรามิคไฟเบอร์อย่างเดี่ยวจะมีค่ามากกว่า 22.3 % และ 17.1 % ตามลำดับ

ในรูปที่ 77 ความร้อนสูญเสียผ่านผนังของเซรามิคไฟเบอร์กับอิฐฉนวน IF-135 มีค่าน้อยกว่า 22% ส่วนความร้อนสูญเสียผ่านผนังผสมของเซรามิคไฟเบอร์กับอิฐทนไฟ SK-30 เมื่อเปรียบเทียบกับความร้อนสูญเสียผ่านผนังของเซรามิคไฟเบอร์อย่างเดี่ยวมีค่ามากกว่า 1655 % เนื่องจากสภาพการความร้อนของอิฐทนไฟมีค่ามากจึงทำให้มีความร้อนสูญเสียผ่านผนังมีค่ามากตามไปด้วย